

**TELEMATIK IM SCHIENENGÜTERVERKEHR**

ein konzeptionell-technischer Beitrag zur  
Steigerung der Sicherheit und Effektivität

vorgelegt von  
Diplom-Ingenieur Thomas Rieckenberg  
aus Berlin

Von der Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme –  
der Technischen Universität Berlin  
zur Erlangung des akademischen Grades  
– Dr.-Ing. –

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Siegmann  
Berichter: Prof. Dr.-Ing. Markus Hecht  
Berichter: Prof. Dr.-Ing. Peter Meinke

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 03.03 2004

Berlin 2004  
D 83

# Inhalt

<b>Verzeichnis der Abkürzungen</b> .....	<b>5</b>
<b>Länderkennzeichen</b> .....	<b>7</b>
<b>Verzeichnis der Abbildungen</b> .....	<b>8</b>
<b>Verzeichnis der Tabellen</b> .....	<b>14</b>
<b>Einführung</b> .....	<b>15</b>
<b>1 Kennzeichen der heutigen Situation des Schienengüterverkehrs</b> .....	<b>16</b>
1.1    Entwicklung der Anteile der Verkehrsträger am Güterverkehr am Beispiel von Deutschland und der EU	16
1.2    Wesentliche Ursachen der Verschiebung des Modal Split zu Gunsten des Lkw- Transports	20
1.2.1    Vereinheitlichung innerhalb der UIC	20
1.2.2    Transportgeschwindigkeit	21
1.2.3    Wartungs- und Instandhaltungsstrategie	22
<b>2 Nutzen von Telematiksystemen</b> .....	<b>24</b>
2.1    Logistik	24
2.1.1    Ständige Verfügbarkeit von örtlichen und zeitlichen Informationen	24
2.1.2    Betrugsprävention und -detektion	25
2.1.3    Künftiger Telematikeinsatz	25
2.2    Ladungsspezifischer Nutzen	26
2.2.1    Temperaturüberwachung konventioneller Transportgüter	26
2.2.2    Zustandsüberwachung von Gefahrgütern	27
2.2.3    Ladungsverschiebung	28
2.2.4    Diebstahlwarnung bzw. -prävention	28
2.2.5    Längsstoßüberwachung	29
2.3    Lauftechnisch sicherheitsrelevante Diagnose	30
2.3.1    Entgleisungsdetektion	30
2.3.2    Längsstoßüberwachung	31
2.3.3    Bremsanlage	31
2.3.4    Achslagerdiagnose	33
2.3.5    Radfehlerdiagnose	35
2.4    Instandhaltung	35
<b>3 Diagnose</b> .....	<b>37</b>
3.1    Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA)	37
3.1.1    Grundlagen	37

3.1.2	Nutzen für den Schienengüterverkehr am Beispiel des Gefahrguttransports	39
3.2	Erhöhung der Transportsicherheit	46
3.2.1	Entgleisungsdetektion	46
3.2.2	Ladungszustandsdiagnose	66
3.3	Erhöhung der Wagenverfügbarkeit	74
3.3.1	Zustandsbezogene Instandhaltung	74
3.3.2	Beispiele der zustandsbezogenen Instandhaltung aus der Praxis	76
<b>4</b>	<b>Konzept zur Einführung von Telematikanwendungen für den Schienengüterverkehr am Beispiel sicherheitsrelevanter Anwendungen.....</b>	<b>85</b>
4.1	Allgemein	85
4.2	Kommunikationsstruktur	86
4.2.1	Randbedingungen der Alarmierung	86
4.2.2	Derzeitiges Alarmierungskonzept bei Bahnen	88
4.2.3	Alternative Alarmierungsstrategien	91
4.2.4	Hardwaretechnische Betrachtungen der Kommunikation zwischen Wagen und Lokomotive	99
4.2.5	Nutzwertanalyse der Kommunikationssysteme Wagen-Lok	105
<b>5</b>	<b>Energieversorgungskonzepte.....</b>	<b>114</b>
5.1	Durchgehende elektrische Leitung	114
5.2	Energiespeicher	114
5.2.1	Batterie ohne Nachladung	114
5.2.2	Batterie mit Nachladung	115
5.3	Nutzwertanalyse	116
5.4	Praxisbeispiele	120
<b>6</b>	<b>Überlegungen zum Return-of-Investment bei Einsatz von Telematiksystemen.....</b>	<b>124</b>
6.1	Reduktion der Folgekosten einer Entgleisung durch Einsatz eines Telematiksystems mit Entgleisungsdetektor	124
6.2	Logistische Effekte	129
6.3	Reduktion ungeplanter Reparaturzeiten	131
6.4	Zusammenfassende Betrachtung der Wirtschaftlichkeit	132

<b>7 Zusammenfassung der Ergebnisse und Perspektiven .....</b>	<b>134</b>
<b>8 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>137</b>
<b>A Durchschnittliche Transportgeschwindigkeiten und Standzeiten auf der Strecke Gersthofen-Äänekoski .....</b>	<b>149</b>
<b>B Unfallbilder des Schienengüterverkehrs .....</b>	<b>151</b>
<b>C Eisenbahn-Entgleisungen.....</b>	<b>153</b>
<b>D Entgleisungsversuche .....</b>	<b>183</b>
Entgleisungsversuche Phase 1	183
Entgleisungsversuche Phase 2	186
<b>E Bremse .....</b>	<b>196</b>
Ablauf der vollständigen Bremsprobe	196
Bremsdiagnose	199
<b>F Disposition .....</b>	<b>200</b>
<b>G Ladegutüberwachung .....</b>	<b>201</b>
<b>H Kommunikationskonzept .....</b>	<b>202</b>
<b>I Energieversorgung.....</b>	<b>207</b>
<b>J Wirtschaftlichkeit.....</b>	<b>208</b>
<b>K Sonstiges .....</b>	<b>209</b>
Mechanischer Entgleisungsdetektor EDT 100	209
Temperatursensor Achslager	209
Typische Achslager-Schadensbilder im Schienenverkehr	210
<b>Index .....</b>	<b>211</b>

## Verzeichnis der Abkürzungen

### Allgemeine Abkürzungen

ATIS	Autarkes Telematik- und Informationssystem
BS	Beschleunigungssensor
DB AG	Deutsche Bahn AG
DMS	Dehnungsmessstreifen
DMT	Deutschen Montan Technologie GmbH
DS	Druckschrift der DB AG
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EU	Europäische Union
EVA	Eisenbahn Verkehrsmittel Gesellschaft AG (heute VTG Lehnkering AG)
FBOA	Festbrems-Ortungsanlagen
FIS	Fahrzeugflotten-Informationen-System
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
GSM-R	Global System for Mobile Communications – Rail
HOA	Heißläufer-Ortungsanlagen
HPI	Hoechst Procurement International
IfSBT	Informationssysteme für Schienenfahrzeuge auf Bus- bzw. Telematikbasis
k.A.	keine Angabe
KTT	Krupp Timtec Telematik
Lkw	Lastkraftwagen
ÖBB	Österreichische Bundesbahn
OKE	Oerlikon-Knorr-Eisenbahntechnik AG

## Verzeichnis der Abkürzungen

---

OTIF	Organisation intergouvernementale pour les transports internationaux ferroviaires (Zwischenstaatliche Organisation für den internationalen Eisenbahnverkehr)
PTB	Physikalisch Technische Bundesanstalt
PU	Polyurethan
RID	Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses (Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter)
SMS	Short Message Service
TEE	Trans Europa Express
TFE	Total Fina Elf
TS	Temperatursensor
TUIS	Transport Unfall Informations- und Hilfeleistungssystem
UIC	Union Internationale des Chemins de Fer
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UV	Unterverteilung
VTG	Vereinigte Tanklager und Transport GmbH (VTG Lehnkering AG)

## Länderkennzeichen

AGO	Angola	MMR	Burma
AUS	Australien	NL	Niederlande
AUT	Österreich	PAK	Pakistan
BEL	Belgien	PRT	Portugal
BRA	Brasilien	S	Schweden
CAN	Kanada	UK	Großbritannien
CHE	Schweiz	USA	Vereinigte Staaten von Amerika
CMR	Kamerun	ZAF	Süd-Afrika
CUB	Kuba		
CZE	Tschechische Republik		
DEU	Deutschland		
DK	Dänemark		
EL	Griechenland		
ESP	Spanien		
EU 15	Bezeichnung für die derzeitigen 15 EU Mitgliedsstaaten		
FIN	Finnland		
FRA	Frankreich		
IND	Indien		
IRL	Irland		
ITA	Italien		
JPN	Japan		
KEN	Kenia		
L	Luxemburg		
MEX	Mexiko		

## Verzeichnis der Abbildungen

Bild 1:	Güterverkehrsleistung Deutschlands in 1000 Mio. Tonnen (1955-2000).....	17
Bild 2:	Modal split der Güterverkehrsleistung in Deutschland in Prozent (1955-2000) .....	17
Bild 3:	Güterverkehrsleistung in Deutschland (1970 bis 1999).....	18
Bild 4:	Güterverkehrsleistung in Europa (1970 bis 1999) .....	18
Bild 5:	Modal split der Güterverkehrsleistung in Deutschland (1970 bis 1999).....	19
Bild 6:	Modal split der Güterverkehrsleistung in Europa (1970 bis 1999) .....	19
Bild 7:	Modal split der Güterverkehrsleistung sowie Länge des Schienennetzes der Mitgliedsstaaten der EU im Jahr 1999 .....	20
Bild 8:	Anteil der Transportleistungen der Verkehrsträger in der Europäischen Union im Jahr 1999 in verschiedenen Transportentfernungen (Summe aller prozentualen Entfernungen pro Verkehrsträger 100%) .....	22
Bild 9:	Zustandsräume der Bremsdiagnose [113] .....	32
Bild 10:	Aussagequalität der Heißläuferortungsanlagen der DB AG (1999) .....	34
Bild 11:	Methodisches Vorgehen innerhalb der Matrix-FMEA [113] .....	38
Bild 12:	Bewertung möglicher Ausfälle beim Kesselwagenaufbau [113] .....	41
Bild 13:	Bewertung des Nutzens der Diagnose mittels der FMEA am Beispiel von Kesselwagenaufbauten .....	45
Bild 14:	Bewertung des Nutzens der Diagnose mittels der FMEA am Beispiel von Kesselwagenlaufwerken .....	45
Bild 15:	Messzug der Entgleisungsversuche 1999 auf dem Werksgelände der Fa. Infaserv Hoechst [117].....	47
Bild 16:	Die Standardabweichung am Beispiel von der vertikalen Beschleunigung des Versuchskesselwagen im beladenen Zustand bei 37km/h [117].....	49
Bild 17:	Eignung der Messstellen der Phase I zur Entgleisungsdetektion [117] .....	49
Bild 18:	Kommunikationsstruktur der Datenmeldungen .....	53
Bild 19:	Systemerweiterung mit Subsystem für den Triaxialsensor .....	55
Bild 20:	Beispielhafter zeitlicher Verlauf der Triaxialbeschleunigung in Wagenmitte bei ca. 100 km/h.....	58
Bild 21:	Ausschnitt aus Bild 20 (links: 0,0 bis 2,0 Sekunden, rechts: 0,5 bis 2,5 Sekunden) .....	58
Bild 22:	Beispielhafter zeitlicher Verlauf der Triaxialbeschleunigung in Wagenmitte bei ca. 120 km/h.....	59

## Verzeichnis der Abbildungen

---

Bild 23:	Ausschnitt aus Bild 22 (links: 0,0 bis 2,0 Sekunden, rechts: 0,5 bis 2,5 Sekunden) .....	59
Bild 24:	Beispielhafter zeitlicher Verlauf der Triaxialbeschleunigung in Wagenmitte bei ca. 75 km/h .....	60
Bild 25:	Ausschnitt aus Bild 24 (links: 0,0 bis 2,0 Sekunden, rechts: 0,5 bis 2,5 Sekunden) .....	60
Bild 26:	Standardabweichungen des Chemiekesselwagens in Fahrzeuginnenrichtung als Funktion der Geschwindigkeit für verschiedene Auswertungsintervalle.....	61
Bild 27:	Standardabweichungen in Längsrichtung als Funktion der Geschwindigkeit des Chemiekesselwagens (für 0-2 sek. und 0.5-2.5 sek.-Intervall) .....	61
Bild 28:	Standardabweichungen in Vertikalrichtung als Funktion der Geschwindigkeit des Chemiekesselwagens.....	62
Bild 29:	Vergleich der Ergebnisse der Phase 1 mit den Messwerten des Chemiekesselwagens der Phase 2.....	63
Bild 30:	Vergleich der Ergebnisse der Phase 1 mit den Messwerten des Mineralölkesselwagens der Phase 2.....	64
Bild 31:	Vergleich der maximalen Standardabweichungen der Aufbaubeschleunigung bei unterschiedlichen Auswertungsintervallen des Chemiekesselwagens .....	65
Bild 32:	Vergleich der maximalen Standardabweichungen der Aufbaubeschleunigung bei unterschiedlichen Auswertungsintervallen des Mineralölkesselwagens .....	65
Bild 33:	Verlauf der Kesseltemperatur des Chemiekesselwagens während des Beobachtungszeitraums .....	67
Bild 34:	Verlauf der Drücke des Referenzsensors (oben) und des DMS (Mitte) bei der Kesseldruckprüfung sowie der berechneten Differenzen beider Messverfahren (unten).....	69
Bild 35:	Prinzipieller Messaufbau und Detailansicht des Einbaus des Differenz- (unten) und des Relativdrucksensors (oben).....	71
Bild 36:	Beispiel eines triaxialen Messdatensatzes bei $v=0$ km/h (Rangierstoß in der x-Achse) .....	72
Bild 37:	Überprüfung der Art der Anregung anhand der Fahrzeugposition (Pfeil) auf Plausibilität .....	72
Bild 38:	Prinzipielle Anordnung der Kraftmessung an den Achslagern eines Drehgestells [118].....	73
Bild 39 :	Zeitabhängiger Abnutzungsvorrat [nach DIN 31051].....	75
Bild 40:	Typischer Verlauf der Ausfallwahrscheinlichkeit einer Maschine während eines Wartungsintervalls (Badewannenkurve) [161].....	75

## Verzeichnis der Abbildungen

---

Bild 41:	Verlauf des fahrstreckenabhängigen Abnutzungsvorrats für die Baugruppen Motor, Getriebe, Verteiler-, Vorderachs-, Hinterachsgetriebe und allgemeine Wartungsarbeiten.....	81
Bild 42:	Aufbau des Fahrzeugmanagementsystems ruDi [95].....	82
Bild 43:	Wartungsfälligkeiten eines überwachten Fahrzeugs [95] .....	83
Bild 44:	Derzeitige Alarmierungswege in Deutschland.....	89
Bild 45:	Alarmierung mit Pulsationsbremsventil "Telematik now" .....	95
Bild 46:	Alarmierung mit Alarmierungszentrale .....	97
Bild 47:	GSM-Netzabdeckung bei überlagerter Abdeckung aller landesverfügbaren Netzbetreiber (Stand Nov. 2002) [142] .....	101
Bild 48:	Datenfunkreichweiten in Abhängigkeit der Abstrahlleistung und – frequenz .....	103
Bild 49:	Ergebnisse der Nutzwertanalyse der Kommunikationswege zwischen Lokomotive und Wagen (Details s. Bild 94 bis Bild 101) .....	112
Bild 50:	Gewichtungsfaktoren der Merkmale der Nutzwertanalyse der Telematikenergieversorgung .....	117
Bild 51:	Vergleich der Bewertungsfaktoren für die durchgehende Energieleitung und die Lösungen ohne Energie-Nachladung .....	117
Bild 52:	Vergleich der Bewertungsfaktoren des Windgenerators und der Solarzellen als Nachladetechniken .....	118
Bild 53:	Ergebnisse der Nutzwertanalyse der Energieversorgungskonzepte für Telematiksysteme.....	120
Bild 54:	Verlauf der Systemspannung des Chemiekesselwagens (7808 Datensätze) .....	121
Bild 55:	Verlauf der Systemspannung des Mineralölkesselwagens (4448 Datensätze) .....	121
Bild 56:	Verlauf der Systemspannung des Druckgaskesselwagens (930 Datensätze) .....	122
Bild 57:	Amortisationsdauern von Telematiksystemen mit Entgleisungsdetektion.....	128
Bild 58:	Repräsentative durchschnittliche Transportgeschwindigkeiten des Chemiekesselwagens [74].....	149
Bild 59:	Repräsentative Standzeiten des Chemiekesselwagens [74].....	150
Bild 60:	Kesselwagen nach einer Entgleisung bei langsamer Fahrt (2002).....	151
Bild 61:	Bahnhof Zürich-Affoltern nach der Entgleisung eines mit Benzin beladenen Güterzugs (08.03.1994) .....	151

## Verzeichnis der Abbildungen

---

Bild 62:	Zugunglück in Wampersdorf infolge Bremsdefekt (mangelhafte Bremsprobe) am 26.02.2002 [150] .....	152
Bild 63:	Gleissperre .....	183
Bild 64:	Anordnung der Wegsensoren am entgleisenden Kesselwagen .....	183
Bild 65:	Anordnung der Beschleunigungssensoren am entgleisenden Kesselwagen .....	184
Bild 66:	Zustand nach der Entgleisung bei 43 km/h und leerem Kesselwagen.....	184
Bild 67:	Überpufferung bei Versuchen mit beladenem Kesselwagen.....	185
Bild 68:	Chemiekesselwagen (Wg.-Nr. 34 80 787 3 442-6).....	186
Bild 69:	Mineralölkesselwagen (Wg.-Nr. 33 80 784 5 756-5) .....	187
Bild 70:	Druckgaskesselwagen (Wg.-Nr. 33 80 791 7 665-1).....	188
Bild 71:	Versuchs-Chemiekesselwagen.....	189
Bild 72:	Versuchs-Mineralölkesselwagen.....	189
Bild 73:	Versuchs-Druckgaskesselwagen.....	190
Bild 74:	ATIS (links) und Batteriekasten (rechts) des Druckgaswagens.....	190
Bild 75:	GPS/GSM (links) und Solarpaneel (rechts) des Druckgaswagens .....	190
Bild 76:	Batterietrennschalter (rechts) und Hinweisdreieck (links) an der Bremserbühne des Mineralölwagens.....	190
Bild 77:	Ultraschall- (oben), Beschleunigungs- (Mitte) und Temperatursensor (unten) am Drehgestell des Druckgaswagens.....	190
Bild 78:	Piezoelektrischer Beschleunigungssensor zur Achslagerdiagnose des Druckgaswagens .....	191
Bild 79:	Standardabweichungen des Chemiekesselwagens in Längsrichtung als Funktion der Geschwindigkeit für verschiedene Auswertungsintervalle.....	191
Bild 80:	Standardabweichungen des Chemiekesselwagens in Querrichtung als Funktion der Geschwindigkeit für verschiedene Auswertungsintervalle .....	192
Bild 81:	Standardabweichungen des Chemiekesselwagens in Vertikalrichtung als Funktion der Geschwindigkeit für verschiedene Auswertungsintervalle.....	192
Bild 82:	Standardabweichungen des Mineralölkesselwagens in Längsrichtung als Funktion der Geschwindigkeit für verschiedene Auswertungsintervalle.....	193
Bild 83:	Standardabweichungen des Mineralölkesselwagens in Längsrichtung als Funktion der Geschwindigkeit (Messintervall: 2-Sekunden).....	193

## Verzeichnis der Abbildungen

---

Bild 84:	Standardabweichungen des Mineralölkesselwagens in Querrichtung als Funktion der Geschwindigkeit für verschiedene Auswertungsintervalle.....	194
Bild 85:	Standardabweichungen des Mineralölkesselwagens in Querrichtung als Funktion der Geschwindigkeit (Messintervall: 2-Sekunden).....	194
Bild 86:	Standardabweichungen des Mineralölkesselwagens in Vertikalrichtung als Funktion der Geschwindigkeit für verschiedene Auswertungsintervalle.....	195
Bild 87:	Standardabweichungen des Mineralölkesselwagens in Vertikalrichtung als Funktion der Geschwindigkeit (Messintervall: 2-Sekunden).....	195
Bild 88:	Vorschlag einer Diagnose des Bremsklotzes mit elektrischen Kontakten .....	199
Bild 89:	Schematische Meldungsstruktur eines Telematiksystems zur Fahrplanverfolgung [175].....	200
Bild 90:	Einbauort des Kesseltemperatursensors am Chemiekesselwagen Blick auf die Kesselseite) .....	201
Bild 91:	Messstelle für die Druckmessung des Kesselinnendruckes am Kesselzylinder oberhalb des Sattelblechs.....	201
Bild 92:	Einbauort des Referenzsensors zur Überprüfung des Kesselinnendruckes.....	201
Bild 93:	Gewichtung der Sublevelmerkmale im Überblick .....	202
Bild 94:	Ergebnis der Nutzwertanalyse des Drahtbus-Systems im Vergleich zur "Ideallösung".....	202
Bild 95:	Ergebnis der Nutzwertanalyse des Terrestrischen Funk-Systems auf GSM-Basis im Vergleich zur "Ideallösung".....	203
Bild 96:	Ergebnis der Nutzwertanalyse des Terrestrischen-Funksystems auf GSM-R-Basis im Vergleich zur "Ideallösung".....	203
Bild 97:	Ergebnis der Nutzwertanalyse des Satellitenfunk-Systems im Vergleich zur "Ideallösung".....	204
Bild 98:	Ergebnis der Nutzwertanalyse des Funk-Zug-Bus-Systems im Vergleich zur "Ideallösung" .....	204
Bild 99:	Ergebnis der Nutzwertanalyse des Providers-Systems im Vergleich zur "Ideallösung".....	205
Bild 100:	Ergebnis der Nutzwertanalyse des Signalmodulationssystems im Vergleich zur "Ideallösung" .....	205
Bild 101:	Ergebnis der Nutzwertanalyse des rein pneumatischen Entgleisungsdetektionssystems im Vergleich zur "Ideallösung" .....	206
Bild 102:	Solarpaneel des Chemiekesselwagens .....	207
Bild 103:	Solarpaneel des Mineralölkesselwagens .....	207

## Verzeichnis der Abbildungen

---

Bild 104:	Jährliche Durchschnittslaufleistung und Spanne der Laufleistung (1998).....	208
Bild 105:	Mechanischer Entgleisungsdetektor der Fa. Knorr-Bremse .....	209
Bild 106:	Beispiel eines Pt1000-Temperatursensors zum Einbau im Achslager.....	209

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Vorgeschlagene Werte für menschliche Fehlerraten [118].....	21
Tabelle 2:	Überblick über die messtechnische Ausstattung der Versuchswagen.....	54
Tabelle 3:	Für verschiedene Auswertungsintervalle an drei Datensatz beispielhaft berechnete Standardabweichungen .....	57
Tabelle 4:	Vergleich der gemessenen maximalen Standardabweichungen aller Kesselwagen .....	64
Tabelle 5:	Überblick über derzeit realisierte Funkbus-Systeme im Schienengüterverkehr.....	104
Tabelle 6:	Nutzwertanalyse verschiedener Kommunikationsstrukturen für prioritäre Notfälle während der Fahrt.....	111
Tabelle 7:	Nutzwertanalyse Energieversorgung der autarken Telematiksysteme .....	119
Tabelle 8:	Bestand der Drehgestell-Güterwagen der DB AG im Jahr 1998 [83], [87] 125	
Tabelle 9:	Mittlere jährliche Laufleistungen je Hauptwagengattung und Spanne der jährlichen Laufleistung [83] .....	125
Tabelle 10:	Laufleistungen der Wagengattungen (Einzelbetrachtung und alle Wagen einer Gattung) .....	127
Tabelle 11:	Berechnung der Amortisationszeit von Telematiksystemen mit Entgleisungsdetektor für unterschiedliche Wagengattungen .....	127
Tabelle 12:	Kosten eines ungeplanten Wagenausfalls .....	132
Tabelle 13:	Entgleisungsunfälle im Schienenverkehr .....	153
Tabelle 14:	Ablauf der vollständigen Bremsprobe bei Güterwagen nach [162].....	196
Tabelle 15:	Typische Pittingschäden unterschiedlicher Stärke am Außenring der Achslager des ICE-1 (BR 401).....	210

## Einführung

Der Anteil des Schienengüterverkehrs der europäischen und insbesondere auch der deutschen Transportleistung sinkt von Jahr zu Jahr. Dennoch favorisieren die Bahnen Europas speziell lukrative Ganzzugverkehre, die Kostendeckung und Wirtschaftlichkeit versprechen und überlassen den Einzelwagenverkehr zunehmend dem Lastwagen.

Der größte Konkurrent der Eisenbahn, der Lastwagen, jedoch bietet seinen Kunden die Transportoption an, von der sich die Eisenbahnen wegen angeblicher Unwirtschaftlichkeit zurückgezogen haben, den „Wagenladungsverkehr“ auf der Straße.

Es wird anhand der verschiedensten Bereiche gezeigt, dass mit Hilfe von Telematik sowohl der Transport auf der Schiene effektiver, zuverlässiger, schneller und preiswerter gestaltet werden kann als auch dass außerdem eine Erhöhung der Transportsicherheit durch Einsatz wenig aufwändiger Diagnosetechnik erreicht wird, die heute nicht einmal ansatzweise durch die der Bahn eigene aufwändige vorbeugende Instandhaltung erreicht wird.

Kernmerkmal eines Telematiksystems ist die Fähigkeit, sensorische Daten zu empfangen, diese zu bearbeiten und anschließend weiterzuleiten bzw. zu handeln. Die wichtigste Funktionalität dabei ist die Bestimmung des eigenen Ortes durch Nutzung des frei verfügbaren GPS-Systems und die onboard-Überprüfung des eigenen Fahrplans. Für diese Information sind Spediteure, je nach Ladegut, bereit die Kosten eines Telematiksystems zu tragen, da sie auf diese Weise die Fahrzeugdisposition verbessern und Transportkosten sparen können.

Bei geeigneter Systemauslegung können ladegutspezifische Sensoren an das Telematiksystem angeschlossen werden, die den korrekten Transport (z.B. Einhaltung der Kühlkette, Stoßbelastung usw.) überwachen.

Eine künftig unabdingbare Funktion wird, nach dem die Machbarkeit durch Versuche der TU Berlin nachgewiesen wurde, die ständige Überwachung eines Güterwagens auf eine eventuell aufgetretene Entgleisung sein. Diese ist, abgesehen von der Versorgung der Telematiksysteme mit elektrischer Energie und der derzeit noch ungeklärten Alarmierstrecke vom Wagen zur Lok, an Bord des Wagens einfach und preiswert zu realisieren.

Im Verlauf der Arbeit werden weitere, teilweise sicherheitsrelevante, Zusatzfunktionalitäten in Hinblick auf den Übergang der derzeit verfolgten vorbeugenden zur zustandsbezogenen Instandhaltung vorgestellt und ihre Realisierbarkeit im Schienengüterverkehr demonstriert.

Die nach Abschluss der Forschungsergebnisse, die in diesem Rahmen vorgestellt werden, offene Frage ist die Alarmierungsstrategie bei Schadenseintritt. Dieser Frage wird konzeptionell, untermauert durch Ergebnisse parallel laufender Forschungsvorhaben belegt, nachgegangen und Perspektiven für eine zügige Umsetzung eröffnet.

# 1 Kennzeichen der heutigen Situation des Schienengüterverkehrs

## 1.1 Entwicklung der Anteile der Verkehrsträger am Güterverkehr am Beispiel von Deutschland und der EU

Die Betrachtung der Verteilung der Anteile der Transportleistung der Verkehrsträger am Güterverkehr zeigt seit Jahren eine stetige prozentuale Reduzierung des Schienengüterverkehrs am Gesamtmarkt trotz annähernd gleich bleibender absoluten Transportleistung des Schienengüterverkehrs.

Ursächlich hierfür ist ein stark wachsender Markt, der jedoch den Verkehrsträger Schiene weitgehend meidet und statt dessen andere Verkehrsträger bevorzugt; hier ist in erster Linie der Lastkraftwagen zu nennen, der aufgrund seiner hohen Flexibilität in der Fläche, seiner Regulierungsfreiheit und hohen Durchschnittsgeschwindigkeit der größte Konkurrent des Schienengüterverkehrs ist (siehe auch Kapitel 1.2).

Dieser Trend wird besonders deutlich, wenn man den Blick auf die Zahlen des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen für Deutschland lenkt (Bild 1 und Bild 2).

Während die gesamte Transportleistung auf Basis der Zahlen von 1960<sup>1</sup> um den Faktor 3,5 wuchs, sank der prozentuale Anteil des Schienengüterverkehrs um 60% auf derzeit ca. 15%.[77] Dies belegt, dass das Wachstum des Transportmarktes an der Eisenbahn vorbeigegangen ist und dass der Gewinner dieser Marktentwicklung der Lastwagen war und ist.

Der direkte Vergleich der Zeitreihen sowohl der Güterverkehrsleistung als auch des Modal splits der Güterverkehrsleistung Deutschlands [77] und Europas [94] im Zeitraum zwischen 1970 und 1999 zeigt eine auffallend konforme Entwicklung Deutschlands im europäischen Rahmen (s. Bild 3 bis Bild 6). Auffallend dabei ist, dass der absolute Anteil der Schienengüterverkehrsleistung in Deutschland während des Betrachtungszeitraums entgegen des europäischen Trends auf geringem Niveau stabil blieb, der Modal split aber dem europäischen Abwärtstrend folgte und auf gleichem Niveau liegt.

Besonders interessant wird jedoch die Betrachtung des Modal splits innerhalb der 15 EU Mitgliedsstaaten (s. Bild 7).

Die Graphik macht deutlich, dass insbesondere Deutschland mit dem längsten Eisenbahnnetz innerhalb der EU<sup>2</sup> nur einen absolut durchschnittlichen Anteil am Schienengüterverkehr besitzt.

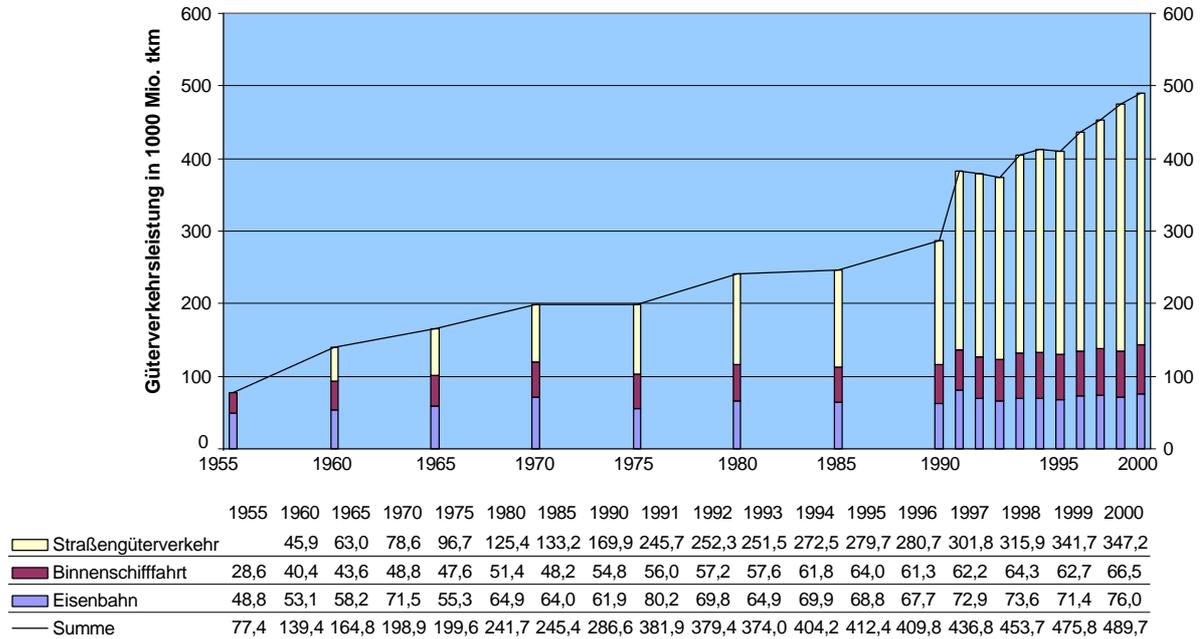
Hier entsteht ein verkehrspolitischer Teufelskreis, der zu immer stärker steigendem Lkw-Verkehr und zu einem ständig sinkenden Eisenbahn-Güterverkehrs-Anteil führt. Durchbro-

---

<sup>1</sup> Für das Jahr 1955 liegen für den Straßengüterverkehr keine gesicherten Zahlen vor

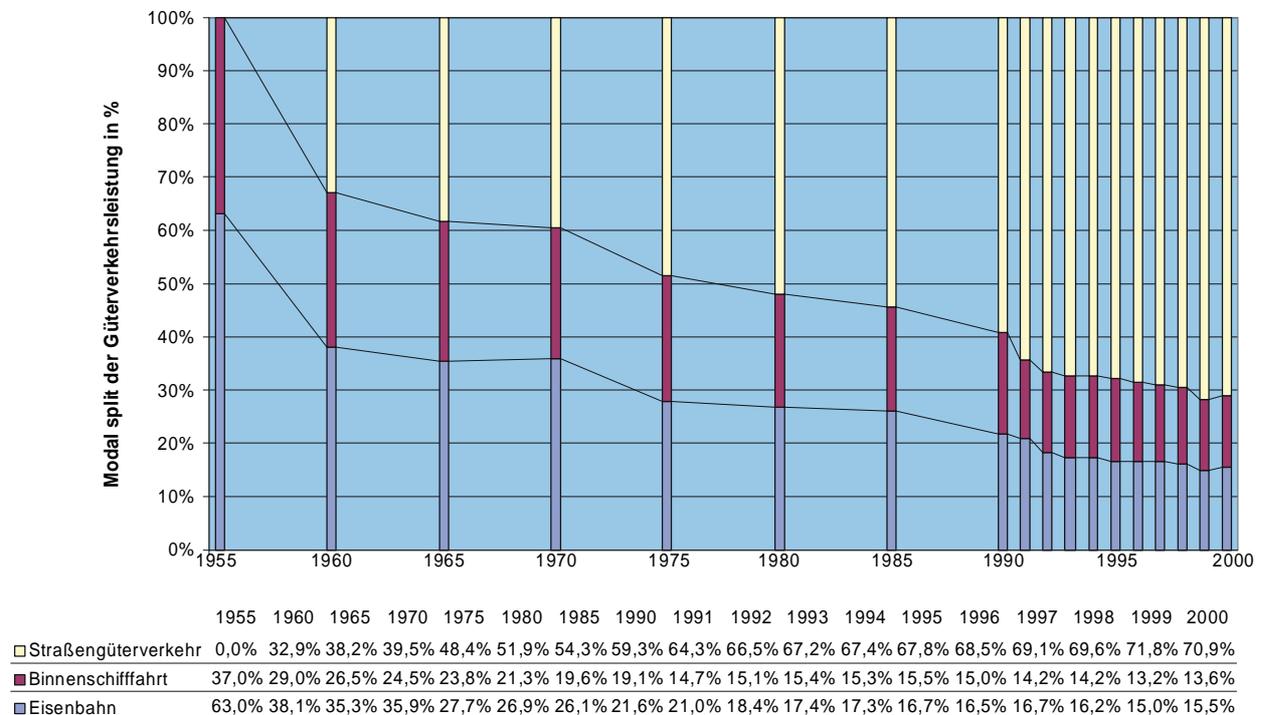
<sup>2</sup> Das deutsche Streckennetz ist fast viermal so lang wie der Durchschnitt der Europäischen Union.

chen werden kann dieser Kreislauf nur, indem das Angebot des Schienengüterverkehrs viel stärker modernisiert und auf die Bedürfnisse der Spediteure angepasst wird.



