

Abschlussbericht zum Projekt

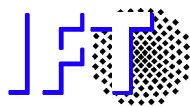
**Sicherheitsanalyse und Risikovergleich
von Zweiseil-Pendelbahnen
mit und ohne Tragseilbremse**

im Auftrag des



Bayerischen Staatsministeriums
für Wirtschaft, Infrastruktur,
Verkehr und Technologie

bearbeitet von:



Dr.-Ing. S. Schönherr
Dipl.-Ing. S. Winter
Institut für Fördertechnik und Logistik
Universität Stuttgart
Abt. Personenfördertechnik/Sicherheitstechnik
Holzgartenstr.15B, 70174 Stuttgart



Dipl.-Ing. H. Weiß
Dipl.-Ing. L. Neuhauser
TÜV Industrie Service GmbH
TÜV SÜD Gruppe
Prüfstelle Seilbahnen
Westendstr. 199, 80686 München

Stuttgart, München
2005

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen, Indizes, Abkürzungen	4
1 Einleitung.....	7
1.1 Ausgangssituation	7
1.2 Ziel der Untersuchung	7
1.3 Vorgehensweise und Methoden	7
1.4 Bisher veröffentlichte Studien über die Sicherheit von ZS-Pendelbahnen und zum Nutzen von Tragseilbremsen	8
1.5 Beispiele für Risikoanalysen aus anderen Bereichen der Fördertechnik	10
2 Definition der Bezugssysteme und Eingrenzung der Risikobetrachtung	11
2.1 Definition der Bezugssysteme	11
2.1.1 Bezugssystem mit Tragseilbremse	12
2.1.2 Bezugssystem ohne Tragseilbremse	12
2.1.3 Zukünftige ZS-Pendelbahnsysteme nach prEN 12929-1 und prEN 12929-2	12
2.2 Eingrenzung der Risikobetrachtung	13
2.2.1 Lebensphasen	13
2.2.2 Verwendungsgrenzen	13
2.2.3 Einsatzbereich / Nutzer	13
3 Daten	14
3.1 Datenrecherche	14
3.1.1 Fragebogen zu den Ereignissen	15
3.1.2 Fragebogen zum ZS-Pendelbahnbestand und zur technischen Ausrüstung des ZS-Pendelbahnbestandes	15
3.2 Datenbasis/-umfang	16
3.2.1 Definition Europa	17
3.2.2 Betrachtungszeitraum	18
3.3 Kennzahlen für den quantitativen Risikovergleich	18
4 Auswertung der Daten des Zweiseil-Pendelbahnbestands	19
4.1 Bestandserfassung	19
4.2 Gesamtbestand ZS-Pendelbahnen	19
4.3 Aufteilung des ZS-Pendelbahnbestandes in Europa in Anlagen mit und ohne Tragseilbremse	21
4.4 Anlagenjahre	21
4.5 Beförderungszahlen	23
4.6 Fahrzeuggröße	24
4.7 Mittlerer Fahrzeugfüllgrad	26
4.8 Durchschnittliche jährliche Fahrtenzahl	27
4.9 Kennzahlen der Bezugssysteme	28
4.10 Technische Ausrüstung des Anlagenbestands	29
4.10.1 Wesentliche Veränderungen der technischen Ausrüstung in den Betrachtungszeiträumen	30
4.10.2 Zugseilendbefestigungen, Befestigung am endlosen Zugseil	31
5 Auswertung der ermittelten Gefährdungseignisse	34
5.1 Gefährdungsarten	34
5.2 Fehlerbaumanalyse	35
5.3 Ermittelte Gefährdungseignisse aufgeteilt nach Gefährdungsart	39
5.4 Anzahl der Gefährdungseignisse in den Betrachtungszeiträumen	40
5.5 Ursachen der Gefährdungseignisse	41
5.6 Tote und Verletzte bei ZS-Pendelbahnen im Zeitraum 1980-2002	42
6 Grundlagen der Risikoberechnung	44
6.1 Definition des Risikos	44
6.2 Eintrittswahrscheinlichkeiten der Ereignisse	44
6.2.1 Berücksichtigte Einflussgrößen	46

6.2.2	Vorgehensweise bei der Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit.....	47
6.2.3	Berücksichtigung der außereuropäischen Ereignisse	47
6.2.4	Betrachtung der beiden Bezugsbasen T_1 (1980-2002) und T_2 (1908-2002)	48
6.2.5	Vielfalt und Veränderung der technischen Ausrüstung.....	49
6.2.6	Besonders zu berücksichtigende Ereignisse	51
6.2.7	Zukünftige Veränderungen durch die CEN-Normen	52
6.3	Berechnung des Schadensausmaßes S	53
6.3.1	Zukünftiger Betroffenheitsquotient.....	54
6.3.2	Ermittlung der Todes- und Verletzungswahrscheinlichkeiten	55
6.4	Ermittlung der Risikokennzahlen	56
6.4.1	Risikozahlen bei einer Dunkelziffer von unbekannten Ereignissen	56
6.4.2	Kollektives und individuelles Risiko	58
6.5	Common-Mode-Ausfälle	58
7	Risikokennzahlen der Gefährdungsereignisse	60
7.1	Absturz des Fahrzeugs durch TS-Riss, TS- Entgleisung, LW-Entgleisung oder Gehängebruch (A)	60
7.2	Fahrzeugbrand (B)	71
7.3	Versagen der Zugseilschleife (Z).....	73
7.3.1	Versagenswahrscheinlichkeit der Tragseilbremse	89
7.4	Übergeschwindigkeit ohne Zugseilriss (Ü)	91
7.5	Kollision mit Hindernis ohne Zugseilriss und LW-Entgleisung (K).....	95
7.6	Unplanmäßiges Einfallen der Tragseilbremse bei intakter ZS-Schleife (T).....	97
7.7	Fahrgastunfälle (FG)	100
7.8	Ergebnisse.....	102
7.8.1	Gegenüberstellung und Vergleich der Risiken von ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse bei einzelnen Gefährdungsarten.....	102
7.8.2	Vergleich des Gesamtrisikos für die Fahrgäste von ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse	104
7.8.3	Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse	105
7.8.4	Ergänzungsvorschläge zur Norm prEN 12929-2 und zu weiteren Normen des CEN/TC 242	106
8	Bewertung im Hinblick auf BOSeil	107
8.1	Anforderung der BOSeil hinsichtlich der Tragseilbremse	107
8.2	Beurteilung der Anforderungen gemäß prEN 12929-2 für Zweiseilpendelbahnen ohne Tragseilbremse.....	107
8.2.1	Gefährdungsbilder	108
8.2.2	Maßnahmen für den Bestand der Zugseilschleife	108
8.2.3	Maßnahmen zur Vermeidung von Ereignissen im Betrieb, die bei intakter Zugseilschleife ohne Tragseilbremse eine Gefährdung darstellen.....	110
8.2.4	Beurteilung der Gefährdungsbilder und Maßnahmen anhand der Ereignisse.....	111
8.3	Zusammenfassung	123
8.4	Kommentierung im Hinblick auf die Erwägungsgründe und grundlegende Anforderungen der Richtlinie 2000/9/EG hinsichtlich der Notwendigkeit der Tragseilbremse bei einer Zweiseil-Pendelbahn.....	124
9	Anwendbarkeit und Grenzen der quantitativen Risikoanalyse.....	127
Literatur		130
Anhang		135

Formelzeichen

<i>Zeichen</i>	<i>Einheit</i>	<i>Bezeichnung</i>
A	-	Anlagenbestand
AT	-	Anlagenjahre, betrachtete Anlagen im Zeitraum T
B	-	Anzahl der Beförderten pro Jahr, jährliche Befördertenzahl
E	-	Eintrittswahrscheinlichkeit
f_1	-	Fahrzeugfüllgrad, Füllgrad eines Fahrzeugs bezogen auf die Fahrzeugkapazität
f_{B1}	-	Betroffenheitsquotient pro Fahrzeug, Anzahl zukünftig durchschnittlich betroffener Personen in einem Fahrzeug
f_{B2}	-	Betroffenheitsquotient beider Fahrzeuge, Anzahl zukünftig durchschnittlich betroffener Personen in beiden Fahrzeugen
F	-	Ausfallereignis
i,j	-	Merkmal bzw. Zähler
k	-	Anzahl Anlagen (Umfrage)
K	-	Fahrzeuggröße, Fahrzeugkapazität
l	m	Streckenlänge
m	-	Anzahl Länder (Umfrage)
n	-	jährliche Fahrtenzahl einer Seilbahn
p	-	Wahrscheinlichkeit
P_B	-	Anzahl betroffener Personen
p_D	-	Wahrscheinlichkeit für defekte TSB durch Aufprall an den Stationspuffer
p_F	-	Wahrscheinlichkeit für TS- und ZS-Riss durch ein Flugzeug
p_M	-	Wahrscheinlichkeit für Fehlmontage beider Befestigungsklemmen eines Chapeau de Gendarme
p_S	-	Wahrscheinlichkeit für Rückprall des Fahrzeugs auf die Strecke
P_T	-	Anzahl getöteter Personen
P_V	-	Anzahl verletzter Personen
q_T	-	Wahrscheinlichkeit für das Versagen der Tragseilbremse an einem Fahrzeug
Q	-	Wahrscheinlichkeit
Q_T	-	Todeswahrscheinlichkeit, Verhältnis von getöteten zu betroffenen Personen
Q_V	-	Verletzungswahrscheinlichkeit, Verhältnis von verletzten oder getöteten Personen zu betroffenen Personen
R	-	Risiko, Risikokennzahl
R_T	-	Todesrisiko (Getötete pro Anlagenjahr)
R_V	-	Verletzungsrisiko (Verletzte und Getötete pro Anlagenjahr)
S	-	Schadensausmaß
$\bar{S}$	-	mittleres Schadensausmaß
T	-	Betrachtungszeitraum
T_1	-	Betrachtungszeitraum 1980-2002
T_2	-	Betrachtungszeitraum 1908-2002
T_3	-	Betrachtungszeitraum 1908-1979
y	-	zukünftige erhöhte Versetzungshäufigkeit des Chapeau-de-Gendarme
Z	-	Anzahl der Ausfälle, Gefährdungseignisse auch vereinfacht für Z_1 : Anzahl der Ereignisse im Zeitraum T_1
Z'	-	vereinfacht für Z_2 : Anzahl der Ereignisse im Zeitraum T_2
Z^*	-	Anzahl der Ereignisse außerhalb Europas

α_i	-	Anteile der technischen Ausrüstungsmerkmale i am Gesamtbestand
β	-	Faktoren zur Prognose der zukünftigen Eintrittswahrscheinlichkeiten
ε	-	Verhältnis Anlagenbestand in Europa zum Anlagenbestand weltweit (im Zeitraum T_2)
η	-	Faktoren zur Prognose der zukünftigen Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeiten
κ	-	Verhältnis der zukünftigen zu bisherigen Fahrzeugkapazität

Indizes

b	bisher
e	ermittelt
E	Europa (z.T. auch ohne Index)
mT	mit Tragseilbremse
oT	ohne Tragseilbremse
T	Tote
t, tats.	tatsächlich
u	unbekannt (nicht ermittelt)
V	Verletzte (Verletzte und Getötete)
W	Welt, weltweit
z	zukünftig
zW	zusätzliche außereuropäische Ereignisse (Ereignisse weltweit)

Abkürzungen

BB	Betriebsbremse
C-d-G	Chapeau-de-Gendarme
CEN/TC 242	Europäisches Komitee für Normung, Technisches Komitee Nr. 242 „Safety requirements for passenger transportation by rope“ („Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen für den Personenverkehr“)
CMA	Common-Mode-Ausfälle
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich
FTA	Fault Tree Analysis, Fehlerbaumanalyse
Fzg	Fahrzeug
ISR	Internationale Seilbahn-Rundschau
ITTAB	Internationale Tagung der technischen Aufsichtsbehörden
O.I.T.A.F.	Internationale Organisation für das Seilbahnwesen (Organizzazione Internazionale Trasporti A Fune)
PB	Pendelbahn
prEN	Vornorm
QRA	Quantitative Risikoanalyse
S	Standseilbahn
SB	Sicherheitsbremse
TS	Tragseil
TSB	Tragseilbremse
U	Zweiseil-Umlaufbahn
ZS	Zugseil
ZS-PB	Zweiseil-Pendelbahn

Gefährdungsarten:

A	Absturz des Fahrzeugs durch TS-Riss, TS-Entgleisung, LW-Entgleisung, Gehängebruch
B	Fahrzeugbrand
FG	Fahrgastunfall
K	Kollision mit Hindernis
T	Unplanmäßiges Einfallen der Tragseilbremse
Ü	Übergeschwindigkeit, unkontrollierte Fahrbewegung
Z	Versagen der Zugseilschleife

Zugseilendverbindungen und Befestigungen am endlosen Zugseil:

K	Klemmkopf
SC	endloses Zugseil mit Chapeau-de-Gendarme
SK	endloses Zugseil mit Klemme
ST	endloses Zugseil mit Trommel
T	Zugseiltrommel mit Endklemme
V	Verguss

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Die Europäische Union hat am 20. März 2000 die Richtlinie 2000/9/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Seilbahnen für den Personenverkehr erlassen. Zur Einhaltung der in der Richtlinie geforderten grundlegenden Sicherheitsanforderungen wurden durch die CEN harmonisierte europäische Normen erarbeitet. Abweichend von den bisherigen nationalen (deutschen) Vorschriften (BOSeil) sollen europaweit auch Zweiseil-Pendelbahnen ohne Trageseilbremse (mit ergänzenden Anforderungen gemäß prEN 12929-2) mit einem Zugseil und ohne Einschränkung der Fahrzeugkapazität zugelassen werden. Für die deutschen obersten Seilbahnaufsichtsbehörden besteht jedoch die Unklarheit, ob und in welchem Ausmaß das bestehende Sicherheitsniveau von ZS-Pendelbahnen durch die zukünftige Normensituation verändert wird. Deutschland und Italien haben im Rahmen des CEN-Verfahrens der Norm prEN 12929-2 nicht zugestimmt.

Obwohl seit beinahe 30 Jahren über die Trageseilbremse diskutiert wird (z.B. **Creissels 1981**, **Creissels 1982**, **Oplatka 1984/2**, **Redaktion ISR 1984**, **Creissels 2000**) und bereits mehrere Studien über den Nutzen von Trageseilbremsen durchgeführt wurden (**Wettstein 1975**, **Oplatka 1984/2**, etc.), mangelt es bisher an belegbaren Daten, um das Sicherheitsniveau von Zweiseil-Pendelbahnen mit und ohne Trageseilbremse weitgehend „objektiv“ und nachweisbar vergleichen zu können.

1.2 Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchung ist eine Gefahren- und Risikoanalyse und ein probabilistischer Risikovergleich von Zweiseil-Pendelbahnen mit und ohne Trageseilbremse (gemäß den harmonisierten CEN-Normen). Mit Hilfe von Risikokennzahlen soll ein quantitativer Systemvergleich von Zweiseil-Pendelbahnen mit und ohne Trageseilbremse durchgeführt werden. Der Vergleich des Sicherheitsniveaus von Zweiseil-Pendelbahnen mit und ohne Trageseilbremse wird über das vorhersagbare Gefährdungsausmaß für den Benutzer bewertet.

1.3 Vorgehensweise und Methoden

Unfälle und Schadensfälle, die bei ZS-Pendelbahnen im Zeitraum 1980-2003 eingetreten sind, werden recherchiert und in einer Fehlerbaumanalyse ausgewertet. Der Nutzen und die Nachteile der Trageseilbremse soll damit bei den bisherigen Gefahrenereignissen von ZS-Pendelbahnen untersucht werden. Damit wird einerseits berücksichtigt, dass die Trageseilbremse, die bestimmungsgemäß geplant wurde, um das talwärts Fahren und den Absturz des Fahrzeugs im Falle eines Zugseilriss zu verhindern, im praktischen Einsatz auch bei weiteren Gefährdungseignissen, z.B. bei Übergeschwindigkeiten und Kollisionen, ausgelöst wird. Andererseits wird auch das fehlerhafte Einfallen der Trageseilbremse bewertet.

Aus den eingetretenen Ereignissen soll die Gefährdung von Benutzern von Zweiseil-Pendelbahnen mit und ohne Trageseilbremse nach zukünftigen Normen durch eine Risikobewertung abgeschätzt werden.

Die Untersuchungen basieren auf den vorläufigen prEN-Normen. Diese Vornormen haben sich gegenüber den zwischenzeitlich veröffentlichten harmonisierten EN-Normen inhaltlich nicht geändert.“

Der methodische Ansatz der quantitativen Risikoanalyse (QRA) wurde aus folgenden Gründen gewählt:

- Auf der Basis von eingetretenen Ereignissen können sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeiten als auch die Folgen der Ereignisse, d.h. das Schadensausmaß im Gegensatz zu rein theoretischen statistischen Abschätzungen sehr realitätsnah beschrieben werden. Eintrittswahrscheinlichkeiten von Ereignissen, die in der Theorie so nicht erwartet werden, werden aufgezeigt. Voraussetzung dafür ist jedoch eine ausreichend große und vollständige Datenbasis.
- Damit werden nicht nur Bauteilausfälle und Bauteilfehler berücksichtigt, sondern auch menschliche Fehlhandlungen, menschliches Fehlverhalten, Fehleinschätzungen, sowie äußere Einflüsse.
- Durch die Auswertung der eingetretenen Gefährdungseignisse hinsichtlich Ursachen und Fehlerfolgen sowie durch eine Analyse der Ausfallstrukturen (z.B. im Rahmen der Fehlerbaum- und Ereignisablaufanalysen) können nicht erwartete Ereignisse wie z.B. Common-Mode-Ausfälle (Folgeausfälle und Redundanzverluste) aufgedeckt werden. Das Aufeinandertreffen und die Abfolge mehrerer unabhängiger und abhängiger Fehler die zum Gefährdungseignis führen (z.B. Versagen technischer Bauteile und menschliche Fehleinschätzung) können mit dieser Vorgehensweise deutlich gemacht werden.
- Durch Betrachtung der eingetretenen Ereignisse kann die Wirksamkeit und der Nutzen von Sicherheitsmaßnahmen abgeleitet und bewertet werden.

Gleichzeitig soll im Rahmen der Untersuchung geklärt werden, ob der probabilistische Ansatz und die ermittelten Risikokennzahlen geeignet sind, einen Systemvergleich anhand eines „objektiv“ ermittelten, zahlenmäßigen Risikos zu führen.

1.4 Bisher veröffentlichte Studien über die Sicherheit von ZS-Pendelbahnen und zum Nutzen von Tragseilbremsen

In **Wettstein 1975** „Kann die Unfallwahrscheinlichkeit von Pendelbahnen durch geeignete Maßnahmen unter Weglassung der Tragseilbremse gesenkt werden?“ werden mit statistischen Methoden die Unfallwahrscheinlichkeiten von Seilbahnen mit Tragseilbremse und von Alternativsystemen ohne Tragseilbremse u.a. mit einem zweiten Zugseil, auf der Basis von Daten und theoretischen Überlegungen untersucht und verglichen. Unter Berücksichtigung verschiedener Annahmen erreicht das gewählte Alternativsystem mit Doppelzugseil und Hilfsspanngewicht eine geringere Unfallwahrscheinlichkeit.

Oplatka 1984/2 wertet in einem Aufsatz über „Ereignisse mit Fangbremsen und Zugseilen“ eine Zusammenstellung von Ereignissen mit Fangbremsen, Zugseilen und Tragseilen bei ZS-Pendelbahnen und Standseilbahnen aus. Die zugrunde gelegten Ereignisse über den Zeitraum 1909-1982 wurden von den technischen Seilbahnaufsichtsbehörden für die ITTAB-Tagung im Jahre 1983 zusammengestellt. Auf der Basis von 39 relevanten Ereignissen stellt Oplatka fest, dass die Tragseilbremse in 25 Fällen einen Unfall verhütet und in 4 Fällen einen Unfall nicht verhütet hat. In 3 Fällen wurde ein Unfall durch die Fangbremse verursacht, in 7 Anlagen war keine Fangbremse vorhanden. Daneben werden auch die Ursachen und die Orte der Seilrisse untersucht und dargestellt.

In **Larquetout 1984** „Untersuchung der spezifischen Sicherheit der Zugseilschleife bei einer Zweiseil-Pendelbahn“ wird eine ausführliche Fehlerbaumanalyse zum Ereignis Zugseilriss durchgeführt. Auf Grundlage dieses Fehlerbaumes können Maßnahmen ausgearbeitet werden, um die Unversehrtheit der Zugseilschleife zu verbessern.

Flatlandsmo 1983 untersucht in „Eine Seilbahnstatistik“ Unfälle an verschiedenen Seilbahnsystemen in Europa u.a. auch an Zweiseil-Pendelbahnen über den Betrachtungszeitraum 1975-1980 (ITTAB-Statistik und Unfallmeldungen bei den Aufsichtsbehörden) und wertet sie hinsichtlich der Ursachen höhere Gewalt, technisches Versagen, Fehlverhalten von Fahrgästen und Fehlverhalten von Angestellten aus.

Creissels 1981 vertritt in seinem Aufsatz „Eine gefährliche Fiktion geht zu Ende: Immer häufiger wird die Laufwerksbremse weggelassen“ die Ansicht, dass die Tragseilbremse zukünftig endgültig verschwinden kann. Nach seiner Einschätzung ist die Laufwerksbremse eine gefährliche Sicherheitsvorrichtung. Er begründet dies damit, dass „4/5 aller möglichen Unfälle, in denen die Laufwerksbremse ihre Rolle spielen muss, durch das Vorhandensein der Laufwerksbremse ausgelöst werden“. Anlagen sollten an erster Stelle so geplant werden, dass ein Seilversagen verhindert wird. Eine Absicherung der Folgen eines Seilversagens durch eine Tragseilbremse ist demgegenüber zweitrangig.

In **Dournon 1984** „Die Entwicklung der Sicherheit in Frankreich“ wird das Unfallgeschehen (Tote und Verletzte) an Seilbahnanlagen in Frankreich über einen Zeitraum von 10 Jahren (1973-1983) dargestellt.

Löscher 2001 untersucht anlässlich der Seilbahnkatastrophe von Kaprun in einer Studie „Fangbremsen bei Standseilbahnen“ Ereignisse mit Zugseilrissen an Standseilbahnen zwischen 1909 und 1981 in Österreich und der Schweiz. Er stellt fest, dass bei 8 bekannten Zugseilrissen die Fangbremse ein Ablaufen des Wagen in allen Fällen erfolgreich verhindert hat. In einer Auswertung, die sich auf 40 Bahnen stützt, untersucht er Ursachen für das Einfallen der Fangbremse während des Betriebes. In 6 von 12 Fällen ist die Fangbremse durch Schlaffseilauslösung eingefallen, z.B. infolge eines Nothaltes oder einer Kollision mit einem Hindernis. Bei 28 Bahnen ist die Fangbremse noch nie während des Betriebes eingefallen.

Eine systematische und umfassende Methodik für eine Sicherheitsbetrachtung von Seilbahnen wird von **Bass/Herzog 1985** in „eine Analyse der Betriebssicherheit von Seilbahnsystemen“ beschrieben. Diese gliedert sich in die Punkte: Lebensabschnitte des Systems, Gefahrenanalyse, Analyse der Störungsarten und ihrer Auswirkungen, Fehlerbaumanalyse, Definition einer annehmbaren Gefahr und Quantifizierung der Risiken. Als wesentliche Fehlerquellen bei Luftseilbahnen führt er an: nicht zweckmäßige Planung/Konstruktion, ungenaue Fertigung, mangelhafte Qualitätskontrolle, fehlerhafte Montage und Installation, unzureichende Wartung und Reparatur, ungenau befolgte Betriebsanleitungen, unterlassene Befolgung von Betriebsanleitungen.

Der Fokus der bisherigen Studien ist überwiegend auf die zahlenmäßige Auswertung der eingetretenen Unfälle gerichtet. Mit Ausnahme von **Wettstein 1975** wurde bisher keine quantitative Risikobetrachtung, in der zusätzlich das Schadensausmaß für den Fahrgast analysiert wird, durchgeführt.

1.5 Beispiele für Risikoanalysen aus anderen Bereichen der Fördertechnik

Im Bereich der Personenfördertechnik findet man weitere Beispiele von Risikoanalysen. Die Ergebnisse solcher Risikoanalysen haben die Normung maßgeblich beeinflusst.

Im Bereich Schachtfördertechnik wurde im Rahmen einer Unfallstudie (**Panitz 1957** „Die Zweckmäßigkeit der Fangvorrichtungen bei der Seilfahrt“) festgestellt, dass die Zuverlässigkeit von Fangvorrichtungen wenig befriedigend war. Die Analyse von Fangbremsungen bei Schachtförderanlagen hat gezeigt, dass in 54 Jahren nur 13 Personen gerettet wurden, durch einen unzeitigen Eingriff der Fangbremse wurden 9 Personen getötet und 9 schwer verletzt. Trotz Fangvorrichtung waren 198 Personen tödlich abgestürzt. Da sich der Nutzen der Fangvorrichtung im Vergleich zum Schaden als sehr gering herausgestellt hat, wurden Fangvorrichtungen in Schachtförderanlagen abgeschafft.

Im Aufzugsbau wurden im Rahmen einer Gefahren- und Risikoanalyse „Schutzmaßnahmen gegen unkontrolliertes Fahren von Treibscheibenaufzügen“ (**Feyrer/Dudde 1995**) unkontrollierte Fahrbewegungen von Aufzugsanlagen anhand von eingetretenen Unfällen und Schadensfällen analysiert. Dabei hat sich gezeigt, dass viele Unfälle, u.a. auch durch Redundanzverlust der Zweikreisbremse, zu unkontrollierten Fahrbewegungen nach oben führen. Durch die bestehende Fangvorrichtung, die nur bei Abstürzen nach unten wirkt, konnten diese Unfälle nicht verhindert werden. Im Jahre 1999 wurde zusätzlich zur Fangvorrichtung eine „Schutzeinrichtung für den aufwärtsfahrenden Fahrkorb gegen Übergeschwindigkeit“ vorgeschrieben (**EN 81-1**), um eine unkontrollierte Fahrbewegung der Fahrkörbe nach oben zu verhindern.

2 Definition der Bezugssysteme und Eingrenzung der Risikobetrachtung

Pendelbahnen sind „*Seilschwebebahnen bei denen die Fahrzeuge zwischen den Stationen im Pendelbetrieb verkehren*“ - so lautet die Definition der **prEN 1907** (2004), 3.1.1 des CEN TC 242. Mit dieser Definition, die sich alleine aus der Betriebsweise herleitet, sind die verschiedenartigsten Konstruktionsvarianten möglich, z.B. auch Pendelbahnen, die mit nur einem Förderseil (Trag- und Zugseil) ausgeführt sind. Es ist daher notwendig, die nachfolgenden Untersuchungen einzugrenzen.

Gemäß prEN 1907 ist hier im Zusammenhang auch die Definition für die Zweiseilbahn von Bedeutung:

Zweiseilbahnen sind Seilschwebebahnen, bei welchen die Fahrzeuge durch zwei getrennte Seile oder Seilgruppen, als Tragseile bzw. als Zugseile bezeichnet, getragen und bewegt werden (prEN 1907, 3.1.4).

Das Vorhandensein eines Zugseils ist die wesentliche bauarttypische Eigenschaft der nachfolgend betrachteten Bahnen: Die Tragseilbremse ist jene „*Bremse am Fahrzeug, welche zum Stillsetzen des Fahrzeuges auf der Strecke dient, und die auf das oder die Tragseile einer Zweiseilbahn wirkt*“ (prEN 1907; 6.1.8 und 6.1.8.1) Wesentliche Zweckbestimmung dieser Tragseilbremse ist das selbsttätige Abbremsen des Fahrzeuges „*beim Reißen des Zug- oder Gegenseils*“ (**BOSeil**, §15 (5)). Über diese grundlegende Zweckbestimmung hinaus erfüllt die Tragseilbremse jedoch noch weitere Anforderungen.

Bauarttypische Eigenschaft, der heute vorhanden Zweiseil-Pendelbahnen ist, dass es sich nicht um Standardsysteme handelt. Vielmehr werden ZS-Pendelbahnen speziell für jeden Standort unter Berücksichtigung des Bedarfs (Streckenprofil, Nutzungsart, Beförderungskapazität, etc.) und der standorttypischen Umgebungsbedingungen (v.a. geographische und geologische Faktoren) geplant und gebaut. ZS-Pendelbahnen sind aufgrund Ihrer Bauart (große Stützweiten, steile Trassenführung, große Bodenabstände) geradezu prädestiniert, besonders schwierige Geländesituationen zu überwinden.

Aufgrund der besonders vielfältigen, von Anlage zu Anlage stark variierenden konstruktiven Ausführungen wird es für die nachfolgenden Untersuchungen besonders wichtig, eine klare Definition und Abgrenzung des betrachteten Systems zu schaffen.

2.1 Definition der Bezugssysteme

Für die Ermittlung von Risiko-Kennzahlen ist es notwendig Bezugssysteme festzulegen. Diese Bezugssysteme sind hinsichtlich der Bauart (d.h. technische Ausrüstung und Komponenten) aber auch in Bezug auf Kennzahlen wie Fahrzeugkapazität, Füllgrad, etc. zu definieren. Dies ist unter anderem notwendig, um die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß der Ereignisse beurteilen zu können.

Damit sind einerseits die Systeme festzulegen, aus denen die Daten/Zahlen gewonnen werden (derzeitiger Bestand) und andererseits die zukünftigen Systeme zu beschreiben, auf welche die ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten und Gefährdungsausmaße unter Berücksichtigung der zukünftigen Normen übertragen werden.

Die Bezugssysteme der ZS-Pendelbahnen berücksichtigen jeweils die gesamte Ausrüstungsvielfalt der Anlagen, z.B. mit 1 oder 2 Tragseilen, mit verschiedenartigen Bremssystemen etc. Es wird angenommen, dass zukünftige Anlagen in einer ähnlichen Ausrüstungsvielfalt gebaut werden.

Die Kennzahlen der betrachteten Bezugssysteme (z.B. Fahrzeuggrößen, Beförderungszahlen, Fahrtenzahl, Streckenlänge etc.) sind in Kapitel 4.9 zusammengestellt.

2.1.1 Bezugssystem mit Tragseilbremse

Das System ist mit einer Tragseilbremse ausgerüstet, die bei Zugseilriss automatisch über die Schlaffseilerkennung und bei Übergeschwindigkeit des Fahrzeugs oder Kollision mit einem Hindernis manuell (i.d.R. vom Wagenbegleiter) ausgelöst werden kann und das Laufwerk des Fahrzeugs am Tragseil abbremst. Die Anzahl der von der Tragseilbremse betätigten Bremszangen pro Laufwerk variiert je nach Fahrzeuggröße, Fahrgeschwindigkeit und Neigung. ZS-Pendelbahnen mit einem Tragseil besitzen in der Regel je Laufwerk 2 bis 4 Tragseilbremseinheiten (i.d.R. Zangen oder Stößel).

2.1.2 Bezugssystem ohne Tragseilbremse

Das ZS-Pendelbahnsystem ohne Tragseilbremse ist in der Grundstruktur weitgehend ähnlich aufgebaut wie das System mit Tragseilbremse. In einzelnen Details können Baugruppen jedoch unterschiedlich ausgeführt werden. So kann z.B. das Laufwerk kürzer gebaut werden, da der konstruktiv benötigte Bauraum für die Tragseilbremse entfällt. Das Gehänge kann kürzer ausgeführt werden, da die hohen Verzögerungen der verschiedenen Lastfälle und die damit verbundene Auspendelung des Fahrzeugs infolge „Tragseilbremsung“ nicht auftreten.

2.1.3 Zukünftige ZS-Pendelbahnsysteme nach prEN 12929-1 und prEN 12929-2

Im Rahmen des Risikovergleichs werden die beiden zukünftigen Systeme

- ZS-Pendelbahnen mit Tragseilbremse gemäß prEN 12929-1 (2004) und
- ZS-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse mit den ergänzenden Anforderungen nach prEN 12929-2 (2004)

auf der Basis von Risikozahlen beurteilt. Auf Grundlage der recherchierten Ereignisse des früheren und heutigen Bestandes wird für das Risiko eine zukünftig erwartete Gesamtheit abgeschätzt.

Technische Ausrüstung:

Die zu beurteilenden ZS-Pendelbahnsysteme werden hinsichtlich Bauart und technischer Ausrüstung gemäß den zukünftigen Normen für ZS-Pendelbahnen mit Tragseilbremse (**prEN 12929-1**) und ohne Tragseilbremse mit den ergänzenden Anforderungen nach (**prEN 12929-1** und **prEN 12929-2**) definiert. Gemäß prEN 12929-2 werden für ZS-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse höhere Anforderungen für die Unversehrtheit des Zugseils und des Tragsystems der Zugseilschleife gestellt sowie weitere zusätzliche Anforderungen erhoben.

Kennzahlen:

Zur Beurteilung des Risikos wird angenommen, dass die zukünftig errichteten ZS-Pendelbahnen hinsichtlich Streckendaten und Kennzahlen (Fahrzeuggröße, Beförderungskapazitäten, Fahrtenzahlen) Anlagen entsprechen, die in den letzten 20 Jahren neu erbaut wurden.

Betriebsweise:

Es wird angenommen, dass die zu beurteilenden zukünftigen Anlagen ganzjährig in einem Gebiet betrieben werden, in dem im Winter mit Schnee und Eis zu rechnen ist, hingegen im Sommer Temperaturen über dem Gefrierpunkt herrschen.

2.2 Eingrenzung der Risikobetrachtung

Der Risikovergleich wird in Anlehnung an das Verfahren der Risikobeurteilung nach **EN 1050** durchgeführt.

2.2.1 Lebensphasen

Die durchgeführte Risikobeurteilung bezieht sich ausschließlich auf die Lebensphase **Einsatz/Gebrauch**, die die Bereiche Betrieb, Überwachung, Instandhaltung, Verfahrensänderung/Umrüsten einschließt. Gefährdungen, die von anderen Lebensphasen wie Bau, Transport, Inbetriebnahme, Außerbetriebnahme, Abbau / Demontage, Entsorgung ausgehen, vgl. **DIN EN ISO 12100-1** Abschn. 5.3 (ehemals: **EN 292-1** 3.11a 5.3), werden nicht untersucht, da sie nicht direkt die beförderten Personen betreffen.

Dabei wird jedoch nicht nur die reine Betriebszeit mit öffentlichem Personenverkehr betrachtet, sondern auch während der Betriebsphasen regelmäßig durchgeführte Arbeiten wie Revision / Wartung, Fehlersuche, Umrüstung, Änderungen im Betriebsprogramm, sofern sie die Betriebsphase mit Personenverkehr betreffen. Diese Erweiterung ist notwendig, da sich bei der Recherche der eingetretenen Unfälle gezeigt hat, dass Gefahren häufig auch dadurch entstehen, dass nach Abschluss einer Wartungsphase einige Funktionen nicht sicher wieder hergestellt bzw. Bauteile nicht richtig installiert sind. Eine weitere Gefahr geht davon aus, dass in einigen Fällen aus Zeitgründen (organisatorische Ursache) auf die durchzuführenden Kontrollfahrten verzichtet wird.

Gefährdungen, die unmittelbar in Reparatur-, Wartungs- und Revisionsprozessen auftreten, betreffen in der Regel das Betriebspersonal der Bahn oder die beauftragten Techniker. Die dabei eingetretenen Gefahren werden nicht bei der Ermittlung der Risikokennzahlen berücksichtigt, auch wenn sie mit der Tragseilbremse in Verbindung gebracht werden können. Diese Unfälle sind im wesentlichen Abstürze (z.B. durch Einfallen der TSB bei der Revision oder beim Lösen der TSB), wobei die Arbeiten nicht vorschriftsmäßig (in den meisten Fällen ohne Absturzsicherung) durchgeführt wurden.

2.2.2 Verwendungsgrenzen

Im Rahmen der Risikobeurteilung wird sowohl die bestimmungsgemäße Verwendung als auch ein vernünftigerweise vorhersehbarer Missbrauch oder eine Fehlfunktion der Anlagen betrachtet, vgl. **DIN EN ISO 12100-1** Abschn. 5.2 (EN 292-1 Abschn. 3.12, 3.12A, 5.1).

Damit werden neben dem reinen Betrieb auch Fälle, wie Auslösen der Tragseilbremse durch Fahrgäste, Beseitigung eines Zugseilüberschlags mit Hilfe der Tragseilbremse etc., berücksichtigt.

2.2.3 Einsatzbereich / Nutzer

Uneingeschränkter öffentlicher Personentransport (nicht sachkundige Fahrgäste).

3 Daten

Für die Berechnung der Risikokennzahlen werden neben Daten zu Unfällen und Schadensfällen auch statistische Daten zum Anlagenbestand und zur technischen Ausrüstung benötigt, siehe Bild 1.

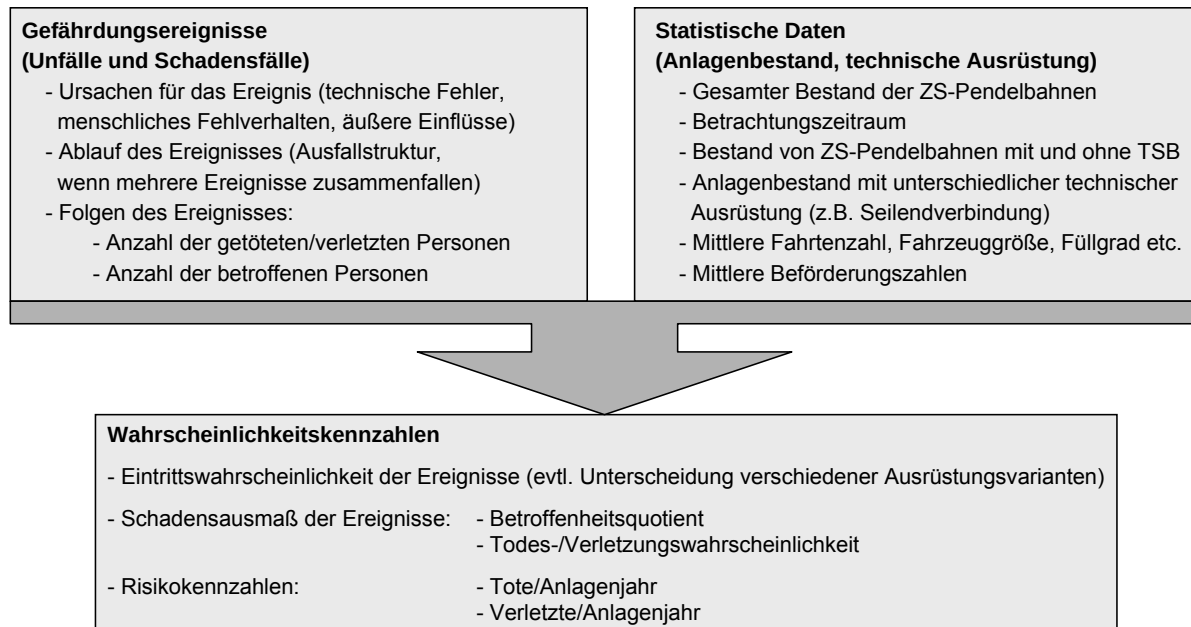


Bild 1: Übersicht über die benötigten Daten zur Bildung der Wahrscheinlichkeitskennzahlen, z.B. der Risikokennzahlen

3.1 Datenrecherche

Den Untersuchungen liegen Unfallberichte, Seilbahn-Bestandsstatistiken und Umfragen bei den Aufsichtsbehörden, (aber auch bei Sachverständigen und Herstellern) zugrunde. Die statistische Daten und die Daten zu Gefährdungsereignissen mit ZS-Pendelbahnen wurden systematisch aus den folgenden Datenquellen zusammengetragen:

- ITTAB-Statistik und Berichte seit 1980
- ITTAB-Zusammenstellungen aus den Jahren 1980 bis 1983 zu Ereignissen mit Fangbremsen, Zugseilen und Tragseilen bei ZS-Pendelbahnen (Datenbasis von Oplatka 1984/2)
- Seilbahn-Datenbank der ETH-Zürich
- Fragebogen an die Aufsichtsbehörden der Länder
- Literatur, z.B. ISR, Weltseilbahnstatistik, OITAF-Statistik

Durch Auswertung der ITTAB-Statistiken und der ITTAB-Berichte zu den Ereignissen konnten die wesentlichen statistischen Daten und Informationen zu den Unfällen und Schadensfällen zusammengetragen werden. Die Datenrecherche, die zunächst auf den Zeitraum 1980-2002 eingegrenzt war, wurde nach einer Vorauswertung der Daten auf den Zeitraum 1908-2002 erweitert - sofern dazu Daten vorlagen -, um eine aussagekräftige Datenbasis zu erhalten. Weitere Daten stammen aus der Seilbahn-Datenbank der ETH Zürich, in der unter anderem Unfälle und Ereignisse über viele Jahre zusammengetragen und dokumentiert wurden.

Nach Vorauswertung der recherchierten Ereignisse wurden Fragebogen an die Aufsichtsbehörden der Länder versandt, um weitere Informationen und Details zu den ermittelten Ereignissen und zur technischen Ausrüstung zu erhalten. Aus allen wichtigen Seilbahnländern (Deutschland, Österreich, Schweiz, Frankreich, Italien und Norwegen) ist die Rückmeldung der Fragebogen erfolgt.

3.1.1 Fragebogen zu den Ereignissen

Details zu den recherchierten Unfällen und Schadensfällen sowie Ursachen und Auswirkungen (Sach-/Personenschäden) der Ereignisse und technische Details zur Anlage wurden mit Hilfe von Fragebögen, Bild 2, direkt bei den technischen Aufsichtsbehörden der Länder, erfragt.

Fall Nr.: 98/01 Datum des Vorfalles: 3. Februar 1998		Gefährdete Personen Wagen 1: 20 + 1 Wagen 2: 1 an anderen Orten: _____ Anzahl der Wageninsassen: _____ Anzahl der leicht Verletzten: _____ Anzahl der Schwerverletzten: _____ Anzahl der Toten: 20 + 1	
Fragen zur Anlage und zum Vorfall Anlage Name / Ort / Land: Cermis, Cavalese, Italien Beschreibung des Vorfalles Flugzeug durchtrennt Trag- und Gegenseil einer Fahrbahn. Die Kabine stürzt ab. Die Kabine am noch intakten Tragsseil wird von der Tragsseilbremse abgebremst und gehalten. 20 Tote. <i>Das Seil wurde ca. 30 m unterhalb der Kabine durchtrennt.</i> Ursache des Vorfalles genaue Schilderung der Unfallursache und der Folgen Schlafentlastung der TSB? <i>ja</i> Ursache des Vorfalles: ☐ Versagen mechanischer Bauteile ☒ Versagen elektrischer Bauteile ☒ menschliches Fehlverhalten ☐ Äußere Einflüsse Folgen des Vorfalles: ☒ keine ☒ Sachschaden ☒ Personenschaden: leicht Verletzte _____, Schwerverletzte _____, Tote _____ Betriebszustand während des Vorfalles: ☒ Fahrbetrieb ☐ Betriebsfahrt ☐ Außer Betrieb Betroffene des Vorfalles: ☒ Fahrgäste ☐ Betriebspersonal *Mehrfachnennung möglich		Spezifische Fragen zum Vorfall a) Ereignisse mit Tragsseilbremse Wurde die Tragsseilbremse ausgelöst? Wagen 1: ☒ ja ☐ nein War die Bremswirkung ausreichend? Wagen 1: ☐ ja ☐ nein falls nein, Gründe: _____ b) Ereignisse mit Tragsseilentlastung Tragsseilentlastung: ☐ nach außen ☐ nach innen Anlagendaten zum Zeitpunkt des Vorfalles Statistische Daten / Leistungsdaten Baujahr / Umbaujahr: 1987 / 1986 Hersteller: Hölzl Kabinenkapazität (Pers./Kabine): 40+1 Höhenunterschied (m): 719 Streckenlänge (m): 2338 max. Förderleistung (Pers/h): 450 Anzahl der Beförderten pro Jahr: 65.000 Mittelwert/Besuch/Jahr: _____ Fahrlanzahl pro Jahr: _____ Mittelwert/Besuch/Jahr: _____ Betriebsart: ☐ ganzjährig ☒ Winter ☒ Sommer Betriebsdage pro Jahr: 180 Technische Daten Fahrgeschwindigkeit (m/s): 10 Anzahl der Stützen: 2 Anzahl der Fahrbahnen / Fahrzeuget: ☐ 1 ☒ 2 Anzahl der Tragsseile je Fahrbahn: ☒ 1 ☐ 2 Anzahl der Zugseilsechellen: ☒ 1 ☐ 2 Lage des Antriebs: ☒ Bergstation ☐ Talstation Abspannung des Zugseils: ☐ Bergstation ☒ Talstation Abspannung des Tragsseils: ☐ fest ☒ Spannungswicht Kopierwerk: ☒ Mechanisch ☒ Elektrisch Zugseilend- verbindung: ☒ Versenk ☐ Klemmkopf ☐ Trommel ☐ Split → Anbindung am Laufwerk: ☐ (Federstapler-)Klemme ☐ Chapeau d. G. Bremsen a) Betriebsbremse ☐ hydraulisch ☒ pneumatisch Angriffspunkt: Motor ☒ Getriebe ☐ Antriebs- schneife b) Sicherheitsbremse ☐ hydraulisch ☐ pneumatisch ☒ mechanisch c) Tragsseilbremse: ☒ ja ☐ nein Anzahl der Tragsseilbremsen pro Laufwerk: 2 Lüfterprinzip: ☐ hydraulisch ☐ hydraulisch gelüftet, mechanisch verriegelt ☒ mechanisch	

Bild 2: Fragebogen zu den Ereignissen

3.1.2 Fragebogen zum ZS-Pendelbahnbestand und zur technischen Ausrüstung des ZS-Pendelbahnbestandes

Grundlage zur Erfassung des ZS-Pendelbahnbestandes und der Beförderungszahlen sind die jährlich in den ITTAB-Statistiken aufgeführten Daten, sowie die regelmäßig erscheinende Weltseilbahnstatistik.

Daten zur technischen Ausrüstung der derzeitigen Anlagen, die in den veröffentlichten Statistiken nicht erfasst sind, wurden mit Hilfe eines Fragebogens (Bild 3) ermittelt, der an die technischen Aufsichtsbehörden versandt wurde. Für die Auswertung sind insbesondere Daten zu den Zugseilendverbindungen und zur Zugseilbefestigungen am Laufwerk wichtig. Ein wesentlicher Unterschied von ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragsseilbremse bezieht sich auf die technische Ausführung der Zugseilsechelle, die in den Normen festgelegt ist.

Land: _____

Fragen zu den derzeitigen Pendelbahn-Anlagen

Dieser Fragebogen dient nur zur Bestimmung der ungefähren Größenordnungen. Es reicht aus wenn Sie prozentuale Schätzwerte eintragen. Selbstverständlich sind auch absolute Zahlenangaben möglich.

Technische Ausrüstung:

1.) Durchschnittliche jährliche Fahrtenzahl einer Pendelbahnanlage: _____

2.) Anteil an Anlagen mit 1 Tragseil je Fahrbahn: _____ %

3.) Anteil an Anlagen mit 1 Zugseilschleife: _____ % 2 Zugseilschleifen: _____ % 3 Zugseilschleifen: _____ %

4.) Anteil an Anlagen mit Antrieb in der Talstation: _____ %

5.) Anteil an Anlagen mit mechanischem Kopierwerk: _____ %

6.) Zugseilverbindungen: Anteil an Anlagen mit

a) Vergußkopf	_____ %		
b) Klemmkopf	_____ %		
c) Trommel	_____ %		
d) Spleiß	_____ %		
Gesamt:	100%		

Anbindung am Laufwerk:

d.1) Klemme:	_____ %		
d.2) Chapeau d. G.:	_____ %		
Gesamt:	100%		

7.) Anteil an Anlagen bei denen die Betriebsbremse auf der Antriebsscheibe angreift: _____ %

8.) Anlagen ohne Tragseilbremse: Anzahl: _____ oder Anteil: _____ %

Lüftprinzip bei Anlagen mit Tragseilbremse:

a) hydraulisch	_____ %		
b) hydr. geöffnet, mech. verriegelt (Mäusefalle)	_____ %		
Gesamt:	100%		

Vorfälle: (Schätzwerte)

9.) Tragseilbremsungen in den letzten 10 Jahren:

a) Bestimmungsgemäße Tragseilbremsungen	Anzahl: _____	
b) Nicht bestimmungsgemäße Tragseilbremsungen ausgelöst durch Passagiere	Anzahl: _____	
c) Nicht bestimmungsgemäße Tragseilbremsungen ausgelöst durch techn. Defekte	Anzahl: _____	

10.) Anzahl von Tragseilentgleisungen in den letzten 10 Jahren: _____
(auch Vorfälle außer Betrieb und ohne Folgen)

11.) Anzahl von unkontrollierten Fahrbewegungen oder Überschwindigkeiten in den letzten 10 Jahren: _____
(auch Vorfälle ohne Folgen)

Bild 3: Fragebogen zum ZS-Pendelbahnbestand und zur technischen Ausrüstung

3.2 Datenbasis/-umfang

Eine statistisch repräsentative Auswertung kann nur unter Berücksichtigung des europäischen Datenbestands durchgeführt werden. Die Datenbasis von ZS-Pendelbahnen mit Tragseilbremse in Deutschland ist für eine zuverlässige Aussage zu gering, ZS-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse sind in Deutschland nach der nationalen Norm (BOSeil) nicht zugelassen.

Unfälle und Schadensfälle (Ereignisse) bei ZS-Pendelbahnen in Europa werden den technischen Aufsichtsbehörden der jeweiligen Länder regelmäßig angezeigt. Bei den jährlich stattfindenden ITTAB-Tagungen berichten die Aufsichtsbehörden gegenseitig über aktuelle Unfälle und Ereignisse. Die in einzelnen Ländern eingetretenen Gefährdungsereignisse werden in Datenblättern (**ITTAB-Statistik**) zusammengestellt. Unfälle und Ereignisse, die schwere Schäden (d.h. größere Sachschäden oder Personenschäden) zur Folge haben, sind darin vollständig aufgeführt.

Zusätzlich werden in den **ITTAB-Berichten** Ereignisse, die in Europa eingetreten sind (vereinzelt auch weltweite Ereignisse von besonderem Interesse oder besonderer Schwere), ausführlich besprochen und diskutiert. Auf Grundlage dieser Datenbasis ist eine systematische Auswertung der Unfälle/ Schadensfälle möglich. Neben einem großen Anlagenbestand steht gleichzeitig ein großer Betrachtungszeitraum zur Verfügung.

Nicht alle Unfälle und Schadensfälle bei Zweiseilpendelbahnen gelangen den Aufsichtsbehörden bzw. den Sachverständigen zur Kenntnis. In der Regel betrifft dies jedoch nur Ereignisse, die ohne große Folgen, d.h. ohne nennenswerten Personen- und Sachschaden, geblieben sind. Die Dunkelziffer an schweren Unfällen kann als gering eingeschätzt werden, so dass für schwere Unfälle eine nahezu vollständige Datenbasis vorliegt.

Für eine quantitative Auswertung müssen die erfassten Gefahrenereignisse auf den jeweiligen Bestand der Anlagen bezogen werden. Der betrachtete Bestand ist daher genau zu definieren. Die quantitative Auswertung der Daten konzentriert sich auf Europa. Die Ereignisse in Europa werden ergänzt durch die in ITTAB vorgetragenen schweren Unfälle weltweit. Die Datenbasis zu den weltweiten Ereignissen ist jedoch nicht vollständig, so dass die Auswertung auf Europa bezogen wird. Eine Beschränkung auf Europa ist auch hinsichtlich des technischen Ausrüstungsstandes der Anlagen wichtig, da die Überwachungsvorschriften in Europa weitgehend bekannt und in weiten Bereichen ähnlich sind.

Alle Ereignisse mit ZS-Pendelbahnen, die der Aufsicht der technischen Behörde unterliegen, werden bei der Auswertung berücksichtigt. Kleinseilbahnen in der Schweiz mit kantonaler Konzession werden in die quantitative Auswertung nicht einbezogen. Einzelne besondere Fälle, die weltweit oder bei Werk- und Kleinseilbahnen eingetreten sind, werden untersucht und überprüft. Sie werden nur dann berücksichtigt, wenn es möglich ist, dass diese Ereignisse auch an Anlagen des definierten Bestandes auftreten könnten.

Der Umfang an Daten und die Detailtiefe ist bei einzelnen Ereignissen sehr unterschiedlich. Die über den Fragebogen angeforderten Daten (z.B. die Anzahl der betroffenen Personen) konnten nicht in allen Fällen beantwortet werden. Insbesondere bei älteren Ereignissen sind die Daten oftmals lückenhaft. Da die Anlagen z.T. bereits abgebaut sind, wurden die Unterlagen aus den Archiven der Behörden entfernt.

3.2.1 Definition Europa

Europäische Länder mit großem Seilbahnbestand sind bei den ITTAB-Tagungen regelmäßig vertreten. Für den Zeitraum 1980 bis 2002 liegen für die folgenden 11 Länder

- Andorra
- Deutschland
- Frankreich
- Italien
- Norwegen
- Österreich
- Polen
- Schweden
- Schweiz
- Spanien
- Tschechien (bzw. CFSR)

Ereignisse, Unfälle und Schadensfälle sowie Daten zu Schwerverletzten und Toten ebenso wie Bestands- und Beförderungsdaten nahezu umfassend vor.

3.2.2 Betrachtungszeitraum

Systematisch recherchiert wurden Gefährdungereignisse bei europäischen Anlagen im Betrachtungszeitraum 1980 bis 2002.

Die Ereignisse mit Fangbremsen, Zugseilen und Tragseilen von 1909 bis 1983, die in ITTAB-Tagungen der Jahre 1980-1983 zusammengestellt und ergänzt wurden und u.a. von **Oplatka 1984/2** ausgewertet worden sind, wurden integriert und ebenfalls für die Auswertung genutzt, um die Datenbasis zu erhöhen.

Zur Auswertung der Ereignisse werden die Betrachtungszeiträume

- T_1 (1980-2002),
- T_2 (1908-2002) und
- T_3 (1908-1979)

unterschieden.

Das Risiko wird auf der Basis der beiden unterschiedlichen Betrachtungszeiträume T_1 und T_2 abgeschätzt. D.h. in einer Berechnung werden nur die im Zeitraum T_1 eingetretenen Ereignisse berücksichtigt, die zweite Berechnung basiert auf allen bekannt gewordenen Ereignissen im Zeitraum T_2 .

3.3 Kennzahlen für den quantitativen Risikovergleich

Der Risikovergleich wird vorrangig auf der Basis „Tote pro Anlagenjahr“ geführt. Die Beschreibung des Risikos anhand von Todesfallrisiken ist ein übliches Verfahren, vgl. **Merz/Schneider/Bohnenblust 1995**. „In diesem Bereich liegen national und international die größten Erfahrungen vor, weil während langer Zeit der Schutz des menschlichen Lebens im Vordergrund lag. In vielen Sicherheitsfragen ist auch heute noch immer der Schutz des Menschen das dominierende Anliegen. Mit der bewussten Einschränkung auf Todesfallrisiken und Verletzungsrisiken wird ein Bereich der Bewertung von Risiken, nämlich die Definition von Schäden nicht behandelt.“

Tote charakterisieren die schwerste Auswirkung. Da Tote in jedem Fall gemeldet werden, ist zur Beschreibung des Todesrisikos zudem die vollständigste Datenbasis vorhanden. Bei den Verletzungen sind große Unterschiede gegeben, da der Grad der Verletzungen stark differieren kann, von leichten Verletzungen bis hin zu schwersten Verletzungen. Die Risikokennzahl „Verletzte pro Anlagenjahr“ wird daher nur untergeordnet betrachtet. Eine Auswertung im Hinblick auf Sachschäden ist mit der vorhandenen Datenbasis nicht möglich.

In den ITTAB-Statistiken sind Ereignisse aufgeführt,

- die zum Tod oder einer schweren Verletzung geführt haben,
- bei denen eine Sicherheitseinrichtung nur unzureichend funktionierte oder nicht vorhanden war oder
- die zum Tod oder zu einer schweren Verletzung hätten führen können.

Tote sind Personen, die sofort oder innerhalb einer Woche an den Verletzungen sterben. Schwere Verletzungen sind Knochenbrüche oder abgetrennte Glieder oder längerer Krankenhausaufenthalt von mehr als einer Woche.

4 Auswertung der Daten des Zweiseil-Pendelbahnbestands

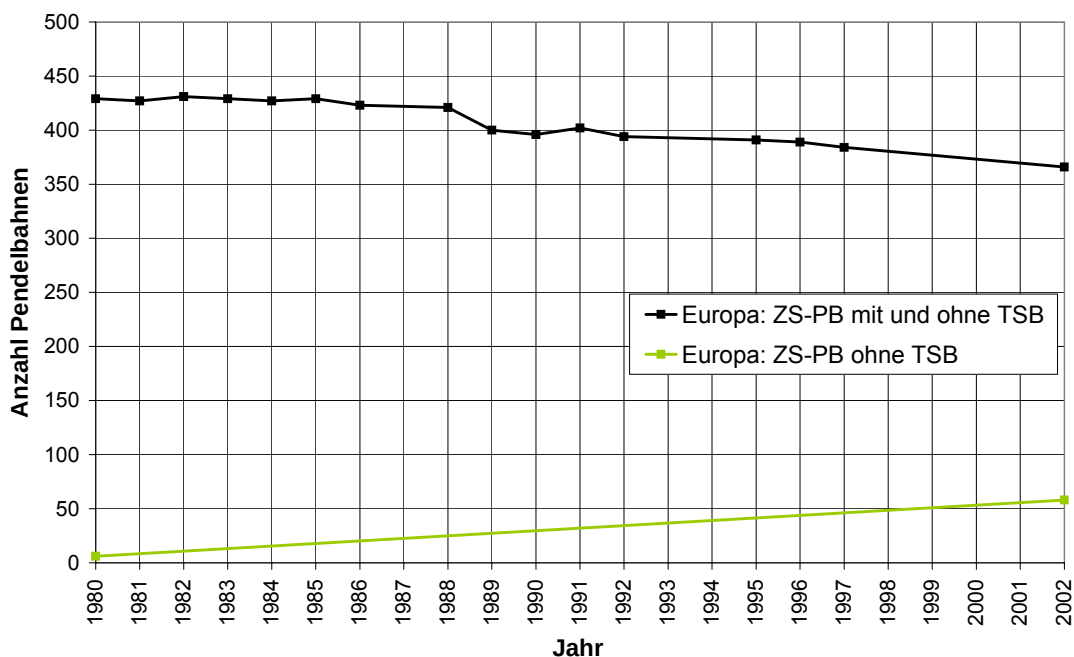
4.1 Bestandserfassung

Grundlage der Bestandserfassung bildet der in den ITTAB-Berichten angegebene Bestand an Zweiseil-Pendelbahnen, für die Länder „Europa“. Daten zum weltweiten Bestand wurden aus verschiedenen Quellen, u.a. aus den Weltseilbahnstatistiken ermittelt.

4.2 Gesamtbestand ZS-Pendelbahnen

Bestand an ZS-Pendelbahnen in Europa seit 1980

Die Entwicklung des ZS-Pendelbahnbestandes mit und ohne Tragseilbremse in Europa seit 1980 ist in Bild 4 dargestellt.



**Bild 4: Entwicklung des ZS-Pendelbahnbestandes in Europa 1980-2002,
Quelle: ITTAB**

Der Gesamtbestand an Zweiseil-Pendelbahnen in Europa ist seit 1980 von 429 Anlagen auf 366 Anlagen im Jahre 2002 zurückgegangen. Im Betrachtungszeitraum T_1 von 1980 bis 2002 ($T_1=23$ Jahre) beträgt der Anlagenbestand im Mittel

$$A_E = 409. \quad (4.1)$$

Im Zeitraum 1980 bis 2002 betrug die Abnahme 15%, pro Jahr beträgt der Rückgang etwa 0,64%.

Bestand an ZS-Pendelbahnen in Europa seit 1908

Die ersten Seilschwebbahnen für den öffentlichen Personentransport, die mit den heutigen ZS-Pendelbahnen vergleichbar sind, wurden im Jahre 1908 in Bozen (Kohlerbahn) und in Grindelwald (Wetterhornaufzug) errichtet, **Bittner 1984**. Sie enthalten bereits viele Einrichtungen moderner ZS-Pendelbahnen, wie z.B. Tragseilbremse ausgelöst durch Schlaffseil oder von Hand, Einfahrüberwachung, Übergeschwindigkeitsauslösung, usw., vgl. **Schlunegger 1984**.

Ausgehend von den beiden ersten Anlagen in Europa im Jahre 1908 kann die Entwicklung des Seilbahnbestands seit 1908 näherungsweise abgeschätzt werden. 1939 existieren in Europa etwa 100 Seilschwebbahnen, **Faszination Seilbahn**. Weitere Datenquellen zum ZS-Pendelbahnbestand bilden die regelmäßig veröffentlichten Seilbahnstatistiken, z.B. **Weltseilbahnstatistik 1999**. Der ZS-Pendelbahnbestand bis zum Jahre 1980 kann aus den in der Statistik angegebenen Eröffnungsjahren der Anlagen abgeschätzt werden. Die Zunahme der ZS-Pendelbahnen über die Jahre, kann anhand der Baujahre heute noch existierender Anlagen abgelesen werden (siehe gestrichelte Linie in Bild 5). Man erkennt zwei signifikante Abschnitte: Eine mäßige Zunahme der ZS-Pendelbahnen bis ca. 1950 und eine starke Zunahme der ZS-Pendelbahnen ab 1950. Anlagen, die in der Zwischenzeit bereits abgebaut wurden, sind dabei nicht erfasst.

Dieser Verlauf ist auch in der Literatur beschrieben, vgl. **Seilbahnnostalgie**. Die große Erschließung der Skigebiete wurde in den Jahren 1945-1950 begonnen, der Bestand an ZS-Pendelbahnanlagen nahm seither stark zu. Mitte der 1970er-Jahre war die Erschließung neuer Skigebiete weitgehend abgeschlossen. Ausgelöst durch den Erfolg der kuppelbaren Einseilumlaufbahnen, die verstärkt seit ca. 1970 im Einsatz sind und deutlich höhere Förderkapazität erreichen, ist seit etwa 1980 ein Rückgang bei den ZS-Pendelbahnen zu verzeichnen.

Für den ZS-Pendelbahnbestand über den Betrachtungszeitraum 1908 bis 2002 wird der in Bild 5 eingezeichnete Verlauf abgeschätzt (aus den Baujahren abgeleitet).