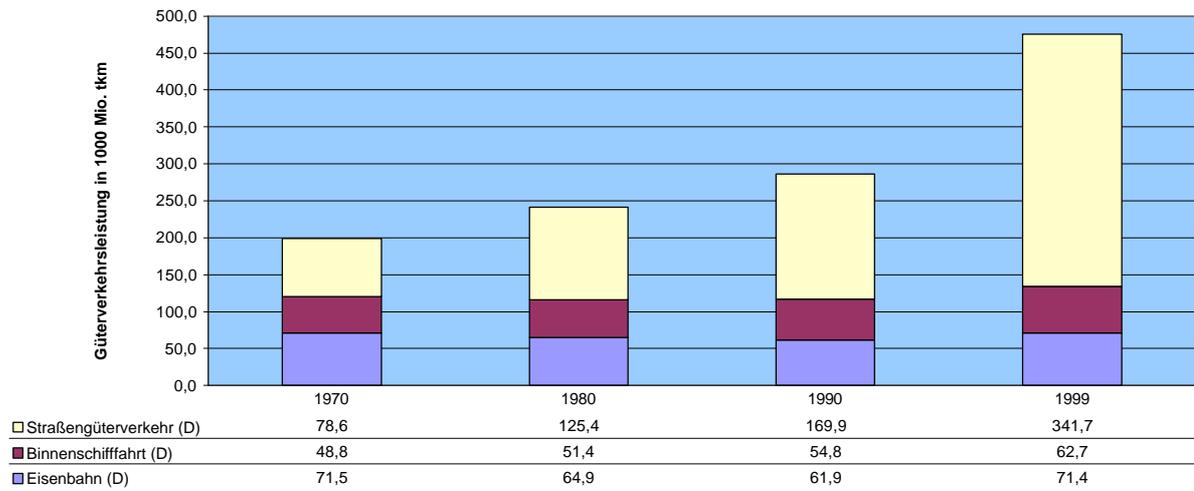
**Bild 1: Güterverkehrsleistung Deutschlands in 1000 Mio. Tonnen (1955-2000)**

Quelle: Eigene Darstellung nach [77]



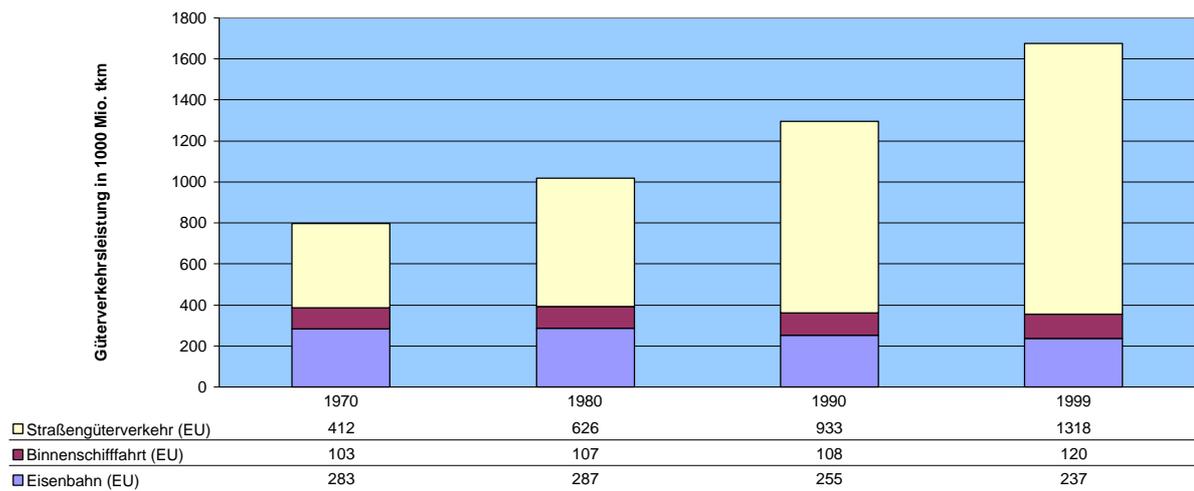
**Bild 2: Modal split der Güterverkehrsleistung in Deutschland in Prozent (1955-2000)**

Quelle: Eigene Darstellung nach [77]



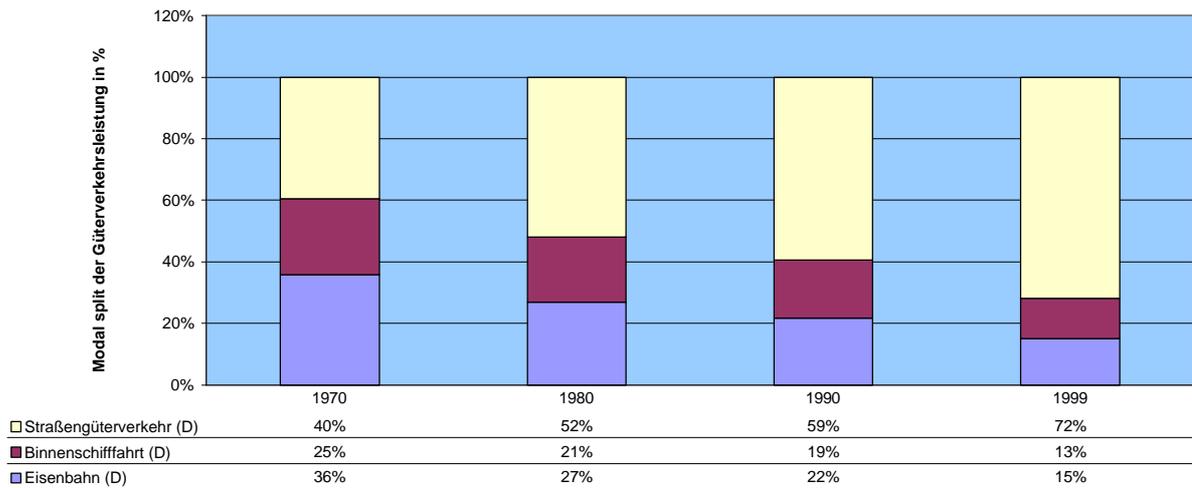
**Bild 3: Güterverkehrsleistung in Deutschland (1970 bis 1999)**

Quelle: Eigene Darstellung nach [77]



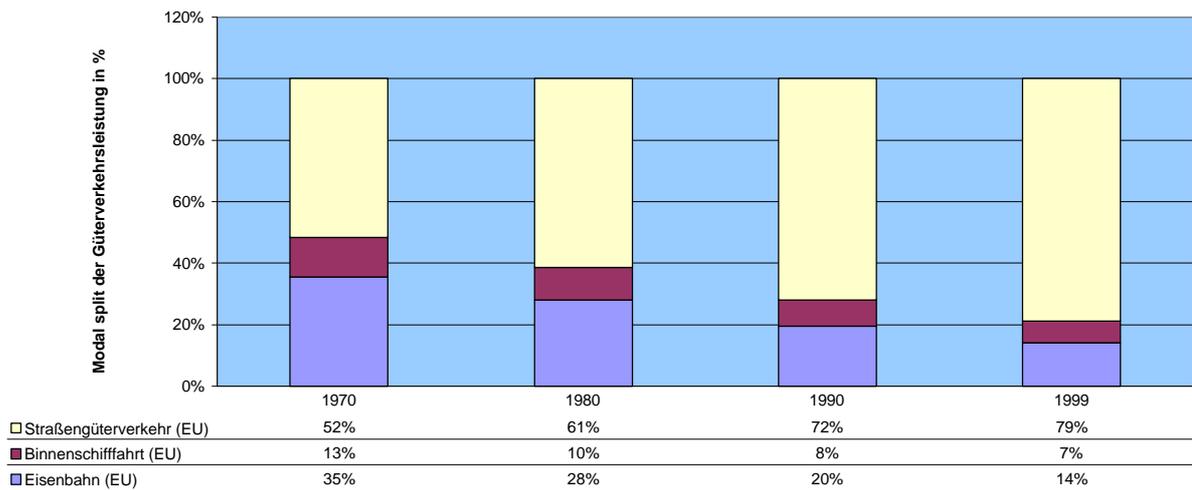
**Bild 4: Güterverkehrsleistung in Europa (1970 bis 1999)**

Quelle: Eigene Darstellung nach [94]



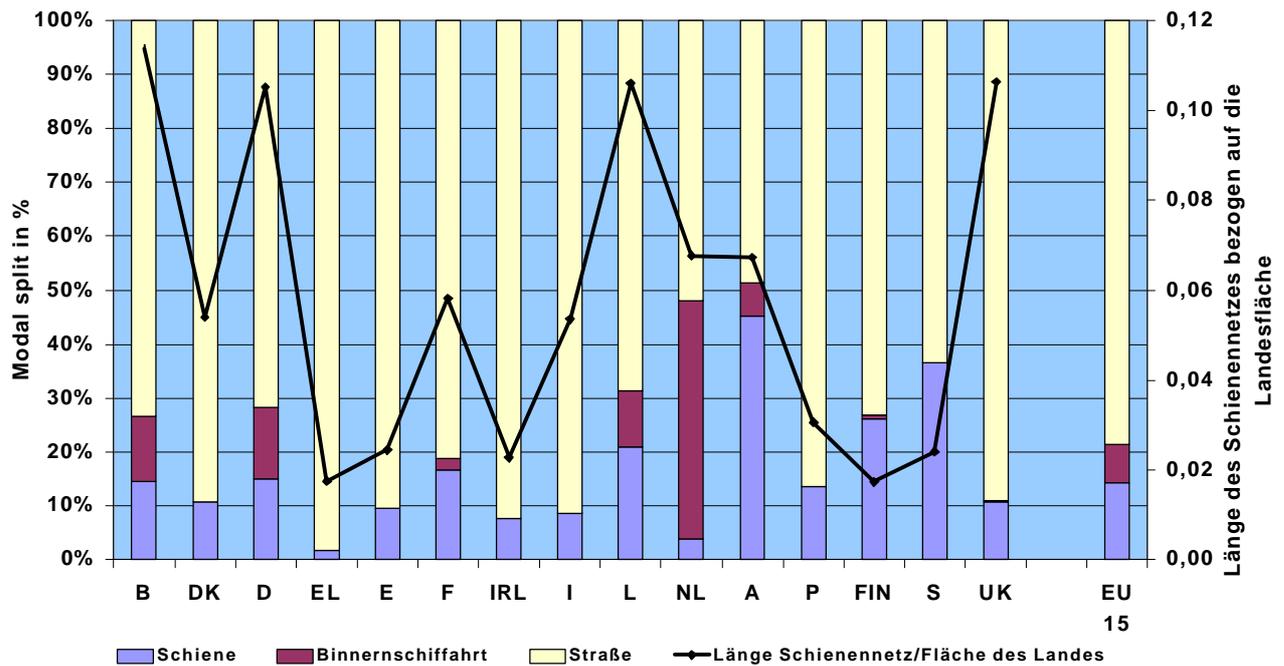
**Bild 5: Modal split der Güterverkehrsleistung in Deutschland (1970 bis 1999)**

Quelle: Eigene Darstellung nach [77]



**Bild 6: Modal split der Güterverkehrsleistung in Europa (1970 bis 1999)**

Quelle: Eigene Darstellung nach [94]



**Bild 7: Modal split der Güterverkehrsleistung sowie Länge des Schienennetzes der Mitgliedsstaaten der EU im Jahr 1999**

Quelle: Eigene Darstellung nach [94]

## 1.2 Wesentliche Ursachen der Verschiebung des Modal Split zu Gunsten des Lkw-Transports

### 1.2.1 Vereinheitlichung innerhalb der UIC

Die Verständigung aller Bahnen auf einen geringen technischen Standard als gemeinsamen kleinsten Nenner steht dem technischen Fortschritt im Weg, da alle neuen Lösungen zu dem geringen Standard kompatibel sein müssen. Als Beispiel ist hier an erster Stelle zu nennen, dass die Mehrzahl aller Güterwagen bis heute über keine elektrische Energie verfügen und somit selbst einfache elektrische Steuerungs- und Regelungsaufgaben nicht möglich sind. Die Einführung von Diagnosetechniken des aktuellen technischen Stands setzt aber eine, zumindest zeitweise vorhandene, leistungsfähige elektrische Versorgung für elektrische Sensoren und ein Computersystem voraus. Mit Hilfe von Diagnosetechniken ließen sich einige erhebliche Betriebsrisiken minimieren, die immer wieder zu Unfällen führen (siehe auch Kapitel 2.3).

Als Beispiel sei die automatisierte elektronische Bremsprobe erwähnt, die den Unsicherheitsfaktor Mensch vor Fahrtantritt ausschließen kann. Im Allgemeinen gilt der Lokführer als wichtigstes Element in der Kette der Sicherheit, obwohl er in statistischem Sinn mit Fehlerraten zwischen 10 pro 10 (=1) bis 2 pro 1000 (Fehlhandlungen pro Handlung) je nach Schwierigkeitsniveau und Belastung eher als schlechtestes Glied einzustufen ist [166], [119]; Details zeigt Tabelle 1.

**Tabelle 1: Vorgeschlagene Werte für menschliche Fehlerraten [119]**

zu erwartende Anzahl von menschlichen Fehlern  
pro Anzahl von Handlungen

Menschliche Ver- haltensebene	günstige Umweltbedingungen			ungünstige Umweltbedingungen		
	Stress durch Unterforderung	optimales Stressniveau	Stress durch Überforderung	Stress durch Unterforderung	optimales Stressniveau	Stress durch Überforderung
fertigkeitsbasierend	2/1000	1/1000	2/1000	10/1000	5/1000	10/1000
regelbasiert	2/100	1/100	2/100	10/100	5/100	10/100
wissensbasiert	2/10	1/10	5/10	10/10	5/10	10/10

Zusätzlich sei auf die Option verwiesen, die Fahrwerke eines Wagens ständig auf Schäden und Unregelmäßigkeiten zu untersuchen und so zu einem sicheren Betrieb beizutragen; bei letzterem Punkt ist in erster Linie auf die Diagnosemöglichkeit von Entgleisungen und Achslagerschäden zu verweisen.

### 1.2.2 Transportgeschwindigkeit

Als weiteres Kernproblem stellt sich die mittlere Transportgeschwindigkeit dar, die mit der freien Zugbildungsfähigkeit eng verbunden ist.

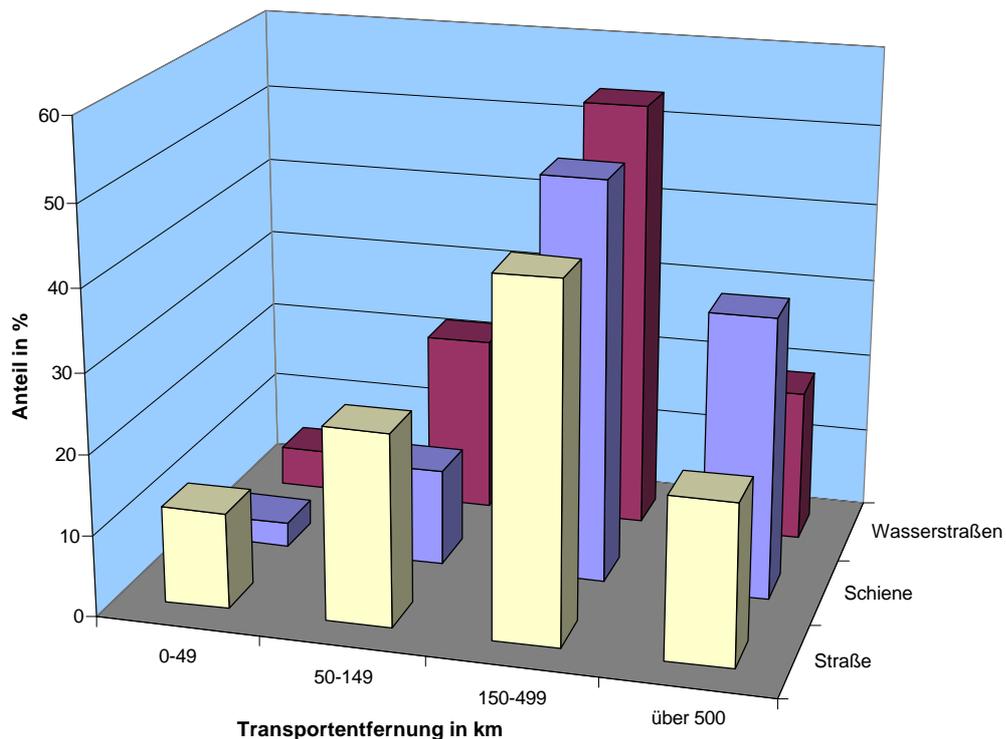
Ca. 30% der Güterwagen werden heutzutage im Einzelwagenverkehr befördert; dabei werden ca. 50% der Erlöse der Deutschen Bahn in diesem Sektor gewonnen [184]. Einzelwagenverkehr bedeutet, dass Kunden in ihrem Gleisanschluss Wagen beladen und diese von einem Eisenbahnunternehmen in zeitlich festgelegten Rhythmus, teilweise Stunden oder Tage später, abholt und zum nächsten Rangierbahnhof transportiert werden (siehe Praxisbeispiel auf Bild 59 auf Seite 150 im Anhang).

Hierbei entstehen erstmals erhebliche Zeitnachteile im Vergleich zum direkten Konkurrenten, dem Lastwagen, der direkt nach der Beladung seine Fahrt antreten kann [183].

Weitere Systemnachteile des Systems Eisenbahn liegen zum einen in der Zugzusammenstellung im Rangierbahnhof, wo bis zur Ausfahrt des neu gebildeten Zuges weitere Stunden vergehen können, in denen der Lastwagen bereits in Richtung Kunden unterwegs ist (siehe auch Bild 59); selbst hohe Geschwindigkeiten nach Ausfahrt des Zuges aus dem Rangierbahnhof können dieses Zeitdefizit nicht wieder aufholen. Nach Einschätzung der Europäischen Kommission [162] und nach eigenen Untersuchungen [74] liegt die mittlere Geschwindigkeit des Schienengüterverkehrs bei ca. 15 bis 18 km/h (s. auch Bild 58 auf Seite 149 im Anhang) während nach Aussagen von Speditionen die Durchschnittsgeschwindigkeit von Lastwagen auf Langstreckentransporten ca. 50 bis 60 km/h beträgt.

Zum Anderen ist das Schienennetz für Spediteure trotz seiner Länge und vielen Anschlussgleise aufgrund der Netz- und Betriebsstruktur so uninteressant ist, dass dem Lkw immer häufiger der Vorzug gegeben wird, was sicherlich auch durch eine mangelhafte Bedienung der Gleisanschlussstellen verursacht ist.

Bild 8 zeigt einen Vergleich der Transportleistungen innerhalb der EU der verschiedenen landgebundenen Verkehrsträger. Sehr deutlich wird hier vor allem, dass die Bahnen in demselben Entfernungsbereich (150 bis 499 km) mit dem Lastwagen und dem Binnenschiff konkurrieren, jedoch wie ausgeführt, erhebliche systemimmanente Hindernisse besitzen, und somit besonders dem Lastwagen aufgrund der äußerst geringen mittleren Transportgeschwindigkeit unterlegen sind [94].



**Bild 8:** Anteil der Transportleistungen der Verkehrsträger in der Europäischen Union im Jahr 1999 in verschiedenen Transportentfernungen (Summe aller prozentualen Entfernungen pro Verkehrsträger 100%)

Quelle: Eigene Darstellung nach [94]

### 1.2.3 Wartungs- und Instandhaltungsstrategie

Weiter steht einem Wachstum des Schienengüterverkehrs die heutige Wartungs- und Instandhaltungsstrategie entgegen.

Die Wartungsstrategie des Schienengüterverkehrs orientiert sich dabei weitgehend an Techniken und Zuständen wie zu Beginn des Eisenbahnverkehrs als die Technik nur durch häufi-

ge manuelle Inspektionen in betriebsfähigem und sicherem Zustand zu halten war. Hierzu wurden anfangs nach Erfahrung und später nach verbesserten Berechnungsmethoden Fristen festgelegt, nach denen Wagen, Baugruppen oder Bauteile zu untersuchen und ggf. zu reparieren waren. Dieses Konzept der Fristwartung bzw. der zeitbezogenen Instandhaltung setzt voraus, dass die Revisionsfristen eher erreicht werden als ein Schaden an einem Bauteil auftritt und ist damit eine vorbeugende Strategie. Um eine möglichst hohe Betriebssicherheit zu erreichen ist demnach der Zielkonflikt zwischen einer gewünschten möglichst hohen betrieblichen Verfügbarkeit des Rollmaterials und einer möglichst hundertprozentigen Sicherheit vor Bauteilversagen zu lösen. Da jedoch die Sicherheit vorrangig zu bewerten ist, werden die Fristen, sicherheitsrelevanter Baugruppen absichtlich kürzer gewählt; jedoch ist bei dem System der Fristwartung die Frage nicht zu beantworten, ob und wann jedes einzelne Bauteil versagt, denn in Einzelfällen kann z.B. durch Montagefehler ein Bauteil zu früh versagen. Details zu derzeitigen Instandhaltungsstrategien finden sich u.a. in § 32 der EBO [174], DS 984 01 (Anhang 2) und der DS 984 26 [86].

Heutige Instandhaltungsstrategien anderer Bereiche haben schon lange die Strategie der Fristwartung verlassen und sich der **zustandsbezogenen Instandhaltung** zugewandt und sowohl die Vorteile der finanziellen Einsparpotenziale als auch die Erhöhung der Betriebssicherheit und den Schutz vor ungeplanten Systemausfällen erkannt. Die zustandsbezogene Instandhaltung wird detailliert in Kapitel 3.3.1 beschrieben. Dort werden auch anhand aktueller Lkw-Baureihen die Prinzipien und Vorteile der zustandsbezogenen Instandhaltung für Nutzfahrzeuge beschrieben. Vereinzelt sind im Bahnbereich Ansätze im Hochgeschwindigkeitsverkehr zum Übergang zur zustandsbezogenen Instandhaltung erkennbar [182].

## 2 Nutzen von Telematiksystemen

Hinter dem Begriff *Telematik* verbirgt sich ein Kunstwort aus den beiden Bereichen, die die Anwendung von Telematik beschreiben. Es setzt sich aus **Tele**kommunikation und Informa-**ti**k zusammen und bedeutet, dass Diagnose- und Informationsdienste mit Hilfe der Datenfernübertragung durchgeführt werden können.

Aufgrund der Vielzahl der Anwendungs- und damit Nutzenbereiche von Telematik ist eine Unterscheidung nach verschiedenen Aspekten sinnvoll. In diesem Kapitel werden logistische Vorteile, Gewinne nach Telematikeinführung in den Bereichen Ladezustandskontrolle, Sicherheit beim Betrieb von Güterwagen und im Bereich der Instandhaltung beschrieben. Hierbei handelt es sich um ein Kapitel, in dem v.a. eine zusammenfassende Übersicht über die zu erwartenden Vorteile gegeben werden soll; in späteren Kapiteln werden dann einzelne Aspekte detailliert beschrieben.

### 2.1 Logistik

#### 2.1.1 Ständige Verfügbarkeit von örtlichen und zeitlichen Informationen

Kennzeichen des heutigen Schienengüterverkehrs ist u.a., dass bis zum Eintreffen eines Wagens oder Zuges an bestimmten Punkten, z.B. Bahnhöfen o.ä., weder dem Eisenbahnverkehrsunternehmen noch dem Kunden bekannt ist, wo sich der Wagen derzeit befindet [162] oder wann genau er sein Ziel erreichen wird<sup>1</sup>. Für einen zunehmend logistisch just-in-time- oder sogar just-in-sequence-orientierten Markt<sup>2</sup> ist dieser Zustand nicht tragbar. Nach Aussagen von Empfängern spielt dabei sowohl die Information der erwarteten Ankunftszeit als auch generell die Kenntnis über Verspätungen eine wesentliche Rolle, um auf beide betriebsintern reagieren zu können.

Hierbei hat der Lkw im Vergleich zum vollständig unbegleiteten Schienengüterverkehr durch das ständige Vorhandensein von Personal eindeutige Systemvorteile. Dieses Manko lässt sich jedoch durch einfache und sehr preisgünstige Telematiksysteme beheben, die nur für diese logistischen Zwecke entwickelt wurden. Damit stehen dem Spediteur und ggf. den Kunden Hilfsmittel zur Verfügung, den Weg der Sendung online verfolgen und den betrieblichen Ablauf darauf einstellen zu können.

Aufgrund der zumeist vielen betriebenen Wagen bzw. transportierten Einzelsendungen ist jedoch eine manuelle Verfolgung nicht mehr möglich, so dass mit Hilfe moderner Dispositi-

---

<sup>1</sup> „Der Direktor „Landverkehr“ der EU-Generaldirektion „Verkehr und Energie“, Heinz Hilbrecht, hat auf der Jahresversammlung des deutschen P-Wagenverbandes im Juni dieses Jahres (2000, Anm. d. Autors) berichtet, dass die EU-Kommission vor 1 ½ Jahren eine Studie über den Informationsaustausch im grenzüberschreitenden Verkehr durchgeführt hat. Dabei wurde festgestellt, dass man in manchen Fällen in Deutschland erst weiß, dass ein Güterzug aus Dänemark ankommt, wenn man ihn hören kann.“ [185]

<sup>2</sup> Zwei Begriffe dominieren die gesamte moderne Logistik - "Just-in-time" (JIT) und "Just-in-sequence" (JIS). Während bei der Just-in-time-Anlieferung der Haupteffekt darin besteht, den Puffer am Verbauort/Produktionsstelle möglichst gering zu halten, geht die Just-in-sequence-Anlieferung sogar soweit, dass das Material in der exakt erforderlichen Reihenfolge genau zum Verbrauchszeitpunkt an das Montageband geliefert wird.

onssysteme Routineaufgaben erledigt werden können und eine manuelle Verfolgung nur in Einzelfällen notwendig ist.

Es wurden Softwarelösungen und Kundenportale entwickelt, die es ermöglichen, auf die Telematiksysteme Fahrplaninformationen des geplanten Streckenverlaufs zu laden, so dass die Systeme ihren tatsächlichen Transportverlauf mit den Vorgaben vergleichen und sich nur bei nennenswerten, vorher definierten, Abweichung melden können. Hinzu kommen Standardmeldungen zu bestimmten Tageszeiten oder bei Erreichen festgelegter Orte, um eine Bestätigung für das Funktionieren des Systems zu erhalten.

Somit ist eine ganz wesentliche Lücke im Informationsfluss des Schienengüterverkehrs für den Anwender im Bereich des Tracking & Tracing<sup>1</sup> geschlossen.

Für den Disponenten einer Spedition entstehen erhebliche Vorteile bei Einsatz von Telematiksystemen, in dem die Planung der Transport- und Leerfahrten erheblich optimiert werden kann. Die ständige Kenntnis der Positionen der Wagen und evtl. Verspätungen oder Umwege ermöglicht es ihm, die optimale Menge und Art an Ladung zu akquirieren und seine Wagen zu geeigneten Orten zu disponieren.

Auffallend ist jedoch derzeit die starke Zurückhaltung bei der Investition in Telematiksysteme, obwohl anhand von Beispielrechnungen die Wirtschaftlichkeit in Kapitel 6 (besonders im Kapitel 6.2) positiv abgeschätzt worden ist.

### **2.1.2 Betrugsprävention und -detektion**

Als zusätzlichen Nutzen für den Wageneigentümer kann die Möglichkeit des Schutzes vor Betrug betrachtet werden. In zahlreichen Gesprächen mit Wageneigentümern wurde immer wieder von Fällen berichtet, bei denen der anmietende Kunde angemietete Wagen als defekt beim Eigentümer reklamierte und in Wirklichkeit mit den Wagen Transporte durchführte. Da durch solche Praxis dem Eigentümer Verluste entstehen, können solcherart geschilderte Vorfälle durch die Möglichkeit der ständigen Ortung nicht mehr vorkommen.

Dieses Verfahren lässt sich soweit automatisieren, dass sich das Telematiksystem eigenständig meldet, wenn eine bestimmte Entfernung zur Werkstatt mit dem vermeindlichen oder tatsächlichen Standort meldet.

### **2.1.3 Künftiger Telematikeinsatz**

Für die Zukunft im Schienengüterverkehr kann prognostiziert werden, dass Güterwagen in weiter Zukunft nicht mehr vollständig im traditionellen Zugsystem transportiert werden, son-

---

<sup>1</sup> „Tracking & Tracing“ bedeutet „Auffinden & Verfolgen“

dern dass die Wagen statt dessen die Fähigkeit haben werden, sich selbständig auf dem Gleis zu bewegen; verschiedene Forschungs- und Entwicklungstendenzen untermauern diese Einschätzung. Hierzu zählen die Entwicklungen „Signalgeführtes, selbstfahrendes Fahrzeug (SST)“ [166], „CargoMover“ der Firma Siemens [8] sowie die Machbarkeitsstudie „Individualisierter Schienengüterverkehr“ im Auftrag des Bundesforschungsministers [112]. Somit werden sich dem Fahrzeugdisponenten dieselben Möglichkeiten wie beim Lkw-Transport eröffnen, wozu in erster Linie die Möglichkeit des sofortigen Abfahrens nach Be- und Entladung, die Möglichkeit der Beiladung an verschiedenen Stellen oder die Routenänderung während der Fahrt aufgrund geänderter Transportaufträge zu nennen sind.

## **2.2 Ladungsspezifischer Nutzen**

Allgemein lässt sich aufgrund der Vielzahl der Anwendungsmöglichkeiten nur sagen, dass es eine ganze Vielzahl von Anwendungsfällen gibt, die den Einsatz von Telematik zur Ladegutüberwachung rechtfertigen.

Hierzu zählen Aspekte der Sicherstellung von Produkteigenschaften, die bei Verlassen eines Temperaturfensters ihren Charakter verlieren (z.B. Lebensmittel) oder durch Stoffänderungen Gefahren für die Umwelt bedeuten (z.B. technische Gase oder Flüssigkeiten) sowie verschiedene andere Aspekte.

Beispielhaft sollen einige Aspekte näher beleuchtet werden, die zu einer deutlichen Erhöhung des Nutzens von Telematiksystemen beitragen.

### **2.2.1 Temperaturüberwachung konventioneller Transportgüter**

Hier ist vor allem die Temperaturüberwachung für Kühltransporte (sog. temperaturgeführte Transporte) interessant, die bisher aufgrund der personellen Besetzung und der Gesetzeslage vor allem mit Lastwagen durchgeführt werden.

Dabei wird davon ausgegangen, dass sich der Fahrer des Lkw durch Kontrolle der Lagertemperatur von der ordnungsgemäßen Funktion des Kühlaggregats überzeugt und ggf. korrigierend eingreifen kann.

Bei Einsatz von Telematiksystemen an Güterwagen wird der Wagen ebenfalls überwacht, und die vom Fahrer bei Lkw-Transporten geforderten Funktionen werden durch das Telematiksystem alleine bzw. ggf. durch Eingriffe seitens des Spediteurs, nach vorausgegangener Alarmmeldung durch das System, behoben. Da durch Telematiksysteme die bisher als Nachteile des Schienengüterverkehrs betrachtete fehlende Funktionen aufgehoben werden, können sogar neue Verkehre gewonnen werden. Ein Beispiel hierfür sind die von der Fa. Sky Eye akquirierten Transporte temperaturgeführter Güter der belgischen Firma Intercontainer-Interfrigo (ICF). Durch die telematische Überwachung können die hohen Anforderungen der Norm EN 12830 eingehalten werden. Folgendes Meldungsschema liegt den temperaturgeführten Gütern zugrunde [154]:

- Nur eine Nachricht täglich wird übertragen, wenn das Kühlaggregat nicht arbeitet oder der Wagon nicht beladen ist und sich nicht bewegt.
- Wenn das Kühlaggregat arbeitet und die Temperatur im Inneren des Wagens den Normwerten entspricht, werden vier Nachrichten pro Tag übertragen.
- Im Falle des Auftretens einer vordefinierten Alarmsituation wird jede Stunde eine Meldung übertragen bis die Alarmursache nicht mehr auftritt. Alarme können wie folgt definiert werden:
  - Unzulässige Türöffnung
  - Treibstoffvorrat zu niedrig
  - Kühlmaschine nicht in Betrieb, obwohl der Wagon beladen ist
  - Temperatur der zurückgeführten Luft weicht um 5° C vom Normwert ab

Weiterhin gelten die Bestimmungen des ATP<sup>1</sup>, in dem die Anforderungen an die isolierten Ladegefäße nach den zu transportierenden Gutgruppen definiert sind.

### 2.2.2 Zustandsüberwachung von Gefahrgütern

Obwohl das Regelwerk zum Transport gefährlicher Stoffe (RID) die Randbedingungen des Befüllens, Transportierens und Entladens aus technischer Sicht transportsicher vorschreibt, kommt es immer wieder zur Entwicklung gefährlicher Situationen durch Fehlbedienungen sowie durch menschliches und technisches Versagen.

Um dies zu verdeutlichen, sei auf den am 24.12.1997 im Bahnhof Ost der HülS AG verunglückten Druckgaskesselwagen verwiesen, der bei Abfüllen in der Ukraine um 56% mit Propan überladen wurde, was aufgrund der geringen Außentemperatur beim Abfüllen möglich war. Durch eine Erwärmung der Umgebungstemperatur aufgrund einer unerwarteten Wetteränderung kam es, nach Entdeckung der Überfüllung bei einer Routinekontrollwiegung beim Empfänger, zum weiteren Druckanstieg und Versagen des Kessels. Glücklicherweise entspannte sich das Propan ohne Bildung eines Zündfunkens, so dass ein Unglück größten Ausmaßes ausblieb [160].