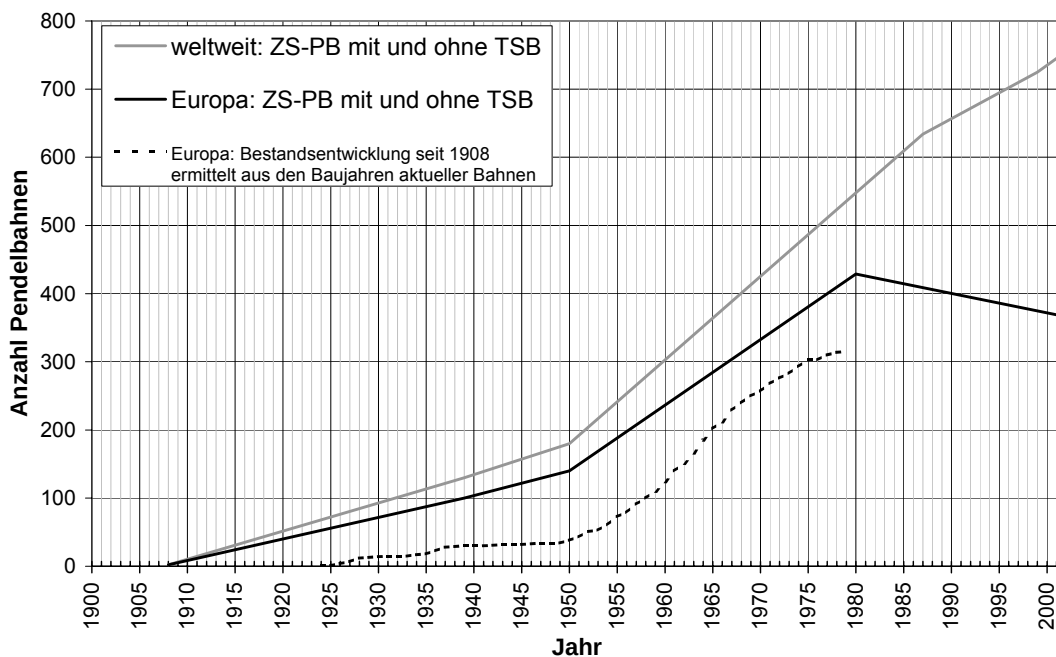


Bild 5: ZS-Pendelbahnbestand in Europa und weltweit seit 1908

Bestand an ZS-Pendelbahnen weltweit seit 1908

Für den weltweiten ZS-Pendelbahnbestand mit und ohne TSB liegen Zahlen von 1999 und 1987 vor. Im Jahre 1999 existieren weltweit etwa 725 ZS-Pendelbahnen, **Weltseilbahnstatistik 1999**. Weltweit hat der ZS-Pendelbahnbestand bis zum Jahre 1999 und vermutlich auch danach ständig zugenommen, u.a. in China. Die Entwicklung des weltweiten ZS-Pendelbahnbestands seit 1908 wird daher gemäß der in Bild 5 eingetragenen Linie angenommen.

4.3 Aufteilung des ZS-Pendelbahnbestandes in Europa in Anlagen mit und ohne Tragseilbremse

ZS-Pendelbahnbestand ohne Tragseilbremse in Europa seit 1980

Zwei Anlagen ohne Tragseilbremse mit 3 parallelen Zugseilen wurden 1955 in Grenoble (Aiguille du Midi) gebaut, **Redaktion ISR 1984**. 1978 wurden von der französischen Behörde ZS-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse mit zwei Zugseilen für den öffentlichen Personentransport zugelassen. Bis Anfang der 1980er Jahre sind weitere vier Anlagen mit zwei Zugseilen ohne Tragseilbremse in Betrieb genommen worden. (**Creissels 1981**, **Redaktion ISR 1984**). 1983 wurde in einer Studie die Sicherheit von ZS-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse mit einer Zugseilschleife geprüft, **Larquetout 1984**. Auf Grundlage der Ergebnisse des Fehlerbaums wurde 1984 in Courchevel die erste ZS-Pendelbahn ohne Tragseilbremse mit einer Endloszugseilschleife gebaut, **Jumbo-Seilbahn Courchevel**. Dabei wurden auf Basis des Fehlerbaums verschiedene Maßnahmen vorgesehen, um die Sicherheit zu erhöhen, z.B. Kontrolle der Fahrzeuge bei der Stationseinfahrt, Kontrolle der Zugseilspannung, Seilfangvorrichtung auf den Streckenrollen, Entgleisungsschutz auf den Scheiben, zerstörungsfreie Kontrolle der Spannscheiben, Achsen und tragenden Teile.

Im Jahre 2002 existierten in den europäischen Ländern ca. 58 ZS-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse:

- Frankreich: 24 Anlagen
- Norwegen: 16 Anlagen
- Österreich: 11 Anlagen
- Schweiz: 6 Anlagen
- Andorra: 1 Anlage

In Deutschland und Italien sind alle ZS-Pendelbahnen mit Tragseilbremsen ausgerüstet. Nimmt man einen linearen Anstieg der ZS-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse seit 1980 an, vgl. Bild 4, erhält man im Betrachtungszeitraum $T_1=23$ Jahre einen mittleren Anlagenbestand von ZS-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse von

$$A_{E,OT}=32. \quad (4.2)$$

Der Anteil von ZS-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse am Gesamtbestand hat von 1,4% im Jahre 1980 auf 15,8% im Jahre 2002 zugenommen.

ZS-Pendelbahnbestand mit Tragseilbremse in Europa seit 1980

Für den Betrachtungszeitraum 1980 bis 2002 ($T_1=23$ Jahre) erhält man unter Berücksichtigung der ZS-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse einen mittleren Anlagenbestand mit Tragseilbremse von

$$A_{E,mT}=377. \quad (4.3)$$

4.4 Anlagenjahre

Da der Anlagenbestand über den Betrachtungszeiträumen T_1 und T_2 nicht konstant ist, vgl. Bild 4 und Bild 5, muss neben dem Betrachtungszeitraum T auch der veränderte Umfang des betrachteten Anlagenbestandes A bei der Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeiten berücksichtigt werden, siehe Kapitel 6.2. Um der Entwicklung des Anlagenbestandes in den Betrachtungszeiträumen T_1 und T_2 gleich-

zeitig Rechnung tragen zu können, werden die Kenngrößen Anlagenjahre AT gebildet, siehe Tabelle 1, auf die die eingetretenen Ereignisse bezogen werden.

Tabelle 1: Anlagenjahre AT

		Anlagenjahre		
		(AT) ₁ im Betrachtungszeit- raum T ₁ 1980-2002 (23 Jahre)	(AT) ₃ im Betrachtungszeit- raum T ₃ 1908-1979 (72 Jahre)	(AT) ₂ im Betrachtungszeit- raum T ₂ 1908-2002 (95 Jahre)
Europa: ZS-PB mit und ohne TSB	(AT) _T	9.407	11.304	20.711
Europa: ZS-PB mit TSB	(AT) _{T,mT}	8.671	11.249	19.920
Europa: ZS-PB ohne TSB	(AT) _{T,oT}	736	55	791
weltweit: ZS-PB mit und ohne TBS	(AT) _{T,W}	-	-	30.688

Am weltweiten Bestand haben die ZS-Pendelbahnen in Europa über den gesamten Betrachtungszeitraum von 1908-2002 (T₂=95 Jahre) betrachtet einen Anteil ε von etwa 68%,

$$\varepsilon = \frac{(AT)_2}{(AT)_{2,W}} = 0,68. \quad (4.4)$$

Die für den Zeitraum T₁ (1980-2002) und für den Zeitraum T₃ (1908-1979) ermittelten Anlagenjahre europäischer ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse sind in Bild 6 graphisch dargestellt. Im Vergleich zu den Anlagenjahren, die für ZS-Pendelbahnen mit Tragseilbremse zu Grunde gelegt werden können, ist die Anzahl der Anlagenjahre von europäischen ZS-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse (mit einer oder mehreren Zugseilschleife/n) bislang sehr gering.

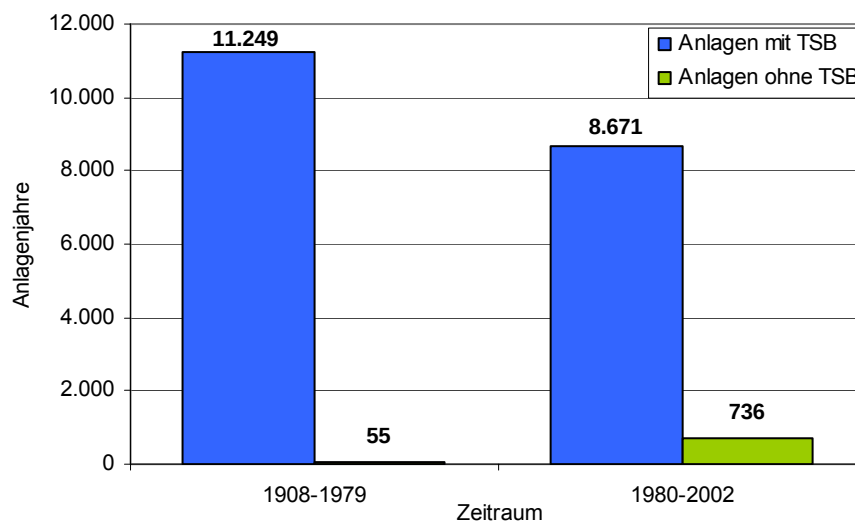


Bild 6: Anlagenjahre des ZS-Pendelbahnbestands mit und ohne TSB in Europa

Im Gegensatz zu den ZS-Pendelbahnen mit TSB liegen zu den betrachteten ZS-Pendelbahnen ohne TSB (speziell auch zu Bahnen mit einer Zugseilschleife) keine ausreichend repräsentative Anzahl an Ereignissen und damit auch keine umfangreiche Erfahrung vor. Da ZS-Pendelbahnsysteme mit und ohne TSB jedoch weitgehend ähnlich aufgebaut sind, können zahlreiche Ereignisse, die bei ZS-Pendelbahnen mit TSB eingetreten sind, auch auf ZS-Pendelbahnen ohne TSB übertragen werden und umgekehrt. Ereignisse, die in Bezug auf die technische Ausrüstung sowohl bei ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse eintreten können, werden auf die Gesamtheit europäischer ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse bezogen.

Der Bestand an Anlagen bzw. der Anteil an Anlagen mit sehr spezifischen Bauteilen und Komponenten, die z.B. ausschließlich oder auch vorwiegend bei ZS-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse eingesetzt werden (endlose Zugseilschleife, Klemme, Chapeau-de-Gendarme, etc.) ist in Kapitel 4.10 dargestellt.

Im Betrachtungszeitraum $T_1=23$ Jahre wird eine Datenbasis von etwa 9.400 Anlagenjahren mit europäischen ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse erfasst. Über den Zeitraum 1908 bis 1979 ($T_3=72$ Jahre) werden zusätzlich weitere 11.300 Anlagenjahre berücksichtigt. Im Vergleich zum Betrachtungszeitraum T_1 liegt dem gesamten Betrachtungszeitraum T_2 etwa die doppelte Anzahl an Anlagenjahren (und damit Datenbasis) zugrunde.

4.5 Beförderungszahlen

Durch die Reduzierung des ZS-Pendelbahnbestandes haben sich auch die jährlichen Beförderungszahlen von Fahrgästen in europäischen ZS-Pendelbahnen reduziert. Bild 7 zeigt den Rückgang der jährlichen Beförderungszahlen seit 1980.

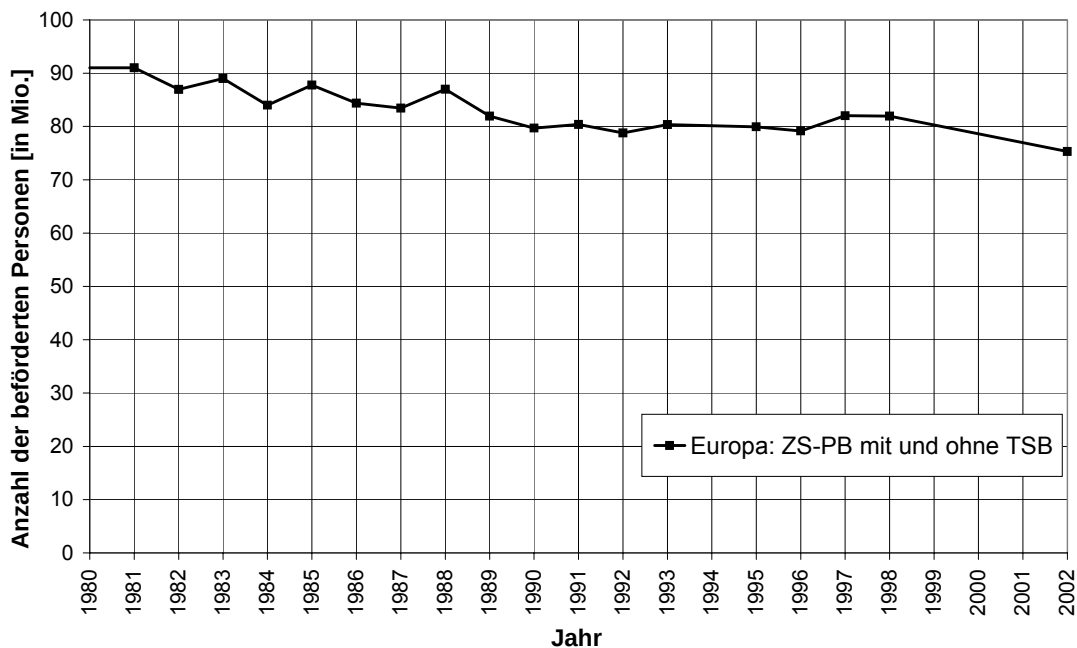


Bild 7: Entwicklung der Beförderungszahlen in Europa 1980-2002, Quelle: ITTAB

Die Anzahl der jährlich beförderten Fahrgäste in europäischen ZS-Pendelbahnen hat im Zeitraum T_1 1980-2002 von etwa 91 Mio. auf 75 Mio. abgenommen. Dies bedeutet eine Reduzierung der jährlichen Beförderungszahl in diesem Zeitraum um 17%.

Im Betrachtungszeitraum T_1 1980-2002 ($T_1=23$) wurden insgesamt 1.908 Mio. Fahrgäste mit den europäischen ZS-Pendelbahnen befördert (Quelle: ITTAB-Statistiken). Im Mittel wurden damit jährlich $B_E=83$ Mio. Personen befördert. Bezieht man die Beförderungszahlen auf die Anzahl an ZS-Pendelbahnen $A_E=409$ ergibt sich hiermit eine Zahl von durchschnittlich 203.000 Fahrgäste pro Anlage und Jahr.

4.6 Fahrzeuggröße

Die Fahrzeuggröße ist ein weiterer Parameter, der das kollektive Todes- und Verletzungsrisiko beeinflusst, da das Schadensausmaß eines Gefährdungsereignisses (vgl. Kapitel 6.3) proportional zur Fahrzeugkapazität ansteigt. Bei der einzelnen Anlage richtet sich die Fahrzeuggröße im wesentlichen nach dem Bedarf und der Wirtschaftlichkeit der Anlage. Der Risikovergleich von ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB wird auf der Basis des mittleren Risikos, d.h. für eine durchschnittliche Fahrzeugkapazität K , geführt.

Entwicklung der Fahrzeuggröße

Neben dem steigenden Beförderungsbedarf hat auch die technische Weiterentwicklung dazu geführt, dass das durchschnittliche Fassungsvermögen der Fahrzeuge und damit die Förderkapazität von ZS-Pendelbahnen im Laufe der letzten 100 Jahre stetig zugenommen hat, siehe Bild 8.

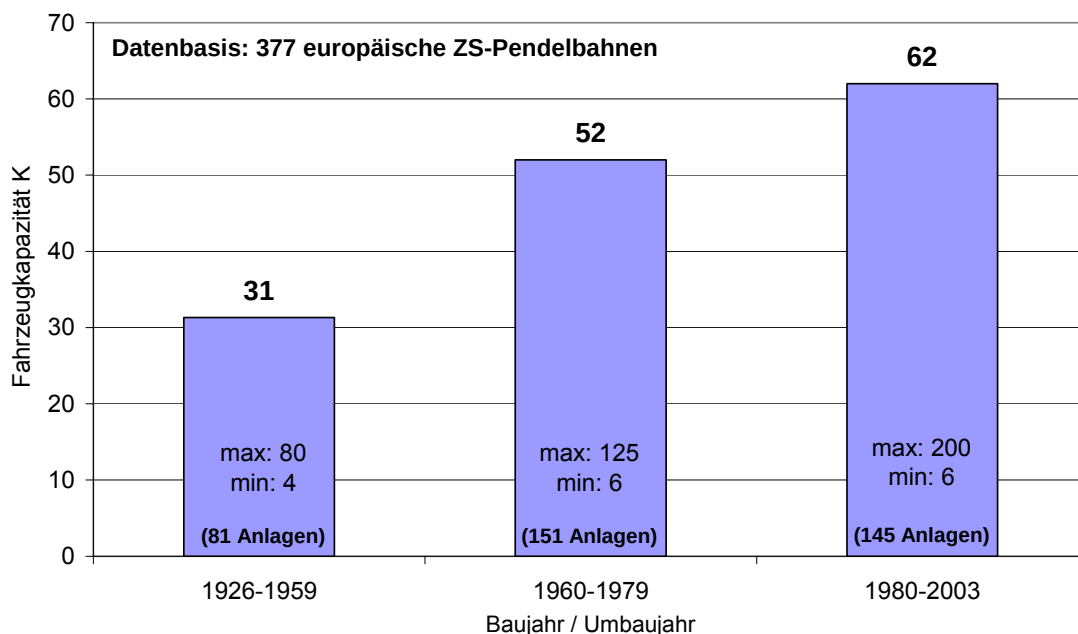


Bild 8: Entwicklung der mittleren Fahrzeugkapazität

Dem Bild 8 liegt eine Datenbasis von 377 ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse zugrunde, darunter 364 bestehende, 9 abgebaute und 4 neuprojektierte Anlagen, die zwischen 1926-2003 gebaut oder umgebaut wurden (Quellen: OITAF Weltseilbahnstatistik, etc.). Fasst man die Anlagen nach Eröffnungsbaujahr bzw. Umbaujahr in Gruppen zusammen, zeigt sich eine Zunahme der mittleren Fahrzeug-

größe. Die in Bild 8 eingetragenen minimalen und maximalen Fahrzeugkapazitäten von Anlagen, die in den entsprechenden Zeiträumen gebaut bzw. umgebaut wurden, zeigen, dass insbesondere das maximale Fassungsvermögen der Fahrzeuge, dessen derzeitiges Maximum bei 200 Personen liegt, stark angestiegen ist. Auf der anderen Seite wurden in den letzten 24 Jahren auch ZS-Pendelbahnen mit einem kleinen Fassungsvermögen (von beispielsweise 6 Personen) gebaut bzw. umgebaut, wenn nur ein geringer Beförderungsbedarf vorhanden war.

Bisherige und zukünftige Fahrzeugkapazität

Die durchschnittliche Fahrzeugkapazität von ZS-Pendelbahnen, die derzeit in Europa in Betrieb sind, beträgt $K_b=51$ Personen, Bild 9.

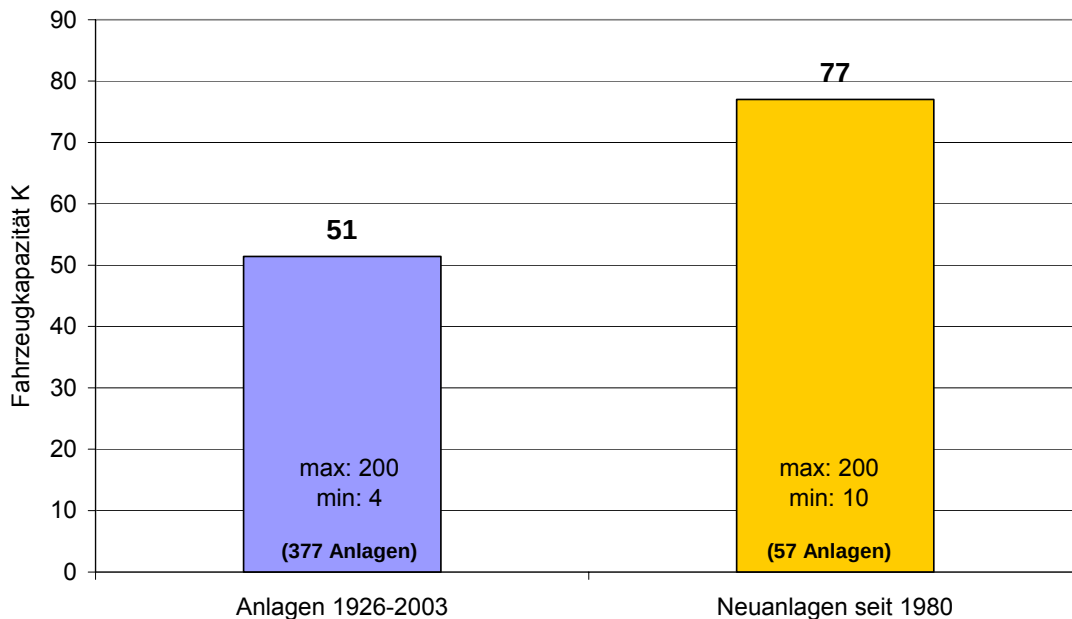


Bild 9: Bisherige und zukünftige Fahrzeugkapazität

Betrachtet man nur die ZS-Pendelbahnen, die seit 1980 neu gebaut wurden (57 Anlagen, ohne Umbauten), so liegt die durchschnittliche Fahrzeuggröße bei $K_z=77$ Fahrgästen. Im Vergleich zum Bestand aller Anlagen besitzen Neuanlagen im Mittel ein um 50% höheres Fassungsvermögen

$$\kappa = \frac{K_z}{K_b} = \frac{77}{51} = 1,5. \quad (4.5)$$

Für den Risikovergleich von zukünftigen Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse wird für die zukünftigen ZS-Pendelbahnen, die an Neuanlagen ermittelte Fahrzeugkapazität K_z angenommen. Damit wird auch berücksichtigt, dass zukünftig nicht nur ZS-Pendelbahnen mit extrem hohem Fassungsvermögen gebaut werden.

Ereignisse, die an zukünftigen ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB eintreten können, wirken sich bei maximaler Befüllung pro Fahrzeug auf K_z Personen aus.

4.7 Mittlerer Fahrzeugfüllgrad

In der Realität unterscheidet sich der Fahrzeugfüllgrad einzelner Anlagen von Fahrt zu Fahrt und auch von Fahrzeug zu Fahrzeug. Dabei spielen sehr viele Faktoren eine Rolle, wie z.B. Wetter, Tageszeit, Wochentag-Wochenende, Sommer- oder Winterbetrieb, Ferienzeiten, Berg- oder Talfahrt etc.

Die Befüllung eines Fahrzeugs, d.h. die Anzahl der von einem eventuellen Unfall betroffenen Personen, ist in den überwiegenden Fällen zufällig und steht nicht mit dem Ereignis in Verbindung. Die Anzahl der betroffenen Personen in den Fahrzeugen ist jedoch maßgeblich für das Ausmaß des eingetretenen Ereignisses. Die Risikoprognose wird auf der Basis einer durchschnittlichen Fahrzeugbefüllung durchgeführt. Dazu wird ein mittlerer Fahrzeugfüllgrad definiert und ermittelt.

Der mittlere Fahrzeugfüllgrad f_1 bestimmt die durchschnittliche Befüllung eines Fahrzeugs bezogen auf das Fassungsvermögen K des Fahrzeugs während einer Fahrt. Es wird eine gleichmäßige Verteilung der beförderten Fahrgäste auf beide Fahrzeuge angenommen.

Für einzelne Anlagen kann unter der Annahme, dass beide Fahrzeuge stets gleich befüllt sind, ein mittlerer Füllgrad eines Fahrzeugs f_1 während einer Fahrt ermittelt werden, wenn die jährliche Fahrtenzahl und die Anzahl der jährlich beförderten Personen bekannt sind,

$$f_1 = \frac{B_{\text{tats.}}}{B_{\text{max}}} = \frac{2 \cdot K \cdot f_1 \cdot n}{2 \cdot K \cdot 1 \cdot n}, \quad (4.6)$$

siehe auch Tabelle 2.

Tabelle 2: Ermittlung des mittleren Fahrzeugfüllgrads einer Anlage

Fellhornbahn 1. Sektion		Fahrzeuggröße K: 100 +1											
Beförderte	Summe	Mai 02	Jun 02	Jul 02	Aug 02	Sep 02	Okt 02	Nov 02	Dez 02	Jan 03	Feb 03	Mrz 03	Apr 03
- Berg	360.072	5.195	15.482	25.643	24.343	15.735	9.675	37	27.390	66.317	86.218	63.331	20.706
- Tal	153.668	4.172	11.862	20.383	17.761	11.526	7.274	43	22.508	20.886	12.439	17.241	7.573
Summe	513.740	9.367	27.344	46.026	42.104	27.261	16.949	80	49.898	87.203	98.657	80.572	28.279

Fahrten Mai 02 - Apr 03	n	10.214
maximal Beförderte (in 2 Richt.)	B_{max}	2.042.800
tatsächlich Beförderte (in 2 Richt.)	$B_{\text{tats.}}$	513.740
Fahrzeugfüllgrad	f_1 [%]	25,1

Bei verschiedenen Anlagen können sich die ermittelten Fahrzeugfüllgrade stark unterscheiden, siehe Tabelle 3.

Tabelle 3: Unterschiedliche Fahrzeugfüllgrade am Beispiel zweier Anlagen

	Fahrzeugkap. K	Beförderte $B_{\text{tats.}}$	Fahrten n	max Bef. B_{max}	Füllgrad f_1
Seealpe - Nebelhorn	60	500.000	11.500	1.380.000	36,2
Wendelstein	50	111.174	6.085	608.500	18,3

Der mittlere Fahrzeugfüllgrad f_1 von ZS-Pendelbahnen wurde daher auf der Basis von aktuellen Daten bei 60 Anlagen (in Deutschland, Österreich, Schweiz und Italien) ermittelt. Er beträgt

$$f_1 = 25\%, \quad (4.7)$$

bezogen auf des Fassungsvermögen K eines Fahrzeugs.

Dieser Füllgrad erscheint zunächst sehr gering, insbesondere im Vergleich zu **Wettstein 1975**, der an 4 Anlagen eine mittlere Beladung (Auslastung) von 42% ermittelt. Er kann jedoch damit erklärt werden, dass im Sommerbetrieb und z.T. auch im Winterbetrieb die Fahrgäste tageszeitabhängig häufig nur in einer Richtung befördert werden. Auch im Winterbetrieb sind die „gut gefüllten“ Fahrzeuge in der Regel nicht mit dem vollen rechnerischen Fassungsvermögen besetzt (Gründe: Platzbedarf und Gewicht der Skiausrüstung).

Für die Risikobetrachtung wird jedes Fahrzeug mit 25% des Fassungsvermögens besetzt. Pro Fahrt werden damit in beiden Fahrzeugen $2 \cdot f_1 \cdot K$ Fahrgäste und 2 Wagenbegleiter befördert.

4.8 Durchschnittliche jährliche Fahrtenzahl

Die Fahrstrecke von Tal zu Berg wird als Fahrt bezeichnet. Die durchschnittliche jährliche Fahrtenzahl von ZS-Pendelbahnen kann auf unterschiedliche Weise ermittelt werden.

Anhand der Fahrtenzahlen n_i von $k=60$ Anlagen (vgl. Kapitel 4.7) kann eine mittlere jährliche Fahrtenzahl n von

$$n = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k n_i \approx 10.400 \text{ Fahrten} \quad (4.8)$$

ermittelt werden. Die mittlere Anzahl der Beförderten pro Anlage lag bei diesen 60 Anlagen (abweichend von dem auf S. 24 aus den ITTAB-Statistiken berechneten langjährigen Mittel von 203.000) bei $B=230.000$.

Die technischen Aufsichtsbehörden von $m=5$ Ländern geben bei der Umfrage mittlere jährliche Fahrtenzahlen n_i zwischen 8.100 Fahrten und 12.000 Fahrten an, siehe Tabelle 4. Gemittelt (ohne Gewichtung nach Anlagenzahl) ergibt sich daraus eine jährliche Fahrtenzahl n von

$$n = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m n_i \approx 10.000 \text{ Fahrten} . \quad (4.9)$$

Näherungsweise kann die mittlere jährliche Fahrtenzahl n aus den in ITTAB angegebenen Beförderten- und Anlagenzahlen in Europa nach Gl. 4.10 abgeschätzt werden

$$B_E = K_b \cdot 2 \cdot f_1 \cdot n \cdot A_E . \quad (4.10)$$

Mit $B_E=83$ Mio., $A_E=409$ (Quelle: **ITTAB**) sowie mit einer mittleren Fahrzeugkapazität von $K_b=51$ Personen/Fahrzeug und dem Füllgrad eines Fahrzeugs von $f_1=25\%$ erhält man eine mittlere jährliche Fahrtenzahl von

$$n = \frac{B_E}{K_b \cdot 2 \cdot f_1 \cdot A_E} = \frac{83 \cdot 10^6}{51 \cdot 2 \cdot 0,25 \cdot 409} \approx 8.000 \text{ Fahrten} . \quad (4.11)$$

mit	B_E	durchschnittliche Anzahl jährlich beförderter Personen auf europäischen Anlagen in 23 Jahren
	K_b	durchschnittliche bisherige Fahrzeugkapazität
	f_1	Füllgrad eines Fahrzeugs
	n	mittlere jährliche Fahrtenzahl
	A_E	durchschnittliche Anzahl der europäischen Anlagen in 23 Jahren

Der Unterschied zu den oben ermittelten Fahrtenzahlen n (Gl. 4.8 und 4.9) ist damit zu erklären, dass die Zahlen auf einem Mittelwert von 23 Jahren beruhen und die vermutlich geringeren Fahrtenzahlen von Anlagen in Norwegen, Spanien etc. berücksichtigt werden.

4.9 Kennzahlen der Bezugssysteme

Da sich einzelne ZS-Pendelbahnen hinsichtlich Fahrzeugkapazität, Streckenlänge, etc. unterscheiden, wurden für die betrachteten, bisherigen ZS-Pendelbahnen und für die Risikoprognose der zukünftigen ZS-Pendelbahnen Bezugssysteme festgelegt. Die Kennzahlen der Bezugssysteme sind in Tabelle 4 eingetragen.

Tabelle 4: Kennzahlen der Bezugssysteme

	Bezugssystem 1: Bisherige ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB	Bezugssystem 2 für die Prognose: Zukünftige ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB
Anzahl Zugseile (Zugseilschleifen)	1-2(3)	1
Streckenlänge l [m] ¹	1900	1900
Baujahr/Umbaujahr ¹	1973	-
Fahrzeugkapazität K	51	77
Füllgrad f_1	25%	25%
Fahrtenzahl n	8.000 - 10.000	8.000 - 10.000
Beförderungszahl B	200.000 - 230.000	300.000 - 350.000

¹Mittelwert aus 366 bestehenden Anlagen

4.10 Technische Ausrüstung des Anlagenbestands

Eine Aufteilung des Anlagenbestandes nach technischen Ausrüstungsmerkmalen, beispielsweise nach Anzahl der Tragseile oder Zugseilschleifen, Art des Kopierwerkes etc., wurde anhand der Fragebögen vorgenommen, die an die Aufsichtsbehörden der Länder verschickt wurden. Die zurückgemeldeten Daten der Fragebögen sind in Tabelle 5 dargestellt, sie beziehen sich auf den heutigen Anlagenbestand. Durch Gewichtung der prozentualen Anteile nach der Anzahl der jeweiligen Anlagen wurde die technische Ausrüstung der Anlagen für den Gesamtbestand in Europa abgeschätzt.

Tabelle 5: Technische Ausrüstung der Anlagen, Quelle: Fragebogen an die Aufsichtsbehörden der Länder

		Deutsch- land	Schweiz	Italien	Öster- reich	Frank- reich	Gesamt- bestand Europa
ZS-PB mit TSB	A_{mT}	28	125	89	42	19	303
ZS-PB ohne TSB	A_{oT}	0	6	0	11	24	41
ZS-PB m+o TSB	A	28	131	89	53	43	344
Mittlere jährliche Fahrtenzahl	n	9.000	12.000	11.000	10.000	8.100	10.000 ¹
Technische Ausrüstung							
Anzahl an Trag- seilen	1 TS	58%	32%	64%	94%	67%	56%
	2 TS	42%	68%	36%	6%	33%	44%
Anzahl an Zugseilschleifen	1 ZS	96%	89%	100%	100%	(46%)	89%
	2 ZS	4%	11%	-	-	(54%)	11%
Antrieb	Tal	67%	60%	37%	30%	77%	52%
Kopierwerk	mechanisch	54%	37%	1%	10%	33%	24%
Zugseilend- befestigungen und Befestigungen am Seil	Verguss	90%	26%	52%	75%	18%	44,5%
	Klemmkopf	-	65,5%	-	4%	-	25,6%
	Trommel	8%	7%	39%	-	-	13,4%
	Spleiß	2%	1,5%	9%	21%	82%	16,5%
	a) Klemme	2%	1,5%	1%	21%	55%	11,2%
	b) Chapeau	-	-	4%	-	27%	4,4%
	c) Trommel	-	-	4%	-	-	0,9%
Betriebsbremse Angriffspunkt	Antriebs- scheibe	33%	56%	40%	Nur bei alten Anlagen	67%	51%
Lüftprinzip TSB ²	ständig hydraulisch gelüftet	37%	70%	95%	50%	43%	67%
	mechanisch verriegelt	63%	30%	5%	50%	57%	33%

¹ Mittelwert ohne Gewichtung

² Anteile bezogen auf Anlagen mit TSB

4.10.1 Wesentliche Veränderungen der technischen Ausrüstung in den Betrachtungszeiträumen

Diskussionen und Studien über die Sicherheit von Zweiseil-Pendelbahnen, siehe Kapitel 1.4, die verstärkt von Mitte der 1970er-Jahre bis Anfang der 1980er-Jahre geführt wurden, haben zu zahlreichen Veränderungen bei der technischen Ausrüstung von ZS-Pendelbahnen geführt. Die meisten Veränderungen, die etwa 1980 eingeführt wurden, wie z.B. verzinkte Seile, Schwingungsschutzhülsen, Klemmkopf usw. haben das Ziel, die Sicherheit der Zugseilschleife und insbesondere der Zugseilendverbindung zu verbessern. Folgende wesentliche Veränderungen an ZS-Pendelbahnen können näherungsweise auf die Zeit um 1980 datiert werden:

Vergussköpfe

Die Studie von **Oplatka 1984/2** hat gezeigt, dass ein Versagen der Zugseilschleifen vor 1980 vielfach auf ein Seilversagen an den Vergussköpfen (Bild 10) zurückzuführen war. Durch verzinkte Seile wird beispielsweise eine Korrosion der Seile im Vergusskopf vermindert. In den meisten Ländern werden die Seile regelmäßig gekürzt und die Vergussköpfe erneuert, da sie magnetinduktiv nicht kontrollierbar sind. Nach **prEN 12927-6** ist die regelmäßige Erneuerung der Vergussköpfe alle vier Jahre auch zukünftig vorgeschrieben. Durch konstruktive Verbesserungen (Schwingungsschutzhülsen) werden die Seile am Ausgang des Vergusskopfes nicht mehr auf Biegung beansprucht.

Klemmkopf

In der Schweiz wurde von Oplatka eine neue Seilendverbindung, der Klemmkopf (Bild 10) entwickelt. Seit 1976 ist der Klemmkopf für den öffentlichen Personentransport zugelassen. Ende 1983 standen bereits ca. 300 Klemmköpfe im Einsatz, **Oplatka 1984/1**. Im Vergleich zum Vergusskopf besitzt der Klemmkopf den wesentlichen Vorteil, dass er demontierbar und damit kontrollierbar ist. Für die Herstellung eines sicheren Klemmkopfes sind jedoch besondere fachliche Kenntnisse und eine sorgfältige Ausführung notwendig.

Trommel

Eine andere konstruktive Variante zur Verbesserung des Zugseilanschlusses am Laufwerk ist die Verankerung des Zugseiles auf einer Zugseiltrommel mit mehreren Umschlingungen und Befestigung der Restkraft mittels einer Endklemme, siehe Bild 10. Zur Auskleidung der Zugseiltrommel werden häufig Treibscheiben-Futterwerkstoffe verwendet, so dass relativ hohe Reibwerte aktiviert werden können.

Tragseilbremse

Auch die Tragseilbremsen moderner Anlagen haben sich verändert. Bei der Auslegung von Tragseilbremsen europäischer Hersteller werden heute regelmäßig die Erkenntnisse von Wettstein (**Wettstein 1969**, **Wettstein 1975**, etc.) berücksichtigt. Nach dem Grundsatz, dass die Tragseilbremse mindestens die Zugseilkraft des gerissenen Zugseils/Gegenseils ersetzen muss, um hohe Beschleunigungen und Geschwindigkeitszunahmen zu vermeiden, werden nach Wettstein vergleichsweise hohe Tragseilbremskräfte installiert. Im wesentlichen wurde auch der Auslösemechanismus und das Einfallen der einzelnen Tragseilbremselemente im Hinblick auf die Bremswirkung optimiert.

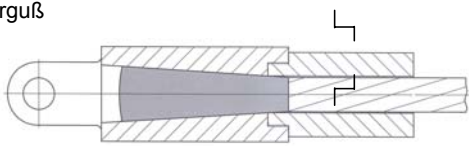
Inwieweit die veränderte technische Ausrüstung sowie die verschiedenen eingesetzten Zugseilendverbindungen und Befestigungen am endlosen Zugseil zu einer veränderten Gefährdungswahrscheinlichkeit geführt haben, soll bei der Auswertung der Ereignisse anhand der definierten Betrachtungszeiträume geklärt werden. Hierbei kann angenommen werden, dass zwischen dem technischen Stand der Zugseilendverbindungen/Zugseilbefestigungen und den in Betrachtungszeiträumen eingetretenen Ereignissen ein Zusammenhang vorhanden ist, da die Zugseilendverbindungen (z.B. Zugseilvergüsse) bei den bestehenden Bahnen entsprechend den neuen Vorschriften turnusmäßig erneuert werden. In Kapitel 4.10.2 werden dazu die Anteile der Zugseilendverbindungen und Zugseilbefestigungen am Gesamtbestand in den Betrachtungszeiträumen T_1 und T_3 ermittelt und für den zukünftigen Anlagenbestand mit und ohne TSB definiert.

4.10.2 Zugseilendbefestigungen, Befestigung am endlosen Zugseil

Die Zugseilschleifen von ZS-Pendelbahnen können in unterschiedlicher Weise ausgeführt sein. Dies gilt sowohl für die Anzahl der Zugseilschleifen (eine oder mehrere Zugseilschleifen) als auch für die Ausführung der Zugseilschleife, z.B. endloses Zugseil oder Zugseil mit Seilendverbindung. Dabei stehen jeweils mehrere Ausführungsmöglichkeiten zur Verfügung, siehe Bild 10.

Zugseilendverbindungen

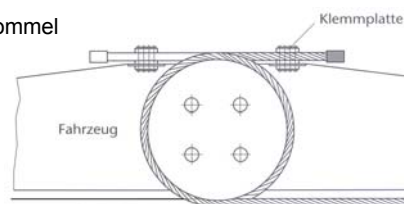
Verguß



Klemmkopf

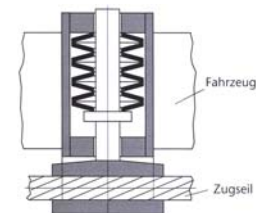


Trommel

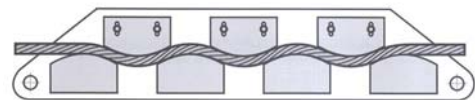


Befestigungen an der endlosen Seilschleife

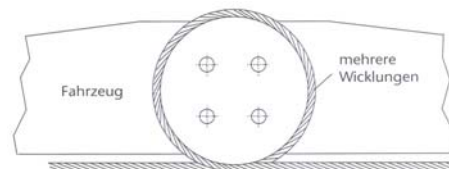
Klemme



Chapeau-de-Gendarme



Trommel



**Bild 10: Zugseilendverbindungen und Befestigungen am endlosen Seil,
Quelle: Doppelmayer 1998**

Da sich die Ausführung der Zugseilschleife bei ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremsen wesentlich unterscheidet und gleichzeitig auch einen hohen Anteil am Risikogeschehen hat, werden die verschiedenen technischen Ausführungen der Zugseilschleife detailliert betrachtet.

Bei dem durchgeführten Risikovergleich zukünftiger ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse werden ausschließlich Bahnen mit einer Zugseilschleife betrachtet, vgl. Tabelle 4. ZS-Pendelbahnen, die mit einem Zugseil und ohne Tragseilbremse

ausgeführt sind, müssen gemäß den Vorschriften eine endlose Zugseilschleife aufweisen. Da in **prEN 12929-2** Abschnitt 6.6. eine regelmäßige magnetische Prüfung der gesamten Seillänge gefordert ist, kommen als Befestigungen am endlosen Seil in der Praxis zukünftig nur die beiden Varianten Klemme oder der Chapeau-de-Gendarme in Frage. Bei ZS-Pendelbahnen mit Tragseilbremse können dagegen alle in Bild 10 dargestellten Zugseilendverbindungen und Befestigungen am endlosen Seil eingesetzt werden. Die jeweils zur Verfügung stehenden ZS-Endverbindungen und Befestigungen werden länderspezifisch in sehr unterschiedlichem Umfang eingesetzt, siehe Tabelle 5.

Zur Ermittlung von separaten Eintrittswahrscheinlichkeiten für einzelne Ausführungen müssen die jeweiligen Anteile der Zugseilverbindungen und Befestigungen am Gesamtbestand ermittelt werden. Da in den Betrachtungszeiträumen T_1 und T_3 eine starke Veränderung stattgefunden hat, werden die Anteile α_i in den Zeiträumen T_1 ($\alpha_{i,T1}$) und T_3 ($\alpha_{i,T3}$) getrennt bestimmt

$$\alpha_{i,T1} = \frac{(AT)_{1,i}}{(AT)_1} = \frac{A_{i,T1}}{A_{T1}} \quad \text{bzw.} \quad \alpha_{i,T3} = \frac{(AT)_{3,i}}{(AT)_3} = \frac{A_{i,T3}}{A_{T3}}, \quad (4.12)$$

siehe Tabelle 6. Neben dem derzeitigen Anlagenbestand sind auch die zukünftigen Anteile $\alpha_{i,z}$ jeweils getrennt für ZS-Pendelbahnen mit ($\alpha_{i,z,mT}$) und ohne TSB ($\alpha_{i,z,oT}$) festzulegen

$$\alpha_{i,z,mT} = \frac{A_{i,z,mT}}{A_{z,mT}} \quad \text{bzw.} \quad \alpha_{i,z,oT} = \frac{A_{i,z,oT}}{A_{z,oT}}. \quad (4.13)$$

Für die Anlagenjahre in den Betrachtungszeiträumen T_1 und T_3 sowie für die zukünftigen Bestände $A_{z,mT}$ und $A_{z,oT}$ gilt jeweils:

$$\sum_i \alpha_i = 1 \quad (4.14)$$

$$\sum_j \alpha_{Sj} = \alpha_S \quad (4.15)$$

Tabelle 6: Anteile α_i der Zugseilendverbindungen und Befestigungen am Seil

		$\alpha_{i,T1}$ T ₁ :1980-2002	$\alpha_{i,T3}$ T ₃ :1908-1979	$\alpha_{i,z,mT}$ zukünftig mit TSB	$\alpha_{i,z,oT}$ zukünftig ohne TSB
Vergusskopf	α_V	44,5%	83,5%	50%	-
Klemmkopf	α_K	25,6%	-	29%	-
Trommel	α_T	13,4%	-	15%	-
Spleiß	α_S	16,5% ²	16,5%	5,6%	100%
$\Sigma \alpha_i = 100\%$		100%	100%	100%	100%
Befestigungen am endlosen (gespleißten) Seil					
- Klemme	α_{SK}	11,2%	16,5%	3,4%	75%
- Chapeau	α_{SC}	4,4%	-	1,1%	25%
- Trommel	α_{ST}	0,9%	-	1,1%	-
$\Sigma \alpha_{Sj} = \alpha_S$		16,5%	16,5%	5,6%	100%

¹ aus Umfrage (Tabelle 5) ermittelt für 344 Anlagen in Europa

² mit TSB: Spleiß 5%, ohne TSB: Spleiß: 11,5%, $\Sigma 16,5\%$

Aus den Fragebögen der Länder, vgl. Tabelle 5, werden die Anteile $\alpha_{i,T1}$ für den Betrachtungszeitraum T_1 ermittelt. Im Betrachtungszeitraum T_3 sind die ermittelten Anteile an Trommeln und Klemmköpfen bei nicht endloser Seilschleife jeweils dem Verguss zugeordnet. Die Anteile mit Chapeau-de-Gendarme und Trommel bei endloser Zugseilschleife sind der Klemme zugeteilt, vgl. Tabelle 6.

Der Anteil endloser Zugseile von 16,5% teilt sich im derzeitigen Bestand etwa im Verhältnis 30% zu 70% auf ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB auf. Bei ZS-Pendelbahnen mit TSB ist ein Anteil von 5% mit endloser Zugseilschleife ausgeführt.

Setzt man die bisherige Aufteilung der Zugseilendbefestigungen bei ZS-Pendelbahnen mit TSB auch für den zukünftigen Bestand an, erhält man die in Spalte 5 eingetragenen Anteile $\alpha_{i,z,mT}$. Bei ZS-Pendelbahnen ohne Trageilbremse liegt der Anteil an endlosen Zugseilschleifen zukünftig bei 100%.

Entsprechend dem bisherigen Verhältnis wird angenommen, dass auch zukünftig jeweils 25% der endlosen Zugseile mit einem Chapeau-de-Gendarme am Laufwerk befestigt werden.

5 Auswertung der ermittelten Gefährdungsergebnisse

Bei der Auswertung der ermittelten Gefährdungsergebnisse und der daran anschließenden Risikobetrachtung werden gemäß **prEN 12929-1** Abschnitt 4.1.3 (s.u.) nicht nur Ereignisse mit Bauteilausfällen betrachtet, sondern auch das Fehlverhalten von Personen und äußere Einwirkungen erfasst. Abhängige Ausfälle, d.h. Folgefehler werden ebenfalls berücksichtigt.

prEN 12929-1:2004

4.1.3 Gefährdungsbilder

Folgende Ereignisse können Gefahrensituationen zur Folge haben, die durch die Sicherheitsanforderungen dieser Europäischen Norm vermindert oder vermieden werden:

- a) Versagen eines Bauteiles einer Anlage (Bruch, Funktionsstörung oder Ausfall);*
- b) Störungen im Zusammenwirken der Bauteile einer Anlage untereinander oder mit der Umgebung;*
- c) Fehlverhalten von Personen (beförderte Personen, Personal oder Dritte);*
- d) vorhersehbare Einwirkungen von außen (zum Beispiel verursacht durch Lawinen, Bergrutsch, Steinschlag, Blitzschlag, Pistengeräte, Luftfahrzeuge).*

....

Kettenreaktionen als Folge des Eintretens eines Ereignisses sind zu berücksichtigen. Dagegen darf das gleichzeitige Auftreten von zwei voneinander unabhängigen Gefahrensituationen vernachlässigt werden.

Die recherchierten Gefährdungsergebnisse sind in einer Fallliste in Kurzform aufgeführt, siehe **Anhang A**.

5.1 Gefährdungsarten

Eine Einteilung der recherchierten Ereignisse in Gefährdungsklassen ist sinnvoll. Um die Folgen der Gefährdungsergebnisse systematisch auswerten zu können, werden die Ereignisse in 7 verschiedene Gefährdungsarten unterteilt:

- 1 Absturz des Fahrzeugs durch Trageseilriss, Entgleisung Trageseil oder Laufwerk, sowie Gehängebruch **(A)**
- 2 Fahrzeugbrand **(B)**
- 3 Versagen der Zugseilschleife (Zugseilriss, Versagen der Verbindung Zugseil-Laufwerk) **(Z)**
- 4 Übergeschwindigkeit oder unkontrollierte Fahrbewegung ohne Zugseil-Riss **(Ü)**
- 5 Kollision des Fahrzeugs mit einem Hindernis oder Blockieren an einem Hindernis ohne Zugseilriss und Laufwerkentgleisung **(K)**
- 6 Unplanmäßiges Einfallen der Trageseilbremse **(T)**
- 7 Fahrgastunfälle (z.B. Stürze, Verletzungen beim Ein- und Ausstieg) **(FG)**

Für den Risikovergleich von ZS-Pendelbahnen mit und ohne Trageseilbremse werden alle dargestellten Gefährdungsarten berücksichtigt. Der mögliche Nutzen und Schaden einer TSB wird über alle Gefährdungsarten untersucht. Anhand der Gefährdungsart 6 „unplanmäßiges Einfallen der TSB“, die nur bei Anlagen mit Trageseilbremse auftritt, kann beispielsweise ein wesentlicher Nachteil der Trageseilbremse untersucht werden.

5.2 Fehlerbaumanalyse

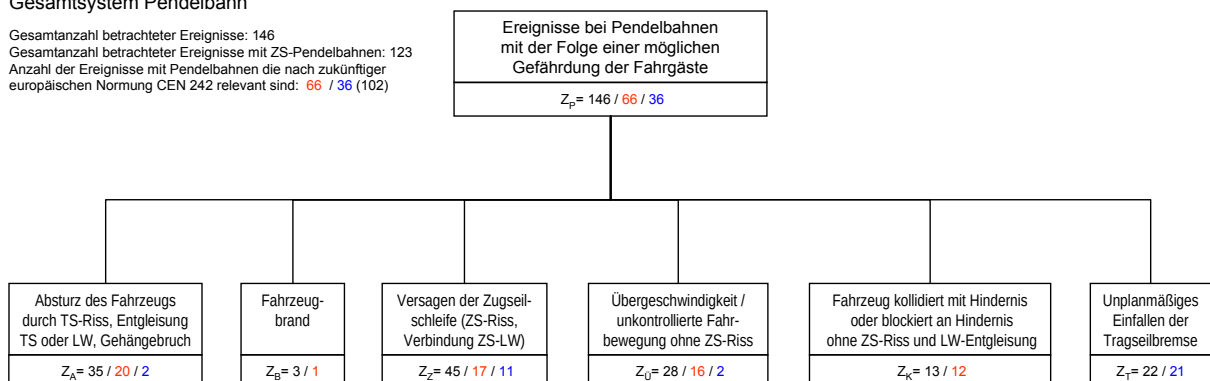
Zweck der Fehlerbaumanalyse (FTA) nach **DIN 25424** ist die Ermittlung der logischen Zusammenhänge, die zu einem vorgegebenen unerwünschten Topereignis führen. Bei dieser deduktiven Analyse wird ein unerwünschtes Ereignis als Topereignis vorgegeben („from the top“-Analyse) und nach allen Ausfällen bzw. Ereignissen (i.d.R. Komponentenausfälle des Systems) gesucht, die zu diesem Topereignis führen. Die logische Struktur wird in einem Fehlerbaum graphisch dargestellt. Ziele der Fehlerbaumanalyse sind die Identifizierung aller möglichen Ursachen, die zum vorgegebenen unerwünschten Ereignis führen und die Ermittlung von Wahrscheinlichkeitskenngrößen, z.B. die Eintrittshäufigkeiten des unerwünschten Ereignisses.

Neben den Primärausfällen (Komponentenausfall bei zulässigen Einsatzbedingungen) können auch Folge- und Common-Mode-Ausfälle, z.B. durch unzulässige Einsatzbedingungen, äußere Einwirkungen und durch den Menschen verursachte Fehler wie Falscheinstellungen, aufgedeckt und berücksichtigt werden.

Alle recherchierten Ereignisse, die im Zusammenhang mit der Tragseilbremse zum untersuchten Topereignis „Gefährdung der Fahrgäste von Zweiseil-Pendelbahnen“ führen können, sind in einem Fehlerbaum dargestellt. Der übergeordnete Fehlerbaum, Bild 11, wird für die Analyse der Ereignisse auf der Grundlage der in Kapitel 5.1 aufgezeigten Gefährdungsarten 1-6 in 6 Unterfehlerbäume unterteilt (siehe Bild 12 bis Bild 17 sowie groß dargestellt im Anhang B). Die Gefährdungsart 7 „Fahrgastunfälle“, die im wesentlichen auf ein Fehlverhalten der Fahrgäste oder auf bauliche und technische Mängel in der Station (z.B. rutschige Treppenstufen, ungenügend gekennzeichnete Absätze) zurückzuführen sind und daher nicht direkt mit dem technischen Betriebsverhalten der ZS-Pendelbahn im Zusammenhang stehen, werden im Rahmen der Fehlerbaumanalyse nicht betrachtet. Bei der anschließenden Risikobetrachtung werden die Fahrgastunfälle jedoch berücksichtigt.

Gliederung des Fehlerbaums für das Gesamtsystem Pendelbahn

Gesamtanzahl betrachteter Ereignisse: 146
Gesamtanzahl betrachteter Ereignisse mit ZS-Pendelbahnen: 123
Anzahl der Ereignisse mit Pendelbahnen die nach zukünftiger europäischen Normung CEN 242 relevant sind: 66 / 36 (102)



Legende:

„ODER“-
Verknüpfung

„UND“-
Verknüpfung

Deklaration für eingetretene Ereignisse Fall-Nr.:

Jahr; Fallnummer/-index; Ausstattung; Sonstiges

74/01: oT ZS-Pendelbahnereignis Nr. 01 im Jahre 1974, Anlage ohne Tragseilbremse

81/03: - Pendelbahnereignis Nr. 03 im Jahre 1981, unklar ob Anlage eine Tragseilbremse besitzt

(S 79/H: T*) Standseilbahnereignis Nr. H im Jahre 1979, Anlage mit Tragseilbremse, nicht in Europa eingetreten

Fälle sind nur relevant für ZS-PB mit TSB

Fälle sind relevant für ZS-PB sowohl mit als auch ohne TSB

Bild 11: Übergeordneter Fehlerbaum der Ereignisse bei ZS-Pendelbahnen mit einer Gefährdung der Fahrgäste (ohne Fahrgastunfälle)

Neben den 123 Ereignissen mit ZS-Pendelbahnen enthält der Fehlerbaum auch 23 Ereignisse, die bei Standseilbahnen (mit S gekennzeichnet) und bei Zweiseilumlaufbahnen (U) eingetreten sind, z.B. Zugseilrisse, Brand etc. Sie sind schwarz gedruckt und werden bei der Risikoberechnung, d.h. bei der Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeiten und des Schadensausmaßes nicht berücksichtigt.

In einer weiteren Stufe der Fehlerbaumanalyse wurden die 123 recherchierten Ereignisse mit ZS-Pendelbahnen hinsichtlich der Relevanz für die zukünftigen ZS-Pendelbahnen beurteilt.

Ereignisse mit ZS-Pendelbahnen, die für die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeiten relevant sind, sind im Fehlerbaum farbig gekennzeichnet. Rot markiert sind Ereignisse, die auch bei zukünftigen ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse eintreten können. Blau dargestellt sind Ereignisse, die nur für Anlagen mit Tragseilbremse relevant sind.

Ereignisse, die hinsichtlich der zukünftigen EN-Normen nicht relevant sind, weil sie

- sich auf nicht mehr zugelassene Bauteile bei Neuanlagen nach **prEN 12927-1** (z.B. Herkulesseile) beziehen,
- Ereignisse betreffen, die außer Betrieb oder bei Revisionsfahrten eingetreten sind oder ausschließlich bei Dienstfahrten¹ eintreten können (z.B. Eisabfall) oder
- bei Kleinseilbahnen (z.B. Eidgenössisch konzessionierte Bahnen in der Schweiz) und Materialseilbahnen eingetreten sind,

sind schwarz dargestellt und werden nicht in die wahrscheinlichkeitstheoretische Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeiten einbezogen.

12 der 123 Ereignisse mit ZS-Pendelbahnen sind außerhalb Europas eingetreten und mit * gekennzeichnet. Die außereuropäischen Ereignisse² werden bei der Risikoberechnung nur dann berücksichtigt, wenn sich dadurch die Eintrittswahrscheinlichkeit für europäische ZS-Pendelbahnen erhöht. Von den 11 relevanten weltweiten Ereignissen wird in Kapitel 7 nur ein Ereignis berücksichtigt.

Da bei ZS-Pendelbahnen stets die Gefährdungen beider Fahrzeuge betrachtet werden müssen, ist bei einigen Ereignissen - wenn Zugseil- und Tragseilrisse gleichzeitig auftreten - die Zuordnung zu einer Gefährdungsart schwierig. Der Vollständigkeit wegen sind diese Fälle doppelt eingetragen (grün gestrichelt), sie werden bei der Auswertung jedoch nur einfach berücksichtigt.

¹ Ereignisse, die nur zufällig bei Dienstfahrten aufgetreten sind, aber auch im Normalbetrieb eintreten können, werden jedoch als relevant berücksichtigt.

² Die 12 recherchierten weltweiten Ereignisse stellen nur einen unvollständigen Ausschnitt aller weltweit eingetretenen Ereignisse dar.

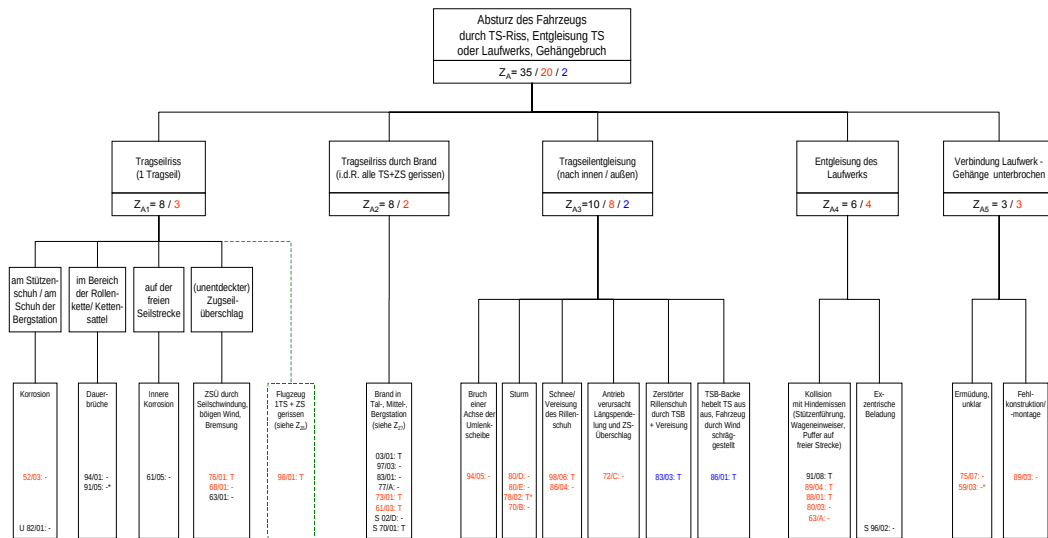


Bild 12: Fehlerbaum für die Gefährdungsart Absturz des Fahrzeugs durch TS-Riss, Tragselentgleisung, Entgleisung des Laufwerks oder Verbindung Laufwerk/Gehänge unterbrochen

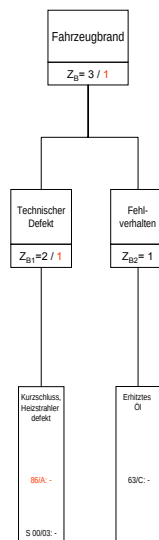


Bild 13: Fehlerbaum für die Gefährdungsart Fahrzeugbrand

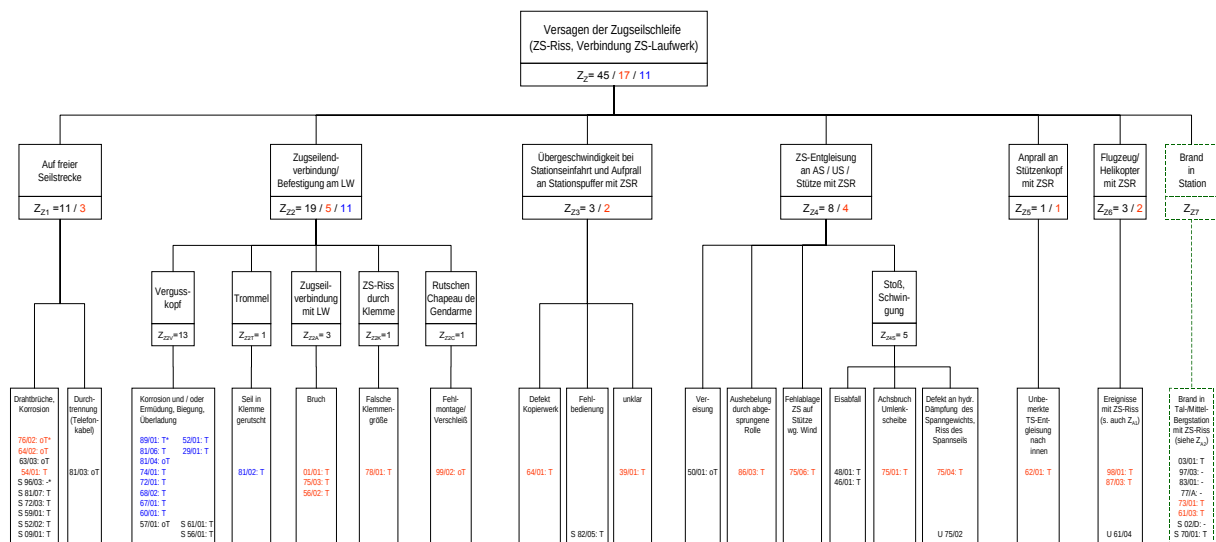


Bild 14: Fehlerbaum für die Gefährdungsart Versagen der Zugseilschleife

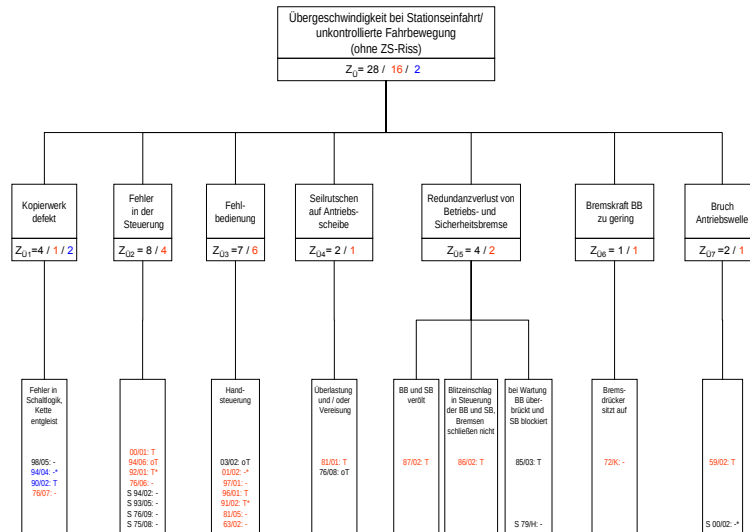


Bild 15: Fehlerbaum für die Gefährdungsart Übergeschwindigkeit bei der Stationseinfahrt / unkontrollierte Fahrbewegung ohne Zugseilriss

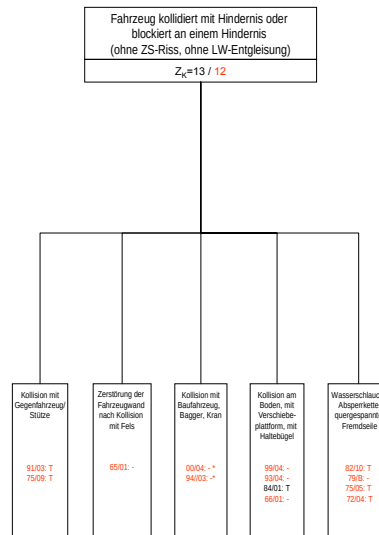


Bild 16: Fehlerbaum für die Gefährdungsart Fahrzeug kollidiert mit Hindernis oder blockiert an Hindernis ohne ZS-Riss und ohne LW-Entgleisung

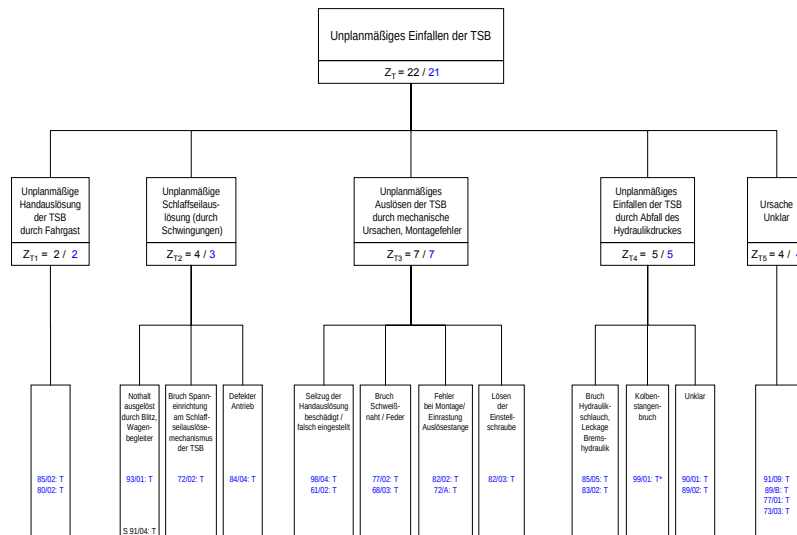


Bild 17: Fehlerbaum für die Gefährdungsart unplanmäßiges Einfallen der TSB

5.3 Ermittelte Gefährdungseignisse aufgeteilt nach Gefährdungsart

Die Anzahl und die Anteile der recherchierten Gefährdungseignisse mit ZS-Pendelbahnen - aufgeteilt nach Gefährdungsarten - sind in Bild 18 dargestellt. Dabei wurden alle 102 Gefährdungseignisse, die seit 1908 bekannt geworden und nach den zukünftigen Normen für ZS-Pendelbahnen mit Tragseilbremse relevant sind, berücksichtigt.

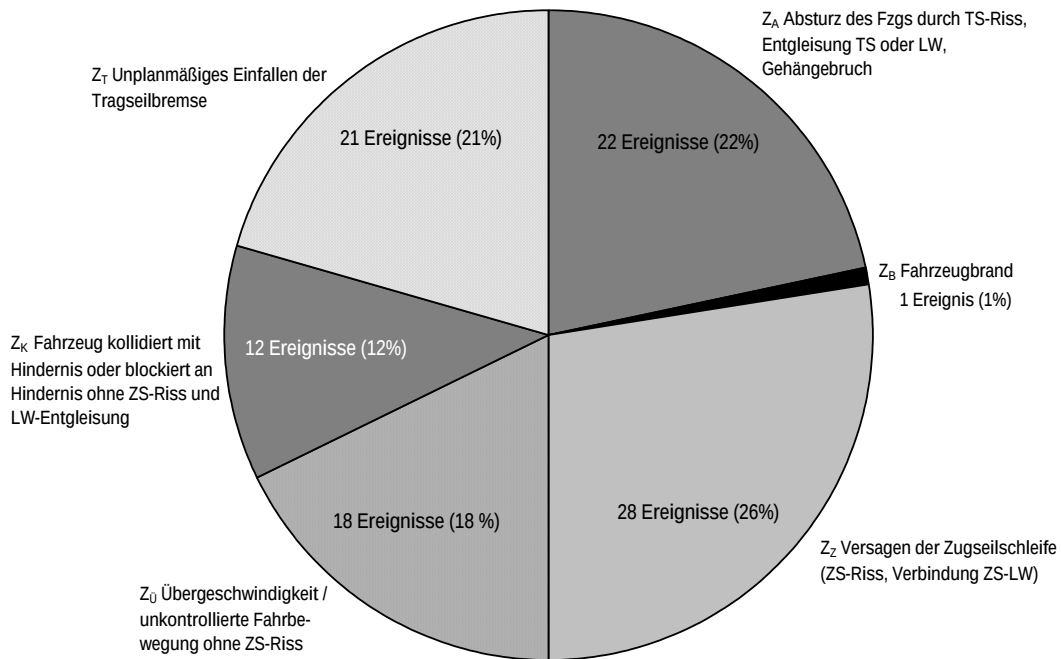


Bild 18: Verteilung der 102 relevanten Gefährdungseignisse bei ZS-Pendelbahnen nach Gefährdungsarten (ohne Fahrgastunfälle)

Zu allen Gefährdungsarten mit Ausnahme des „Fahrzeugbrands“ ist eine große Datenbasis vorhanden. Dies zeigt, dass die Gefährdungseignisse zwar seltene, aber keineswegs „unwahrscheinliche“ Einzelereignisse sind.

Für die statistische Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeiten ist somit eine ausreichend große Datenbasis vorhanden.

Die abgebildete Verteilung zeigt die Anzahl der eingetretenen, risikorelevanten Ereignisse. Sie entspricht nicht zwangsläufig der Häufigkeitsverteilung von Ereignissen in der Realität. Während die Gefährdungseignisse „Absturz des Fahrzeugs“, „Fahrzeugbrand“ und Versagen der Zugseilschleife“ nahezu vollständig vorliegen, ist bei den Ereignissen „Übergeschwindigkeit“, „Kollision“ und „Unplanmäßiges Einfallen der TSB“ sicherlich eine gewisse Dunkelziffer vorhanden. Es kann jedoch angenommen werden, dass bei allen nicht bekannt gewordenen Ereignissen keine schweren und insbesondere keine tödlichen Verletzungen eingetreten sind. Die Anwendbarkeit der vorliegenden Datenbasis zur Ermittlung von Risikokennzahlen ist damit gegeben.

5.4 Anzahl der Gefährdungsereignisse in den Betrachtungszeiträumen

Bild 19 zeigt die Anzahl der relevanten Gefährdungsereignisse mit ZS-Pendelbahnen in den Betrachtungszeiträumen T_3 1908 bis 1979 und T_1 1980-2002, aufgeteilt nach Gefährdungsarten

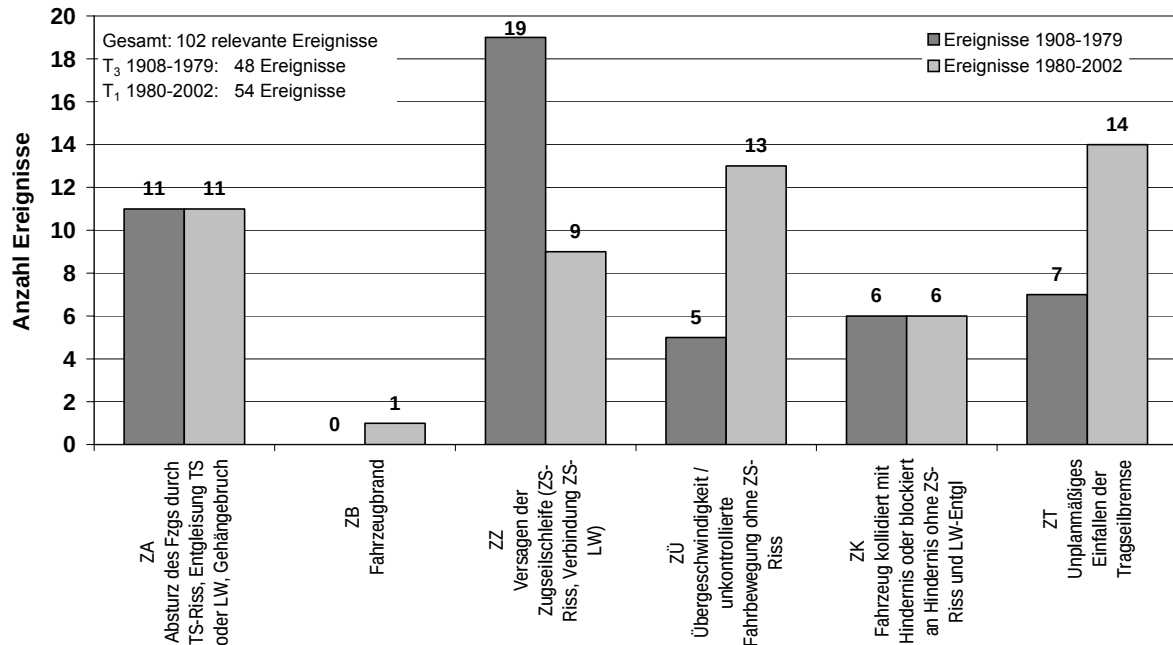


Bild 19: Anzahl der relevanten Ereignisse in den Betrachtungszeiträumen T_3 1908-1979 und T_1 1980-2003, aufgeteilt nach Gefährdungsarten (ohne FG-Unfälle)

Gemäß den Anlagenjahren von ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB in Europa (siehe Tabelle 1, Kap. 4.4) beziehen sich Ereignisse, die im Zeitraum T_3 (1908-1979) eingetreten sind etwa auf die gleiche Summe an Anlagenjahren wie die Ereignisse, die nach 1980 - im Zeitraum T_1 - eingetreten sind. Bei einer konstanten, vom Betrachtungszeitraum unabhängigen Eintrittshäufigkeit der Gefährdungsereignisse müssten die Anzahl der Ereignisse bei einzelnen Gefährdungsarten in den beiden betrachteten Zeiträumen näherungsweise gleich sein.

Für die Gefährdungsarten „Absturz des Fahrzeugs“, „Kollision“ und näherungsweise auch für die Gefährdungsart „Fahrzeugbrand“ zeigt sich dies bestätigt.

Bei den Gefährdungsarten „Übergeschwindigkeit“ und „Unplanmäßiges Einfallen der Trageilbremse“ hat sich die Anzahl der relevanten Gefährdungsereignisse seit 1980 (Betrachtungszeitraum T_1) dagegen etwa verdoppelt. Dies kann damit erklärt werden, dass die Ereignisse im weit zurückliegenden Betrachtungszeitraum T_3 sicherlich nicht vollständig vorliegen, zumal die Folgen der Ereignisse häufig nicht schwerwiegend sind und daher eine hohe Dunkelziffer angenommen werden muss. Hinzukommen kann, dass die Gefährdungsarten „Übergeschwindigkeit“ und „Fehlauslösung der TSB“ tatsächlich häufiger auftreten, z.B. aufgrund höherer Störanfälligkeit elektronischer Steuerungen (Beispiel: Ereignis 00/02) und sensibler eingestelltem Auslösemechanismus der Trageilbremse.

Eine gegensätzliche Tendenz zeigt erwartungsgemäß die Gefährdungsart „Versagen der Zugseilschleife“, bei der man von einer sehr geringen Dunkelziffer ausgehen

kann. Im Betrachtungszeitraum T_3 sind 19 relevante Gefährdungsereignisse mit Versagen der Zugseilschleife eingetreten. Betrachtet man im Vergleich dazu den Zeitraum T_1 , hat sich die Anzahl der relevanten Ereignisse, bei denen die Zugseilschleife versagt hat, seit 1980 auf 9 Ereignisse etwa halbiert. Dieser starke Rückgang ist wesentlich auf die veränderten Endverbindungen des Zugseils und Befestigungen am Fahrzeug zurückzuführen, z.B. Einsatz von verzinkten Seilen, Klemmköpfen, Trommeln und regelmäßiges Kürzen der Vergussköpfe, vgl. Kapitel 4.10.1.

5.5 Ursachen der Gefährdungsereignisse

Ermittelt man zu allen 123 eingetretenen Gefährdungsereignissen³ mit ZS-Pendelbahnen die ereignisauslösenden Ursachen, findet man die in Bild 20a dargestellte Verteilung.

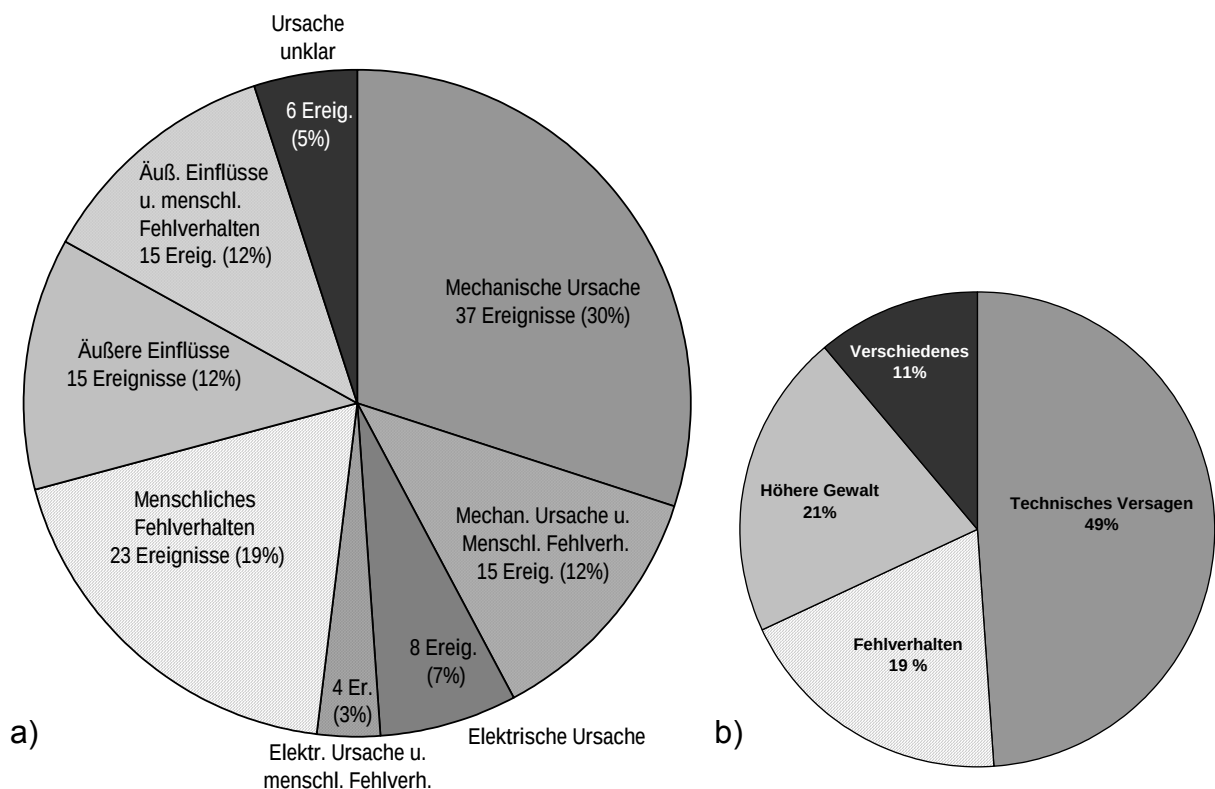


Bild 20: Häufigkeitsverteilung der ereignisauslösenden Ursachen
a) 123 ermittelte Ereignisse bei ZS-Pendelbahnen (1908-2002)
(ohne FG-Unfälle)
b) Ereignisse 1975-1980, Quelle: Flatlandsmo 1983

52% der recherchierten Ereignisse sind auf technische Ursachen (mechanische und elektrische Fehler) zurückzuführen. In 15% dieser Fälle lag zusätzlich ein menschliches Fehlverhalten oder eine Fehleinschätzung des Betriebspersonals vor. Weitere 43% der Gefährdungsereignisse wurden ursächlich durch äußere Einflüsse und Einwirkungen (24%) oder durch Fehlverhalten des Personals (19%) ausgelöst. Bei den äußeren Einwirkungen lag in 12% der Fälle ein menschliches Fehlverhalten (z.B. Fahren bei zu starkem Wind) vor.

³ Diese 123 Ereignisse umfassen sowohl die 102 relevanten als auch die 21 für zukünftige ZS-Pendelbahnen nicht relevanten Gefährdungsereignisse, ohne Fahrgastunfälle.

Eine ähnliche Verteilung hat **Flatlandsmo 1983** (Bild 20b) gefunden, der Unfälle mit ZS-Pendelbahnen in den Jahren 1975-1980 auf ihre Ursache untersucht hat.

Bei den Gefährdungsereignissen von ZS-Pendelbahnen spielt somit nicht nur das technische Bauteilversagen (z.B. Festigkeit oder Lebensdauer von Bauteilen) eine Rolle, vielfach sind es äußere Umgebungseinwirkungen, die eine Gefahrensituation auslösen und der Mensch, der durch ein Fehlverhalten (d.h. durch Fehlbedienung, Fehlmontage, Fehleinschätzung etc.) unwissentlich oder missbräuchlich (z.B. durch Überbrückung von Sicherheitskreisen) auf das System einwirkt und dadurch ein Gefährdungsereignis verursacht oder nicht rechtzeitig und angemessen darauf reagiert.

Dies verdeutlicht, dass eine theoretische Risikoabschätzung, die sich auf die Betrachtung des Pendelbahn-Systems beschränkt und ausschließlich technische Komponentenausfälle berücksichtigt, nicht geeignet ist, um das tatsächliche auftretende Risiko abzuschätzen und zu quantifizieren.

5.6 Tote und Verletzte bei ZS-Pendelbahnen im Zeitraum 1980-2002

Das Risiko für den Benutzer kann anhand von schwer verletzten und getöteten Personen betrachtet werden, vgl. Kapitel 3.3. Um das Schadensausmaß der Gefährdungen statistisch repräsentativ bestimmen zu können, muss eine ausreichende Anzahl an verletzten und getöteten Personen vorliegen.

In Bild 21 ist die Zahl der Schwerverletzten und Getöteten bei ZS-Pendelbahnen in Europa für den Zeitraum 1980-2002, auf der Basis der **ITTAB**-Statistiken zuzüglich eines weiteren schweren Ereignisses bei einer Werkseilbahn mit Personenbeförderung, dargestellt.

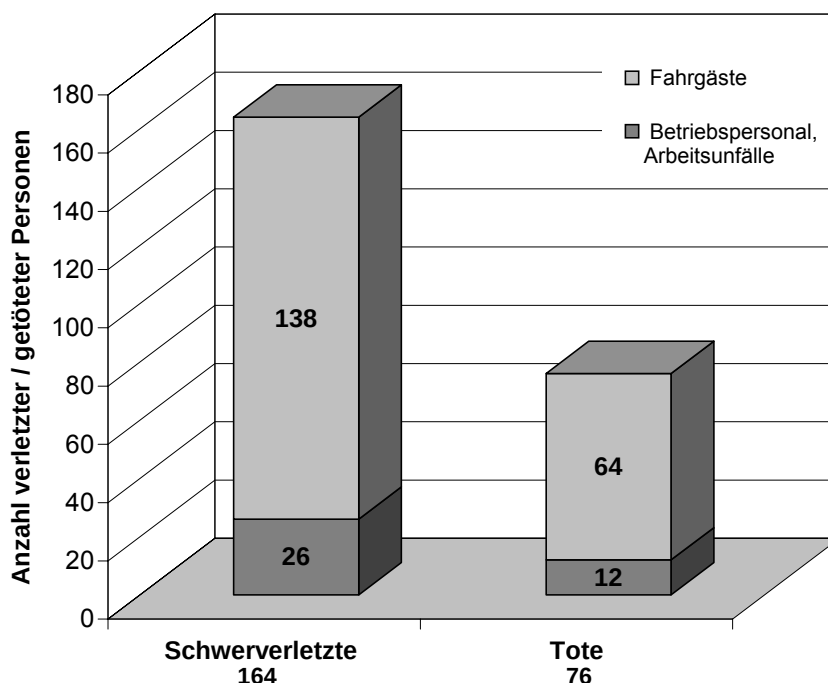


Bild 21: Verletzte und Getötete bei ZS-Pendelbahnen in Europa⁴ von 1980-2002, Quelle: ITTAB, zuzügl. des Ereignisses am Pic de Bure

⁴ Verletzte und getötete Personen jeweils einschließlich Fahrgastunfälle. Die Zahl der Verletzten umfasst hier nur die verletzten Personen ohne Tote, im Gegensatz zu den Risikokennzahlen in Kapitel 7.

Über den Zeitraum von 23 Jahren liegt eine Anzahl von 76 getöteten und 164 verletzten Personen bei ZS-Pendelbahnen vor. Die verletzten und getöteten Fahrgäste (138 bzw. 64) machen den größten Anteil am gesamten Unfallgeschehen der ZS-Pendelbahnen aus. Im Vergleich zu den Arbeitsunfällen überwiegen sie deutlich. Die Zahl der jährlich verunfallten Fahrgäste liegt im Zeitraum von 1980-2002 ($T_1=23$ Jahre) bei 2,6 Getöteten und 6 Verletzten.

Die Zahl der Verletzten und Getöteten ist jedoch erst dann aussagekräftig, wenn sie in Bezug auf die Häufigkeit der eingetretenen Ereignisse (d.h. in Abhängigkeit der Anlagenzahl und des Betrachtungszeitraums) und im Verhältnis zur Anzahl der jeweils beförderten (d.h. betroffenen) Personen betrachtet werden. Auf Grundlage der eingetretenen Gefährdungseignisse und unter Betrachtung des Schadensausmaßes wird in Kapitel 7 das Risiko für Benutzer von zukünftigen ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse für einen definierten, durchschnittlichen Anlagenbestand wahrscheinlichkeitstheoretisch ausgewertet.

6 Grundlagen der Risikoberechnung

Ziel der probabilistischen Risikoanalyse ist die Prognose des zukünftigen Risikos von ZS-Pendelbahnen. Aus den eingetretenen Ereignissen des Fehlerbaumes werden mittels Boolescher Algebra Risikokennzahlen für den zukünftigen Anlagenbestand mit und ohne Trageilbremse abgeleitet.

6.1 Definition des Risikos

Das Risiko R setzt sich zusammen aus der Häufigkeit, mit der ein Ereignis eintritt (Eintrittswahrscheinlichkeit E_i) und dem mittleren Schadensausmaß $\bar{S}_i$, welches von diesem Ereignis ausgeht

$$R_i = E_i \cdot \bar{S}_i. \quad (6.1)$$

Risikokennzahlen können auf der Basis von Toten pro Zeiteinheit oder Verletzten pro Zeiteinheit bestimmt werden, mit

E_i Anzahl der Ereignisse pro Zeiteinheit,
 $\bar{S}_i$ mittlere Zahl an Toten / Verletzten pro Ereignis.

Das gesamte Risiko R ist die Risikosumme aller Gefährdungsereignisse i

$$R = \sum_i (E_i \cdot \bar{S}_i). \quad (6.2)$$

Aus den relevanten Gefährdungsereignissen des jetzigen Bestandes werden Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadensausmaße (d.h. die Auswirkungen für den Fahrgast) ermittelt und auf den zukünftigen Anlagenbestand mit und ohne Trageilbremse übertragen.

6.2 Eintrittswahrscheinlichkeiten der Ereignisse

Die Ausfallhäufigkeiten einzelner Bauteilen und Komponenten werden häufig in Laborversuchen ermittelt. Bei der Ausfallanalyse von komplexen Mensch-Maschine-Umwelt-Systemen müssen zusätzlich Wechselwirkungen zwischen den Komponenten, Einwirkungen des Menschen (z.B. menschliche Fehlhandlungen) und Umgebungseinflüsse berücksichtigt werden, siehe Bild 22. Eintrittswahrscheinlichkeiten von Ausfallereignissen, können auf der Basis von Felddaten, d.h. durch Beobachtung eines konstanten Systembestandes im Betrieb, ermittelt werden⁵, vgl. **Peters/Meyna 1985, Hauptmanns 1998**.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit ist die Eintrittshäufigkeit eines Ereignisses.

Aus der Anzahl der Ereignisse, die in definierten Betrachtungszeiträumen eingetreten sind, können frequentistische Wahrscheinlichkeiten (Eintrittswahrscheinlichkeiten) gebildet werden. Da der betrachtete Anlagenbestand in den Zeiträumen T_1 , T_2 und T_3 nicht konstant ist, werden die Gefährdungsereignisse auf die in den Betrachtungszeiträumen ermittelten Anlagenjahre AT bezogen.

⁵ Auch für Bauteil- und Komponentenausfälle kann eine konstante Ausfallrate angenommen werden. Bei konstanten Beständen mit Erneuerung (reparierbare Systeme mit Erneuerung von defekten Bauteilen) kann nicht nur bei Zufallsausfällen (Exponentialverteilung mit konstanter Ausfallrate λ) sondern auch bei Alterungs- und Verschleißausfällen (Ausfallrate $\lambda=f(t)$) mit konstanten Eintrittswahrscheinlichkeiten gerechnet werden, vgl. **O'Connor 1990, Peters/Meyna 1985** etc.

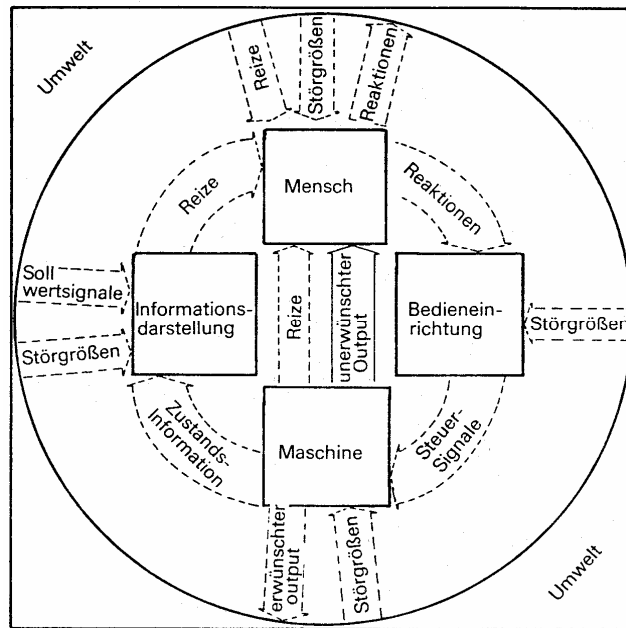


Bild 22: Zusammenwirken der einzelnen Funktionselemente im Mensch-Maschine-Umwelt-System, aus: Hauptmanns, Hertrich, Werner 1983

Die Eintrittswahrscheinlichkeit E einer Gefährdungsart bzw. einer Untergruppe der Gefährdungsart ist die Anzahl der Ereignisse Z bezogen auf den dafür maßgeblichen Anlagenbestand (AT) im Betrachtungszeitraum T

$$E = \frac{Z}{(AT)} \left[\frac{1}{\text{Anl.jahr}} \right]. \quad (6.3)$$

Gl. 6.3 definiert die Eintrittswahrscheinlichkeit pro Anlage und Jahr.

Soll das Risiko pro Fahrt bestimmt werden, benötigt man die Eintrittswahrscheinlichkeiten pro Fahrt

$$E_n = \frac{Z}{AT \cdot n} \left[\frac{1}{\text{Fahrt}} \right], \quad (6.4)$$

n ist darin die mittlere jährliche Fahrtenzahl einer ZS-Pendelbahn, siehe Kap. 4.8.

Bei der Ermittlung von zukünftigen Eintrittswahrscheinlichkeiten auf der Basis von eingetretenen Ereignissen des bisherigen Bestandes sind mehrere Einflussgrößen zu beachten. Sowohl die betrachteten Ereignisse als auch der zugrunde zu legende Anlagenbestand ist genau zu definieren, beispielsweise im Hinblick auf die technische Ausrüstung der ZS-Pendelbahnen.

6.2.1 Berücksichtigte Einflussgrößen

A) Vielfalt der technischen Ausrüstung von ZS-Pendelbahnen

ZS-Pendelbahnen können sich in Bezug auf Bauart und Bauteile/Komponenten unterscheiden (z.B. Anzahl der Tragseile, Zugseilendverbindungen und -befestigungen, pneumatisch oder hydraulisch gelüftete Betriebs und Sicherheitsbremsen, Anordnung der Betriebsbremse etc.).

Je nach Ausrüstung treten damit einige Gefährdungen bei Anlagen nicht oder nur mit geringerer Eintrittswahrscheinlichkeit ein. Dies gilt sowohl für die bisherigen Anlagen als auch für die zukünftigen ZS-Pendelbahnen und wird bei der Auswertung berücksichtigt.

- a) Ereignisse, die nur bei Anlagen mit bestimmten technischen Ausrüstungsmerkmalen (z.B. nur bei bestimmten Zugseilendverbindungen) auftreten können, werden entsprechend ihren Anteilen am bisherigen oder zukünftigen Bestand gewertet. (*Kapitel 6.2.5b und 6.2.6*)
- b) Für die Mehrheit der Komponenten wird jeweils eine ähnliche technische Ausrüstungsvielfalt für den Bestand der bisherigen und zukünftigen ZS-Pendelbahnen zu Grunde gelegt. (*Kapitel 6.2.5a*)

B) Technische Entwicklungen und Veränderungen des Ausrüstungs- und Überwachungsstandards

a) bisherige Veränderungen bei ZS-Pendelbahnen

Wesentliche Veränderungen betreffen insbesondere die ZS-Endverbindungen (Vergussköpfe, Klemmköpfe, Trommeln etc.), vgl. Kap. 4.10.1 und 4.10.2, und werden bei der Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeiten berücksichtigt (*Kapitel 6.2.5b*). Die Auswirkungen dieser Veränderungen können anhand der Bezugsbasen T_1 und T_2 durch einen Vergleich der Eintrittswahrscheinlichkeiten oder Risiken untersucht und berücksichtigt werden. (*Kapitel 6.2.4*)

b) zukünftige Veränderungen bei ZS-Pendelbahnen

Zukünftige Veränderungen sind zu erwarten, durch

- die zukünftigen CEN-Normen (z.B. prEN 12929-1 und -2)
- den Stand der Technik.

Ereignisse, die nach den zukünftigen CEN-Normen für ZS-Pendelbahnen mit oder ohne TSB jeweils nicht mehr relevant sind oder nur teilweise relevant sind, werden entweder nicht oder über eine reduzierte Eintrittswahrscheinlichkeit (*Kapitel 6.2.7*) berücksichtigt.

C) Unvollständige Datenbasis, Dunkelziffer an Ereignissen

Eine Dunkelziffer an nicht ermittelten Ereignissen ist sicher vorhanden. Dies wirkt sich jedoch nicht auf die ermittelten Risikozahlen aus, sofern alle Ereignisse mit der Folge von schweren Verletzungen und Toten bekannt sind. (*Kapitel 6.4.1*)

Weltweit eingetretene Ereignisse sind ebenfalls unvollständig. Sie werden nur in Ausnahmefällen (bei einer relevanten Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit) anteilig berücksichtigt. (*Kapitel 6.2.3*)

6.2.2 Vorgehensweise bei der Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Tatsächliche Eintrittswahrscheinlichkeiten auf der Grundlage aller Ereignisse des bisherigen Bestandes wurden nicht ermittelt.

Auf der Basis des bisherigen Bestandes werden im Hinblick auf die zukünftigen Systeme relevante Eintrittswahrscheinlichkeiten ermittelt. Dabei werden nur Ereignisse berücksichtigt, die für den zukünftigen Bestand relevant sind, z.B. in Bezug auf die technische Ausrüstung. Gemäß der Eingrenzung der Risikobetrachtung in Kap. 2.2 wird nur der Fahrbetrieb ohne Arbeitsunfälle betrachtet.

Im Hinblick auf die zukünftige technische Ausrüstung des Bestandes werden Eintrittswahrscheinlichkeiten jeweils getrennt für ZS-PB mit und ohne TSB ermittelt. Die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeiten einschließlich der berücksichtigten Annahmen ist in den Abschnitten 6.2.3 bis 6.2.6 beschrieben.

Ausgehend von den ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten werden unter Berücksichtigung der Auswirkungen der CEN-Normen zukünftige Eintrittswahrscheinlichkeiten abgeleitet. In weiten Bereichen entsprechen die zukünftigen Eintrittswahrscheinlichkeiten den ermittelten relevanten Eintrittswahrscheinlichkeiten.

Zu einigen veränderten Ausrüstungsmerkmalen und Überwachungsvorschriften, die in den zukünftigen CEN-Normen und insbesondere in den ergänzenden Anforderungen der prEN 12929-2 festgelegt sind, existieren bisher jedoch keine Datenbasis und keine Erfahrungen. Die Wirkung der zukünftigen Anforderungen, z.B. verkürzte Prüfintervalle bei der magnetischen Überwachung des Zugseils, kann daher nur abgeschätzt werden. Gängige Verfahren sind hierbei Voraussageverfahren von Experten (Delphi-Methode, vgl. **EN 1050**) oder die Berücksichtigung von Bayes'schen Wahrscheinlichkeiten⁶, **Schneider 1991**.

Für die Prognose der zukünftigen Eintrittswahrscheinlichkeiten wurden von Experten des IFT und TÜV Faktoren festgelegt und begründet, die die erhöhten Anforderungen der zukünftigen Normen, ausgehend von den ermittelten, relevanten Eintrittswahrscheinlichkeiten beschreiben, siehe Kap. 6.2.7. Ein allgemeiner Trend für verbesserte Technik und Komponenten wurde bei den zukünftigen Eintrittswahrscheinlichkeiten nicht berücksichtigt.

6.2.3 Berücksichtigung der außereuropäischen Ereignisse

Die Informationen über außereuropäische Ereignisse (im Fehlerbaum mit * gekennzeichnet) liegen nicht vollständig vor. Eintrittswahrscheinlichkeiten können daher nur auf Grundlage der weitgehend vollständigen Unterlagen über Ereignisse in Europa ermittelt werden. Da Gefährdungsereignisse seltene Ereignissen sind, können einzelne Ereignisse bereits außerhalb Europa aber aufgrund des geringeren betrachteten Anlagenbestandes noch nicht in Europa eingetreten sein. Sofern diese außereuropäischen Ereignisse relevant sind und auch in Europa auftreten könnten, werden sie bei der Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit nach Gl. 6.7 anteilsgemäß berücksichtigt, falls sich damit die Eintrittswahrscheinlichkeit in Europa begründet erhöht.

⁶ „Im Gegensatz zum frequentistischen Wahrscheinlichkeitsbegriff wird beim (Bayes'schen) Wahrscheinlichkeitsbegriff die Wahrscheinlichkeit als subjektives Maß des Glaubens des Beobachters an das Eintreten eines Ereignisses aufgefasst.“, **Breitung et. al. 1990**.

Der Beobachter hat am Anfang entweder gar keine Vorstellung, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, oder er hat eine gewissen Vorinformation oder Voreinstellung über diese Wahrscheinlichkeit.

Bei einer konstanten Eintretenshäufigkeit der Gefährdungseignisse i gilt für die theoretische Eintrittswahrscheinlichkeit bei einer ausreichend großen Datenbasis

$$E_i = E_{i,W}, \quad (6.5)$$

mit $E_i = \frac{Z_i}{(AT)}$ (für Europa) und $E_{i,W} = \frac{Z_{i,W}}{(AT)_W}$ (weltweit).

Die weltweite Eintrittswahrscheinlichkeit $E_{i,W}$ kann jedoch nur mit einer vollständigen Datenbasis ($Z_{i,W}=Z_i+Z_{i,zW}$) bestimmt werden, d.h. wenn auch alle Ereignisse $Z_{i,zW}$, die außerhalb von Europa eingetreten sind, bekannt sind (Europa definiert auf S. 17)

$$E_{i,W} = \frac{Z_{i,W}}{(AT)_W} = \frac{(Z_i + Z_{i,zW}) \cdot \frac{(AT)}{(AT)_W}}{(AT)} = \frac{(Z_i + Z_{i,zW}) \cdot \varepsilon}{(AT)}. \quad (6.6)$$

Mit $(AT)/(AT)_W \approx (AT)_2/(AT)_{2,W}=0,68$, siehe Gl. 4.4, Kapitel 4.3.

Da die außereuropäischen Ereignisse $Z_{i,zW}$ nicht vollständig sind, gilt für die ermittelte Eintrittswahrscheinlichkeit weltweit E_{i,W^*} auf Basis der unvollständigen Daten Z_{i,zW^*}

$$E_{i,W^*} = \frac{(Z_i + Z_{i,zW^*}) \cdot \varepsilon}{(AT)} \leq E_{i,W}, \quad (6.7)$$

mit Z_{i,zW^*} ermittelte außereuropäische Gefährdungseignisse (nicht vollständig)

Sofern die für Europa ermittelte Eintrittswahrscheinlichkeit eines Gefährdungseignisses E_i kleiner ist als die ermittelte Eintrittswahrscheinlichkeit E_{i,W^*}

$$E_i < E_{i,W^*} \leq E_{i,W} \quad (6.8)$$

wird aufgrund Gl. 6.5 ($E_i = E_{i,W}$) die Eintrittswahrscheinlichkeit E_{i,W^*} nach Gl. 6.7 berücksichtigt, d.h. die Eintrittswahrscheinlichkeit zur sicheren Seite abgeschätzt.

6.2.4 Betrachtung der beiden Bezugsbasen T_1 (1980-2002) und T_2 (1908-2002)

In Kap. 5.4 konnte festgestellt werden, dass die Zahl der relevanten Gefährdungseignisse bei einigen Gefährdungsarten in den Betrachtungszeiträumen T_1 und T_3 konstant geblieben ist, während bei anderen Gefährdungsarten die Anzahl der Ereignisse zu- oder abgenommen haben.

Die Veränderung der Eintrittswahrscheinlichkeiten in den letzten 23 Jahren soll bei der Risikoprognose ebenfalls betrachtet werden. Die Risikoberechnung wird daher jeweils getrennt mit den Eintrittswahrscheinlichkeiten, die in den beiden Betrachtungszeiträumen T_1 und T_2 ermittelt werden, durchgeführt.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit E_1 der relevanten Gefährdungseignisse Z_1 seit 1980 (T_1) ist

$$E_1 = \frac{Z_1}{(AT)_1} \quad \text{bzw. in verkürzter Darstellung:} \quad E = \frac{Z}{(AT)_1}. \quad (6.9)$$

Zur Unterscheidung der Betrachtungszeiträume T_1 und T_2 wird im Folgenden das Formelzeichen Eintrittswahrscheinlichkeit E (nach Gl. 6.3) auch zur vereinfachten Darstellung des Zeitraums T_1 verwendet: $E_1=E$, $Z_1=Z$.

E_2 ist die Eintrittswahrscheinlichkeit aller relevanten Gefährdungsereignisse Z_2 über den gesamten Betrachtungszeitraum T_2 (mit $Z_2=Z_1+Z_3$)

$$E_2 = \frac{Z_2}{(AT)_2} = \frac{Z_1 + Z_3}{(AT)_1 + (AT)_3} = E_1 \frac{(AT)_1}{(AT)_2} + E_3 \frac{(AT)_3}{(AT)_2} \quad \text{bzw.}$$

$$\text{in verkürzter Darstellung: } E' = \frac{Z'}{(AT)_2} = \frac{Z + Z_3}{(AT)_1 + (AT)_3} . \quad (6.10)$$

Zur vereinfachten Darstellung des Zeitraumes T_2 gilt im Folgenden auch: $E_2=E'$ und $Z_2=Z'=Z_1+Z_3=Z+Z_3$.

6.2.5 Vielfalt und Veränderung der technischen Ausrüstung

ZS-Pendelbahnen können in unterschiedlicher Bauform (z.B. Anzahl der Tragseile) und mit unterschiedlichen Komponenten (Art der Bremsen, etc.) ausgeführt werden, vgl. Kap. 4.10. Dies gilt sowohl für ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB.

Für die Berechnung muss unterschieden werden, ob sich ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB in der technischen Ausrüstung unterscheiden und ob sich die technische Ausrüstung zukünftig im Vergleich zum bisherigen Bestand verändert.

Wesentliche Unterschiede von ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB findet man bei den Zugseilendverbindungen, die bisher und zukünftig sehr spezifisch und mit unterschiedlichen Anteilen eingesetzt werden.

a) Technische Ausrüstung ist unabhängig vom Systemtyp ZS-PB mit und ohne TSB und von den Betrachtungszeiträumen

Mit Ausnahme der Zugseilendverbindungen kann angenommen werden, dass eine ähnliche anteilige technische Ausrüstung auch zukünftig sowohl bei ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB vorliegt und dass sich die jeweiligen Ausrüstungsanteile in den unterschiedlichen Zeiträumen T_1, T_2, T_3 sowie zukünftig nicht verändern.

In Bild 23 ist dies am Beispiel von hydraulisch und pneumatisch gelüfteten Betriebsbremsen für den bisherigen Bestand und die zukünftigen Bestände mit und ohne TSB dargestellt.

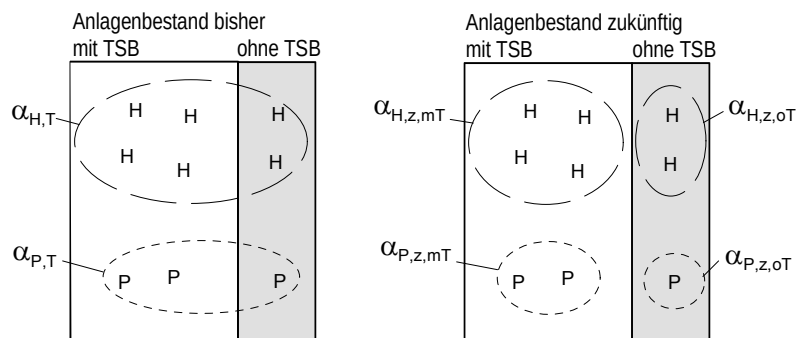


Bild 23: Anteile der technischen Ausrüstung (am Beispiel von hydraulisch (H) und pneumatisch (P) gelüfteten Betriebsbremsen)

Liegt in den Betrachtungszeiträumen T_1 und T_2 für den bisherigen Bestand mit und ohne TSB und für die zukünftigen Bestände mit und ohne TSB jeweils der gleiche Anteil α_i einer Komponente i vor, gilt

$$\alpha_i = \alpha_{i,T1} = \alpha_{i,T2} = \alpha_{i,z,mT} = \alpha_{i,z,oT} . \quad (6.11)$$

Die Versagenswahrscheinlichkeit (absolute Ausfallhäufigkeit) $E_{i,\alpha}$ für den Ausfall der Komponente i erhält man aus der Anzahl Z_i der Ausfallereignisse der Komponente i bezogen auf den Teilbestand an Anlagen im Zeitraum T $(AT)_{T,i}$ der mit der Komponente i ausgerüstet ist

$$E_{i,\alpha} = \frac{Z_i}{(AT)_{T,i}} = \frac{Z_i}{(AT) \cdot \alpha_{i,T}}. \quad (6.12)$$

Die Eintrittswahrscheinlichkeit des Komponentenausfalls i bezogen auf den Gesamtbestand der zukünftigen Anlagen E_i (d.h. anteilige Ausfallhäufigkeit) ergibt sich entsprechend dem Ausrüstungsanteil $\alpha_{i,z}$. Mit Gl. 6.11 $\alpha_{i,T} = \alpha_{i,z}$ folgt

$$E_i = E_{i,\alpha} \cdot \alpha_{i,z} = \frac{Z_i}{(AT)} \cdot \frac{\alpha_{i,z}}{\alpha_{i,T}} = \frac{Z_i}{(AT)}. \quad (6.13)$$

Die zukünftige anteilige Eintrittswahrscheinlichkeit entspricht der ermittelten anteiligen Eintrittswahrscheinlichkeit des bisherigen Bestands.

Die Summe der Eintrittswahrscheinlichkeiten für Ausfälle mit allen Komponenten i ist

$$E = \sum_i E_i = \frac{\sum Z_i}{AT}. \quad (6.14)$$

Für die Berechnung der zukünftigen Eintrittswahrscheinlichkeiten müssen Ereignisse, die nur bei bestimmten Komponenten i auftreten, nicht unterschieden werden. Es können alle Ereignisse zusammengefasst werden, z.B. alle Ausfallereignisse mit beliebigen Bremsen.

b) Technische Ausrüstung verändert sich in den Zeiträumen T_1 und T_3 und unterscheidet sich wesentlich im zukünftigen Bestand mit und ohne TSB

Die Ausrüstung von ZS-Pendelbahnen mit den möglichen Zugseilendverbindungen hat sich im Betrachtungszeitraum T_1 gegenüber dem Zeitraum T_3 verändert, vgl. Kap. 4.10.1. Neue Zugseilendverbindungen sind hinzugekommen. Durch die Forderung der Norm prEN 12929-2 nach einer endlosen Zugseilschleife bei Bahnen ohne TSB werden in den zukünftigen Bahnen (ebenso wie bereits bei den bisherigen ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB) jeweils unterschiedliche Anteile an Zugseilendverbindungen und Befestigungen am Seil α_i eingesetzt, siehe Bild 24.

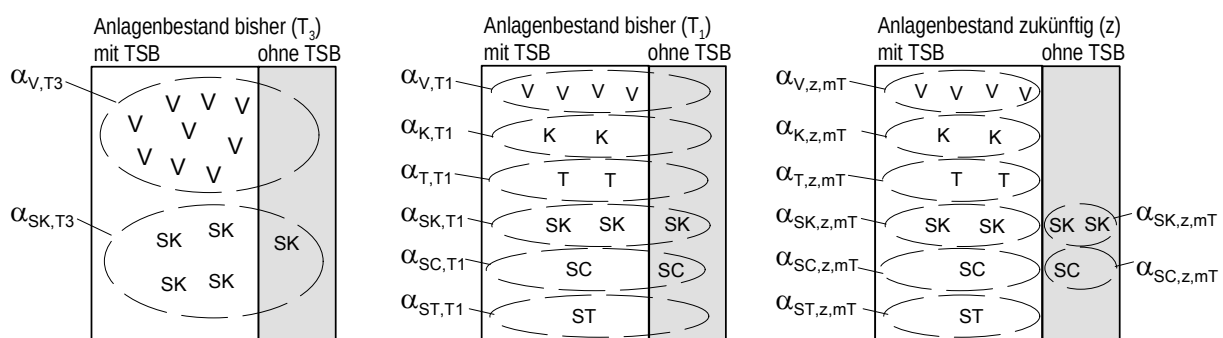


Bild 24: Gesamtbestand der europäischen Zweiseil-Pendelbahnen mit verschiedenen Zugseilendverbindungen

Die bisherigen Anteile $\alpha_{i,T1}$ und $\alpha_{i,T3}$ sowie die auf Basis des bisherigen Bestandes abgeschätzten zukünftigen Anteile $\alpha_{i,z,mT}$ und $\alpha_{i,z,oT}$ sind in Tabelle 6 auf Seite 32 eingetragen. Im Gegensatz zu Gl. 6.11 ist hier

$$\alpha_{i,T1} \neq \alpha_{i,T2} \neq \alpha_{i,z,mT} \neq \alpha_{i,z,oT} . \quad (6.15)$$

Die Versagenswahrscheinlichkeiten $E_{i,\alpha}$ und $E_{i,\alpha}'$ der Zugseilbefestigung i erhält man nach Gl. 6.12 aus der Zahl Z_i der Ausfallereignisse bezogen auf den jeweiligen Teilbestand an Anlagen mit der Komponente i im Zeitraum T_1 bzw. in den Zeiträumen T_1 und T_3 . Im Zeitraum T_1 ist

$$E_{i,\alpha} = \frac{Z_i}{(AT)_{1,i}} = \frac{Z_i}{(AT)_1 \cdot \alpha_{i,T}} . \quad (6.16)$$

Für den Zeitraum T_2 gilt mit $T_2=T_1+T_3$ (d.h. mit $Z_i'=Z_i+Z_{3,i}$) entsprechend

$$E_{i,\alpha}' = \frac{Z_i'}{(AT)_{1,i} + (AT)_{3,i}} = \frac{Z_i + Z_{3,i}}{(AT)_{1,i} + (AT)_{3,i}} = \frac{Z_i + Z_{3,i}}{(AT)_1 \cdot \alpha_{i,T1} + (AT)_3 \cdot \alpha_{i,T3}} . \quad (6.17)$$

Die anteilige Eintrittswahrscheinlichkeit für das Versagen einer Zugseilbefestigung i bezogen auf den Gesamtbestand der zukünftigen Anlagen E_i ist abhängig vom jeweils zukünftigen Ausrüstungsanteil $\alpha_{i,z}$

$$E_i = E_{i,\alpha} \cdot \alpha_{i,z} = \frac{Z_i}{(AT) \cdot \alpha_{i,T}} \cdot \alpha_{i,z} . \quad (6.18)$$

Nach Gl. 6.15 ($\alpha_{i,T1} \neq \alpha_{i,T2} \neq \alpha_{i,z,mT} \neq \alpha_{i,z,oT}$) ist die zukünftige Eintrittswahrscheinlichkeit $E_{i,mT}$ für das Versagen der Komponenten i bei ZS-PB mit TSB auf der Betrachtungsbasis T_1 bei einem zukünftigen Anteil der Ausrüstung $\alpha_{i,z}$

$$E_{i,mT} = E_{i,\alpha} \cdot \alpha_{i,z,mT} = \frac{Z_i}{(AT)_1 \cdot \alpha_{i,T1}} \cdot \alpha_{i,z,mT} , \quad (6.19)$$

und $E_{i,mT}'$ auf der Betrachtungsbasis T_2

$$E_{i,mT}' = E_{i,\alpha}' \cdot \alpha_{i,z,mT} = \frac{Z_i + Z_{3,i}}{(AT)_1 \cdot \alpha_{i,T1} + (AT)_3 \cdot \alpha_{i,T3}} \cdot \alpha_{i,z,mT} . \quad (6.20)$$

Für ZS-PB ohne TSB gilt entsprechend auf der Basis von T_1

$$E_{i,oT} = E_{i,\alpha} \cdot \alpha_{i,z,oT} = \frac{Z_i}{(AT)_1 \cdot \alpha_{i,T1}} \cdot \alpha_{i,z,oT} \quad (6.21)$$

und auf der Basis T_2

$$E_{i,oT}' = E_{i,\alpha}' \cdot \alpha_{i,z,oT} = \frac{Z_i + Z_{3,i}}{(AT)_1 \cdot \alpha_{i,T1} + (AT)_3 \cdot \alpha_{i,T3}} \cdot \alpha_{i,z,oT} . \quad (6.22)$$

6.2.6 Besonders zu berücksichtigende Ereignisse

Ereignisse, die durch die Tragseilbremse ausgelöst werden und Ereignisse, die zukünftig oder bereits bisher nur an Anlagen mit TSB eintreten können, müssen gesondert betrachtet werden. Im Fehlerbaum sind Ereignisse, die zukünftig nur für Bahnen mit TSB relevant sind, blau dargestellt.

Fall 1: Eine Gefährdungsart wird ausschließlich durch die Tragseilbremse verursacht, z.B. das unplanmäßiges Einfallen der TSB.

Bei der Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit werden die Ereignisse Z_{mT} nur auf den entsprechend Anlagenbestand mit TSB bezogen

$$E_{mT} = \frac{Z_{mT}}{(AT)_{mT}}. \quad (6.23)$$

Mit $(AT)_{mT}$ aus Tabelle 1, S. 22. Die Eintrittswahrscheinlichkeit ohne TSB ist $E_{oT}=0$.

Fall 2: Bei einer Gefährdungsart sind Z Ereignisse aufgetreten, die für Bahnen mit und ohne Tragseilbremse relevant sind. Neben diesen Z Ereignissen sind zusätzlich Z_{mT} Ereignisse eingetreten, die ursächlich auf die TSB zurückzuführen sind, beispielsweise Tragseilentgleisungen, bei denen das Tragseil durch die TSB ausgehebelt wurde.

Bei ZS-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse gilt in diesem Fall für die Eintrittswahrscheinlichkeit

$$E_{oT} = \frac{Z}{(AT)}. \quad (6.24)$$

Bei ZS-Pendelbahnen mit TSB erhöht sich die Eintrittswahrscheinlichkeit E_{oT} durch die zusätzlichen Ereignisse Z_{mT} , die nur bei Bahnen mit TSB auftreten können, um den Anteil ΔE_{mT} (entsprechend Gl. 6.23)

$$E_{mT} = \frac{Z}{(AT)} + \frac{Z_{mT}}{(AT)_{mT}} = E_{oT} + \Delta E_{mT}. \quad (6.25)$$

Fall 3: Bei einer Gefährdungsart sind von insgesamt Z eingetretenen Ereignissen Z_{oT} Ereignisse zukünftig nicht mehr bei Anlagen ohne TSB relevant, weil sie gemäß der Norm prEN 12929-2 ausgeschlossen werden (z.B. keine Ausnahmeerlaubnis für einzelnes Kopierwerk).

In diesem Fall ist die Eintrittswahrscheinlichkeit für ZS-PB ohne TSB (bei insgesamt Z eingetretenen Ereignissen)

$$E_{oT} = \frac{Z - Z_{oT}}{(AT)}. \quad (6.26)$$

Bei ZS-PB mit TSB sind hingegen alle Z eingetretenen Ereignisse auch zukünftig relevant. Damit ist die Eintrittswahrscheinlichkeit

$$E_{mT} = \frac{Z}{(AT)}. \quad (6.27)$$

6.2.7 Zukünftige Veränderungen durch die CEN-Normen

Unter Berücksichtigung der CEN-Normen, insbesondere der prEN 12929-2 werden auf Basis der rechnerisch ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten E_b zukünftige Eintrittswahrscheinlichkeiten prognostiziert. Eine begründete Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeiten für den zukünftigen Bestand wird anhand von Faktoren β berücksichtigt

$$E_z = E_b \cdot \beta. \quad (6.28)$$

Weitere zusätzliche Anforderungen in prEN 12929-2, z.B. die redundante Anordnung der Klemmen und des Chapeau-de-Gendarme werden ausgehend von den ermittelten Ausfallwahrscheinlichkeiten der Einzelbauteile wahrscheinlichkeitstheoretisch abgeschätzt.

6.3 Berechnung des Schadensausmaßes S

Das Schadensausmaß wird über definierte Kennzahlen beschrieben, z.B. Schadenssumme (Sachschaden) oder Verletzte und Tote (Personenschaden). Im Bereich der Reaktortechnik, Chemieanlagen wird das Schadensausmaß häufig über die Freisetzung und die Ausbreitung der gefährlichen Stoffe bestimmt.

Bei ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB soll das Risiko anhand der Auswirkungen auf den Fahrgast untersucht und verglichen werden. Als Größe für das Schadensausmaß wird die Zahl der Toten bzw. Verletzten herangezogen.

Das mittlere Schadensausmaß $\bar{S}$ einer Gefährdungsart i kann bei Z Ereignissen durch die mittlere Anzahl an Verletzten bzw. Toten pro Ereignis beschrieben werden

$$\bar{S}_{V,i} = \frac{\sum P_V}{Z} \quad \text{bzw.} \quad \bar{S}_{T,i} = \frac{\sum P_T}{Z}. \quad (6.29)$$

Betrachtet man die eingetretenen Ereignisse, zeigt sich jedoch, dass bei einzelnen Ereignissen das jeweilige Schadensausmaß nicht nur von der „Schwere“ des Gefährdungseignisses sondern auch von der Anzahl der betroffenen Personen abhängt. Beim Absturz eines Fahrzeugs aus großer Höhe mit sicherer Todesfolge der Fahrgäste bestimmt die Anzahl der betroffenen Personen, die sich bei diesem Ereignis im Fahrzeug befinden, die Anzahl der Toten. Im Einzelfall kann dies den Tod von 1 Person bedeuten oder den Tod von 150 Personen zur Folge haben. Da die Anzahl der Betroffenen in den meisten Fällen zufällig ist und nicht mit dem eingetretenen Ereignis in einem ursächlichen Zusammenhang steht, charakterisiert der tatsächlich aufgetretene Schaden somit nicht in jedem Fall das potentielle Schadensausmaß eines Gefährdungseignisses.

Soll aus den eingetretenen Ereignissen das zukünftige Schadensausmaß abgeschätzt werden, ist die Anzahl der Verletzten und Getöteten pro Ereignis nur eingeschränkt geeignet das mögliche Schadensausmaß eines Gefährdungseignisses zu beschreiben, wenn sich die Zahl der betroffenen Personen stark unterscheidet. Daher berechnen **Feyrer/Dudde 1995** in einer Untersuchung von Unfällen bei Aufzügen das Schadensausmaß als Produkt aus Betroffenheitsquotient und Verletzungs- bzw. Todeswahrscheinlichkeit Q_V und Q_T . Der Betroffenheitsquotient bestimmt die Anzahl der von einem Ereignis betroffenen Personen. Die Verletzungs- bzw. Todeswahrscheinlichkeit gibt das Verhältnis von Verletzten bzw. Getöteten zu den betroffenen Personen an

$$Q_V = \frac{P_V + P_T}{P_B}, \quad (6.30)$$

$$Q_T = \frac{P_T}{P_B}. \quad (6.31)$$

Mit: P_B Anzahl der betroffenen Personen
 P_V Anzahl der verletzten Personen
 P_T Anzahl der getöteten Personen

Über die Verletzungs- bzw. Todeswahrscheinlichkeit kann unabhängig von der zufälligen Anzahl der Betroffenen die potentielle „Schwere“, d.h. das Verletzungs- und Todespotential eines Ereignisses abgeleitet werden. Bei der Ermittlung der Verletzungswahrscheinlichkeit wird auch die Zahl der Toten berücksichtigt. Damit beschreibt sie die Auswirkung, dass mindestens eine Verletzung aufgetreten ist, die aber auch tödlich sein kann.

Das Schadenspotential kann bei mehreren Ereignissen der gleichen Gefährdungsart in einer großen Bandbreite liegen. Es hängt beispielsweise vom Ort und der Geschwindigkeit der Fahrzeuge im Augenblick des Ereignisses (z.B. Zugseilriss) ab, wo und wie tief die Fahrzeuge abstürzen. Durch Mittelung der Schadenspotentiale von Z Ereignissen einer Gefährdungsart i erhält man die mittlere Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeit ($Q_{V,i}$, $Q_{T,i}$), die das zukünftige mittlere Schadensausmaß bestimmt

$$Q_{V,i} = \frac{1}{Z} \sum_{j=1}^Z \frac{P_{V,j}}{P_{B,j}}, \quad (6.32)$$

$$Q_{T,i} = \frac{1}{Z} \sum_{j=1}^Z \frac{P_{T,j}}{P_{B,j}}. \quad (6.33)$$

Das mittlere Schadensausmaß eines Gefährdungsszenarios i ($\bar{S}_{V,i}$ bzw. $\bar{S}_{T,i}$) kann aus dem mittleren Betroffenheitsquotient f_B (Anzahl der Betroffenen pro Ereignis) und aus der mittleren Verletzungs- bzw. Todeswahrscheinlichkeit $Q_{V,i}$ bzw. Todeswahrscheinlichkeit $Q_{T,i}$ berechnet werden

$$\bar{S}_{V,i} = f_B \cdot Q_{V,i}, \quad (6.34)$$

$$\bar{S}_{T,i} = f_B \cdot Q_{T,i}. \quad (6.35)$$

In Kapitel 7 werden die ermittelten, mittleren Schadensausmaße der Gefährdungseignisse i vereinfacht mit S (anstelle von $\bar{S}$) bezeichnet.

6.3.1 Zukünftiger Betroffenheitsquotient

Das tatsächliche Ausmaß eines Gefahrenereignisses hängt von der Anzahl der betroffenen Personen im Fahrzeug ab. Ereignisse, die eingetreten sind, hatten ein kleineres Schadensausmaß, wenn sie bei einer geringen Befüllung oder bei einer geringen Fahrzeugkapazität eingetreten sind. Der potentielle Schaden ist damit nicht nur von dem Ereignis selbst, sondern auch von der Fahrzeuggröße und vom jeweiligen Füllgrad abhängig.

Die Prognose des zukünftigen Schadensausmaßes und Risikos soll auf der Grundlage eines mittleren wahrscheinlichen Schadens durchgeführt werden. Dazu wird eine mittlere Anzahl an Betroffenen je Fahrzeug angenommen. Die mittlere Anzahl der Betroffenen pro Fahrzeug wird auf der Basis des mittleren Füllgrades f_1 eines Fahrzeugs (Kap. 4.7) festgelegt, zusätzlich wird die zukünftige, größere Fahrzeugkapazität $K_z=77$ (Kap. 4.6), berücksichtigt.

Wiederholen sich Unfälle, die bisher an Fahrzeugen mit durchschnittlich $K_b=51$ Personen eingetreten sind, bei Neuanlagen, ist das Schadensausmaß und Risiko zukünftig um den Faktor $\kappa=1,5$ höher.

Der konstante zukünftige Betroffenheitskoeffizient f_{B1} pro Fahrzeug ist

$$f_{B1} = f_1 \cdot K_z. \quad (6.36)$$

Bei Ereignissen, die gleichzeitig beide Fahrzeuge betreffen, ist der Betroffenheitsquotient f_{B2} bezogen auf 2 Fahrzeuge

$$f_{B2} = 2 \cdot f_{B1} = 2 \cdot f_1 \cdot K_z. \quad (6.37)$$

6.3.2 Ermittlung der Todes- und Verletzungswahrscheinlichkeiten

Die mittlere Todes- und Verletzungswahrscheinlichkeit wird nach Gl. 6.33 und 6.32 für die unterschiedlichen Gefährdungsarten des Fehlerbaums bestimmt. Falls sich die Todes- und Verletzungswahrscheinlichkeit bei einzelnen Gruppen des Fehlerbaums unterscheidet, wird das Schadensausmaß für definierte Untergruppen mit gleichen Gefährdungsszenarien bestimmt. Dabei ist jeweils zu beachten, ob bei einem Gefährdungsereignis nur ein Fahrzeug oder beide Fahrzeuge betroffen sind. Bei einigen Ereignissen, wie z.B. beim Versagen der Zugseilschleife, muss zusätzlich die Todes- und Verletzungswahrscheinlichkeit mit und ohne TSB unterschieden werden.