Auch ist die Überwachung der Ladeguttemperatur für Produkte der chemischen Industrie interessant. Ein interessantes chemisches Produkt, bei dem die Einhaltung eines Temperaturbandes zwischen 20 und 40°C notwendig ist, wurde telematisch begleitet. Die Ergebnisse sind in Kapitel 3.2.2 beschrieben.

Interessant ist die Temperaturüberwachung allerdings auch für Stoffe, die unter Änderung der Temperaturen zu starkem Druckanstieg und damit der Entwicklung eines Gefahrenzustands führen (z.B. einsetzende Polymerisation).

---

<sup>1</sup> ATP: Accord relatif aux transports internationaux de denrées périssables et aux engins spéciaux à utiliser pour ces transports

Da die Produkte der chemischen Industrie und damit auch die Gefahrgüter ausgesprochen inhomogen in transportierter Menge und Zusammensetzung sind, können keine allgemein gültigen Empfehlungen gegeben werden.

Statt dessen sollen durch die ausführlicheren Ausführungen in Abschnitt 3.2.2 (ab Seite 66) Anregungen gegeben werden, welchen Nutzen die Überwachung des Ladegutzustands von Gefahrgütern bringen kann.

Nur stichwortartig sei hier auf die Möglichkeit der Diagnose von Überfüllung bzw. Überladung, Ladegutverlust, Druck- und Temperaturentwicklung im Tank bei technischen, unter Druck verflüssigten Gasen etc. verwiesen.

### **2.2.3 Ladungsverschiebung**

Ein häufig auftretendes Problem im Stückgutverkehr ist die seitliche Verschiebung von Ladegut während der Fahrt, die meist unentdeckt bleibt. Als Beispiel hierfür können Papierrollentransporte dienen, die nicht paketierbar und zudem in ihren Abmessungen und Gewichten stark inhomogen sind .

Als Ursachen sind hierfür mehrere Faktoren auszumachen. Zum einen spielt bei blattgeführten Drehgestellen die bei kleinen Amplituden geringe Dämpfung der Federn eine ganz wesentliche Rolle. Dies bedeutet, dass Stöße aus den Fahrwegunebenheiten über die Federung direkt an das Ladgut weitergegeben werden und bei diesem Haftreibungsverluste und damit Wandern der Ladung einsetzen kann. Zum anderen kommt ladungstechnisch hinzu, dass seitens der Bahnen ungenügende Vorschriften für die Beladung erlassen werden, die den Kunden zusätzliche Sicherungsaufgaben nach erfolgter Beladung abverlangen, um diese nicht zu verprellen.

Auch hier handelt es sich nicht einfach nur um unbedeutende Fehler, sondern die seitliche Verschiebung von Ladung führt zu einer immer fortschreitenden Tendenz in der Verschiebung und bewirkt dadurch ein steigendes Risiko einer Entgleisung durch Entlastung der spurführenden Räder, zum anderen besteht durch verschobene Ladung die Gefahr, dass der Güterwagen das einzuhaltende Lichtraumprofil verlässt und so die Gefahr der Kollision mit ortsfesten Einrichtungen, wie zum Beispiel Bahnsteigkanten oder nahe am Gleis stehenden Masten, besteht.

Eine sich verschiebende Ladung bzw. eine von Beginn an ungleichmäßige Beladung könnte mit geringem sensorischen Aufwand erfasst und zeitnah weitergemeldet werden.

### **2.2.4 Diebstahlwarnung bzw. -prävention**

In den zurückliegenden Untersuchungen hat sich häufig in Gesprächen mit Spediteuren herausgestellt, dass der Transport von Waren auf der Schiene aufgrund der unbegleiteten Transporte und der langen Standzeiten gemieden wird. Erfahrungen einzelner Unternehmen haben gezeigt, dass der Transport höherwertiger Güter (z.B. weiße und braune Ware, also Haushalts- und Elektrogeräte) bisher aufgrund o.g. Systemmängel in Bezug auf die Gefahr

des unbemerkten Diebstahls und des nicht einzuschränkenden Diebstahlrisikos nicht durchgeführt wird.

Telematiksysteme bieten jedoch in diesem Punkt diverse Ansatzmöglichkeiten, um die vermeintliche oder tatsächliche Diebstahlproblematik in den Griff zu bekommen und um das Kundenvertrauen zurück zu gewinnen.

Moderne Telematiksysteme können mit einfachen Sensoren die Öffnung von Türen überwachen. Wird die Türöffnungsinformation mit den Standortdaten verknüpft, kann das System über befugtes oder unbefugtes Öffnen entscheiden und eine Alarmmeldung absetzen, die zum Herbeirufen von Sicherheitsdiensten führen kann. Optional ist es möglich, mit einer Überwachungskamera, nach Feststellung unbefugten Öffnens von Transportbehältern Fotos des Innenraums zu machen und diese per Funk zu übertragen, was die Diebstahlermittlungen vereinfacht.

Andere Systeme beschreiten zusätzlich den Weg, dass durch sie ganze Wagons verriegelt und nur innerhalb bestimmter geographischer Koordinaten oder durch Eintreffen einer Funkanweisung des Eigentümers zur Öffnung freigegeben werden [59].

### **2.2.5 Längsstoßüberwachung**

Häufig beklagen Gesprächspartner aus dem Speditionsgewerbe, dass Waren schwer beschädigt am Ziel ankommen, nachdem sie mit der Bahn transportiert worden sind. Dies führt im Ergebnis dazu, dass empfindliche Waren wie z.B. braune oder weiße Ware nicht mit der Bahn transportiert werden.

Erschwerend kommt hinzu, dass die Schadensregulierungspraxis der Bahnen offenbar prinzipiell jegliche Verantwortung von sich weist, um den Schaden des Kunden aus dem durchgeführten Bahntransport nicht regulieren zu müssen.

Gespräche mit einer namhaften deutschen Möbelspedition führten zu der Aussage, sie hätte die Erfahrung gemacht, dass professionell bis zur Tür voll gepackte Container nach Eintreffen am Zielbahnhof bis zu einem Meter Platz zwischen Tür und Beginn des Ladegutes gehabt hätten; seit dem würde wieder nur per Lkw transportiert.

Die oben geschilderten Erfahrungen zeigen, dass die Meldung zuvor definierter Ereignisse zu mehr Transparenz und damit zum Halten bereits vorhandener und zur Hinzugewinnung von Neukunden durch Beseitigung des Mankos „unbegleiteten Transports“ durch sensorunterstützte Telematiksysteme geeignet ist. Hierbei kann auf Erfahrungen beim Pkw-Transport auf der Schiene in Nordamerika zurückgegriffen werden. Hier hat dieses Konzept zu einer signifikanten Steigerung der Transportqualität und einem Rückgang der Ladungsschäden während des Eisenbahntransports geführt [165].

Nicht unbeachtet bleiben soll der Aspekt, dass hohe Längsstoßbelastungen nicht nur ein Problem beschädigter kommerzieller Ladung sind, sondern dass auch der Fahrzeugaufbau

und Teile des Drehgestells dadurch unzulässig hoch belastet werden können. Auch vor diesem Hintergrund ist eine Feststellung eines solchen Ereignisses notwendig im Sinn der Sicherung des Betriebs. Außerdem können hohe Längsstoßbelastungen unter Umständen zu Beschädigungen von Gefahrgutbehältern mit weitreichenden Folgen führen.

### **2.3 Lauftechnisch sicherheitsrelevante Diagnose**

Mit voranschreitender Leistungsfähigkeit der Mikroprozessor- und der Sensortechnik eröffnen sich zunehmend neue Möglichkeiten der sicherheitsrelevanten Online-Diagnose von Eisenbahngüterwagen. In diesem Zusammenhang sollen die Anwendungsfelder der Fahrwerks- und der Gesamtfahrzeugdiagnose betrachtet und deren Nutzen bei Einführung dieser näher beleuchtet werden.

Auch für diesen Nutzen von Telematiksystemen finden sich in Kapitel 6 die Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit der Investition in Telematiksysteme zur laufdynamischen Überwachung von Güterwagen. Im Ergebnis wird dort festgestellt, dass Telematiksysteme mit diesem Einsatzzweck nur kurze und überschaubare Amortisationszeiten haben.

#### **2.3.1 Entgleisungsdetektion**

Bei lauftechnischer Diagnose des Gesamtfahrzeugs ist vor allem die Entgleisungsdetektion interessant (eine detaillierte Betrachtung zum Thema Entgleisung findet sich in Kapitel 3.2.1).

Untersucht man die Häufigkeit des Auftretens von Entgleisungen, sowohl mit als auch ohne Auftreten von Personen- und Sachschäden, fällt schnell auf, dass Entgleisungen im Schienenverkehr im Allgemeinen und im Schienengüterverkehr im Speziellen ein häufig auftretendes Phänomen sind, das jedoch meist von der Presse wegen mangelnder Spektakularität nicht beachtet wird (siehe hierzu auch Tabelle 13: „: Entgleisungsunfälle im Schienenverkehr“ ab Seite 153). Aus Fachkreisen der Bahnen war zu erfahren, dass bei einem Mittelgroßen Bahnbetreiber pro Jahr circa drei schwere von insgesamt circa 40 Entgleisungen eines Güterzuges auftreten, die bis zur Zugtrennung durch Hindernisse, Weichen oder Umstürzen von Wagen unbemerkt bleiben. Diese treten im Allgemeinen bei Fahrtgeschwindigkeit (circa 80 km/h) auf und verursachen bis zum Schadenseintritt Schäden am Oberbau auf einer Strecke von vier bis sechs Kilometern, was mit Reparaturkosten von circa 1 Mio. € pro Kilometer verbunden ist.

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden wissenschaftlichen Arbeiten (s. Abschnitte 3.1.2.2 und 3.2.1) zeigen deutlich, dass die Detektion einer bereits aufgetretenen Entgleisung einen erheblichen Zuwachs an Transportsicherheit bringt, indem die als sehr bedeutsam und bedeutsam einzustufenden Ereignisse im Bereich der Laufwerke durch Einführung von Diag-

nosetechnik von 97% auf 52% reduziert werden können (s. Bild 14, Seite 45). Weiterhin zeigen die durchgeführten Entgleisungsversuche sowie die anschließend durchgeführten Feldversuche mit drei Kesselwagen, dass eine Entgleisung mit Hilfe eines Diagnosesystems zuverlässig erkannt und von normal auftretenden Betriebssituationen sicher unterschieden werden kann.

Bei der Diskussion über den Sinn der Einführung von Diagnosetechniken zur Entgleisungsdetektion sollte auch berücksichtigt werden, welche teilweise verheerende Schäden als Folge einer unentdeckten Entgleisung auftreten können (s. Bild 60 und Bild 61).

### 2.3.2 Längsstoßüberwachung

Ein Beispiel weiteres Beispiel, neben der ladungsrelevanten Längsstoßüberwachung (siehe Kapitel 2.2.5), ist die Überwachung des Fahrzeugs auf unzulässig hohe Längsstöße in Hinblick auf die sichere Betriebsabwicklung. Gespräche des Autors mit Speditionen, die ihren Transport weitgehend auf der Schiene abwickeln, haben ergeben, dass in einigen Fällen vermutet wird, dass durch die übliche Praxis der Rangierbehandlung die Bremsanlage in so fern durch Längsstöße beschädigt wird, dass Teile der Bremsanlage der Güterwagen abfallen oder stark beschädigt werden und somit ein betriebssicherer Zustand nicht mehr gegeben ist.

### 2.3.3 Bremsanlage

Zahlreiche Unfälle in den zurückliegenden Jahren haben gezeigt, dass die Bremsanlage eine Schwachstelle von Güterwagen ist. Im folgenden soll dabei ein Weg gezeigt werden, der eine fehlerhafte Funktion von Güterwagenbremsen bereits vor Abfahrt des Zuges erkennen und so eine Störungsmeldung abgeben kann.

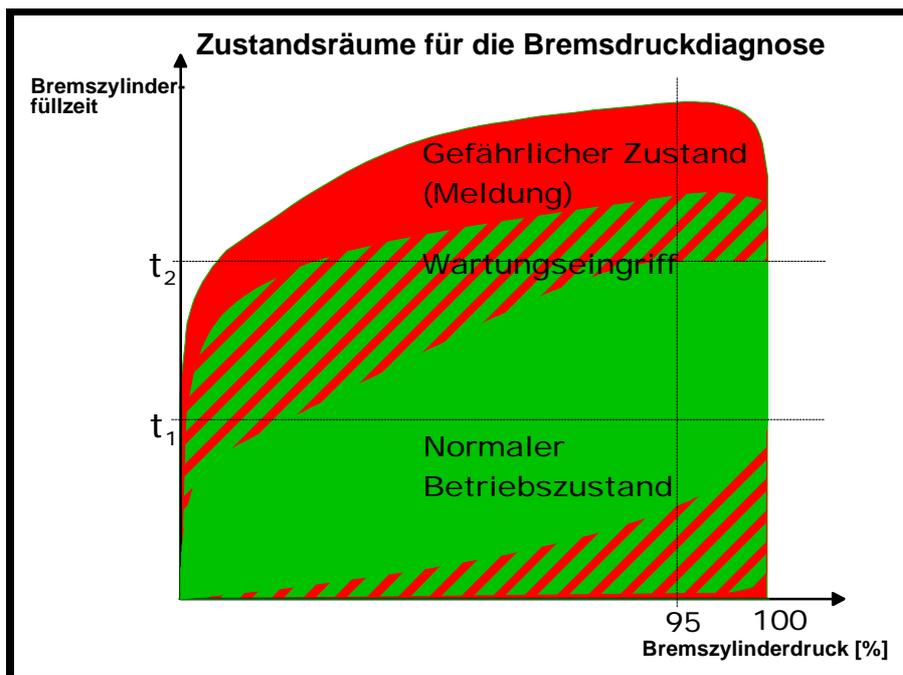
Unter Einsatz weniger Sensoren ist es möglich, die Funktionen Bremsprobe, ordnungsgemäße Funktion, Verschleiß wichtiger Elemente und Leichtgängigkeit zu überprüfen. Ein weiterer Vorteil ist die erhöhte Zuverlässigkeit der Aussage der Bremsprobe, die Möglichkeit, sie während der Fahrt in Form einer statischen oder dynamischen Bremsprobe häufiger als bisher durchführen zu können und die Entlastung des Betriebsablaufs von der zeit- und arbeitsintensiven menschlichen Arbeit.

Von diesen aufgezählten Funktionstests ist die Überprüfung der Bremsprobe mit Hilfe eines Diagnosesystems die wichtigste Funktion, da die heute durchgeführte Bremsprobe erstens extrem zeitaufwändig, personal- und kostenintensiv ist und zum anderen deren Ergebnis stark vom Faktor Mensch und dessen Unzulänglichkeiten abhängig ist. Eine falsch oder nicht vollständig durchgeführte Bremsprobe stellt dabei einen wesentlichen Faktor für Zugunglücke der letzten Zeit dar (z.B. **Elsterwerda** (20.11.1997) [85], **Wampersdorf** (26.02.2002) [13], [122], **Bad Münde** (09.09.2002) [11], [68]). Hierbei wird deutlich, dass sowohl Unbequemlichkeiten aufgrund von Witterungseinflüssen als auch Zeitdruck beim zeitnahen Abfer-

tigen von vielen Zügen auf großen Bahnhöfen sowie das Einschleichen von Routine zu Fahrlässigkeit führen kann [72].

Um zu verstehen, warum die Bremsprobe so fehleranfällig ist, soll auf die Durchführung der vollständigen Bremsprobe eingegangen werden. Bei Betrachtung von Tabelle 14 auf Seite 196) wird schnell klar, dass das Zugzusammenstellungspersonal lange mit der Bremsprobe beschäftigt ist und dabei weite Wege zurücklegen muss. Bei einer maximalen Zuglänge von 700m sind durch den Wagenprüfer 4,2 km zurückzulegen; dabei hat er bei jeder Bremse genauestens deren momentanen, vorgeschriebenen Zustand zu prüfen. Es wird verständlich, dass diese Art der Sichtprüfung wie aus der Frühzeit der Druckluft-Bremstechnik der Eisenbahn sehr fehleranfällig ist (vgl. auch Tabelle 1 auf Seite 21).

Unter Einsatz weniger Sensoren ist es möglich, sowohl das Zeit-Weg-Verhalten der Bremsanlage als auch die Zeit-Druck-Funktion der Bremse zu überwachen und daraus Rückschlüsse über die ordnungsgemäße Funktion und evtl. Verschleiß und Unregelmäßigkeiten abzuleiten. Als Beispiel für eine solche Funktion sei der Zustandsraum der Bremsprobe gezeigt, aus dem sich verschiedene Bremszustände ablesen lassen.



**Bild 9: Zustandsräume der Bremsdiagnose [113]**

Diese Darstellung entspricht der Visualisierung der UIC-Vorschrift im Merkblatt 540. Hierbei kann der zeitliche Verlauf des Bremsdrucks Hinweise auf Wartungs- oder Reparaturbedarf geben. Auffallend ist, dass es einen Normalzustand, einen Zustand notwendiger Wartung und einen Zustand notwendigen Eingriffs gibt, die sich jeweils um den Normalzustand herum befinden (vgl. Bild 9). Werden die zeitlichen Informationen für das Anliegen der Bremsdrücke ausgewertet und gespeichert, können sowohl für die vorausschauende Instandhaltung (z.B.

„Gestänge ist schwergängig“) als auch für die Gefahrenmeldung (z.B. „Gestängebruch“) wertvolle Informationen gewonnen werden.

Wie dringend eine vollständige Diagnose des Bremssystems benötigt wird, wird beispielhaft an einem Zwischenfall deutlich, der am 18. April 2002 in Roermond (NL) auftrat und vor dem RID-Fachausschuss berichtet wurde.

Der Wortlaut der Niederländischen Mitteilung soll hier auszugsweise zitiert werden:

“Am frühen Morgen des 18. April 2002 näherte sich ein Güterzug mit gefährlichen Gütern dem Bahnhof von Roermond im Süden der Niederlande mit einer Geschwindigkeit von 30 bis 40 km/h. Soweit bisher bekannt verlor einer der mit Methanol befüllten Kesselwagen ein Teil (des Bremssystems), das herunterfiel und dabei ein Rad traf; dies verursachte eine Entgleisung in der Weichenstrasse des Bahnhofs von Roermond im Zentrum dieser Stadt. Ein kurzes Stück weiter gleiste sich der Wagen wieder auf, (...). Der Triebfahrzeugführer bemerkte jedoch wegen der kurzen Dauer der Entgleisung überhaupt nichts von der Störung.“ [173]

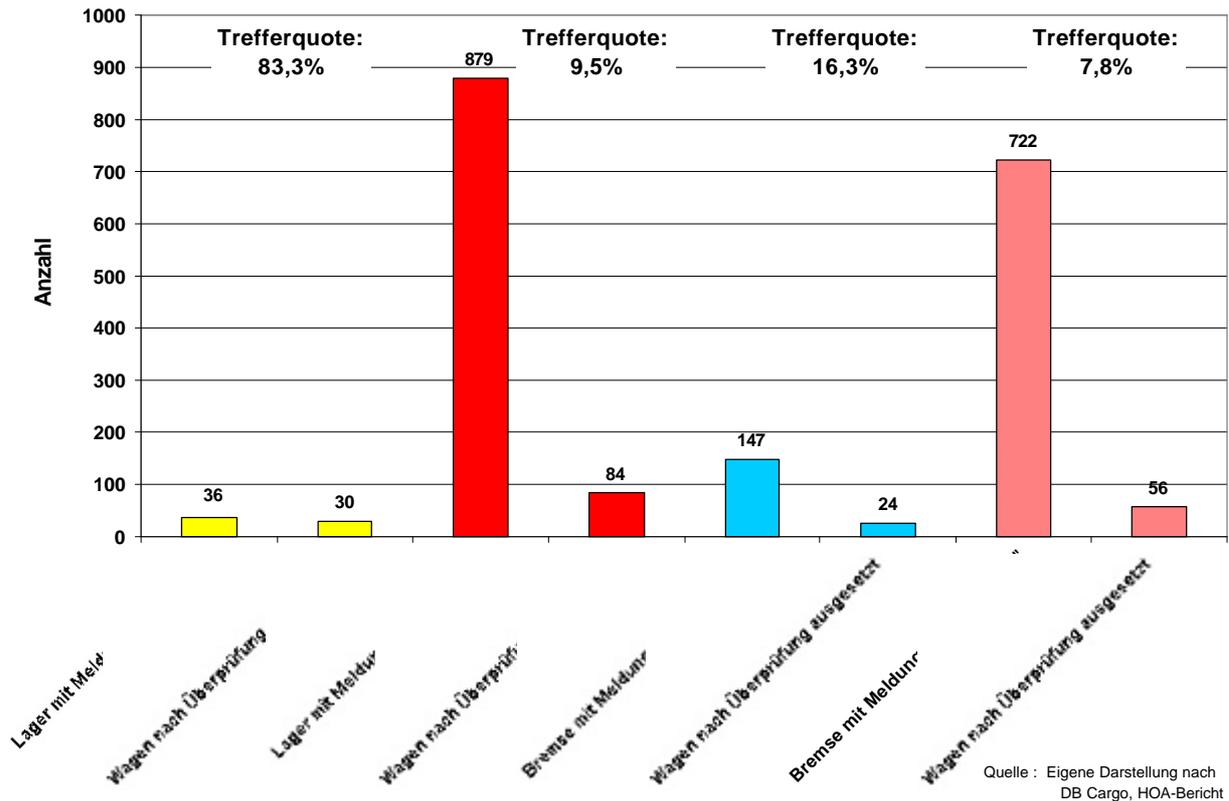
### **2.3.4 Achslagerdiagnose**

#### **Heißläufer**

Die Erfahrungen der letzten Jahre zeigen, dass es immer wieder, trotz guter Wartung, zu sog. Warm- und Heißläufern im Achslagerbereich kommt. Bei älteren Lagerbauarten wurde festgestellt, dass genietete Bronzelagerkäfige mitverantwortlich für Heißläufer waren. Bei modernen Käfigbauarten ist die Hauptursache vermutlich auf Wartungs- bzw. Montagefehler (vgl. hierzu Bereich 1-2 auf Bild 40 auf Seite 75), Überbeanspruchung durch Polygonisierungen oder Flachstellen der Räder zurückzuführen.

Unabhängig von der Ursache, die Heißläufer herbeiführt, ist das Schadensausmaß, das durch defekte Lager verursacht wird, sehr erheblich. Entdeckt werden Heißläufer in der Regel durch Heißläuferortungsanlagen oder Bahnpersonal, was Beides als sehr unzuverlässig einzustufen ist. Berichte der DB Netz AG bzw. des Forschungs- und Technologiezentrums (FTZ) zeigen, dass die Aussagequalität der georteten Warm- und Heißläufer als schlecht bewertet werden darf (s. Bild 10); hinzu kommt, dass Heißläuferortungsanlagen nur auf Neu- und Ausbaustrecken dicht (ca. alle 30-40 km [93], [179]) verteilt, dagegen im restlichen Netz nur in Abständen von 100 km oder mehr anzutreffen sind und vor allem dem Ziel der Risikominimierung vor Steilstrecken, Tunneln und Gefällen dienen [96].

Um unzulässig hohe Temperaturen festzustellen, sind einfache und preiswerte Temperaturfühler in der Tragzone jedes Lagers notwendig, deren Materialpreis bei wenigen Euro pro Stück liegt. Diese sind in der Technik beispielsweise als Pt100 oder Pt1000 bekannt und bewährte Technik. Der von ihnen beanspruchte Bauraum ist je nach Ausführung so klein, dass sie problemlos in vorhandene Lager eingebaut werden können (siehe Größenbeispiel der Fa. Sensotherm, Bild 106 auf Seite 209)).



**Bild 10: Aussagequalität der Heißläuferortungsanlagen der DB AG (1999)**

### Lagerverschleißzustand

Da der Achslagerzustand bisher nur beurteilt werden kann, wenn das Lager im Rahmen einer Revision zerlegt wird, führt diese Strategie häufig dazu, dass nach der Zerlegung festgestellt wird, dass das Lager intakt ist und somit unnötigerweise ausgebaut wurde. Hierbei entstehen erhebliche neue Risiken wie sie ausführlich in Kapitel 3.3.1 beschrieben werden (vgl. auch Bild 40 auf Seite 75).

Durch einen relativ preisgünstigen Beschleunigungssensor, der im Lager integriert wird, lässt sich während der Fahrt eine Diagnose und eine quantifizierte Aussage über den Lagerschadigungsgrad treffen, so dass ein Grenzmaß, ab dem eine Wartung erforderlich ist, festgelegt werden kann.

Unterschiedlich geschädigte Lager, die von der DB AG im Rahmen von Benchmark-Testfahrten eingesetzt wurden, sind im Anhang zu finden (s. Tabelle 15, Seite 210).

Diese Strategie führt zu Einsparungen in den Kosten der Instandhaltung sowie zur Schadensfrüherkennung, falls Defekte am Lager, aus welchen Gründen auch immer, auftreten und tragen damit zur Schadenprävention bei.

### 2.3.5 Radfehlerdiagnose

Der am häufigsten auftretende Fall eines Radfehlers ist die Bildung einer oder mehrerer Flachstellen durch Überbremsung oder einseitige Hemmschuhlegung. Hierbei blockiert das Rad zeitweise und wird im blockierten Zustand über die Schiene gezogen, so dass flächig Material des Rades abgetragen wird und damit der Rollradius Unstetigkeiten bekommt.

Die Flachstellen führen in direkter Abhängigkeit von der Drehfrequenz des Rades zu starken vertikalen Beschleunigungsspitzen, die zum einen das Radlager, zum anderen aber auch das gesamte Fahrzeug unnötig belasten. Hierbei liegen die Beschleunigungsspitzen gegenüber den normalen Betriebsbelastungen um ein Vielfaches höher.

Die Untersuchungen im Rahmen der Entgleisungsversuche (siehe auch Kapitel 3.2.1) haben gezeigt, dass Beschleunigungssignale aufgrund ihres speziellen rhythmischen Charakters in der Mitte des Wagenlängsträgers signaltechnisch von Entgleisungen und normalen Betriebszuständen zu unterscheiden sind.

Sinnvoll und nützlich ist die Auswertung der Signale des Vertikalbeschleunigungssensors, der auch für die Entgleisungsdetektion benutzt wird. Die gewonnenen Informationen, dass an mindestens einem Rad des Wagens eine Flachstelle vorliegt, dient der Verringerung der Instandhaltungskosten, da eine unbemerkte Flachstelle zu Schadenseinträgen im Achslager und damit zu vorzeitigem Lagerausfall führt.

## 2.4 Instandhaltung

Unabhängig von derzeit geltendem Recht bieten sich innovative und zukunftsweisende Ansätze bei Einsatz von Telematik- und Diagnosesystemen.

Der Einsatz von Ortungssystemen mit Hilfe von GPS oder später Galileo, dem künftigen europäischen Satellitenortungssystem, bietet die Möglichkeit, die Laufleistung und die Lastkilometer eines Wagens zu bestimmen. Hieraus ergeben sich Instandhaltungsunterschiede zum heutigen System, bei dem nach Ablauf von Fristen zu warten ist und dies unabhängig von der tatsächlichen Laufleistung. Sollte die Perspektive der Zukunft Wirklichkeit werden, dass nicht viele Güterwagen jeweils wenig fahren (mit Ausnahmen, z.B. der Parcel-Intercity), sondern dass weniger Güterwagen viel Transportleistung bringen und damit effizient genutzt werden, würde das heutige Wartungssystem versagen, da es für wenig Laufleistung gemäß des heutigen und historischen Zustands entwickelt und optimiert wurde (siehe Kapitel 1.2.3).

Weiterhin besteht die Möglichkeit, besondere Belastungen des Wagens sensorisch zu erfassen und somit den Wagen ggf. früher einer Instandhaltung zuzuführen. Vorstellbare Gründe für eine besondere Wagenbelastung können Überladungen in nennenswertem Umfang sein, die eigentlich nicht auftreten dürfen, jedoch dennoch möglich sind (siehe Kapitel 2.2.2).

Zusätzlich besteht generell der Vorteil, von der Fristwartung zur zustandsbezogenen Instandhaltung übergehen zu können, da Zeiten und Belastungen protokollierbar sowie die wichtigsten Bauteile diagnostizierbar werden. Die Charakteristika der zustandsbezogenen Instandhaltung werden detailliert in Abschnitt 3.3 beschrieben.

Als Novum darf die Möglichkeit betrachtet werden, mit Hilfe weniger Sensoren mit dem gegenseitigen Telematiksystem eines Einzelwagens Aussagen bzgl. der Fahrwegqualität treffen zu können. Ein erster direkter Nutzen entsteht, wenn diagnostiziert werden kann, ob Entgleisungsgefahr auf bestimmten Streckenabschnitten besteht.

Weiterhin kann bei häufigerem Befahren desselben Abschnitts eine Tendenz berechnet und so für den Gleisinstandhalter ein optimaler Zeitpunkt für Instandhaltungsmaßnahmen bestimmt werden.

Zusätzlich kann durch die Protokollierung des Gleiszustands bei eventuellen Rechtsstreitigkeiten die Schuldfrage besser geklärt werden. Heute bedarf es aufwändiger Gutachten, um zu klären, ob Wagen oder Gleis Schuld an Unfällen hatte.

## 3 Diagnose

### 3.1 Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)

#### 3.1.1 Grundlagen

Wie in [113] dargestellt, basiert die Identifikation von Systemschwachstellen und die anschließende Entwicklung und Einführung von Gegenmaßnahmen zumeist auf nebeneinander bestehendem Expertenwissen. Jeder Einzelne urteilt auf der Grundlage seiner eigenen Erfahrungen und hat die seiner Meinung nach wichtigsten Maßnahmen bereits im Kopf; dies führt häufig zu einer Konkurrenzsituation in der einzelne Maßnahmen nebeneinander stehen und durchgesetzt werden sollen. Dadurch bestehen nur geringe Chancen, dass die optimalen Verbesserungsmöglichkeiten erzielt werden. Um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass die sinnvollsten Maßnahmen erkannt und durchgeführt werden, müssen gemeinsame Entscheidungen auf Basis einer systematischen Systembetrachtung getroffen werden. Die Erfahrungen werden dabei gesammelt und anschließend in einem geordneten Schema bewertet; ein solches Schema ist die Fehler-Möglichkeiten- und Einflussanalyse. Sie dient als Diskussions- und Bewertungsgrundlage mittels derer differenzierte Problemstellungen analysiert und verschiedene Ansätze für Verbesserungen gefunden werden können.

Da auf der Basis des vorliegenden Datenmaterials keine ausreichende Bewertung der Auftretenswahrscheinlichkeiten einzelner Ausfälle für das Gesamtsystem möglich ist, wird auf die Einbeziehung der Auftretenswahrscheinlichkeiten und abschließende Bewertung der einzelnen Ausfälle über die so genannte Risikoprioritätszahl verzichtet. Die Risikoprioritätszahl beinhaltet neben Entdeckung und Schwere auch die Auftretenswahrscheinlichkeit des Fehlers. Für das verfolgte Ziel der Festlegung potentiell bedeutsamer Ausfälle wird die Bewertung der Entdeckungsmöglichkeiten und der Schwere des Systemausfalls als ausreichend angesehen.

Grundlage der FMEA sind folgende acht Schritte (s. auch Bild 11):

1. Schritt: Unterteilung des Systems in Betrachtungseinheiten
2. Schritt: Festlegung der Funktionen der einzelnen Betrachtungseinheiten
3. Schritt: Bewertung der Bedeutung der einzelnen Funktionen
4. Schritt: Ermittlung von Fehlfunktionen zu den einzelnen Funktionen
5. Schritt: Beschreibung und Bewertung von Entdeckungsmöglichkeiten zu den Fehlfunktionen
6. Schritt: Beschreibung der Fehlerauswirkung auf Systemebene
7. Schritt: Bewertung der Schwere des Systemausfalls
8. Schritt: Ermittlung sicherheitstechnischer Maßnahmen, die die Schwere des Systemausfalls reduzieren

Am Anfang der Systembetrachtung steht die Festlegung der Funktionen, die durch das System Gefahrgut-Güterwagen erfüllt werden sollen, den so genannten Oberfunktionen. Die Wichtigkeit der Oberfunktionen wird festgelegt, um darauf aufbauend die Funktionen der einzelnen Subsysteme oder Komponenten nach ihrer Bedeutung zu sortieren. Daran anschließend wird das System in die einzelnen Subsysteme bzw. Komponenten unterteilt, die als Betrachtungseinheiten bezeichnet werden. Den einzelnen Betrachtungseinheiten werden die auszuführenden Funktionen zugeordnet.

Zu den Funktionen werden die möglichen Ausfallarten (Fehler oder Fehlfunktionen) und deren Entdeckungswahrscheinlichkeiten bestimmt. Weiterhin werden zu den einzelnen Ausfallarten die Auswirkungen auf das System untersucht und daran anschließend die Schwere der Auswirkung bestimmt.

Zahlenmäßig werden die Entdeckungsmöglichkeiten der Fehler (E) und die Schwere des Systemausfalls (S) innerhalb einer Bewertungsskala von eins bis zehn bewertet. Das Produkt dieser Einzelfaktoren liefert Auskünfte über die Relevanz des betrachteten Vorfalls. Somit können die bedeutsamsten Vorfälle erkannt und die Notwendigkeit von Diagnoseeinrichtungen bestimmt werden. Die FMEA liefert jedoch keine quantitative Aussage über Sicherheit und Zuverlässigkeit des Systems.

In iterativen Schritten kann mit Hilfe der FMEA der Einfluss und die Wirkung von Diagnoseeinrichtungen untersucht werden.