Um eine möglichst repräsentative Datenbasis für das mittlere Schadensausmaß zu erhalten, werden auch die Folgen von Ereignissen betrachtet, die für die Berechnung der zukünftigen Eintrittswahrscheinlichkeit nicht relevant sind. Während die Eintrittswahrscheinlichkeiten stark von der eingesetzten Technik abhängen und unterschiedlichen Prüf- und Bauvorschriften unterliegen, sind die Auswirkungen und Folgen, nicht vom Betrachtungszeitraum und von der Art der Anlage abhängig. Hinsichtlich der Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeit spielt es keine Rolle, ob das Fahrzeug in Tiflis oder in Deutschland abstürzt. Somit werden neben den relevanten Ereignissen auch die Unfälle weltweit, Ereignisse an Kleinseilbahnen bzw. während Dienstfahrten betrachtet.

Bei der Berechnung der Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeiten ist folgendes zu beachten:

- Beträgt die Anzahl der Verletzten oder Getöteten $P_V=0$ ($P_T=0$), ist die Verletzungs- bzw. Todeswahrscheinlichkeit $Q_V=0$ ($Q_T=0$). Das Schadensausmaß und Risiko ist damit $S=R=0$. Dies gilt jedoch nur bei einem Betroffenenquotient $P_B \neq 0$.
- Ist das Fahrzeug dagegen nicht besetzt, d.h. ist der Betroffenenquotient $P_B=0$, kann die Verletzungs- bzw. Todeswahrscheinlichkeit Q_V (Q_T) nicht ermittelt werden. Ereignisse mit $P_B=0$ werden daher nicht in die Berechnung von Q_V und Q_T einbezogen. Das Schadensausmaß S und Risiko R ist in diesem Fall nicht definiert⁷.

Anders als bei der Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit werden alle ermittelten Ereignisse bei der Ermittlung des Schadensausmaßes nur im Hinblick auf die Folgen betrachtet. Sowohl nicht relevante Fälle als auch Fälle, die für die Eintrittswahrscheinlichkeit relevant waren, werden nicht berücksichtigt, wenn keine Daten vorliegen, $B=0$ ist oder wenn kein relevantes Verletzungsrisiko auftritt. Der Riss des Zugseils bei einer ZS-Pendelbahn mit zwei oder mehr Zugseilen ist beispielsweise hinsichtlich der Schadensfolgen nicht relevant für die Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeit der Gefährdungsart Versagen eines einzigen Zugseils.

Die Verletzungs- und Todesquoten mehrerer Ereignisse einer Gefährdungsart können sehr unterschiedlich sein. In einigen Fällen haben die Beförderten sehr großes

⁷ Das tatsächliche Risiko ist bei einem solchen Ereignis hingegen $R=0$, da $S=0$. Für das prognostizierte Risiko gilt dies jedoch nicht, da zukünftig alle Fahrzeuge entsprechend dem Betroffenenquotient f_B besetzt werden. Bei einer zukünftig angenommenen Befüllung von 25% der zukünftigen Fahrzeuggröße werden jedoch tatsächliche Ereignisse ohne Betroffene $P_B=0$ durch andere eingetretene Ereignisse, in denen die Betroffenenzahl über der angenommenen durchschnittlichen Befüllung liegt $P_B > f_B$ wieder ausgeglichen.

Glück gehabt. Diese Fälle fließen ebenfalls in die Berechnung der mittleren Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeit ein, da auch zukünftig nicht generell das schwerste anzunehmende Schadensausmaß eintreten wird. Sind dagegen bei den eingetretenen Ereignissen einer Gefährdungsart keine Todesfolgen aufgetreten, obwohl in Ausnahmefällen eine Todesfolge möglich ist, wird eine sehr kleine Todeswahrscheinlichkeit, ausgehend von der Verletzungsschwere abgeschätzt.

Die ermittelten Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeiten gelten gleichfalls auch für den zukünftigen Bestand, da in den zukünftigen Normen keine technischen Änderungen enthalten sind, die auf eine Minderung der Schadensfolgen abzielen.

6.4 Ermittlung der Risikokennzahlen

6.4.1 Risikozahlen bei einer Dunkelziffer von unbekannten Ereignissen

Bei den Ereignissen „Absturz des Fahrzeugs“, „Fahrzeugbrand“, „Versagen der Zugseilschleife“ ist die Zahl der nicht gemeldeten Gefahrenereignisse vermutlich gering, da diese Fälle häufig folgenschwer sind und daher als Gefahr eingestuft und gemeldet werden.

Die Ereignisse „Kollision mit Hindernis“, „unplanmäßiges Einfallen der Tragseilbremse“ und „Übergeschwindigkeit / unkontrollierte Fahrbewegung des Fahrzeugs“ liegen dagegen sicher nicht vollständig vor. Dies betrifft insbesondere Ereignisse ohne schwere Folgen, d.h. ohne Personenschaden und ohne hohem Sachschaden, sowie „Beinaheunfälle“, die verhindert wurden. Solche Ereignisse werden häufig als „Betriebsstörung“ ohne Gefahr angesehen und den Behörden daher nicht gemeldet.

Auch durch den Einsatz der Tragseilbremse (z.B. erfolgreiche Auslösung bei Versagen der Einfahrtsteuerung) wurden Unfälle abgewendet und Verletzungen bzw. Todesfolgen verhindert, die somit nicht in die Datenbasis eingegangen sind. Bei Wegfall der Tragseilbremse hätten diese zu Verletzten/Toten geführt. Dieser Effekt wirkt zugunsten der Bahnen ohne Tragseilbremse (vgl. auch S. 84).

Im folgenden wird gezeigt, dass die Risikozahlen auch bei einer Dunkelziffer an Ereignissen ohne Folgen (d.h. ohne Verletzte und Tote) abgeschätzt werden können, sofern alle folgenschwere Ereignisse mit Toten und Verletzten berücksichtigt werden:

Bei Z_e ermittelten Ereignissen mit dem Schadensausmaß $S_{e,i}$ und Z_u unbekannten Ereignissen mit dem Schadensausmaß $S_{u,j}$ ist das tatsächliche Risiko R_t

$$R_t = E_t \cdot \bar{S}_t = \frac{Z_e + Z_u}{AT} \cdot \frac{1}{Z_e + Z_u} \left(\sum_{i=1}^n P_{e,i} + \sum_{j=1}^m P_{u,j} \right). \quad (6.38)$$

Das tatsächliche Risiko setzt sich aus dem Risiko der ermittelten Ereignisse R_e und einem unbekannten Risiko R_u zusammen

$$R_t = R_e + R_u = E_e \cdot \bar{S}_e + E_u \cdot \bar{S}_u = \frac{Z_e}{AT} \cdot \frac{1}{Z_e} \sum_{i=1}^{Z_e} P_{e,i} + \frac{Z_u}{AT} \cdot \frac{1}{Z_u} \sum_{j=1}^{Z_u} P_{u,j}. \quad (6.39)$$

Unter der Annahme, dass das Schadensausmaß bei den m unbekannten Ereignissen jeweils $P_{u,j}=0$ ist, folgt $\bar{S}_u = 0$ und $R_u = 0$. Das tatsächliche Risiko R_t entspricht somit dem ermittelten Risiko R_e

$$R_t = R_e. \quad (6.40)$$

Die ermittelte Eintrittswahrscheinlichkeit E_e und das ermittelte Schadensausmaß $\bar{S}_e$ unterscheiden sich dabei von den tatsächlichen Werten E_t und $\bar{S}_t$, siehe Gl. 6.41 und 6.42. Die geringere Eintrittswahrscheinlichkeit E_e , die für Gefährdungseignisse mit einer Dunkelziffer ermittelt wird, wird über die größere mittlere Verletzungsschwere $\bar{S}_e$ der betrachteten Ereignisse wieder ausgeglichen:

$$\frac{E_t}{E_e} = \frac{\frac{Z_e + Z_u}{AT}}{\frac{Z_e}{AT}} = \frac{Z_e + Z_u}{Z_e} \quad (6.41)$$

$$\frac{\bar{S}_t}{\bar{S}_e} = \frac{\frac{1}{Z_e + Z_u} (\sum P_e + \sum P_u)}{\frac{1}{n} \sum P_e} = \frac{Z_e}{Z_e + Z_u} \quad (6.42)$$

6.4.2 Kollektives und individuelles Risiko

Auf der Basis von jährlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten kann das kollektive Risiko beschrieben werden, z.B. die in Europa zu erwartende jährliche Anzahl an Toten.

Das individuelle Risiko⁸ eines Benutzers von ZS-Pendelbahnen zeichnet sich durch die sogenannte Expositionszeit - die Zeit, in der man sich einem Risiko aussetzt - aus, die bei Pendelbahnen über eine individuelle jährliche Fahrtenzahl beschrieben werden kann. Das individuelle Risiko kann über die Eintrittswahrscheinlichkeiten pro Fahrt nach Gl. 6.4 ermittelt werden. Für Personen, die nicht mit ZS-Pendelbahnen fahren, ist das Risiko $R=0$. Vielfahrer, wie z.B. Wagenbegleiter mit $n=5000$ Fahrten pro Jahr, haben gegenüber Personen mit jährlich einer Fahrt ein n -faches Risiko getötet oder verletzt zu werden.

6.5 Common-Mode-Ausfälle

Bei der Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit von redundanten Komponenten und Systemen sind Common-Mode-Ausfälle (CMA) zu beachten.

„Unabhängig vom jeweiligen Redundanzgrad kann die Zuverlässigkeit eines Systems durch mögliche Common-Mode-Ausfälle maßgeblich beeinflusst bzw. begrenzt werden. Besonders schwerwiegend sind CMA, wenn sie redundante Komponenten, Teilsysteme oder Systeme betreffen und gleichzeitig (bzw. in einem eng begrenzten Zeitintervall) auftreten. Typisches Beispiel ist der Brand, der mehrere redundante Systeme gleichzeitig trifft, oder auch Fertigungsfehler. CMA sind im Vergleich zu Ausfällen einzelner Komponenten selten“, **Peters/Meyna 1985**.

Sobald abhängige Ausfälle eintreten, ist die Redundanz nicht mehr vollständig gegeben.

In **Peters/Meyna 1985** werden folgende Arten von Common-Mode-Ausfällen unterschieden, siehe auch Bild 25:

- Funktionsausfälle von mindestens zwei ähnlichen oder baugleichen redundanten Komponenten, Teilsystemen oder Systemen aufgrund einer gemeinsamen Ursache. Sie werden als CMA im engeren Sinn oder „common cause failures“ bezeichnet.
- Funktionsausfälle von mindestens zwei redundanten Komponenten, Teilsystemen oder Systemen, die als Folge eines einzigen Funktionsausfalles auftreten. Sie werden als Folgeausfälle, Sekundärausfälle oder „causal failures“ bezeichnet.
- Funktionsausfälle von mindestens zwei redundanten Komponenten, Teilsystemen oder Systemen, die sich auf Grund von funktionellen Abhängigkeiten, d.h. unmittelbar aus dem Systemaufbau, ergeben. So können funktionelle Abhängigkeiten von einem gemeinsamen Hilfssystem, von einer gemeinsamen Ansteuerung oder von einer menschlichen Bedienung bestehen.

⁸ Gemeint ist damit ein persönliches Risiko (nicht ein anlagenspezifisches Risiko)

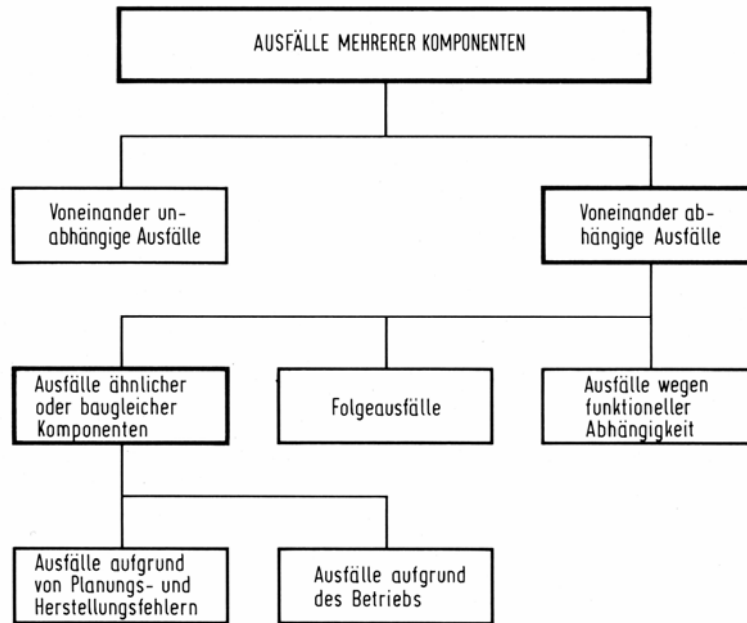


Bild 25: Common-Mode-Ausfälle (Quelle: Peters/Meyna 1985)

Bei unabhängigen Ausfallereignissen F_1, F_2 der Komponenten 1 und 2 gilt

$$p(F_1 \wedge F_2) = p(F_1) \cdot p(F_2). \quad (6.43)$$

Bei abhängigen Ausfallereignissen ist

$$p(F_1 \wedge F_2) = p(F_1) \cdot P(F_2|F_1) = p(F_1), \quad (6.44)$$

da die bedingte Ausfallwahrscheinlichkeit $p(F_2|F_1)$ für den Ausfall der Komponente 2 unter der Bedingung, dass die Komponente 1 ausgefallen ist, infolge der gleichen Ausfallursache den Wert $p(F_2|F_1)=1$ hat.

Eine Maßnahme gegen Common-Mode-Ausfälle besteht in der Anwendung des Diversitätsprinzips.

7 Risikokennzahlen der Gefährdungsergebnisse

7.1 Absturz des Fahrzeugs durch TS-Riss, TS- Entgleisung, LW-Entgleisung oder Gehängebruch (A)

Unter der Gefährdungsart „Absturz des Fahrzeugs“ sind sämtliche Gefährdungsergebnisse zusammengefasst, bei denen Tragseile gerissen oder entgleist sind oder eine Gefährdung der Fahrgäste durch Entgleisung des Laufwerks oder Gehängebruch eingetreten ist. Der überwiegende Teil der Ereignisse ist unabhängig davon, ob die ZS-Pendelbahnen mit oder ohne TSB ausgerüstet sind. Zwei der eingetretenen Ereignisse (im Fehlerbaum Bild 14 blau markiert) sind jedoch ursächlich auf die Tragseilbremse zurückzuführen.

Zur Beurteilung des Risikos sind die Ereignisse „Absturz des Fahrzeugs“ nach Ursachen sowie im Hinblick auf unterschiedliche Schadensfolgen in 6 Untergruppen unterteilt, vgl. auch Fehlerbaum Bild 14:

- A1 Tragseilriss (1 TS)
- A1,F Tragseil- und Zugseilriss durch Luftfahrzeug verursacht (1 TS)
- A2 Riss von Trag- und Zugseilen infolge eines Stationsbrand
- A3 Tragseilentgleisung
- A4 Laufwerksentgleisung
- A5 Gehängebruch

Der Riss eines Tragseils kann durch unterschiedliche Ursachen, wie Drahtbrüche, Ermüdung, Verschleiß, Korrosion, Blitzschaden oder durch eine mechanische Durchtrennung des Tragseils, z.B. aufgrund von unentdeckten Seilüberschlägen (Zug-, Telefonseil etc.) oder durch äußere Fremdeinwirkungen (Flugzeug oder Brand) erfolgen. Ursachenbedingt kann der Riss des Tragseils an unterschiedlichen Stellen eintreten, beispielsweise an den Seilauflagebereichen (Kettensattel / Rollenkette, Stützenschuh) oder auf der freien Seilstrecke.

In der Gruppe A1 „Tragseilriss“ sind alle Ereignisse mit Tragseilrissen zusammengefasst, die unabhängig von äußeren Fremdeinwirkungen, wie Flugzeug oder Brand, eingetreten sind.

Das Ereignis 98/01 „Trag- und Zugseilriss durch Luftfahrzeug“, wird in einer separaten Gruppe A1,F aufgeführt. Durch die äußere Einwirkung des Flugzeuges wurde neben dem Tragseil einer Fahrbahn auch das Zugseil durchtrennt, wodurch die Fahrgäste beider Fahrzeuge gefährdet sind. Der Fall ist daher im Fehlerbaum auch unter Gefährdungsart Z „Zugseilriss“ aufgeführt und wegen der zweifachen Eintragung in der Fehlerbaumgruppe A „Absturz des Fahrzeuges“ grün markiert.

Ereignisse, die zum Riss von Trag- und Zugseilen durch einen Brand in einer der beiden Stationen geführt haben, werden ebenfalls als eigenständige Gefährdungsart A2 berücksichtigt. Die hohen Temperaturen, die bei Bränden auftreten, können nach einer gewissen Zeitdauer zum Ausschmelzen der Vergüsse oder zu einem Verlust der Seilzugfestigkeit führen, d.h. zu Trag- und Zugseilrissen. Da bei den eingetretenen Ereignissen neben den Tragseil(en) auch die Zugseile gerissen sind, sind auch diese Ereignisse im Fehlerbaum doppelt, d.h. zusätzlich auch unter der Gefährdungsart Z „Zugseilriss“ aufgeführt. Bei der Risikoberechnung werden die Brandereignisse in der Fehlerbaumgruppe A „Absturz des Fahrzeuges“ berücksichtigt, da

das Schadensausmaß eines Stationsbrandes mit der Folge Riss der Trag- und Zugseile in Bezug auf das Schadensausmaß mit einem Gehängebruch vergleichbar ist, mit dem Unterschied, dass dabei die Fahrzeuge beider Fahrbahnen betroffen sind.

Gefährdungen, die dadurch verursacht werden, dass das Tragseil unter dem Laufwerk (nach innen und außen) entgleist, werden in der Gefährdungsgruppe A3 „Tragseilentgleisung“ betrachtet.

Ereignisse mit Entgleisung des Laufwerks sind in der Gefährdungsgruppe A4 „Laufwerkentgleisung“ aufgeführt.

Ereignisse, bei denen die Fahrzeugkabine vom Laufwerk und damit von Trag- und Zugseil abgetrennt wurden – z.B. durch Versagen des Gehängebolzens oder durch Bruch des Gehänges aufgrund fehlerhafter Schweißnähte – sind unter der Gefährdungsart „A5 Gehängebruch“ zusammengefasst.

Eintrittswahrscheinlichkeiten

Bei der Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit werden nur solche Ereignisse als relevant berücksichtigt, die auch bei zukünftigen Neuanlagen auftreten können. Tabelle 7 zeigt die Anzahl der relevanten Ereignisse „Absturz des Fahrzeugs“ in den Zeiträumen T_1 und T_2 , differenziert nach den Gefährdungsarten A1-A5. Die daraus ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten sind in Tabelle 8 eingetragen.

Tabelle 7: Anzahl der relevanten Ereignisse A in den Zeiträumen T_1 und T_2

			Anzahl der Ereignisse im Betrachtungszeitraum			
			T_1 (1980-2002)		T_2 (1908-2002)	
			Z	Z*	Z'	Z'*
A1	Tragseilriss	Z_{A1}	-	-	2,5 ¹	-
A1,F	TS-Riss durch Flugzeug	$Z_{A1,F}$	1	-	1	-
A2	TS+ZS-Riss nach Brand	Z_{A2}	-	-	2	-
A3	Tragseilentgleisung	Z_{A3}	5	-	7	(1)
	ausgelöst durch TSB	$Z_{A3,mT}$	2	-	2	-
A4	Laufwerkentgleisung	Z_{A4}	3	-	4	-
A5	Gehängebruch	Z_{A5}	1	-	2	(1)

¹ das Ereignis 52/03 wird nur zur Hälfte (mit 0,5) gewertet, da die magnetische Prüfung von Drahtseilen zu diesem Zeitpunkt (1952) nicht den heutigen Anforderungen der prEN 12927-8 entsprachen.

Im Zeitraum T_2 seit 1908 sind von insgesamt 7 Ereignissen „A1 Tragseilriss“ nur $Z_{A1}'=2,5$ Ereignisse relevant. Zwei Tragseilrisse mit Herkulesseilen, die auf die Versagensursache Korrosion zurückzuführen sind, wurden nach **prEN 12927-1** Abschnitt 6.1 (s.u.) nicht berücksichtigt da Herkulesseile bei Neuanlagen zukünftig nicht mehr zugelassen sind⁹. Ebenso wurde das Ereignis 91/05 als nicht relevant eingestuft, da der nach **prEN 12927-7** Abschnitt 5.3 (s.u.) vorgeschriebene 12-jährige Verschiebezyklus der Tragseile nicht eingehalten wurde.

⁹ Tragseilrisse mit Herkulesseilen, die auf ein mechanisches Durchtrennen des Seils zurückzuführen sind, z.B. durch Luftfahrzeuge oder Zugseilüberschlag, werden dagegen als relevant berücksichtigt.

prEN 12927-1:2004

6 Sicherheitsanforderungen

6.1 Seile

Die Auswahl der Seile muss Tabelle 1 entsprechen.

Tabelle 1 — Auswahlkriterien für Seile

Zweiseilbahn/Pendelbahn:	Tragseil:	Vollständig verschlossenes Spiralseil
--------------------------	-----------	---------------------------------------

Herkules-Seile dürfen nur gewählt werden, um Herkules-Seile in bereits bestehenden Anlagen zu ersetzen.

Anmerkung zur Terminologie:

richtige Bezeichnung: voll verschlossenes Spiralseil statt vollständig verschlossenes Spiralseil.

Der in der Norm verwendete Begriff Herkulesseil bezieht sich nicht nur auf Seile der besonderen Machart „Herkulesseil“ sondern auch auf Spiralschlitzenseile.

prEN 12927-7:2004

5.3 Neupositionierung spurgeführter Tragseile und fester Klemmeinrichtungen

5.3.1 Neupositionierung des spurgeführten Tragseils

Das spurgeführte Tragseil ist mindestens alle 12 Jahre neu zu positionieren.

Die Häufigkeit (Eintrittswahrscheinlichkeit) einer Fahrgastgefährdung durch einen Tragseilriss E_{A1} ist unabhängig davon, ob die Bahn mit oder ohne TSB ausgerüstet ist.

$$E_{A1} = \frac{Z_{A1}}{(AT)} \quad (7.1)$$

Da der Anteil an Anlagen mit Herkulesseilen nicht bekannt ist, kann die Eintrittswahrscheinlichkeit nur näherungsweise abgeschätzt werden, in dem die Anzahl der relevanten Ereignisse auf die Gesamtheit aller ZS-Pendelbahnen bezogen wird. Korrekterweise müsste der Gesamtbestand um den Anlagenbestand mit Herkulesseilen reduziert werden. Es wird jedoch vereinfacht angenommen, dass die dadurch zu niedrig angesetzte Eintrittswahrscheinlichkeit durch eine ständige Verbesserung des magnetischen Prüfverfahrens kompensiert wird.

In der Gruppe „Trag- und Zugseilriss durch Luftfahrzeug“ ist $Z_{A1,F}=1$ relevantes Ereignis im Zeitraum T_1 seit 1980 eingetreten. Bei der Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit wird berücksichtigt, dass nach **prEN 12929-2** Abschnitt 6.16 (s.u.) die Wahrscheinlichkeit für eine Zugseildurchtrennung durch ein Luftfahrzeug bei ZS-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse durch Kennzeichnung der Seilbahn als Luftfahrthindernis geringer ist. Die für Bahnen mit TSB ermittelte Eintrittswahrscheinlichkeit $E_{ZA1,F,mT}$

$$E_{A1,F,mT} = \frac{Z_{A1,F}}{(AT)} \quad (7.2)$$

wird bei ZS-Pendelbahnen ohne TSB um den Faktor $\beta_{A1,F,oT}=0,9$ reduziert.

$$E_{A1,F,oT} = \frac{Z_{A1,F}}{(AT)} \cdot \beta_{A1,F,oT} \quad (7.3)$$

Der Faktor $\beta_{A1,F,oT}$ wird im Kapitel 7.3 Zugseilriss auf S. 82 ausführlich begründet.

prEN 12929-1:2004

6.16 Die Seilbahn ist als Luftfahrthindernis zu kennzeichnen; prEN 12929-1 ist zu beachten.

Bei den Ereignissen A2 „Riss der Trag- und Zugseile durch Brand in einem Stationsgebäude“ muss zwischen Ereignissen außer Betrieb und während des Betriebes unterschieden werden. Von insgesamt 6 im Zeitraum T_2 ermittelten Ereignissen eines Stationsbrands sind nur $Z_{A2}=2$ Ereignisse (d.h. 33%) der Stationsbrände während des Fahrbetriebes aufgetreten und damit für die Gefährdung der Fahrgäste der ZS-Pendelbahn relevant.

Die Wahrscheinlichkeit für einen Brand außer Betrieb ist höher, da die Brände häufig nicht durch die ZS-Pendelbahnanlage selbst verursacht werden, sondern von einem Brandherd in den angrenzenden Gebäuden, Wäldern etc. ausgehen. Die Brände sind in drei Fällen in der Bergstation, in zwei Fällen in der Talstation und bei einem Ereignis in der Mittelstation aufgetreten. Der Ort des Brandes wird bei der Risikoberechnung nicht unterschieden, auch wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Schadensfolgen vermutlich größer sind, wenn der Brand in der Antriebstation eintritt. Die Datenbasis von zwei relevanten Ereignissen ist jedoch zu gering, um daraus unterschiedliche Folgen für den Fahrgast abzuleiten.

Alle 7 in und außer Betrieb ermittelten Stationsbrände führten zum Riss von Trag- und Zugseilen, d.h. es wurden keine Fälle berücksichtigt, bei denen der Stationsbrand gelöscht wurde. In vier Fällen sind alle Trag- und Zugseile gerissen. In einem Fall (73/01) sind die Tragseile gerissen, ob das Zugseil nur beschädigt wurde oder auch gerissen ist, ist nicht eindeutig. In einem weiteren Fall (03/01) sind die Tragseile einer Fahrbahn intakt geblieben und nur die beiden Tragseile der zweiten Fahrbahn und das Zugseil gerissen.

Die Ereignisse zeigen, dass das Reißen von Zug- und Tragseilen in kurzer Abfolge, d.h. in einem eng begrenzten Zeitintervall auftritt. Der Riss aller Seile infolge eines Stationsbrands ist daher ein Common-Mode-Ausfall, d.h. ein abhängiges Ereignis, das aufgrund einer gemeinsamen Ursache (common cause Ereignis = Stationsbrand, vgl. Kap. 6.5 S. 58) auftritt.

Im Gegensatz zu anderen Gefährdungsereignissen führt das Auslöseereignis Brand einer Seilbahnstation jedoch nicht unmittelbar, d.h. zeitnah zum Riss der Trag- und Zugseile. Da sich die Auslöseursache Stationsbrand erst nach einer gewissen Zeitdauer auf die Seile auswirkt, tritt das Folgeereignis (d.h. Gefahrenereignis „Riss der Trag- und Zugseile“) zeitlich verzögert zum Auslöseereignis auf. Für die Gefährdung der Fahrgäste ist der Zeitraum entscheidend, die die Seile unter einer Hitzeeinwirkung standhalten (bis zum Schmelzen des Vergusses oder bis zum Festigkeitsverlust des Seiles).

Um die Eintrittswahrscheinlichkeit für eine „Gefährdung der Fahrgäste durch einen Stationsbrand mit der Folge Riss aller Trag- und Zugseile“ E_{ZA2} zu bestimmen, benötigt man zusätzlich zur Eintrittshäufigkeit des Ereignisses „Stationsbrand mit der Folge Riss aller Trag- und Zugseile“ eine Wahrscheinlichkeit β_{A2} , die die Häufigkeit beschreibt, mit der die Fahrgäste im Zeitraum bis zum Riss der Trag- und Zugseilriss nicht rechtzeitig aussteigen können und durch den Trag- und Zugseilriss gefährdet sind

$$E_{A2} = \frac{Z_{A2}}{(AT)} \cdot \beta_{A2} \quad (7.4)$$

Anhand der eingetretenen Ereignisse kann der Faktor β_{A2} nur näherungsweise bestimmt werden. In beiden relevanten Fällen konnten die Fahrgäste rechtzeitig vor dem Riss der Seile aussteigen. Dies zeigt, dass eine Rettung sehr wahrscheinlich ist.

Als Wahrscheinlichkeit, dass die Fahrgäste β_{A2} nicht gerettet werden können, wird der Wert $\beta_{A3}=20\%$ ¹⁰ angenommen.

Bei einer „Tragseilentgleisung“ A3 tritt eine Gefährdung der Fahrgäste ebenfalls nur dann auf, wenn das Tragseil während des Fahrbetriebs entgleist. Im Fehlerbaum sind daher keine Fälle mit einer Tragseilentgleisung außerhalb der Betriebszeiten, z.B. bei schweren Stürmen, berücksichtigt.

Während des Fahrbetriebes konnten für den Zeitraum T_2 seit 1908 $Z_{A3}'=7$ Tragseilentgleisungen in Europa ermittelt werden, die sowohl für Zweiseil-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse relevant sind. Zusätzlich sind $Z_{A3,mT}'=2$ Ereignisse eingetreten, bei denen die Tragseilbremse zu einer Aushebelung des Tragseiles aus dem Stützenschuhe geführt hat und damit nur für Anlagen mit TSB relevant sind. Sie werden gemäß Kap. 6.2.6 Gl. 6.25 nur auf den ZS-Pendelbahnbestand mit TSB bezogen

$$E_{A3,oT} = \frac{Z_{A3}}{(AT)}, \quad (7.5)$$

$$E_{A3,mT} = \frac{Z_{A3}}{(AT)} + \frac{Z_{A3,mT}}{(AT)_{mT}}. \quad (7.6)$$

Durch die beiden Ereignisse $Z_{A3,mT}'$ ist die Eintrittshäufigkeit einer Tragseilentgleisung bei ZS-Pendelbahnen mit TSB größer im Vergleich zu Bahnen ohne TSB.

Im Zeitraum T_2 seit 1908 sind $Z_{A4}'=4$ Laufwerksentgleisungen und $Z_{A5}'=2$ Gehängebrüche eingetreten, die auch für zukünftige ZS-Pendelbahnen relevant sind. Damit ist

$$E_{A4} = \frac{Z_{A4}}{(AT)}, \quad (7.7)$$

$$E_{A5} = \frac{Z_{A5}}{(AT)}. \quad (7.8)$$

Das Ereignis 88/01, bei dem ein gelöster Anfahrpuffer das Gehänge durchschlagen und vom Laufwerk abgetrennt hat, wurde dabei der Gefährdungsart A4 „Laufwerksentgleisung“ zugeordnet, da das Fahrzeug nicht vom Zugseil getrennt wurde sondern von der Zugseilschleife aufgefangen wurde. Die möglichen Schadensfolgen entsprechen bei diesem Szenario den Folgen einer Laufwerksentgleisung und nicht denen eines Gehängebruches.

Mit der Annahme, dass sich der Anteil an Anlagen mit 1 und 2 Tragseilen auch zukünftig nicht wesentlich verändert (relevant für die Ereignisse A1, A3 und A4), können aus der Anzahl der Ereignisse in den Betrachtungszeiträumen T_1 und T_2 , die in Tabelle 8 eingetragenen Eintrittswahrscheinlichkeiten für ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse prognostiziert werden.

Mit Ausnahme der Ereignisse A1,F und A3, die bei ZS-Pendelbahnen mit TSB häufiger auftreten können, sind die ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten unabhängig davon, ob die Bahn mit einer Tragseilbremse ausgerüstet ist.

¹⁰ Plausibel ist eine Wahrscheinlichkeit in der Größenordnung 20%. Dieser Wert liegt zwischen der bisher aufgetretenen Gefährdungswahrscheinlichkeit von 0% (keine Gefährdung in beiden Fällen) und einer negativ angenommenen Wahrscheinlichkeit von 33%, dass beim nächsten Ereignis die Fahrgäste gefährdet sind.

Tabelle 8: Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Ereignisse Absturz des Fzgs.

		Eintrittswahrscheinlichkeit der Ereignisse im Betrachtungszeitraum		
		T ₁ (1980-2002)	T ₂ (1908-2002)	
		E	E'	
A1	Tragseilriss	E _{A1}	0	12·10 ⁻⁵
A1,F	TS-Riss durch Flugzeug - mit TSB	E _{A1,F,mT}	11·10 ⁻⁵	4,8·10 ⁻⁵
	- ohne TSB	E _{A1,F,oT}	9,6·10 ⁻⁵	4,3·10 ⁻⁵
A2	TS+ZS-Riss nach Brand	E _{A2}	0	9,7·10 ⁻⁵
A3	Tragseilentgleisung - mit TSB	E _{A3,mT}	76·10 ⁻⁵	44·10 ⁻⁵
	- ohne TSB	E _{A3,oT}	53·10 ⁻⁵	34·10 ⁻⁵
A4	Laufwerksentgleisung	E _{A4}	32·10 ⁻⁵	19·10 ⁻⁵
A5	Gehängebruch	E _{A5}	11·10 ⁻⁵	9,7·10 ⁻⁵

Schadensausmaß

Die Einteilung in die Gefährdungsarten A1 bis A5 wurde vorgenommen, da das mögliche Schadensausmaß für die Fahrgäste bei diesen Gefährdungsarten jeweils sehr unterschiedlich ist. Zum einen unterscheidet sich die Anzahl der betroffenen Fahrzeuge, zum anderen die Absturzfolge, je nach dem welche Bauteile den Absturz des Fahrzeuges verhindern oder abbremsen können, z.B. das Auffangen des Fahrzeuges in der Zugseilschleife.

1.) Betroffene Fahrzeuge:

Die Gefährdungsereignisse A3 Tragseilentgleisung, A4 Laufwerksentgleisung und A5 Gehängebruch betreffen stets nur die Fahrgäste eines Fahrzeuges, f_{B1} .

Für die Gefährdungsereignisse A1 Riss eines Tragseiles, gilt dies nur eingeschränkt. Die Ereignisse A1 betreffen im wesentlichen ebenfalls nur das Fahrzeug auf der Seite des Tragseilrisses. Es kann jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass als Folge des Tragseilrisses auch die Zugseilschleife reißt (Folgeereignis) und dadurch auch die Fahrgäste des Gegenfahrzeugs gefährdet werden. Dabei ist es möglich, dass es durch die Freisetzung der elastischen potenziellen Energie beim Riss des gespannten Tragseiles zum Folgeausfall eines Zugseilrisses kommt.

Das Gefährdungsereignis A1,F führt durch die gleichzeitige Durchtrennung eines Trag- und Zugseiles zur Gefährdung der Fahrgäste beider Fahrzeuge, f_{B2} .

Auch bei den Ereignissen der Gruppe A2 mit einer Gefährdung der Fahrgäste durch den Riss aller Trag- und Zugseile infolge eines Stationsbrandes sind stets die Fahrzeuge beider Fahrbahnen betroffen, f_{B2} .

2.) Analyse und Differenzierung der möglichen Schadensfolgen bei den Gefährdungsereignissen A1 bis A5:

Bei den Ereignissen A1 mit Tragseilriss ist das häufigste Schadensbild der Absturz des Fahrzeuges. Bei einigen Ereignissen mit einem Tragseilriss wurde das Fahrzeug von der Zugseilschleife aufgefangen und der Aufprall des Fahrzeuges auf den Boden verhindert oder gemildert. Zusätzlich sind die Fahrgäste beim Riss des gespannten

Tragseiles durch den Rückprall des Seiles oder durch Aufprall eines Tragseiles auf dem Fahrzeugdach gefährdet.

Daher kann bei einem Tragseilriss der Gruppe A1 nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass bei der Freisetzung der elastischen potenziellen Energie beim Riss des gespannten Tragseiles ein Zugseilriss als Folgeausfall des Tragseilrisses eintritt, wodurch sich eine zusätzliche Gefährdung für die Fahrgäste des Gegenfahrzeugs ergeben kann.

Um diesen möglichen Folgeausfall zu berücksichtigen, wird angenommen, dass in 10% der Fälle eines Tragseilrisses A1 auch das Zugseil reißt, $\eta_{(Z|A1)} = 0,1$.

$$E_{(Z|A1)} = \eta_{(Z|A1)} \cdot E_{A1} \quad (7.9)$$

Das Risiko, das sich für das Gegenfahrzeug hierdurch ergibt, wird im Risikoanteil R_{A1} zusätzlich berücksichtigt. Es berechnet sich aus der Eintrittswahrscheinlichkeit $E_{(Z|A1)}$ und aus dem in Kapitel 7.3 ermittelten Schadensausmaß eines Zugseilrisses bezogen auf ein betroffenes Fahrzeug $S_{Z,1}$. Bei ZS-Pendelbahnen mit TSB ist $S_{Z,1,OT}$ (Gl. 7.29), für ZS-PB ohne TSB gilt $S_{Z,1,mT}$ (Gl. 7.30).

Das Ereignis 98/01 der Gruppe A1,F „Trag- und Zugseilriss durch Luftfahrzeug“ wird hinsichtlich des Schadensausmaßes in die Gruppe A1 einbezogen, dabei wird nur der Risikoanteil für das Fahrzeug berücksichtigt, auf dessen Fahrbahn der Tragseilriss aufgetreten ist. Der Risikoanteil, der sich durch den Zugseilriss für das Gegenfahrzeug mit intaktem Tragseil ergibt, ist unter der Gefährdungsart „Z Zugseilriss“ in Kap. 7.3 berücksichtigt.

Bei den Ereignissen A1 und A1,F wurde eine mittlere Todeswahrscheinlichkeit $Q_{T,A1}=0,7$ und eine durchschnittliche Verletzungswahrscheinlichkeit von $Q_{V,A1}=1,0$ ermittelt.

Das Gefährdungsszenario bei Stationsbränden mit der Folge Riss der Trag- und Zugseile A2 während des Fahrbetriebes ist, dass die Fahrzeuge nicht mehr in die Station einfahren können, weil die Station brennt, der Antrieb geschädigt ist oder nicht mehr bedient werden kann. Vernachlässigt man die Gefahr durch Verbrennungen, so besteht die Todes- und Verletzungsgefahr durch den Riss der Trag- und Zugseile. Die Fahrgäste auf der Strecke sind in diesem Fall einem Schadensausmaß ähnlich einem Gehängebruch angesetzt, da Zug- und Tragseil nicht mehr vorhanden sind. Die Fahrzeuge können jedoch in Positionen gebracht werden, wo die Absturztiefe im Vergleich zu einem plötzlichen Tragseilriss geringer ist.

Bei den Ereignissen Brand wird nicht zwischen ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse unterschieden. Die Frage, ob die Tragseilbremse bei einem Stationsbrand einen Vorteil besitzt (z.B. wenn die Zugseile zuerst reißen) oder ob sie sich nachteilig auswirkt (falls sie ungewollt einfällt) ist Spekulation.

Bei der Tragseilentgleisung A3 sind sehr unterschiedliche Schadensfälle aufgetreten. Bei einer Tragseilentgleisung nach innen ist keine Gefährdung der Fahrgäste eingetreten. Bei der Entgleisung nach außen kann ein Absturz des Fahrzeuges (mit oder ohne Auffangen des Fahrzeuges von der Zugseilschleife) eintreten, in anderen Fällen hat sich das nach außen entgleisende Tragseil in den Zugseil-Führungsrollen abgelegt und damit einen Absturz des Fahrzeuges verhindert.

Bei den Ereignissen A4 „Laufwerksentgleisung“ wurden sowohl Fälle mit einer vollständigen oder teilweisen Entgleisung des Laufwerkes berücksichtigt. In einigen Fällen wurde das entgleiste Fahrzeug von der Zugseilschleife aufgefangen oder der Aufprall auf den Boden gedämpft.

Das Schadensbild bei den Ereignissen A5 „Gehängebruch“ ist der ungebremste Absturz des Fahrzeuges. Im Fall eines Gehängebruches kann das Fahrzeug nicht von der Zugseilschleife aufgefangen werden. Trotzdem sind die ermittelten Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeiten bei den Ereignissen mit Gehängebruch mit $Q_{V,A5}=0,68$ und $Q_{T,A5}=0,67$ etwas geringer als bei einem Trageseilriss, da in einem Fall (75/07) der Gehängebruch in der Station eingetreten ist mit außerordentlich geringen Folgen. Dieser Fall wurde ebenfalls als relevant berücksichtigt, da es plausibel ist, dass ein Ermüdungsbruch des Gehänges beim Einstieg der Personen erfolgt.

Neben den charakteristischen und systematischen Unterschieden des Schadensausmaßes bei den Gefährdungsarten A1 bis A5, treten auch bei den einzelnen Gefährdungsarten A1 bis A5 jeweils Unterschiede auf. Das Schadensausmaß einzelner Ereignisse ist nicht nur abhängig von der Rissstelle, sondern vor allem abhängig von der Position des Fahrzeuges auf der Strecke beim Eintritt des Ereignisses und von den topographischen Gegebenheiten. Die Schadensfolgen unterscheiden sich z.B. je nach Absturzhöhe. Aber z.B. auch dadurch, dass bei einigen Ereignissen, das abstürzende Fahrzeug von der Zugseilschleife aufgefangen und der Aufprall auf den Boden verhindert oder gemildert wird, während bei anderen Ereignissen das Fahrzeug auf dem Boden aufprallt. Zur Berechnung des Schadensausmaßes werden Details wie Rissstelle, Fahrzeugposition, etc. nicht unterschieden, sondern über alle Ereignisse gemittelt. Mit Ausnahme der Gefährdungsart A2 „TS- und ZS-Riss nach Brand“ liegen zu allen Gefährdungsarten ausreichend unterschiedliche Ereignisse vor, so dass das Schadensausmaß aus den eingetretenen Ereignissen prognostiziert werden kann. Bei der Risikoberechnung wird die komplette Bandbreite der möglichen, d.h. aller eingetretenen Schadensausmaße berücksichtigt, auch wenn die Zugseilschleife nicht rechnerisch dafür ausgelegt ist, dass sie das abstürzende Fahrzeug auffangen kann.

Die mittleren Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeiten $Q_{V,A}$ und $Q_{T,A}$ sind für die einzelnen Gefährdungsgruppen in Tabelle 9 eingetragen. Sie gelten für den Querschnitt aller Anlagen, auf einzelne spezielle Anlagen sind diese Werte nur eingeschränkt anwendbar.

Neben den beschriebenen Unterschieden sind weitere ausrüstungsspezifische Unterschiede vorhanden, z.B. Anzahl der Trageseile. Die wahrscheinlichkeitstheoretische Berücksichtigung des unterschiedlichen Risikos von Anlagen mit einem und zwei Trageseilen wird im Abschnitt Ergänzungen erklärt.

Tabelle 9: Betroffene Fahrzeuge f_B , Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeiten Q_V und Q_T bei den Gefährdungseignissen Absturz des Fahrzeugs

	Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeit		
	f_B	Q_T	Q_V
A1 Trageilriss	f_{B1}^1	0,70	1,00
A1,F TS-Riss durch Flugzeug ²	f_{B1}^2		
A2 TS+ZS-Riss nach Brand	f_{B2}	wie A5	wie A5
A3 Trageilentgleisung	f_{B1}	0,01	0,07
A4 Laufwerkentgleisung	f_{B1}	0,35	0,75
A5 Gehängebruch	f_{B1}	0,67	0,68

¹ in 10% der Fälle wird angenommen, dass zusätzlich das Zugseil reißt.

² Gefährdung des Gegenfahrzeuges durch Zugseilriss wird in Kapitel 7.3 berücksichtigt

Das mittlere Schadensausmaß ist jeweils

$$S = f_B \cdot Q. \quad (7.10)$$

Das Risiko R_A setzt sich aus den Einzelrisiken R_{A1} bis R_{A5} zusammen. Für ZS-Pendelbahnen mit TSB ist

$$R_{A,mT} = (E_{A1} + E_{A1,F,mT}) \cdot S_{A1} + E_{Z|A1} \cdot S_{Z,1,mT} + E_{A2} \cdot S_{A5} + E_{A3,mT} \cdot S_{A3} + E_{A4} \cdot S_{A4} + E_{A5} \cdot S_{A5}, \quad (7.11)$$

mit $S_{Z,1,mT}$ aus Kap. 7.3 Gl. 7.30.

Für ZS-Pendelbahnen ohne TSB gilt

$$R_{A,oT} = (E_{A1} + E_{A1,F,oT}) \cdot S_{A1} + E_{Z|A1} \cdot S_{Z,1,oT} + E_{A2} \cdot S_{A5} + E_{A3,oT} \cdot S_{A3} + E_{A4} \cdot S_{A4} + E_{A5} \cdot S_{A5}, \quad (7.12)$$

mit $S_{Z,1,oT}$ aus Kap. 7.3 Gl. 7.29.

Das auf der Grundlage der beiden Betrachtungszeiträumen T_1 und T_2 ermittelte Todes- und Verletzungsrisiko ist in der Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Todes- und Verletzungsrisiken für das Ereignis Absturz des Fzgs.

	ZS-Pendelbahn mit Trageilbremse		ZS-Pendelbahn ohne Trageilbremse	
	Todesrisiko $R_{A,T,mT}$	Verletzungsrisiko $R_{A,V,mT}$	Todesrisiko $R_{A,T,oT}$	Verletzungsrisiko $R_{A,V,oT}$
Bezugsbasis:				
Betrachtungszeitraum T_1 (1980-2002)	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$
Betrachtungszeitraum T_2 (1908-2002)	$5,4 \cdot 10^{-3}$	$8,4 \cdot 10^{-3}$	$5,4 \cdot 10^{-3}$	$8,3 \cdot 10^{-3}$

Die Risikokennzahlen unterscheiden sich bei ZS-Pendelbahnen mit und ohne Trageilbremse erwartungsgemäß nur wenig. Das Todes- und Verletzungsrisiko ist bei Anlagen mit Trageilbremse jeweils etwas höher, infolge der beiden Ereignisse, in denen die Trageilbremse zu einer Entgleisung des Trageils geführt hat.

Auch in den beiden zu Grunde gelegten unterschiedlichen Betrachtungszeiträumen T_1 und T_2 weichen die ermittelten Kennzahlen nur wenig voneinander ab. Dies ist überraschend, da sich die Eintrittshäufigkeit der Ereignisse A1 bis A5 in den Zeiträumen unterscheidet, d.h. die Ereignisse nicht statistisch regelmäßig eingetreten sind. Während die Häufigkeit von Tragseilrissen seit 1980 abgenommen hat, sind Ereignisse wie Gehängebruch und Laufwerksentgleisung häufiger eingetreten. Das Gesamtrisiko R_A aller Ereignisse, die unter „Absturz des Fahrzeugs“ zusammengefasst sind, hat sich dadurch nur wenig verändert.

Dies zeigt, dass der technische Fortschritt und die verbesserte Technik nicht zwangsläufig zu einem geringeren Risiko führt. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass nicht nur das Bauteilversagen sondern häufig auch Faktoren wie äußere Ursachen und menschliches Versagen das Risiko beeinflussen. Andererseits wird durch die technische Weiterentwicklung zwar häufig die Bauteilausfallquote reduziert, durch höhere Fahrgeschwindigkeiten oder die Akzeptanz von höheren Windgeschwindigkeiten (organisatorische, wirtschaftliche Gründe) werden die Risiken dabei aber vielfach nicht reduziert.

Ergänzungen:

1.) Tragseilentgleisung / Laufwerkentgleisung quantitative Betrachtung

Bei der durchgeführten Berechnung werden mit Ausnahme der beiden Fälle, die zu einer Aushebelung des Tragseiles aus dem Stützenschuhe geführt haben und damit ursächlich auf die Tragseilbremse zurückzuführen sind, keine weiteren Unterschiede zwischen ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB berücksichtigt.

Bei einer detaillierten Betrachtung der unterschiedlichen Bauformen beider Bahntypen muss man jedoch davon ausgehen, dass die Wahrscheinlichkeit einer Tragseilentgleisung bei ZS-Pendelbahnen ohne TSB kleiner (d.h. unwahrscheinlicher) ist, da die Stützenschuhe höher ausgeführt werden können und die Tragseile damit über einen größeren Winkel umschließen, so dass eine größere Auflagefläche vorhanden ist. Da keine ausreichenden, gesicherten Daten vorliegen, besteht die Schwierigkeit die geringere Wahrscheinlichkeit für eine Tragseilentgleisung bei ZS-Pendelbahnen ohne TSB plausibel abzuschätzen.

Auf der anderen Seite ist festzustellen, dass die Tragseilbremsbacken, die sich auf beiden Seiten des Tragseils am Laufwerk befinden, einen Schutz gegen eine Laufwerksentgleisung darstellen können und somit zu einer geringeren Wahrscheinlichkeit für eine Laufwerksentgleisung bei Bahnen mit TSB führen. Bei Systemen ohne Tragseilbremse ist zwar ebenfalls ein Entgleisungsschutz vorhanden, der das Tragseil jedoch nicht in gleichem Maße umschließt.

In der bisherigen Berechnung wurden diese Details nicht berücksichtigt, da eine solche detaillierte Betrachtung auf der Basis der Ereignisse mangels zuverlässiger Daten nicht möglich ist. An dieser Stelle soll nun gezeigt werden, dass sich die Vor- und Nachteile bei beiden Systemen weitgehend aufwiegen und die bisherige Berechnung und Annahme gültig ist:

Aufgrund des unterschiedlichen Schadensausmaßes bei der TS- und LW-Entgleisung bleibt die Risikozahl gleich, wenn bei ZS-Pendelbahnen ohne TSB die Eintrittswahrscheinlichkeit für eine Tragseilentgleisung um 90% auf 10% reduziert wird und die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Laufwerksentgleisung nur um 5% höher angesetzt wird. Die zugrunde gelegten Annahmen stellen damit keinen Nachteil für ZS-Pendelbahnen ohne TSB dar.

2.) Anzahl der Tragseile

Bei den Gefährdungseignissen A1, A3 und A4 sind wesentliche Risikounterschiede (d.h. Unterschiede bei der Eintrittswahrscheinlichkeit und vor allem beim Schadensausmaß) gegeben, je nachdem ob die ZS-Pendelbahnen mit einem oder zwei Tragseilen ausgerüstet sind. Diese Unterschiede werden jedoch nicht detailliert betrachtet.

Für den Risikovergleich wird angenommen, dass die zukünftigen Anlagen wie die bisherigen ZS-Pendelbahnen mit einem oder zwei Tragseilen ausgerüstet sind, mit demselben Anteil am Gesamtbestand. Mit der Annahme eines gleichen zukünftigen Anlagenanteils mit 2 Tragseilen wird das Risiko sowohl bei ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse zur sicheren Seite abgeschätzt, da durch die ständig wachsende Fahrzeugkapazität die Anzahl an Bahnen mit zwei Tragseilen zukünftig weiter zunehmen wird.

7.2 Fahrzeugbrand (B)

Das Ereignis „Fahrzeugbrand“ betrifft jeweils nur die Fahrgäste in einem der beiden Fahrzeuge, f_{B1} .

Eintrittswahrscheinlichkeit

Es wurden zwei Gefährdungseignisse ermittelt. Ein Fall ereignete sich im Betrieb, $Z_B = Z_{B'} = 1$, siehe Tabelle 11, wobei ein Kurzschluss zu starker Rauchentwicklung führte. Das zweite Ereignis trat bei einer Revisionsfahrt auf, als Öl zur Seilschmierung mit einem Brenner erwärmt wurde und in Brand geriet. Dieses Ereignis wird als nicht relevant eingestuft und bleibt unberücksichtigt, da es während der Dienstfahrt eingetreten ist und bei einer Betriebsfahrt in dieser Form ausgeschlossen werden kann.

Laut **prCEN/TR 14819-2** Abschn. 6.12 ist der Transport von gefährlichen, leicht entzündlichen oder explosiven Stoffen zusammen mit Fahrgästen verboten. Generell kann eine Gefährdung durch fahrlässiges Nichtbeachten dieser Vorschrift jedoch nicht ausgeschlossen werden. Sehr viel wahrscheinlicher ist jedoch, dass Fahrzeugbrände durch Kurzschlüsse ausgelöst werden.

Tabelle 11: Anzahl der relevanten Ereignisse B in den Zeiträumen T_1 und T_2

		Anzahl der Ereignisse im Betrachtungszeitraum				
		T ₁ (1980-2002)		T ₂ (1908-2002)		
		Z	Z*	Z'	Z'*	
B	Fahrzeugbrand	Z _B	1	-	1	-

Die Wahrscheinlichkeit, dass bei einer ZS-Pendelbahn in einem der Fahrzeuge während des Fahrbetriebes ein Kurzschluss, Brand oder eine Verrauchung stattfindet, liegt im Betrachtungszeitraum T_1 (1980-2002) bei

$$E_B = \frac{Z_B}{(AT)_1} = \frac{1}{9407} = 10,6 \cdot 10^{-5} = E_{B,mT} . \quad (7.13)$$

Nimmt man als Basis den Betrachtungszeitraum T_2 (1908-2002), erhält man eine Eintrittswahrscheinlichkeit für einen Fahrzeugbrand im Betrieb

$$E_{B'} = \frac{Z_{B'}}{(AT)_2} = \frac{1}{20711} = 4,8 \cdot 10^{-5} = E_{B,mT'} . \quad (7.14)$$

Diese Eintrittswahrscheinlichkeiten werden auch für zukünftige Anlagen mit TSB angenommen.

Für zukünftige ZS-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse wird eine um 30% geringere Eintrittswahrscheinlichkeit angesetzt, da am Fahrzeug weniger elektrische Bauteile vorhanden sind und die Brandlast aufgrund des fehlenden Hydrauliköls geringer ist¹¹. Mit dem Faktor $\beta_{B,OT}=0,7$ ist die prognostizierte Eintrittswahrscheinlichkeit für einen Fahrzeugbrand bei ZS-Pendelbahnen ohne TSB bei Berücksichtigung des Betrachtungszeitraums T_1 (1980-2002)

¹¹ Anmerkung: Ein schweres Ereignis eines Fahrzeugbrandes ist im Jahre 2000 bei einer Standseilbahn (Kaprun) eingetreten. Das Ereignis wurde durch eine Elektroheizung in Kombination mit einer daran zu nah vorbeigeführten Hydraulikleitung der Fangbremse verursacht. Hinsichtlich des Schadensmaßes ist das Ereignis nicht durchgängig übertragbar auf einen Fahrzeugbrand bei einer ZS-PB. Bei ZS-Pendelbahnen sind keine Elektroheizungen und keine Tunnel vorhanden, ein Feuerlöscher ist vorgeschrieben. Die Menge an Hydrauliköl ist bei einer ZS-Pendelbahn erheblich geringer.

$$E_{B,oT} = \beta_{B,oT} \cdot E_B = 0,7 \cdot 10,6 \cdot 10^{-5} = 7,4 \cdot 10^{-5}, \quad (7.15)$$

und bei Berücksichtigung des Betrachtungszeitraums T_2 (1908-2002)

$$E_{B,oT}' = \beta_{B,oT} \cdot E_B' = 0,7 \cdot 4,8 \cdot 10^{-5} = 3,4 \cdot 10^{-5}. \quad (7.16)$$

Bei Dienst- und Revisionsfahrten ist eine erhöhte Wahrscheinlichkeit anzunehmen.

Schadensausmaß

Das Schadensausmaß des Ereignisses „Fahrzeugbrand“ kann nur abgeschätzt werden, da sich bei dem einzigen Ereignis im Betrieb keine Personen im betroffenen Fahrzeug befanden und das Schadensausmaß damit nicht definiert ist. Die Rauchentwicklung konnte anschließend mit einem Feuerlöscher erstickt werden. Bei dem zweiten Ereignis wurde der einzige betroffene Angestellte beim Löschen des Brandes verletzt. Das Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeiten betragen in diesem Fall⁺ $Q_{V,1}^+ = 1$ und $Q_{T,1}^+ = 0$.

Diese an einem Ereignis bei einer Revisionsfahrt ermittelten Wahrscheinlichkeiten sind nicht repräsentativ. Das andere Ereignis (bei dem keine Betroffenen im Fahrzeug waren) zeigt, dass ein Fahrzeugbrand gelöscht werden kann. Daher wird angenommen, dass durchschnittlich nur 30% der betroffenen Fahrgäste ($\eta_{B,V} = 0,3$) verletzt werden

$$Q_V = \eta_{B,V} \cdot Q_{V,1}^+ = 0,3 \cdot 1 = 0,3. \quad (7.17)$$

Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass ein Fahrzeugbrand zu Toten führt. Die Todeswahrscheinlichkeit wird mit 1 Toten auf 20 Verletzte ($\eta_{B,T} = 0,05$) angenommen

$$Q_T = \eta_{B,T} \cdot Q_V = 0,05 \cdot 0,3 = 0,015. \quad (7.18)$$

Das Verletzungsrisiko $R_{B,V}$ für das Gefährdungseignis „Fahrzeugbrand“ ist

$$R_{B,V} = E_B \cdot f_{B1} \cdot Q_V, \quad (7.19)$$

das Todesrisiko $R_{B,T}$ ist

$$R_{B,T} = E_B \cdot f_{B1} \cdot Q_T. \quad (7.20)$$

Für die zukünftigen ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse werden aus den in den Betrachtungszeiträumen T_1 und T_2 eingetretenen Ereignissen, die in Tabelle 12 eingetragenen Todes- und Verletzungsrisiken für das Ereignis „Fahrzeugbrand“ prognostiziert.

Tabelle 12: Todes- und Verletzungsrisiken für das Ereignis Fahrzeugbrand

	ZS-Pendelbahn mit Tragseilbremse		ZS-Pendelbahn ohne Tragseilbremse	
	Todesrisiko $R_{B,T,mT}$	Verletzungsrisiko $R_{B,V,mT}$	Todesrisiko $R_{B,T,oT}$	Verletzungsrisiko $R_{B,V,oT}$
Betrachtungszeitraum T_1 (1980-2002)	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$
Betrachtungszeitraum T_2 (1908-2002)	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$

7.3 Versagen der Zugseilschleife (Z)

Unter dem Gefährdungsereignis „Versagen der Zugseilschleife“ werden alle Fälle zusammengefasst, in denen entweder eine Zugseilschleife unterbrochen ist (Zugseilriss) oder die Befestigung eines Fahrzeuges am Zugseil versagt, so dass die Verbindung des Fahrzeuges mit dem Zugseil unterbrochen ist¹².

Für die Prognose der Eintrittswahrscheinlichkeiten der zukünftigen Systeme, wird bei ZS-Pendelbahnen mit einem oder mehreren Zugseilen der Riss eines Zugseils als Gefährdungsereignis berücksichtigt, auch wenn die Bahn mit mehreren Zugseilen ausgestattet war und das eingetretene Ereignis keine Gefährdung zur Folge hatte. Eine gleichzeitige Unterbrechung mehrerer Zugseilschleifen stellt ebenfalls nur ein Gefährdungsereignis dar, da der Riss der weiteren Zugseile häufig ein Folgeausfall (causal failure) des ersten Zugseilrisses ist und damit ein abhängiges Ereignis (Common-Mode-Ausfall, Kap. 6.5) ist.

Die Ereignisse mit einem „Versagen der Zugseilschleife“ sind nach Ursache und im Hinblick auf die Folgen in 7 Untergruppen unterteilt, vgl. Fehlerbaum Bild 14:

- Z1 freie Seilstrecke
- Z2 Zugseilendverbindungen, Zugseilanhängungen am Laufwerk
 - Z2.1 Verguss
 - Z2.2 Trommel
 - Z2.3 Zugseilanhängung am Laufwerk
 - Z2.4 Klemme (ZS-Riss)
 - Z2.5 Chapeau-de-Gendarme (Rutschen des FZ)
- Z3 Übergeschwindigkeitseinfahrt mit ZSR
- Z4 ZS-Entgleisung mit ZSR
- Z5 Anprall an Hindernis mit ZSR
- Z6 Flugzeug
- Z7 Brand

Ein Versagen der Zugseilschleife kann direkt aufgrund von technischen Ursachen (Bauteilversagen) auftreten, z.B. Zugseilrisse auf der freien Strecke oder am Verguss durch Korrosion. Die meisten Ereignisse sind jedoch Folgeausfälle einer technischen oder äußeren Ursache oder einer menschlichen Fehlhandlung, z.B. Zugseilriss nach Übergeschwindigkeit, durch Blockieren des Fahrzeuges am Stützenkopf, nach einer Zugseil-Entgleisung, durch Brand oder Flugzeuge.

Die Ereignisse der Gruppe Z6 „Zugseilriss durch Flugzeug“, die ebenfalls auf der freien Seilstrecke (Z1) aufgetreten sind, werden in einer separaten Gruppe aufgeführt, da in einem der beiden Fälle auch das Tragseil gerissen ist, siehe auch „Absturz des Fahrzeuges“ A1,F. In Gruppe Z6 wird nur das Risiko durch den Zugseilriss betrachtet.

Die Ereignisse der Gruppe Z7 „Zugseilriss durch Brand“ werden ebenfalls gesondert behandelt. Neben dem Zugseil sind (stets) auch die Tragseile gerissen. Im Fehler-

¹² Im Gegensatz zu **Wettstein 1975** wird hier der Riss des oberen und unteren Zugseils bzw. von Zug- und Gegenseil nicht unterschieden. Die Basis an Ereignissen ist für eine statistische Auswertung der Eintrittswahrscheinlichkeit und insbesondere des Schadensausmaßes in diesem Detaillierungsgrad zu gering. Gleiches gilt für eine Unterscheidung der Seilrissstelle oder der Position der Fahrzeuge beim Seilriss.

baum werden sie daher zweifach aufgeführt. Bei der Risikoberechnung werden die Ereignisse Z7 dem Risiko „Tragseilriss“ zugeordnet und dort berücksichtigt.

Eintrittswahrscheinlichkeiten

Die Zahl der relevanten Ereignisse „Versagen der Zugseilschleife“, eingeteilt in die Untergruppen Z1-Z7 sowie nach Betrachtungszeitraum T_1 und T_2 , zeigt Tabelle 13.