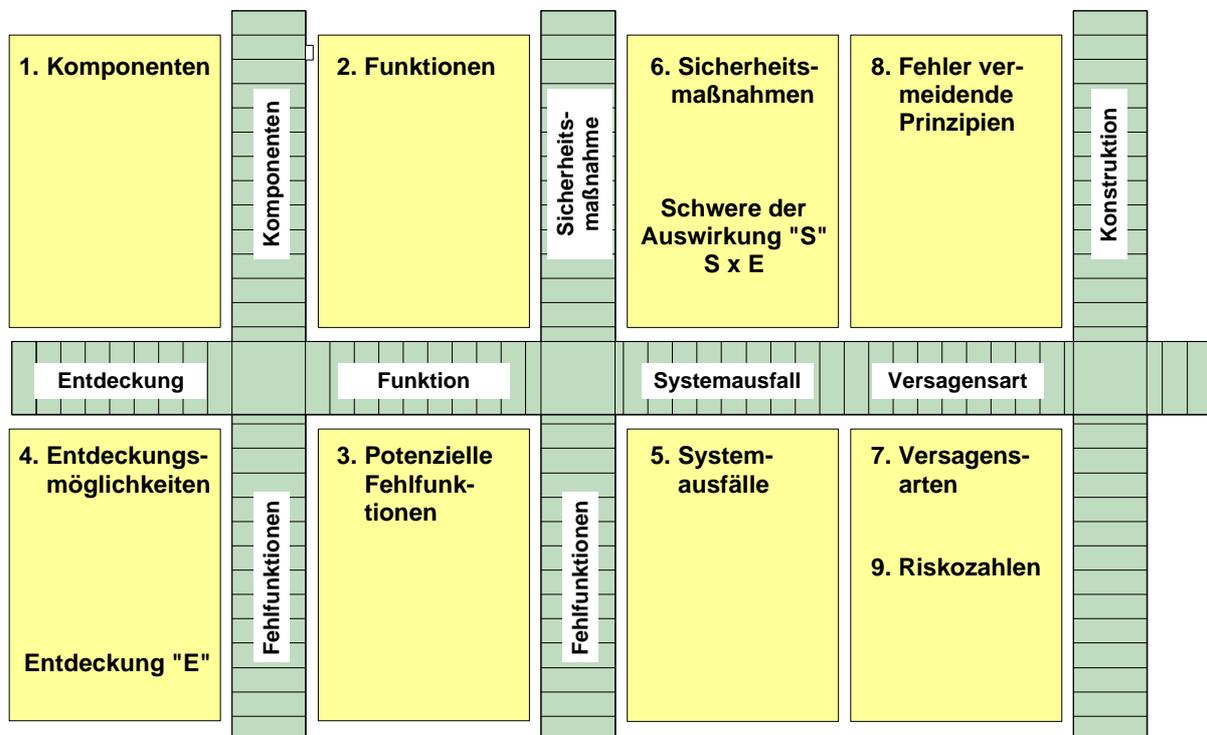


Bild 11: Methodisches Vorgehen innerhalb der Matrix-FMEA [113]

### 3.1.2 Nutzen für den Schienengüterverkehr am Beispiel des Gefahrguttransports

Die systematische Betrachtung des Systems Gefahrgut-Güterwagen führt in [113] zu dem angestrebten Ziel, den Gefahrguttransport im Schienengüterverkehr sicherer und zuverlässiger als heute zu machen. Die FMEA ist, wie oben ausgeführt, ein Mittel, das eine systematische Betrachtung des Systems ermöglicht und unterstützt dabei eine umfassende Betrachtung der Funktionen, die durch das System gewährleistet werden müssen. Das Wissen über das System wird zusammengetragen, übersichtlich dargestellt und so eine gute Grundlage für die Festlegung wichtiger Diagnoseparameter erarbeitet.

Im Gefahrguttransport müssen sehr hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit und die Sicherheit des Transportsystems gestellt werden. Diese lassen sich nur über Untersuchungen der Art und Auswirkungen von Ausfällen des Systems verwirklichen.

Die FMEA besteht in der systematischen Untersuchung der möglichen Ausfälle eines Systems bezogen auf die Auswirkungen auf die Funktionstüchtigkeit, die Sicherheit der betreffenden Elemente und der von diesen beeinflussten Elementen. Manche Ausfälle sind gefährlich, können damit zu Unfällen führen und die Sicherheit gefährden. Andere Ausfälle stellen keine Gefährdung dar, können aber zu einer Betriebsunterbrechung führen und damit die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems stark beeinträchtigen. Die FMEA ist eine Analyse der Art und Auswirkung von Ausfällen. Ziel einer FMEA ist das Auffinden aller möglichen Gefahren und die Analyse der Vorkehrungen zur Beseitigung bzw. Reduktion ihrer Auswirkung oder der Reduktion der Auftretenswahrscheinlichkeiten. Nur die Kenntnis möglicher Ausfälle und deren Ausmaß und Bedeutung für das System ermöglicht eine Optimierung des vorhandenen Systems bezüglich der Ausfallarten. Mittels der FMEA wird es ermöglicht, anstelle einer Reaktion auf Fehlerzustände und deren Beseitigung über eine Vorhersage von möglichen Fehlerzuständen, diese zu vermeiden.

Anhand der wichtigsten Baugruppen soll die Möglichkeit der Risikoreduktion durch Online-Diagnose unter Zuhilfenahme des Werkzeugs FMEA für

- Aufbauten
- Laufwerke

dargestellt werden

#### 3.1.2.1 Kesselwagenaufbau

Gemäß des oben beschriebenen Vorgehens bei der Durchführung der System-FMEA in [113] sind diejenigen Fehlfunktionen am wichtigsten, die mit dem größten Produkt aus Entdeckungsmöglichkeit und Schwere des Systemausfalls ( $S \times E$ ) beurteilt wurden. Sowohl die Entdeckungsmöglichkeit (E) als auch die Schwere des Systemausfalls (S) wurden mit Werten von eins bis zehn bewertet, wobei zehn jeweils der ungünstigste Wert ist. Im Fall der Entdeckung steht die zehn dafür, dass es unmöglich oder unwahrscheinlich ist, dass der Fehler überhaupt oder rechtzeitig vor der Fehlerauswirkung entdeckt wird. Für die Schwere

(S) der Fehlerauswirkung steht die Zahl Zehn für einen äußerst schwerwiegenden Fehler, der zum Anhalten führt oder möglicherweise die Sicherheit oder die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften beeinträchtigt. Das Produkt  $S \times E$  kann somit in dem Wertebereich von eins bis hundert liegen, wobei durch den Wert 100 der ungünstigste Fall einer unmöglichen bis unwahrscheinlichen Entdeckung und einer äußerst schwerwiegenden Fehlerauswirkungen beschrieben wird.

Die FMEA kann keine quantitativen Aussagen zu Sicherheit und Zuverlässigkeit bieten, aber sie ermöglicht einen qualitativen Vergleich der auftretenden Ausfälle. Für den Kesselwagen-aufbau wird ein Ausschnitt der durchgeführten FMEA in Bild 12 dargestellt.

Zu erkennen ist der Aufbau der Matrix, angefangen wird bei den Betrachtungseinheiten (Untergestell, Behälter und Befüll- und Entleerungseinrichtung). Diesen werden die einzelnen Funktionen zugeordnet, die sie zu erfüllen haben, die hier nur ausschnittsweise dargestellt sind. Zu den einzelnen Funktionen werden die Fehlfunktionen bzw. Ausfälle gesucht, die diese Funktionen beeinträchtigen können. Die drei Fehlfunktionen „*Tank steht unter Überdruck*“, „*Im Tank herrscht Unterdruck*“ und „*Tank hat erhöhte Temperatur*“ werden, da keine Entdeckungsmöglichkeiten für diese Parameter vorgeschrieben sind, mit E gleich zehn bewertet. Da die Fehlerauswirkungen dieser drei betrachteten Fehlfunktionen zu einem Totalausfall des Systems führen können, wurden die Ereignisse insgesamt mit einem Produkt aus  $S \times E$  von 100 bewertet.

Etwa ein Drittel der betrachteten Ausfälle liegen mit dem Produkt  $S \times E$  oberhalb von 89 (siehe Bild 13). Dazu zählen neben den drei schon betrachteten Fehlfunktionen, verschiedene Arten von Undichtigkeiten des Behälters, die zu einem Gefahrgutverlust führen, etwa zwei Drittel der betrachteten Ausfälle werden mit  $S \times E$  kleiner als 50 bewertet.

Beispielhaft wurde mittels der FMEA der Einfluss dreier Maßnahmen zusätzlich zu den heute gängigen Fehlerentdeckungsmöglichkeiten eines Fehlers ermittelt. Die drei zusätzlich eingeführten Maßnahmen sind das Ermitteln des Drucks, der Temperatur und des Füllstandes im Behälter. Mit diesen drei Maßnahmen wird eine erhebliche Verbesserung erzielt. Nach Einführung dieser Maßnahmen werden keine der beschriebenen Ausfälle mehr mit größer als 89 bewertet. Es werden nur noch zwanzig Prozent der Ausfälle mit einem Produkt von  $S \times E$  oberhalb von 50 bewertet, wohingegen es vorher etwa ein Drittel waren.

Der erste Schritt, um die Ausfälle des Systems zu verringern, ist mit der erhöhten Entdeckung der bedeutsamsten Ausfälle abgeschlossen. Aufbauend auf dem Wissen der entdeckten Ausfälle kann im Anschluss darüber nachgedacht werden, welche sicherheitstechnischen Maßnahmen für die bedeutsamsten Ausfälle eine weitere Verbesserung des Systems ermöglichen. Weiterhin ist es möglich, über verstärkte Maßnahmen zur Vermeidung der Ursachen der Ausfälle das System zu verbessern.

Id	Modus	Ursache	Wirkung	S	E	S x E
10	1	Tank steht unter Überdruck	10	2	5	100
10	2	Im Tank herrscht Unterdruck	10	1	10	100
10	3	Tank hat erhöhte Temperatur	10	10	10	100
10	6	Behälter ist nach Fahrtantritt undicht durch Beschädigungen in der Behälterwandung (mittlere bis große Leckage)	9	10	90	90
10	7	Behälter ist nach Fahrtantritt undicht durch Beschädigungen in der Behälterwandung (schwerer Verlust)	10	9	90	90

Bild 12: Bewertung möglicher Ausfälle beim Kesselwagenaufbau [113]

Als Ergebnisse für die Diagnose aus der Fehler-Möglichkeits- und Einflussanalyse kann festgehalten werden, dass Handlungsbedarf für eine verbesserte Diagnose insbesondere zu den Parametern Druck, Temperatur und Undichtigkeiten des Kesselwagens besteht. Die drei Fehlfunktionen „Tank steht unter Überdruck“, „Im Tank herrscht Unterdruck“ und „Tank hat erhöhte Temperatur“ führen nach der Bewertung in der FMEA zu den höchsten Bewertungen. Sie sollten über die Diagnose als Erstes verbessert werden. Die Parameter Druck und Temperatur müssen bei Kesselwagen nicht kontrolliert werden und können zu den extremen Systemausfällen „Totalausfall des Systems“ z.B. durch Explosion, Unterdruck oder Brand führen. Da es einfache Diagnosemöglichkeiten für die Parameter Druck und Temperatur im Kesselwagen gibt, ist es empfehlenswert, diese verstärkt einzuführen. Mit dieser Diagnose können die Entdeckungswahrscheinlichkeiten extrem verbessert werden. Nachdem die Fehlfunktion entdeckt ist, können über Folgemaßnahmen die Fehlerauswirkungen verringert werden.

Ein zweiter Fehlfunktionsblock wurde mit S x E von 90 bewertet. Dies sind die Fehlfunktionen, wenn der Behälter nach Fahrtantritt durch Beschädigungen in der Behälterwand undicht wird oder sich Befüll- oder Entleerungsvorrichtungen während der Fahrt öffnen oder undicht werden. Um Undichtigkeiten des Behälters oder der Befüll- oder Entleerungsvorrichtungen

zu entdecken, gibt es mehrere Maßnahmen. Eine Möglichkeit wäre die Erfassung des Füllstandes, damit können Verluste entdeckt werden, die sowohl über Behälter als auch über Befüll- und Entleerungseinrichtungen entstehen. Allerdings ist die hinreichend genaue Bestimmung des Füllstandes während der Fahrt insbesondere bei geringen Verlusten nicht gegeben.

Denkbar wäre auch eine Überprüfung der einzelnen Befüll- und Entleerungsvorrichtungen auf Dichtheit. Hier kann keine endgültige Empfehlung gegeben werden. Da es insbesondere für die Beurteilung der Dichtheit der Ventile und des Behälters sinnvoll wäre die Auftretenswahrscheinlichkeiten von Undichtigkeiten zu kennen. Die Auftretenswahrscheinlichkeit für den sofortigen Ausfall von Druckventilen in der chemischen Industrie wird mit einem Durchschnittswert von  $10^{-6}$  pro Jahr angegeben [180], [92]. Dies ist eine sehr niedrige Auftretenswahrscheinlichkeit, die zu der Annahme führt, dass sich der Aufwand der Überprüfung der einzelnen Ventile auf Dichtheit bezogen auf den möglichen Nutzen nicht rechtfertigt.

Undichtigkeiten der Ventile durch Unfälle kann bei Entgleisungen auftreten. Ventile am Unterboden von Kesselwagen werden oft durch Entgleisungen abgerissen [82]. Für diesen Fall wären statt einer dauerhaften Überprüfung der Dichtheit sicherheitstechnische Maßnahmen zu empfehlen, die die Schwere der Auswirkung verringern. Dies könnten Gleitbleche sein, die die Ventile an der Unterseite schützen oder Abreißsicherungen, die den Produktstrom bei Ventilabriss unterbrechen.

### **3.1.2.2 Kesselwagen-Laufwerk**

Die in [113] durchgeführte Fehler-Möglichkeits- und Einflussanalyse des Laufwerks liefert eine erste Bewertungsgrundlage für die wichtigsten Ausfälle des Laufwerks. Die Hauptfunktionen des Laufwerks sind die „Zugeinheit sicher im Gleis führen“ und das „Ladegut sicher zu transportieren“. Um diese Funktionen sicher zu erfüllen, muss eine Vielzahl von Faktoren und deren Zusammenspiel begutachtet werden. Die Funktionen der einzelnen Laufwerkskomponenten und sowohl deren mögliche Fehlfunktionen als auch die Systemauswirkungen dieser Fehlfunktionen stehen oft in direktem Zusammenhang miteinander.

Das komplexe Zusammenspiel der einzelnen Faktoren bedeutet, dass Fehlerauswirkungen auf diverse Ausfälle der Einzelkomponenten zurückzuführen sind. Ein Großteil der betrachteten Ausfälle kann möglicherweise zu einem der schwerwiegenden Ausfälle des Systems führen. Dadurch wird ein großer Block von sehr bedeutsamen Fehlerauswirkungen auf das System erfasst, unter anderem die erhöhten Entgleisungswahrscheinlichkeiten und der Ausfall der Bremse.

Für das Laufwerk des Güterwagens gibt es bisher kaum Möglichkeiten der Fehlerentdeckung während der Fahrt. Es existieren drei Bereiche möglicher Entdeckungen:

- Gleisfeste Ortungsanlagen von lauftechnischen Parametern
- Bemerkungen von Auffälligkeiten am Fahrzeug durch Personen
- Kontrollen vor Fahrtantritt

Gleisfeste Ortungsanlagen gibt es für die Feststellung von Heißläufern, festgestellte Bremsen, Flachstellen, Unwuchten und Radlasten. Grundsätzlich kann mit gleisfesten Anlagen nur eine punktuelle Erfassung der Parameter erfolgen. Zur Flachstellen- und Unwuchtortung sowie zur Erfassung von Radlasten durch Radlastwaagen sind bisher kaum Anlagen installiert, so dass bisher keine ausreichende Ausfalldiagnose möglich ist.

Heißläufer- und Festbremsortungsanlagen sind weit häufiger verbreitet. Im Netz der SBB existiert alle 60 km eine Ortungsanlage [181]. Im Netz der DB AG existieren 185 Anlagen, wobei Aus- und Neubaustrecken standardmäßig Ortungsanlagen für Heißläufer und feste Bremsen erhalten [78]. Trotz laufender Netzverdichtung kann ein Heißläufer auch zwischen zwei Ortungsanlagen auftreten und ein Laufwerksschaden entstehen. Problembereiche der Heißläufer und Festbremsortung sind die verschiedenen Arten von Achslagern und Bremsensystemen und deren unterschiedliche Einbaulage; zum Beispiel können Heißläuferortungsanlagen Probleme bei der Drehgestellbauart Y25 schlecht messen [1]. Dies führt insbesondere für den Güterwagenverkehr dazu, dass Heißläufer nicht detektiert werden, da das Drehgestell Y25 im Güterwagenverkehr und auch im Gefahrguttransport sehr verbreitet ist. (vgl. Bild 10).

Detailliertere Aussagen zur Achslagerdiagnose bzw. zur Heißläuferortung wurden bereits in Kapitel 2.3.4 ab Seite 33 gemacht.

Auffälligkeiten am Fahrzeug können durch außenstehende Personen dann entdeckt werden, wenn es sich um optisch oder akustisch wahrnehmbare Merkmale handelt. Dies könnte zum Beispiel bei Dampf- oder Rauchentwicklung, gebrochenen Rädern, Achsbruch oder aufgetretener Entgleisung der Fall sein. Als wahrnehmende Personen kommen der Lokführer des eigenen Zuges, ein entgegenkommender Lokführer, Streckenpersonal oder Personen in Gleis- und Bahnhofsnähe in Betracht. Insgesamt wird diese Art der Entdeckung als theoretisch möglich aber unwahrscheinlich eingestuft. Es können nur wenige und sehr gravierende Ausfälle entdeckt werden.

Eine mögliche Verbesserung der Entdeckung durch Personen wäre, nicht bemerkbare Parameter nach der Detektion und z.B. Überschreitung eines Grenzwertes durch optische oder akustische Warnsignale am Wagen zu verdeutlichen. Somit könnte die Entdeckungswahrscheinlichkeit insbesondere durch entgegenkommende Triebfahrzeugführer erhöht werden. Bei Kontrollen vor Fahrtantritt können der Natur der Sache nach keine Mängel entdeckt wer-

---

<sup>1</sup> bis Ende 2003 ist die Installation von 42 Messstellen in der Schweiz geplant

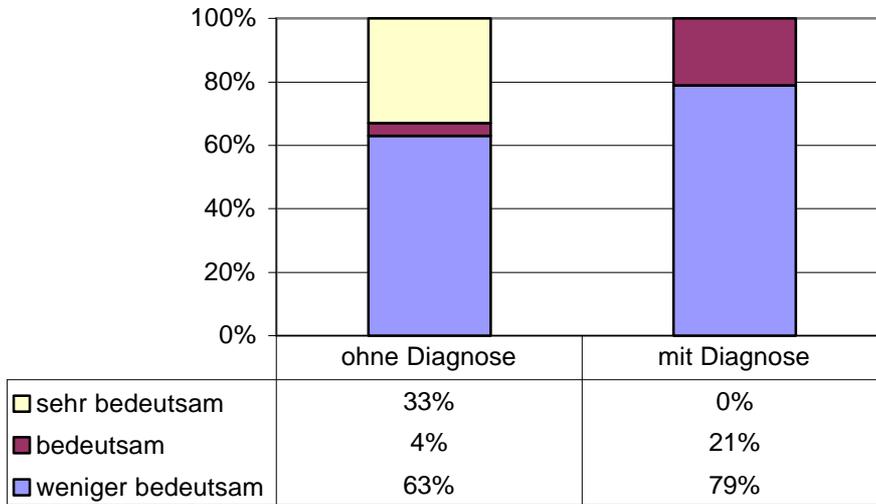
den, die während der Fahrt auftreten. Dennoch wurde die Bremsprobe, die vor der Fahrt durchgeführt, mit in die Bewertung aufgenommen, da sie erhebliche Bedeutung für den Betrieb des Fahrzeugs hat.

Mit den bisher vorhandenen Entdeckungsmöglichkeiten kann nur ein kleiner Anteil der möglichen auftretenden Ausfälle detektiert werden, und dies wie beschrieben oftmals in unbefriedigender Weise (s. auch Kap. 1.2.3). Daraus ergibt sich, dass zum heutigen Zeitpunkt die Entdeckungsmöglichkeiten von Ausfällen im Laufwerk als sehr schlecht bewertet werden müssen. Die Kombination aus wenig Entdeckungsmöglichkeiten und schwerwiegenden Fehlerauswirkungen führt zu einer sehr hohen Anzahl sehr bedeutsamer Ereignisse. Etwa sechzig Prozent der betrachteten Ausfälle wurden mit Produkten aus S x E von größer als 89 begutachtet und nur drei Prozent liegen unterhalb von 50.

Aufbauend auf den als bedeutsam eingestuften Ausfällen wurde ein Vielzahl von Diagnosemöglichkeiten bewertet, die die Entdeckung dieser Ausfällen ermöglichen. Darunter fällt unter anderem die Überwachung der Federwege im Laufwerk, die Erfassung von Vertikal- und Querschleunigungen, die Temperaturmessung im Radlager, die Diagnose der Bremseinrichtung über Drucksensoren im Bremszylinder und die Erfassung der Zustandes der Bremsklötze auf Anliegen oder nicht. So konnte die Anzahl der Ausfälle mit Produkten von S x E größer als 89 von sechzig Prozent auf etwa ein Drittel der betrachteten Ausfälle reduziert werden. Der Anteil der Ausfälle unterhalb von 50 lag vor den eingeführten Diagnosemöglichkeiten bei drei Prozent und nach der Bewertung mit Diagnose bei etwa der Hälfte der betrachteten Ausfälle.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch Anwendung der Fehler-Möglichkeiten- und Einflussanalyse ein Mittel zur Verfügung steht, mit dem erste Festlegungen für sinnvolle Diagnoseeinrichtungen getroffen werden können. Weiter kann mit der FMEA der Nutzen der Diagnoseeinrichtungen bewertet werden (siehe Bild 13 und Bild 14) . Sie ist als eine Diskussionsgrundlage für die weitere Arbeit auf dem Gebiet der Gefahrguttransporte in Kesselwagen anzusehen.

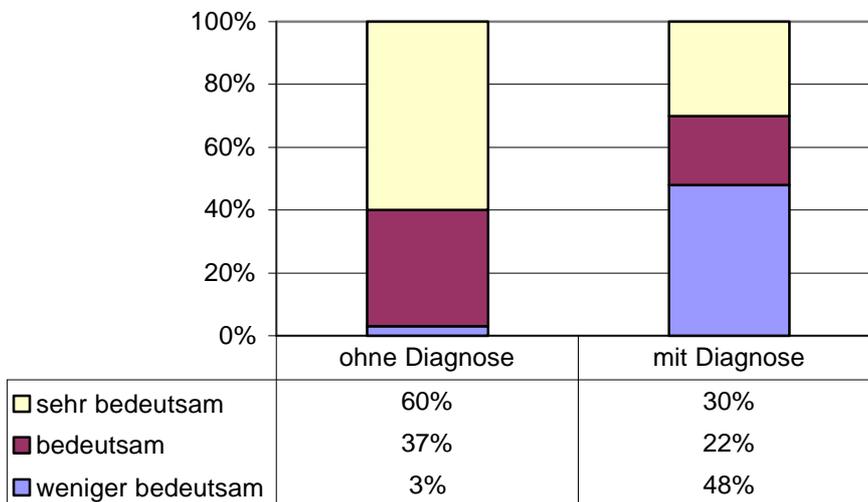
**FMEA-Ergebnisse für Kesselwagenaufbauten**



**Bild 13: Bewertung des Nutzens der Diagnose mittels der FMEA am Beispiel von Kesselwagenaufbauten**

Quelle: Eigene Darstellung nach [113]

**FMEA-Ergebnisse für Kesselwagenlaufwerke**



**Bild 14: Bewertung des Nutzens der Diagnose mittels der FMEA am Beispiel von Kesselwagenlaufwerken**

Quelle: Eigene Darstellung nach [113]

## **3.2 Erhöhung der Transportsicherheit**

### **3.2.1 Entgleisungsdetektion**

#### **3.2.1.1 Allgemein**

Das Auftreten einer Entgleisung eines Wagens ist nicht unmittelbar gefährlich, sofern sie nicht unentdeckt bleibt. Es besteht nach der Entdeckung die Möglichkeit, durch gezieltes Abbremsen einen sicheren Zustand zu erreichen, ohne dass es zur Katastrophe kommt. Das Problem besteht derzeit jedoch darin, dass Entgleisungen eines Wagens meist bis zum Eintreten eines Sekundärereignisses, das dann zu einem erheblichen Schaden führen kann, unentdeckt bleiben. Bei Güterwagen, die in einem Zugverband geführt werden, besteht kaum die Möglichkeit der Entdeckung einer Entgleisung, da der Lokomotivführer subjektiv die eingetretene Entgleisung nicht bemerken kann und objektiv keine Anzeige für ein solches Ereignis existiert; somit wird eine Entgleisung meist rein zufällig durch außenstehende Personen entdeckt (vgl. Bericht über den Vorfall in Roermond auf Seite 33 und Kapitel 2.3.1).

Im Anhang, Kapitel C, sind Eisenbahnunfälle zusammengestellt, die auf Entgleisungen unterschiedlichster Ursachen der Spurführungstechnik basieren, d.h. nicht durch äußere Einwirkungen hervorgerufen wurden (z.B. Gegenstände auf dem Gleis, Erdbeben o.ä.). Anhand dieser Beispiele aus dem Bereich des Personen- und Gütertransports soll nur verdeutlicht werden, welche katastrophalen Auswirkungen bisher bei Entgleisungen aufgetreten sind und wie häufig Entgleisungen weltweit sind. Nach Auffassung des Autors spielt beim Ausmaß des Schadens keine Rolle, ob eine Entgleisung an einem Personen- oder Güterzug aufgetreten ist, da auch die Schadensszenarien des Personenverkehrs bei Güterzügen eintreten können.

Im Rahmen der im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen<sup>1</sup> 1999 durchgeführten Entgleisungsversuche der TU Berlin wurden die Vorgänge bei einer Entgleisung detailliert messtechnisch untersucht. Dazu wurde ein zweistufiges Forschungsvorhaben durchgeführt, in dessen erster Phase eine Entgleisung unter kontrollierten Bedingungen verursacht und die dabei auftretenden Vorgänge an einem messtechnisch ausgestatteten Wagen dokumentiert wurden. Aus den gewonnenen Daten wurden mathematische Verfahren abgeleitet, die in späteren Telematik-Serienanwendungen eine sichere Unterscheidung zwischen normalen Betriebssituationen und einer Entgleisung ermöglichen sollen. In der sich anschließenden zweiten Phase wurden drei Gefahrgutkesselwagen, mit einem Telematiksystem ausgerüstet, um die Rechenvorschrift der in der ersten Phase gefundenen Modelle zu verifizieren und um einzelne, über die Entgleisungsdetektion hinausgehende, Fragen untersuchen zu können. Diese erweiterten Fragestellungen bezogen sich auf die Demonstration der Überwachung des Zustands des Ladeguts und einiger weniger Parameter der Fahrdynamik.

---

<sup>1</sup> Referat A44, Projekt-Nr. 96.0598/1999/

### 3.2.1.2 Messtechnische Untersuchung einer Entgleisung (Entgleisungsversuche)

Der Versuchszug der Entgleisungsversuche bestand aus einer Lokomotive und zwei angehängenen Wagen, wobei der erste Wagen nach der Lok die Funktion hatte, unter allen Bedingungen eine Beschädigung der Lok zu verhindern. Bild 15 zeigt den Versuchszug auf dem Versuchsgleis.



**Bild 15: Messzug der Entgleisungsversuche 1999 auf dem Werksgelände der Fa. Infaserv Hoechst [117]**

Die bei den Versuchen zu klärenden Fragestellungen waren, welche Stelle am Wagen am besten geeignet ist und welches Auswertungsverfahren die sicherste Unterscheidung zwischen dem alltäglichen Betriebsablauf und einer Entgleisung ermöglicht, um Fehlalarme und damit verbundene Betriebsstörungen ausschließen zu können. Dabei sollte sowohl die Art der Sensorik als auch die Datenverarbeitung so gewählt werden, dass bei der Entgleisungsdetektion bei zunehmender Verbreitung kommerzieller Telematiksysteme in diese implementiert werden kann. Die Versuche wurden auf dem in Bild 15 zu sehenden Gleis durchgeführt, wobei die Entgleisung durch eine einklappende Gleissperre ausgelöst wurde, die durch einen geeigneten Mechanismus vom vorauslaufenden Drehgestell ausgelöst wurde (s. Bild 63 im Anhang) .

Ausgerüstet wurde der Versuchswagen mit Weg- und Beschleunigungssensoren sowie einem Geschwindigkeitssensor. Detaillierte Übersichten über Lage und Orientierung der Sensoren finden sich im Anhang (Bild 64 und Bild 65). Die Messtechnik wurde auf der Bremserbühne des entgleisenden Wagens (über dem vorletzten Drehgestell des Zuges) elastisch montiert, um sie weitgehend vor Stößen, die nach der Entgleisung erwartet wurden, zu schützen.

Nach der Montage der gesamten Messtechnik wurden die Versuche in einem festgelegten Ablauf der Reihe nach durchgeführt. Zuerst wurden die Versuche mit leerem<sup>1</sup>, danach mit vollem<sup>2</sup> und anschließend Flachstellenversuche mit leerem Kesselwagen<sup>3</sup> durchgeführt. Bis auf den Versuch bei 43 km/h mit leerem Kesselwagen verliefen alle Versuche nach Plan; bei diesem Versuch zeigte sich als Besonderheit, dass nur der vorlaufende Radsatz des letzten Drehgestells entgleiste, der hintere jedoch die Gleissperre übersprang und wieder im Spurkanal landete (s. Bild 66). Überpufferungen traten dabei bei allen Versuchen mit beladenem Kesselwagen auf (s. Bild 67).

Zur Auswertung der ca. 340 Datensätze der Phase I des Entgleisungsversuchs wurde die Standardabweichung der Beschleunigung über ein 2-Sekunden-Intervall benutzt.

Unter dem Begriff Standardabweichung wird der Kehrwert der Varianz, die die quadratische Abweichung vom Datensatzmittelwert beschreibt, verstanden.

Mathematisch ausgedrückt, gilt für die Messwerte  $x_i$  mit  $i = 1, 2, \dots, k$ , die sich um den Mittelwert  $\mu$  bewegen, folgende Gleichung:

$$\sigma(x) = \sqrt{V(x)} = \sqrt{(x_1 - \mu)^2 p_1 + (x_2 - \mu)^2 p_2 + \dots + (x_k - \mu)^2 p_k}$$

Der Parameter  $p_i$  steht dabei für die Häufigkeit, mit der  $x_i$  aufgetreten ist.

Die Standardabweichung  $\sigma$  ist hierbei ein Maß für die Dynamik eines Signals.

Da von einer Normalverteilung der vorliegenden Beschleunigungssignale ausgegangen wird, gibt die Standardabweichung diejenige Beschleunigung an, deren zahlenmäßiges Auftreten 68% nicht überschreitet (s. Bild 16).

Singuläre Ereignisse, z.B. Weichenüberfahrten oder Flachstellen, beeinflussen diesen Wert nur wenig; eine Entgleisung dagegen führt über einen langen Zeitraum zu einem sehr dynamischen Signal mit hohen Beschleunigungsamplituden, die zu einer zeitlich konstant hohen Standardabweichung führen.

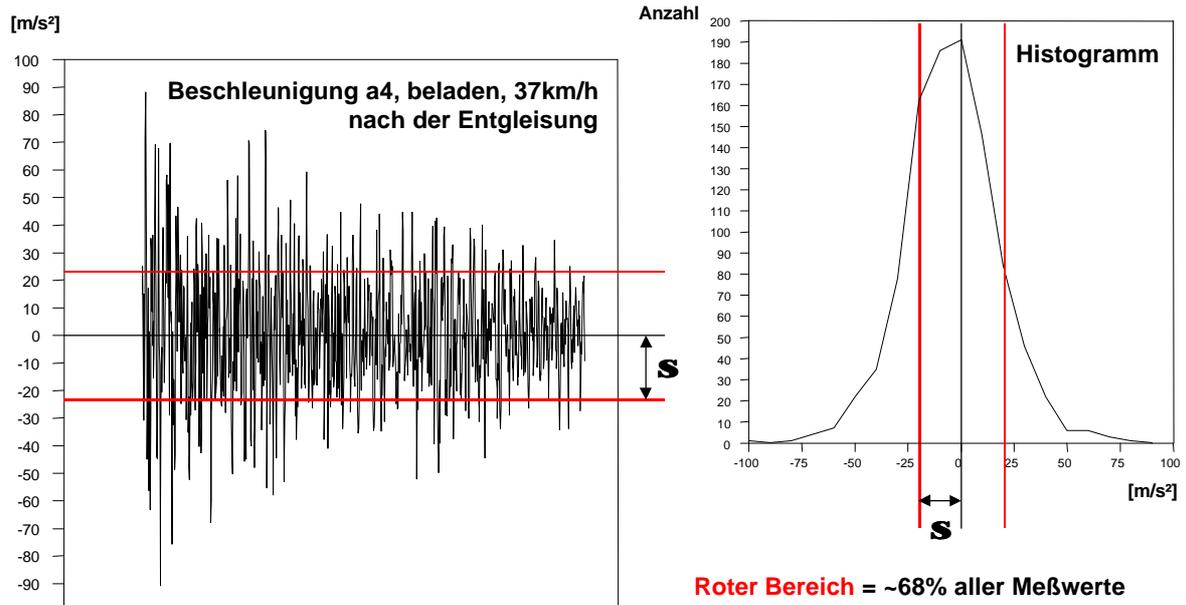
Nach Bildung des Auswertungsintervalls von zwei Sekunden nach Eintritt der Entgleisung und nach Berechnung der Standardabweichung wurden Kennzahlen entwickelt, durch die die Diagnosesicherheit wiedergegeben wird, wodurch anhand der Messwerte bestimmt werden kann, ob eine Entgleisung im Vergleich zu den Messwerten des normalen Betriebs eingetreten ist. Diese Kennzahlen wurden als Maß der Eignung einer Entgleisungsdetektion definiert und sind in Bild 17 dargestellt.