Tabelle 13: Anzahl der relevanten Ereignisse Z in den Zeiträumen T_1 und T_2

			Anzahl der Ereignisse im Betrachtungszeitraum			
			T ₁ (1980-2002)		T ₂ (1908-2002)	
			Z	Z*	Z'	Z'*
Z1	Freie Seilstrecke	Z _{Z1}	-	-	1,5 ¹	1
Z2.1	Verguss	Z _{Z2.1}	2	(1)	9	(1)
Z2.2	Trommel	Z _{Z2.2}	1	-	1	-
Z2.3	Zugseil-Verbindungs- mittel mit Laufwerk	Z _{Z2.3}	1	-	3	-
Z2.4	Klemme	Z _{Z2.4}	-	-	1	-
Z2.5	Chapeau-de-Gendarme	Z _{Z2.5}	1	-	1	-
Z3	Übergeschwindigkeit	Z _{Z3}	-	-	2	-
Z4	ZS-Entgleisung	Z _{Z4}	1	-	4	-
Z5	Anprall an Stützenkopf	Z _{Z5}	-	-	1	-
Z6	Flugzeug ²	Z _{Z6}	2	-	2	-
Z7	Brand ²	Z _{Z7}	-	-	2	-

¹ Ereignis 54/01 wird nur zur Hälfte berücksichtigt, da die magnetische Prüfung von Drahtseilen zu diesem Zeitpunkt (1954) nicht den heutigen Anforderungen der prEN 12927-8 entsprach.

² die Ereignisse Z6 und Z7 werden auch bei den Gefährdungsereignissen Absturz (A) aufgeführt

() nicht berücksichtigte außereuropäische Ereignisse, führen nicht zu einer Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Für die Untergruppen Z1-Z7 sind die zukünftigen Eintrittswahrscheinlichkeiten und Gleichungen (entsprechend den Annahmen aus Kap. 6) in Tabelle 14 für ZS-PB mit TSB und in Tabelle 15 für ZS-PB ohne TSB eingetragen. Die Auswirkungen der CEN-Normen, u.a. der ergänzenden Anforderungen der prEN 12929-2, sind über die Faktoren β berücksichtigt.

Die Eintrittswahrscheinlichkeiten der Ereignisse Z2.1 bis Z2.5 sind bereits auf den jeweils zukünftigen Anteil am Gesamtbestand bezogen, entsprechend der Anteile α (siehe Tabelle 6 auf Seite 32).

a) Eintrittswahrscheinlichkeiten für zukünftige ZS-Pendelbahnen mit TSB

Tabelle 14: Eintrittswahrscheinlichkeiten für zukünftige ZS-PB mit TSB

	Eintrittswahrscheinlichkeiten für zukünftige ZS-PB mit TSB	
	auf Basis der Ereignisse im Betrachtungszeitraum T_1	auf Basis der Ereignisse im Betrachtungszeitraum T_2
Z1 Freie Seilstrecke	$E_{Z1} = 0$	$E_{Z1}' = \frac{(Z_{Z1}' + Z_{Z1,w}^*) \cdot \varepsilon}{(AT)_2}$
	$E_{Z1} = 0$	$E_{Z1}' = 8,1 \cdot 10^{-5}$
Z2.1 Verguss	$E_{Z2.1} = \frac{Z_{Z2.1}}{(AT)_1 \cdot \alpha_{V,T1}} \cdot \alpha_{V,z,mT}$	$E_{Z2.1}' = \frac{Z_{Z2.1}'}{(AT)_3 \cdot \alpha_{V,T3} + (AT)_1 \cdot \alpha_{V,T1}} \cdot \alpha_{V,z,mT}$
	$E_{Z2.1} = 2,4 \cdot 10^{-4}$	$E_{Z2.1}' = 3,3 \cdot 10^{-4}$
Z2.2 Trommel	$E_{Z2.2} = \frac{Z_{Z2.2}}{(AT)_1 \cdot \alpha_{T,T1}} \cdot \alpha_{T,z,mT}$	$E_{Z2.2}' = E_{Z2.2} \quad \text{da } \alpha_{T,T3}=0$
	$E_{Z2.2} = 1,2 \cdot 10^{-4}$	$E_{Z2.2}' = 1,2 \cdot 10^{-4}$
Z2.3 ZS-Verbindgs.- mittel mit LW	$E_{Z2.3} = \frac{Z_{Z2.3}}{(AT)_1 \cdot \alpha_{Z,T1}} \cdot \alpha_{Z,z,mT}$	$E_{Z2.3}' = \frac{Z_{Z2.3}'}{(AT)_3 \cdot \alpha_{Z,T3} + (AT)_1 \cdot \alpha_{Z,T1}} \cdot \alpha_{Z,z,mT}$
	$E_{Z2.3} = 1,1 \cdot 10^{-4}$	$E_{Z2.3}' = 1,3 \cdot 10^{-4}$
Z2.4 Klemme	$E_{Z2.4} = 0$	$E_{Z2.4}' = \frac{Z_{Z2.4}'}{(AT)_3 \cdot \alpha_{SK,T3} + (AT)_1 \cdot \alpha_{SK,T1}} \cdot \alpha_{K,z,mT} \cdot \beta_{2.4,mT}$
	$E_{Z2.4} = 0$	$E_{Z2.4}' = 4,7 \cdot 10^{-6}$
Z2.5 Chapeau-de- Gendarme	$E_{Z2.5} = \frac{y \cdot Z_{Z2.5}}{(AT)_1 \cdot \alpha_{SC,T1}} \cdot \alpha_{SC,z,mT}$	$E_{Z2.5}' = E_{Z2.5}, \quad \text{da } \alpha_{SC,T3}=0$
	$E_{Z2.5} = 8,0 \cdot 10^{-5}$	$E_{Z2.5}' = 8,0 \cdot 10^{-5}$
Z3 Übergeschwin- digkeit	$E_{Z3} = 0$	$E_{Z3}' = \frac{Z_{Z3}'}{(AT)_2}$
	$E_{Z3} = 0$	$E_{Z3}' = 9,7 \cdot 10^{-5}$
Z4 ZS-Entgleisung	$E_{Z4} = \frac{Z_{Z4}}{(AT)_1} \cdot \beta_{4,mT}$	$E_{Z4}' = \frac{Z_{Z4}'}{(AT)_2} \cdot \beta_{4,mT}$
	$E_{Z4} = 7,4 \cdot 10^{-5}$	$E_{Z4}' = 1,4 \cdot 10^{-4}$
Z5 Anprall an Stützenkopf	$E_{Z5} = 0$	$E_{Z5}' = \frac{Z_{Z5}'}{(AT)_2}$
	$E_{Z5} = 0$	$E_{Z5}' = 4,8 \cdot 10^{-5}$
Z6 Flugzeug	$E_{Z6} = \frac{Z_{Z6}}{(AT)_1}$	$E_{Z6}' = \frac{Z_{Z6}'}{(AT)_2}$
	$E_{Z6} = 2,1 \cdot 10^{-4}$	$E_{Z6}' = 9,7 \cdot 10^{-5}$
Z7 Brand	$E_{Z7} = 0$	$E_{Z7}' = \frac{Z_{Z7}'}{(AT)_2}$
	$E_{Z7} = 0$	$E_{Z7}' = 9,7 \cdot 10^{-5}$

Erläuterungen zu den Faktoren α :

22.3 - ZS-Verbindungsmittel mit Laufwerk (α_Z)

Die Elemente, mit denen Vergussköpfe, Klemmköpfe und Klemmen am Laufwerk befestigt werden, werden unter dem Begriff ZS-Verbindungsmittel mit Laufwerk zusammengefasst und gemeinsam betrachtet. Damit gilt: $\alpha_Z = \alpha_V + \alpha_K + \alpha_{SK}$. Gleiches gilt für den zukünftigen Bestand mit TSB.

Begründung der Faktoren β :

22.4 - Klemme ($\beta_{2.4,mT}$)

Die zukünftig kürzeren Versetzungsintervalle von gespleißten Seilen im Bereich der Klemmen nach **prEN 12927-7** (s.u.) werden über den Faktor $\beta_{2.4,mT}$ berücksichtigt. Die Wahrscheinlichkeit für einen Zugseilriss durch eine Seilschädigung im Bereich der Klemme wird um den Faktor $\beta_{2.4,mT}=0,4$ reduziert, da Seilschädigungen bei der visuellen Kontrolle oder bei der magnetischen Seilprüfung entdeckt werden können und der Seilriss verhindert werden kann.

prEN 12927-7:2004

5.3.3 Neupositionierung sonstiger fester Klemmeinrichtungen (einschließlich "Chapeau de gendarme") von Zweiseil- und Standseilbahnen

Folgende feste Klemmen sind neu zu positionieren:

- bei nur einem einzigen Zugseil alle 200 Betriebsstunden;
- bei mehreren Zugseilen jährlich.

Die zu verschiebende Seillänge muss mindestens der Länge des berührten Bereiches plus 3 Schlaglängen entsprechen.

22.5 – Chapeau-de-Gendarme (γ)

Die gegenüber früheren Vorschriften stark erhöhte Versetzungshäufigkeit (mit Demontage und Montage) nach **prEN 12927-7** (s.o.) wird im Hinblick auf eine erhöhte Häufigkeit einer Fehlmontage über den Faktor $\gamma=3$ berücksichtigt (siehe Gl. 7.22, S. 81).

24 - ZS-Entgleisung ($\beta_{4,mT}$)

Durch eine bessere Streckenüberwachung nach **prEN 12929-1** (s.u.) reduziert sich die Wahrscheinlichkeit für eine Zugseil-Entgleisung im Bereich der Strecke (außer bei der Stützenüberfahrt) und im Bereich der Station. Hinsichtlich Spannungsbewegungen sind Verbesserungen nach **prEN 1908** (s.u.) vorgesehen. Bei ZS-Pendelbahnen mit TSB wird daher der Faktor $\beta_{4,mT}=0,7$ angesetzt.

prEN 12929-1:2004

12.2 Führung und Unterstützung der Seile - Allgemeines

12.2.3 Es sind Maßnahmen zu treffen, die eine Entgleisung der Seile (zum Beispiel von Scheiben oder von Schuhen) auf der Strecke und in den Stationen verhindern. Sollte die Gefahr einer Entgleisung nicht ausgeschlossen werden können, müssen Seilfänger so vorgesehen werden, dass die Sicherheit der Anlage, mit Rücksicht auf jene Maßnahmen, die für die Stillsetzung der Anlage nach Feststellung der Entgleisung vorgesehen sind, nicht gefährdet ist.

12.4 Führung und Unterstützung der Seile von Zweiseilbahnen

12.4.1 Es sind Einrichtungen vorzusehen, die die Seilbahn selbsttätig stillsetzen, wenn:

b) das Zugseil auf der Strecke oder in der Station eine sicherheitsgefährdende Fehllage einnimmt.¹³

12.4.2 Außer den Seilfängern nach 12.2.3 sind Seileinweiser auszuführen. Wenn eine Rückführung des Zugseiles durch die Seileinweiser nicht sichergestellt ist, sind Einrichtungen vorzusehen, die die Seilbahn so rechtzeitig stillsetzen, dass die Sicherheit der Seilbahn mit Rücksicht auf jene Maßnahmen, die für die Stillsetzung der Seilbahn nach Feststellung der Seilentgleisung vorgesehen sind, nicht gefährdet ist.

prEN 1908:2004

6.4 Dämpfungseinrichtungen

Schnelle Bewegungen des Spanngewichtes von Zug- und Förderseilen sind zu dämpfen, wenn sie den Betrieb stören oder gefährden können.

Dämpfungseinrichtungen sind so zu gestalten, daß bei deren Störung die Bewegung der Spanngewichte nicht betriebsgefährdend behindert wird.

¹³ Die Formulierung ist nicht eindeutig. Es ist unklar, ob die Einrichtung in allen Fällen Pflicht ist oder ob ein rechnerischer Nachweis, dass keine Fehllage eintreten kann, von der Einrichtung entbindet.

b) Eintrittswahrscheinlichkeiten für zukünftige ZS-Pendelbahnen ohne TSB

Gemäß **prEN 12929-2:2004** gilt:

6.2 Das System des Zugseiles muss in einer endlosen Seilschleife ausgeführt werden.

Damit sind die Zugseilendverbindungen Verguss (Z2.1), Klemmkopf und Trommel mit Klemme (Z2.2) bei zukünftigen ZS-Pendelbahnen ohne TSB nicht zugelassen:

$$\alpha_{V,Z,OT} = \alpha_{KK,Z,OT} = \alpha_{T,Z,OT} = 0. \quad (7.21)$$

Tabelle 15: Eintrittswahrscheinlichkeiten für zukünftige ZS-PB ohne TSB

	Eintrittswahrscheinlichkeiten für zukünftige ZS-PB ohne TSB	
	auf Basis der Ereignisse im Betrachtungszeitraum T_1	auf Basis der Ereignisse im Betrachtungszeitraum T_2
Z1 Freie Seilstrecke	$E_{Z1} = 0$	$E_{Z1}' = \frac{(Z_{Z1}' + Z_{Z1,w}^*) \cdot \varepsilon}{(AT)_2} \cdot \beta_{1,OT}$
	$E_{Z1} = 0$	$E_{Z1}' = 1,6 \cdot 10^{-5}$
Z2.3 ZS-Verbindgs.- mittel mit LW	$E_{Z2.3} = \left(\frac{Z_{Z2.3}}{(AT)_1 \cdot \alpha_{Z,T1}} \right)^2 \cdot \alpha_{K,Z,OT}$	$E_{Z2.3}' = \left(\frac{Z_{Z2.3}'}{(AT)_3 \cdot \alpha_{Z,T3} + (AT)_1 \cdot \alpha_{Z,T1}} \right)^2 \alpha_{K,Z,OT}$
	$E_{Z2.3} = 1,3 \cdot 10^{-8}$	$E_{Z2.3}' = 1,9 \cdot 10^{-8}$
Z2.4 Klemme	$E_{Z2.4} = 0$	$E_{Z2.4}' = \frac{Z_{Z2.4}'}{(AT)_3 \cdot \alpha_{SK,T3} + (AT)_1 \cdot \alpha_{SK,T1}} \cdot \alpha_{K,Z,OT} \cdot \beta_{2.4,OT}$
	$E_{Z2.4} = 0$	$E_{Z2.4}' = 5,1 \cdot 10^{-5}$
Z2.5 Chapeau-de- Gendarme	$E_{Z2.5} = \frac{Z_{Z2.5}}{(AT)_1 \cdot \alpha_{SC,T1}} \alpha_{SC,Z,mT} \cdot \beta_{2.5,OT}$	$E_{Z2.5}' = E_{Z2.5} \text{ da } \alpha_{SC,T3} = 0$
	$E_{Z2.5} = 1,6 \cdot 10^{-4}$	$E_{Z2.5}' = 1,6 \cdot 10^{-4}$
Z3 Überge- schwindigkeit	$E_{Z3} = 0$	$E_{Z3}' = \frac{Z_{Z3}'}{(AT)_2} \cdot \beta_{3,OT}$
	$E_{Z3} = 0$	$E_{Z3}' = 7,7 \cdot 10^{-5}$
Z4 ZS-Entgleisung	$E_{Z4} = \frac{Z_{Z4}}{(AT)_1} \cdot \beta_{4,OT}$	$E_{Z4}' = \frac{Z_{Z4}'}{(AT)_2} \cdot \beta_{4,OT}$
	$E_{Z4} = 5,3 \cdot 10^{-5}$	$E_{Z4}' = 9,7 \cdot 10^{-5}$
Z5 Anprall an Stützenkopf	$E_{Z5} = 0$	$E_{Z5}' = \frac{Z_{Z5}'}{(AT)_2} \cdot \beta_{5,OT}$
	$E_{Z5} = 0$	$E_{Z5}' = 2,4 \cdot 10^{-5}$
Z6 Flugzeug	$E_{Z6} = \frac{Z_{Z6}}{(AT)_1} \cdot \beta_6$	$E_{Z6}' = \frac{Z_{Z6}'}{(AT)_2} \cdot \beta_{6,OT}$
	$E_{Z6} = 1,9 \cdot 10^{-4}$	$E_{Z6}' = 8,7 \cdot 10^{-5}$
Z7 Brand	$E_{Z7} = 0$	$E_{Z7}' = \frac{Z_{Z7}'}{(AT)_2}$
	$E_{Z7} = 0$	$E_{Z7}' = 9,7 \cdot 10^{-5}$

Erläuterungen zu den Faktoren α :**Z2.3 - ZS-Verbindungsmittel mit Laufwerk (α_Z)**

Der Anteil an betrachteten ZS-Verbindungsmitteln mit Laufwerk des bisherigen Bestands ist: $\alpha_Z = \alpha_V + \alpha_K + \alpha_{SK}$. Bei zukünftigen Bahnen ohne TSB wird nur bei Klemmen ein ZS-Verbindungsmittel eingesetzt: $\alpha_{Z,Z,OT} = \alpha_{SK,Z,OT}$.

Die Klemmen sind nach **prEN 12929-2** (s.u.) zukünftig mit 2 Befestigungselementen am Fahrzeug auszuführen. Es wird angenommen, dass die doppelte Befestigung des Seiles am Fahrzeug vollständig unabhängig ausgeführt wird. Ein gleichzeitiges Versagen oder ein Folgeversagen der beiden ZS-Verbindungsmittel, z.B. durch Fehlmontage, ist unwahrscheinlich, da die Verbindungen montiert werden. Ein Redundanzverlust, z.B. durch Bruch von Teilen oder Schweißnähten, wird bei einer Kontrolle bemerkt. Somit ist nicht von Common-Mode-Ausfällen auszugehen.

Die beiden unabhängig wirkenden Elemente werden hinsichtlich eines Versagens als redundant angenommen und die Eintrittswahrscheinlichkeit „Versagen eines ZS-Verbindungsmittels“ quadriert.

prEN 12929-2: 2004

8.1 Die Befestigung des Fahrzeuges am Zugseil muss mindestens mittels zweier gleichzeitig wirkender, unabhängiger Elemente nach prEN 13796-1 erfolgen, die leicht demontierbar sein müssen. Der Montagezustand muss leicht erkennbar sein.

Begründung der Faktoren β :**Z1 - freie Seilstrecke ($\beta_{1,OT}$)**

Durch Erhöhung der Zugseilsicherheit und Verkürzung der magnetischen Seilprüfzyklen nach **prEN 12929-2** (s.u.) (im 2.-10. Jahr statt 3-jährig mindestens 1-jährig) wird die Wahrscheinlichkeit eines Zugseilrisses deutlich reduziert. Es wird ein Rückgang von 80% angenommen, d.h. ein Faktor $\beta_{1,OT} = 0,2$ angesetzt.

prEN 12929-2:2004

6.3 Beim Nachweis für die Zugseilschleife nach prEN 12930 muss die Zugsicherheit den 1,2-fachen Wert der Zugsicherheit für Zugseile von Zweiseil-Pendelbahnen mit Trageilbremse nach prEN 12930 entsprechen, jedoch mindestens 4,5 betragen; die Zugsicherheit darf den Wert 20,0 nicht überschreiten.

6.6 Abweichend von den Anforderungen nach prEN 12927-7 ist das Zugseil über die gesamte Länge mittels eines bei der Anlage verfügbaren Gerätes magnetinduktiv in nachstehenden Zeitabständen zu kontrollieren:

- im ersten Verwendungsjahr des Zugseiles: längstens alle 200 Betriebsstunden, wenigstens jedoch alle 4 Betriebswochen;
- im zweiten bis zehnten Verwendungsjahr: längstens alle 1000 Betriebsstunden, wenigstens einmal jährlich;
- nach dem zehnten Verwendungsjahr: längstens alle 200 Betriebsstunden, wenigstens jedoch alle 3 Betriebsmonate;
- nach einem Betriebsstillstand von 3 Monaten oder länger vor der neuerlichen Betriebsaufnahme.

Z2.4 - Klemme ($\beta_{2.4,OT}$)

Bei ZS-PB ohne TSB muss die Befestigung des Fahrzeuges am Zugseil mindestens mittels zweier gleichzeitig wirkender, unabhängiger Elemente erfolgen, die leicht demontierbar sein müssen. Klemmvorrichtungen müssen so konstruiert sein, dass bei Ausfall eines Bauelementes die Funktion der Klemme mit reduzierter Sicherheit

noch erhalten bleibt. Bei dem eingetretenen Ereignis (78/01) ist jedoch nicht das Rutschen des Seiles in der Klemme zu betrachten, sondern die Schädigung des Seiles durch die Klemme. In diesem Fall ist eine doppelt ausgeführte Klemme hinsichtlich des Versagens als Reihenschaltung anzusetzen, wodurch sich die Wahrscheinlichkeit eines Versagens theoretisch verdoppelt. Aufgrund der zukünftigen kurzen Versetzungs- und Prüfzeiträume wird dies jedoch kompensiert.

Hinsichtlich eines Seilrisses im Bereich der Befestigungselemente werden die zukünftig höheren Versetzungsintervalle nach **prEN 12929-2** (s.u.) und Prüfintervalle nach **prEN 12929-2** 6.6 (s.o.) über den Faktor $\beta_{2.4,OT}$ berücksichtigt. Die Wahrscheinlichkeit für einen Zugseilriss durch eine Seilschädigung im Bereich der Klemme kann bei kurzen Versetzungs- und Prüfintervallen mit den Faktor $\beta_{2.4,OT}=0,2$ reduziert werden, d.h. in 4/5 der Fälle wird der entstehende Seilriss rechtzeitig erkannt und verhindert. Im Vergleich zur zukünftigen ZS-PB mit TSB ($\beta_{2.4,MT}=0,4$) wird weitere Reduzierung aufgrund der zusätzlich verkürzten magnetischen Seilprüfintervalle angenommen.

prEN 12929-2:2004

6.7 Die Fahrzeuge sind in Zeitabständen von längstens alle 200 Betriebsstunden, wenigstens jedoch alle 3 aufeinander folgende Betriebsmonate am Zugseil zu versetzen. Dabei sind die bisherigen Klemmstellen und der Spleiß visuell zu kontrollieren. Unbeschadet der vorstehend angeführten Zeitabstände sind die Fahrzeuge nach einem Betriebsstillstand von 3 Monaten oder länger vor der Wiederaufnahme des Betriebes zu versetzen.

Bei besonderen Befestigungssystemen können auch andere Zeitabstände für das Versetzen gewählt werden; dies ist bei der Sicherheitsanalyse zu untersuchen.

22.5 - Chapeau-de-Gendarme ($\beta_{2.5,OT}$)

Neben den Klemmen ist auch der Chapeau-de-Gendarme zukünftig mittels zweier gleichzeitig wirkender, unabhängiger Elemente auszuführen. Ziel der doppelten Befestigung des Seiles ist die Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit für das Rutschen des Seiles.

Um eine Seilbeschädigung im Bereich der Befestigung zu erkennen, wurden zusätzlich die Versetzungsintervalle stark verkürzt. Diese verkürzten Versetzungsintervalle nach **prEN 12929-2** 6.7 (s.o.) haben zur Folge, dass die Befestigungen alle 200 Betriebsstunden gelöst und neu fixiert werden. Wie bei den ZS-Pendelbahnen mit TSB steigt auch bei ZS-PB ohne TSB die Wahrscheinlichkeit für ein Versagen des Chapeau-de-Gendarme, z.B. durch eine fehlerhafte Montage, fehlerhafte Wartung (z.B. zu starke Schmierung) usw. mit zunehmender Versetzungshäufigkeit an.

Nimmt man an, dass bei zukünftigen Bahnen ohne TSB Chapeau-de-Gendarmes eingesetzt werden, die im Vergleich zum C-d-G im Fall (99/02) verbessert (quasi als doppeltes Element) ausgeführt sind, so können die beiden Elemente zunächst idealisiert als Parallelschaltung hinsichtlich der Sicherheit angesehen werden. Es sind jedoch zwei Faktoren zu berücksichtigen. Die Fehlmontage einer der beiden Befestigungselemente ist kein vollständig unabhängiges Ereignis. Es ist die Wahrscheinlichkeit vorhanden, dass beide Befestigungselemente infolge abhängiger Ursachen mit unzureichender Klemmkraft montiert werden (z.B. Verschleiß der Klemmbacken). Hinzu kommt, dass eine falsch montierte Befestigungsklemme nicht sofort erkannt wird (unbemerkt Redundanzverlust). Eine Prüfung der Klemmkraft durch Abziehversuch ist in den Normen nicht gefordert (s.u.).

Bei ZS-PB ohne TSB wird die Eintrittswahrscheinlichkeit für das Rutschen des zukünftigen Chapeau-de-Gendarme um den Faktor $\beta_{2,5,OT}$ reduziert

$$\beta_{2,5,OT} = \frac{E_{SC} \cdot y \cdot (1 - p_M) + (E_{SC} \cdot y)^2 \cdot p_M}{E_{SC}} = 0,26 \quad (7.22)$$

Mit:

$E_{SC} = \frac{Z_{22,5}}{(AT)_1 \cdot \alpha_{SC,T1}}$ Wahrscheinlichkeit für ein Rutschen des Seiles im C-d-G, der gemäß Fall 99/02 ausgeführt ist und daher als einfache Befestigung betrachtet wurde.

$y=3$ Anzahl der erhöhten Versetzungszyklen (Annahme: monatlich statt vierteljährlich)
 $p_M=0,08$ 8% Wahrscheinlichkeit für gleichzeitige Fehlmontage beider Befestigungen (CMA)

Für das Versagen eines nach den zukünftigen Normen ausgeführten Chapeau-de-Gendarmes durch Rutschen wird damit eine um das 3,8fach reduzierte Wahrscheinlichkeit angesetzt, im Vergleich zur Eintrittswahrscheinlichkeit die aus dem eingetretenen Fall (99/02) berechnet wurde.

prEN 12929-2:2004

6.12 Unmittelbar nach dem Versetzen der Befestigung am Zugseil muss eine Inspektionsfahrt durchgeführt werden, um das einwandfreie Funktionieren der Einfahrtüberwachung und den Einzugsweg der Gegenkabine zu überprüfen.

Z3 - Übergeschwindigkeit ($\beta_{3,OT}$)

Die geringere Wahrscheinlichkeit für eine Übergeschwindigkeit durch bessere Steuerungskomponenten der Ausfallklasse AK 4 wird mit dem Faktor $\beta_{3,OT}=0,8$ abgeschätzt. Mit dieser Maßnahme werden nicht alle möglichen Ursachen für eine Übergeschwindigkeit reduziert.

prEN 12929-2:2004

7.7 Die Einfahrtüberwachung ist entsprechend der Anforderungsklasse AK 4 nach prEN 13243 auszuführen.

7.8 Für die Wegerfassung für Kopierwerke sind die in prEN 13223 erwähnten Abweichungen nicht zulässig.

7.9 Für das Geschwindigkeitsmessglied für die Einfahrtüberwachung sind die in prEN 13223 erwähnten Abweichungen nicht zulässig.

Z4 - ZS-Entgleisung ($\beta_{4,OT}$)

Durch eine bessere Streckenüberwachung nach **prEN 12929-1** (s. S. 76) und **prEN 12929-2** (s.u.) reduziert sich die Wahrscheinlichkeit für eine Zugseil-Entgleisung auf der Strecke und in den Stationen. Gleichzeitig ist jedoch ein Fahren bei höheren Windgeschwindigkeiten bei schaffnerlosem Betrieb im vgl. zu BOSeil möglich, da die Betriebswindgeschwindigkeiten nicht beschränkt sind. Bei ZS-Pendelbahnen ohne TSB wird daher der Faktor $\beta_{4,OT}=0,5$ angesetzt.

prEN 12929-2:2004

6.21 Ergänzend zu den Bestimmungen von prEN 13223 ist die korrekte Position der Zugseil-Scheiben elektrisch zu überwachen.

6.22 Zugseilscheiben, Zugseilrollen und Rollenbatterien müssen in der durch das ein- und auslaufende Seil gebildeten Ebene liegen; abweichend von prEN 13223 sind Ausnahmen bei Spurveränderungen nicht zulässig.

6.24 Der Verlust einer Rolle oder die abnormale Abnutzung des Rollenfutters infolge Blockierens der Rolle darf nicht zu einer Gefährdung des Zugseiles führen.

Z5 - Anprall an Stützenkopf ($\beta_{5,OT}$)

Durch die höhere Zugsicherheit nach **prEN 12929-2** (s.u.) ist die Wahrscheinlichkeit eines Zugseilrisses nach einem Anprall an Stützenkopf geringer und wird um den Faktor $\beta_{5,OT}=0,5$ reduziert.

prEN 12929-2:2004

6.4 Unbeschadet der Anforderungen nach 6.3 muss die Zugsicherheit den nachstehenden Werten entsprechen, wobei die Berechnung anhand einer der nachstehenden Methoden durchzuführen ist, je nachdem, ob auf Grund des Systems und der Bemessung der Befestigung am Fahrzeug ein Gleiten des Zugseiles in der Befestigung nach einem Hängenbleiben des Fahrzeuges an einem festen Hindernis auf der Strecke und in den Stationen anzunehmen ist oder nicht:

a) wenn ein Gleiten des Zugseiles nicht anzunehmen ist, muss während der gesamten Dauer der Stillsetzung die Zugsicherheit mindestens 2,0 betragen;

b) wenn ein Gleiten anzunehmen ist, muss:

1. bezogen auf den berechneten größten Gleitwiderstand der Befestigung die Zugsicherheit mind. 3,0 und

2. bezogen auf den gemessenen größten Gleitwiderstand der Befestigung die Zugsicherheit mind. 2,0 betragen.

6.10.2 Unter der Annahme, dass nach einem Anprall des Fahrzeuges an ein festes Hindernis das Zugseil in der Befestigung am Fahrzeug gleitet, muss der Abstand zwischen dem Spleiß und dem Befestigungselement mindestens dem 1,5-fachen Anhalteweg entsprechen.

8.4 Unter der Annahme, dass nach einem Anprall des Fahrzeuges an ein festes Hindernis das Zugseil in der Befestigung am Fahrzeug gleitet, muss nach dem Durchziehen des Zugseiles durch die Befestigung bis zum Stillstand der Anlage der rechnerische Gleitwiderstand $W_1 \geq 2,0 \cdot P \cdot \sin \alpha$ entsprechen.

Z6 - Flugzeug ($\beta_{6,OT}$)

Durch die Kennzeichnung als Luftfahrthindernis nach **prEN 12929-2** ist eine leicht geringere Wahrscheinlichkeit $\beta_{6,OT}=0,9$ für die Zugseildurchtrennung durch Flugzeuge anzunehmen. Die Maßnahme nach prEN ist jedoch keine Maßnahme, die das Ereignis zwangsläufig oder durch fail-safe-Prinzip verhindert. Die eingetretenen Fälle haben gezeigt, dass die Zugseilrisse dabei nicht auf eine mangelnde Sicht zurückzuführen sind. Sie sind eher durch Leichtsinns und Uneinsichtigkeit verursacht, zumal sich die ZS-Pendelbahnen nicht im regulären Flugbereich der Flugzeuge befanden. Die Maßnahme stellt keine technische Verbesserung dar, sondern hat lediglich einen hinweisenden Charakter. Die Auswirkungen, die davon zu erwarten sind, sind geringer einzuschätzen als eine Schulung.

prEN 12929-2:2004

6.16 Die Seilbahn ist als Luftfahrthindernis zu kennzeichnen; prEN 12929-1 ist zu beachten.

Ermittlung des Schadensausmaßes

Bei ZS-PB mit TSB sind drei Schadensszenarien, bei ZS-PB ohne TSB zwei Schadensszenarien zu unterscheiden:

- Bei ZS-PB mit TSB ist das Schadensausmaß davon abhängig, ob die TSB ordnungsgemäß funktioniert oder ob sie nicht ausgelöst wird bzw. keine Bremswirkung hatte. Zusätzlich sind die Fälle mit einem Zugseilriss nach einer Übergeschwindigkeit hinsichtlich der Schadensfolgen getrennt zu betrachten.
- Bei ZS-PB ohne TSB sind die beiden Szenarien Versagen der Zugseilschleife und Zugseilriss infolge Übergeschwindigkeitseinfahrt in die Station zu differenzieren.

Da sich der Risikovergleich nur auf zukünftige ZS-Pendelbahnen, die jeweils mit einem Zugseil ausgerüstet sind, bezieht (vgl. Kap. 2.2), werden Ereignisse mit $P_B=0$ und Ereignisse, bei denen nur eines von mehreren Zugseilen gerissen ist, nicht bei Ermittlung der Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeit berücksichtigt.

Die verbleibenden Ereignisse mit $P_B \neq 0$ (u.a. auch Ereignisse mit Kleinseilbahnen, bei Dienstfahrten etc.) werden für die Berechnung der durchschnittlichen Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeit herangezogen. Dabei ist es unerheblich, ob die Ereignisse auch zukünftig eintreten können. Einzig maßgeblich sind die Auswirkungen auf den Fahrgast. Ziel ist es einen repräsentativen Querschnitt für das Schadensausmaß zu erhalten, da die Auswirkungen von Ereignis zu Ereignis differieren.

Die mittleren Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeiten der drei Schadensszenarien werden pro Fahrzeug ermittelt.

Todes- und Verletzungswahrscheinlichkeit bei funktionsfähiger TSB

Bei den Ereignissen mit einem ordnungsgemäßen Einfall der Trageilbremse gab es keine Verletzte oder Tote. Das gleiche gilt auch für die nicht erwartungsgemäßen Bremsungen, in denen die Trageilbremse eine zu geringe Bremswirkung aufwies und das Fahrzeug erst über eine längere Strecke entlang des Trageils abgerutscht ist bevor es zum Stillstand kam. Die Ereignisse mit einer zu geringen Bremswirkung der Trageilbremse, die jedoch zu einem Stillstand des Fahrzeuges geführt haben, sind nicht mit einem Totalausfall der TSB gleichzusetzen. Für die Prognose des Schadensausmaßes bei einer erfolgreichen Trageilbremsung werden die in Kapitel 7.6 für das „unplanmäßige Einfallen der TSB“ ermittelten Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeiten $Q_{T,V}=5,2 \cdot 10^{-3}$ und $Q_{T,T}=2,6 \cdot 10^{-4}$ berücksichtigt.

Todes- und Verletzungswahrscheinlichkeit ohne TSB und bei defekter TSB

Aufgrund des geringen Anlagenbestandes von ZS-PB ohne Trageilbremse mit einem Zugseil und der geringen Anzahl an Fällen, bei denen die Trageilbremse versagt, können nur wenige Fälle zur Bestimmung des Schadensausmaßes betrachtet werden. Aus diesem Grunde wurden die Ereignisse Versagen der Zugseilschleife ohne TSB bzw. Totalversagen der TSB bei der Ermittlung des möglichen Schadensausmaßes gemeinsam betrachtet und für beide Ereignisse angesetzt.

Das Schadensszenario unterscheidet sich in diesen Fällen deutlich von dem eines Zugseilrisses. Bei einem Zugseilriss wird das Fahrzeug in Richtung des Seiles beschleunigt oder verzögert (vgl. **Mapragg 1980, Sölden 1988**) und kann entweder mit großer Geschwindigkeit in der Talstation aufprallen (mit einem größeren Schadensausmaß als bei der Übergeschwindigkeitseinfahrt ohne Zugseilriss) oder es kann auf der Strecke, i.d.R. bei der Stützenüberfahrt, entgleisen und abstürzen. Das Schadensausmaß hängt wesentlich von der Position der Fahrzeuge ab, sie bestimmt die

Absturzhöhe oder Aufprallgeschwindigkeit. Ein weiterer Faktor ist die Position des Zugseilrisses und das Verhalten des Zugseils.

Die freien Enden von gerissenen Zugseilen, die nach einem Seilriss entlang der Strecke und durch die Station gezogen werden, können sich verfangen und eines oder beide Fahrzeuge abbremsen. In der Regel treten solche günstigen Fälle nur bei einer Restwirkung der TSB ein.

Bei einem Versagen der Verbindung Zugseil-Laufwerk (d.h. ohne Zugseilriss), treten keine großen Beschleunigungen zum Zeitpunkt des Versagens der Befestigung auf. Da das Fahrzeug jedoch vom Zugseil entkoppelt ist, kann es eine hohe Geschwindigkeit erreichen, mit entsprechend schwerwiegenden Folgen. Ein wesentlicher Unterschied zu einem Zugseilriss ist dadurch gegeben, dass in diesen Fällen das Gegenfahrzeug nicht unmittelbar mitgefährdet ist. Bei ausreichender Treibfähigkeit kann das Gegenfahrzeug auch bei fehlender Gegenkraft gehalten werden. Dies wurde in der Berechnung angenommen.

Um einen repräsentativen Querschnitt zu erhalten, werden die Fälle mit einem Totalversagen der TSB (d.h. ohne Wirkung der TSB) gemeinsam mit den Ereignissen ohne TSB ausgewertet und daraus die mittlere Verletzungs- bzw. Todeswahrscheinlichkeit bestimmt. Bei einem vollständigen Versagen der TSB und einem Absturz ohne TSB sind die Folgen näherungsweise vergleichbar. Die Folgen eines Zugseilrisses und eines Versagens der Verbindung Zugseil-Laufwerk werden aufgrund der kleinen Datenbasis ebenfalls nicht gesondert unterschieden.

Die mittlere Todes- und Verletzungswahrscheinlichkeit kann auf der Basis von sechs Ereignissen mit einem Totalversagen der TSB und einem Ereignis ohne TSB ermittelt werden. Ein schwerwiegendes Ereignis 99/02 ist an einer ZS-PB ohne TSB aufgetreten, wobei ein mit 20 Personen besetztes Fahrzeug entgleist und abgestürzt ist, nachdem die Befestigung des Fahrzeuges am Zugseil versagt hat. Dabei sind alle 20 betroffenen Personen tödlich verunglückt, siehe Tabelle 16. Die Todes- und Verletzungswahrscheinlichkeit betrug in diesem Fall 100%. Dies ist jedoch nicht bei allen Ereignissen ohne TSB zu erwarten.

Tabelle 16: Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeiten bei einem Totalversagen der TSB bzw. ohne TSB

Ereignis	Betroffene P_B	Tote P_T	Verletzte P_V	Verletzte und Tote P_V+P_T	Todes- wahrsch. Q_T	Verletzungs- wahrsch. Q_V
99/02	20	20	0	20	1,0	1,0
72/01	14	12	2	14	0,86	1,0
74/01	8	4	4	8	0,50	1,0
89/01 Fzg.1	30	17	13	30	0,57	1,0
89/01 Fzg.2	30	2	28	30	0,07	1,0
75/03	(unbek.) $B \neq 0$	0	0	0	0	0
86/03 ¹	1	0	0	0	0	0
Mittlere Todes- und Verletzungswahrscheinlichkeit²					0,46	0,77

¹ Das Ereignis 86/03, bei dem sich das Zugseil verfangen hat, wird nur zu 50% gewertet, da die Geschwindigkeit durch die Restwirkung der TSB reduziert worden ist. Die Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeit ist aufgrund der reduzierten Geschwindigkeit nur für Bahnen mit TSB repräsentativ, für Bahnen ohne TSB ist dieser Fall äußerst unwahrscheinlich. Dieser Unterschied wurde bei der Berechnung jedoch vernachlässigt.

² Durch die teilweise Berücksichtigung des Ereignisses 86/03 wurde eine konservative Abschätzung der Todes- und Verletzungswahrscheinlichkeiten vorgenommen. Für Bahnen ohne TSB werden diese eher zu günstig angenommen ($Q_T=0,46$ statt $Q_T=0,50$), für Bahnen mit TSB sind diese hingegen eher zu ungünstig angesetzt ($Q_T=0,46$ statt $Q_T=0,43$).

Die in Tabelle 16 aufgeführten Ereignisse berücksichtigten eine große Bandbreite unterschiedlicher Schadensausmaße von $Q_T=0$ bis $Q_T=1$, z.B. Absturz aus großer Höhe nach Entgleisung an der Stütze, Aufprall in der Station aber auch günstig verlaufende Ereignisse, wie Verfangen des Zugseils etc.

Die in Tabelle 16 ermittelten mittleren Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeiten für den Fall eines Zugseilrisses mit Versagen der Tragseilbremse und für den Fall eines Zugseilrisses ohne Tragseilbremse von $Q_{ZV,V}=0,77$ und $Q_{ZV,T}=0,46$ sind im Vergleich zu **Wettstein 1975** deutlich geringer¹⁴. Sie wirken sich damit nicht nachteilig auf das Risiko von Bahnen ohne Tragseilbremse aus.

Bei einem Zugseilriss werden die ermittelten Wahrscheinlichkeiten unabhängig von der Seilrissstelle für beide betroffenen Fahrzeuge angenommen, bei einem Versagen der Verbindung Zugseil-Laufwerk nur für das unmittelbar betroffene Fahrzeug angesetzt.

Todes- und Verletzungswahrscheinlichkeit bei Übergeschwindigkeit

Die Todes- und Verletzungswahrscheinlichkeiten für den Aufprall der Fahrzeuge mit Übergeschwindigkeit in den Stationen werden in Kapitel 7.4 ermittelt, wobei je nach Art des Übergeschwindigkeitsereignisses zwei unterschiedliche Todes- und Verletzungswahrscheinlichkeiten $Q_{Ü1}$ und $Q_{Ü2}$ aufgetreten sind. Die für die Übergeschwindigkeitseinfahrt mit ZS-Riss angenommenen Wahrscheinlichkeiten $Q_{ZÜ}$ werden aus den Wahrscheinlichkeiten $Q_{Ü1}$ und $Q_{Ü2}$ ermittelt, gewichtet nach den Eintrittswahrscheinlichkeiten $E_{Ü1}$ und $E_{Ü2}$. Damit ist $Q_{ZÜ,T}=0,10$ und $Q_{ZÜ,V}=0,51$.

Schadensausmaß für das betroffene Fahrzeug

Die in Tabelle 17 eingetragenen durchschnittlichen Schadensausmaße S_T und S_V wurden auf der Basis des zukünftigen Betroffenheitsquotienten eines Fahrzeuges f_{B1} berechnet

$$S_V = f_{B1} \cdot Q_V, \quad (7.23)$$

$$S_T = f_{B1} \cdot Q_T. \quad (7.24)$$

Tabelle 17: Prognostiziertes Schadensausmaß bei verschiedenen Szenarien

Szenarien		Durchschnittliches Schadensausmaß für das betroffene Fahrzeug	
		S_T [Tote/Ereignis]	S_V [Verletzte/Ereignis]
TSB fällt ein und bremst das Fahrzeug ab	S_{ZT}	0,01	0,1
Totalversagen der TSB bzw. keine TSB vorhanden	S_{ZV}	8,9	14,8
Aufprall des Fahrzeugs in der Station nach einer Übergeschwindigkeit	$S_{ZÜ}$	1,9	9,8

¹⁴ Wettstein nimmt an, dass bei einem Zugseilriss im betroffenen Fahrzeug 100% Tote und im Gegenfahrzeug 50% Tote zu erwarten sind. Für beide Fahrzeuge, die von einem Zugseilriss betroffen sind, ergibt sich eine durchschnittliche Todeswahrscheinlichkeit von 75%.

Risikoermittlung für das „Versagen der Zugseilschleife“

Auf Grundlage der mittleren Schadensausmaße der einzelnen Szenarien können für die relevanten Ereignisse des Fehlerbaums Risikokennzahlen ermittelt werden. Da sich verschiedene Ereignisse jeweils unterschiedlich auf die beiden Fahrzeuge auswirken, werden vier Fälle A-D unterschieden. Für die Fälle A-D werden die unterschiedlichen Risiken für ZS-PB mit und ohne TSB ermittelt, bei ZS-PB mit TSB wird dabei die in Kapitel 7.3.1 ermittelte Versagenswahrscheinlichkeit der Tragseilbremse berücksichtigt.

A Risiko eines Zugseilrisses (ohne Übergeschwindigkeit)

Die Ereignisse mit einem Zugseilriss ohne Übergeschwindigkeit betreffen stets beide Fahrzeuge. Die Ereignisse der Gruppen Z1, (Z2.1, Z2.2), Z2.4, Z4, Z5 können daher zusammengefasst werden.

Für ZS-PB ohne TSB ist das Schadensausmaß an beiden Fahrzeugen

$$S_{Z,2,oT} = 2 \cdot S_{ZV} . \quad (7.25)$$

Bei ZS-PB mit TSB sind die beiden Fahrzeuge von einem Zugseilriss jeweils in unterschiedlichem Ausmaß betroffen, abhängig davon ob die TSB an beiden Fahrzeugen funktioniert, nur eine TSB funktioniert oder beide TSB ausgefallen sind, vgl. Kap. 7.3.1. Bei ZS-PB mit TSB gilt für das Schadensausmaß an beiden Fahrzeugen

$$S_{Z,2,mT} = p_1 \cdot 2 \cdot S_{ZT} + p_2 \cdot (S_{ZV} + S_{ZT}) + p_3 \cdot 2 \cdot S_{ZV} , \quad (7.26)$$

bzw. mit p_1, p_2, p_3 aus Kap. 7.3.1 (S. 90)

$$S_{Z,2,mT} = (1 - q_T)^2 \cdot 2 \cdot S_{ZT} + 2 \cdot q_T (1 - q_T) (S_{ZV} + S_{ZT}) + q_T^2 \cdot 2 \cdot S_{ZV} . \quad (7.27)$$

Das Risiko ist jeweils

$$R_{ZA} = (E_{Z1} + E_{Z2.1} + E_{Z2.2} + E_{Z2.4} + E_4 + E_5) \cdot S_{Z,2} . \quad (7.28)$$

B Risiko beim Versagen der Verbindung Fahrzeug-Zugseilschleife

Ereignisse, die dazu führen, dass das Fahrzeug nicht mehr mit der Zugseilschleife verbunden ist, wirken sich zunächst jeweils nur auf das betroffene Fahrzeug aus. In der weiteren Folge kann dies jedoch dazu führen, dass auch das Gegenfahrzeug betroffen ist, wenn die Treibfähigkeit an der Antriebsscheibe nicht mehr ausreicht.

Für die Risikoberechnung wird vereinfacht angenommen, dass die Treibfähigkeit ausreicht, um das Gegenfahrzeug zu halten¹⁵. Die Ereignisse der Gruppe Z2.3 (Versagen der Zugseilanhängung) und Z2.5 (Rutschen des Seiles im Chapeau-de-Gen-darme) betreffen somit nur eines von beiden Fahrzeugen.

Für ein Fahrzeug beträgt das Schadensausmaß ohne TSB

$$S_{Z,1,oT} = S_{ZV} . \quad (7.29)$$

Das Schadensausmaß an einem Fahrzeug mit TSB ist bei Berücksichtigung der Versagenswahrscheinlichkeit der Tragseilbremse an einem Fahrzeug q_T (Kap. 7.3.1)

$$S_{Z,1,mT} = q_T \cdot S_{ZV} + (1 - q_T) \cdot S_{ZT} . \quad (7.30)$$

¹⁵ Die beispielhafte Berechnung der Treibfähigkeit an einer realen Anlage hat gezeigt, dass diese Annahme realistisch ist.

In der prEN 12929-2 bzw. auch für ZS-PB mit TSB sollte ein rechnerischer Nachweis für die ausreichende Treibfähigkeit vorgeschrieben werden, siehe Kap. X Maßnahmen.

Bei dem Gefahrenereignis Rutschen des Chapeau-de-Gendarmes muss davon ausgegangen werden, dass ein Zusammenhang mit der Befüllung des Fahrzeuges und dem Eintritt des Ereignisses besteht¹⁶. Für die Risikoberechnung wird daher angenommen, dass die Ereignisse der Gruppe Z2.5 nicht bei einem zufälligen Fahrzeugfüllgrad von 25% eintreten, sondern erst bei einem höheren Fahrzeugfüllgrad. Dies wird durch eine Erhöhung des Füllgrades um den Faktor $p_B=1,5$ (dies entspricht einem Füllgrad von 37,5%) berücksichtigt.

Das Risiko bei ZS-PB mit und ohne TSB ist jeweils

$$R_{ZB} = E_{Z2.3} \cdot S_{Z,2} + E_{Z2.5} \cdot p_B \cdot S_{Z,2}. \quad (7.31)$$

C Risiko eines Zugseilrisses nach Übergeschwindigkeitseinfahrt

Tritt der Zugseilriss erst bei einer Übergeschwindigkeitseinfahrt in die Station ein, unterscheidet sich das Szenario und damit auch das Schadensausmaß im Vergleich zu anderen Ereignissen mit Zugseilrissen, da sich die beiden Fahrzeuge zum Zeitpunkt des Zugseilrisses in den Stationen befinden.

Betrachtet man die Ereignisse der Gruppe Z3 in einer Ereignisablaufanalyse sind beide Fahrzeuge zunächst vom Übergeschwindigkeitsanprall in der Station und erst anschließend vom Zugseilriss betroffen. Für die Fahrgäste in beiden Fahrzeugen besteht zunächst eine Gefährdung durch den Aufprall in den Stationen. Beim Aufprall des Laufwerkes auf den Puffer wird dieser zusammengedrückt. Die Fahrzeuge können dadurch aus der Station auf die Strecke zurück katapultiert werden.

Für beide Fahrzeuge ist beim Aufprall zunächst der Schaden durch den Aufprall mit Übergeschwindigkeit zu betrachten, mit dem Schadensausmaß $S_{ZÜ}$, siehe Bild 26. Es wird angenommen, dass das untere Fahrzeug nach dem Übergeschwindigkeitsaufprall in der Station bzw. nahe der Station verbleibt. Für das bergseitige Fahrzeug besteht jedoch die Gefahr, dass es in der Station zurückprallt und aufgrund der unterbrochenen Zugseilschleife entlang des Tragseiles abläuft, entgleist oder in der Talstation aufprallt. Für die Folge, dass das bergseitige Fahrzeuge aus der Bergstation heraus beschleunigt wird, wird eine Wahrscheinlichkeit von $p_s=50\%$ angenommen.

Für das bergseitige Fahrzeug ist das Schadensausmaß bei ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB unterschiedlich, siehe Bild 26, abhängig davon wie häufig die TSB wirkt. Aufgrund der Deformation des Laufwerkes beim Aufprall auf den Puffer wird angenommen, dass die Versagenswahrscheinlichkeit der TSB infolge des Aufpralls verdoppelt, d.h. dass die TSB im Vergleich zu einem Zugseilriss ohne Übergeschwindigkeit nur bei jedem zweiten Ereignis greift, $\beta_{ZÜ}=2$.

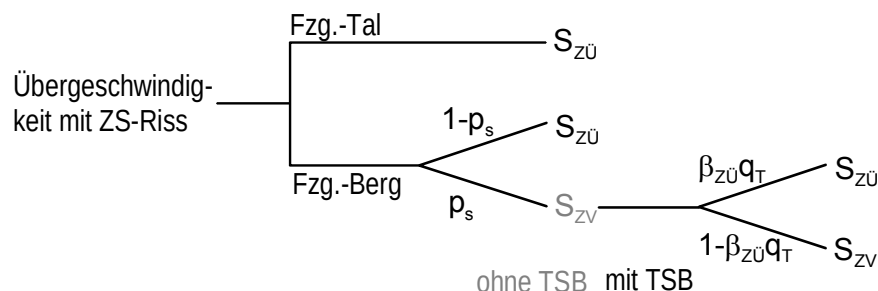


Bild 26: Schadensausmaß an beiden Fahrzeugen bei einem „Übergeschwindigkeitsaufprall mit Zugseilriss“

¹⁶ Das Ereignis 99/02 hat einen solchen Zusammenhang aufgezeigt. Am Vortag des Ereignisses ist eine Fahrt mit geringer Befüllung ohne Schadenseintritt verlaufen.

Das Schadensausmaß für beide Fahrzeuge ohne TSB ist

$$S_{ZÜ,oT} = S_{ZÜ} + (1 - p_S) \cdot S_{ZÜ} + p_S \cdot S_{ZV} \quad (7.32)$$

Das Schadensausmaß für beide Fahrzeuge mit TSB ist

$$S_{ZÜ,mT} = S_{ZÜ} + (1 - p_S) S_{ZÜ} + p_S [\beta_{ZÜ} \cdot q_T \cdot S_{ZV} + (1 - \beta_{ZÜ} \cdot q_T) S_{ZÜ}] \quad (7.33)$$

$p_S=0,5$ Wahrscheinlichkeit, dass das Fahrzeug nach der Übergeschwindigkeitseinfahrt in die Station durch den Rückstellkraft des Puffers und durch die talwärts gerichtete Kraft des Gegenseils nicht in der Station verbleibt, sondern auf die Strecke zurückgeworfen wird

$\beta_{ZÜ}=2$ Annahme: Die Versagenswahrscheinlichkeit der Tragseilbremse wird mit Faktor 2 doppelt so hoch angesetzt, da diese nach einem Übergeschwindigkeitsanprall des Fahrzeuges auf den Puffer häufig deformiert ist.

Für das Risiko gilt jeweils

$$R_{Z,C} = E_{Z3} \cdot S_{ZÜ} \quad (7.34)$$

D Risiko eines Zugseilrisses verursacht durch Flugzeug

Ereignisse mit Flugzeugen können gleichzeitig einen Trag- und Zugseilriss zur Folge haben. Gemäß den eingetretenen Fällen ist die Wahrscheinlichkeit für einen Zug- und Tragseilriss $p_F=0,5$. Das Risiko für das Fahrzeug, das gleichzeitig von einem Zug- und Tragseilriss betroffen ist, wird im Kapitel 7.1 „Absturz“ berücksichtigt, es ist für ZS-PB mit und ohne TSB jeweils gleich.

Für das Gegenfahrzeug bzw. bei Ereignissen ohne TS-Riss ist das Risiko bei ZS-PB mit und ohne TSB unterschiedlich. Mit der Tragseilbremse können die Fahrgäste im Gegenfahrzeug bzw. in beiden Fahrzeugen gerettet werden.

Das Risiko für die Fahrgäste, die in einem oder in beiden Fahrzeuge von einem Zugseilriss durch ein Flugzeug betroffen sind, ist

$$R_{Z,D} = E_{Z6} \cdot [p_F \cdot S_{Z,1} + (1 - p_F) \cdot S_{Z,2}] \quad (7.35)$$

$R_{Z,D}$ ist getrennt für ZS-PB mit und ohne TSB mit den jeweiligen Werten E_{Z6} bzw. E_{Z6}' (mit TSB S. 75 u. ohne TSB S. 78), $S_{Z,1}$ (Gl. 7.30, 7.29) und $S_{Z,2}$ (Gl. 7.27, 7.25) zu berechnen.

Die Summe der Risiken A-D für das „Versagen der Tragseilbremse“ ist

$$R_Z = R_{Z,A} + R_{Z,B} + R_{Z,C} + R_{Z,D} \quad (7.36)$$

Die ermittelten Todes- und Verletzungsrisiken für die Fahrgäste bei einem „Versagen der Zugseilschleife“ zeigt Tabelle 18.

Tabelle 18: Todes- und Verletzungsrisiken für das Ereignis Versagen der Zugseilschleife

	ZS-Pendelbahn mit Tragseilbremse		ZS-Pendelbahn ohne Tragseilbremse	
	Todesrisiko $R_{Z,T,mT}$	Verletzungsrisiko $R_{Z,V,mT}$	Todesrisiko $R_{Z,T,oT}$	Verletzungsrisiko $R_{Z,V,oT}$
Bezugsbasis:				
Betrachtungszeitraum T_1 (1980-2002)	$0,78 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$9,3 \cdot 10^{-3}$
Betrachtungszeitraum T_2 (1908-2002)	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$12,7 \cdot 10^{-3}$

7.3.1 Versagenswahrscheinlichkeit der Tragseilbremse

Bei einer 100%igen Funktionsfähigkeit der TSB und einem wachsamem Wagenbegleiter könnte das Todesrisiko bei einem Zugseilriss bei ZS-PB mit TSB gegen Null reduziert werden. In der Realität ist dies jedoch nicht der Fall. Passive Sicherheitseinrichtungen funktionieren bei einer Anforderung häufig nicht und weisen vielfach eine große Ausfallwahrscheinlichkeit auf.

Bei passiven Sicherheitselementen ist dabei nicht die zeitliche Eintretenswahrscheinlichkeit eines Ausfalls von Bedeutung, sondern die Ausfallwahrscheinlichkeit auf Anforderung, **Hauptmanns 1998**. Die Versagenswahrscheinlichkeit der Tragseilbremse auf Anforderung kann durch Analyse der Ereignisse „Versagen des Zugseilschleife“ ermittelt werden. Dabei ist zu unterscheiden, ob die Tragseilbremsen an beiden Fahrzeugen versagen oder nur die TSB an einem Fahrzeug versagt und die zweite TSB das Gegenfahrzeug hält. Die weitere Ausfallart der Tragseilbremse „Unplanmäßiges Einfallen der TSB“ bei einer intakten Zugseilschleife wird in Abschnitt 7.6 behandelt.

Das Versagen der TSB betrifft in den meisten Fällen eines der beiden Fahrzeuge. Nur in Ausnahmefällen (z.B. im Fall 89/01*) versagen die Tragseilbremsen gleichzeitig an beiden Fahrzeugen. Für die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit der TSB werden alle Ereignisse mit einem Zugseilriss untersucht und die Anzahl der Tragseilbremsungen bestimmt. Beim Pendelbetrieb kommen auf einen Zugseilriss zwei Tragseilbremsungen (=Anforderungen), die jeweils einzeln betrachtet werden. Bei einem Windenbetrieb, beim Versagen der Zugseilanhängung am Laufwerk oder Rutschen des Fahrzeugs kann jeweils nur eine Tragseilbremsung untersucht werden. Die weltweiten Fälle können nicht einbezogen werden, da diese nicht vollständig recherchiert wurden.

Als Totalausfall der TSB werden alle Fälle gewertet, in denen die TSB keine Wirkung gezeigt hat. Ereignisse, bei denen die Bremskraft der TSB zu gering war und das Fahrzeug bis zum Stillstand über einen längeren Bremsweg abgerutscht ist, werden nicht als Totalversagen gewertet.

Der Fall 86/03, bei dem das Fahrzeug mit geschlossener TSB 1000m zunächst abgerutscht ist und erst zum Stillstand kam, als sich das Zugseil um einen Baum geschlungen hat, wird hier zu ungunsten von Bahnen mit TSB als Totalversagen der TSB berücksichtigt. Tatsächlich hat die Tragseilbremse in diesem Fall einen hohen Teil des Energiepotentials abgebremst.

Abzüglich der Ereignisse an Anlagen ohne TSB und an Anlagen mit mehr als einem Zugseil können über den gesamten Betrachtungszeitraum 42 Anforderungen an die Tragseilbremse betrachtet werden bzw. 8 Anforderungen seit 1980. In 5 Fällen (ein Fall seit 1980) trat dabei ein Totalversagen der Tragseilbremse auf.

Die Wahrscheinlichkeit für ein Versagen der Tragseilbremse auf Anforderung ist damit

$$q_{\text{TSB}} = \frac{5 \text{ Fälle mit Totalversagen}}{42 \text{ Anforderungen}} = 0,119 = 11,9\% \quad (7.37)$$

bzw. 12,5% seit 1980.

Die Versagenswahrscheinlichkeit der Tragseilbremse ist in den Betrachtungszeiträumen T_2 und T_1 näherungsweise konstant geblieben. Während sich bei den Zugseilendverbindungen technische Veränderungen (z.B. Abschneiden des Vergusses alle

4 Jahre) sehr zeitnah auf den gesamten Bestand auswirken, gilt dies bei den Tragseilbremsen aufgrund des Bestandschutzes nur für Neuanlagen. Im Zeitabschnitt von 1980 bis 2002 betrug der Anteil an Neuanlagen jedoch nur etwa 7-9% am Gesamtbestand, vgl. Bild 9 und Bild 4).

Das im Betrachtungszeitraum T_1 eingetretene Ereignis „Versagen der Tragseilbremse“ hat sich an einer ZS-PB ereignet, die im Jahre 1972 gebaut worden ist. Die Reduzierung der Versagenswahrscheinlichkeit der Tragseilbremse durch die Auslegung moderner Anlagen nach den Erkenntnissen von Wettstein kann daher nur abgeschätzt werden. Mit dem Faktor $\beta_T=0,5$ wird für zukünftige ZS-PB eine Wahrscheinlichkeit für das Versagen einer Tragseilbremse auf Anforderung von

$$q_T = q_{TSB} \cdot \beta_T \approx 6,0\% \quad (7.38)$$

berücksichtigt.

Die Tragseilbremsen der beiden Fahrzeugen sind zwei unabhängige, räumlich getrennte Bremsen, die mit einer separaten Auslösung, Hydraulik, elektrischer Versorgung etc. ausgestattet sind. Die Abzugskräfte der Tragseilbremsen werden regelmäßig überprüft. Selbst bei Fehlauslegung der Tragseilbremse sind Common-Mode-Ausfälle sehr unwahrscheinlich und können als zufällige Ereignisse angenommen werden¹⁷. Bei Anforderung der beiden Tragseilbremsen nach einem Zugseilriss sind die in Bild 27 dargestellten Funktionszustände der beiden Tragseilbremsen möglich.

		TSB Wagen 1	
		intakt r_T	ausgef. q_T
TSB Wagen 2	intakt r_T	r_T^2	$q_T r_T$
	ausgef. q_T	$r_T q_T$	q_T^2

Bild 27: Mögliche Funktionszustände der TSB an beiden Fahrzeugen

Für das Schadensausmaß bei einem Zugseilriss an einer ZS-Pendelbahn mit TSB werden drei unterschiedliche Fälle mit folgenden statistischen Eintrittswahrscheinlichkeiten berücksichtigt:

Fall 1: Beide TSB funktionieren ordnungsgemäß

$$p_1 = r_T^2 = (1 - q_T)^2 = 88,4\% \quad (7.39)$$

Fall 2: Die TSB eines Fahrzeugs (von zwei Fahrzeugen) versagt

$$p_2 = 2 \cdot q_T \cdot r_T = 2 \cdot q_T \cdot (1 - q_T) = 11,2\% \quad (7.40)$$

Fall 3: Beide TSB versagen gleichzeitig

$$p_3 = q_T^2 = 0,4\% \quad (7.41)$$

¹⁷ Die Folge einer Fehlauslegung der Tragseilbremse ist in der Regel eine zu geringe Bremskraft. Eine geringe Bremskraft ist jedoch nicht gleichbedeutend mit dem Totalversagen der Tragseilbremse, da angenommen werden kann, dass die Fahrzeuge oder eines der beiden Fahrzeuge trotz eines unplanmäßig langen Bremsweg abgebremsst werden.

Ein zeitgleiches Totalversagen der Tragseilbremsen beider Fahrzeuge kann somit nicht vollständig ausgeschlossen werden, es wird jedoch nur als zufälliges Ereignis angenommen.

7.4 Übergeschwindigkeit ohne Zugseilriss (Ü)

Ereignisse, die zu einer Einfahrt der Fahrzeuge in die Station mit überhöhter Geschwindigkeit führen, ohne dass ein Zugseilriss auftritt, sind in der Ereignisgruppe „Übergeschwindigkeit“ zusammengefasst. Als Folge dieser Gefährdungsereignisse kann ein Aufprall der Fahrzeuge in den Stationen auftreten.