---

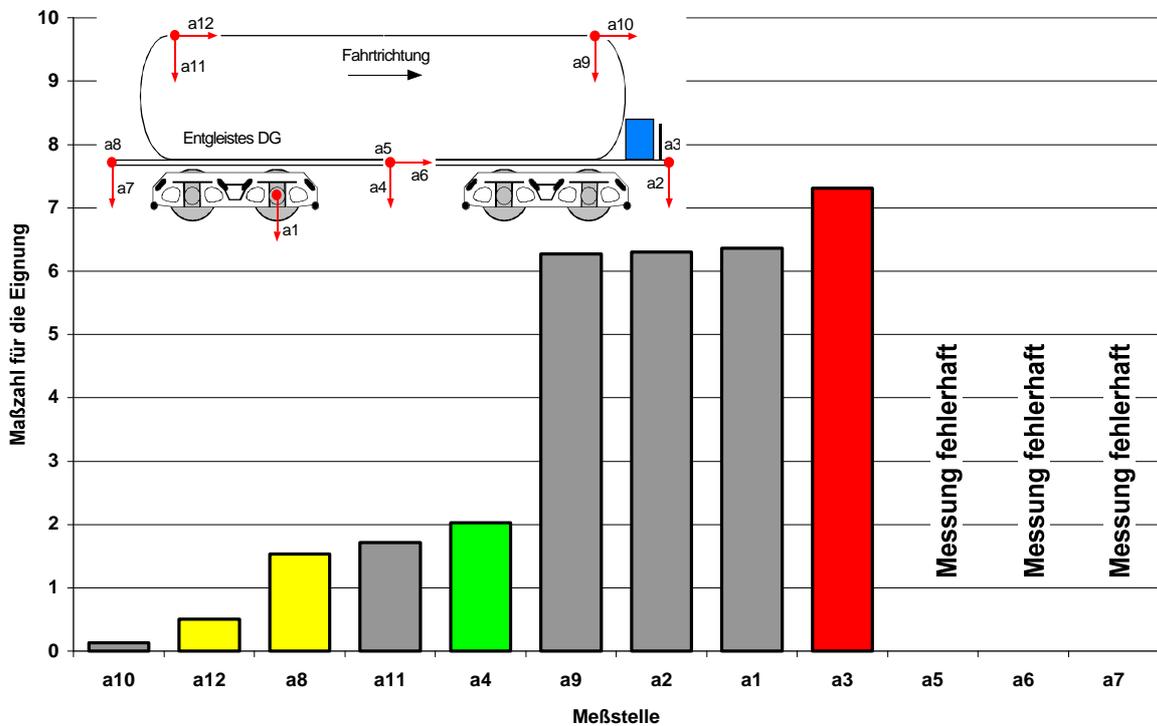
<sup>1</sup> 13, 26, 38 und 43 km/h

<sup>2</sup> 16, 25 und 37 km/h

<sup>3</sup> 13, 16, 21, 25, 37 und 45 km/h



**Bild 16:** Die Standardabweichung am Beispiel von der vertikalen Beschleunigung des Versuchskesselwagens im beladenen Zustand bei 37km/h [117]



**Bild 17:** Eignung der Messstellen der Phase I zur Entgleisungsdetektion [117]

Bei der Interpretation des Diagramms sind allerdings einige spezielle Versuchsrandbedingungen zu beachten:

- Der Versuchszug hatte eine vergleichsweise geringe Masse.  
Bei realen Zügen ist im Entgleisungsfall in Längsrichtung eine erheblich geringere Dynamik zu erwarten; im Betrieb dagegen wird eine höhere Grunddynamik erwartet.
- Die Entgleisungsversuche wurden am letzten Drehgestell des Versuchszuges durchgeführt.  
Dies ist ein Sonderfall. In der Praxis ist es wahrscheinlicher, dass ein Drehgestell mitten im Zug entgleist und durch vor- und nachlaufende Wagen im Bereich nahe der Gleise gehalten wird. Eine freie Längs- und Querdynamik wie im vorliegenden Fall ist nicht zu erwarten.  
Unter diesem Aspekt ist auch die vermeintlich gute Eignung der Querschleunigungsmessstelle  $a_8$  zu sehen, da diese aufgrund eines möglichen Wagenlaufs in umgekehrter Richtung dann bei Entgleisung des anderen Drehgestells der Messstelle  $a_3$  und damit einer deutlich schlechteren Eignung entspräche. Ähnlich verhält es sich mit den Ergebnissen der Messstellen  $a_7$  und  $a_2$ .

Zusammenfassend lässt sich damit als Ergebnis der Phase I festhalten, dass sich aus technischer Sicht an allen gemessenen Messorten eine Entgleisung detektieren lässt. Die Mittelwerte der Standardabweichungen bei der Leer- und Lastfahrt liegen nicht über 11% vom Niveau der vollständigen Entgleisung. Bei der einachsigen Entgleisung, bei der nur der erste Radsatz entgleist ist, erreichen die Werte knapp 23%. Eine gute Unterscheidbarkeit liegt somit vor.

Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen ist die Messstelle  $a_4$  (Vertikalrichtung in Fahrzeugmitte) am besten zur Entgleisungsdetektion geeignet, da an diesem Messort in Vertikalrichtung ein vergleichsweise großer relativer Unterschied zwischen der Standardabweichung im Betrieb im Entgleisungsfall auftritt und beide Drehgestelle mit nur einem Sensor überwacht werden können.

### 3.2.1.3 Ergebnisse des Feldversuchs

Aufbauend auf den Ergebnissen des oben geschilderten Entgleisungsversuchs wurden die gewonnenen Erkenntnisse durch einen Feldversuch mit den in der täglichen Praxis auftretenden Belastungen eines Wagens verglichen. Da sich das größte Potenzial zur Steigerung der Transportsicherheit bei Gefahrgutwagen bietet, wurden drei Kesselwagen unterschiedlicher Produktspektren für den Versuch ausgewählt. An ihnen wurden jeweils ein stark modifiziertes und erweitertes Telematiksystem der Firma Krupp Timtec Telematik (heute Timtec Teldatrans) montiert, das der Messwerterfassung und -weiterleitung per GSM diene. Zusätzlich diene der Feldversuch mit drei Wagen dazu, unterschiedliche Produktions-,

Gleis- und Witterungsbedingungen zu untersuchen sowie die Einflüsse zufälliger Stellungen der Wagen im Zugverband zu erfassen.

Ein weiteres Ziel der zweiten Phase war, Chancen und Probleme bei der Wagenverfolgung bzw. der Ladegutüberwachung bei Gefahrgütern zu untersuchen, was in Kapitel 3.2.2 detaillierter ausgeführt werden wird.

Aufgrund ihrer vollkommen unterschiedlichen betrieblichen Anforderungen und der transportierten Stoffe, die beispielhaft für das Gefahrgutaufkommen im Schienengüterverkehr sind, wurden folgende Wagen ausgewählt.

### **1. Chemiekesselwagen**

Bei diesem Wagen handelt es sich um einen 4-achsigen Chemiekesselwagen mit dem Monochloressigsäure zwischen Deutschland und Finnland transportiert wird (Wagen-Nummer: 34 80 787 3 442-6, s. Bild 68 und Bild 71). Der Kessel dieses Wagens hat ein Volumen von 45 m<sup>3</sup>.

Die Besonderheit bei diesem Transport ist die Notwendigkeit der Einhaltung von Temperaturgrenzen des Ladeguts. Aus diesem Grund ist der Kessel mit einer 20 cm starken PU-Schaum-Isolation versehen, die die Temperatur des Ladeguts im Normalfall des Betriebs zwischen Deutschland und Finnland im Bereich zwischen 40°C und 20°C halten kann. Sollte dennoch die Temperatur zu stark absinken, sind entlang der Transportstrecke Notheizstellen erreichbar, die eine Aufheizung des Transportguts mit Heißdampf ermöglichen, was allerdings mehrere Tage dauern kann.

Ausgerüstet war der Wagen während der Versuchsfahrten mit UIC-430-3-Drehgestellen (Bauart Talbot-R).

### **2. Mineralölkesselwagen**

Wagen dieses Typs werden häufig zum Transport von Mineralölprodukten eingesetzt. Während der Versuchszeit wurden mit ihm helle Mineralölprodukte transportiert, z.B. Otto- und Dieselkraftstoffe sowie Heizöle.

Es handelt sich um einen 4-achsigen Kesselwagen mit der Wagen-Nummer 33 80 784 5 756-5 (s. Bild 69 und Bild 72); der Kessel dieses Wagens hat ein Volumen von 86 m<sup>3</sup>. Ausgerüstet war der Wagen während der Versuchsfahrten mit Y25-Drehgestellen.

### 3. Druckgaskesselwagen

Bei dieser Wagonbauart wurde zusätzlich zur Entgleisungsdetektion die Frage der Beladungserfassung und der Messung des Kesseldrucks untersucht.

Es handelte sich um einen 4-achsigen Kesselwagen, mit dem unter Druck verflüssigte Gase transportiert werden können (Wagen-Nummer: 33 80 791 7 665-1, s. Bild 70 und Bild 73). Der Kessel dieses Wagens hat ein Volumen von 86 m<sup>3</sup>. Ausgerüstet war der Wagen während der Versuchsfahrten mit Drehgestellen der Bauart 661.1.

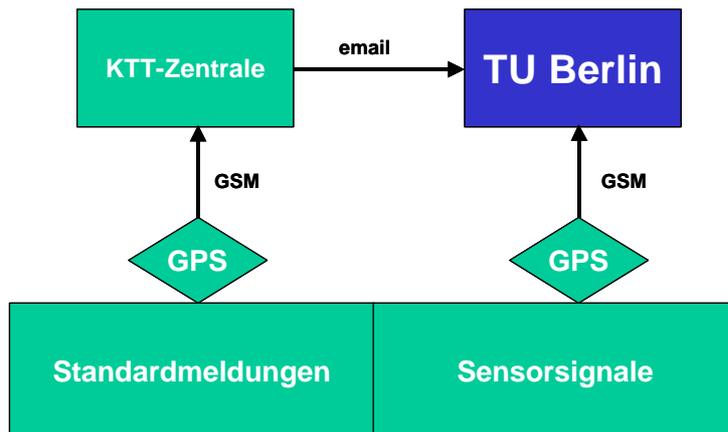
Alle drei Kesselwagen wurden mit einem eigens für diesen Versuch weiterentwickelten Telematiksystem auf Basis des ATIS-Systems der Firma KTT ausgestattet. Als kommerzielles Produkt für logistische Informationsübermittlung waren große Anstrengungen seitens des Herstellers und der TU Berlin erforderlich, um ein Maximum an Sensorikanschlüssen und Übertragungsfunktionalität gem. Tabelle 2 zu erreichen.

In Tabelle 2 sind die Sensorikfunktionalitäten der drei ATIS-Systeme aufgelistet. Während der Systemerprobung und Installation an den Wagen wurde der Forschungsauftrag durch die Insolvenz der Fa. KTT überschattet, so dass einige Funktionalitäten nicht zufriedenstellend zu Ende entwickelt wurden (in Tabelle 2 mit „(\*)“ gekennzeichnet). Die Hauptfunktion jedoch, die Entgleisungsdetektion, funktionierte bei allen Systemen, so dass diese im weiteren Verlauf zur Verifikation der in der ersten Phase gewonnenen Daten herangezogen wurden. Schwierigkeiten stellte die Herstellung der Konformität mit den Anforderungen des Explosionsschutzes dar; die Solarpaneele mussten dabei den strengen Anforderungen der Explosionsschutzklasse 1 entsprechen, die Telematiksysteme konnten so ausgeführt werden, dass durch manuelle Abschaltung mit einem Batterietrennschalter (s. Bild 76) das System während des Aufenthalts im Ex-Schutz-Bereich stromlos war. Detailfotos finden sich im Anhang ab Seite 190.

Die Übertragung der Daten zwischen den am Wagen montierten Systemen und der Technischen Universität Berlin wurde auf zwei verschiedenen Wegen realisiert.

Die Standardmeldungen der ATIS-Systeme wurden wie bei den handelsüblichen ATIS-Systemen per Funk zum Server der Fa. Krupp Timtec Telematik übertragen. Von dort wurden sie per email an den PC der TU Berlin geschickt, wo sie automatisch in das Wagen-Tracking-System „FIS“ eingefügt wurden.

Die Datensätze der Sensoren wurden mit einem Funkmodem direkt vom System am Wagen per GSM-Datenfunk zu dem PC der TU Berlin übertragen. Dadurch konnten große Datenmengen zuverlässig per Funk übertragen werden. Bild 18 zeigt die Kommunikationsstruktur der Messsysteme.



**Bild 18: Kommunikationsstruktur der Datenmeldungen**

In der ersten Phase dieses Forschungsvorhabens [116] wurde festgestellt, dass die Standardabweichung eines Datensatzes ein geeignetes Maß ist, Anomalitäten im Fahrzeuglauf zu detektieren. Dies führte in weiteren Überlegungen dazu, nur 2-Sekunden-Intervalle zu betrachten, da sich dadurch der Rechenaufwand, schon in Hinblick auf eine Umsetzung auf ein Telematiksystem auf einem Wagen in der Praxis, sehr in Grenzen hält und die Aussagen dennoch zuverlässig sind.

In der ersten Phase wurde weiter bestimmt, dass das Datenintervall, aus dem die Standardabweichung bestimmt wird, von 0 bis 2 Sekunden reichen sollte. Die Auswertung der Messdaten der zweiten Phase weisen jedoch auf einen modifizierten Algorithmus hin, der im folgenden näher beschrieben werden soll. Dazu wurde folgender Weg der Datenerfassung gewählt.

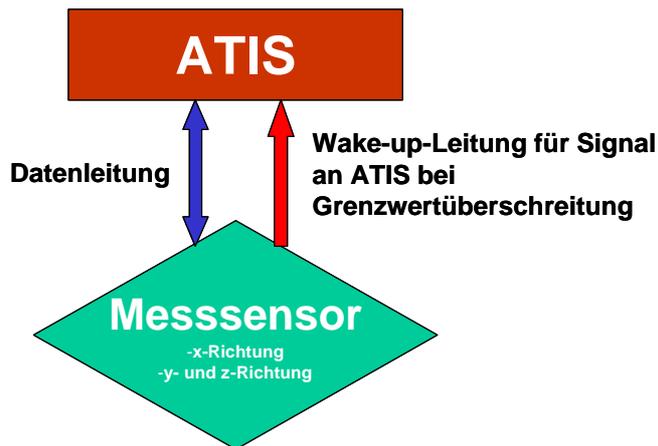
Für die Beschleunigungsmessung des Triaxialsensors konnten Schwellwerte frei definiert werden, ab deren Überschreitung die Aufzeichnung der Messwerte begann. Ein Subsystem des Telematiksystems überwachte dabei ständig die parametrisierten Kanäle auf Überschreitung der Schwellwerte und aktivierte das ansonsten im Stand-by-Modus befindliche Hauptsystem bei Schwellwertüberschreitung (s. Bild 19).

Kurze Ereignisse, die eine Schwellwertüberschreitung auslösen, gehen somit in den Messdatensatz mit ein. Häufig handelt es sich jedoch nur um eine kurze und singuläre Störung, die z.B. durch eine Gleisstörung o.ä. ausgelöst wird. Singuläre Störungen verursachen einen vollkommen anderen Messwertverlauf als z.B. eine Entgleisung, bei der der Schwellwert ständig durch das Überfahren der Schwellen erreicht wird. Somit empfiehlt sich eine Auswertungsstrategie, die die Schwellwertüberschreitung registriert, aber die Bildung der Kennzahlen erst um einen geringen zeitlichen Betrag verzögert beginnen lässt. Singuläre Einzereignisse, die zu einer Schwellwertüberschreitung führen, werden somit bei der Bildung der Kennwerte nicht berücksichtigt.

**Tabelle 2: Überblick über die messtechnische Ausstattung der Versuchswagen**

Chemiekesselwagen	Mineralölkesselwagen	Druckgaskesselwagen
1. ATIS <ul style="list-style-type: none"> <li>• GPS (2x)</li> <li>• GSM (2x)</li> <li>• Solarpaneel klein</li> <li>• Außentemperatur (2x)</li> <li>• Batteriemanagement (2x)</li> </ul>	1. ATIS <ul style="list-style-type: none"> <li>• GPS</li> <li>• GSM</li> <li>• Solarpaneel groß</li> <li>• Außentemperatur</li> <li>• Batteriemanagement</li> </ul>	1. ATIS <ul style="list-style-type: none"> <li>• GPS</li> <li>• GSM</li> <li>• Solarpaneel groß</li> <li>• Außentemperatur</li> <li>• Batteriemanagement</li> </ul>
2. Triaxialer Beschleunigungssensor (Entgleisungssensor)	2. Triaxialer Beschleunigungssensor (Entgleisungssensor)	2. Triaxialer Beschleunigungssensor (Entgleisungssensor)
3. Temperatursensor Ladegut <sup>1</sup>	3. Temperatursensoren Achslager (4 Stk.) (*)	3. Temperatursensoren Achslager (4 Stk.) (*)
	4. Beschleunigungssensoren Achslager (4 Stk.) (*)	4. Beschleunigungssensoren Achslager (4 Stk.) (*)
		5. Ultraschallsensoren zw. Achslager und Drehgestellrahmen (4 Stk.) (*)
		6. Dehnungsmessstreifen zur Bestimmung des Kesseldrucks (*)
		7. Beschleunigungssensoren Achslagerdiagnose (*)
(*): Diese Funktionalitäten wurden durch KTT nicht zufriedenstellend entwickelt, ihre Auswertung findet nur stark eingeschränkt Eingang in die weitere Darstellung.		

<sup>1</sup> an einem gesonderten System angeschlossen



**Bild 19: Systemerweiterung mit Subsystem für den Triaxialsensor**

Anhand der Messwerte des Chemiekesselwagens soll im Folgenden näher auf die Entgleisungsdetektion eingegangen werden. Diagramme des Mineralölkesselwagens finden sich im Anhang; an geeigneter Stelle wird im Text auf diese verwiesen. Da es der Firma KTT bis Projektende nicht gelang, den Druckgaskesselwagen zuverlässig in Betrieb zu setzen, werden die wenigen Datensätze dieses Wagens aufgrund der geringen statistischen Aussagefähigkeit nicht zur Auswertung herangezogen.

Die analytische Untersuchung der Messdaten des Chemie- und Mineralölkesselwagens zeigte, dass die Unterscheidungssicherheit zwischen entgleistem Zustand und allen weiteren normalen Fahrtsituationen erhöht werden kann, wenn die Auswertung der Beschleunigungssignale nicht unmittelbar nach einer Schwellwertüberschreitung beginnt, sondern die erste halbe Sekunde danach verstreicht, bevor die Berechnung der Standardabweichung erfolgt. Das Berechnungsintervall von zwei Sekunden kann dabei weiter beibehalten werden.

Es zeigte sich, dass ein Intervall von zwei Sekunden repräsentativ genug ist, um einen längeren Messabschnitt in Hinblick auf das Auftreten einer Entgleisung zu charakterisieren. Dies soll an nachfolgenden Beispielen des Chemiekesselwagens verdeutlicht werden.

Bild 20 und Bild 22 zeigen jeweils die drei Messkanäle in (Fahrzeug - x-, y- und z-Richtung), bei denen eine Schwellwertüberschreitung die Messwertaufzeichnung beginnen ließ und bei denen jedoch nach kurzer Zeit die Amplituden auf ein normales Maß abklingen. Bild 20 weist als Besonderheit jedoch noch auf, dass die Schwingungen nach Abklingen auf ein normales Maß nach ca. neun Sekunden erneut durch den Fahrbetrieb angefacht werden. Dies lässt sich durch die Beförderung des Chemiekesselwagens in einem stark inhomogenen Zug und den daraus folgenden schlechten Laufeigenschaften plausibel erklären. Betrachtet man Bild 24, fällt auf, dass das Amplitudenniveau über einen längeren Zeitraum nach Messbeginn insgesamt auf einem hohen Niveau bleibt.

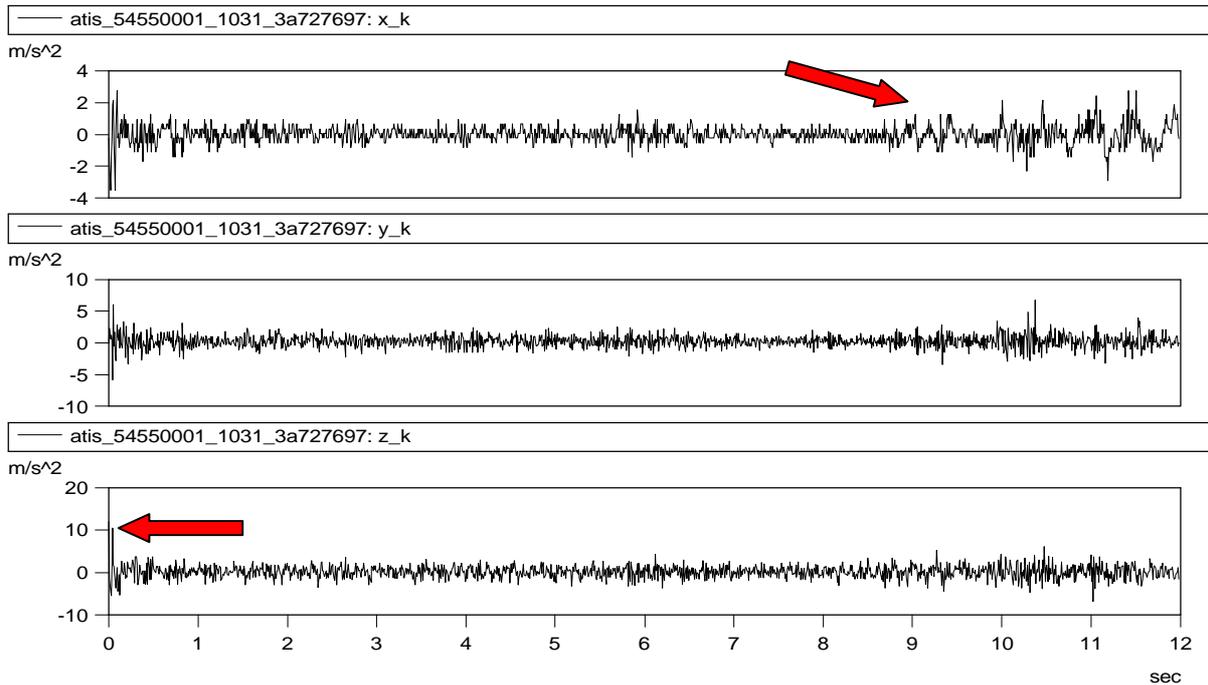
Die unterschiedlichen Messwertverläufe, die der täglichen Praxis entnommen sind, zeigen, dass das Messintervall, das zur Berechnung der Standardabweichung benutzt wird, einen starken Einfluss auf die Höhe der Standardabweichung und damit auf die Unterscheidbarkeit von denen einer eingetretenen Entgleisung hat. Wird beispielsweise ein großes Messintervall zur Berechnung der Standardabweichung herangezogen, kann es zur Berechnung einer hohen Standardabweichung kommen, wenn die Messwerte nach Messbeginn erst abfallen und im weiteren Verlauf wieder steigen, da die späteren hohen Amplituden in die Berechnung mit eingehen (s. Bild 20, x- und y- Kanal).

Die nähere Betrachtung des Berechnungsintervalls zeigt weiterhin, dass die Auswertung eines Zwei-Sekunden-Intervalls direkt ab Schwellwertüberschreitung zu hohe Werte liefert, da die hohen Anfangspeakings bezogen auf das Zwei-Sekunden-Intervall überbewertet werden, wenn es sich um nur um singuläre und kurzzeitige Ereignisse handelt. Der Beginn der Berechnung der Standardabweichung bei einer halben Sekunde nach Schwellwertüberschreitung liefert für die jeweilige Fahrtsituation zutreffende Standardabweichungen, ohne die Gefahr, eine Entgleisung nicht detektieren zu können, da bei einer Entgleisung die Amplituden durch das Berühren der Radsätze der Schwellen dauerhaft so hoch liegen, dass die Auswertung der ersten halben Sekunde ab Schwellwertüberschreitung nicht notwendig ist. Für Bild 20 bis Bild 24 lässt sich dies in Tabelle 3 zusammenfassen, die sich mit der gesamten Auswertung aller gemessenen Datensätze des Feldversuchs (Phase 2) deckt.

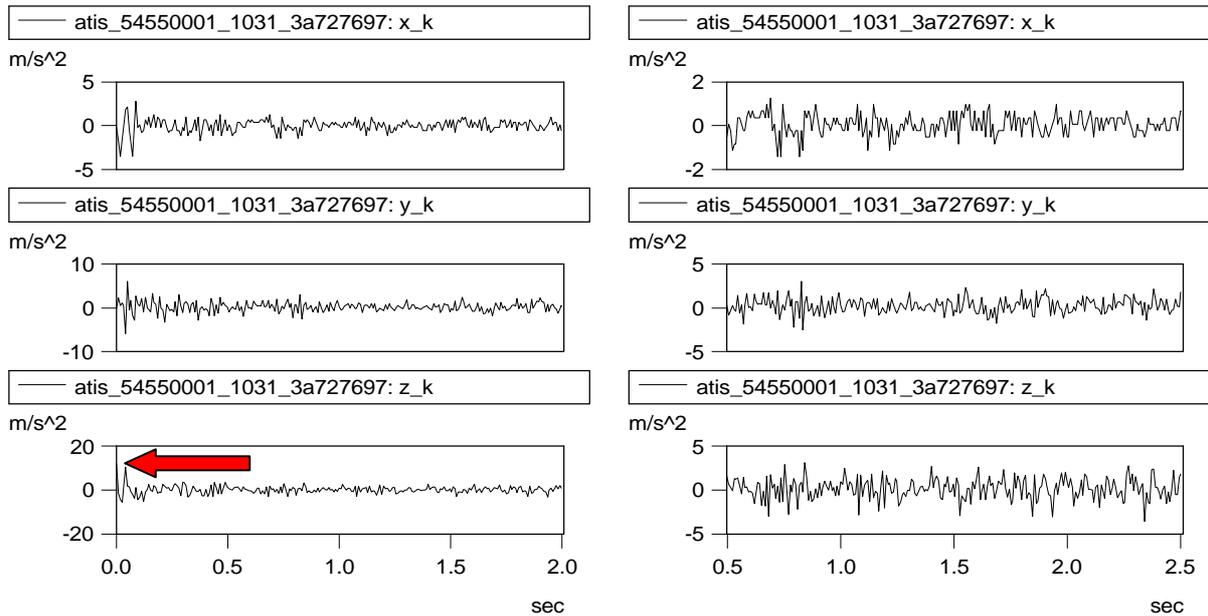
Dass Entgleisungen durch das modifizierte Auswertungsintervall sicher diagnostiziert werden können, zeigen auch Bild 29 und Bild 30, auf denen die im Auswertungsintervall zwischen 0,5 und 2,5 Sekunden gebildete Standardabweichung mit den Standardabweichungen der Fahrversuche des Entgleisungsversuchs (Phase 1) gegenübergestellt wurden.

**Tabelle 3: Für verschiedene Auswertungsintervalle an drei Datensatz beispielhaft berechnete Standardabweichungen**

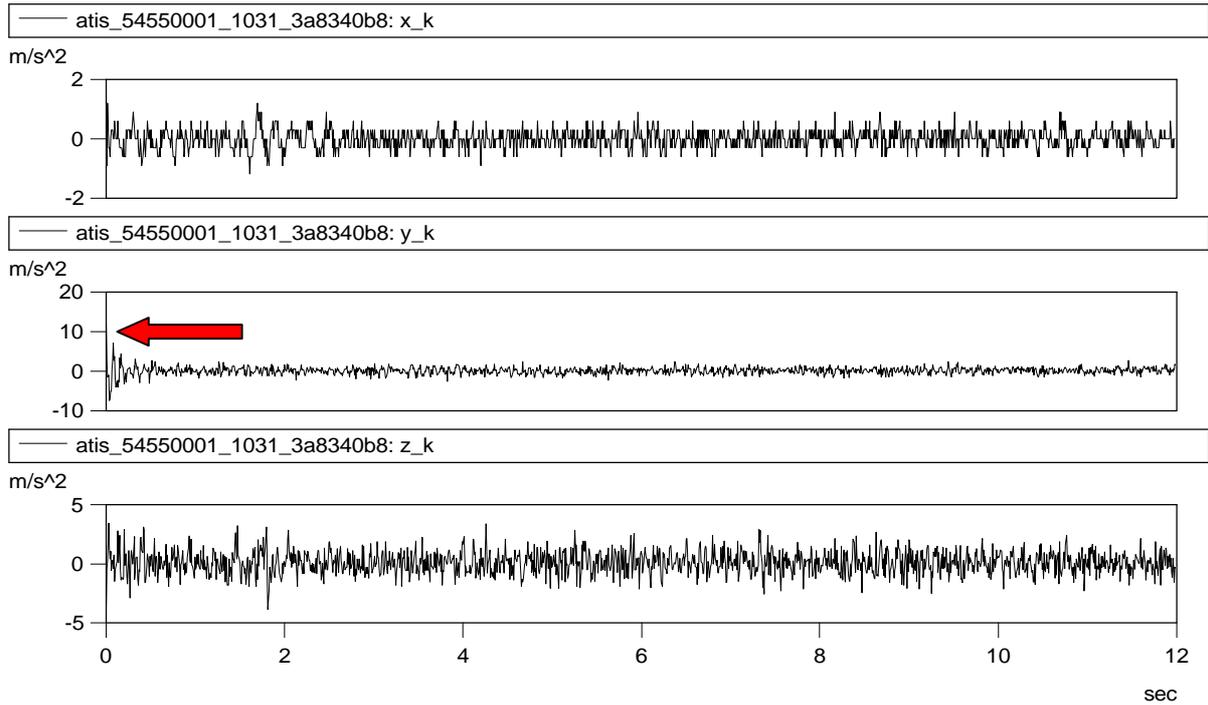
<b>Datensatz</b>	<b><math>\sigma_{\hat{t}}[0.0,12.0 \text{ s.}]</math></b>	<b><math>\sigma_{\hat{t}}[0.0,2.0 \text{ s.}]</math></b>	<b><math>\sigma_{\hat{t}}[0.5,2.5 \text{ s.}]</math></b>
atis_54550001_1031_3a727697 (s. Bild 20) - x-Achse - y-Achse - z-Achse	0,564 m/s <sup>2</sup> 0,979 m/s <sup>2</sup> 1,494 m/s <sup>2</sup>	0,704 m/s <sup>2</sup> 1,190 m/s <sup>2</sup> 1,843 m/s <sup>2</sup>	0,473 m/s <sup>2</sup> 0,861 m/s <sup>2</sup> 1,214 m/s <sup>2</sup>
atis_54550001_1031_3a8340b8 (s. Bild 22) - x-Achse - y-Achse - z-Achse	0,318 m/s <sup>2</sup> 0,975 m/s <sup>2</sup> 0,969 m/s <sup>2</sup>	0,404 m/s <sup>2</sup> 1,667 m/s <sup>2</sup> 1,163 m/s <sup>2</sup>	0,393 m/s <sup>2</sup> 0,813 m/s <sup>2</sup> 1,022 m/s <sup>2</sup>
atis_54550001_1031_3a7901cf (s. Bild 24) - x-Achse - y-Achse - z-Achse	0,672 m/s <sup>2</sup> 1,448 m/s <sup>2</sup> 1,855 m/s <sup>2</sup>	0,822 m/s <sup>2</sup> 1,604 m/s <sup>2</sup> 1,952 m/s <sup>2</sup>	0,660 m/s <sup>2</sup> 1,405 m/s <sup>2</sup> 1,641 m/s <sup>2</sup>



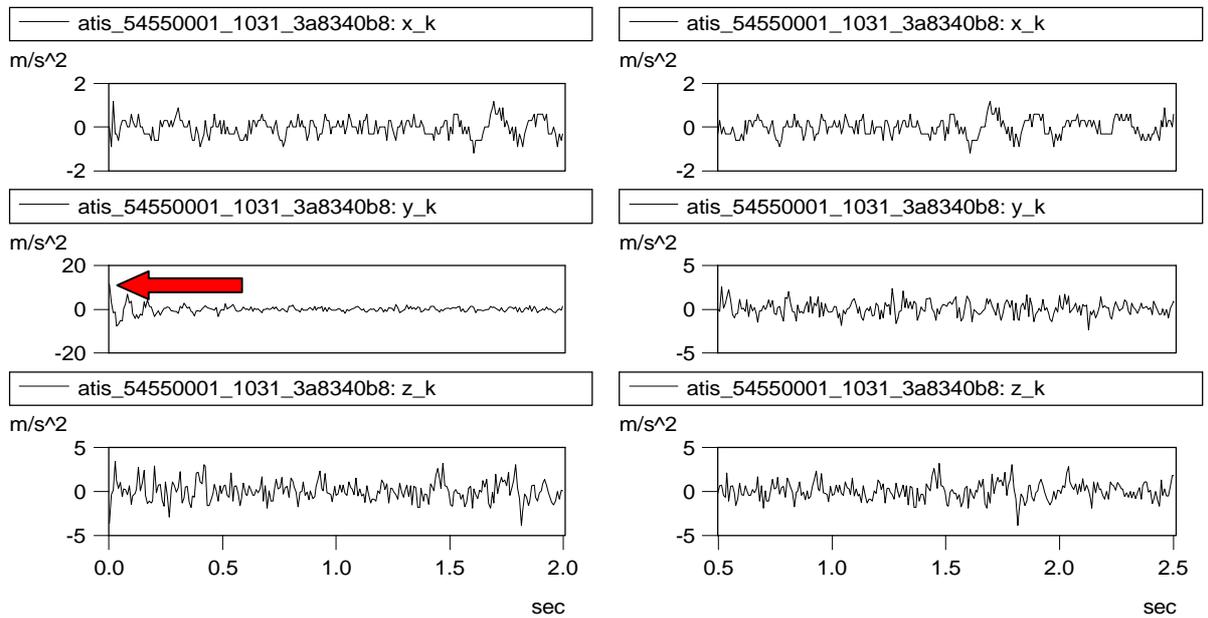
**Bild 20: Beispielhafter zeitlicher Verlauf der Triaxialbeschleunigung in Wagenmitte bei ca. 100 km/h**