Von einer Übergeschwindigkeitseinfahrt in die Station sind beide Fahrzeuge betroffen, sieht man von einzelnen Ausnahmen, wie Einwagenbetrieb oder fehlendes Gegenfahrzeug ab, die bei der Auswertung nicht betrachtet werden¹⁸.

Die Ereignisse mit Übergeschwindigkeiten sind im Fehlerbaum, vgl. Bild 15, in 7 unterschiedliche Ursachengruppen unterteilt:

- Ü1 Kopierwerk defekt
- Ü2 Fehler in der Steuerung
- Ü3 Fehlbedienung
- Ü4 Seilrutschen auf Antriebsscheibe
- Ü5 Redundanzverlust von Betriebs- und Sicherheitsbremse
- Ü6 Bremskraft BB zu gering
- Ü7 Bruch Antriebswelle

Eintrittswahrscheinlichkeit

Auf die einzelnen Gruppen entfällt die in Tabelle 19 aufgeführte Anzahl an Ereignissen, die nach den zukünftigen Normen relevant sind.

Tabelle 19: Anzahl der relevanten Ereignisse $\ddot{U}$ in den Zeiträumen T_1 und T_2

		Anzahl der Ereignisse im Betrachtungszeitraum			
		T_1 (1980-2002)		T_2 (1908-2002)	
		Z	Z*	Z'	Z'*
Ü1 Kopierwerk	$Z_{\ddot{U}1}$	1	1	2	(1)
- zukünftig nicht mehr relevant für ZS-PB ohne TSB	$Z_{\ddot{U}1,OT}$	1	(1)	1	(1)
Ü2 Steuerung	$Z_{\ddot{U}2}$	2	(1)	3	(1)
Ü3 Fehlbedienung	$Z_{\ddot{U}3}$	3	2	4	(2)
Ü4 Treibfähigkeit	$Z_{\ddot{U}4}$	1	-	1	-
Ü5 Redundanzverlust BB/SB	$Z_{\ddot{U}5}$	2	-	2	-
Ü6 Bremskraft BB zu gering	$Z_{\ddot{U}6}$	-	-	1	-
Ü7 Bruch Antriebswelle	$Z_{\ddot{U}7}$	-	-	1	-

() nicht berücksichtigte außereuropäische Ereignisse, führen nicht zu einer Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Im Zeitraum T_2 seit 1908 sind $Z_{\ddot{U}1}'=2$ relevante Ereignisse in Europa und ein relevantes Ereignis außerhalb Europa ($Z_{\ddot{U}1}^*=1$) eingetreten, bei denen das Kopierwerk versagt hat. Nicht relevant ist der Fall 98/05, der bei Kontrollarbeiten eingetreten ist.

In zwei Fällen (90/02, 94/04*) verfügten die ZS-Pendelbahnen nur über ein Kopierwerk. Diese beiden Ereignisse sind nur für ZS-Pendelbahnen mit TSB relevant, da für zukünftige ZS-Pendelbahnen ohne TSB die Ausnahme in begründeten Fällen auch Bahnen mit einem Kopierwerk zuzulassen nach der Norm **prEN 12929-2** Abschnitt 7.8 und 7.9 (s.u.) ausgeschlossen ist.

¹⁸ Das Ereignis 76/08 mit fehlendem Gegenfahrzeug wird bei der Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit nicht berücksichtigt, da es bei einer Kleinseilbahn eingetreten ist und sich nicht auf den regulären Fahrbetrieb bezieht.

prEN 12929-2: 2004

7.8 Für die Wegerfassung für Kopierwerke sind die in prEN 13223 erwähnten Abweichungen nicht zulässig.

7.9 Für das Geschwindigkeitsmessglied für die Einfahrtüberwachung sind die in prEN 13223 erwähnten Abweichungen nicht zulässig.

prEN 13223: 2004

7.4 Kopierwerk

7.4.2 Der Abbildung der Strecke durch das Kopierwerk muss, außer in begründeten Fällen, die Zahl der Umdrehungen einer Seilumlenk- oder einer Seilablenkscheibe in der Antriebsstation oder eine absolute Wegerfassung zugrundegelegt werden. Diese Erfassung darf nur über formschlüssige Getriebe oder mindestens gleichwertig sichere elektrische oder elektronische Einrichtungen erfolgen. Abweichungen vom wirklichen Kabinenstand müssen in den Endstellungen selbsttätig berichtigt werden.

ANMERKUNG Ein begründeter Fall ist z.B. eine Bahn, die in der Antriebsstation nur über eine Scheibe, die Antriebsscheibe verfügt.

7.4.3 Die Wegerfassung für Kopierwerke muss, außer in begründeten Fällen, von zwei unabhängigen Seilscheiben aus erfolgen.

ANMERKUNG Ein begründeter Fall ist z.B. eine Bahn, die in der Antriebsstation nur über eine Scheibe, die Antriebsscheibe verfügt oder wenn nur eine Windentrommel vorhanden ist.

8.4 Geschwindigkeitsüberwachung bei der Stationseinfahrt bei Seilbahnen mit Pendelbetrieb oder pulsierendem Umlaufbetrieb

8.4.5 Mindestens ein Geschwindigkeitsmessglied für die Einfahrtüberwachung muss, außer in begründeten Fällen, direkt von einer Umlenk- oder einer Ablenkscheibe aus angetrieben oder beeinflusst werden. Die Erfassung darf nur über formschlüssige Getriebe oder mindestens gleichwertig sichere elektrische oder elektronische Einrichtungen erfolgen.

ANMERKUNG Ein begründeter Fall ist z.B. eine Bahn, die in der Antriebsstation nur über eine Scheibe, die Antriebsscheibe verfügt.

Aufgrund dieser verschärften Anforderungen für zukünftige ZS-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse unterscheiden sich die Eintrittswahrscheinlichkeiten bei ZS-PB mit und ohne TSB.

Bei ZS-PB mit TSB ist die Eintrittshäufigkeit einer Übergeschwindigkeit $E_{Ü1,mT'}$ durch Versagen des Kopierwerks unter Berücksichtigung des Zeitraums T_2 (vgl. Kap. 6.2.6, Gl. 6.27)

$$E_{Ü1,mT'} = \frac{Z_{Ü1}'}{(AT)_2} \quad (7.42)$$

Im Zeitraum T_1 ist gemäß Kap. 6.2.3 zusätzlich das außerhalb Europa eingetretene Ereignis zu berücksichtigen

$$E_{Ü1,mT} = \frac{(Z_{Ü1} + Z_{Ü1*}) \cdot \varepsilon}{(AT)_1} \quad (7.43)$$

Für zukünftige ZS-PB ohne Tragseilbremse kann das Ereignis 90/02 gemäß prEN 12929-2 Abschn. 7.8 ausgeschlossen werden, $Z_{Ü1,oT} = Z_{Ü1,oT'} = 1$. Damit sind die nach Kapitel 6.2.6, Gl. 6.26 ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten $E_{Ü1,oT}$ im Zeitraum T_1

$$E_{Ü1,oT} = \frac{Z_{Ü1} - Z_{Ü1,oT}}{(AT)_1} \quad (7.44)$$

sowie $E_{Ü1,oT'}$ (im Zeitraum T_2) jeweils kleiner als bei ZS-PB mit TSB.

Im Zeitraum T_2 sind in Europa $Z_{\ddot{U}2}=3$ Fälle mit einem Versagen der Steuerung $\ddot{U}2$ aufgetreten, die sowohl für ZS-PB mit und ohne TSB relevant sind.

Nach **prEN 12929-2** Abschnitt 7.7 (s.u.) gelten bei ZS-Pendelbahnen ohne TSB zukünftig jedoch erhöhte Anforderungen an die Steuerung.

prEN 12929-2: 2004

7.7 Die Einfahrtüberwachung ist entsprechend der Anforderungsklasse AK 4 nach prEN 13243 auszuführen.

prEN 13243: 2004

d) Anforderungsklasse 4: Die Anforderungen der Anforderungsklasse 3 müssen erfüllt sein. Elektrische Sicherheitseinrichtungen der Anforderungsklasse 4 sind so zu gestalten, dass ein einzelner Fehler in einem dieser Einrichtungen nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktionen führt und:

- 1) der einzelne Fehler, wann immer möglich, bei oder vor der nächsten Anforderung der Sicherheitsfunktion erkannt wird oder das Überführen der Seilbahn in einen sicheren Zustand zur Folge hat; oder*
- 2) falls dies nicht möglich ist, dann ein zweiter Fehler nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktionen führt und das Überführen der Seilbahn in einen sicheren Zustand zur Folge hat. Wenn automatische oder manuelle Tests in periodischen Zeitabständen nach 4.2.2.12 c) mit einem hohen Fehlerrückmeldungsfaktor ablaufen, sodass der erste Fehler vor dem Auftreten eines weiteren Fehlers erkannt wird, muss ein zweiter Fehler nicht betrachtet werden.*

ANMERKUNG Hoher Fehlerrückmeldungsfaktor kann bedeuten, dass 99 % aller zu betrachtenden Fehler aufgedeckt werden müssen.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit $E_{\ddot{U}2,mT}$ für Pendelbahnen mit TSB, die aufgrund von Fehlern in der Steuerung aufgetreten sind

$$E_{\ddot{U}2,mT} = \frac{Z_{\ddot{U}2}}{(AT)} \quad (7.45)$$

wird für ZS-PB ohne TSB aufgrund der ergänzenden Anforderungen in der prEN 12929-2 um den Faktor $\beta_{\ddot{U}2,oT}$ reduziert

$$E_{\ddot{U}2,oT} = \frac{Z_{\ddot{U}2}}{(AT)} \cdot \beta_{\ddot{U}2} \quad (7.46)$$

Da durch die erhöhte Anforderungsklasse AK4 nur ein Teil der Fehler verhindert wird, die im Zusammenhang mit der Steuerung auftreten können, wird eine Verminderung der Eintrittswahrscheinlichkeit $E_{\ddot{U}2,oT}$ um 20%, d.h. ein Faktor $\beta_{\ddot{U}2,oT}=0,8$, angesetzt.

In der Gruppe $\ddot{U}3$ sind Ereignisse zusammengefasst, die auf eine Fehlbedienung zurückzuführen sind. Die Ereignisse sind überwiegend beim Fahren mit Handsteuerung aufgetreten oder sind auf Eingriffe in die Steuerung zurückzuführen, z.B. Fahren mit überbrücktem Sicherheitsstromkreis.

Die Eintrittswahrscheinlichkeiten $E_{\ddot{U}3}$ bis $E_{\ddot{U}7}$ sind jeweils unabhängig davon, ob die ZS-Pendelbahn mit oder ohne TSB ausgerüstet ist

$$E_{\ddot{U}i} = \frac{Z_{\ddot{U}i}}{(AT)} \quad \text{mit } i = 3 \dots 7. \quad (7.47)$$

Bei den Ereignissen Ü3 „Fehlbedienung“ wird im Betrachtungszeitraum T_1 nach Kap. 6.2.3 Gl. 6.7 zusätzlich auch das weltweite Ereignis berücksichtigt

$$E_{\text{Ü3}} = \frac{(Z_{\text{Ü3}} + Z_{\text{Ü3,zW}^*}) \cdot \varepsilon}{(AT)} = \frac{(Z_{\text{Ü3}} + Z_{\text{Ü3}}^*) \cdot \varepsilon}{(AT)}. \quad (7.48)$$

Schadensausmaß

Je nach Geschwindigkeit beim Aufprall sind unterschiedlich schwere Folgen für die Fahrgäste zu erwarten. Die Gefährdungsursachen Ü1 bis Ü3 führen zu Übergeschwindigkeiten mit mäßiger Geschwindigkeit. Ein höheres Schadensausmaß wurde bei den Ereignissen Ü4 bis Ü7 ermittelt, siehe Tabelle 20. Es gilt jeweils

$$S_{\text{Üi}} = f_{B2} \cdot Q_{\text{Üi}} \quad (7.49)$$

Tabelle 20: f_B , Q_V , Q_T der Gefährdungsereignisse Übergeschwindigkeit

	Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeit		
	f_B	Q_T	Q_V
$Q_{\text{Ü1..3}}$ bei Ü1-Ü3	f_{B2}	0,00	0,40
$Q_{\text{Ü4..7}}$ bei Ü4-Ü7	f_{B2}	0,31	0,75
Q_T für Auslösung der TSB bei Übergeschw.	f_{B2}	$5,2 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$

Der Übergeschwindigkeitsaufprall des Fahrzeugs in der Station kann bei ZS-PB mit TSB mit Hilfe der TSB verhindert werden. Anhand der Ereignisse wurde ermittelt, dass die Trageilbremse in insgesamt 4 Fällen ausgelöst wurde und den Aufprall des Fahrzeugs in der Station sicher verhindert hat. Bei insgesamt 19 Ereignissen, in denen eine Trageilbremse vorhanden war, bedeutet dies eine Auslöse- und Verhinderungswahrscheinlichkeit eines Übergeschwindigkeitsaufpralls durch die Trageilbremse (manuelle Auslösung) $p_{\text{Ü,mT}}=21\%$.

Risikoberechnung

Das Risiko für die Gefährdungsart Übergeschwindigkeit ist bei ZS-PB ohne TSB

$$R_{\text{Ü}} = E_{\text{Ü1..3}} \cdot S_{\text{Ü1..3}} + E_{\text{Ü4..7}} \cdot S_{\text{Ü4..7}} \quad (7.50)$$

und bei ZS-Pendelbahnen mit TSB

$$R_{\text{Ü}} = (1 - p_{\text{Ü,mT}}) \cdot (E_{\text{Ü1..3}} \cdot S_{\text{Ü1..3}} + E_{\text{Ü4..7}} \cdot S_{\text{Ü4..7}}) + p_{\text{Ü,mT}} \cdot (E_{\text{Ü1..3}} + E_{\text{Ü4..7}}) \cdot S_T. \quad (7.51)$$

Die Ergebnisse sind in Tabelle 21 eingetragen.

Tabelle 21: Todes- und Verletzungsrisiken für das Ereignis Übergeschwindigkeit

	ZS-Pendelbahn mit Trageilbremse		ZS-Pendelbahn ohne Trageilbremse	
	Todesrisiko $R_{\text{Ü,T,mT}}$	Verletzungsrisiko $R_{\text{Ü,V,mT}}$	Todesrisiko $R_{\text{Ü,T,oT}}$	Verletzungsrisiko $R_{\text{Ü,V,oT}}$
Betrachtungszeitraum T_1 (1980-2002)	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$
Betrachtungszeitraum T_2 (1908-2002)	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$

7.5 Kollision mit Hindernis ohne Zugseilriss und LW-Entgleisung (K)

Kollisionsergebnisse, bei denen die Fahrgäste durch den Aufprall des Fahrzeugs an ein Hindernis gefährdet sind¹⁹, wurden unter der Gefährdungsart K „Kollision mit Hindernis“ zusammengefasst. Eine Kollision mit Hindernissen kann in Längs- oder in Querrichtung erfolgen. Das Gefährdungsereignis „Kollision mit Hindernis“ betrifft in der Regel ein Fahrzeug²⁰. Zur Gefahrenabwehr, d.h. zur Vermeidung einer drohenden Kollision können die Betriebs- und Sicherheitsbremsen, bei ZS-Pendelbahnen mit TSB zusätzlich auch die Trageilbremse eingesetzt werden.

Eintrittswahrscheinlichkeit

Bei europäischen ZS-Pendelbahnen wurden im Betrachtungszeitraum T_2 10 relevante Ereignisse (Unfälle und Beinaheunfälle) recherchiert, siehe Tabelle 22, die eine Kollision mit einem Hindernis betreffen. An ZS-Pendelbahnen außerhalb Europas sind zwei weitere Ereignisse bekannt geworden. Im Betrachtungszeitraum T_1 ergibt sich nach Kapitel 6.2.3 damit eine geringe Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit.

Die Ereignisse wurden in Bezug auf die zukünftigen ZS-Pendelbahnen mit und ohne Trageilbremse in zwei Gruppen unterteilt. Acht relevante Ereignisse K1 betreffen eine Kollision oder ein Blockieren mit einem Hindernis in Fahrtrichtung. Bei zwei Ereignissen K2 kam es zur einer Querkollision des Fahrzeugs mit dem Streckenbauwerk Stütze bzw. mit dem Gegenfahrzeug.

Tabelle 22: Anzahl der relevanten Ereignisse K in den Zeiträumen T_1 und T_2

		Anzahl der Ereignisse im Betrachtungszeitraum			
		T_1 (1980-2002)		T_2 (1908-2002)	
		Z	Z*	Z'	Z'*
K1	Kollision/Blockierung des Fzgs. in Fahrtrichtung	3	2	8	(2)
K2	Kollision des Fzgs. in Querrichtung Stütze/Gegenfzg.)	1	-	2	-

Für ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB gilt im Zeitraum T_1

$$E_{K1} = \frac{(Z_{K1} + Z_{K1,ZW*}) \cdot \varepsilon}{(AT)_1}, \quad (7.52)$$

bzw. im Zeitraum T_2

$$E_{K1}' = \frac{Z_{K1}'}{(AT)_2}. \quad (7.53)$$

Zur Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit für eine Kollision durch Querpendelung des Fahrzeuges wird bei ZS-Pendelbahnen ohne TSB der Faktor β_K angesetzt, der berücksichtigt, dass zukünftige Anlagen ohne TSB gemäß **prEN 12929-2** für eine erhöhte Querpendelfreiheit ausgelegt sind. Da die Abschaltung der ZS-Pendelbahn mittels Pendelwächter erfolgt, ist jedoch ein Fahren bei höherer Betriebswindge-

¹⁹ Ereignisse, die infolge einer Kollision (z.B. mit dem Stützenquerhaupt) zu „gravierenderen“ Folgeereignissen wie Zugseilriss oder Laufwerksentgleisung geführt haben, werden nicht als Gefährdungsart Kollision betrachtet, sondern unter den Folgeereignissen Z bzw. A berücksichtigt. Das Gleiche gilt für Kollisionsergebnisse (ohne Hindernis), die infolge einer Übergeschwindigkeitseinfahrt in die Station aufgetreten sind und zu einem Aufprall der Fahrzeuge in den Stationen geführt haben.

²⁰ Eine Ausnahme ist das Ereignis Kollision mit Gegenfahrzeug, das beide Fahrzeuge betrifft.

schwindigkeit möglich. Eine geringere Wahrscheinlichkeit für eine Querkollision K2 kann bei Anlagen ohne TSB daher nicht begründet werden. Mit $\beta_{K2} = 1$ gilt für ZS-PB mit und ohne TSB in den Zeiträumen T_1 (und analog im Zeitraum T_2)

$$E_{K2} = E_{K1,mT} = \frac{Z_{K2}}{(AT)} = \frac{Z_{K2}}{(AT)} \cdot \beta_{K2} = E_{K1,oT} \quad (7.54)$$

Es ist anzunehmen, dass eine unbekannte Anzahl an Beinaheunfällen aufgetreten ist, bei denen eine Kollision rechtzeitig und erfolgreich durch eine Abbremsung mit Betriebs-, Sicherheits- oder Tragseilbremse verhindert worden ist. Daher kann vermutet werden, dass eine Kollisionsvermeidung bei Pendelbahnen mit Tragseilbremse durch den Einsatz der Tragseilbremse (d.h. mit hoher Bremskraft und kleinem Bremswegen) wahrscheinlicher bzw. erfolgreicher ist.

Die eingetretenen Ereignisse haben außerdem gezeigt, dass mit Hilfe der Tragseilbremse auch nach einer Kollision ein größerer Schaden verhindert werden kann. Es sind zwei Fälle (75/05 und 79B) gemeldet worden, bei denen die Tragseilbremse ausgelöst wurde, nachdem sich das Fahrzeug an einem Hindernis verhängt hatte. Auch in diesen Fällen ist das Gefahrenpotential bei ZS-Pendelbahnen mit Tragseilbremse geringer als bei Bahnen ohne Tragseilbremse. Bei der Risikoberechnung wurde dies jedoch nicht berücksichtigt, da für Bahnen ohne TSB keine Daten über das zu erwartende Schadensausmaß vorliegen.

Schadensausmaß

Aus den eingetretenen Ereignissen wurde für die Kollisionsarten K1 und K2 die mittleren Todes- und Verletzungswahrscheinlichkeiten $Q_{T,K}$ und $Q_{V,K}$ ermittelt, siehe Tabelle 24, jeweils bezogen auf ein Fahrzeug f_{B1} .

Tabelle 23: f_B , Q_V , Q_T der Gefährdungseignisse Kollision

		Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeit			
		f _B	Q _T	Q _V	
K1	Kollision in Fahrtrichtung	Q _{K1}	f _{B1}	0,039	0,306
K2	Kollision in Querrichtung	Q _{K2}	f _{B1}	0	0

Risikoberechnung

Für die Fahrgäste von ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse ergeben sich mit den Gleichungen

$$R_{K,V} = E_{K1} \cdot f_{B1} \cdot Q_{K1,V} + E_{K2} \cdot f_{B1} \cdot Q_{K2,V} \quad (7.55)$$

$$R_{K,T} = E_{K1} \cdot f_{B1} \cdot Q_{K1,T} + E_{K2} \cdot f_{B1} \cdot Q_{K2,T}, \quad (7.56)$$

die in Tabelle 24 dargestellten Risikokennzahlen.

Tabelle 24: Todes- und Verletzungsrisiken für das Ereignis Kollision

	ZS-Pendelbahn mit Tragseilbremse		ZS-Pendelbahn ohne Tragseilbremse	
	Todesrisiko $R_{K,T,mT}$	Verletzungsrisiko $R_{K,V,mT}$	Todesrisiko $R_{K,T,oT}$	Verletzungsrisiko $R_{K,V,oT}$
Bezugsbasis:				
Betrachtungszeitraum T_1 (1980-2002)	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$
Betrachtungszeitraum T_2 (1908-2002)	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$

7.6 Unplanmäßiges Einfallen der Tragseilbremse bei intakter ZS-Schleife (T)

Das fehlerhafte Schließen einer Tragseilbremse führt zur Gefährdungsart „unplanmäßiges Einfallen der Tragseilbremse“. Bei einer Tragseilbremsung ist die Bremsverzögerung im Vergleich zum Einfallen der Betriebs- oder Sicherheitsbremse bedeutend höher, da sie für den Fall eines Zugseilrisses ausgelegt ist. Es werden Bremswege für das Laufwerk unter 2m erreicht, wobei das Fahrzeug auspendeln kann. Dadurch ist die Bremsverzögerung für den Fahrgast erheblich geringer. Die starke Verzögerung ist der Grund, weshalb ein „unplanmäßiges Einfallen der Tragseilbremse“ zu Personenschäden führen kann und bei ZS-Pendelbahnen mit TSB als zusätzliches Gefährdungsereignis betrachtet werden muss.

Die Ursachen für ein fehlerhaftes Einfallen der Tragseilbremse sind vielfältig, siehe Bild 17, z.B. Fehler im Auslösemechanismus (Beschädigung des Seilzuges, Brüche, Montage-/Einstellfehler etc.), unplanmäßige Schlaffseilauslösung durch Schwingungen (z.B. nach einem Nothalt), Abfall des hydraulischen Druckes oder händische Fehlauslösung durch einen Fahrgast. Da die verschiedenen Ursachen keinen signifikanten Einfluss auf die Folgen für die Personen im Fahrzeug haben, können alle Ereignisse in Ebene 1 zusammengefasst und über eine ursachenunabhängige „Eintrittswahrscheinlichkeit „unplanmäßiges Einfallen der Tragseilbremse“ beschrieben werden.

Infolge von Seilschwingungen des intakten Zugseiles kann das Einfallen der Tragseilbremse in Ausnahmefällen auch zum Einfallen der TSB am zweiten Fahrzeug führen. Das Einfallen der TSB am Gegenfahrzeug ist kein unabhängiges Ereignis sondern ein Folgeereignis (Common-Mode-Ausfall, Kap. 6.5). Diese Fälle werden jedoch nicht separat betrachtet, da auch bei allen Einzelereignissen das Gegenfahrzeug über das Zugseil stark verzögert wird. Fällt an einem Fahrzeug die (aus mehreren Bremsseinheiten bestehende) Tragseilbremse ein, wird das Gegenfahrzeug bei intakter Zugseilschleife ebenfalls abrupt unplanmäßig abgebremst. Die unplanmäßige Bremsung eines Fahrzeuges wirkt sich damit stets auf das Gegenfahrzeug aus. Da in beiden Fällen die Folgen für die betroffenen Fahrgäste sehr ähnlich sind, kann über alle Ereignisse eine Eintrittswahrscheinlichkeit für das „unplanmäßiges Einfallen der TSB an einem oder beiden Fahrzeugen mit abrupter Abbremsung beider Fahrzeuge“ ermittelt werden. Beim Schadensausmaß werden beide Fahrzeuge, die von dem Ereignis betroffen sind, betrachtet, f_{B2} .

Die Frage, ob die Tragseilbremse in Bezug auf die Bremskraft und -verzögerung versagt, ist bei diesem Gefährdungsereignis nicht relevant.

Eintrittswahrscheinlichkeit

Für den gesamten Zeitraum T_2 wurden 21 relevante Ereignisse recherchiert, bei denen die TSB unplanmäßig eingefallen ist, darunter ein Fall außerhalb Europas, vgl. Tabelle 25. Zwei dieser Ereignisse haben bei einer Betriebsfahrt stattgefunden, könnten sich aber auch im Betrieb ereignen und werden ebenfalls als relevant angenommen.

Im Betrachtungszeitraum T_1 konnten 14 Ereignisse (inklusive des weltweiten Falles) recherchiert werden. Der weltweite Fall wird in beiden Zeiträumen nicht berücksichtigt, da sich gemäß Kap. 6.2.3 die Eintrittswahrscheinlichkeit nicht erhöht.

Tabelle 25: Anzahl der relevanten Ereignisse T in den Zeiträumen T_1 und T_2

			Anzahl der Ereignisse im Betrachtungszeitraum			
			T_1 (1980-2002)		T_2 (1908-2002)	
			Z	Z^*	Z'	Z'^*
T	Unplanmäßiges Einfallen der TSB	Z_T	20	(1)	13	(1)

Für die relevanten Ereignisse können die Eintrittswahrscheinlichkeiten

$$E_{T,mT} = \frac{Z_T}{(AT)_{1,mT}} = \frac{13}{8671 \text{ a}} = 1,5 \cdot 10^{-3}, \quad (7.57)$$

auf Basis des Betrachtungszeitraums T_1 und

$$E_{T,mT}' = \frac{Z_T'}{(AT)_{2,mT}} = \frac{20}{19920 \text{ a}} = 1,0 \cdot 10^{-3} \quad (7.58)$$

basierend auf dem Betrachtungszeitraum T_2 ermittelt werden.

Im Zeitraum T_3 liegen nur Ereignisse seit 1961 vor. Es ist anzunehmen, dass die Ereignisse im Zeitraum T_3 nicht vollständig sind. Auch im Zeitraum T_1 kann eine Dunkelziffer an nicht bekannt gewordenen Ereignissen vorliegen. Entsprechend Kapitel 6.4.1 können die Risikokennzahlen trotzdem zuverlässig abgeschätzt werden, unter der Annahme, dass alle Fälle mit Personenschäden bekannt sind.

Schadensausmaß

Für die Fahrgäste sind bei einem unplanmäßigen Einfallen der TSB zwei Gefährdungsfolgen möglich: Verletzungen beim Abbremsen durch die abrupte Verzögerung oder bei der Bergung der Fahrgäste.

Das Schadensausmaß wird anhand der 21 eingetretenen Ereignisse untersucht. Zwei dieser Ereignisse haben bei einer Dienst-/Probefahrt stattgefunden. Dabei gab es beim Lösen der Tragseilbremse auf dem Dach jeweils einen Toten und einen Verletzten. Diese Folgen, die nur den Wagenbegleiter in seiner Funktion als Personal betreffen, sind auf ein Fehlverhalten des Personals (unzureichende Sicherung gegen Absturz) zurückzuführen und als Arbeitsunfälle zu werten.

Von den 19 Ereignissen bei Betriebsfahrten ist in einem Fall (weltweit) die TSB in der Station eingefallen. Von weiteren 7 Fällen ist nur bekannt, dass keine Folgen für Fahrgäste eingetreten sind. Die Anzahl der Betroffenen ist nicht bekannt. Diese Fälle wurden nicht berücksichtigt, da möglicherweise $B=0$ ist.

Bei insgesamt 11 Fällen ist die Zahl der Verletzten und die Zahl der Betroffenen bzw. $B \neq 0$ bekannt. In 7 Fällen gab es Probleme beim Öffnen der TSB, wobei die Fahrgäste bis zu 3 Stunden in den Fahrzeugen festsaßen. Nur in einem dieser Fälle war eine Bergung der Personen aus den Fahrzeugen notwendig, wobei jedoch keine Fahrgäste zu Schaden kamen.

Bei einem Ereignis (77/01) wurden 2 von 35 Fahrgästen bei der Bremsung verletzt. Todesfälle sind nicht aufgetreten. Auf der Basis dieser 11 Ereignisse wird die durchschnittliche Verletzungs- und Todeswahrscheinlichkeit bezogen auf die betroffenen Fahrgäste beider Fahrzeuge ermittelt. Die mittlere Verletzungswahrscheinlichkeit beträgt $Q_{T,V} = 5,2 \cdot 10^{-3}$. Da eine Todeswahrscheinlichkeit nicht gänzlich ausgeschlossen

werden kann, wird angenommen, dass auf 20 Verletzte 1 Toter kommt ($\eta_T=0,05$).
D.h. $Q_{T,T} = \eta_T \cdot Q_{T,V} = 2,6 \cdot 10^{-4}$.

$$R_{T,V,mT} = E_{T,mT} \cdot f_{B2} \cdot Q_{T,V} \quad (7.59)$$

$$R_{T,T,mT} = E_{T,mT} \cdot f_{B2} \cdot Q_{T,T} \quad (7.60)$$

Das Todesrisiko und auch das Verletzungsrisiko eines Fahrgastes ist bei einem unplanmäßigen Einfallen der Tragseilbremse sehr gering. Dies bedeutet jedoch nicht dass die Tragseilbremsung ein annehmbares und erträgliches Ereignis ist. In einem Fall wird beispielsweise beschrieben, dass die Mehrzahl der Fahrgäste zu Boden geworfen wurden. Eine Dunkelziffer von minderschweren Verletzungen²¹ ist sicherlich vorhanden.

Tabelle 26: Todes- und Verletzungsrisiken für das Ereignis unplanmäßiges Einfallen der Tragseilbremse

	ZS-Pendelbahn mit Tragseilbremse	
	Todesrisiko $R_{T,T,mT}$	Verletzungsrisiko $R_{T,V,mT}$
Bezugsbasis:		
Betrachtungszeitraum T_1 (1980-2002)	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$
Betrachtungszeitraum T_2 (1908-2002)	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$

²¹ An dieser Stelle sei nochmals angemerkt, dass eine Verletzung ein weit gefasster und im Rahmen der vorhandenen Daten dieser Studie nicht genau definierter Personenschaden sein kann, vgl. Kap. 3.3, S. 18. Leichte Verletzungen, bei denen keine ärztliche Hilfe oder Behandlung nötig waren, müssen den Aufsichtsbehörden nicht gemeldet werden.

7.7 Fahrgastunfälle (FG)

Alle Gefährdungsereignisse, bei denen Fahrgäste in der Station oder beim Einstieg und Ausstieg in das Fahrzeug verunfallt sind, werden unter dem Begriff „Fahrgastunfälle“ zusammengefasst. Fahrgastunfälle sind auf drei wesentliche Ursachen zurückzuführen: Fehlverhalten der Fahrgäste, bauliche und technische Mängel in der Station (z.B. rutschige Treppenstufen, ungenügend gekennzeichnete Absätze) oder Bewegung des Fahrzeugs aus der Station mit offener Tür²².

Fahrgastunfälle sind unabhängig von der Anlagenbauart. Das Risiko ist bei ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB jeweils gleich.

Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß

Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Gefährdungsereignissen treten Fahrgastunfälle statistisch betrachtet sehr häufig und regelmäßig, d.h. mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit auf.

Die Ereignisse betreffen jedoch stets nur einzelne Personen. Folgen der ermittelten Fahrgastunfälle sind hauptsächlich Verletzungen. Todesopfer sind vergleichsweise selten. Sehr häufig sind Sturzverletzungen in der Station oder beim Zugang zur Station, teilweise infolge rutschigem Bodenbelag. Hinzu kommen eingeklemmte oder gebrochene Gliedmaßen beim Öffnen und Schließen der Tür. Schwere Verletzungen und Tote sind bei Stürzen vom Bahnsteig in die Wagengrube aufgetreten (z.B. durch defekte Verriegelung des Absperrgitters) und auch dadurch, dass sich das Fahrzeug während des Ausstiegs der Fahrgäste bei offener Tür in Bewegung setzt. Ursache hierfür waren defekte oder überbrückte Sicherheitsstromkreise.

Bisheriges Risiko im Betrachtungszeitraum T_1

Das Risiko von Fahrgastunfällen R_{FG} wird auf der Basis der in den ITTAB-Statistiken im Zeitraum T_1 (1980-2002) in „Europa“ bekannt gewordenen Fahrgastunfälle berechnet. In einem Zeitraum von 23 Jahren sind 27 Fahrgäste verletzt und 4 Fahrgäste bei Fahrgastunfällen getötet worden.

Bezogen auf die Anlagenjahre $(AT)_{1,E}$ im Betrachtungszeitraum $T_1=23$ Jahre ergibt sich ein mittleres Todes- bzw. Verletzungsrisiko pro Anlage und Jahr

$$R_{FG,b,T} = \frac{\sum P_T}{(AT)_1} = \frac{4}{9407} = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ bzw.} \quad (7.61)$$

$$R_{FG,b,V} = \frac{\sum P_V}{(AT)_1} = \frac{27}{9407} = 2,9 \cdot 10^{-3}. \quad (7.62)$$

$\sum P_T$ Anzahl getöteter Fahrgäste in Europa im Betrachtungszeitraum T_1

$\sum P_V$ Anzahl verletzter Fahrgäste in Europa im Betrachtungszeitraum T_1

$(AT)_1$ Anlagenjahre Europa im Betrachtungszeitraum T_1

Zukünftiges Risiko

Die Anzahl der bei Fahrgastunfällen getöteten und verletzten Fahrgäste, hängt wesentlich von der Anzahl der beförderten Personen ab. Da bei zukünftigen Anlagen mit höherer mittlerer Fahrzeugkapazität K_z , vgl. Kap. 4.6, und bei konstant angenommener jährlicher Fahrtenzahl n mehr Personen pro Anlage befördert werden, ist ein Anstieg der Verletzten und Getöteten pro Anlage und Jahr zu erwarten.

²² Fahrgastunfälle sind nicht im Fehlerbaum eingetragen

Nimmt man ein konstantes Verhältnis von verletzten bzw. getöteten Fahrgästen zu beförderten Fahrgästen an, gilt für den Gesamtbestand der Anlagen

$$\frac{\sum P_V}{B \cdot (AT)_1} = \text{konst.} \quad \text{und} \quad \frac{\sum P_T}{B \cdot (AT)_1} = \text{konst.} \quad (7.63)$$

Pro Anlage und Jahr ist das Verhältnis Fahrgastrisiko zu Beförderten jeweils

$$\frac{R_{FG}}{B} = \text{konst.} \quad (7.64)$$

Die Zahl der jährlich beförderten Fahrgäste mit den bisherigen Anlagen B_b ist

$$B_b = 2 \cdot f_1 \cdot K_b \cdot n. \quad (7.65)$$

Für zukünftige Anlagen ist die Zahl beförderten Fahrgäste B_z pro Anlage und Jahr

$$B_z = 2 \cdot f_1 \cdot K_z \cdot n. \quad (7.66)$$

Gemäß den Gleichungen 7.64-7.66 nimmt das Risiko für eine Verletzung der Fahrgäste in den Stationen oder beim Ein- und Ausstieg im Verhältnis der zukünftigen Fahrzeugkapazität zur bisherigen Fahrzeugkapazität zu

$$R_{FG} = R_{FG,b} \cdot \frac{B_z}{B_b} = R_{FG,b} \cdot \frac{K_z}{K_b} = R_{FG,b} \cdot \kappa. \quad (7.67)$$

Mit $\kappa = K_z/K_b = 1,5$ (Gl. 4.5) folgt

$$R_{FG,T} = 4,3 \cdot 10^{-4} \cdot 1,5 = 6,4 \cdot 10^{-4} \quad \text{bzw.} \quad (7.68)$$

$$R_{FG,V} = 2,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 = 4,3 \cdot 10^{-3}. \quad (7.69)$$

Die Risiken für einen Fahrgastunfall bei zukünftigen ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse sind in Tabelle 27 dargestellt.

Tabelle 27: Todes- und Verletzungsrisiken für das Ereignis Fahrgastunfall

	ZS-Pendelbahn mit und ohne Tragseilbremse	
	Todesrisiko $R_{FG,T}$	Verletzungsrisiko $R_{FG,V}$
Bezugsbasis:		
Betrachtungszeitraum T_1 (1980-2002)	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$

7.8 Ergebnisse

7.8.1 Gegenüberstellung und Vergleich der Risiken von ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse bei einzelnen Gefährdungsarten

Die ermittelten Verletzungs- und Todesrisiken von ZS-Pendelbahnen mit und ohne Tragseilbremse auf der Basis der Betrachtungszeitraums T_1 1980-2002 sind in den Diagrammen 28 bis 31 für die betrachteten Gefährdungsereignisse dargestellt.

Todesrisiken:

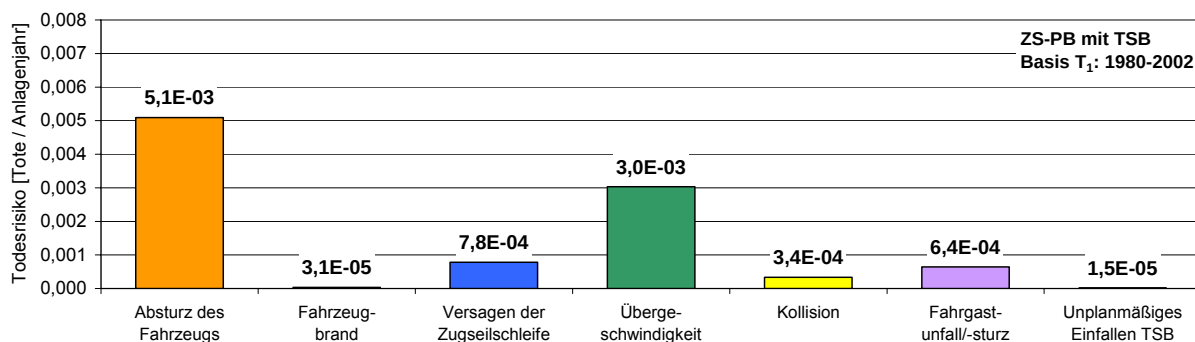


Bild 28: Todesrisiko von Fahrgästen in ZS-Pendelbahnen mit TSB

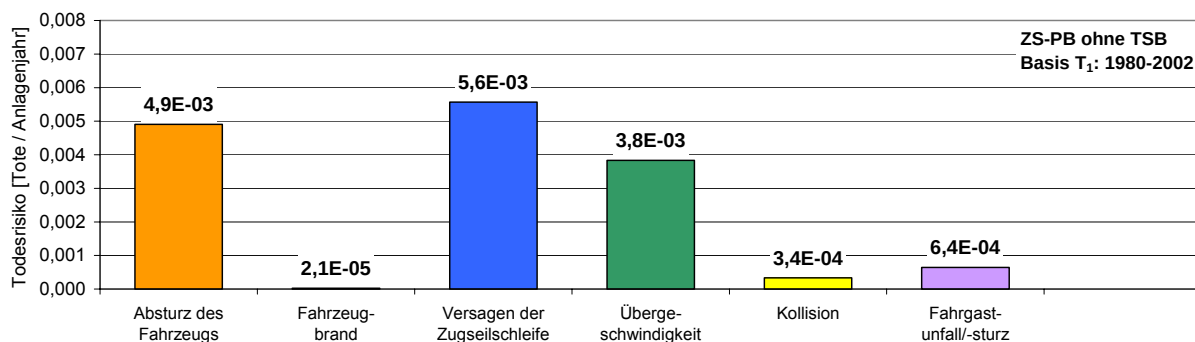
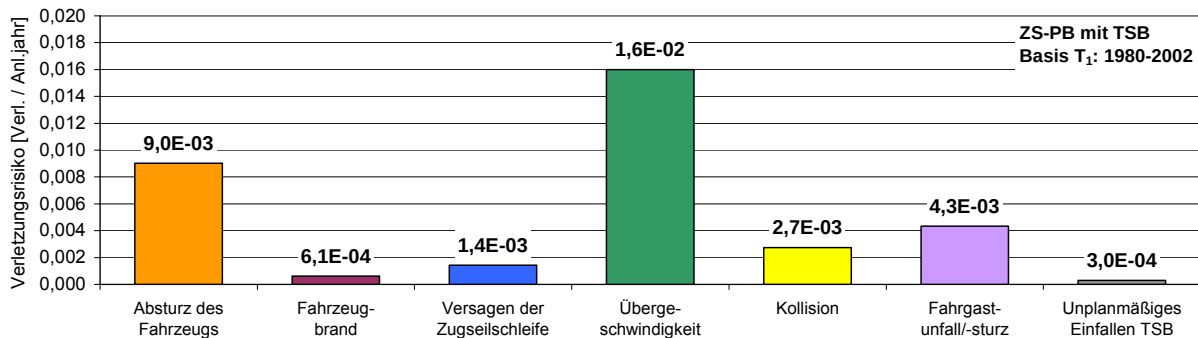
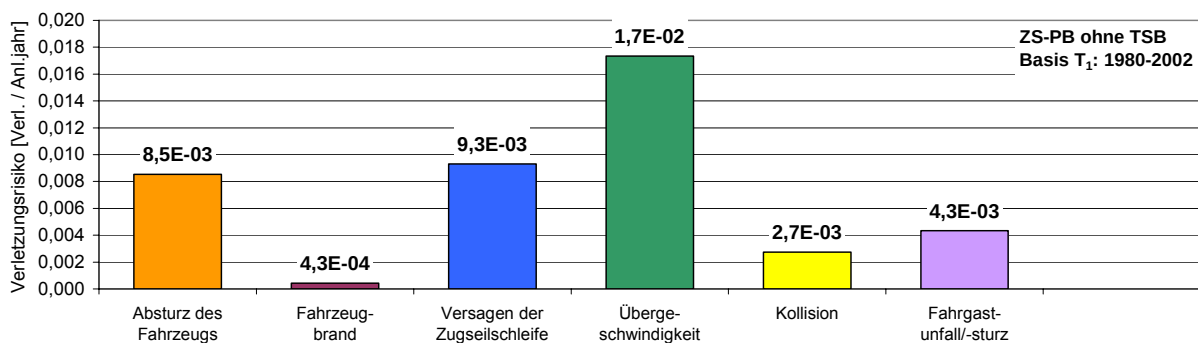


Bild 29: Todesrisiko von Fahrgästen in ZS-Pendelbahnen ohne TSB

Die größten Risikounterschiede (sowohl beim Todes- als auch beim Verletzungsrisiko) bei den beiden Anlagenarten treten jeweils bei der Gefährdungsart „Versagen der Zugseilschleife“ auf sowie in einem geringeren Ausmaß auch bei den Ereignissen „Übergeschwindigkeit“. Bei den anderen Gefährdungsereignissen ist kein oder nur ein äußerst geringer Unterschied bei den Risikokennzahlen festzustellen. Dies gilt auch für die Gefährdungsart „unplanmäßiges Einfallen der Tragseilbremse“, die nur bei Systemen mit Tragseilbremse auftritt.

Verletzungsrisiken:**Bild 30: Verletzungsrisiko von Fahrgästen in ZS-Pendelbahnen mit TSB****Bild 31: Verletzungsrisiko von Fahrgästen in ZS-Pendelbahnen ohne TSB**

Vergleicht man die Todesrisiken mit den Verletzungsrisiken, ist festzustellen, dass bei den Todesrisiken die Gefährdungsarten „Absturz des Fahrzeugs“ sowie bei Anlagen ohne Tragseilbremse das „Versagen der Zugseilschleife“ den größten Anteil hat. Die Gefährdungsart „Übergeschwindigkeit“ hat dagegen das größte Verletzungspotential.

7.8.2 Vergleich des Gesamtrisikos für die Fahrgäste von ZS-Pendelbahnen mit und ohne Trageilbremse

Die Gesamtrisikokennzahlen, die für Fahrgäste von zukünftigen ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB aus den eingetretenen Ereignissen mittels quantitativer Risikoanalyse prognostiziert wurden, sind in Tabelle 28 eingetragen.

Tabelle 28: Todes- und Verletzungsrisiken für Fahrgäste von ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB

	ZS-Pendelbahn mit Trageilbremse		ZS-Pendelbahn ohne Trageilbremse	
	Todesrisiko $R_{T,mT}$	Verletzungsrisiko $R_{V,mT}$	Todesrisiko $R_{T,oT}$	Verletzungsrisiko $R_{V,oT}$
Betrachtungszeitraum T_1 (1980-2002)	$0,99 \cdot 10^{-2}$	$3,44 \cdot 10^{-2}$	$1,53 \cdot 10^{-2}$	$4,27 \cdot 10^{-2}$
Betrachtungszeitraum T_2 (1908-2002)	$1,01 \cdot 10^{-2}$	$3,07 \cdot 10^{-2}$	$1,65 \cdot 10^{-2}$	$4,10 \cdot 10^{-2}$

Trotz der sehr unterschiedlichen Betrachtungszeiträume T_1 und T_2 , die den beiden Prognosen jeweils zugrunde liegen, unterscheiden sich die ermittelten Risikokennzahlen nur wenig. Dies bestätigt u.a., dass die probabilistische Vorhersage eines zukünftigen Risikos von ZS-Pendelbahnen auf der Grundlage der eingetretenen Ereignisse möglich ist.

Auf der Basis der eingetretenen Ereignisse in den Betrachtungszeiträumen T_1 und T_2 wurde für ZS-Pendelbahnen ohne TSB im Verhältnis zu ZS-PB mit TSB ein zwischen 54% und 63% höheres Todesrisiko bzw. ein zwischen 24% und 34% höheres Verletzungsrisiko ermittelt.

Bezieht man das ermittelte Todes- und Verletzungsrisiko auf die mittlere Anzahl an ZS-Pendelbahnen in Europa, d.h. jeweils auf 409 zukünftige Anlagen mit TSB und ohne TSB, kann die durchschnittliche jährliche Anzahl getöteter und verletzter Fahrgäste bei ZS-Pendelbahnen in Europa prognostiziert werden. Die in Bild 32 dargestellten Todes- und Verletztenzahlen wurden auf der Basis der eingetretenen Ereignisse im Betrachtungszeitraum T_1 (1980-2002) ermittelt.

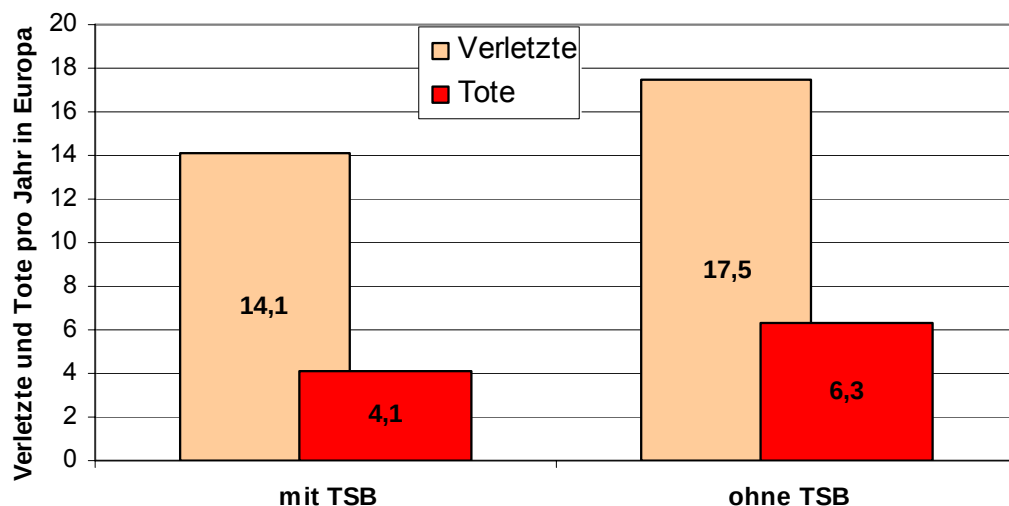


Bild 32: Prognostizierte Anzahl toter und verletzter Fahrgäste pro Jahr jeweils bezogen auf 409 Anlagen mit und ohne TSB (Datenbasis: T_1 1980-2002)

Legt man als Datenbasis alle Ereignisse seit 1908 (Zeitraum T_2) zugrunde, sind bei jeweils 409 ZS-Pendelbahnen mit und ohne TSB die in Bild 33 dargestellte Todes- und Verletztenzahlen pro Jahr zu erwarten.

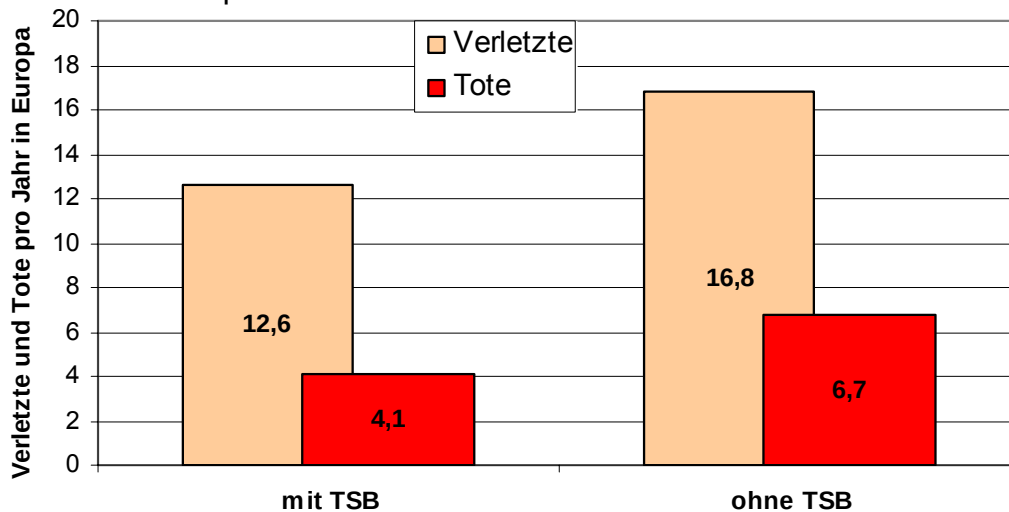


Bild 33: Prognostizierte Anzahl toter und verletzter Fahrgäste pro Jahr jeweils bezogen auf 409 Anlagen mit und ohne TSB (Datenbasis: T_2 1908-2002)

7.8.3 Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse

Bei der Auswertung der ermittelten Gefährdungsereignisse konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Sowohl das Todes- als auch das Verletzungsrisiko ist bei ZS-Pendelbahnen ohne TSB höher als bei ZS-PB mit TSB. Legt man die in der Vergangenheit eingetretenen Ereignisse zugrunde, dann erreichen ZS-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse mit den ergänzenden Anforderungen nach prEN 12929-2 nicht die gleiche Sicherheit einer ZS-Pendelbahn mit TSB.
- Das Gefährdungspotential (d.h. sowohl das Todes- als auch das Verletzungsrisiko) der Fahrgäste durch ein unplanmäßiges Einfallen der Tragseilbremse ist außerordentlich gering. Ein Verzicht auf die Tragseilbremse kann damit nicht mit Gefährdungen durch unplanmäßiges Einfallen der Tragseilbremse begründet werden.
- Das Risiko wächst statistisch bei neu projektierten Anlagen mit größerer Fahrzeugkapazität (bei allen Gefährdungsereignissen). Neuanlagen werden vielfach mit einer Fahrzeugkapazität von 100 bis über 150 Personen gebaut. Unfälle können somit einen höheren maximalen Schaden (Anzahl Tote / Verletzte) zur Folge haben.
- Ereignisse mit Übergeschwindigkeit und unkontrollierter Fahrbewegung haben seit 1980 (der Anzahl der recherchierten Ereignisse zufolge) zugenommen (siehe Kapitel 5.4). Die Ereignisse werden häufig durch einen Eingriff in die Steuerung ausgelöst, z.B. nach Stillstandsstörungen. Die Gefährdung tritt häufig bei manueller Bedienung der Anlage und nach Überbrückungen des Sicherheitsstromkreises ein.

- Das mögliche Potential der TSB zur Verhinderung von Unfällen wird häufig nicht genutzt. Beim Auftreten einer Übergeschwindigkeit / einer drohenden Kollision mit einem Hindernis löst der Wagenbegleiter nur in wenigen Fällen die Betriebs-, Sicherheits- oder Trageilbremse aus.
- Die ergänzenden Anforderungen nach prEN 12929-2 sind in einigen Punkten unbestimmt formuliert und sollten präzisiert werden. Da bei äußeren Einwirkungen und menschlichem Fehlverhalten der Bestand der Zugseilschleife nicht in allen Fällen gesichert werden kann (z.B. Flugzeug, Fehlmontage der Zugseilbefestigungen), besitzen ZS-Pendelbahnen ohne Trageilbremse ein höheres, nicht durch technische Maßnahmen abzusicherndes Restrisiko im Vergleich zu ZS-Pendelbahnen mit Trageilbremse.

7.8.4 Ergänzungsvorschläge zur Norm prEN 12929-2 und zu weiteren Normen des CEN/TC 242

Betrachtet man die Normen des CEN/TC 242 unter Berücksichtigung der eingetretenen Gefährdungsereignisse, können verschiedene Ergänzungsvorschläge abgeleitet werden. Es wird vorgeschlagen, die Normen (u.a. die Norm prEN 12929-2) in folgenden Punkten zu korrigieren bzw. zu präzisieren.

Bestand der Zugseilschleife, prEN 12929-2:

Forderung: Verzinkte Zugseile

Weiterentwicklung: Permanente magnetische Seilprüfung zur sofortigen Erkennung von Seildefekten sowie ergänzend eine technisch unterstützte visuelle Kontrolle.

Spanngewichtsdämpfungseinrichtung, prEN 1908 Abs. 6.4:

„Schnelle Bewegungen des Spanngewichtes von Zug- und Förderseilen sind zu dämpfen, wenn sie den Betrieb stören oder gefährden können.

Dämpfungseinrichtungen sind so zu gestalten, dass bei deren Störung die Bewegung der Spanngewichte nicht betriebsgefährdend behindert wird.“

Forderung: Ergänzend zu den Bestimmungen von prEN 1908 Abs. 6.4 ist ein Nachweis zu führen.

Zugseilentgleisung auf der Strecke (auf den Streckenstützen), prEN 12929-1 Abs. 12.4.1, bzw. prEN 12929-2:

„Es sind Einrichtungen vorzusehen, die die Seilbahn selbsttätig stillsetzen, wenn:

- a) das Zugseil das Trageil berührt;
- b) das Zugseil auf der Strecke oder in der Station eine sicherheitsgefährdende Fehllage einnimmt.“

Forderung: Entsprechend zu den Bestimmungen von prEN 12929-1 Abs. 12.4.1 ist eine Seilfehllageüberwachung notwendig.

Querpendelfreiheit-Windgeschwindigkeit, prEN 12929-2:

Forderung: Für die ausgeführte Pendelfreiheit ist die entsprechende Betriebswindgeschwindigkeit bei Berücksichtigung der Böigkeit des Windes zu berechnen und in die Betriebsvorschrift aufzunehmen.

Treibfähigkeit, prEN 12929-2:

Forderung: Es sollte der rechnerische Nachweis geführt werden, dass bei Verlust eines Fahrzeugs die Treibfähigkeit ausreicht, um das 2. Fahrzeug sicher zu bremsen.

8 Bewertung im Hinblick auf BOSeil

Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes wird untersucht, ob und inwieweit die Bestimmungen der **prEN 12929-2** geeignet sind, ein gleich hohes Sicherheitsniveau zu gewährleisten, wie es gegenwärtig durch die Bestimmungen der **BOSeil**, §15 Ziff. 5 erreicht wird, welche das Vorhandensein einer Tragseilbremse (Fangbremse) vorschreiben.

8.1 Anforderung der BOSeil hinsichtlich der Tragseilbremse

Gemäß **BOSeil** muss das Laufwerk der Fahrzeuge bei Zweiseilpendelbahnen mit einer Fangbremse ausgestattet sein. Die Fangbremse muss beim Reißen des Zug- oder Gegenseils das Fahrzeug selbsttätig am Trag- oder Fangseil abbremsen (BOSeil, §15 (5)).

Die Fangbremse soll auch dann einfallen, wenn die Verbindungsmittel der Seile mit dem Laufwerk brechen.

Mit der Betätigung der Fangbremse muss der Antrieb abgeschaltet werden. Die Abschaltung muss auch erfolgen, wenn eine Fangbremse unbeabsichtigt einfällt.

Bei Fahrzeugen mit Schaffnerbegleitung muss die Fangbremse auch von Hand betätigt werden können. (BOSeil, §15 (5))

Abweichungen von dieser Bestimmung sind wie folgt möglich:

- Die Aufsichtsbehörde kann in begründeten Einzelfällen Ausnahmen von diesen Vorschriften genehmigen. (BOSeil §4 (1))
- Die Aufsichtsbehörde kann über diese Vorschriften hinausgehende Auflagen anordnen, wenn die Sicherheit im Einzelfalle es erfordert. (BOSeil §4 (2))

8.2 Beurteilung der Anforderungen gemäß prEN 12929-2 für Zweiseilpendelbahnen ohne Tragseilbremse

In den Bestimmungen der **prEN 12929-1** ist folgende Grundforderung enthalten:

“Standseilbahnen mit Pendelbetrieb und Zweiseil-Pendelbahnen müssen mit Fangbremsen ausgerüstet sein.“ (prEN 12929-1, Abschnitt 10.2.2)

Diese Anforderung entspricht der folgenden grundlegenden Anforderung der Richtlinie 2000/9/EG:

„Bei Fahrzeugen von Standseilbahnen und – sofern die Art der Anlage es zulässt – bei Zweiseilbahnen ist eine auf die Fahrbahn wirkende automatische Fahrzeugbremse vorzusehen, wenn die Möglichkeit des Bruches des bewegenden Seiles nach vernünftigem Ermessen nicht ausgeschlossen werden kann.“ (Richtlinie 2000/9/EG, Anhang II, Ziffer 5.7)

Bezüglich der Norm prEN 12929-1 gibt es – ähnlich wie in der BOSeil – die Möglichkeit der Abweichung:

Grundsätzlich sind Ausnahmen - insbesondere bei Innovationen - möglich, wenn dies durch eine Sicherheitsstudie begründet ist und zumindest ein gleiches Sicherheitsniveau erreicht wird. (prEN 12929-1, Abschn. 1.3.1)

In den Bestimmungen der prEN 12929-2 werden zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen aufgeführt, die den Bau und Betrieb einer Zweiseilpendelbahn ohne Tragseilbremse (Fangbremse) ermöglichen sollen.

8.2.1 Gefährdungsbilder

In prEN 12929-2 (Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen für den Personenverkehr – Allgemeine Bestimmungen – Teil 2: Ergänzende Anforderungen für Zweiseil-Pendelbahnen ohne Tragseilbremse) werden für Pendelbahnen ohne Tragseilbremse Gefährdungsbilder und Ereignisse aufgeführt, die den Bestand der Zugseilschleife gefährden (Tabelle 29) bzw. die bei intakter Zugseilschleife eine Gefährdung darstellen (Tabelle 30) und die gegenwärtig durch die vorhandene Tragseilbremse abgesichert werden.

Tabelle 29: Ereignisse, die den Bestand der Zugseilschleife gefährden

Gefährdungsbild	weitere betroffene Norm
Riss der Zugseiles	prEN 1930, prEN 12927-2
Zugseilentgleisung	prEN 12929-1
unzulässiges Absinken der Seilspannkraft	prEN 1908
unzulässige Erhöhung der Seilspannkraft	prEN 1908
Zugseilüberschlag	prEN 12929-1
Berührung mit anderen Seilen außer dem Tragseil	
Versagen des Tragsystems für die Zugseilschleife	prEN 13223
Einwirkung durch Luftfahrzeuge	prEN 12929-1
Seildrall des Zugseiles (Drehen des Zugseiles)	
Schädigung des Zugseiles durch atmosphärische Einwirkungen (z.B. Blitzschlag, Korrosion)	prEN 13243

Tabelle 30: Ereignisse im Betrieb, die bei intakter Zugseilschleife ohne Tragseilbremse eine Gefährdung darstellen

Gefährdungsbild	weitere betroffene Norm
Versagen der Befestigung des Fahrzeuges am Zugseil	prEN 13796-1
Versagen der Einfahrüberwachung	
Verlust der Treibfähigkeit an der Antriebsscheibe	prEN 12929-1, prEN 12930, prEN 13223
Entgleisung des Fahrzeuges im Stillstand in extremen Situationen	prEN 13796-1
Hindernis auf der Strecke	
Hindernis im Stationsbereich	prEN 13223
Bewegung des Fahrzeuges während eines Bergevorganges	
Seildrall des Zugseiles	
Schwierigkeit bei der Beseitigung eines Zugseilüberschlages	

8.2.2 Maßnahmen für den Bestand der Zugseilschleife

Nach prEN 12929-2, 6.1 muss in jedem Betriebsfall die Unversehrtheit des Zugseils und seines Tragsystems gewährleistet sein.

Im Abschnitt 6 der Norm prEN 12929-2 werden Maßnahmen aufgeführt, um die in Abschnitt 5.2.1, Tabelle 1 aufgeführten Gefährdungsbilder zu vermeiden oder zu begrenzen.

Für die Sicherstellung der **Unversehrtheit der Zugseilschleife und des Tragsystems der Zugseilschleife** werden in Abschn. 6 Maßnahmen für den Bestand der Zugseilschleife genannt. Diese sind in kurzen Stichworten:

- Sicherstellung der Unversehrtheit der Zugseilschleife und des Tragsystems der Zugseilschleife in jedem Betriebsfall (6.1);
- Unzulässigkeit von Seilendverbindungen in der Zugseilschleife durch Ausführung einer endlosen Zugseilschleife (6.2);
- Erhöhte Zugsicherheit für die Zugseilschleife (6.3);
- Nachweis des Lastfalles „Hängenbleiben des Fahrzeuges an einem festen Hindernis auf der Strecke und in den Stationen“ (6.4, 6.5);
- Intensivierte magnet-induktive Prüfungen (Festlegung Prüfindteralle, Anforderung an Prüfgerät und Prüfer) der endlosen Zugseilschleife (6.6, 6.8);
- Festlegung kurzer Versetzungsintervalle für Klemmen bzw. andere Zugseilbefestigungen (6.7, 6.8);
- Festlegung von Mindestwerten für die Verschiebedistanz für das Versetzen von Klemmen bzw. und anderen Zugseilbefestigungen (6.9);
- Ausschluss einer Befestigung des Fahrzeuges im Spleißbereich (Definition des unzulässigen Klemmbereiches zum Spleiß) (6.10)
- Festlegung von Mindestwerten für die Querpendifreiheit an Strecken- und Stationsbauwerken bei ständig ohne Wagenbegleiter verkehrenden Fahrzeugen (6.13, 6.15)
- Vergrößerung der Spurweite an der Begegnungsstelle (6.14)
- Kennzeichnung der Seilbahn als Luftfahrthindernis (6.16)
- Automatische Erkennung von Blitzschlägen in das Zugseil (6.17)
- Forderung einer Überwachungseinrichtung für weitere Seile (außer Tragseil) hinsichtlich einer Fehllage zum Zugseil (6.18);
- Festlegung eines konstruktiven Mindest-Zugseildurchmesser (6.19);
- Erhöhte Anforderung an die Treibfähigkeit beim Anfahren (6.20);
- Elektrische Überwachung der korrekten Zugseilscheibenposition (6.21)
- Unzulässigkeit einer Spurweitenänderung (6.22)
- Verhinderung des Entgleisens von Zugseilen aus Seilscheiben (auch bei Schlaffseilbildung) durch konstruktive Maßnahmen (prEN 13223, 12.2.4)
- Betriebsfestigkeitsnachweis für Zugseilrollen (6.23)
- Keine Gefährdung für das Zugseil infolge Verlust oder Blockieren einer Zugseilrolle (6.24)
- Zuweisung der Bauteile und der Werkstoffe des Tragsystems der Zugseilschleife einer Sicherheitsklasse nach prEN 12408 (6.25)

- Prüfung der Seilscheiben, Bordscheiben und Rollenkörper der Zugseilrollen auf äußere und evtl. innere Fehler (6.26)
- Qualitätsanforderung für tragende Schweißverbindungen an Sicherheitsbauteilen des Tragsystems für die Zugseilschleife (6.27).

8.2.3 Maßnahmen zur Vermeidung von Ereignissen im Betrieb, die bei intakter Zugseilschleife ohne Tragseilbremse eine Gefährdung darstellen

Im Abschnitt 7 der Norm prEN 12929-2 werden Maßnahmen aufgeführt, um Ereignisse im Betrieb, die bei intakter Zugseilschleife eine Gefährdung darstellen könnten, zu vermeiden oder zu begrenzen. Die Ereignisse werden heute bei vorhandener Tragseilbremse verhindert oder in ihrer Auswirkung begrenzt und erfordern beim Entfall der Tragseilbremse ebenfalls Zusatzmaßnahmen. Die Maßnahmen werden nachfolgend zusammengefasst aufgeführt:

- Erhöhte Sicherheit gegen Entgleisen des Laufwerkes (7.2, 7.3).
- Erhöhte Längspendelfreiheit für größte Verzögerungen (7.4).
- Festbremsung des Fahrzeuges am Tragseil im Bergefall (7.5).
- Rechnerischer Nachweis der Nichtanfälligkeit der Seilbahn für Zugseilüberschläge.
- Möglichkeit zur Beseitigung eines Zugseilüberschlages (7.6)
- Erhöhte Anforderungen an die Einfahrüberwachung (7.7 – 7.9)
- Erhöhte Anforderungen zum Stillsetzen der Seilbahn von der Kabine aus (7.10)

Anforderungen an die Befestigung des Fahrzeuges am Zugseil

- Redundante Ausführung der Zugseilbefestigung am Fahrzeug (8.1);
- Nachweis des rechnerischen Gleitwiderstands der verbleibenden Befestigung bei Ausfall eines Elements der Zugseilbefestigung (8.2);
- Verbot von Klemmverbindungen mittels Schwerkraft (8.3);
- Rechnerischer Nachweis des Mindestgleitwiderstandes der Zugseilbefestigung nach Anprall des Fahrzeuges an einem Hindernis (8.4);
- Erkennbarkeit des Gleitens und Drehens des Zugseils;
tägliche Betriebskontrollen des Montagezustandes der Befestigung hinsichtlich Gleiten und Drehen (8.5).
- Verzögerungs- und Beschleunigungsüberwachung am Laufwerk des Fahrzeuges mit automatischer Stillsetzung der Anlage, wenn ein Grenzwert ($\pm 1g$) überschritten wird und mindestens ein Streckenbauwerk vorhanden ist. (8.6)
- Bei einer Verringerung des Zugseildurchmessers um 20% darf der Klemmkraftabfall höchstens 25% betragen. (8.7)

8.2.4 Beurteilung der Gefährdungsbilder und Maßnahmen anhand der Ereignisse

Anhand der recherchierten Ereignisse wird nachfolgend untersucht, ob durch die in prEN 12929-2 aufgeführten Gefährdungsbilder und Maßnahmen deterministisch mindestens ein gleichwertiges Sicherheitsniveau wie beim Vorhandensein einer Tragseilbremse erreicht wird.

Diese Untersuchung von realen Ereignissen führt zu folgenden wesentlichen Szenarien:

- Hängenbleiben des Fahrzeuges an einem festen Hindernis auf der Strecke und in den Stationen
- Zugseilentgleisung bzw. Versagen des Tragsystems für die Zugseilschleife
- Seilriss durch Luftfahrzeuge
- Versagen der Befestigung des Fahrzeuges am Zugseil
- Verlust der Treibfähigkeit an der Antriebsscheibe
- Absturz eines Fahrzeuges
- Tragseilentgleisung
- Brand

8.2.4.1 Hängenbleiben des Fahrzeuges an einem festen Hindernis auf der Strecke und in den Stationen

Die recherchierten Ereignisse zeigen mehrere Fälle auf, in den es zu einem Hängenbleiben des Fahrzeuges kam.

Nach einem Hängenbleiben des Fahrzeuges an einem festen Hindernis auf der Strecke oder in den Stationen besteht die Gefahr eines Zugseilrisses und die Möglichkeit weiterer Gefährdungen.

In den Fällen 63/02 und 64/01 versagte die planmäßige Stillsetzung des Bahn bei der Stationseinfahrt. Aufgrund des Anpralls auf den Stationspuffer erfolgte jeweils ein Zugseilriss.

Im Fall 62/01 kollidierte ein Fahrzeug der Pendelbahn nach dem Entgleisen des Tragseils nach innen mit dem Stützenkopf, infolgedessen riss das Zugseil.

Ereignisse infolge Hängenbleiben bzw. Anprall auf Stationspuffer von Fahrzeugen mit Zugseilriss:

Fall Nr.	Kurzbeschreibung des Ereignisses	Kurzbeschreibung der Ursache
63/02	Zugseilriss / Übergeschwindigkeit bei Einfahrt in Station / Aufprall auf Stationspuffer	Vermutlich Fehlbedienung (evtl. auch Steuerungsfehler)
64/01	Zugseilriss / Übergeschwindigkeit bei Einfahrt in Station / Anprall in Station / verminderte Wirkung einer TSB / talseitiges Zugseil verfängt sich an Rollenbatterie der Stütze 10 und bringt Fahrzeug zum Stillstand	Antrieb Kopierwerk versagt wegen Ölfilm, Fahrzeuge eilen dem Kopierwerk voraus
62/01	Zugseilriss nach Anprall an Stützenkopf, TSB fallen ein und wirken	Unbemerkte TS-Entgleisung nach innen nach Verziehen des Tragseils (zu geringer Auflagedruck wegen ungenügender Schuhschmierung)

Ereignisse infolge Hängenbleiben an Hindernissen bzw. Anprall an Stationspuffer ohne Zugseilriss, teilweise mit Auslösung der Tragseilbremse:

Fall Nr.	Kurzbeschreibung des Ereignisses	Kurzbeschreibung der Ursache
75/05	Kollision mit quer zur Fahrbahn gespanntes Seil (betriebsfremd) / Auslösen der TSB	Betriebsfremdes Seil quer zur Fahrbahn gespannt, Fahrzeug verfängt sich im Seil, Teilentgleisung des Laufwerks
79/B	Auslösen der TSB	Kabine wurde durch Absperrkette festgehalten
84/01	Entgleisung einer Laufwerkswippe, Bremsung durch Erdschlussüberwachung und TSB	Tragseilhalterung (Sturmsicherung) wurde vor Betriebsbeginn nicht entfernt, TSB-Auslösung
85/03	Übergeschwindigkeit bei Seilbahnrevision / Fahrzeug rast ungebremst in Station, Fahrzeuge prallen mit großer Geschwindigkeit (> 10 m/s) gegen Stationswand, TSB wurde nicht händisch ausgelöst	Bremsprobe mit Sicherheitsbremse, BB mit Schüsselschalter überbrückt / nach Bremsprobe SB mit Hubzug gelüftet (BB war noch gelüftet), Bahn beschleunigt stark
86/02	Bewusstes Auslösen der TSB, keine Absteuerung im Einfahrtsbereich	Blitzschlag setzt Bremssteuerung für Betriebs- und Sicherheitsbremse außer Kraft
91/03	Wagen kollidiert mit Stütze, TSB löst aus	starker Wind und max. Geschwindigkeit
93/04	Kollision des Fahrzeugs mit Verschiebeplattform	Fahren mit Ersatzsteuerung dadurch Positionsüberwachung der Verschiebeplattform inaktiv
98/05	Fehlstellung des elektronischen Kopierwerkes / zu schnelle Einfahrt in Station / Stationspuffer beschädigt	Wechsel der Elektronikkarte führt zur Fehlstellung des elektronischen Kopierwerks
99/04	Fahrzeug berührt den Boden, starke Pendelschwingung des Fahrzeugs	Fahrzeug überladen
00/01	Übergeschwindigkeit / zu schnelle Einfahrt der Fahrzeuge in Station / Notbremsung; Betriebsbremse wurde zu spät ausgelöst, Bremswirkung für Stillstand zu gering, Fahrzeuge prallen gegen Stationswand	Unzulässige Beeinflussung der Steuerung durch Messaufbau zur Messung von Spannungsschwankungen
03/02	Einfahrt in Station mit Übergeschwindigkeit bei Revisionsfahrt, Fahrzeug rast gegen Puffer der Station	Handbetrieb, Fehlsteuerung durch Maschinist

Für den Fall des Hängenbleibens der Fahrzeuge in den Stationen und auf der Strecke werden gemäß prEN 12929-2 Abschn. 6.4 rechnerische Nachweise gefordert, die einen Riss des Zugseils verhindern sollen. Diese Nachweise werden jedoch nur stationär geführt und vernachlässigen die dynamischen Zusatzeffekte, welche mit auftreten.

Durch den Anprall des Fahrzeuges in den Stationen, z.B. an den Stationspuffer bzw. Teile des Stationsbauwerks werden in der Zugseilschleife zusätzliche dynamische Belastungen hervorgerufen z.B. eine zusätzliche Spannkrafterhöhung durch die bewegte Masse des Zugseiles und das Massenträgheitsmoment des Antriebes sowie infolge Reflektion der Belastungswelle am Fahrzeug, oder infolge unkontrollierter

Bewegungen des Seilspanngewichtes. Eine wirklichkeitsnahe Berechnung der maximalen Zugseilkräfte ist für derartige hochgradig dynamische Vorgänge im komplexen System der Zugseilschleife zwar theoretisch möglich, aber nicht Stand der Technik.

Ferner können beim Aufprall des Fahrzeuges auf ein Hindernis Lageänderungen und Deformationen am Laufwerk verursacht werden. Infolgedessen können zusätzliche Beanspruchungen am Zugseil und dessen Befestigung am Laufwerk auftreten, wie z.B. Biegung oder Knick des Zugseils an der Klemme, Zusatzbelastung infolge veränderter Kraftwirkungslinie des Zugseils oder es können Bauteile der Zugseilbefestigung durch Deformationen geschwächt werden.

Zur Berücksichtigung der oben genannten Beanspruchungen müsste die Norm prEN12929-2 in diesem Punkt umfangreich vervollständigt bzw. berichtigt werden.

Eine Bremsung mit der Tragseilbremse kann eine Kollision mit einem Hindernis weit wirkungsvoller verhindern oder vermindern als die Betriebs- oder Sicherheitsbremse, da zum einen der Bremsweg bei der Bremsung mit der Tragseilbremse wesentlich kürzer ist als bei der Bremsung mit der Betriebs- oder Sicherheitsbremse, zum anderen die Tragseilbremse unmittelbar wirkt. Beim Einfall der Betriebs- und/oder Sicherheitsbremse ist die Bremswirkung verzögert, da das Zugseil die Fahrzeuge mit der Treibscheibe elastisch verbindet (geometrische Lageänderung des Zugseils in den Spannungsfeldern, Lageänderung des Zugseilspanngewichtes, Zugseildehnung).

In Abschnitt 7.10 der Norm prEN 12929-2 müssen die Einrichtungen zur Stillsetzung der Seilbahn mit den Antriebsbremsen von der Kabine aus erhöhten Anforderungen entsprechen. Eine genauere Definition derartiger „erhöhter“ Anforderungen fehlt jedoch.

Zusatzanforderungen gegen die Auswirkung möglicher elektrischer Fehler (z.B. Blitzschlag, Steuerungsfehler) sind notwendig.

Abschnitt 7.10 der Norm prEN12929-2 (Einrichtung zur Stillsetzung der Seilbahn von der Kabine aus) müsste daher erheblich genauer konkretisiert werden.

Ereignis durch Blitzschlag:

Fall Nr.	Kurzbeschreibung des Ereignisses	Kurzbeschreibung der Ursache
86/02	Bewusstes Auslösen der TSB in der Einfahrt	Blitzschlag setzt Bremssteuerung außer Kraft, Betriebs- und Sicherheitsbremsen bleiben gelüftet

Die Gefährdungsbilder „Hindernis auf der Strecke“ und „Hindernis im Stationsbereich“ sind zudem auch in Tabelle 1 von prEN 12929-2 aufzunehmen, da diese Ereignisse auch den Bestand der Zugseilschleife gefährden.

8.2.4.2 Zugseilriss infolge Zugseilentgleisung bzw. Versagen des Tragsystems für die Zugseilschleife

Bei Entgleisung des Zugseils aus einem der Seilführungselemente, insbesondere aus einer Seilscheibe, ist der Bestand der Zugseilschleife gefährdet. Gemäß prEN 13223 Abschn. 12.2.4 werden konstruktive Maßnahmen gefordert, die ein Entgleisen des Zugseils - auch bei Schlaffseilbildung - verhindern.

Durch Vereisung der Seilscheibenrillen (Fall Nr. 50/01) können Kräfte entstehen, die vom o. g. Entgleisungsschutz nicht abgetragen werden können. Auf Grund dessen ist die Norm 12929-2 durch die einfach zu realisierende Forderung zu ergänzen, dass sämtliche Seilscheiben und die Treibscheibe mit Rillenkratzern auszustatten sind.

Ferner ist an den beiden Einlaufseiten der Seilscheiben durch konstruktive Maßnahmen ein Einziehen von Gegenständen zu verhindern (siehe Fall Nr. 86/03); die Norm 12929-2 ist entsprechend zu ergänzen.

Ein Defekt der hydraulischen Dämpfungseinrichtung für das Spanngewicht führte in der Folgewirkung zu einem Zugseilriss (siehe Fall Nr. 75/04). Nach prEN1908 Abschnitt 6.4 *sind Dämpfungseinrichtungen so zu gestalten, dass bei deren Störung die Bewegung der Spanneinrichtung nicht betriebsgefährdend behindert wird.* Für die Dämpfungseinrichtung ist eine Überlastsicherung vorzusehen. Die Auslösekraft der Überlastsicherung ist durch einen rechnerischen Nachweis so zu bestimmen, dass eine Dämpfungseinrichtung nicht betriebsgefährdend wird. Die Norm prEN 12929-2 ist entsprechend zu ergänzen.

Nach prEN 1709 werden Sicherheitsbauteile, die Ermüdungsbeanspruchungen ausgesetzt sind, zerstörungsfreien Prüfungen im Rahmen einer Sonderprüfung unterzogen. Aufgrund der langen Nutzungsdauer von Zweiseil-Pendelbahnen (nach prEN 13107 Abschnitt 5.3.3 wird bei Zweiseilbahnen eine Nutzungsdauer von 50 Jahren angesetzt) sind die Prüfintervalle sowie die Art der Prüfung unter Berücksichtigung der konstruktiven Gestaltung auch für nicht drehende Achsen der zum Tragsystem zugehörigen Seilscheiben vorzuschreiben.

Nach prEN 12929-2, Abschnitt 6.13 ist für unbegleitete Fahrzeuge eine Querverpendelungsmöglichkeit von $0,25 \text{ rad}$ ($14,3^\circ$) bei Anlagen mit 2 Tragseilen je Fahrbahn bzw. $0,27 \text{ rad}$ ($15,5^\circ$) bei Anlagen mit einem Tragseil je Fahrbahn zu den Führungen an Stützen- und Stationsbauwerken erforderlich. (Damit die Anforderung nicht im Widerspruch zu prEN 12929-1, Abschnitt 6.2.4 steht, sind die geforderten Querverpendelwinkel auf die Führungen zu beziehen).

Gemäß BOSeil AB 11.1.10 müssen die Stützen so ausgebildet sein, dass - bei Zweiseilbahnen ohne Tragseilbremsen (zulässig für Kabinen bis 4 Personen) - eine Längspendelung der Fahrzeuge von $\pm 20^\circ$ und eine Querverpendelung von $\pm 20^\circ$ möglich ist. Damit ist der geforderte Querverpendelwinkel gemäß BOSeil deutlich größer.

Nach BOSeil §22 Ziff. 5 ist bei einer Windgeschwindigkeit über 16 m/s quer zur Bahnachse der Betrieb einer Seilschwebbahn ohne Schaffnerbegleitung nicht gestattet. Bei Auslösung des Warnsignals (Windgeschwindigkeit über 12 m/s quer zur Bahnachse) sind diese Bahnen unter ständiger Beobachtung der Fahrzeuge und notfalls mit verminderter Geschwindigkeit zu räumen.

Nach prEN 12929-2, Abschnitt 6.15 ist der Betrieb der Bahn bis zu einem Querverpendelwinkel-Grenzwert von 75% - der erforderlichen oder tatsächlich ausgeführten

Querpendelmöglichkeit zulässig, unabhängig davon, ob die Fahrzeuge begleitet sind oder nicht. Bei einem unbegleiteten Fahrzeug ist lediglich die Geschwindigkeit zu reduzieren, wobei die maximal zulässige Geschwindigkeit nicht festgelegt ist. Da beim schaffnerlosen Betrieb der Bahn die geforderten Querpendelwinkel zu den Streckenbauwerken teilweise deutlich größer sind, wäre beim schaffnerlosen Betrieb der Anlage eine größere Windgeschwindigkeit quer zur Bahn zulässig. Hinsichtlich des zulässigen Windes quer zur Bahn ist die Norm prEN12929-2 noch zu vervollständigen.

Ereignisse mit Zugseilriss infolge Zugseilentgleisung bzw. Versagen des Tragsystems für die Zugseilschleife:

Fall Nr.	Kurzbeschreibung des Ereignisses	Kurzbeschreibung der Ursache
50/01	Zugseilriss nach Zugseilentgleisung	Vereisung und Fehlen des Rillenkratzers
75/01	Zugseilriss nach Zugseilentgleisung TSB funktioniert	Ermüdungsbruch einer Umlenkscheiben-Achse
75/04	Entgleisung des Zugseils auf Umlenkscheiben-Achse → Zugseilriss, TSB funktioniert	Defekt der hydraulischen Spanngewichts-Dämpfungseinrichtung → Spanngewicht aus Führung entgleist → Beschädigung der Seilscheibe durch Spanngewicht → Entgleisung des Zugseils auf Umlenkscheiben-Achse → Zugseilriss
75/06	Zugseilriss nach Zugseilentgleisung / TSB funktioniert	Schwingungen infolge Wind → ZS-Entgleisung an einer Stütze, Beschädigung des Zugseils an der Stützenkonstruktion
86/03	Zugseilriss nach Zugseilentgleisung an Spanngewichtsscheibe, TSB ausgelöst Bremsweg 1000 m, Reste des Zugseils an Baum verfangen, Fahrzeug festgebremst	Rolle löst sich von Halterung und gerät zwischen Zugseil und Seilscheibe → Aushebelung des Zugseils → Entgleisung des Zugseils auf Spanngewichtsscheiben-Achse → Zugseilriss

8.2.4.3 Seilriss durch Luftfahrzeuge

Gemäß prEN 12929-2, 6.1 muss in jedem Betriebsfall die Unversehrtheit des Zugseils und des Tragsystems der Zugseilschleife gewährleistet sein.

In Tabelle 1 der Norm prEN 12929-2 ist das Gefährdungsbild „Einwirkung durch Luftfahrzeuge“ aufgeführt. Als Maßnahme für den Bestand der Zugseilschleife ist in Abschnitt 6.16 eine Kennzeichnung der Seilbahn als Luftfahrthindernis festgelegt. Die Wirksamkeit der Kennzeichnung muss zum heutigen Zeitpunkt anhand des Unfallgeschehens bezweifelt werden. In jedem Fall handelt es sich nicht um eine unmittelbar wirkende technische Maßnahme, sondern lediglich um eine hinweisende Information an eventuelle Piloten.

Beim Aufprall eines Flugzeuges mit einer größeren Geschwindigkeit als einer Grenzggeschwindigkeit von ca. 150 m/s tritt ein Spröbruch des Seiles ein (Jaques Lombard: „Flugzeug prallt gegen Seil – was passiert?“, ISR 5/1998). Ein Zugseilriss kann hier auch nicht durch Verstärkung des Zugseils (Erhöhung des Sicherheitsfaktors) verhindert werden.

Ereignisse infolge Luftfahrzeuge:

Fall Nr.	Kurzbeschreibung des Ereignisses	Kurzbeschreibung der Ursache
87/03	Zugseilriss, Kabine 1 und 2 durch TSB festgebremst	Militärflugzeug durchtrennt Zugseil
93/06	Zugseilbeschädigung durch Helikopter	Helikopter
98/01	Tragseilriss / Zugseilriss und Gegenseilriss, Absturz des Fahrzeugs 1, Fzg. 2 wurde durch TSB festgebremst	Militärflugzeug kappt Zugseil und Tragseil 1

8.2.4.4 Versagen der Befestigung des Fahrzeuges am Zugseil

Gemäß prEN 12929-2 Tabelle 2 wird das Gefährdungsbild „Versagen der Befestigung des Fahrzeuges am Zugseil“ aufgeführt. Als Maßnahme gegen diese Gefährdung werden im Abschnitt 8 („Anforderungen an die Befestigung des Fahrzeuges am Zugseil“) mindestens zwei gleichzeitig wirkende unabhängige Elemente gefordert. Zudem werden rechnerische Nachweise - mit geringeren Anforderungen - für die Einzelbefestigung gefordert. Für den Nachweis des rechnerischen Gleitwiderstands der verbleibenden Befestigung wird hier jedoch nur die maximale Hangabtriebskraft berücksichtigt. Änderungen von Zugseilkräften und -winkeln, die bei der Stützenauffahrt auftreten, Verzögerungskräfte und Auspendelungen der Kabine bleiben unberücksichtigt.

Die Norm prEN 12929-2 Abschnitt 8.2 ist in diesem Punkt unvollständig und für eine gleichwertige Sicherheit nicht ausreichend. Die vorgesehene, relativ niedrige Sicherheit gegen Gleiten von $v=2,2$ wird von den Zusatzeffekten wie Verzögerungskräften, Kräften aus Pendelung und Zugseilablenkung bei der Stützenüberfahrt sowie durch Verschleiß an den Klemmbacken, Toleranzen bei der Klemmengeometrie, Abweichungen beim Reibungskoeffizienten der reibschlüssigen Verbindung ggf. völlig aufgezehrt.

Die Norm prEN 12929-2 geht richtigerweise im Abschnitt 8.5 auf ein mögliches Gleiten oder Drehen des Zugseils in der Zugseilbefestigung (z.B. Klemme oder Chapeau-de-Gendarme) ein. Dieser Effekt wird jedoch nicht in die Nachweise mit einbezogen. Dabei können die auftretenden Schwingungen sowie Torsionsmomente in den Zugseilen von Pendelbahnen jedoch weit größer sein als in den Förderseilen von Umlaufbahnen und damit die Rutschsicherheit der Klemmverbindung deutlich herabsetzen.

Im Abschnitt 8.5 werden keine weiteren Maßnahmen aufgeführt, wenn bei den täglichen Betriebskontrollen ein Gleiten oder Drehen des Zugseils registriert wird.

Die Norm prEN 12929-2 Abschnitt 8.5 ist in diesem Punkt unvollständig; ein Gleiten oder Drehen des Zugseils in der Befestigung ist zu verhindern und entsprechend zu überwachen.

Gemäß prEN 13796-1, Abschnitt 7.5.2.8 ist beim Chapeau-de-Gendarme in den Auf-
laufbereichen zum Seilfeld das Seil durch geeignete Maßnahmen gegen seitliches Entgleisen zu sichern.

Die seitliche Bewegungsfreiheit des Zugseils (transversale Zugseilschwingungen) an den Auf-
laufbereichen zum Seilfeld der Zugseilbefestigung ist durch geeignete Maß-

nahmen zu begrenzen; die konstruktive Gestaltung sowie die Dimensionierung – unter Berücksichtigung der Tatsache, dass sich das Laufwerk beim Hängenbleiben an einem Hindernis verkanten kann (Drehung um die vertikale Achse) - ist in der Norm zu definieren.

Die Zugseiltrommel müsste ergänzend zu prEN 13796-1, Abschn. 7.1.1.1 zur Schonung des Zugseils bzw. zur Aufrechterhaltung der Tragfähigkeit mit Rillen ausgeführt werden; eine bindende Vorschrift hierfür fehlt.

In prEN 13796-1 (Fahrzeuge), Abschn. 7.1.4.1 ist bei einer Zugseiltrommel mit metallischem Belag nur ein Reibbeiwert von $\mu=0,08$ zulässig, hingegen ist gemäß 13796-1, Abschn. 7.5.4.1 (Chapeau-de-Gendarme) ein größerer Reibwert $\mu=0,13$ (Seil auf Stahl) bzw. $\mu=0,20$ (Seil auf Aluminium) angegeben.

Beim Nachweis der Zugseiltrommel ist die dreifache Hangabtriebskraft – einschließlich dynamischer Einwirkungen - zu berücksichtigen; hingegen ist beim Nachweis des Chapeau-de-Gendarme nur die dreifache Hangabtriebskraft - ohne weitere dynamische Einwirkungen – in die rechnerischen Nachweise einzubeziehen.

Demnach wird bei Nachweis der Zugseilverbindung mittels Chapeau-de-Gendarme ein geringeres Gesamt-Sicherheitsniveau als bei der Zugseilverbindung mittels Zugseiltrommel gefordert. Für die Zugseilverbindung mittels Chapeau-de-Gendarme ist jedoch selbstverständlich ein gleich hohes Sicherheitsniveau wie für eine Zugseiltrommel erforderlich.

Die Norm prEN 13796-1 ist entsprechend zu modifizieren. Neben der dreifachen Hangabtriebskraft sind die dynamischen Einwirkungen sowie Änderungen der Zugseilkräfte und Zugseilwinkel, die bei der Stützenüberfahrt auftreten, zu berücksichtigen.

Gemäß prEN 13796-1 Abschn. 7.5.4.2 ist für den Chapeau-de-Gendarme der Reibungskoeffizient durch Versuche für

- die Art des eingesetzten Seils;
- den Seilauflagewerkstoff;
- das Seilumschlingungsverhältnis in den Auflagebereichen nachzuweisen.

Die Norm ist in diesem Punkt unvollständig.

Für die Versuchsdurchführung sind weitere Parameter anzugeben, die während des Betriebes maßgebend sein können, z.B.

- Temperatur,
- Seiloberfläche (z.B. nass, vereist, geölt),
- Seildurchmesser (Größt- und Kleinstmaß),
- zulässige Klemmbackenabnutzung,
- Toleranzen, die sich auf die Klemmwirkung auswirken,
- Wegreserven, die ein Blockieren der Klemmapparates bzw. eine Reduktion der Klemmwirkung ausschließen,
- Veränderung der Oberflächenstruktur der Klemmbacken.

Gemäß prEN 13796-1, Abschn. 7.5.3.3 ist für den Abziehversuch vor der Inbetriebnahme des Chapeau-de-Gendarme die kleinste Zugseilkraft definiert, die tatsächliche Zugseilvorspannkraft ist aber nach oben nicht begrenzt. Durch eine mögliche größere Zugseilvorspannkraft wird die übertragbare Abziehkraft im Versuch erhöht, so dass die Versuchsergebnisse bei Erhöhung der Zugseilvorspannkraft auf der unsicheren Seite liegen.

Für den Chapeau-de-Gendarme ist in der Norm prEN 1709, Abschnitt 6 eine Ermittlung der Abziehkraft bei den regelmäßigen Kontrollen nicht aufgeführt. Für den Chapeau-de-Gendarme ist gleichermaßen wie für Klemmen im Rahmen der Inspektion eine Prüfung der Gleitsicherheit oder eine entsprechende Ersatzprüfung notwendig.

Zur Ermittlung der Abziehkraft bei Klemmen und des Chapeau-de-Gendarme bei Zweiseil-Pendelbahnen sind gemäß prEN 1709, Abschnitt 6.3.3.6 Angaben zur Versuchsdurchführung vorzugeben.

Die richtige Einstellung der am Seil befestigten Klemme muss kontrollierbar sein.

Zusätzliche bewegliche Klemmbacken müssen gegen Verdrehen gesichert sein.

Der Einsatzbereich der Klemme (zulässiger Bereich des Seildurchmessers, die zulässige Klemmbackenabnutzung, Bereich der Abziehkraft usw.) ist in der Betriebsanleitung anzugeben.

Die Normen sind in diesen Punkten unvollständig und sind entsprechend zu ergänzen.

Gemäß prEN 13796-1, Abschn. 7.5.2.1 kann der Chapeau-de-Gendarme mit zusätzlichen Klemmvorrichtungen ausgestattet werden. In der Norm werden keine konstruktiven Bedingungen für die zusätzlichen Klemmvorrichtungen aufgeführt. Für das Zusammenwirken der beiden unterschiedlich wirkenden Befestigungsmittel werden keine Angaben gemacht. Eine lineare Addition der beiden unterschiedlichen Klemmwirkungen liegt auf der unsicheren Seite, die dabei berechnete Sicherheit wird tatsächlich nicht erreicht.

Die Norm ist in diesen Punkten unvollständig.

Bei Ausfall eines Seilablenkbereiches des Chapeau-de-Gendarme ist die rechnerische Sicherheit von 1,5 (prEN 13796-1, Abschn. 7.5.3.2) unter Berücksichtigung der maximalen Hangabtriebskraft inkl. dynamischer Einflüsse bzw. von 2,2 (prEN 12929-2) unter Berücksichtigung der maximalen Hangabtriebskraft exkl. dynamischer Einflüsse zu gering.

Bei kuppelbaren Klemmen von Umlaufbahnen wird beim Versagen eines Federelementes die Restklemmkraft von mindestens 50% der Mindestklemmkraft (d.h. ein Abfall von Rutschsicherheit von $S=3,0$ auf $S=1,5$) akzeptiert. Bei Zweiseil-Umlaufbahnen kann eine Sicherheit von $S=1,5$ aus folgenden Gründen toleriert werden:

- Eine automatische Überwachung der Federkraft der Klemmen muss bei der Ausfahrt in jeder Station durchgeführt werden.
- Der Rutschweg eines Fahrzeuges beträgt maximal einen Fahrzeugabstand.
- Die Kapazitäten der Kabinen von Umlaufbahnen sind kleiner.

Ereignisse durch Versagen der Befestigung des Fahrzeuges am Zugseil:

Fall Nr.	Kurzbeschreibung des Ereignisses	Kurzbeschreibung der Ursache
81/02	Unterbrechung Zugseilschleife / unteres Zugseil löst sich von Trommelbefestigung / TSB funktioniert	Seil in Klemme und auf Trommel gerutscht
99/02	Zugseil rutscht in Befestigung (Chapeau-de-Gendarme) / Entgleisung und Absturz des Fahrzeuges	Reibung zwischen Zugseil und Alu-Reibbelag der Klemme zu gering, Klemme wurde einen Tag zuvor versetzt

8.2.4.5 Verlust der Treibfähigkeit an der Antriebsscheibe

Gemäß prEN 12929-2 Tabelle 2 wird das Gefährdungsbild „Verlust der Treibfähigkeit der Antriebsscheibe“ aufgeführt. Im Abschnitt 7 „Maßnahmen zur Vermeidung von Ereignissen im Betrieb“ sind zusätzliche Maßnahmen aufgeführt, um den Verlust der Treibfähigkeit an der Antriebsscheibe zu vermeiden. Diese Maßnahmen sind unzureichend und sind nicht geeignet, gleiche Sicherheit zu erzielen.

An Bahnen ohne Tragseilbremse sind für den Nachweis (rechnerisch und versuchstechnisch) der Treibfähigkeit erhöhte Anforderungen zu stellen:

- Für die Streckenreibung sind obere und untere Toleranzgrenzen für die Reibungsverhältnisse beim Anfahren bzw. Bremsen anzusetzen.
- Die Seiloberflächen sowie die Oberfläche der Treibscheibenfütterung, die im langjährigen Betrieb auftreten können, sind festzulegen (z. B. Vereisung).
- Die Treibfähigkeit ist für das Anfahren und für das Bremsen (ggf. Einfall beider Antriebsbremsen) bei betriebsmäßig ungünstigster Belastung der Bahn nachzuweisen.

Die Mindestdicke der Treibscheibenfütterung im Rillengrund ist vorzuschreiben. Die Restdicke ist ausreichend wenn mindestens drei Bremsungen unter der Annahme einer blockierten Treibscheibe nacheinander möglich sind. Darüber hinaus muss die geometrische Form des Futters stabil bleiben.

Eine Vereisung der Treibscheibe ist mit in Betracht zu ziehen und ggf. konstruktiv zu verhindern.

Auf die besonderen Bedingungen hinsichtlich der Treibfähigkeit ist in der Bedienungs- und Wartungsanleitung hinzuweisen.

Ereignisse durch Verlust der Treibfähigkeit an der Antriebsscheibe bzw. Verlust der Kraftübertragung auf die Treibscheibe:

Fall Nr.	Kurzbeschreibung des Ereignisses	Kurzbeschreibung der Ursache
76/08	Übergeschwindigkeit durch Rutschen des Seiles auf der Antriebsscheibe, Fahrzeug rast in Talstation und zerschellt	Überlast, fehlendes Gegengewicht (Gegenkabine war abmontiert), zu starke Seilölung
81/01	Seilrutschen auf der Antriebsscheibe/ Handauslösen der TSB	Zugseil vereist, Überlast durch Eis auf Kabinendach
85/03	Übergeschwindigkeit bei Seilbahnrevision / Fahrzeug rast ungebremst in Station, Fahrzeuge prallen mit großer Geschwindigkeit (> 10 m/s) gegen Stationswand, TSB wurde nicht händisch ausgelöst	Bremsprobe mit Sicherheitsbremse, BB mit Schüsselschalter überbrückt / nach Bremsprobe SB mit Hubzug gelüftet (BB war noch gelüftet), Bahn beschleunigt stark
86/02	keine Absteuerung im Einfahrtsbereich, bewusstes Auslösen der TSB	Blitzschlag setzt Bremssteuerung für Betriebs- und Sicherheitsbremse außer Kraft
87/02	Übergeschwindigkeit / Betriebs- und Sicherheitsbremse versagt, TSB wird ausgelöst	Auslaufendes Öl benetzt die Bremsflächen / Betriebsbremse unwirksam, Sicherheitsbremse versagt

8.2.4.6 Absturz eines Fahrzeuges

Bei einem Hängenbleiben eines Fahrzeuges an einem festen Hindernis in den Stationen bzw. auf der Strecke besteht die Gefahr des Entgleisens und damit des Absturzes des Fahrzeuges (z.B. Seilbahn „Artouste 1“, Fall 80/03, Wagenentgleisung aufgrund ungünstiger Anordnung der Wageneinweiser an der Station; Absturz wird durch Zugseilschleife verhindert).

Durch den Absturz eines Fahrzeuges (Entgleisung des Fahrzeugs oder Riss des Tragseils) ist wiederum der Bestand der Zugseilschleife gefährdet, wenn das Fahrzeug in die Zugseilschleife fällt. Damit wird in jedem Fall die Gegenkabine zusätzlich zur unmittelbar betroffenen Kabine gefährdet.

Die praktischen Ereignisse, welche einen Absturz eines Fahrzeuges zur Folge haben können und dadurch den Bestand der Zugseilschleife gefährden, sind:

- Hängenbleiben eines Fahrzeuges an einem festen Hindernis
- Tragseilentgleisung mit Hängenbleiben eines Fahrzeuges
- Riss eines Tragseiles
- Kollision mit einem auf dem Tragseil rutschendem Objekt (88/01)

Ereignisse infolge Absturz eines Fahrzeuges:

Fall Nr.	Kurzbeschreibung des Ereignisses	Kurzbeschreibung der Ursache
61/05	Tragseilriss auf freier Strecke / Absturz Kabine	Korrosion infolge unregelmäßiger Schmiermittelverteilung
63/01	Tragseilriss / Absturz Fahrzeug 2/ Zugseilüberschlag nicht detektiert	Bremsung bei Probefahrt verursacht ZS-Überschlag
73/01	Tragseilriss (kurz nach Zurücksetzen des Fahrzeugs und Ausstieg der Fahrgäste)	Brand der Bergstation kurz nach Abfahrt der Kabinen
76/01	Tragseilriss / Zugseilüberschlag / ZS sägt TS durch / Absturz Fahrzeug 1	Seilüberschlag infolge scharfer Bremsung, Überbrückung der Zugseilüberwachung um Fahrt zu beenden / Wagenbegleiter von FZ 2 hat Funken sprühen sehen, wegen Masseschluss keine Telefonverbindung und keine Signalübertragung, TSB wurde nicht betätigt, Begründung Wagenbegleiter: „Die (TSB) rührt man nicht an!“
63/A	Kabine fährt bei Stütze auf Führung, Laufwerkentgleisung, Absturz von Kabine 1	Wind stellt Kabine schräg, Wagenbegleiter war nicht an Bord, Sicherheitsanlage defekt
80/03	Wagenentgleisung/ Absturz wird durch Zugseilschleife verhindert	Ungünstige Anordnung der Wageneinweiser an der Station
84/01	Absturz Wagen / Entgleisung einer Laufwerkswippe, Bremsung durch Erdschlussüberwachung und TSB	Haltebügel (Schutz bei Wind) wurde vor Betriebsbeginn nicht entfernt, TSB-Auslösung
88/01	Verbindung Laufwerk Gehänge unterbrochen, Zugseilschleife fängt Kabine auf	Puffer löst sich aus der Station, rutscht auf Tragseil herab und schlägt gegen Laufwerk

Damit bei diesen Fällen der Bestand der Zugseilschleife nicht gefährdet wird, ist ein rechnerischer Nachweis erforderlich, dass bei Absturz eines vollbesetzten Fahrzeuges an einem beliebigen Punkt der Strecke eine noch ausreichende Zugsicherheit für das Zugseil erhalten bleibt und eine Abschaltung des Antriebs erfolgt.

Die Gefährdungsbilder sowie Maßnahmen der Norm prEN12929-2 sind in diesem Punkt unvollständig. Weder das Gefährdungsbild „Absturz des Fahrzeuges“ noch die Gegenmaßnahmen sind enthalten.

8.2.4.7 Trageisentgleisung

Eine Trageisentgleisung kann unterschiedlich ablaufen und unterschiedliche Folgen verursachen:

- Ablegen des Trageiselseils auf die Tragkonstruktion und Hängenbleiben des Fahrzeuges am Stützenkopf mit oder ohne Zugseilriss.
- Ablegen des Trageiselseils auf die Tragkonstruktion mit Entgleisung/Absturz des Fahrzeuges mit oder ohne Zugseilriss.
- Absturz des Trageisels auf die Zugseiltragrollen, mit Hängenbleiben des Fahrzeuges, mit oder ohne Absturz des Fahrzeuges.
- Absturz des Trageisels von der Stütze insgesamt.
- Absturz des Fahrzeuges infolge Seilschwingungen.

Ereignisse infolge Trageisentgleisungen:

Fall Nr.	Kurzbeschreibung des Ereignisses	Kurzbeschreibung der Ursache
62/01	Zugseilriss nach Anprall an Stützenkopf, TSB fallen ein und wirken	Unbemerkte TS-Entgleisung nach innen nach Verziehen des Trageisels (zu geringer Auflagedruck wegen ungenügenden Schuhschmierung)
78/02	TS-Entgleisung an Stütze, TS prallt auf Kabine	Extreme Windverhältnisse, TS-Entgleisung an Stütze
86/01	TS-Entgleisung, TS legte sich auf Zugseilrollen ab, Stillsetzung durch Erdschlussüberwachung	Starke Pendelbewegung des Wagens infolge Wind, Bremsbacke der TSB gerät zwischen TS und Schuh → Hebelwirkung
86/04	TS-Entgleisung, Zugseilrollen fangen TS auf	Schnee- und Eisablagerungen asymmetrisch in Trageiselschuhrrille
98/06	TS-Entgleisung, TSB greift	Schnee- und Eisablagerungen in Trageiselschuhrrille, sowie verminderte Rillentiefe durch Abnutzung
99/03	TS-Entgleisung auf Stütze	Sturm / Wind, Orkan Lothar
70/A	TS-Entgleisung	Umgestürzter Baum

Zur Vermeidung des Hängenbleibens des Fahrzeuges und der daraus möglichen Schadensfolgen ist eine automatische Überwachung der planmäßigen Lage des Trageisels notwendig. Derartige Überwachungseinrichtungen sind heute nicht in den CEN-Normen vorgesehen und die Maßnahmen beim Ansprechen sind nicht festgelegt.

Die Gefährdungsbilder sowie Maßnahmen der Norm prEN12929-2 sind in diesem Punkt entsprechend zu vervollständigen.

8.2.4.8 Brand

Einheitliche Normen zum Brandschutz bei Seilbahnen liegen noch nicht vor. Es liegt ein technischer Bericht mit unverbindlichen Empfehlungen vor. Es besteht der Wunsch auf Grundlage des technischen Berichtes eine CEN-Norm auszuarbeiten. Eine Arbeitsgruppe oder auch nur der Beschluss zur Einsetzung einer Arbeitsgruppe liegt derzeit nicht vor. In der Norm prEN 12929-2 ist das Szenario Brand noch nicht aufgenommen. Den grundlegenden Anforderungen der Richtlinie 2000/9/EG wird damit zu Punkt 2.6.5 nicht entsprochen.

Ereignisse infolge Brand in der Station:

Fall Nr.	Kurzbeschreibung des Ereignisses	Kurzbeschreibung der Ursache
61/03	Brand in Bergstation Riss: 2 TS+ZS (alle Seile);	Antriebsmotor mit Benzin gereinigt, Explosion, Brand konnte mit Schaumlöschern nicht gelöscht werden
73/01	TS-Riss (nach Zurücksetzen des Wagens u. Ausstieg der FG)	Brand in Bergstation kurz nach Abfahrt der Kabinen, Auspuffrohr des Generators verbrannte Dachbekleidung
77/A	Riss: 2 TS+ZS infolge Stationsbrand	Brand in Talstation, technischer Defekt am Steuerpult verursacht Brand
83/01	Riss: 2 TS+ZS	Mittelstation abgebrannt
03/01	2 TS der rechten Fahrbahn + ZS + Berge-seil gerissen, W1 wird am Berg gehalten durch die TSB	Bürobrand weitet sich auf die Talstation der Seilbahn aus

Ereignisse mit Brand in der Kabine:

Fall Nr.	Kurzbeschreibung des Ereignisses	Kurzbeschreibung der Ursache
86/A	Brand in Kabine	Kurzschluss, technischer Defekt
63/C	Brand in Kabine	Für Tragseilschmierung benötigtes Öl wurde überhitzt

Die Analyse der Szenarien mit Brand zeigt:

- Brand in den Stationen birgt in jedem Fall nach kurzer Zeit ein hohes Gefährdungspotential. Der Riss des Zugseils und auch des Tragseils ist die höchst wahrscheinliche Folge eines Stationsbrandes.
- Brand in einer Kabine zeigt sehr viel geringere Risiken. Zu einer Schädigung von Zugseil und Tragseil kommt es hier kaum.

8.3 Zusammenfassung

Anhand der recherchierten Ereignisse wurde untersucht, ob durch die in prEN 12929-2 aufgeführten Gefährdungsbilder und Maßnahmen beim Entfall der Tragseilbremse mindestens ein gleichwertiges Sicherheitsniveau wie beim Vorhandensein einer Tragseilbremse erreicht wird.

Es ist festzustellen, dass die Gefährdungsbilder in prEN 12929-2 nicht vollständig sind.

Die Gefährdungsbilder „Hindernis auf der Strecke“ und „Hindernis im Stationsbereich“ sind nicht nur Ereignisse im Betrieb, die bei intakter Zugseilschleife ohne Tragseilbremse eine Gefährdung darstellen sondern sind auch Ereignisse, die den Bestand der Zugseilschleife gefährden, so dass in Tabelle 1 der Norm 12929-2 die Gefährdungsbilder „Hindernis auf der Strecke“ und „Hindernis im Stationsbereich“ ebenfalls aufzunehmen sind. Ferner sind die Gefährdungsbilder noch unvollständig. Die Gefährdungsbilder Tragseilriss, Entgleisung bzw. Absturz eines Fahrzeuges, Tragseilentgleisung und Brand sind noch aufzunehmen.

Nach prEN 12929-2 muss in jedem Betriebsfall die Unversehrtheit des Zugseils und des Tragsystems gewährleistet sein. Für die Gewährleistung der Unversehrtheit der Zugseilschleife und des Tragsystems der Zugseilschleife werden Maßnahmen für den Bestand der Zugseilschleife aufgeführt.

Ferner werden Maßnahmen aufgeführt, um Ereignisse im Betrieb, die bei intakter Zugseilschleife eine Gefährdung darstellen könnten, zu vermeiden oder zu begrenzen.

Die in der Norm prEN 12929-2 aufgeführten Maßnahmen, um die Unversehrtheit der Zugseilschleife und des Tragsystems der Zugseilschleife zu gewährleisten sowie Ereignisse im Betrieb, die bei intakter Zugseilschleife eine Gefährdung darstellen könnten, zu vermeiden oder zu begrenzen sind unvollständig und sind noch nicht geeignet, gleiche Sicherheit zu erzielen, wie sie bei Vorhandensein einer Tragseilbremse gemäß BOSeil vorhanden ist.

Wesentliche Defizite bestehen auf der Grundlage des dokumentierten Unfallgeschehens noch bezüglich:

- Hängenbleiben des Fahrzeuges an einem festen Hindernis auf der Strecke und in den Stationen
- Zugseilriss infolge Zugseilentgleisung bzw. Versagen des Tragsystems für die Zugseilschleife
- Seilriss durch Luftfahrzeuge
- Versagen der Befestigung des Fahrzeuges am Zugseil
- Verlust der Treibfähigkeit an der Antriebsscheibe
- Tragseilriss, Absturz eines Fahrzeuges
- Tragseilentgleisung
- Brand

8.4 Kommentierung im Hinblick auf die Erwägungsgründe und grundlegende Anforderungen der Richtlinie 2000/9/EG hinsichtlich der Notwendigkeit der Trageilbremse bei einer Zweiseil-Pendelbahn

In den Erwägungsgründen der Richtlinie 2000/9/EG wird im Abschnitt 4 gefordert:

„Die grundlegenden Anforderungen zum Schutz der Sicherheit und der Gesundheit müssen eingehalten werden, damit gewährleistet ist, dass Seilbahnen sicher sind. Diese Anforderungen müssen verantwortungsbewusst angewandt werden, um den Stand der Technik zum Zeitpunkt der Herstellung sowie technischen und wirtschaftlichen Erfordernissen Rechnung zu tragen.“

Hier wird die Verbindung zum „Stand der Technik“ angesprochen, dem, zum Zeitpunkt der Herstellung, Rechnung zu tragen ist.

Bezüglich des Standes der Technik gilt, dass, Pendelbahnen ohne Trageilbremse in Gesamteuropa noch nicht als „Stand der Technik“ bezeichnet werden können. Es gibt einige wenige Länder, in welchen Pendelbahnen ohne Trageilbremse bereits verwirklicht sind: Allen voran steht Frankreich – hier wurde der Entfall der Trageilbremse systematisch vorbereitet und seit mehreren Jahren wurden Pendelbahnen ohne Fangbremse gebaut. Vereinzelte Beispiele für Bahnen ohne Fangbremse wurden auch in Österreich und in der Schweiz verwirklicht, wobei diese Anlagen nicht als repräsentativ für den Gesamtbestand der Anlagen gelten können. Im Vergleich zu den bisher gebauten Anlagen ist zudem festzustellen, dass die prEN 12929-2 umfangreichere Gefährdungsbilder enthält, als sie in den einzelnen Ländern bisher betrachtet wurden.

Insgesamt gesehen ist – für Gesamteuropa – die Pendelbahn ohne Trageilbremse noch nicht so weit eingeführt, dass allgemein vom „Stand der Technik“ gesprochen werden könnte. Für viele Länder stellt die Pendelbahn ohne Trageilbremse eine Innovation dar, welche auch nach den Verfahren für Innovationen zu behandeln ist.

Gemäß Richtlinie 2000/9/EG Anhang II Nummer 5.7. wird folgende grundlegende Anforderung der Trageilbremse gestellt:

„Bei Fahrzeugen von Standseilbahnen und – sofern die Art der Anlage es zulässt – bei Zweiseilbahnen ist eine auf die Fahrbahn wirkende automatische Fahrzeugbremse vorzusehen, wenn die Möglichkeit des Bruches des bewegenden Seiles nach vernünftigem Ermessen nicht ausgeschlossen werden kann.“

Diese grundlegende Anforderung enthält mehrere Gesichtspunkte:

- Trageilbremse als Regelfall
- Möglichkeit der Ausführung der Trageilbremse
- Vernünftiges Ermessen als Vergleichsmaßstab
- Wahrscheinlichkeitsbetrachtung als Ermessungsgrundlage
- Erkannte Defizite der Ersatzmaßnahmen gemäß prEN 12929-2

Im Einzelnen gelten hierzu folgende Überlegungen:

Tragseilbremse als Regelfall

Immer dann, wenn der Bruch des bewegenden Seils nicht ausgeschlossen werden kann, ist die Tragseilbremse auszuführen.

Die bislang bekannt gewordenen Fälle zeigen eindrucksvoll, dass sowohl der Bruch des Zugseils als auch eine Reihe von gleich schwerwiegenden Gefahren nicht ausgeschlossen werden können.

Bei der Überprüfung der Ersatzmaßnahmen von prEN 12929-2 ist somit ein strenger Bewertungsmaßstab anzulegen, ob die Unversehrtheit der Zugseilschleife tatsächlich sichergestellt bleibt. Solange bzw. soweit dieser Nachweis nicht geführt wurde, ist die Zweiseil-Pendelbahn mit Tragseilbremse weiterhin der Regelfall, an dem alle Alternativen zu normieren sind.

Möglichkeit der Ausführung

Die Tragseilbremse ist bei Zweiseilbahnen dann auszuführen, *„sofern die Art der Anlage es zulässt.“*

Die Möglichkeit der Ausführung einer Tragseilbremse ist bei Zweiseil-Pendelbahnen zweifelsfrei gegeben. Die weit überwiegende Zahl der in Europa ausgeführten und heute betriebenen Zweiseil-Pendelbahnen ist mit einer Tragseilbremse ausgerüstet.

Fälle, bei denen eine ungewollte Auslösung der Tragseilbremse auf Seiten der Fahrgäste Menschenleben gekostet hätte, sind nicht bekannt.

Fälle von Fehlfunktion der Tragseilbremse und daraus resultierender Gefährdung von Menschenleben sind weit in der Minderzahl gegenüber jenen Fällen, in denen die Tragseilbremse bestimmungsgemäß zum Stillsetzen der Seilbahn geführt hat.

Vernünftiges Ermessen als Vergleichsmaßstab

Es ist allgemein bekannt, dass es auf dem Gebiet der Technik absolute Sicherheit nicht gibt. Ein gewisser Ermessensspielraum besteht somit bei der Beurteilung, welches Sicherheitsniveau erreicht werden soll bzw. ein wie hohes Niveau an Zuverlässigkeitswahrscheinlichkeit erreicht werden soll. Die Richtlinie 2000/9/EG gibt hier in 5.7 keine definierten Zahlenwerte an, sondern verlangt, den Ermessensspielraum „mit Vernunft“ einzugrenzen. (Duden: „Ermessen“ = Einschätzung, Beurteilung)

Bei diesem vernunftgemäßen Ermessen ist stets zu beachten, dass der Entfall der Tragseilbremse und die Bewertung der Ersatzmaßnahmen im Anwendungsfall zur Gefährdung von Menschenleben führen können.

Wahrscheinlichkeitsbetrachtung als Ermessungsgrundlage

Bei der Ausübung des „vernünftigen Ermessens“ gibt Anhang III der Richtlinie 2000/9/EG eine Hilfestellung. Hier ist – zwar nicht für die Tragseilbremse, sondern für die (elektrischen) Sicherheitseinrichtung festgelegt:

Die Sicherheitsanalyse erstreckt sich auch auf die Sicherheitseinrichtungen und deren Wirkung auf die Anlage und die dabei eingesetzten, mit ihnen verbundenen Teilsysteme; damit wird bezweckt, dass diese

- *entweder beim ersten Anzeichen einer Störung oder eines Ausfalls reagieren können, um dann in einem die Sicherheit gewährleistenden Zustand, in einer ausfallsicheren Betriebsart oder im Zwangshalt (fall safe) zu bleiben oder*
- *redundant sind und überwacht werden oder*
- *so ausgelegt sind, dass die Wahrscheinlichkeit ihres Ausfalls berechnet werden kann, und sie einen Standard aufweisen, der mit dem der Sicherheitseinrichtungen gleichwertig ist, die den im ersten und zweiten Gedankenstrich genannten Kriterien genügen.*

In diesem Sinne ist die Trageilbremse eine Sicherheitseinrichtung, die „im Zwangshalt bleibt“. Trageilbremsen sind zwangsläufig betätigt (passives Prinzip), so dass bei Auslösung der Bremse stets die Bremse abgerufen wird und die Stillsetzung des Fahrzeugs eingeleitet wird. Wenn tatsächlich durch eine Wahrscheinlichkeitsrechnung nachgewiesen werden könnte, dass Bahnen ohne Trageilbremse eine gleich hohe Zuverlässigkeitswahrscheinlichkeit aufweisen wie die Bahnen mit Fangbremse, so wäre das „vernünftige Ermessen“ quantifizierbar ausgeübt.

Allerdings geht es im Anhang III der Richtlinie 2000/9/EG nicht um den Verzicht auf Sicherheitseinrichtungen, sondern um den Vergleich verschiedener Ausführungsarten von Sicherheitseinrichtungen untereinander.

Erkannte Defizite der Ersatzmaßnahmen

Der Bruch des Zugseils ist durch die in prEN 12929-2 aufgeführten Maßnahmen noch nicht hinreichend - „nach vernünftigen Ermessen“ - ausgeschlossen. Für folgende Ereignisse sind die vorgesehenen Maßnahmen noch nicht ausreichend, um einen Bruch des Zugseils nach vernünftigem Ermessen auszuschließen:

- Hängenbleiben des Fahrzeuges an einem festen Hindernis auf der Strecke und in den Stationen
- Zugseilriss infolge Zugseilentgleisung bzw. Versagen des Tragsystems für die Zugseilschleife
- Seilriss durch Luftfahrzeuge
- Versagen der Befestigung des Fahrzeuges am Zugseil
- Verlust der Treibfähigkeit an der Antriebsscheibe
- Absturz eines Fahrzeuges
- Trageilentgleisung
- Brand

Für die oben aufgeführten Ereignisse, die den Bestand der Zugseilschleife gefährden, sind die Maßnahmen gemäß prEN 12929-2 zu vervollständigen, um dem Ziel näher zu kommen, den Bruch des Zugseiles nach vernünftigen Ermessen auszuschließen.

9 Anwendbarkeit und Grenzen der quantitativen Risikoanalyse

Die Anwendung von quantitativen Risikoanalysen (QRA) zur Risikobeurteilung wird seit längerer Zeit diskutiert, vgl. **Wietfeldt 2004**, **Netter/Brusa 2004**, **Hille 2004**, **Hosemann 1998**. Erste quantitative Risikoanalysen sind im Bereich Kernenergie erstellt worden, z.B. die Rassmussen Studie. Das Verfahren findet aber auch in der chemischen Anlagentechnik und im Flugzeugbau stärkere Verbreitung und Anwendung.

Die Vorteile einer QRA liegen auf der Hand. Durch eine quantitative Betrachtung stehen messbare und vergleichbare Zahlen zur Verfügung, die eine Aussage ohne Einschätzung zulässt bzw. bei denen persönliche Einschätzungen im Rahmen der Berechnung klar zu formulieren sind. Damit besteht eine Nachvollziehbarkeit aber auch eine Angreifbarkeit des Ergebnisses. Die Angreifbarkeit besteht in der Aussagekraft der Statistik. Eine Widerlegung kann und muss jedoch ebenfalls mittels belegbarer Daten erfolgen.

Als Nachteil einer QRA ist der hohe zeitliche Aufwand zu sehen. Grenzen bei der Anwendung einer QRA sind gegeben, wenn die Wahrscheinlichkeiten in einem Bereich sehr kleiner Wahrscheinlichkeiten liegen.

Die Eignung der probabilistischen Risikoanalyse für den Systemvergleich wird in **Schneider 1991** „Risiko und Sicherheit technischer Systeme. Auf der Suche nach neuen Ansätzen.“ beschrieben:

„Die Quantifizierung von Risiken durch Multiplikation eines Schadenspotentials mit der Eintretenswahrscheinlichkeit eignet sich, darüber war man sich in Ascona einig, zum Vergleich der Gefährlichkeit verschiedener Lösungen sowie insbesondere zum Aufdecken von Schwachstellen in technischen Systemen.

Nicht bewährt hat sie sich in der öffentlichen Auseinandersetzung über Risiken, weil das Argument, dass ein Störfall (zum Beispiel in einem Kernkraftwerk) ungeachtet seiner errechneten Wahrscheinlichkeit theoretisch immer schon morgen eintreten kann, das Verständnis für die Ergebnisse der probabilistischen Risikoanalyse blockiert. Der Blick bleibt auf dem Gefährdungspotential fixiert, und die Frage nach Alternativen entfällt ebenso wie die Beurteilung im Gesamtzusammenhang.“

Auch **Wietfeldt 2004** beschreibt in seinem Aufsatz „Deterministik oder Probabilistik?“ die Eignung einer QRA für eine vergleichende Sicherheitsanalyse:

„Nur für vergleichende Untersuchungen bei der Beurteilung des Einflusses einzelner oder alternativer Sicherheitseinrichtungen sind derartige probabilistische Modelle geeignet oder werden auch praktisch angewandt.“

Bei der hier durchgeführten Risikobeurteilung hat sowohl der quantitative Risikovergleich mittels Risikokennzahlen als auch die qualitative Risikobewertung (Kap. 8: Bewertung im Hinblick auf die BOSeil) gezeigt, dass mit den ergänzenden Anforderungen der prEN 12929-2 nicht gewährleistet ist, dass ZS-Pendelbahnen ohne TSB mindestens die gleiche Sicherheit im Vergleich zu durchschnittlichen ZS-Pendelbahnen mit TSB erreichen.

Als weiteres Ergebnis der quantitativen Risikoanalyse konnte der Vorwurf der „Gefährlichkeit“ einer ZS-Pendelbahn mit Tragseilbremse in Bezug ein unplanmäßiges Einfallen der Tragseilbremse anhand der Datenbasis der eingetretenen Ereignisse eindeutig und belegbar widerlegt werden.

Abschließende Bemerkung zu den ermittelten Risikokennzahlen:

Neben der objektiven, wahrscheinlichkeitsbasierten Risikobetrachtung spielt für den fachfremden Betrachter bzw. den Benutzer der Anlage auch das empfundene Risiko sowie der größtmögliche Schaden (Beispiel: Kernkraftwerk) eine Rolle. Hierbei sind verschiedene Faktoren, z.B. psychologische Faktoren (Ängste), Ursachen (unvermeidlich, vorsätzlich), aber auch die Wahrnehmung des Schadensausmaßes von Bedeutung.

A) Risikoakzeptanz

Die individuell akzeptierten Risiken hängen wesentlich von der Freiwilligkeit und Grad der Einflussnahme ab. **Schneider/Schlatter 1996** weisen darauf hin an, dass bei der zahlenmäßigen Festlegung eines Risikos, welches akzeptierbar ist oder sein könnte, stets auch der Grad der Freiwilligkeit der Aktivitäten und der Grad der persönlichen Einflussnahme auf die Reduktion von Risiken in Betracht gezogen werden muss. Zur Erläuterung dieses Ansatzes sind in Bild 34 für verschiedene Aktivitäten abhängig von der Freiwilligkeit der Aktivität und von der Möglichkeit einer persönlichen Einflussnahme Linien gleicher Risikoakzeptanz eingetragen.

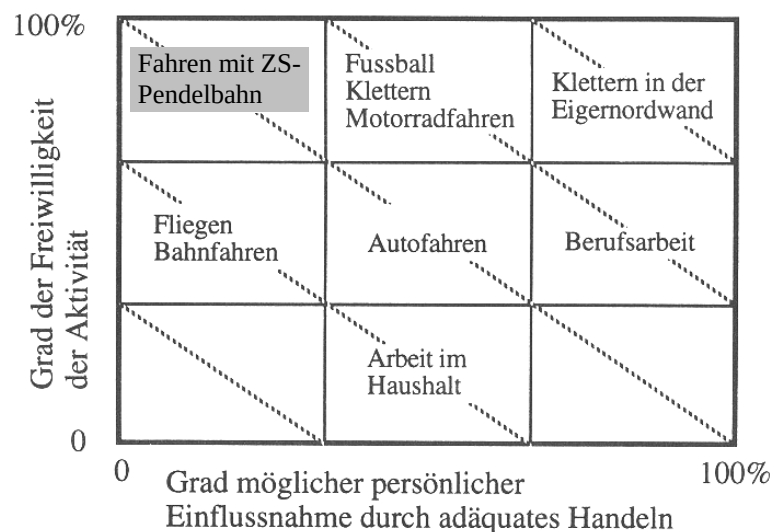


Bild 34: Linien gleicher Risikoakzeptanz bei verschiedenen Aktivitäten (vgl. Schneider/Schlatter 1996)

Hieraus lässt sich die in Bild 34 eingezeichnete Annahme ableiten, dass bei der Benutzung einer ZS-Pendelbahnen für die Ausübung von Freizeitaktivitäten ein dem Autofahren vergleichbares Risiko akzeptiert wird. Allerdings ist bei diesen beiden Aktivitäten das „empfundene Risiko“ stark unterschiedlich, so dass für das Fahren mit einer ZS-Pendelbahn keine vergleichbare Risikoakzeptanz zu erwarten ist.