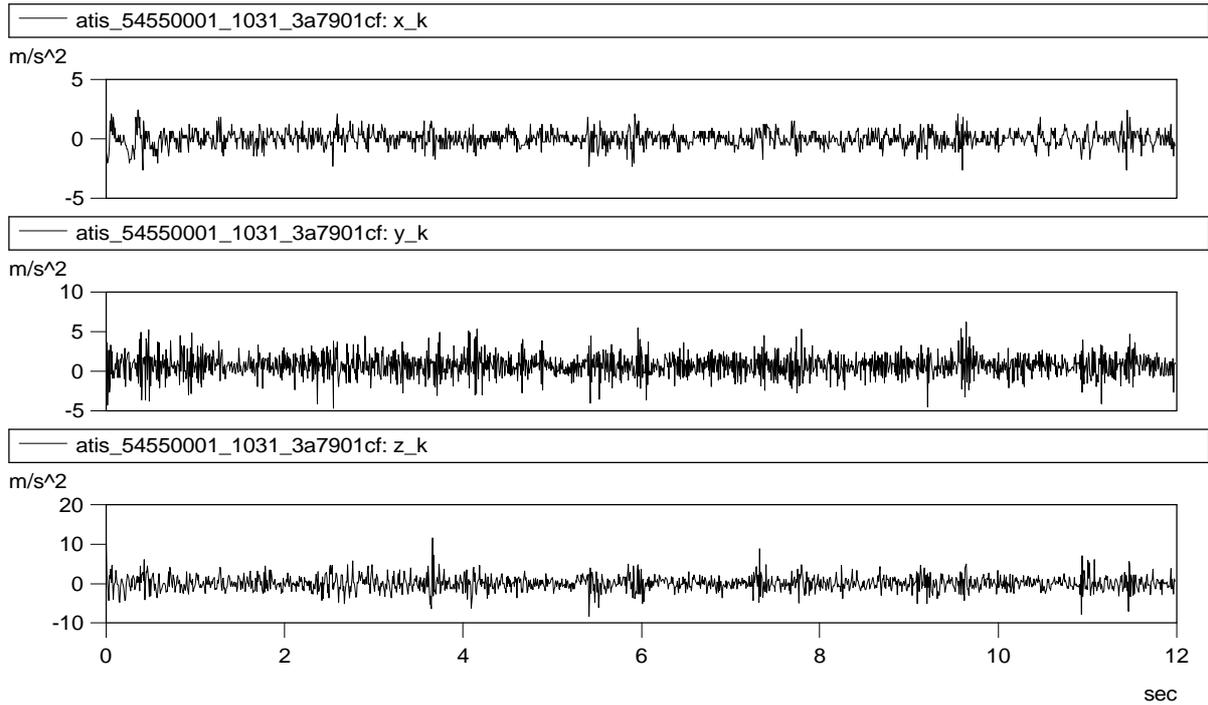
**Bild 21: Ausschnitt aus Bild 20 (links: 0,0 bis 2,0 Sekunden, rechts: 0,5 bis 2,5 Sekunden)**



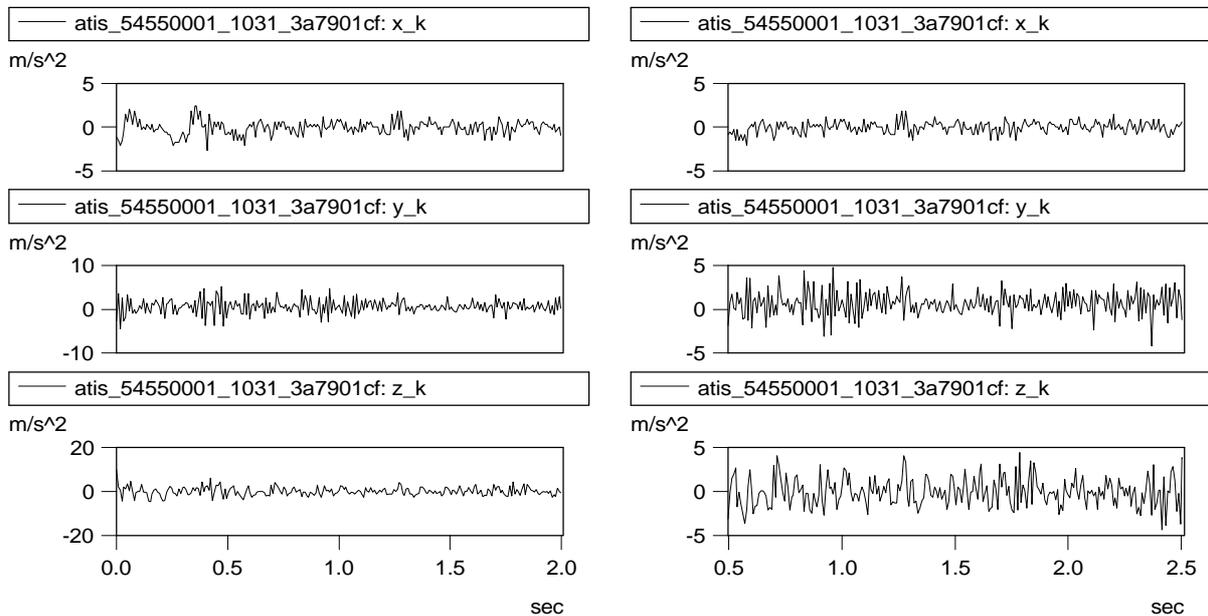
**Bild 22: Beispielhafter zeitlicher Verlauf der Triaxialbeschleunigung in Wagenmitte bei ca. 120 km/h**



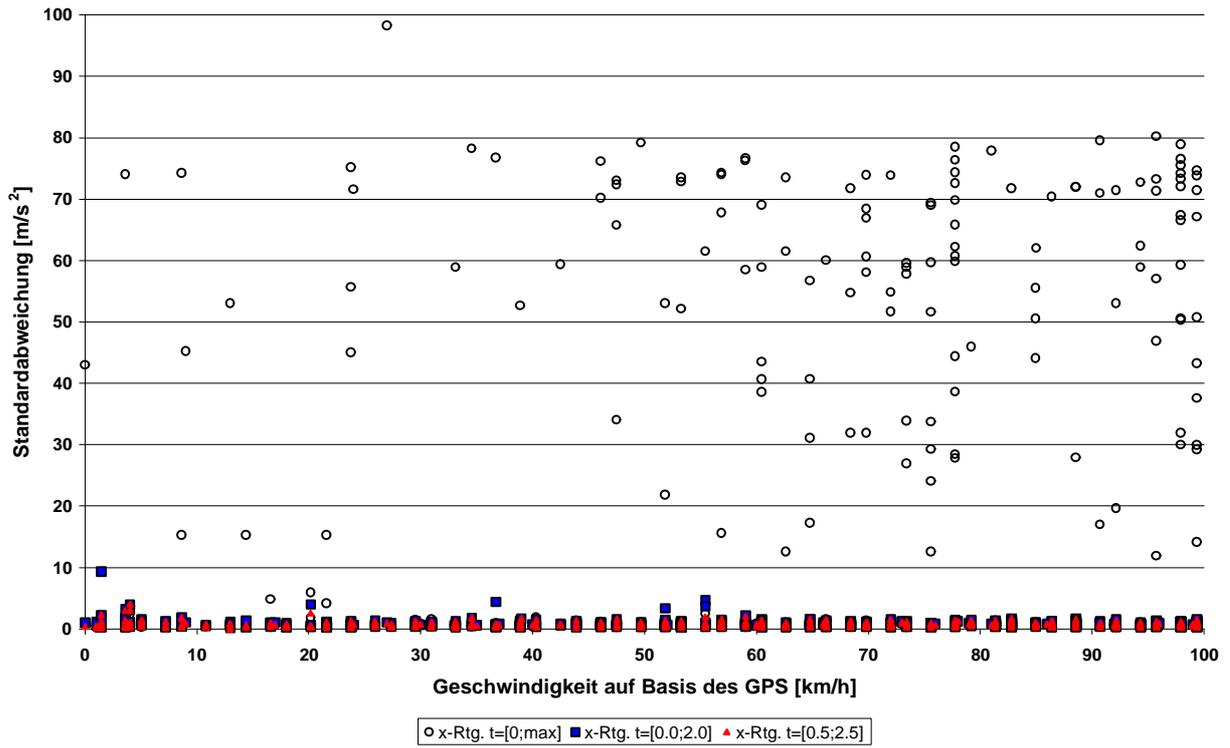
**Bild 23: Ausschnitt aus Bild 22 (links: 0,0 bis 2,0 Sekunden, rechts: 0,5 bis 2,5 Sekunden)**



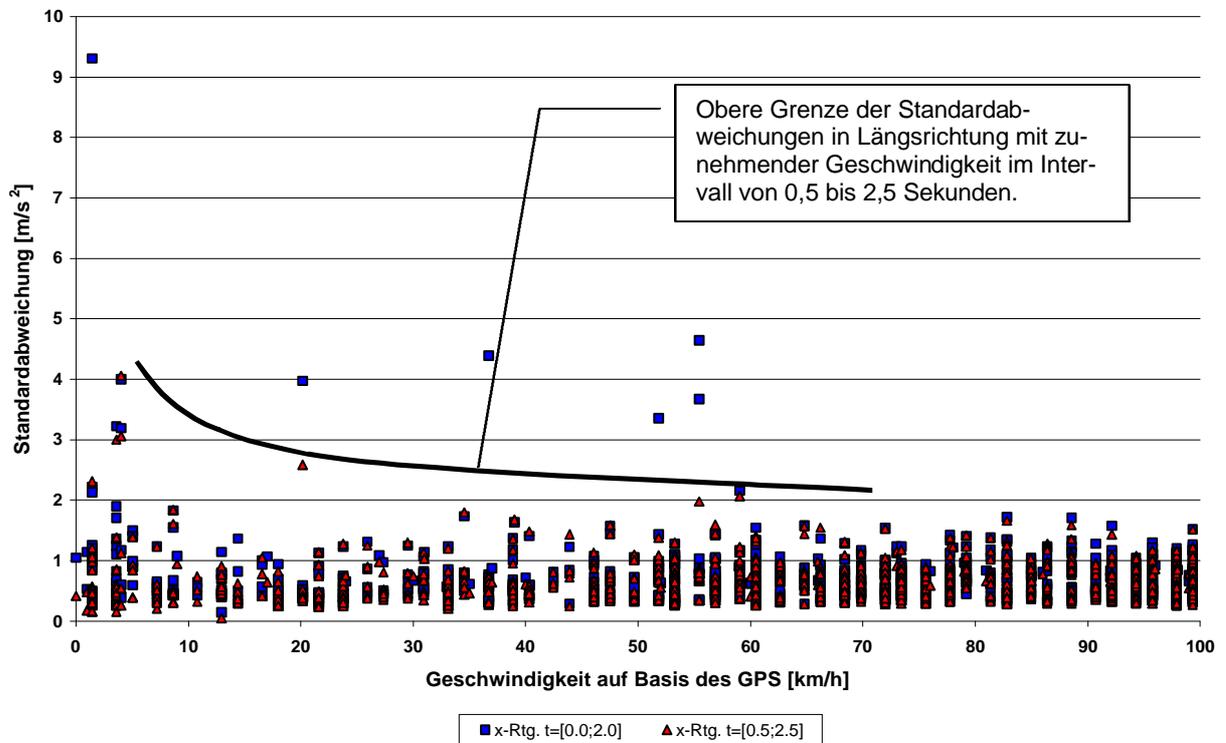
**Bild 24: Beispielhafter zeitlicher Verlauf der Triaxialbeschleunigung in Wagenmitte bei ca. 75 km/h**



**Bild 25: Ausschnitt aus Bild 24 (links: 0,0 bis 2,0 Sekunden, rechts: 0,5 bis 2,5 Sekunden)**



**Bild 26:** Standardabweichungen des Chemiekesselwagens in Fahrzeuginnenrichtung als Funktion der Geschwindigkeit für verschiedene Auswertungsintervalle



**Bild 27:** Standardabweichungen in Längsrichtung als Funktion der Geschwindigkeit des Chemiekesselwagens (für 0-2 sek. und 0.5-2.5 sek.-Intervall)

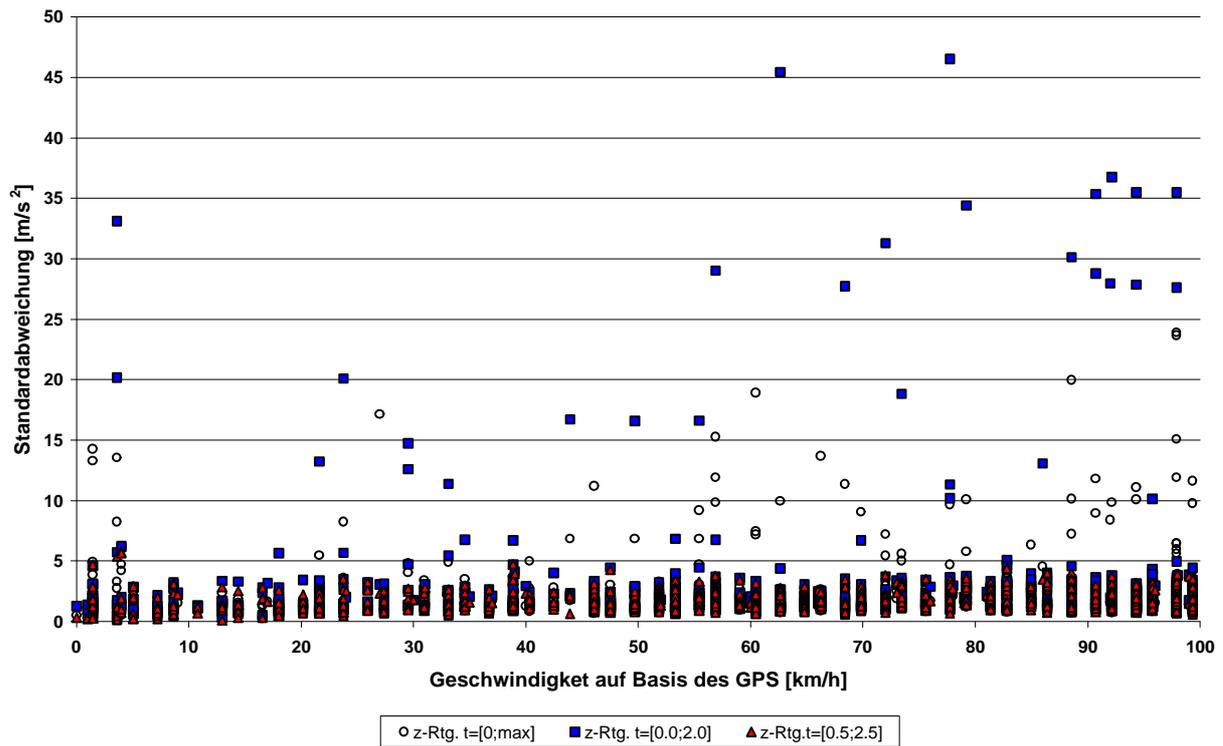


Bild 28: Standardabweichungen in Vertikalrichtung als Funktion der Geschwindigkeit des Chemiekesselwagens

Bild 26 zeigt dabei anschaulich wie deutlich sich die Auswertung des gesamten Messintervalls von der auf zwei Sekunden beschränkten Auswertung unterscheidet. Bild 31 jedoch zeigt die Unterschiede zwischen der Auswertung eines Zwei-Sekunden-Intervalls, das unmittelbar nach Schwellwertüberschreitung beginnt, und jenem, das erst eine halbe Sekunde später einsetzt.

Deutlich wird, dass das um 0,5-Sekunden versetzt beginnende Intervall zu geringeren Standardabweichungen führt, was die Unterscheidung zwischen Entgleisung und normaler Fahrt verbessert. Ursächlich für die geringeren Standardabweichungen des Intervalls 0,5-2,5 Sekunden ist die Vermeidung des Einflusses des ersten starken Signalpeaks, der aus alltäglichen betrieblichen Gleisstörungen kommen kann.

Als Erstes fällt bei dieser Auswertung die um eine Zehnerpotenz geringere Höhe der Standardabweichung auf. Weiterhin ist auffallend, dass sich die Werte der roten Kurve (0.5-2.5 sek.-Intervall) in einem geringeren Niveau als die der 0-bis-2 Sekunden-Intervalle bewegen und dass absolut gesehen Werte von über 5 m/s<sup>2</sup> (~0,5g) unabhängig vom Auswertungsintervall nur einmal überschritten werden.

Ähnliche Zusammenhänge fallen bei Betrachtung der Fahrzeugquerrichtung (y-Achse) auf. Das Diagramm (Bild 80) dazu befindet sich im Anhang auf Seite 192. Auch in Querrichtung liegen die Maxima der Standardabweichungen bei ca. 5 m/s<sup>2</sup> und nehmen mit zunehmender Geschwindigkeit ab.

Betrachtet man die Standardabweichungen der Vertikalbeschleunigung (z-Achse), fällt bei

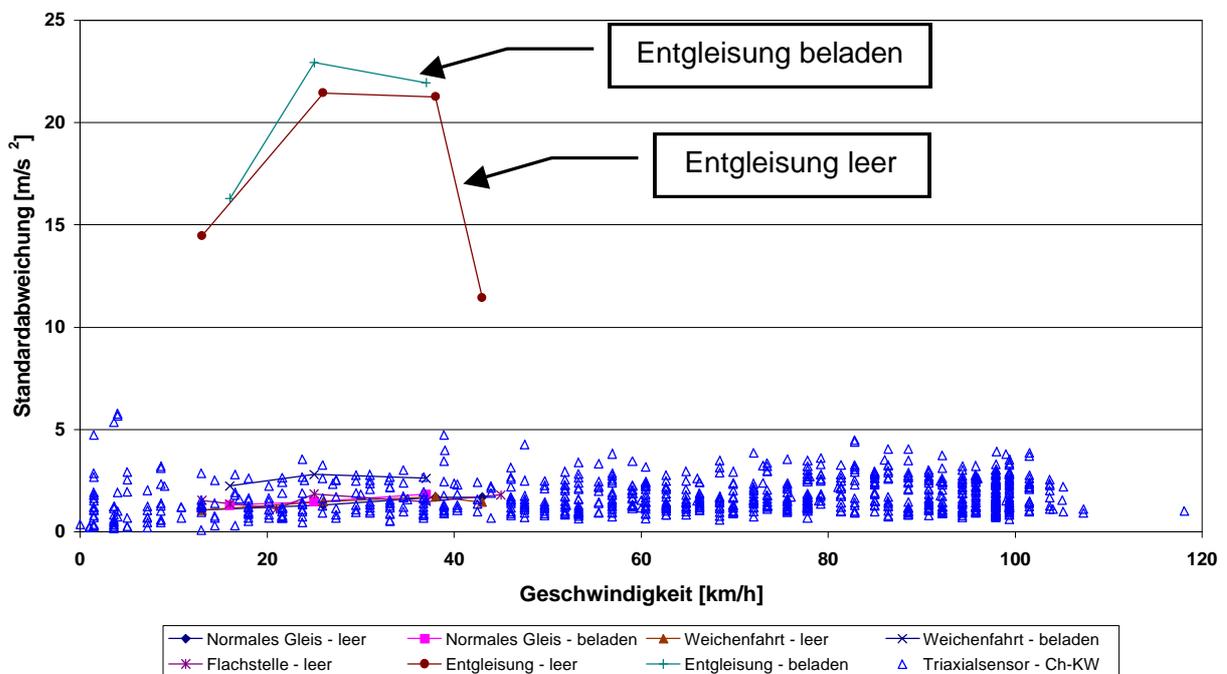
Betrachtung von Bild 28 zuerst auf, dass sowohl die berechneten Standardabweichungen der Intervalle von 0 Sekunden bis Messende (technisch bedingt ca. 12 sek.) als auch von 0 bis 2 Sekunden ein sehr uneinheitliches Bild mit hohen Werten im gesamten Geschwindigkeitsbereich zeigen.

Betrachtet man dagegen im direkten Vergleich das Messintervall von 0,5 bis 2,5 Sekunden, fällt sofort auf, dass das Niveau der Standardabweichung um den Faktor 10 sinkt und die Maxima fast ausschließlich unter  $5 \text{ m/s}^2$  (maximal unter  $7 \text{ m/s}^2$ ) liegen.

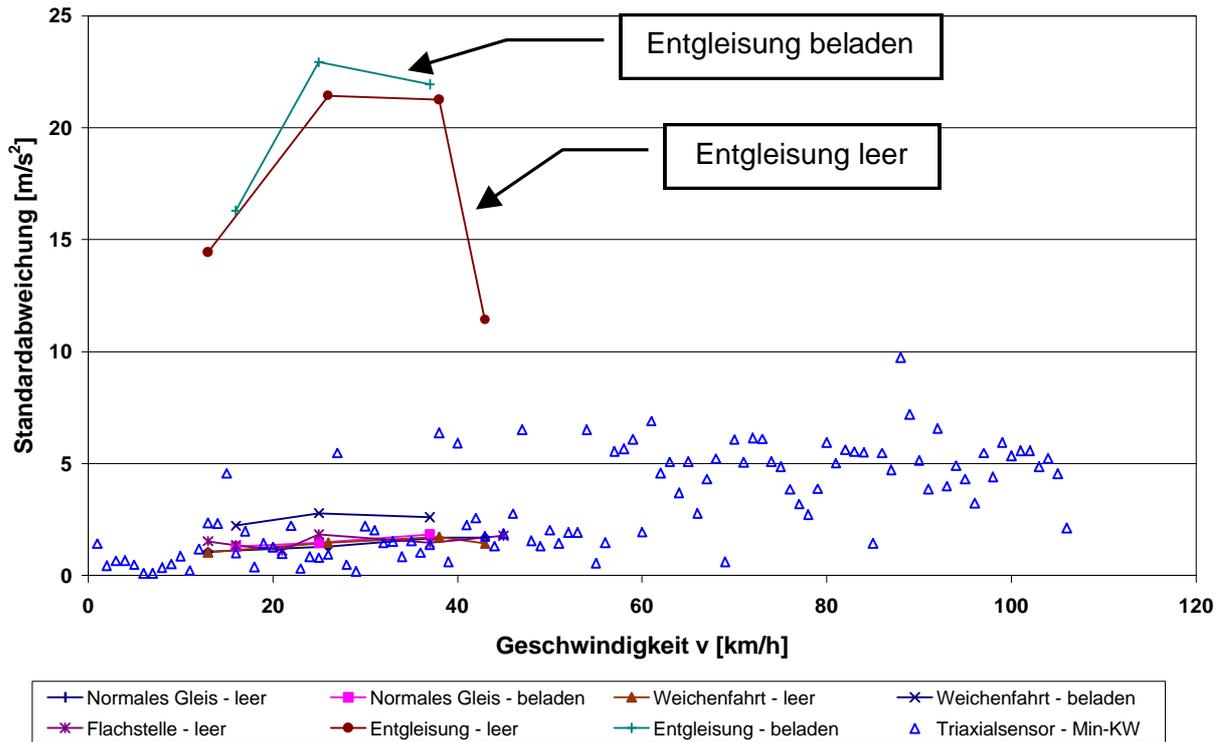
Ein analoges Bild zeigt sich bei Betrachtung der Diagramme der Messwerte des Triaxial-Beschleunigungssensors des Mineralölkesselwagens (siehe Bild 82 bis Bild 87).

### 3.2.1.4 Zusammenfassung der Ergebnisse der Entgleisungsdetektion

Anhand zweier Diagramme soll noch einmal gezeigt werden, dass mit den Messergebnissen der Phase 2 eine sichere Detektion einer Entgleisung möglich ist. Die Auswertung der zeitlichen Messsignale in Form einer Standardabweichung über ein 2-Sekunden-Intervall, beginnend 0.5 Sekunden nach Schwellwertüberschreitung, führt zu einer sicheren Unterscheidung des normalen Fahrtzustandes und einer Entgleisung.



**Bild 29: Vergleich der Ergebnisse der Phase 1 mit den Messwerten des Chemiekesselwagens der Phase 2**



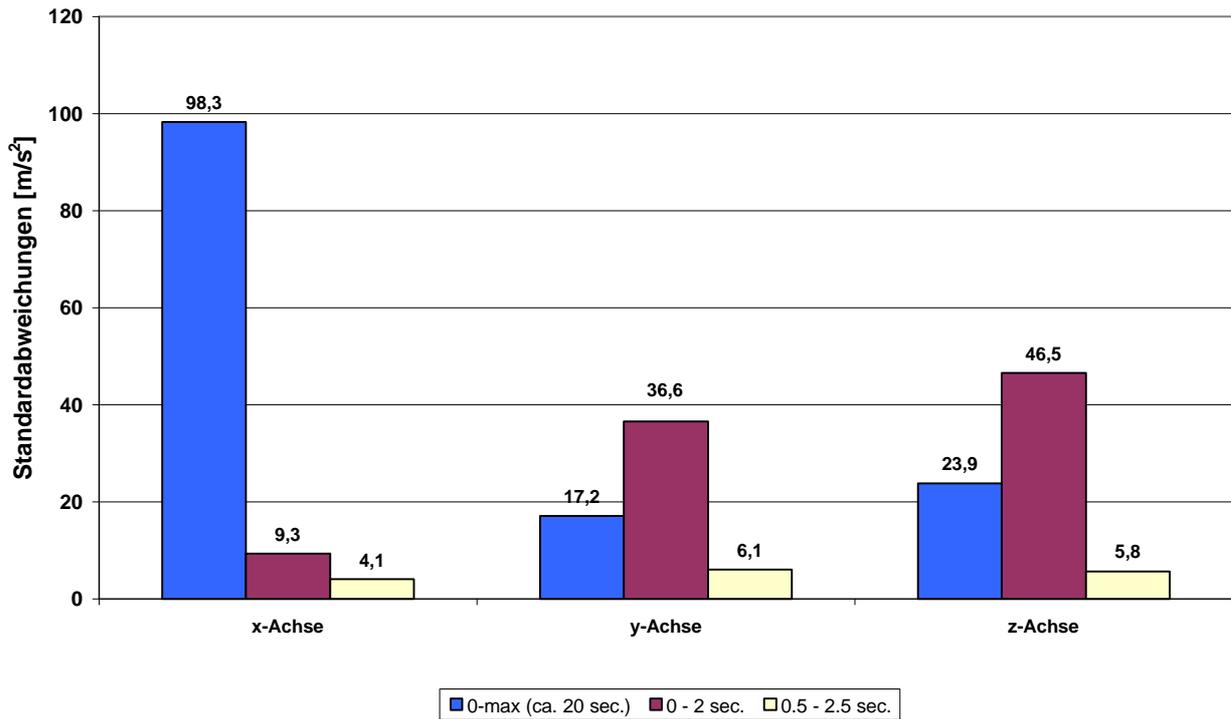
**Bild 30: Vergleich der Ergebnisse der Phase 1 mit den Messwerten des Mineralölkesselwagens der Phase 2**

**Tabelle 4: Vergleich der gemessenen maximalen Standardabweichungen aller Kesselwagen**

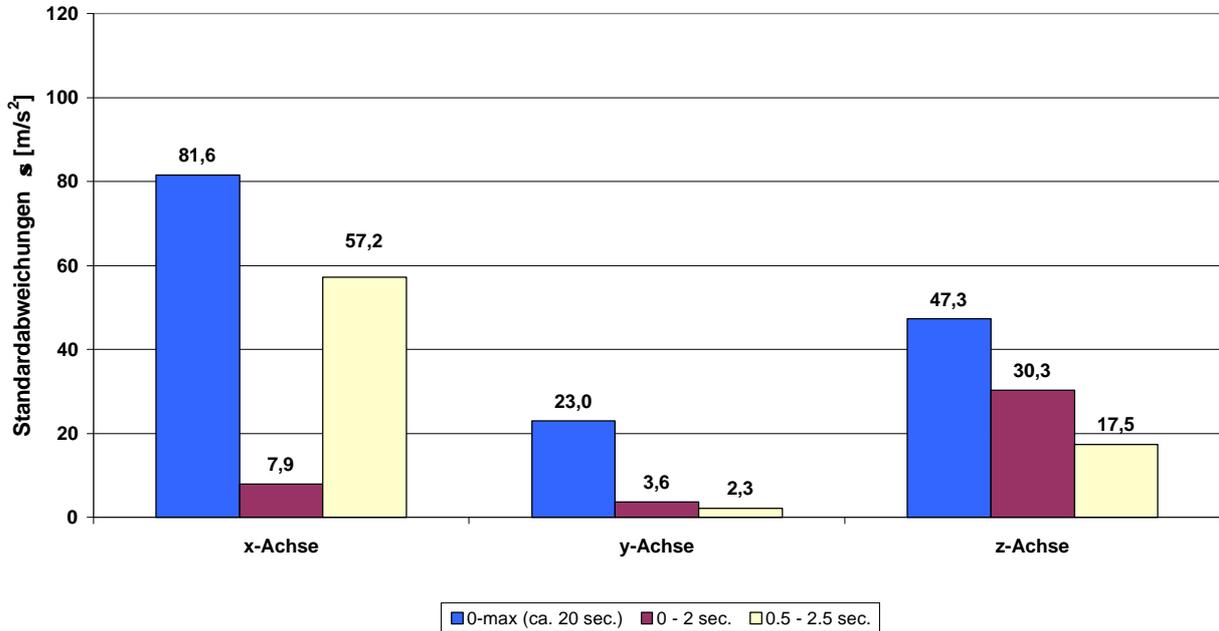
Messintervall [s]	Standardabweichung $s_{x,max}$ [m/s <sup>2</sup> ]			Standardabweichung $s_{y,max}$ [m/s <sup>2</sup> ]			Standardabweichung $s_{z,max}$ [m/s <sup>2</sup> ]		
	0-max	0.0-2.0	0.5-2.5	0-max	0.0-2.0	0.5-2.5	0-max	0.0-2.0	0.5-2.5
Chemiekesselwagen	98,30	9,31	4,06	17,18	36,57	6,09	23,90	46,54	5,77
Mineralölkesselwagen	81,57	7,93	57,17	23,01	3,65	2,26	47,29	30,32	17,47
Druckgaskesselwagen <sup>1</sup>	--,--	--,--	--,--	--,--	--,--	--,--	--,--	--,--	--,--

In graphischer Form ist dieses Ergebnis noch eindrucksvoller, da sich hier die deutliche Überlegenheit des um 0,5 Sekunden verzögerten Messintervalls auf einen Blick erkennen lässt.

<sup>1</sup> s. S. 55



**Bild 31:** Vergleich der maximalen Standardabweichungen der Aufbaubeschleunigung bei unterschiedlichen Auswertungsintervallen des Chemiekesselwagens



**Bild 32:** Vergleich der maximalen Standardabweichungen der Aufbaubeschleunigung bei unterschiedlichen Auswertungsintervallen des Mineralölkesselwagens

### **3.2.2 Ladungszustandsdiagnose**

#### **3.2.2.1 Temperaturüberwachung**

Im Rahmen zweier Forschungsvorhaben wurde dieser Aspekt näher untersucht. Aufgrund der Brisanz und des Schadenspotenzials bei Gefahrguttransporten wurde untersucht, in wie weit durch ein Telematiksystem mit geeigneter Sensorik die Zustandsparameter des Ladeguts diagnostiziert werden können. Die Transportgüter reichen dabei von Feststoffen wie Kohle und Gips über Flüssigkeiten wie Mineralöle und chemischen Stoffen bis hin zu unter Druck verflüssigten Gasen, wobei ein wichtiges Merkmal für die einzusetzende Sensorik das Brand- und Explosionspotenzial eines Stoffes darstellt. Für die bei explosionsgefährdeten Flüssigkeiten eingesetzten Kesselwagen mit Ex-Schutz-Zulassung gelten besondere Sicherheitsbestimmungen bei der Be- und Entladung.

In der zweiten Phase des Forschungsprojekt „IfSBT“ wurde der Chemiekesselwagen mit einem Temperaturüberwachungs- und der Druckgaskesselwagen mit einem Drucküberwachungssystem ausgerüstet. Im Forschungsvorhaben „rail-Sensorik“ [159] wurde prinzipiell der Frage nachgegangen, welche Sensorik geeignet ist, in einem modularen System eingesetzt zu werden, um Kesselinnendruck, Temperatur und Füllstand des Ladegutes zu diagnostizieren. Die Ergebnisse werden im folgenden kurz dargestellt.

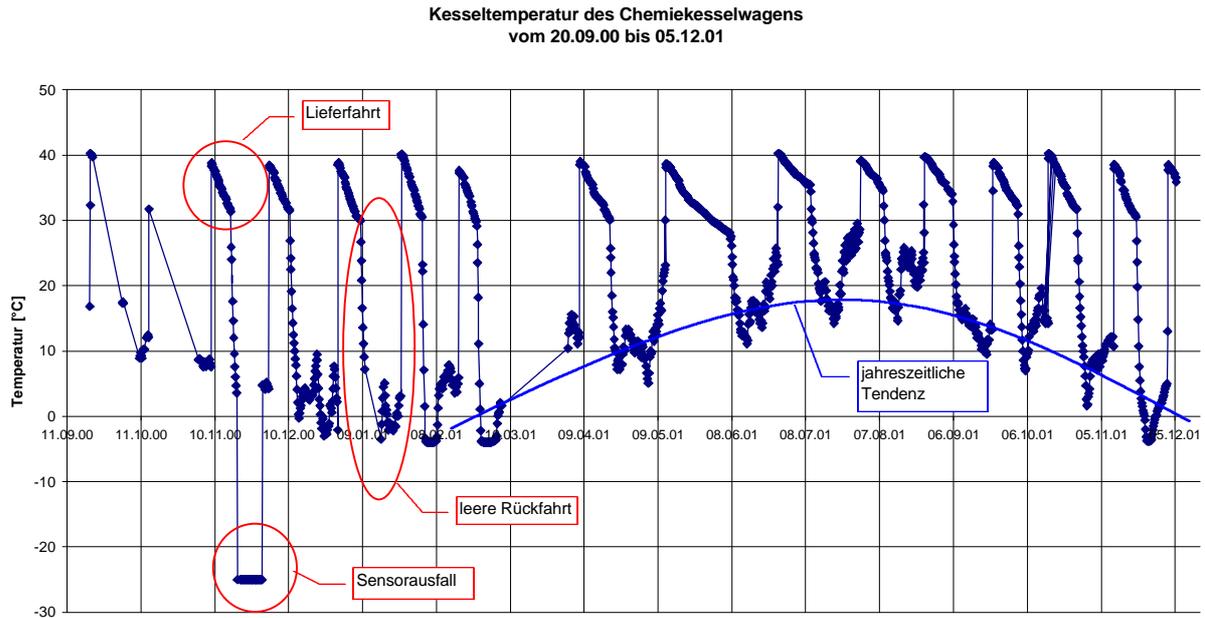
Die Temperaturüberwachung des Chemiekesselwagens erfolgte durch ein parallel montiertes ATIS System mit einem Temperaturfühler im Kessel, der die Ladeguttemperatur maß (s. Bild 90). In erster Line geschah die Temperaturmessung aus kommerziellen Gründen, da die von Deutschland nach Finnland transportierte Monochloressigsäure nur in einem sehr schmalen Temperaturband von 20° bis 40°C transportiert werden darf, ohne Schäden für Wagen oder Ladegut in Kauf zu nehmen [73]. Trotz des kommerziellen Aspekts bietet die Überwachung dieses Stoffes die Möglichkeit, die Realisierbarkeit und die Machbarkeit für ähnliche Stoffe in der Praxis nachzuweisen.

Während der Praxisversuche und des Versuchszeitraums von 13 Monaten<sup>1</sup> zeigte die Überwachung der Kesseltemperaturen den in Bild 33 dargestellten graphischen Verlauf.