B) Risiko-Wahrnehmung

Seltene Unfälle mit vielen Toten und Verletzten werden in der Bevölkerung als wesentlich schwerwiegender wahrgenommen als häufige Ereignisse mit wenigen Toten (z.B. Autofahren $\Leftrightarrow$ Fliegen).

Bild 35 zeigt wie das Risiko je nach Einzelschadensausmaß höchst unterschiedlich wahrgenommen und bewertet wird.

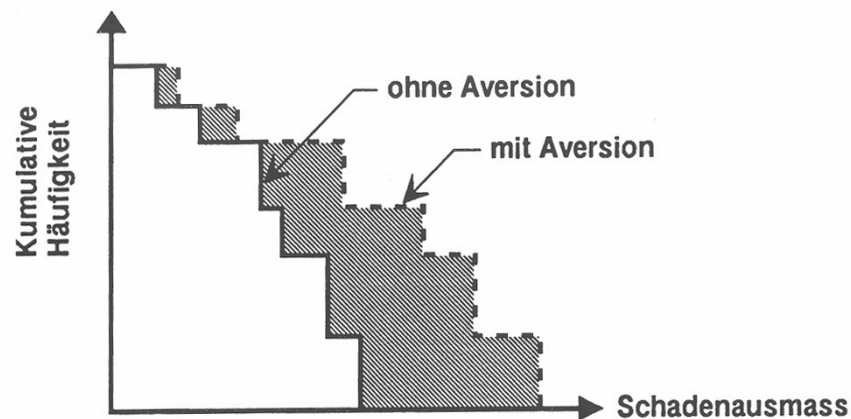


Bild 35: Risikoaversion (Quelle: Merz/Schneider/Bohnenblust 1995)

Die Risikowahrnehmung und das empfundene Risiko R_{empf} kann über den Faktor Risikoaversion bestimmt werden, vgl. **Merz/Schneider/Bohnenblust 1995**

$$R_{\text{empf}} = R_{\text{obj}} \times A(e) \quad \text{bzw.} \quad R_{\text{empf}} = E \times S^a.$$

Schwere Unfälle mit vielen Toten schaden dem Ansehen eines Beförderungsmittels und lösen eine Akzeptanzdiskussion aus.

Entscheidend sind aber auch die Umstände und die Ursachen eines Unglückes. Sie beeinflussen die Risikowahrnehmung und Risikoakzeptanz sowohl in der Bevölkerung als auch in der Rechtsprechung:

- Protest bei menschlichen Fehlhandlungen (z.B. Fahrer betrunken, Raser etc.), aber auch bei bereits bekannten, nicht beseitigten Unfallursachen:
„fahrlässig - vorsätzlich“
- Größere Akzeptanz bei Unfällen aufgrund von bisher nicht bekannten technischen Ursachen oder unvorhersehbaren äußeren Einwirkungen durch die Natur:
„hinnehmbar - unausweichlich“.

Im Falle eines Unfalls könnte der Verzicht auf eine Trageseilbremse als fahrlässig empfunden werden.

Literatur

Bass/Herzog 1985

Bass, L., Herzog, F.: Eine Analyse der Betriebssicherheit von Seilbahnsystemen. Internationale Seilbahnrundschau (ISR)
Teil I: ISR 1985 Heft 2, S. 83-86; Teil II: ISR 1985 Heft 3, S.141-145

Bittner 1984

Bittner, K.: Meilensteine der Seilbahngeschichte. ISR 1984 Heft 1, S. 184-192

Breitung et. al. 1990

Breitung, K. et al: Begutachtung der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke – Phase B der Gesellschaft für Reaktorsicherheit, im Auftrag des Ministers für Soziales, Gesundheit und Energie des Landes Schleswig-Holstein. 8/1990, Anhang A

Creissels 1981

Creissels, D.: Eine gefährliche Fiktion geht zu Ende: Immer häufiger wird die Laufwerksbremse weggelassen. Bericht ca. 1981

Creissels 1982

Creissels, D.: „Offene Antwort“ an Herrn G. Oplatka. Seilbahnbuch 1982, S. 209-210

Creissels 2000

Creissels, D.: Manche fixe Ideen haben ein langes Leben. ISR 2000 Heft 2, S. 16-20

Doppelmayer 1998

Doppelmayer, A.: Denkanstöße zur Funktionserfüllung von Einseilumlaufbahnen. Verlag WIR Public Relations, 1998

Dournon 1984

Dournon, C.: Die Entwicklung der Sicherheit in Frankreich. ISR 1984 Heft 5 S. 262-264

Faszination Seilbahn

Faszination Seilbahn, J.D. Neuhaus GmbH

Feyrer/Dudde 1995

Feyrer, K., Dudde F.: Schutzmaßnahmen gegen unkontrolliertes Fahren von Treibscheibenaufzügen. Bundesanstalt für Arbeitsschutz Fb 706, Wirtschaftsverlag NW, 1995

Flatlandsmo 1983

Flatlandsmo, K.: Eine Seilbahnstatistik. ISR 1983 Heft 4, S. 176-181

Hauptmanns 1998

Hauptmanns, U.: Methoden der Sicherheitsanalyse für verfahrenstechnische Anlagen. VDI Wissensforum, 1998

Hille 2004

Hille, R.: Risikobewertung und Gefahrenabwehr. Technische Überwachung 45 (2004) 1/2

Hosemann 1998

Hosemann, G.: Der Risikoansatz zur Beurteilung der Technischen Sicherheit. Technische Überwachung 39 (1998) 5

ITTAB

ITTAB: Jahresberichte der Internationalen Tagung der technischen Aufsichtsbehörden, ab 1980

Jumbo-Seilbahn Courchevel

Jumbo-Seilbahn in Courchevel/Frankreich. ISR 1984 Heft 1

Larquetout 1984

Larquetout, J.P.: Untersuchung der spezifischen Sicherheit der Zugseilschleife bei einer Zweiseil-Pendelbahn. ISR 1984 Heft 6, S. 322-329

Löscher 2001

Löscher, R.: Fangbremsen bei Standseilbahnen. 2001 Heft 6, S. 6-7

Mapragg 1980

Video: Tragseilbremsversuche 1980

Merz/Schneider/Bohnenblust 1995

Merz, H.A., Schneider, T., Bohnenblust, H.: Bewertung von technischen Risiken. Vdf Hochschulverlag AG ETH-Zürich, 1995

Netter/Brusa 2004

Netter, P.; Brusa, P.: Erste Anwendungserfahrungen mit probabilistischen Methoden in der Anlagensicherung. Technische Überwachung 45 (2004) 5

O'Connor 1990

O'Connor, P.D.T.: Zuverlässigkeitstechnik: Grundlagen und Anwendung, VCH Verlagsgesellschaft, 1990

Oplatka 1984/1

Oplatka, G.: Klemmkopf, eine Vorrichtung zur Befestigung von dynamisch beanspruchten und korrosionsgefährdeten Litzenseilen. ISR 1984 Heft 1, S. 7-9

Oplatka 1984/2

Oplatka, G.: Ereignisse mit Fangbremsen und Zugseilen. ISR 1984 Heft 2, S. 70-72

Panitz 1957

Panitz E.: Die Zweckmäßigkeit der Fangvorrichtung bei der Seilfahrt. Glückauf 93 (1957) 31/32, S. 969-972

Peters/Meyna 1985

Peters, O. H. und Meyna, A.: Handbuch der Sicherheitstechnik. Carl Hanser Verlag, Bd. 1, 1985, Bd. 2, 1986

Redaktion ISR 1984

Redaktion ISR: Ein Seil darf nicht reißen. ISR 1984 Heft 6, S. 320-321

Schlunegger 1984

Schlunegger, H.: Neues Laufwerk für den Wetterhornaufzug/Schweiz. ISR 1984 Heft 4

Schneider 1991

Schneider, J.: Risiko und Sicherheit technischer Systeme. Birkhäuser Verlag, 1991

Schneider/Schlatter 1996

Schneider, J., Schlatter, H.P.: Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen. Vdf Hochschulverlag AG ETH-Zürich, 1996

Sehna 2003

Sehna, W.: Sicherheitsanalyse. ISR 2003 Heft 5

Seilbahnnostalgie

www.seilbahn-nostalgie.ch/geschichte.html und [/zeittafel.html](http://www.seilbahn-nostalgie.ch/zeittafel.html)

Sölden 1988

Video: Tragseilbremsversuche ETH Zürich

Weltseilbahnstatistik 1999

OITAF: Statistische Daten der Luftseilbahnen, Standseilbahnen und Schlepplifte. Sonderpublikation ISR 1999

Wettstein 1969

Wettstein, H.: Die Tragseilbremsung. Mitteilungen aus dem Institut für Bau- und Transportmaschinen, 1969

Wettstein 1975

Wettstein, H.: Kann die Unfallwahrscheinlichkeit von Pendelbahnen durch geeignete Maßnahmen unter Weglassung der Tragseilbremse gesenkt werden? Seilbahnbuch 1975, S. 50-54

Wietfeldt 2004

Wietfeldt, P.: Deterministik oder Probabilistik?
Teil 1: Technische Überwachung 45 (2004) 5
Teil 2: Technische Überwachung 45 (2004) 6

Normen**BOSeil**

Vorschriften für den Bau und Betrieb von Seilbahnen - Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie, November 2003

DIN 25419

Ereignisablaufanalyse; Verfahren, graphische Symbole und Auswertung, 1985-11

DIN 25424

Teil 1: Fehlerbaumanalyse; Methode und Bildzeichen, 1981-09,
Teil 2: Fehlerbaumanalyse; Handrechenverfahren zur Auswertung eines Fehlerbaumes, 1990-04

DIN 25448

Ausfalleffektanalyse (Fehler-Möglichkeits- und -Einfluß-Analyse), 1990-05

DIN EN ISO 12100-1

Sicherheit von Maschinen. Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze,
Teil 1: Grundsätzliche Terminologie, Methodologie (ISO 12100-1:2003),
2004-04

DIN VDE 31000

Teil 2: Begriffe der Sicherheitstechnik - Grundbegriffe

EN 1050

Sicherheit von Maschinen - Leitsätze zur Risikobeurteilung, Deutsche
Fassung: 1996, DIN EN 1050 1997-01

EN 292-1

Sicherheit von Maschinen; Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze,
Teil 1: Grundsätzliche Terminologie, Methodik, 1991-11
(zurückgezogen und ersetzt durch DIN EN ISO 12100-1)

EN 81-1

Sicherheitsregel für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen,
Teil 1: Elektrisch betriebene Personen- und Lastenaufzüge, 2000-05

prEN 12927-1

Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen für den Personenverkehr – Seile,
Teil 1: Auswahlkriterien für Seile und Seilendbefestigungen, 2004-05

prEN 12927-6

Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen für den Personenverkehr – Seile,
Teil 6: Ablegekriterien, 2004-05

prEN 12927-7

Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen für den Personenverkehr – Seile,
Teil 7: Inspektion, Reparatur und Wartung, 2004-05

prEN 12929-1

Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen für den Personenverkehr –
Allgemeine Bestimmungen, Teil 1: Anforderungen an alle Anlagen, 2004-05

prEN 12929-2

Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen für den Personenverkehr –
Allgemeine Bestimmungen, Teil 2: Ergänzende Anforderungen für Zweiseil-
Pendelbahnen ohne Tragseilbremse, 2004-05

prEN 12930

Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen für den Personenverkehr –
Berechnungen, 2004-05

prEN 13233

Sicherheitsanforderungen für den Personenverkehr für Seilbahnen –
Antriebe und weitere mechanische Einrichtungen, 2004-05

prEN 13243

Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen für den Personenverkehr –
Elektrische Einrichtungen, ohne Antriebe, 2004-05

prEN 13796-1

Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen und Schleppaufzüge für den
Personenverkehr – Fahrzeuge, Teil 1: Befestigungen am Seil, Laufwerke,
Fangbremsen, Kabinen, Sessel, Wagen, Wartungsfahrzeuge,
Schleppgehänge, 2004-01

prEN 1709

Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen für den Personenverkehr –
Erprobung, Instandhaltung, Betriebskontrollen, 2004-05

prEN 1907

Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen für den Personenverkehr –
Begriffsbestimmung, 2004-05

prEN 1908

Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen für den Personenverkehr –
Spanneinrichtungen, 2004-05

prCEN/TR 14819-2

Sicherheitsempfehlungen für Seilbahnen und Schleppaufzüge für den
Personenverkehr - Brandverhütung und -bekämpfung. Teil 2: Andere
Standseil- und Seilbahnen, 2004-01

Richtlinie 2000/9/EG

Richtlinie 2000/9/EG des Europäischen Parlaments und des Rates
vom 20. März 2000 über Seilbahnen für Personenverkehr

Anhang

Anhang A: Fallliste der recherchierten Ereignisse bei ZS-Pendelbahnen
(sowie weitere Ereignisse mit ZS-Umlaufbahnen und Standseilbahnen)

Anhang B: Fehlerbäume der untersuchten Gefährdungseignisse

Anhang A1: Fallliste der recherchierten Ereignisse bei ZS-Pendelbahnen

Fall Nr.	Gefährdungsart	Kurzbeschreibung des Gefährdungsereignisses	Ursache
03/01	A/Z	Tragseil- und Zugseilriss infolge Stationsbrand (gerissen: 2 TS einer Fahrbahn + ZS), eingefallene TSB hält Wagen in Bergstation	Bürobrand weitet sich auf die Talstation der Seilbahn aus (außerhalb Betriebszeit)
03/02	Ü	Einfahrt in Station mit Übergeschwindigkeit bei Revisionsfahrt, Kabine prallt gegen den Stationspuffer	Handsteuerung, Fehlbedienung durch den Maschinisten bei der Inbetriebnahme der Bahn
01/01	Z	Bruch an der Zugseilanhängung, TSB fällt ein und wirkt	Schwingungsbruch an einer Schweißnaht durch Biegebeanspruchung
01/02	Ü	Übergeschwindigkeit der Kabinen bei Stationseinfahrt, Anprall in den Stationen	Fehlbedienung durch den Maschinisten beim Fahren mit Handsteuerung
00/01	Ü	Übergeschwindigkeitseinfahrt der Kabinen in Station, Bremsung mit BB für Stillstand zu gering, Anprall der Kabinen in den Stationen	unzulässige Manipulation in der Steuerung
00/04	K	Seilbahnkabine, die in die Talstation einfährt, kollidiert mit Baggerausleger	Baggerausleger wird unzulässigerweise in den Fahrbereich der Seilbahn gefahren
99/01	T	Fehlauslösung der TSB durch Druckabfall in der Hydraulik	Druckabfall durch Kolbenstangenbruch
99/02	Z	Rutschen des ZS im Chapeau-de-Gendarme nach Revision, Fahrzeug entgleist an Stütze und stürzt ab	Reibung zwischen Zugseil und Alu-Reibbelag der Klemme zu gering, Klemme wurde einen Tag zuvor versetzt
99/04	K	Kabine berührt den Boden bei der Stationseinfahrt, starke Pendelschwingung der Kabine	Kabine überladen
98/01	Z/A	Tragseil- und ZS-Riss (Gegenseil) an Fahrbahn Nr. 1, Absturz W1, am W2 löst TSB aus und hält das Fahrzeug	Militärflugzeug
98/04	T	Fehlauslösung der TSB	Fehlerhafte Einstellung des Kabelzugs des Auslösemechanismus
98/05	Ü	Zu schnelle Einfahrt der Kabinen in Station, Anprall an die Stationspuffer	Wechsel der Elektronikarte führt zur Fehlstellung der elektronischen Kopierwerke (während Instandhaltungsarbeiten)
98/06	A	TS-Entgleisung während Fahrbetrieb, Kabine kann Stütze nicht überfahren, durch das blockierte LW löst die Schlaffseilauslösung die TSB aus	Schnee- und Eisablagerungen in Tragseilschuhrrille, sowie verminderte Rillentiefe durch Abnutzung
97/01	Ü	Übergeschwindigkeit bei Stationseinfahrt, Kabine wird unverzüglich auf den Puffer gefahren	Fehlbedienung beim Fahren mit Handsteuerung (Anlageüberwachung war überbrückt wegen Störungssuche in der Steuerung)
97/03	A/Z	Tragseil- und Zugseilriss infolge Stationsbrand, 1 Wagen zerstört	Blitzeinschlag mit der Folge Brand der Bergstation (außerhalb Betriebszeit)
96/01	Ü	Übergeschwindigkeit bei der Stationseinfahrt, Kabinen fahren ungebremst in die Station	Fehlbedienung beim Fahren mit Handsteuerung, (Sicherheitsstromkreis war aufgrund von vorangegangenen Störungen überbrückt)

94/01	A	Tragseilriss zwischen Rollenkette und Spannungsgewicht (Herkules-TS), Absturz des Fahrzeugs	Korrosion und Ermüdung (letzte TS-Verschiebung lag 12 Jahre zurück)
94/03	K	Der Ausleger des Krans stößt gegen das Seil der Pendelbahn und prallt gegen Kabine	Kran wird durch Fehler des Kranführers in Fahrtbereich der Seilbahn gefahren
94/04	Ü	Übergeschwindigkeit bei der Einfahrt in die Station, Kabine prallt gegen Stationsstrukturen	Kopierwerk kette entgleist (nur ein Kopierwerk vorhanden)
94/05	A	TS-Entgleisung während Fahrbetrieb infolge Bruch einer Achse einer Tragseilumlenkscheibe	Achsbruch wegen zusätzlicher Beanspruchung infolge einer TS-Verschiebung
94/06	Ü	Übergeschwindigkeit bei der Einfahrt in die Station, Kabinen prallen gegen Stationspuffer	Fehler in der Steuerung, Versagen der elektrischen Stationsüberwachung
93/01	T	Fehlauslösung der TSB (Schlafseilauslösung) nach einem Nothalt	Blitzeinschlag führt zu einem Nothalt
93/04	K	Kollision der Kabine mit Verschiebeplattform	Fahren mit Ersatzsteuerung, (Sicherheitsstromkreis ist aufgrund von vorangegangenen Störungen überbrückt worden)
92/01	Ü	Übergeschwindigkeit bei der Einfahrt in die Station, Kollision der Kabinen mit Stationsplattform	Fehler in Steuerung
91/02	Ü	Übergeschwindigkeit bei Einfahrt in die Station, Kollision in Station	Fehlbedienung beim Fahren mit Handsteuerung
91/03	K	Wagen kollidiert mit Stütze, TSB löst aus	starker Wind und maximale Fahrgeschwindigkeit
91/05	A	Tragseilriss im Bereich der Rollenkette, Absturz der Kabine	Ermüdungsbruch (12 jähriger Verschiebezyklus war nicht eingehalten)
91/08	A	Laufwerksentgleisung bei Probefahrt	Eisabfall vom Bergeseil, Seil gerät unter das LW, Entgleisung des LW trotz Abschaltung mittels Erdschluss
91/09	T	Fehlauslösung der TSB mit der Folge Zugseilüberschlag	Unklarer mechanischer Fehler
90/01	T	Fehlauslösung der TSB	Druckabfall im Hydrauliksystem der TSB
90/02	Ü	Übergeschwindigkeit der Kabinen bei der Stationseinfahrt	Kopierwerk defekt, Kette entgleist
89/01	Z	Zugseilriss an der Vergussmuffe, beide TSB versagen, an W1 war TSB blockiert, die Wirkung der TSB an W2 war nicht ausreichend, W1 rast ungebremst in die Talstation, W2 kollidiert mit Stütze und bleibt zerstört am TS hängen	Vermutlich Korrosion / Ermüdungsbruch,
89/02	T	Fehlerhafte Auslösung der TSB bei Ausfahrt aus Station	Verschleiß der Gleitlager des Auslösemechanismus mit der Folge eines langsamen Druckverlusts im Hydrauliksystem
89/03	A	Bruch an Verbindung der Gehängeachse-Schwingungsdämpfer bei Probefahrt, Absturz der Kabine	Verbindung zwischen Gehängeachse und Dämpfer nicht korrekt abgestimmt
89/04	A	Absturz des Wagens vom Tragseil	Wind

89/B	T	Fehlauslösung der TSB	Unklare Ursache
88/01	A	Verbindung Laufwerk-Gehänge unterbrochen, W1 stürzt ab und bleibt am Zugseil hängen ohne den Boden zu berühren, Auslösen der TSB am W2 führt zu Schwingungen	Puffer löst sich aus Station (wegen Ermüdungsbruch eines Bolzens durch Mikroschwingungen des Seiles) rutscht auf Tragseil herab und schlägt gegen Laufwerk.
87/02	Ü	Unkontrollierte Fahrbewegung, da Wirkung der BB und SB zu gering um das Fahrzeug zu halten, TSB wird ausgelöst	Auslaufendes Öl benetzt die Bremsflächen, BB + SB zu geringe Bremswirkung
87/03	Z	Durchtrennung des Zugseils durch Flugzeug 400 m vor Talstation, Kabinen befinden sich kurz vor der Station, TSB fallen ein und wirken, das Fahrzeug vor Talstation wird durch Spannungskraft bis zum Stationspuffer gezogen	Militärflugzeug durchtrennt Zugseil
86/01	A	TS-Entgleisung nach außen während Fahrbetrieb, TS legt sich auf Zugseilrollen ab, Stillsetzung durch Erdschlussüberwachung	Pendelbewegung des Wagens infolge Wind, Bremsbacke der TSB gerät zwischen TS und Schuh → Hebelwirkung
86/02	Ü	Einfahrt in Stationen mit überhöhter Geschwindigkeit, Wagenbegleiter zieht TSB und verhindert Aufprall	Blitzschlag setzt Bremssteuerung außer Kraft, Betriebs- und Sicherheitsbremsen bleiben gelüftet
86/03	Z	Zugseilriss nach Zugseilentgleisung, TSB lösen aus, TSB W2 greift, TSB W1 hat unzureichende Bremswirkung, W1 legt 1000 m zurück Zugseil verfängt sich in einem Baum und bringt Fahrzeug zum Stillstand	Bürstenrolle des Sicherheitsstromkreises gerät zwischen Zugseil und Scheibenrille, Aushebelung des Zugseils, Zugseil fällt auf Welle und reißt
86/04	A	TS-Entgleisung während Fahrbetrieb, Zugseilrollen fangen TS auf, Laufwerk stößt gegen Stütze	Schneeansammlung in Stützenschuh
86/A	B	Rauchentwicklung und Brand in der Kabine, Brand mit Feuerlöscher erstickt	Kurzschluss, technischer Defekt
85/02	T	Fehlauslösung der TSB durch Fahrgast	Irrtümliche Handauslösung durch einen Fahrgast
85/03	Ü	Ungebremste Einfahrt der Fahrzeuge in die Station ($v > 10\text{ m/s}$), Fahrzeuge prallen gegen die Stationsrückwände	Während der Jahresprüfung wurde die BB überbrückt und die SB geöffnet und blockiert
85/05	T	Fehlauslösung der TSB	Manometerbefestigung der Bremshydraulik löst sich
84/01	K	Kollision des Laufwerks mit Haltebügel, Entgleisung einer Laufwerkswippe, Einfall der TSB	Haltebügel wurde vor Betriebsbeginn nicht entfernt
84/04	T	Fehlauslösung der TSB durch Schlaffseilauslösung infolge Schwingungen	Elektrischer Defekt am Antrieb führt zu Schwingungen im Zugseil und am Fahrzeug
83/01	A/Z	Trag- und Zugseilriss infolge Stationsbrand (gerissen: 2 TS + ZS = alle Seile), Fahrzeuge in der Station zerstört	Mittelstation abgebrannt, Brandursache unklar (außerhalb der Betriebszeit)
83/02	T	Fehlauslösung der TSB mit der Folge Zugseilüberschlag	Druckabfall in der Hydraulik durch Bruch eines Hydraulikschlauches
83/03	A	TS-Entgleisung an Stütze nach innen während Fahrbetrieb, ein gleichzeitiger Stromausfall bringt Anlage zum Stillstand	Vereisung der Stützenschuhe, anstoßende TSB-Backen haben zudem Stützenschuhe seitlich verschlissen

82/02	T	Fehlauslösung der TSB mit der Folge Zugseilüberschlag	Fehlerhafte Montage der Auslösestange
82/03	T	Fehlauslösung der TSB	Einstellschraube der Bremssteuerung löst sich und führt zum Druckabfall
82/10	K	Pendelbahnkabine kollidiert mit Montageseil, starke Längsschwingungen	Montageseil einer benachbarten Bahn im Lichtraum der Pendelbahn
81/01	Ü	Seilrutschen auf der Antriebsscheibe, TSB wird von Hand ausgelöst	Zugseil vereist, Überlast durch Eis auf Kabinendach
81/02	Z	Unterbrechung der Zugseilschleife, unteres Zugseil löst sich von Trommelbefestigung, TSB fällt ein und wirkt	Seil auf Trommel und in der Endklemme gerutscht.
81/03	Z	Zugseilriss auf freier Strecke, Kabine 1 wird von Antrieb gehalten, Kabine 2 entgleist und stürzt ab (Bahn ohne TSB, 4 Pers.)	Gerissenes Telefonkabel sägt Zugseil durch
81/04	Z	Gegenseilriss am Vergusskopf, die beiden anderen Zugseilschleifen halten (Bahn mit 3 Zugseilschleifen ohne TSB)	Korrosion
81/05	Ü	Übergeschwindigkeit beim Einfahren in Station, Anprall in der Station	Bedienungsfehler bei Handsteuerung, (Steuerung wird repariert)
81/06	Z	Zugseilriss am Vergusskopf, TSB fallen ein, langer Bremsweg der abwärtsfahrenden Kabine: 46 m	Korrosion
80/02	T	TSB Fehlauslösung durch Fahrgast	Irrtümlich Betätigung des Handgriffs durch einen Fahrgast der einen Schwächeanfall erleidet
80/03	A	Laufwerksentgleisung, Fahrzeug wird von der Zugseilschleife aufgefangen	Ungünstige Anordnung der Wageneinweiser an der Station
80/D	A	TS-Entgleisung im Fahrbetrieb	Wind
80/E	A	TS-Entgleisung im Fahrbetrieb auf der Stütze nach innen, Maschinist setzt Bahn still	Wind
79/B	K	Kabine wird durch Absperrkette blockiert, starke Längspendelung der Kabine, TSB löst aus	Von Unbekannten falsch angebrachte Absperrkette
78/01	Z	Zugseilriss am Eingang der Klemme, manuelle Auflösung der TSB bringt Wagen zum Stillstand (Bahn mit 2 Zugseilen)	Klemmendurchmesser nicht an Seilkonstruktion angepasst, Klemme ist nicht vorschriftsmäßig versetzt worden, ZS war ständigen Schwingungen ausgesetzt
78/02	A	Beide Tragseile einer Fahrbahn entgleisen im Fahrbetrieb an der Stütze nach außen, Absturz der Kabine, TS prallt auf Kabine	extreme Windverhältnisse
77/01	T	Fehlauslösung der TSB	Ursache unklar, vermutlich Druckabfall (Sicherheitsstromkreis war überbrückt)
77/02	T	Fehlauslösung der TSB	Fehlerhafte Schlaffseilauslösung nach Bruch einer Schweißnaht der Schlaffseilauslösung
77/A	A/Z	Tragseil- und Zugseilriss infolge Stationsbrand, (gerissen: 2 TS + ZS = alle Seile), Rückschlag der Seile führt auch zur teilweisen Zerstörung der Bergstation	Technischer Defekt am Steuerpult verursacht Brand der Talstation (10 min. nach beendeter Fahrt)

76/01	A	Tragseilriss nach unentdecktem ZS-Überschlag, Absturz der Kabine	Ursache für Seilüberschlag zu scharfes Bremsen (Zugseilüberwachung war überbrückt, um Fahrt zu beenden)
76/02	Z	Zugseilriss auf freier Strecke, zweites Zugseil hält (Bahn mit 2 Zugseilschleifen)	Unklar, vermutlich Drahtbrüche oder Korrosion
76/06	Ü	Übergeschwindigkeitseinfahrt der Fahrzeuge in die Station	Geschwindigkeitsreduzierung für die Stationseinfahrt funktionierte nicht, vermutlich Steuerung
76/07	Ü	Übergeschwindigkeitseinfahrt der Fahrzeuge in die Station	Ausfall der Kopierwerke, Fehler in der Schaltlogik
76/08	Ü	Übergeschwindigkeit nach Verlust der Treibfähigkeit, Fahrzeug rast in Talstation und zerschellt	Rutschen des Seiles auf der Treibscheibe durch fehlendes Gegengewicht (anderes Fahrzeug war abmontiert + stark geschmiertes Seil)
75/01	Z	Zugseilriss nach Zugseilentgleisung, TSB fallen ein, Bremsweg einer TSB lang: 650 m	Ermüdungsbruch einer Umlenkscheiben-Achse
75/03	Z	Versagen eines Zugseilverbindungselements mit Laufwerk, Versagen der TSB (unzureichende Wirkung der TSB) entgleisendes Laufwerk hat Wagen angehalten	Zugseilverbindungselement mit Laufwerk gebrochen, Dauerbruch infolge Biegung
75/04	Z	Zugseilriss nach Entgleisung des ZS auf Achse der Umlenkscheibe, TSB fallen ein und wirken	Aufgrund eines Defekts der hydraulischen Spanngewichts-Dämpfungseinrichtung ist Spanngewicht aus Führung entgleist, Seilscheibe wird dabei beschädigt, Entgleisung des Zugseils auf Umlenkscheibe
75/05	K	Kollision des Fahrzeugs mit quergespanntem Transportkabel, TSB wird von Hand ausgelöst	Unzulässig quergespanntes (betriebsfremdes) Transportkabel
75/06	Z	Zugseilriss nach Zugseilentgleisung, TSB fällt ein und wirkt (einspurige Bahn)	ZS-Entgleisung an einer Stütze infolge Wind
75/07	A	Bruch des Gehängearms, Absturz der Kabine in Station (Absturzhöhe 2 m)	Überbeanspruchung infolge ungleicher Elastizitätsmodule Stahl-Alu bei Verbindung Gehänge-Gehängkopf
75/09	K	Wagen werden in Bahnmitte durch eine Windböe gegeneinander geschlagen, TSB fällt an beiden Wagen ein	Starke Windböe
74/01	Z	Zugseilriss am Vergusskopf, an einem Fahrzeug versagt die TSB, Fahrzeug entgleist an Stütze und stürzt ab	Korrosion
73/01	A/Z	Tragseilriss infolge Stationsbrand, (sämtliche Seile beschädigt), Fahrzeuge konnten vor TS-Riss in die Stationen zurückgefahren werden und die FG aussteigen	Brand in der Bergstation kurz nach Abfahrt der Kabinen, Auspuffrohr des Generators verbrannte Dachbekleidung
73/03	T	Fehlauslösung der TSB	Ursache unklar
72/01	Z	Zugseilriss am Vergusskopf, Versagen der Schlauffseilauslösung, Versagen der TSB, TSB fällt verspätet ein und kann Fahrzeug nicht zum Stillstandbringen (Tragseile verschmutzt), Fahrzeug prallt mit großer Wucht in die Talstation (Windenbahn)	Korrosion

72/02	T	Fehlauslösung der TSB durch Schlaffseil, Kabine schwingt und stößt gegen die Stütze, Zugseilüberwurf	Bruch der Spanneinrichtung des Auslösemechanismus für zum Erschlaffen des Zugseils
72/04	K	Kabine stößt gegen Tragseil und wird beschädigt	Ein nicht demontierter Wasserschlauch führt zur starkem Pendeln der Kabine bei der Abfahrt aus der Station
72/A	T	Fehlauslösung der TSB	Fehlerhafte Montage des Auslösegestänges führt zum Buch einer Gewindestange
72/C	A	TS-Entgleisung von einem der beiden TS einer Fahrbahn nach innen auf Stütze, während Fahrbetrieb, TS-Überschlag	Zugseilschwingungen und Längspendelung, ZS-Überschlag, Erdschluss setzt Bahn still
72/K	Ü	Einfahrt der Kabine in Stationen mit überhöhter Geschwindigkeit, Aufprall auf Stationspuffer	Wirkung der Betriebsbremse ungenügend, Bremsdrücker der BB aufsitzt
70/B	A	Tragseil entgleist auf der Stütze im Fahrbetrieb	Sturm/Wind
68/01	A	Tragseilriss nach unentdecktem Zugseilüberschlag, Tragseil fällt auf Kabine	Starker Windstoß bewirkt entweder Zugseilüberschlag oder Tragseilentgleisung und Einschnürung des ZS zw. Tragseil und Zugseilrollen
68/02	Z	Zugseilriss am Vergusskopf, TSB fallen ein und wirken (Bahn mit 2 Zugseilschleifen)	Korrosion
68/03	T	Fehlauslösung der TSB	Bruch einer Feder des Auslösemechanismus
67/01	Z	Zugseilriss am Vergusskopf, TSB fallen ein und wirken	Korrosion
66/01	K	Kollision des Fahrzeugs mit Boden bei Stationseinfahrt	Überladung
65/01	K	Kabine kollidiert mit Felsen nach plötzlichem Halt und großem Schwingungsausschlag	Stromausfall und starker Wind
64/01	Z	Zugseilriss nach Übergeschwindigkeitseinfahrt und Anprall der Wagen in Station, verminderte Wirkung einer TSB, da beim Aufprall auf Puffer beschädigt, andere Wagen durch TSB gehalten	Übergeschwindigkeit bei Einfahrt der Kabine in Station aufgrund Versagen des Kopierwerks
64/02	Z	Gegenseilriss auf freier Strecke, die beiden weiteren ZS halten die Fahrzeuge (Bahn mit 3 Zugseilschleifen ohne TSB)	Korrosion
63/01	A	Tragseilriss durch einen unentdeckten Zugseilüberschlag, Absturz des Fahrzeugs	Bremung bei Probefahrt (während Inbetriebnahme der Bahn) verursacht ZS-Überschlag, der nicht bemerkt wird
63/02	Ü	Einfahrt in Station mit zu hoher Geschwindigkeit, Aufprall auf Stationspuffer	Vermutlich Fehlbedienung (evtl. auch Steuerungsfehler)
63/03	Z	Zugseilriss auf freier Strecke, Bahn ohne TSB	Drahtbrüche auf freier Strecke
63/A	A	Kabine fährt bei Stütze auf Führung, das Laufwerk entgleist, Absturz von W1, W1 schlägt auf dem Boden auf	Wind stellt Kabine schräg, Wagenbegleiter war nicht an Bord, Sicherheitsanlage defekt, Fahren mit überbrückter Sicherheitsstromkreis
63/C	B	Brand in der Kabine, wird mit Feuerlöscher bekämpft und in der Station endgültig gelöscht	Öl für Tragseilschmierung wird in der Kabine überhitzt

62/01	Z	Zugseilriss nach Anprall an den Stützenkopf, TSB fallen ein und wirken	Unbemerkte TS-Entgleisung nach innen, Anprall des Fahrzeugs an den Stützenkopf
61/02	T	Fehlauslösung der TSB	Seilzug der Handauslösung wird durch außen angehängte Last betätigt
61/03	A/Z	Tragseil- und Zugseilriss infolge Stationsbrand, (gerissen: 2 TS + ZS =alle Seile), W1 in der Bergstation stürzt ab	Brand in der Bergstation (während Betriebszeit) aufgrund unvorsichtigem Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten
61/05	A	Tragseilriss auf freier Strecke, Absturz der Kabine, Aufprall am Boden wird von Zugseilschleife vermindert	Innere Korrosion infolge unregelmäßiger Schmiermittelverteilung
60/01	Z	Riss beider Zugseile am Vergusskopf (Bahn mit 2 Zugseilschleifen), TSB wirken	Korrosion und Ermüdung
59/02	Ü	unkontrollierte Fahrbewegung der Kabine, TSB wird ausgelöst	Verbindung Bremse-Antriebsscheibe unterbrochen durch Bruch der Hauptantriebswelle
59/03	A	Kabine reißt ab, Absturz	Ursache unklar (Ermüdung?)
57/01	Z	Zugseilriss an Vergusskopf, Absturz des Wagens, Bahn ohne TSB	Korrosion
56/02	Z	Versagen der Zugseilschleife, TSB wurde händisch ausgelöst, Wirkung zu gering, Wagen entgleist an Stütze und stürzt ab	Bruch eines Teils der Zugseilanhängung am Laufwerk
54/01	Z	Riss des Zugseils auf freier Strecke, TSB fallen ein und wirken	Drahtbrüche
52/01	Z	Zugseilriss am Vergusskopf (2 Zugseilschleifen) TSB werden ausgelöst und setzen die Wagen still	Vermutlich Korrosion
52/03	A	Tragseilriss auf Stützenschuh, abstürzendes Fahrzeug wird von Zugseilschleife aufgefangen	Korrosion
50/01	Z	Zugseilriss nach Zugseilentgleisung, Bahn ohne TSB	Vereisung und Fehlen des Rillenkratzers
48/01	Z	Gegenseilriss nach Entgleisung, TSB fallen ein und wirken, jedoch Bremsweg 80 m	Schwingungen, Eisabfall verursachen Seilentgleisung (vermutlich bei Betriebsfahrt)
46/01	Z	Gegenseilriss nach Entgleisung aus Scheibe TSB fallen ein und wirken (wahrscheinlich wiederum langer Bremsweg)	Schwingungen, Eisabfall verursachen Seilentgleisung (vermutlich bei Betriebsfahrt)
39/01	Z	Zugseilriss nach Übergeschwindigkeitseinfahrt, TSB fallen ein und wirken	Einfahrt in die Station mit überhöhte Geschwindigkeit
29/01	Z	Zugseilriss an Vergusskopf; TSB fallen ein und wirken	Korrosion

Anhang A2: Im Fehlerbaum eingetragene Ereignisse bei ZS-Umlaufbahnen (U)

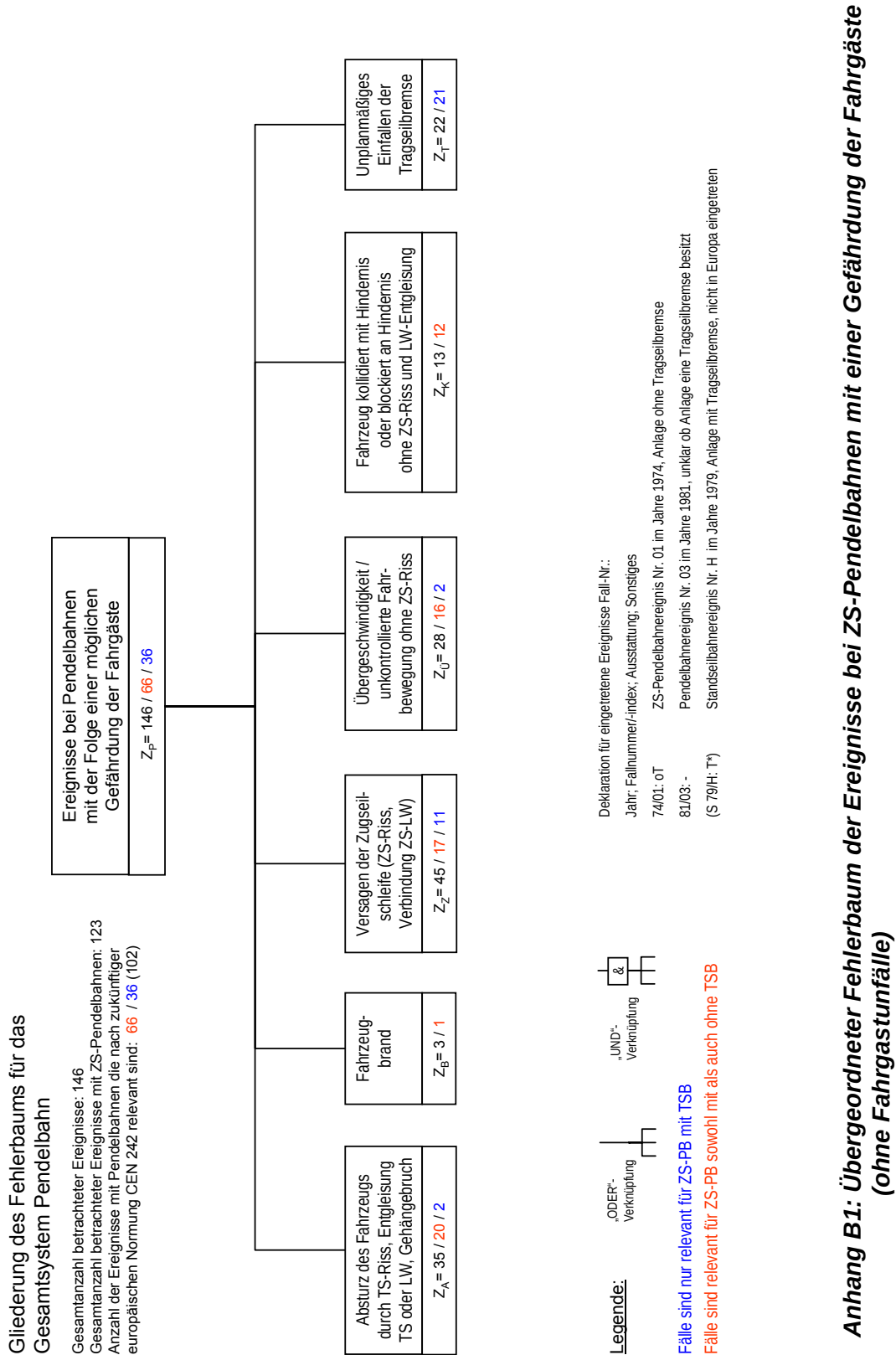
Fall Nr.	Gefährdungsart	Beschreibung des Gefährdungseignisses	Ursache
U 82/01	A	Tragseilriss, Konzession für den Betrieb der Seilbahn war abgelaufen	Korrosion
U 75/02	Z	Zugseilriss nach Zugseilentgleisung an einer Umlenkscheibe, in der Folge Riss des Spannseiles	Entgleisung des ZS an einer Umlenkscheibe
U 61/04	Z	Flugzug durchschneidet Zugseil, Entgleisung und Absturz von Kabinen	Militärflugzeug

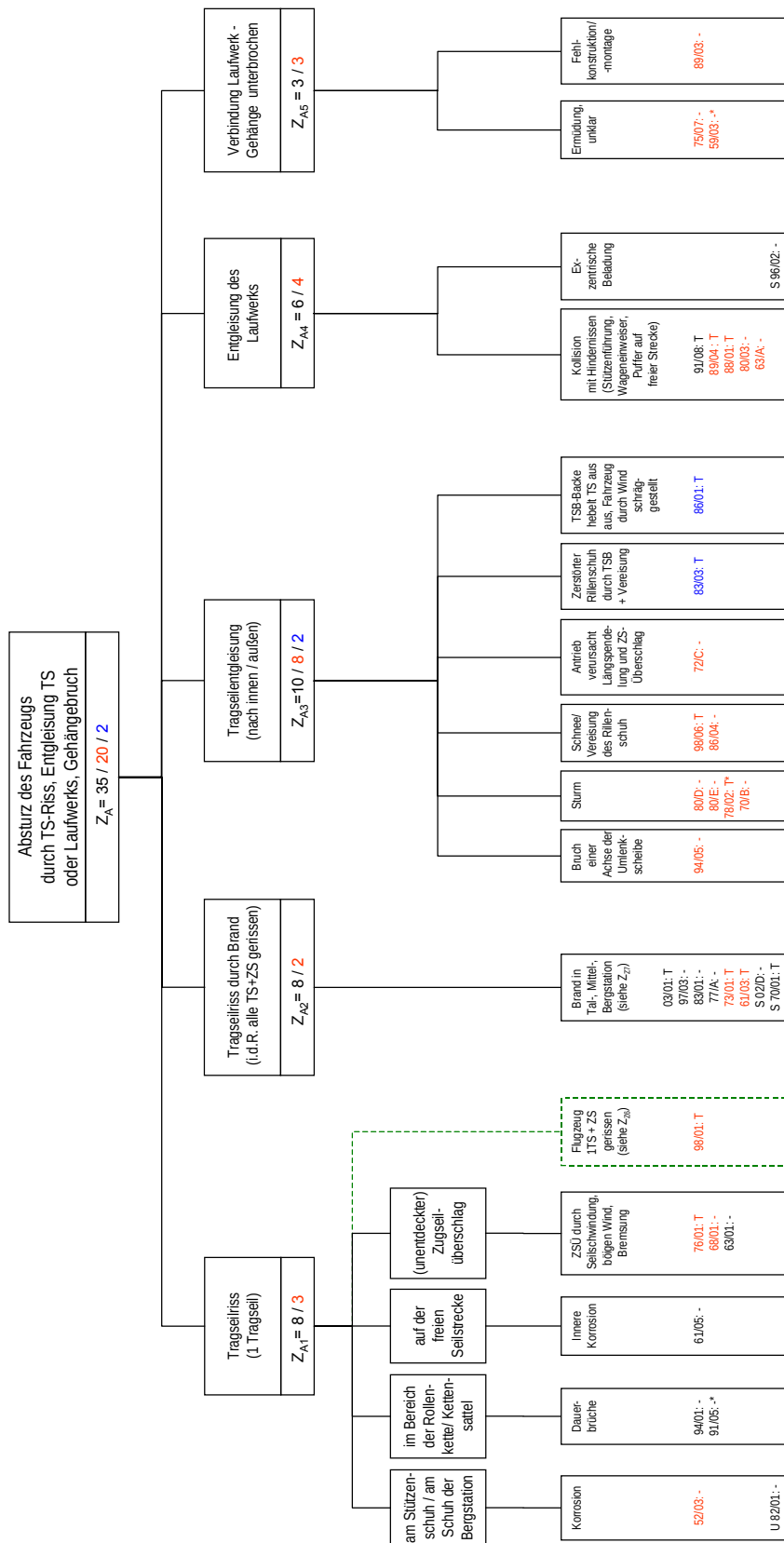
Anhang A3: Im Fehlerbaum eingetragene Ereignisse bei Standseilbahnen (S)

Fall Nr.	Gefährdungsart	Beschreibung des Gefährdungseignisses	Ursache
S 00/03	B	Brand der Wagen im Tunnel	Defekter Heizstrahler verursacht Brand (Hydrauliköl der Fangbremse begünstigt die Ausbreitung des Brandes)
S 02/D	A	Brand in Bergstation	Brandstiftung
S 00/02	Ü	Wagen prallt nach Stillstand und eingeleiteter Rückwärtsfahrt ungebremst gegen Stationspuffer	Bruch der Antriebswelle
S 96/02	A	Wagenentgleisung	Exzentrische Beladung des Wagens
S 96/03	Z	Zugseilriss	Seile abgenutzt, Überprüfung der Seile war überfällig
S 94/02	Ü	Standseilbahn fährt mit 8 m/s schneller als max. Betriebsgeschwindigkeit	Defekt eines Schaltrelais
S 93/05	Ü	Standseilbahnwagen fährt ungebremst in Station ein	Vermutlich Fehler in der Steuerung
S 91/04	T	fehlerhaftes Einfallen der Fangbremse durch Schlaffseilauslösung	Nothalt
S 82/05	Z	Zugseilriss, Fangbremswirkung nicht ausreichend	Wagen wurde zu weit in Station eingefahren
S 81/07	Z	Riss des Gegenseils, TSB-Wirkung ausreichend	Korrosion
S 79/H	Ü	Übergeschwindigkeit bei der Stationseinfahrt, Anprall in den Stationen	Sicherheitsbremse wurde bei Wartungsarbeiten geöffnet und blockiert, BB schließt nicht da SB als geschlossen erkannt wird
S 76/09	Ü	Wagen prallt gegen Stationspuffer	Technischer Defekt, Störung in der Steuerung

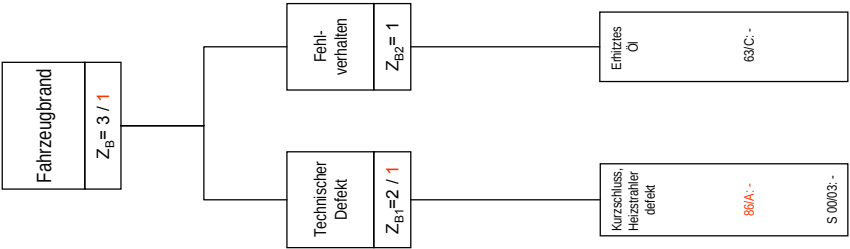
S 75/08	Ü	Unplanmäßige Fahrbewegung der Fahrzeuge, Wagenbegleiter löst Fangbremse aus	Vermutlich Fehler in der Steuerung
S 72/03	Z	Zugseilriss auf freier Strecke, Fangbremsen haben gewirkt	Innere Korrosion
S 70/01	Z/A	Zugseilriss infolge Stationsbrand, Fangbremsen wirken	Brand in der Station
S 61/01	Z	Zugseilriss am Vergusskopf, Fangbremse am Personenwagen wirkt	Korrosion
S 59/01	Z	Zugseilriss auf freier Strecke, Fangbremsen wirken	Innere Korrosion
S 56/01	Z	Zugseilriss am Vergusskopf, Fangbremse am oberen Wagen wirkt, unterer Wagen prallt auf Stationspuffer	Ermüdungsbruch (Biegeermüdung)
S 52/02	Z	Zugseilriss auf freier Strecke, Fangbremsen wirken	Innere Korrosion
S 09/01	Z	Zugseilriss auf freier Strecke, Fangbremse wirkt am oberen Wagen, unterer Wagen prallt auf Stationspuffer	Innere Korrosion

Anhang B: Fehlerbäume

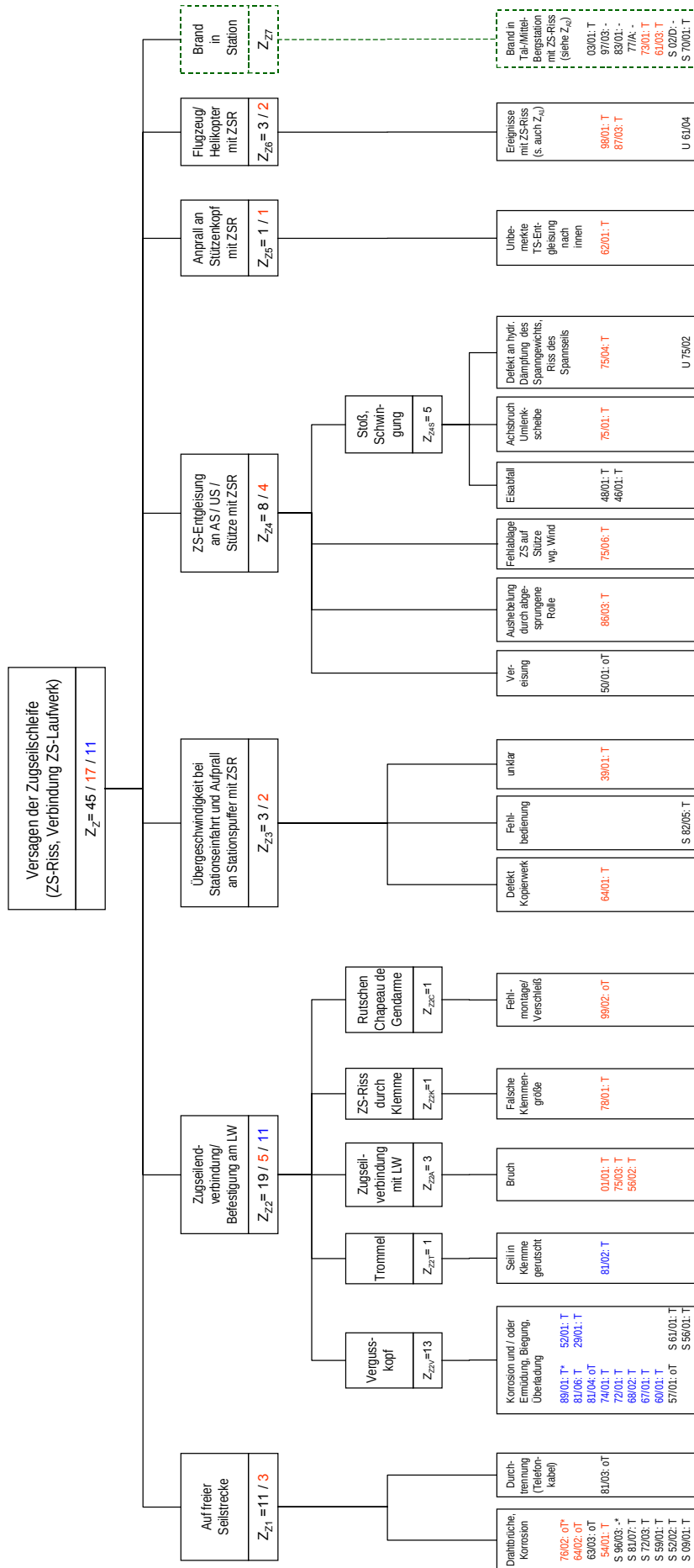




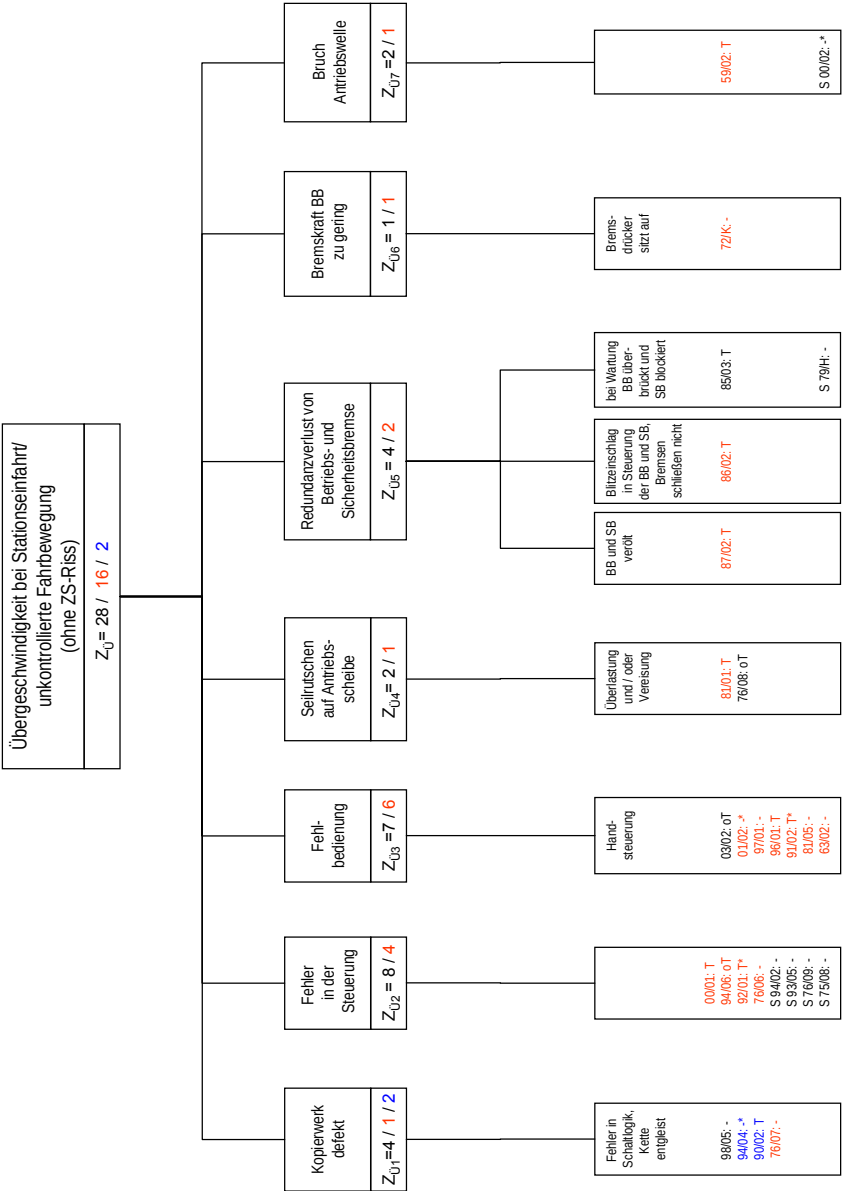
Anhang B2: Fehlerbaum für die Gefährdungsart: Absturz des Fahrzeugs durch TS-Riss, Tragseilentgleisung, Entgleisung des Laufwerks oder Verbindung Laufwerk/Gehänge unterbrochen



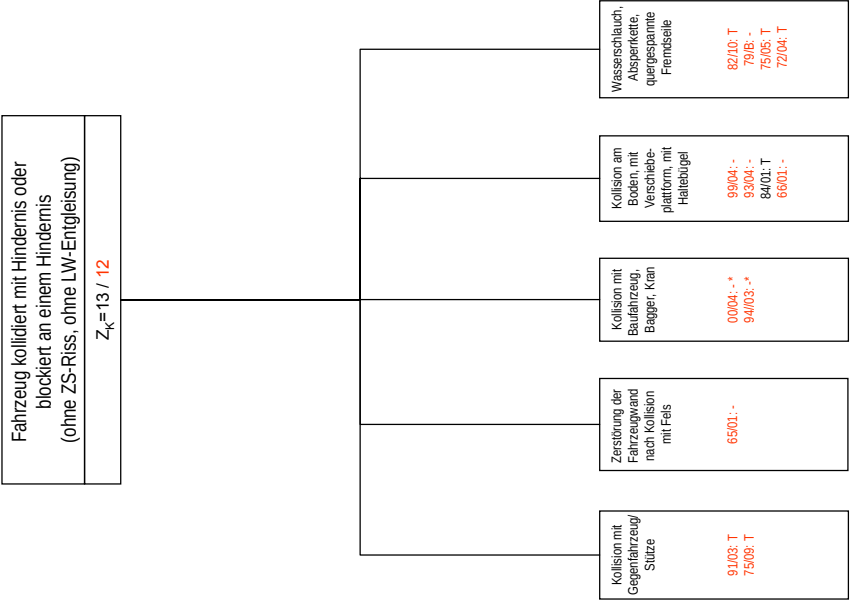
Anhang B3: Fehlerbaum für die Gefährdungsart Fahrzeugbrand



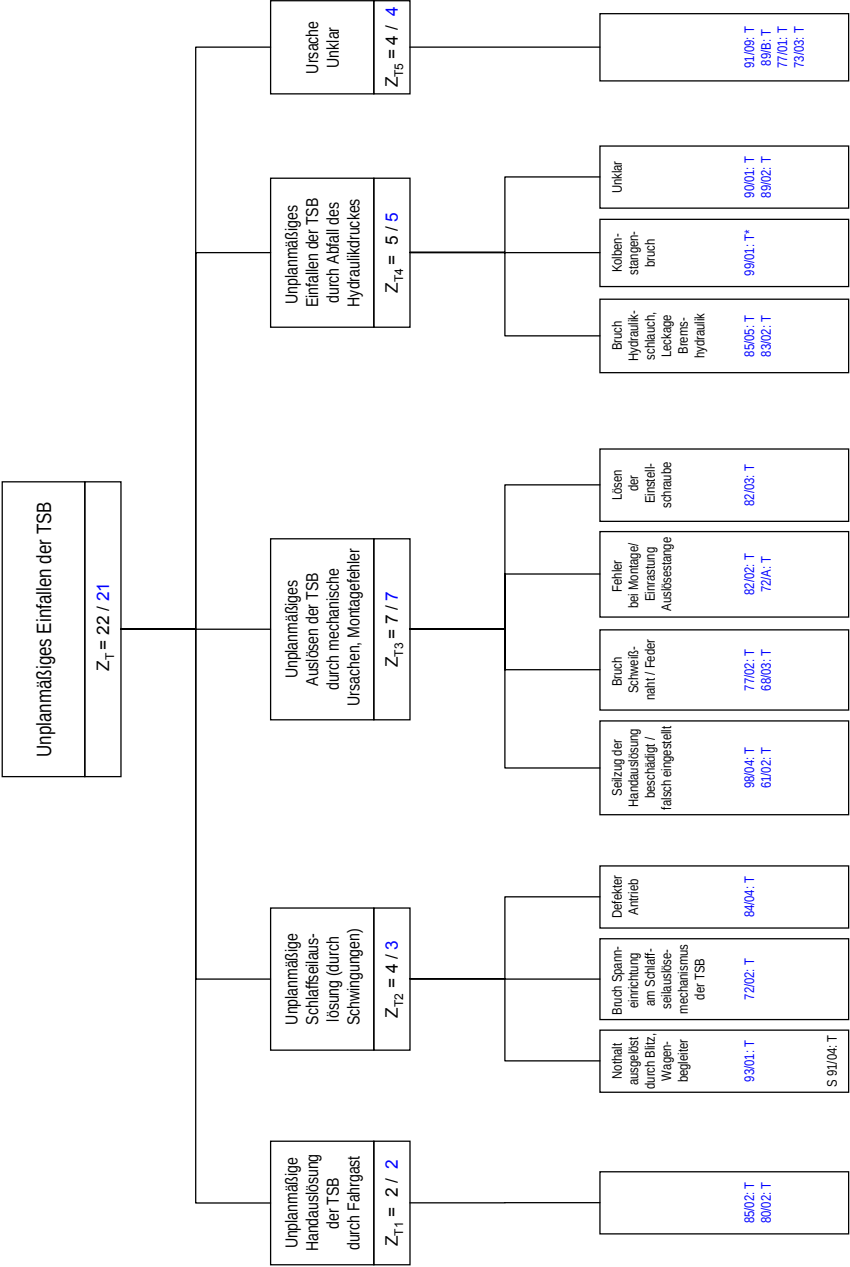
Anhang B4: Fehlerbaum für die Gefährdungsart Versagen der Zugseilschleife



Anhang B5: Fehlerbaum für die Gefährdungsart Übergeschwindigkeit bei der Stationseinfahrt / unkontrollierte Fahrbewegung ohne Zugseilriss



Anhang B6: Fehlerbaum für die Gefährdungsart Fahrzeug kollidiert mit Hindernis, blockiert an einem Hindernis ohne Zugseilriss und ohne Laufwerkseingleitung



Anhang B7: Fehlerbaum für die Gefährdungsart unplanmäßiges Einfallen der Tragseilbremse