Auffallend hierbei sind die Unterscheidbarkeit der Leer- und der Lieferfahrten, der Sensorausfall und die jahreszeitlichen Einflüsse, die in den Wintermonaten an einem deutlich stärkeren Temperaturabfall in den Lieferfahrten einer tieferen Durchschnittstemperatur in den Leerfahrten deutlich erkennbar sind.

---

<sup>1</sup> 20.09.00 bis 05.12.01



**Bild 33: Verlauf der Kesseltemperatur des Chemiekesselwagens während des Beobachtungszeitraums**

### 3.2.2.2 Tankdrucküberwachung

Der Kesselinnendruck des Druckgaskesselwagens wurde vor dem Hintergrund des Unfalls 1996 in Marl [160] während der Fahrt überwacht und die Machbarkeit der Drucküberwachung eines Druckgaswagens nachgewiesen.

Vorüberlegungen der TU Berlin führten dazu, im Mannlochdeckel einen geeigneten Drucksensor zu implementieren. Durch selbsttätig schließende Ventile aus dem Kenkraftwerksbereich sollte eine mögliche Bruchstelle bei Sensorabriss vor Austreten von unter Druck verflüssigtem Gas geschützt werden. Diese Variante musste nach Lage des Gefahrgutrechts<sup>1</sup> und durch Intervention des Eisenbahnbundesamtes verworfen werden. Eine alternative Lösung bestand im Aufbringen einer Dehnungsmessstreifen (DMS)-Vollbrücke in Richtung der Hauptspannungen des Kessels hinter dem Sattelblech (vgl. Bild 91 auf Seite 201 im Anhang). Da die Hauptspannungen des Kessels sowohl in Längs- als auch in Umfangsrichtung verlaufen, war sichergestellt, dass die eine Halbbrücke nur der Kompensation der Temperatureinflüsse und die andere der Messung des Kesselinnendrucks dient.

In der Wagonwerkstatt der Fa. Infracor in Marl konnten im statischen Fall Druckversuche durchgeführt werden, bei denen der Kesseldruck des vollen Kessels bis zum Prüfdruck von 29 bar erhöht wurde; zeitgleich wurde die Messspannung der DMS-Brücke gemessen. Es ergab sich dabei der auf Bild 34 dargestellte Verlauf, wobei die maximalen Abweichungen

<sup>1</sup> Anhang XI 2.3.2 des RID: Hier ist festgelegt, dass an Druckgaskesselwagen Öffnungen für Flüssigkeitsstandanzeiger, Thermometer, Manometer und Bohrungen für die Entlüftung nur erlaubt sind, wenn sie für den Betrieb und die Sicherheit notwendig sind. Die Vorschrift verbietet im umgekehrten Sinn das Einbringen von Öffnungen, wenn sie aus sicherheitstechnischer Notwendigkeit nicht erforderlich sind.

zwischen den gemessenen Drücken am Referenzsensor<sup>1</sup> und den aus der Kesseldehnung berechneten Drücken der Dehnungsmessstreifen zwischen minimal 0,11%, in weiten Bereichen unter 1% und maximal bei 1,32% lagen.

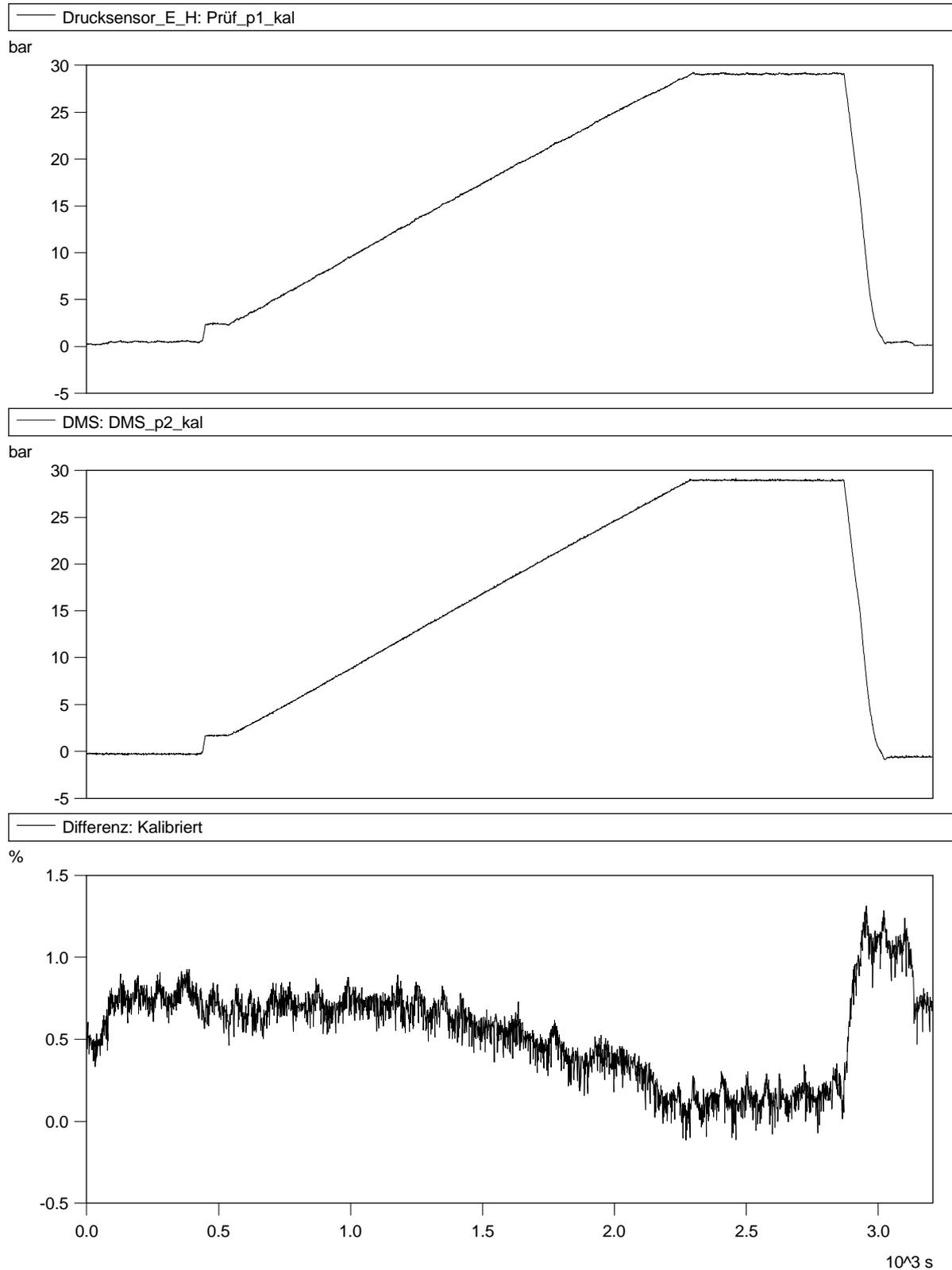
Nach Ende der Vorversuche in Marl wurde der Verstärkerausgang der DMS-Messung an die Firma Krupp Timtec Telematik zur Datenauslesung und Übermittlung im Rahmen des anschließenden Fahrbetriebs übergeben. Hierbei sollte nach Überschreiten von festgelegten Grenzwerten eine Messung und die Übertragung des Messwertes an die TU Berlin stattfinden. Es zeigte sich leider, dass diese Funktionalität seitens KTT nicht beherrscht wurde und dass weiterhin zum einen sehr wenig Datensätze überhaupt bei der TU Berlin ankamen (16 Stück) und diese zum anderen keine verwertbaren Informationen enthielten, so dass eine Verifizierung der Messtechnik im Fahrversuch nicht möglich war.

Dennoch zeigt der Vorversuch, dass die Messung des Kesselinnendruckes mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen auf der Kesselhaut möglich und genau genug ist, um Informationen über sich anbahnende Gefahrezustände zu erhalten. Ungeklärt ist derzeit die Frage, in wie weit Alterungsverhalten und Temperaturstabilität v.a. des Verstärkers das Messergebnis beeinflussen. Die prinzipielle Möglichkeit ist durch den Vorversuch nachgewiesen und die Machbarkeit durch einen konditionierten Spannungs- bzw. Stromausgang des Verstärkers gegeben. Den offenen Fragen ist in einem weiteren Feldversuch nachzugehen, um die Einsatzreife für den Praxiseinsatz zeigen zu können.

---

<sup>1</sup> Modellbezeichnung des Referenzsensors der Fa. Endress + Hauser: Cerabar PMP 731-D23S1M21MA (1-40 bar)

# Diagnose



**Bild 34:** Verlauf der Drücke des Referenzsensors (oben) und des DMS (Mitte) bei der Kessel-druckprüfung sowie der berechneten Differenzen beider Messverfahren (unten)

Die bereits oben angesprochenen Fragestellung der Diagnosemöglichkeit von Druck, Temperatur und Füllstand eines Eisenbahnkesselwagens ist eine zentrale Fragestellung in sicherheitstechnischer Sicht und wurde im Projekt „rail-Sensorik“ detaillierter betrachtet. An einem Kesselwagen wurde unter Versuchsbedingungen mit Wasser als Versuchsmedium dieser Frage in zwei Versuchen nachgegangen.

Nachdem die Vor- und Nachteile verschiedener Messtechniken zur Bestimmung des Kesseldrucks und des Füllstands abgewägt worden waren, fiel die Entscheidung, den statischen Druck bei bekannter Stoffdichte zur Bestimmung des Füllstands zu verwenden. Da in die Berechnung des Füllstands über den statischen Druck auch der Kesselinnendruck und der atmosphärische Druck einfließen, ist die Frage der Überwachung des Kesseldrucks mit dieser Messanordnung ebenfalls zu realisieren. Ein weiterer Vorteil ist, dass dieses Messprinzip versuchstechnisch leicht und kostengünstig realisierbar ist und für die Übertragung in die Praxis hinreichend viele Optionen bietet, um an unterschiedliche Kesselbauarten, Transportgüter und Umgebungsbedingungen (z.B. Anforderungen des Explosionsschutzes) angepasst werden zu können. Hinzu kommt, dass die einsetzbaren Drucksensoren industrielle Massenware und bei hinreichender Genauigkeit kostengünstig verfügbar sind.

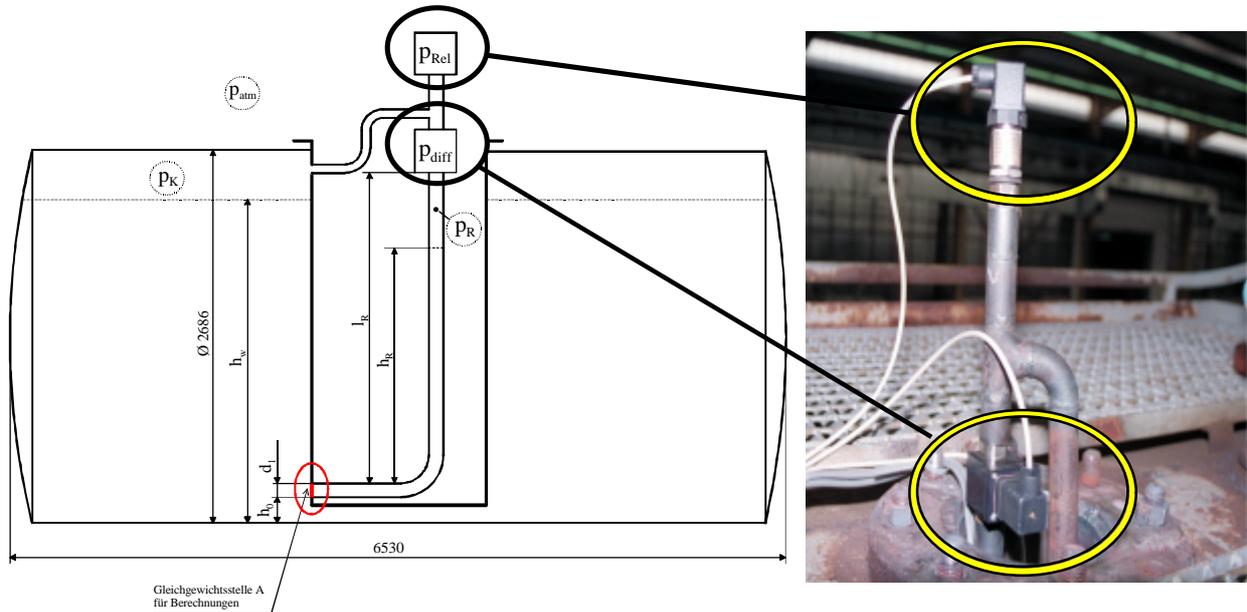
Für diese Messanordnung sind insgesamt drei Drucksensoren erforderlich, um über die Berechnung des hydrostatischen Drucks an der Gleichgewichtsstelle (s. Bild 35) die Füllstandshöhe berechnen zu können (siehe Bild 35); gemessen werden muss der Differenzdruck zwischen Gas- und Flüssigphase, der relative Druck der Gasphase zur Kesselumgebung (=Kessel-Überdruck) und aktuell herrschende Umgebungs-Luftdruck. Zusätzlich hat sich im ersten Versuch gezeigt, dass die Messung der Momentantemperatur vor und hinter dem Differenzdrucksensor bei sich schnell ändernden Prozessen (z.B. schnelles Befüllen oder Entleeren) unbedingt erforderlich ist, da sonst die unberücksichtigten Temperaturänderungen das Messergebnis verfälschen.

Diese Messanordnung ist neben der Messung des Füllstands weiterhin in der Lage Überfüllungen zu erkennen und einen sich evtl. aufbauenden, unzulässigen Überdruck durch stoffliche Veränderungen frühzeitig zu erkennen und über ein angeschlossenes Telematiksystem vor Erreichen kritischer Zustände zu melden.

Beide Versuche haben gezeigt, dass die Messung des Füllstands über die in Bild 35 gezeigte Messanordnung mit guter Genauigkeit möglich ist. Unter Berücksichtigung der Randbedingungen von Gefahrguttransporten (z.B. Ex-Schutz) kann dieses Messprinzip bei allen chemischen Flüssigkeiten, die sich hierzu nur durch den Parameter Dichte unterscheiden, eingesetzt werden. Der Vorteil gegenüber Schwimmer- (Oberflächen-) und optischen Wegmesssystemen ist die Unabhängigkeit von der Beschaffenheit der Transportgutoberfläche (z.B. Schaumbildung). Nachteilig wirken sich abweichende Dichtewerte durch Verunreinigungen in der Flüssigkeit und die Anzahl der Sensoren aus.

Insgesamt sollte eine Füllstands-Messgenauigkeit von 1% angestrebt werden. Da dies bei maximale Füllhöhen von 2,565 m eine Höhendifferenz von 25 mm bei einem Fehlervolumen von 171 Litern zulassen würde, werden die Genauigkeitsgrenzen dieses Sensormoduls deutlich. Die Genauigkeit der Messungen liegt jedoch bei ca. 2% was in Abhängigkeit des Füllstands zu Messfehlern von 500 Litern führen kann. Dennoch zeigt diese Messanordnung,

dass die Entwicklung gefährlicher Zustände durch Überfüllung, sich ändernde Produkteigenschaften o.ä. sicher erkannt werden kann.



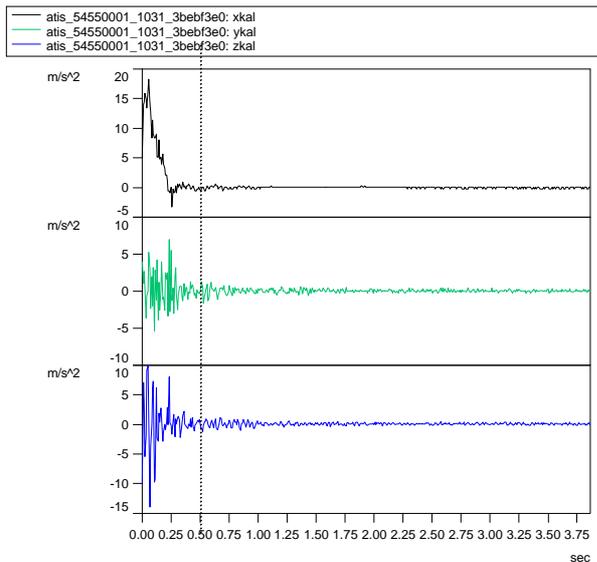
**Bild 35: Prinzipieller Messaufbau und Detailansicht des Einbaus des Differenz- (unten) und des Relativdrucksensors (oben)**

### 3.2.2.3 Längsstoßüberwachung

Der Einsatz von Beschleunigungssensoren als Überwachungseinrichtung der vorschriftseitig zugelassenen Maximalbeschleunigung in Fahrzeuglängsrichtung von 4 bzw. 6g [188] bei normalen Güterwagen bzw. 2g bei ortsbeweglichen Tanks bzw. Tankcontainern<sup>1</sup> in Fahrzeuglängsrichtung bietet eine preiswerte und zuverlässige Diagnoseeinrichtung, die es ermöglicht, Kontrollen noch im Rangierbahnhof, d.h. vor dem Befahren der Hauptstrecke, zu veranlassen, wenn das Diagnosesystem eine Schwellwertüberschreitung meldet.

Die technische Realisierbarkeit wurde als Nebenergebnis der Machbarkeitsstudie „IfSBT“ belegt. Die Auswertung der Längsbeschleunigungssignale in der Mitte des Wagenlängsträgers ließen zuverlässige Schlüsse auf Rangierstoßereignisse zu. Beispielhaft sei hier auf Bild 36 und Bild 37 verwiesen.

<sup>1</sup> RID Kapitel 6.7.2.2.12 und 6.8.2.1.2 [171]



**Bild 36:** Beispiel eines triaxialen Messdatensatzes bei  $v=0$  km/h (Rangierstoß in der x-Achse)



**Bild 37:** Überprüfung der Art der Anregung anhand der Fahrzeugposition (Pfeil) auf Plausibilität

### 3.2.2.4 Bremsanlage

Unter Berücksichtigung der allgemeinen Ausführungen zu diesem Thema in Kapitel 2.3.3 können die Anforderungen an ein Diagnosesystem für die Güterwagenbremse wie folgt definiert werden.

Mit Hilfe eines Drucksensors ist, bei dem von der Lok oder der Leitzentrale kommende Befehl „Anlegen“ oder „Lösen“, zu überprüfen, ob sich der zum Kolbenweg gehörende Druck in den Bremszylindern einstellt; in einer weiteren Stufe ist es weiterhin möglich, dass das Diagnosesystem dabei die Durchführung einer Bremsprobe anhand der Druckmodulation eigenständig erkennt und nach deren Ende das Ergebnis automatisch an die Leitzentrale und den Lokführer meldet.

Außerdem ist eine optische Signalisierung mit Hilfe des traditionellen Schaufensters in dem die Farbe von grün nach rot und umgekehrt in Abhängigkeit des anliegenden Druckes wechselt zweckmäßig, so dass ggf. auch außenstehende Personen die Bremsprobe überwachen können.

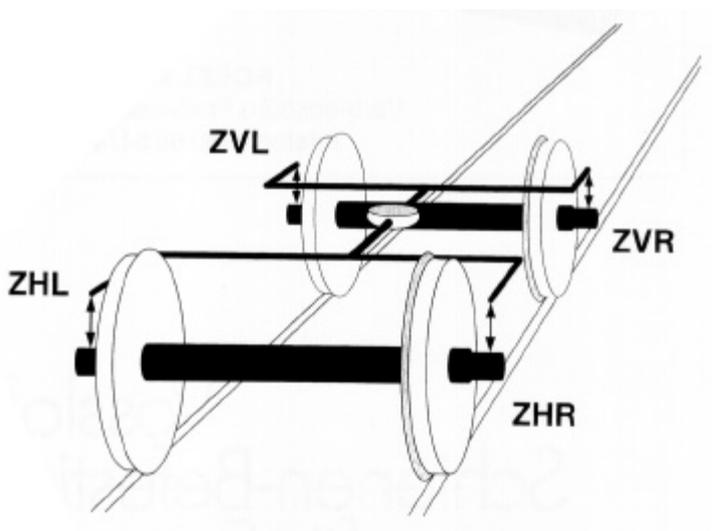
Eine vollständige Diagnose des Bremssystems ist zu erreichen, indem zusätzlich zu dem oben beschriebenen indirekten Prinzip Kontaktpaare<sup>1</sup> in die Bremschuhen bzw. Bremsbeläge eingeführt werden, die sowohl das Anliegen der Bremsbeläge bei Betätigung als auch das Erreichen des Verschleißgrenzmaßes anzeigen. Hiermit wäre das System Bremse bis zum letzten Bremssegment verfolgt und eine Aussage über die korrekte Funktion möglich (s. Bild 88 auf Seite 199).

<sup>1</sup> Kontakte in den Bremsbelägen sind bei straßengebundenen Fahrzeugen seit Jahrzehnten erfolgreich eingeführt.

Empfehlenswert in diesem Zusammenhang ist die Einführung einer dynamischen Bremsprobe bei Vorhandensein eines geeigneten Telematiksystems auf dem Güterwagen anstelle der heutigen statischen. Weiter oben wurde bereits dargestellt, wie im heutigen Güterverkehr die Funktionstüchtigkeit der Güterwagenbremse geprüft wird. Das dieses Verfahren fehleranfällig und stark vom menschlichen Handeln geprägt ist (siehe auch Kapitel 1.2.1, speziell Tabelle 1) leuchtet schnell ein. Daher ist die Beschränkung auf eine optische Kontrolle wenig sinnvoll.

Alternativ kann die statische Bremsprobe bei Verwendung eines geeigneten Diagnosesystems durch eine dynamische ersetzt werden. Bei dieser werden die Wagenverzögerungswerte bei geringer Geschwindigkeit durch Anlegen der Bremsen bestimmt. Liegen sie innerhalb bestimmter Grenzwerte, kann von einer Funktionstüchtigkeit der Bremsanlage ausgegangen werden. Durch diese Form der Diagnose wird die Gesamtkonfiguration und dessen Bremsvermögen mit einem Sensor an der Lokomotive beurteilt, so dass zum einen viel Zeit gespart und zum anderen ein hoher Sicherheitsgrad bei der Beurteilung des wagentechnischen Zustands erreicht wird.

Ziel jeder Diagnose ist es, mit möglichst wenig Sensoren ein Maximum an Informationen zu gewinnen. Wird jedes Drehgestell eines Wagens mit einem Kraftmesssensor an jedem Achslager ausgestattet (siehe Bild 38), können neben den Informationen, die für eine vertiefte dynamische Bremsprobe benötigt werden, Federungs-, Lastverteilungs-, Achslager-, Flachstellenprobleme und weitere Schäden durch Unterschiede im radseitigen Rollwiderstand und damit in den resultierenden Radaufstandskräften erkannt werden. Ein weiterer Vorteil wäre zum Beispiel, dass die Möglichkeit der Selbstdiagnose besteht, da für die eigentlichen Diagnosezwecke nur drei der vier Sensoren benötigt werden und damit das System mit Hilfe des vierten Sensors überprüft werden kann.



**Bild 38: Prinzipielle Anordnung der Kraftmessung an den Achslagern eines Drehgestells [118]**

### 3.3 Erhöhung der Wagenverfügbarkeit

#### 3.3.1 Zustandsbezogene Instandhaltung

Dazu wird mit Hilfe von elektrischen Sensoren und einem Computersystem der aktuelle Betriebszustand relevanter Baugruppen erfasst und über die Möglichkeit der Datenspeicherung und -auswertung mit vorangegangenen Messreihen verglichen, um so eine Tendenz des Betriebszustands ableiten zu können. Durch bauteil- oder baugruppenspezifisch festgelegte Grenzwerte wird eine Meldung generiert, die eine Instandhaltung vor Versagen des Bauteils initiiert; so werden die Nachteile der zeitbezogenen Instandhaltung vermieden.

Die Arbeitsweise der zustandsbezogenen Instandhaltung wird detailliert in DIN 31051 beschrieben, dargestellt ist sie in Bild 39. Der allgemein mit  $Z_0$  definierte Abnutzungsvorrat wird durch zyklische oder kontinuierliche Messverfahren beobachtet ( $Z_1, Z_2$  bis  $Z_N$ ), um die Schadensgrenze  $Z_N$  nicht zu überschreiten. Ziel dieser Instandhaltungsstrategie ist es hierbei, Instandsetzungsmaßnahmen so dicht wie möglich an der Schadensgrenze anzusetzen, um den Abnutzungsvorrat nahezu voll ausschöpfen zu können.

Das Vorgehen der zustandsbezogenen Instandhaltung wird noch etwas verständlicher, wenn der Blick nicht auf den Abnutzungsvorrat, sondern auf die Ausfallwahrscheinlichkeit gerichtet wird. Maschinen aller Art haben charakteristische Ausfallmuster, die prinzipiell auf denselben Ursachen beruhen. In Bild 40 werden vier Bereiche unterschieden. Aufgrund von Material- und Montagefehler muss erfahrungsgemäß am Anfang (Bereich 1-2) von einer erhöhten Ausfallwahrscheinlichkeit ausgegangen werden, die aber sehr rasch auf einen niedrigen Wert absinken wird. Dieser Wert bleibt während des regulären Wartungsintervalls konstant oder steigt nur geringfügig an. Ein Ansteigen der Ausfallwahrscheinlichkeit als Folge von Verschleiß oder Materialermüdung erfolgt nach entsprechend langer Betriebsdauer (Bereich 3-4). Eine Instandsetzung erfolgt erst dann, wenn die Messdaten anzeigen, dass sich der Maschinenzustand bedeutend zu verschlechtern beginnt (Punkt 4 in Bild 40) und der Abnutzungsvorrat sich gegen 0 % bewegt. Zu diesem Zeitpunkt ist mit dem Ausfall der Maschine bzw. Maschinenelements in kurzer Zeit zu rechnen, was ja durch die zustandsbezogene Instandhaltung vermieden werden soll.

Die Vorteile der zustandsbezogenen Instandhaltung können aber derzeit im Bereich des Schienengüterverkehrs nicht zu Tragen kommen, da eine Einführung wesentlicher Elemente nur ansatzweise zu erkennen ist.

Hierzu zählt in erster Linie die Versorgung aller Wagen mit elektrischer Energie (siehe Kapitel 1.2.1 und 5). Weiter wäre der Einbau eines funkunterstützten Mikrocomputers zur Datenaufnahme und ggf. zur Generierung und Weiterleitung von Meldungen sowie einige wenige und preiswerte Sensoren, wie bereits mehrfach anhand des entstehenden Nutzens ausgeführt, zur Bestimmung des Wagenzustands erforderlich.

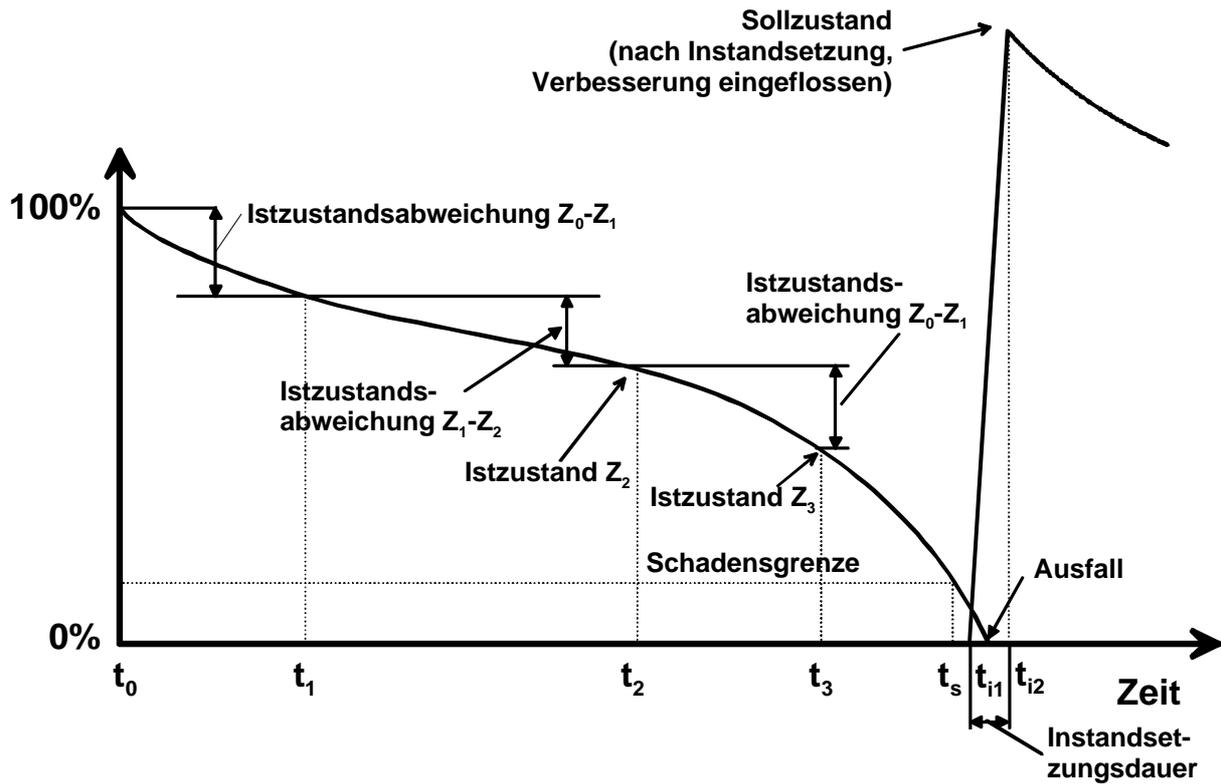


Bild 39 : Zeitabhängiger Abnutzungsvorrat [nach DIN 31051]<sup>1</sup>

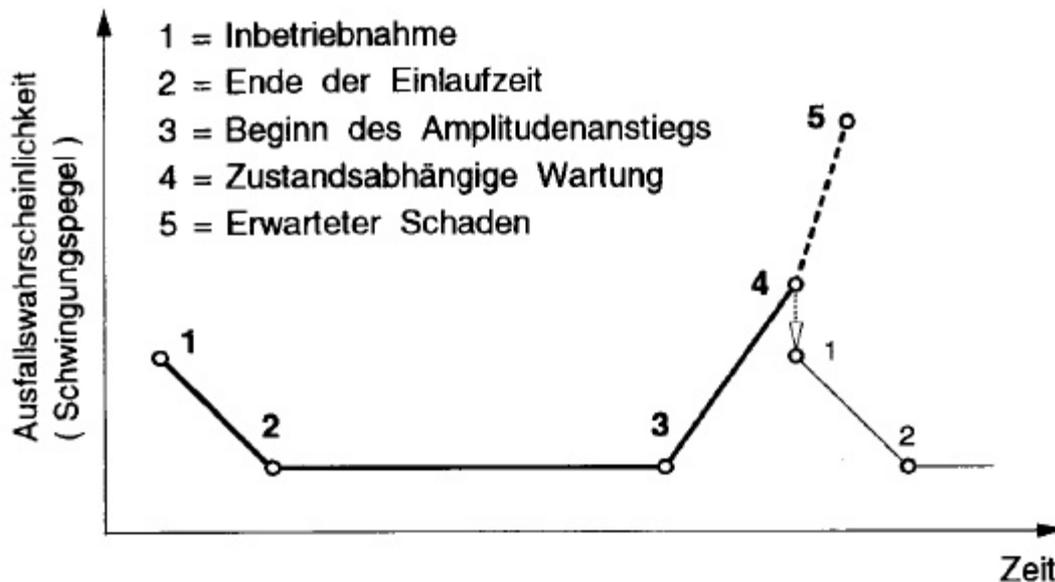


Bild 40: Typischer Verlauf der Ausfallwahrscheinlichkeit einer Maschine während eines Wartungsintervalls (Badewannenkurve) [161]

<sup>1</sup> Eine Erhöhung des Abnutzungsvorrates auf über 100% bezogen auf den Ausgangszustand ist durch Instandsetzung möglich, wenn diese Maßnahmen Verbesserungen beinhalten und diese Erhöhung als neuer Sollzustand für die Instandsetzung abgestimmt und festgelegt wurde.

### **3.3.2 Beispiele der zustandsbezogenen Instandhaltung aus der Praxis**

Abschließend werden noch einige Beispiele, bei denen die zustandsbezogene Instandhaltung erfolgreich eingeführt wurde, vorgestellt und soweit zum Verständnis notwendig erläutert.

#### **3.3.2.1 Beispiel Kraftwerks- und Industrieanlagen**

In den Großindustrieanlagen wird schon seit längerer Zeit die Zustandsüberwachung mit Diagnosetechnik praktiziert, da hier einerseits die Sicherheit und Anlagenverfügbarkeit es vorschreiben, andererseits Ausfälle und folgende Stillstandszeiten einen entscheidenden Kostenpunkt darstellen.

Für Kraftwerke existieren Condition-Monitoring-Systeme bei denen die zentrale Überwachung von einem Leitstand ausgeführt wird. Hier werden kontinuierlich Messdaten von Maschinenräumen mit ihren Anlagen und einzelnen Maschinen bis hin zu Maschinengruppen und -elementen an die Zentrale übermittelt, die ausgewertet den Abnutzungsvorrat grafisch zeigen. Dabei lassen sich die unterschiedlichen räumlichen und funktionalen Ebenen einer Werksanlage auf dem Bildschirm abbilden, so dass man sich von der globalen Werksübersicht über mehrere Teileinheiten (-ebenen) zu lokalen Maschinenelementen wie Lager oder Turbinenschaufeln hinbewegen kann, denn nur der Wert des schlechtesten Zustandes eines Überwachungsobjekts in der Überwachungsebene wird der nächst höheren Ebene mitgeteilt. So bleibt die Übersichtlichkeit des Systems gewährleistet.

Als Anwendungsbeispiel soll das Kraftwerk Schwarze Pumpe dienen, das mit dem zustandsabhängigen Maschinenwartungssystem DMT-ZUMWART der Deutschen Montan Technologie GmbH (DMT) ausgerüstet wurde [167]. In dem aus zwei 800 MW Blöcken bestehenden Braunkohle-Kraftwerk wurden mittels 77 Installationseinheiten insgesamt 240 Messstellen angebracht. Zur Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit und Senkung der Folgeschäden und -kosten bei Ausfall werden wichtige Werkseinheiten überwacht. Für diese Kontrollebene arbeiten 17 vernetzte Rechner, die automatisch die einzelnen Körperschall-Sensoren der entsprechenden Maschinen überwachen. Die Sensorsignalverarbeitung erfolgt weiter durch Frequenzanalyse (Körperschall-Spektrum) der jeweiligen Maschine. Hier genügt meist nur ein Körperschallsensor pro Maschine, da sich durch Eigenfrequenzanalysen die charakteristischen Frequenzbereiche der einzelnen Maschinenelemente (z.B. Lager) herausfinden lassen. Durch das ständige Abbilden der durch die Schwingungen ermittelten Körperschall-Spektren in festgelegten Intervallen lassen sich (Verschlechterungs-) Trends der einzelnen Maschinenelemente veranschaulichen.

Insgesamt umfasst die Diagnose am Bildschirm:

- die Abbildung der relevanten Eigenschaften und Zuweisung der Maschinen bzw. Maschinenelemente,
- die Auswertung der gegenwärtigen Zustände aller Maschinen bzw. Maschinenelemente,
- die Trendanalyse und Prognose der Zustandverläufe aller Maschinen und
- das intelligente Löschen von redundanten Aufzeichnungen.

Durch Vorgabe von meist oberen Amplitudenschranken auf definierten Frequenzbereichen ist das System in der Lage, unabhängig Bewertungen des Maschinen(-element)zustands durchzuführen und den Abnutzungsvorrat grafisch und quantitativ auf dem Kontrollbildschirm darzustellen. Auch hier zählt der jeweils schlechteste Zustand für die nächst höhere Kontrollenebene, wobei sich auf dem Monitor jede beliebige Maschinen- oder Funktionsebene aufrufen lässt, um die größte Verschleißstelle identifizieren und ggf. Wartungsplanungen einleiten zu können. Ziel ist es, durch quantitative Angaben, z.B. wie weit bestimmte Schwingungsamplituden eines charakteristischen Frequenzbandes (elementabhängig) von der zulässigen Grenzwelle entfernt sind, eine Einstufung in GUT, BRAUCHBAR, ZULÄSSIG und UNZULÄSSIG vorzunehmen. Diese vier Zustandbereiche werden auf dem Bildschirm farblich durch DUNKELGRÜN, HELLGRÜN, GELB und ROT unterstützt.

Wird in der Gesamtübersicht z.B. ein kritischer Zustand mit ROT angezeigt, wählt sich der Verantwortliche über den zugehörigen Button auf dem Bildschirm über die Maschinenübersicht (Stufe ROT) zur Objektübersicht (Stufe ROT) und kann so die in der Abnutzung vorangeschrittenste Maschine bzw. Baugruppe identifizieren. Über die Ansicht der Schwingungsanalyse dieser Maschine erhält er das Frequenzspektrum mit eingetragenen Grenzen. Das geschädigte oder in seinem Laufverhalten gestörte Maschinenelement erkennt er über den Frequenzbereich und die kleinsten Amplitudenabstände zwischen Ist- und Grenzwerten (im schlimmsten Fall sind diese überschritten).

Durch die zeitige Alarmierung und Früherkennung mit derartigen Condition-Monitoring-Systemen lassen sich Instandsetzungsmaßnahmen effektiv planen, Folgeschäden und unplanmäßige Ausfälle und damit verbundene Mehrkosten vermeiden.

Folgende Beispiele stehen stellvertretend für den Nutzen von Condition-Monitoring-Systemen.

### **Beispiele für Kostenrechnungen [168]**

- „Der ungeplante Ausfall eines 500 MW-Dampfturbinensatzes führt für den Betreiber zu einem täglichen Gewinnausfall von 250.000 €. Das ist genau der Preis einer komplexen Turbinenüberwachungsanlage!“

- Kosteneinsparungspotenzial Maschinendiagnose  
Einsparung von 20 - 30 % der Instandhaltungskosten bei einem Energieversorger am Beispiel der Reparaturkosten einer Speisewasserpumpe
  - bei Schadensfrüherkennung durch Diagnose 256,- €
  - ohne Schadensfrüherkennung 4.600,- bis 8.200,- €
- Kosteneinsparungspotential Maschinendiagnose am Beispiel von Wälzlagern
  - Mit Diagnosesystem sind bei Wälzlagerschäden bis zu 30% Kostensenkung möglich.
  - Werden 1.600,- € in die Gebrauchtschmierstoffanalyse investiert, so lassen sich bis 60.000,- € Kosten einsparen .

Ein anderes Anwendungsbeispiel für Zustandsüberwachung bei stationären Industrieanlagen sind Windkraftanlagen, bei denen mit Hilfe der Ferndiagnose ebenso zuverlässige Zustandsaussagen einer Überwachungszentrale übermittelt werden.

### **3.3.2.2 Beispiel Bergbaumaschinen / -anlagen**

Mit Hilfe von Ferndiagnose werden heute zuverlässig mechanische Antriebe von Großgeräten wie z.B. Getriebe an Schaufelradbaggern im Tagebau überwacht. Maschinenschäden lassen sich dabei frühzeitig durch Ermittlung des zeit- und belastungsabhängigen Maschinenzustands feststellen. Das permanent überwachende Ferndiagnose-System leistet automatische Voranalyse und Fernalarmierung. Ausgewertet werden hier nicht nur Prozessparameter sondern Messdaten aus der Körperschall-, Temperatur- und Drehmomentüberwachung.

An Getriebegehäusen von Schaufelradbaggern sind mehrere Körperschallsensoren so installiert, dass eine vollständige Lager- und Verzahnungsüberwachung des Getriebes möglich ist. Erkennt das System eine Auffälligkeit, so erfolgt eine Alarmierung der Diagnosezentrale per GSM Modem. Dadurch konnten unvorhergesehene Stillstände vermieden und Folgeschäden verhindert werden [176].

Geschätzte Einsparungen pro Jahr und Bagger sollen exemplarisch mit den Kosten für die Anschaffung und den Betrieb eines solchen Online-Überwachungssystems verglichen werden.

Es zeigt sich bei folgender Beispielrechnung, dass sich die Verwendung eines Online-Überwachungssystems für diesen Einsatzfall bereits während des ersten Jahres amortisiert.

### Kostenbeispielrechnung Baggerüberwachung

Vermeidung von Folgeschäden	20.000,- bis 125.000,- Euro
Vermeidung unplanmäßiger Stillstandszeiten	5.000,- bis 250.000,- Euro
Ausdehnung der Wartungsintervalle	5.000,- bis 15.000,- Euro
Senkung der Lagerhaltungskosten	5.000,- bis 50.000,- Euro
<b>Mögliche <u>Einsparungen</u> (pro Jahr und Bagger)</b>	<b>35.000,- bis 440.000,- Euro</b>
<hr/>	
Anschaffungskosten	45.000,- Euro
abgeschrieben über 3 Jahre, d.h. Kosten pro Jahr	15.000,- Euro
Servicekosten für die Fernüberwachung	10.000,- Euro
<b>Kosten (pro Jahr und Bagger)</b>	<b>25.000,- Euro</b>

Quelle: Geropp [97]

#### 3.3.2.3 Beispiel Nutzfahrzeuge

Die vorangegangenen Beispiele zeigen deutlich die Bedeutung der zustandsabhängigen Instandhaltung bei volkswirtschaftlicher und betriebswirtschaftlicher Betrachtung, allerdings gelten diese Aussagen nur für stationäre Anlagen. Mit geeigneten Methoden ist hier eine sehr zuverlässige Aussage über den Maschinen- oder Anlagenzustand möglich. Aber auch im nicht-stationären Bereichen wie im Nutzfahrzeugsektor lassen sich Systeme für eine zustandsabhängige Instandhaltung finden, wie z.B. bei der Mercedes-Benz-Lkw-Baureihe „Actros“ und „Actros“. Das hier im Fahrbetrieb erfasste auftretende Lastkollektiv an Motor, Getriebe und Achse wird zur Berechnung der nächsten Wartungsintervalle herangezogen (Telligent-System).

Nach Angaben des Unternehmens konnte durch Einführung des Telligent-Systems der Wartungsaufwand der Actros-Lkw's halbiert werden, die Wartungsintervalle liegen bei Einsatz im Fernverkehr bei etwa 100.000 - 120.000 km. Überwacht werden hierbei v.a. der Zustand des Motors (Last und Drehzahl) sowie Motoröl- und Aggregatöltemperaturen. Weiterhin erfolgt eine Überwachung der Zustände von Luft- und Kraftstofffilter sowie Kühlmittelstand. Zusätzlich stehen dem Fahrer auf Abruf Informationen über den Verschleißzustand von Bremsbelägen und Bremscheiben zur Verfügung.

Bei o.g. Lkw-Baureihen kommt ein „Flexibles-Service-System“ zum Einsatz, durch das die herkömmlichen starren Wartungsintervalle durch verschleiß- und belastungsangepasste Wartungstermine ersetzt werden. Dabei wird jedem Aggregat ein sogenannter Abnutzungsvorrat, der zwischen 100 und 0% liegt, zugeordnet, so dass für jedes Aggregat ein geeigne-

ter Wartungstermin bestimmt werden kann. Dadurch können Werkstattaufenthalte im voraus geplant und evtl. zeitlich eng bei einander liegende Wartungstermine zusammengefasst werden, was die Verfügbarkeit des Fahrzeugs erhöht. Das System unterstützt durch die ständige Abrufmöglichkeit der Restlaufstrecke oder der Restbetriebszeit aller Wartungstermine die Planung des Fahrzeugeinsatzes. Weiterhin meldet es zum Schutz der Aggregate oder der Betriebssicherheit des Fahrzeugs außergewöhnliche Betriebszustände und Systemfehler sofort durch eine optische Anzeige.

Zwei verschiedene Arten der Wartungsplanung sollen an folgenden Beispielen verdeutlicht werden.

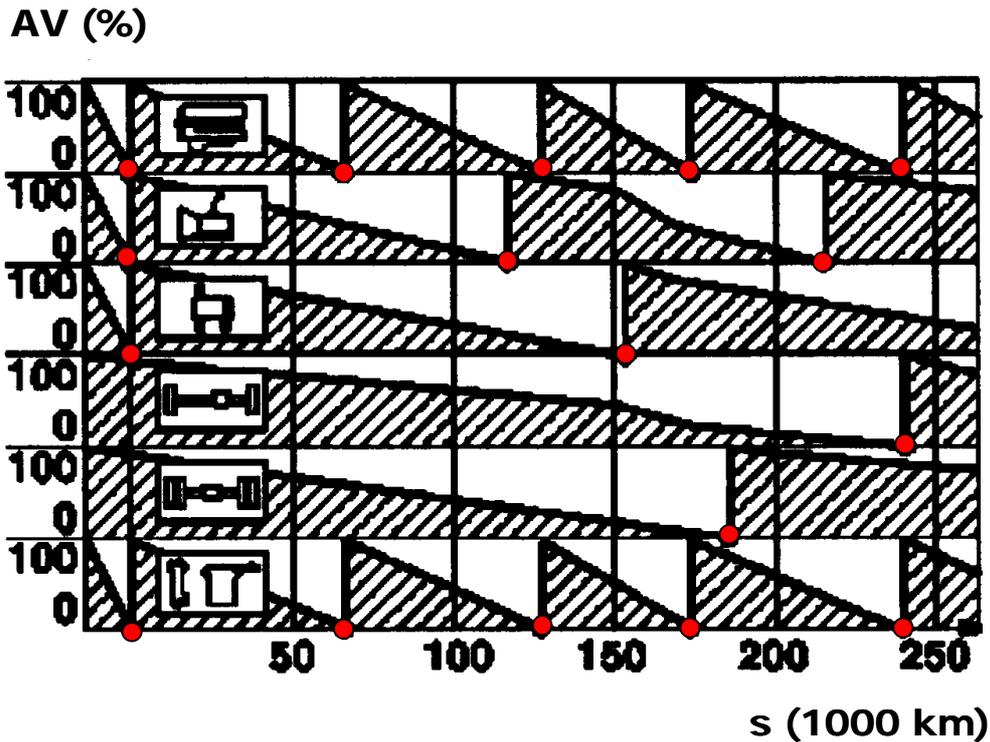
### **Beispiel Individueller Service**

Bild 41 zeigt, durch rote Punkte markiert, die anfallenden Wartungstermine der Baugruppe eines neuen Fahrzeugs zu unterschiedlichen Zeitpunkten.

Nach einer Durchsicht, die zwischen 1.000 und 5.000 km fällig ist, wird der vorhandene Abnutzungsvorrat der Aggregate von der Fahrzeugbeanspruchung abhängig durch die Datenerfassung des Flexible-Service-Systems bestimmt. Der Abnutzungsvorrat der Aggregate erreicht die 0 % (bezogen auf die Fahrstrecke) zu jeweils anderen Zeitpunkten. Der Fahrzeugbesitzer kann über die anfallenden Wartungsarbeiten frei entscheiden. Er kann jede Wartungsarbeit dann ausführen, wenn sie gerade fällig ist, verschiedene Arbeiten mit zeitlich eng beieinander liegenden Terminen bündeln oder Wartungsarbeiten mit anderen Werkstatterminen, z.B. mit einer gesetzlich vorgeschriebenen Untersuchung verbinden. Dieses Verfahren eignet sich besonders für Fuhrparks, die Wartungsarbeiten in kleine Pakete zerlegen und diese meist „zwischen durch“ erledigen.

Fuhrparks, die auf größere Wartungsintervalle Wert legen, können zu jedem beliebigen Zeitpunkt gewünschte Wartungsarbeiten individuell zusammenfassen.

Muss z.B. ein Fahrzeug bei 100.000 km wegen einer gesetzlichen Untersuchung in die Werkstatt (W), kann mit dem Flexible-Service-System festgelegt werden, welche Wartungsarbeiten demnächst anfallen. Wird nach dem Termin eine wartungsfreie Fahrstrecke von 50.000 km angestrebt, so müssen laut Grafik der Motoröl- und Getriebeölwechsel sowie die Durchführung von allgemeinen Wartungsarbeiten mit in Auftrag gegeben werden. Durch das Vorziehen der Termine geht jedoch ein Teil des maximalen Abnutzungsvorrats verloren, z.B. beim Motoröl 40% laut Bild 41.



**Bild 41:** Verlauf des fahrstreckenabhängigen Abnutzungsstands für die Baugruppen Motor, Getriebe, Verteiler-, Vorderachs-, Hinterachsgetriebe und allgemeine Wartungsarbeiten

Quelle: Mercedes Benz Nutzfahrzeuge

### Beispiel Zusammengefasster Service

Beim zusammengefassten Service werden ähnlich dem konventionellen Wartungssystem verschiedene Wartungstermine zu einem gemeinsamen zusammengefasst, allerdings ist hier das kürzeste Intervall bestimmend.

Gegenüber dem konventionellen System bietet dieser Service den Vorteil, dass von den zur Wartung anstehenden Aggregaten stets mindestens eines den Abnutzungsstand 0% erreicht hat und nur Aggregate zusammengefasst werden, die einen geringen Rest-Abnutzungsstand aufweisen.

Zusammenfassend verfolgt das Flexible-Service-System das Ziel, die Wartungskosten und die Umweltbelastung durch optimale Ausnutzung der Betriebsmittel ohne Gefährdung von Funktionssicherheit und Lebensdauer der Aggregate zu verringern.

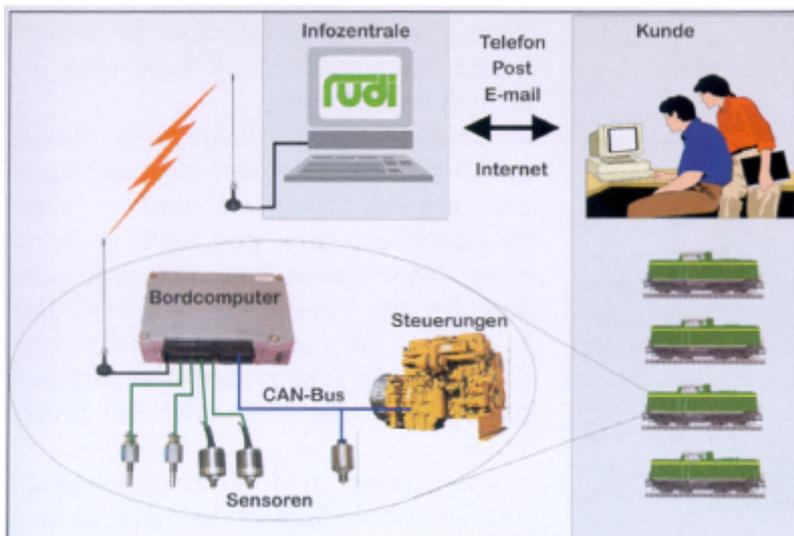
Die allgemein für die Erfassung der Aggregatzustände eingesetzten Sensoren sind dabei aus anderen Bereichen bekannt und bewährt, jedoch liegt die Innovation in der Verknüpfung der Sensordaten mit der Erfahrung aus der Instandhaltung und der daraus resultierenden Ableitung von verbleibender Restlebensdauer bzw. Restinstandhaltungsfrist.

### 3.3.2.4 Beispiel Schienenfahrzeuge

#### Diagnosesystem ruDi

Ein Beispiel für ein heute sich im Einsatz befindendes Diagnosesystem für Schienenfahrzeuge ist das System ruDi der Fritz Rensmann GmbH & Co [80].

Das Fahrzeugmanagementsystem ruDi bietet die einfache Verwaltung dezentraler Fahrzeugflotten durch Datenfernübertragung von relevanten Betriebsdaten mit der Abbildung des tatsächlichen Fahrzeugzustandes sowie des Instandhaltungsstatus im Internet. Angewandt wurde es in den letzten Jahren auf verschiedenen dieselhydraulischen Lokomotiven. Dieses Diagnosesystem ermöglicht die Steuerung komplexer Instandhaltungsaufgaben mit Hilfe der Betriebsdatenerfassung, Online-Diagnose und Standortvisualisierung. Weitere Funktionalitäten sind die Diebstahlsicherung, Fahrzeugauslastung, Wartungsintervallberechnung, Dokumentation aller Instandhaltungsarbeiten und Kostenstellenanalyse. Die Datenübertragung erfolgt weltweit im Empfangsbereich von GSM-Netzen.

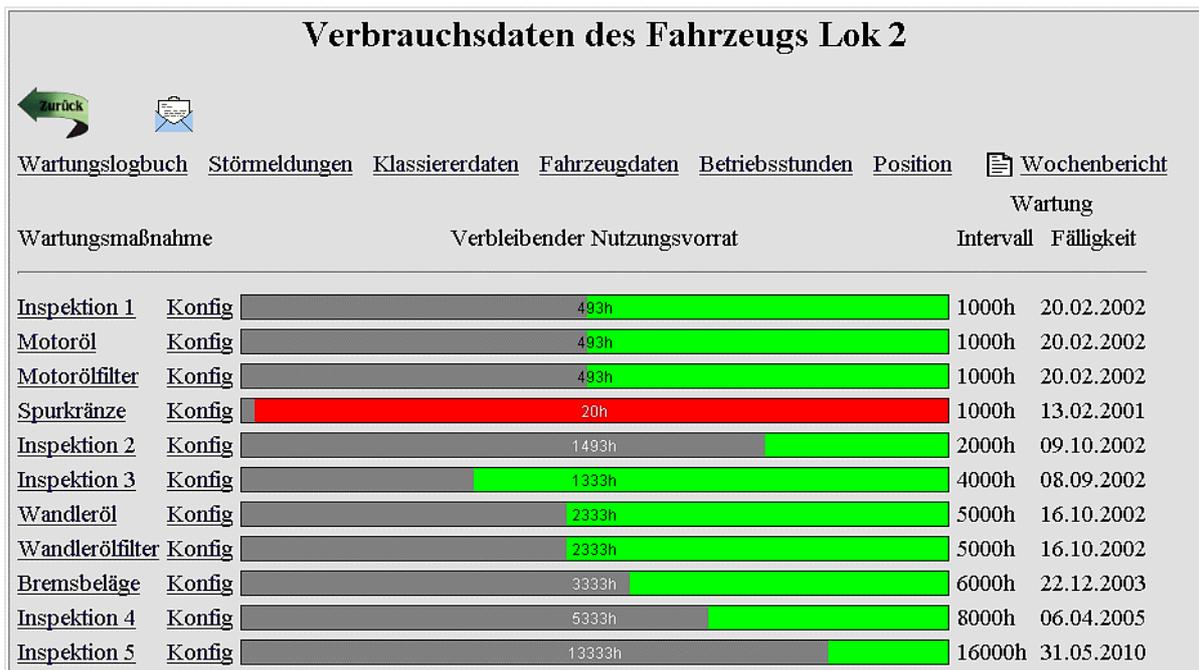


**Bild 42: Aufbau des Fahrzeugmanagementsystems ruDi [95]**

Grundbausteine des Bordsystems sind der Bordcomputer, das GSM-Funksystem, das GPS-Modul und die Sensoren. Als Sensoren können bereits vorhandene parallel oder zusätzlich installierte verwendet werden. Die vom Bordcomputer aufgezeichneten Daten werden in regelmäßigen Abständen über Datenfunk im GSM-Standard an eine Zentrale gesendet, wo die Daten weiter bearbeitet und zu Kennzahlen für die Instandhaltung verdichtet werden. In dieser stationären Wartungsstation werden alle Fahrzeugdaten des Fuhrparks abgespeichert und können mit früheren Belastungsdaten (Maschinenhistorie) oder ähnlich belasteten anderen Fahrzeugen verglichen werden.

Zur Gewährleistung einer möglichst zeitnahen Darstellung der ausgewerteten Betriebsdaten und Wartungsfälligkeiten kann der Fuhrparkbetreiber die Informationen über ein eigenes Internetportal mit selektivem Passwort-Zugriff abrufen. Des weiteren können über das Internet durchgeführte Wartungen an den Zentralrechner zurückgemeldet werden.

Das System meldet sich mit dem so genannten Systemeingangsbildschirm, auf dem alle Fahrzeuge des Fuhrparks je nach Wartungsfälligkeit grün, gelb oder rot dargestellt sind. Die Vorwarnstufe gelb wird angezeigt, sobald eine Baugruppe den vorher festgelegten Vorwarnbereich (z.B. 75% des Endwertes) erreicht. Aus den Betriebsstunden und der relativen Belastung errechnet das System Wartungsfälligkeiten. Die Laufzeiten einzelner Komponenten werden zunächst als Zeitstunden ermittelt und je nach Belastung erhöht oder verringert. Anhand der Betriebsstundenangaben der Wartungsanleitungen wird so die verbleibende Stundenzahl je Komponente errechnet und angezeigt. Durch den Vergleich mehrerer Wartungszyklen kann im Sinne der zustandsbezogenen Instandhaltung die nächste Wartungsfälligkeit berechnet, in Form einer Wartungsvorschau angezeigt und die Erstellung von Arbeits- und Terminplänen unterstützt werden. Störmeldungen und Wartungsvorgänge werden der automatischen Protokollierung hinzugefügt, die für eine lückenlose Fahrzeughistorie unabdingbar ist.



**Bild 43: Wartungsfälligkeiten eines überwachten Fahrzeugs [95]**

Folgende Prüfroutinen zur schnellen Analyse des Motorzustandes, des Einspritzsystems und der Lager in hydraulischen und mechanischen Getrieben finden ihre Anwendung.

- Die Drehzahlanalyse registriert durch hochauflösende Darstellung der Kurbelwellendrehung Unregelmäßigkeiten der Leistungsentwicklung einzelner Zylinder.

- Die Hochdruckanalyse stellt das Druckniveau in den Einspritzleitungen während des Einspritzvorgangs dar und detektiert Fehler im Druckaufbau der Pumpe sowie fehler eingestellte Öffnungs- und Schließdrücke der Einspritzdüsen.
- Die Körperschallanalyse ermittelt Lagerschäden in hydraulischen wie mechanischen Getrieben und gibt Wahrscheinlichkeiten für die Schadensart an (Innenring / Außenring oder Wälzkörper defekt).

Ziel dieses System ist wie in den anderen Bereichen die Senkung des bedeutenden Kostenfaktors Instandhaltung durch Anpassung der Wartung an die tatsächliche Fahrzeugauslastung und die Vermeidung unerwarteter Stillstände. Durch diese zustandsbezogene Instandhaltungsstrategie, bei der laufend die Restnutzungszeiten wichtiger Komponenten, Filter, Flüssigkeiten neu berechnet werden, sind seit der Installation des Überwachungssystems Kostensenkungen zwischen 30% und 50% realisiert worden.

## **4 Konzept zur Einführung von Telematikanwendungen für den Schienengüterverkehr am Beispiel sicherheitsrelevanter Anwendungen**

### **4.1 Allgemein**

Telematik ist durch die zunehmende Verbreitung sowohl im Pkw als auch im Lkw eine allgemein akzeptierte Technik von der jeder Nutzer allerdings unterschiedlichste Vorstellungen hat. Fast jeder kennt die Navigationssysteme, die in Pkw mehr und mehr Verbreitung finden, schon weniger bekannt sind logistische Telematikanwendungen, die die Fahrzeugdisposition und die Ladungsverfolgung ermöglichen.

Telematik im Schienengüterverkehr ist für diesen stark traditionell geprägten Sektor etwas Neues, unter dem sich kaum ein Entscheidungsträger etwas vorstellen kann und von dem behauptet wird, man bräuchte Telematik nicht, es ging auch wie bisher. Dennoch ist auch in diesem Bereich Telematik in aller Munde und wird als Hilfsmittel zur Steigerung der Transportsicherheit und -effektivität zunehmend akzeptiert. Allerdings hat jeder, der im diesem Sektor tätig ist eine ganz eigene Vorstellung davon, was Telematik ist und kann. Dem überlagert sind v.a. kommerzielle Interessen, was dazu führt, dass einige Privatwagenvermieter auf dem Standpunkt stehen, dass der Einsatz von Telematik in der Tat zu einer verbesserten Fahrzeugdisposition führt, was aber letztendlich zu einer sinkenden Anzahl an angemieteten Fahrzeugen führt und somit die Einnahmeseite belastet; andere Interessenten sind jedoch an der Aufdeckung möglicher Betrugsfälle durch den Anbau von Telematiksystemen interessiert, indem durch die Wagenverfolgung kundenseitig nicht mehr behauptet werden kann, der Wagen wäre in Reparatur, während er tatsächlich zu Transportzwecken eingesetzt wird. Vielfältige andere Anwendungen sind außerdem denkbar.

Allen Nutzergruppen ist derzeit jedoch gemein, dass sie die Einführung von Telematik möglichst nichts kosten darf. Zu diesem Zweck wird wiederkehrend argumentiert, dass sie die Einführung für notwendig und sinnvoll halten, dass jedoch andere Nutzerkreise viel mehr Nutzen von der Einführung hätten und dass diese damit auch die Kosten tragen sollten. Wie in den vorangegangenen Kapiteln an Einzelaspekten dargelegt, ist die Frage, wer den Nutzen von Telematiksystemen hat, nicht eindeutig zu klären. Jeder, der auf Daten dieser Systeme zugreifen kann, kann aus ihnen seinen spezifischen Nutzen generieren, ohne dass andere Gruppen benachteiligt werden; daher ist auch die Frage der Finanzierung nicht auf diese einfache Art und Weise zu klären.

Betrachtet man die Ergebnisse der finanziellen Abschätzung in Kapitel 6 (ab Seite 124), wird schnell deutlich, dass die Amortisationszeit von Telematiksystemen für jede Nutzergruppe zwar unterschiedlich lang (zwischen wenigen Monaten und wenigen Jahren), insgesamt jedoch ausgesprochen kurz ist.

Trotz aller Vorteile der Telematik im Schienengüterverkehr sollen die derzeitigen systembedingten Hemmnisse für eine stärkere Verbreitung nicht unerwähnt bleiben, sondern werden statt dessen im folgenden vertieft diskutiert und bewertet.

Als zentrale Fragen stellten sich in den zurückliegenden Jahren die Punkte der **Kommunikation** zwischen Wagen und Lokomotivführer einerseits sowie zwischen Wagen und Besitzer bzw. Spediteur heraus.

Außerdem wird der Frage der **Energieversorgung** besondere Bedeutung zugemessen, da diese ein Maß für die Häufigkeit notwendiger Wartung und somit einen nicht zu unterschätzenden Kostenfaktor in Form direkter Wartungs- aber auch indirekter Ausfallkosten darstellt. Weiterhin spielt eine stark psychologisch und juristisch geprägte Fragestellung für den Wageneigentümer eine besondere Rolle, da derzeit seine **Pflichten und Handlungsabläufe bei Bekanntwerden gefährlicher Zustände** nicht geregelt sind; somit stellen sich die Wageneigentümer auf den Standpunkt, es sei besser, von Nichts zu wissen, als mit den Informationen Fehler zu begehen, für die sie belangt werden könnten.

## 4.2 Kommunikationsstruktur

Im Zusammenhang der Betrachtung der Kommunikation zwischen Wagen und einem Empfänger der gesendeten Daten sind das heutige System, die Weiterleitung von zeitunkritischen und von zeitkritischen Daten, deren technische Einrichtungen sowie die gesamten Systemschnittstellen näher zu betrachten.

### 4.2.1 Randbedingungen der Alarmierung

Bei der Definition eines Alarmierungs- bzw. Kommunikationskonzeptes sind grundsätzlich die folgenden beiden grundsätzlichen Fragestellungen zu beantworten [113]:

- Wer muss sofort alarmiert werden, um den eingetretenen Gefahrenzustand unmittelbar abwehren, bekämpfen bzw. verhindern zu können?
- Welche Informationen müssen ihm oder sonstigen Dritten sofort vorliegen, um den Gefahrenzustand einschätzen, bekämpfen oder verhindern zu können?  
Wie erhält er diese Informationen?

Bei Gefahrguttransporten auf der Schiene müssen diese Fragestellungen unter folgenden Randbedingungen betrachtet werden:

- Gefahrgutwagen fahren in ganz Europa, auf Streckennetzen unterschiedlicher Bahnverwaltungen, Privatbahnen und auf Werksanschlüssen. Diese Bahnsysteme sind unterschiedlich organisiert, das Personal spricht keine einheitliche Sprache.

- Verschiedene Gefahrenzustände am Gefahrgutwagen benötigen unterschiedliche Strategien zu ihrer Bekämpfung bzw. Vermeidung. Zur Abwehr der Gefahr müssen an verschiedenen, räumlich getrennten Stellen Aktionen stattfinden (z. B. Zug anhalten, Signale für Gegenzüge auf Halt stellen, Stromversorgung der Fahrleitung abstellen).
- Bahnsysteme sind äußerst komplex, sie bestehen aus viel kostspieliger Infrastruktur und geschultem Personal. Alle Bahnsysteme haben interne Alarmierungswege, Strategien und Organisationsstrukturen, um im Fall einer Gefahr geeignete Maßnahmen zu ergreifen. Diese vorhandenen Strukturen sind auf das jeweilige Bahnsystem abgestimmt und deshalb zu nutzen. Eine Veränderung dieser internen Strukturen wäre äußerst kostspielig und zeitaufwändig. Die Alarmierungsstrategie der Gefahrgut-Telematik muss daher flexibel genug sein, sich diesen Strukturen bei unterschiedlichen Bahnsystemen anzupassen.
- Bahnsysteme sind stark dezentral organisiert. Die unmittelbare Verantwortung für die Sicherheit im Zug liegt beim Zugführer (bei Güterzügen ist dies normalerweise der Triebfahrzeugführer). Für ortsfeste Bahnanlagen wie Bahnhöfe und Strecken sowie für die Sicherheit der Zugfahrt ist der Fahrdienstleiter (Betriebsleiter, Stellwerk usw.) verantwortlich. In den meisten Fällen kann nur auf lokaler Ebene schnell in den Betriebsablauf eingegriffen werden. Übergeordnete Organisationsformen zur zentralisierten Steuerung des Bahnbetriebes (z. B. Rechnergestützte Betriebsleitzentralen, Rechnergestützte Zugüberwachung), die unmittelbar und direkt in den Bahnbetrieb eingreifen können, befinden sich im Aufbau (z. B. Betriebszentralen der DB AG), solche Strukturen sind jedoch derzeit nicht überall verfügbar.
- Die Kommunikation der einzelnen Betriebsstellen untereinander und die Befehlsabgabe von einer Leitstelle zur untergeordneten Betriebsstelle erfolgt derzeit in vielen Fällen nur fernmündlich bzw. über Fax. Es gibt in Europa kein einheitliches Bahn-Kommunikationssystem.
- Die Gefahrensituation kann im Zugverband auftreten, wobei hier sofort eingegriffen werden muss, weil ein fahrender Zug in den meisten Fällen vorhandene Gefahren potenziert. Der Triebfahrzeugführer kann die wichtigste Maßnahme bei unmittelbarer Gefahr, nämlich das kontrollierte Anhalten an einer dafür geeigneten Stelle, sofort durchführen. Andererseits kann ein Gefahrgutwagen auch abgestellt sein, er ist dann keinem Zug zugeordnet. Für die Sicherheit ist in diesem Fall allein eine örtliche Führungsperson (z. B. Betriebsleiter, Fahrdienstleiter, Stellwerk) zuständig.

#### 4.2.2 Derzeitiges Alarmierungskonzept bei Bahnen

Obwohl verschiedene Bahngesellschaften, Privatbahnen, Werksbahnen usw. sehr unterschiedlich organisiert sein können, gibt es bei einer grundsätzlichen Betrachtung Parallelen zwischen diesen Systemen.

Bild 44 zeigt die grundsätzliche Struktur eines Bahnsystems bei der Alarmierung wegen einer Gefahr, die von einem Fahrzeug ausgeht. Hierbei ist nicht bestimmt, ob sich das Fahrzeug in einem Zugverband befindet oder nicht. Wie zu sehen ist, laufen sämtliche Notrufe bei einer lokalen Leitstelle zusammen, die daraufhin geeignete Maßnahmen ergreifen kann. Je nach Sprachgebrauch kann diese Leitstelle als Fahrdienstleiter, Betriebsleitung einer Neben- oder Werkbahn, Betriebszentrale, Stellwerk, Dispatcher o. ä. bezeichnet werden. Diese lokale Leitstelle ist für einen festgelegten geographischen Bereich der Bahnanlagen inklusive aller Fahrzeuge in diesem Bereich verantwortlich. Sie kann unmittelbar oder mittelbar durch Befehlsabgabe den Betrieb in diesem Bereich steuern. Im Folgenden wird der Verantwortliche in dieser Leitstelle als Fahrdienstleiter bezeichnet.

In einem Bahnsystem kann die Gefährdung, die von einem Fahrzeug ausgeht, von verschiedenen Beteiligten erkannt werden, die dann einen entsprechenden Notruf absetzen:

- Der **Zugführer/Triebfahrzeugführer** erkennt eine Gefährdung in seinem eigenen Zug. Er kann erste Maßnahmen wie z. B. eine Notbremsung vornehmen. Anschließend benachrichtigt er den zuständigen Fahrdienstleiter über Zugfunk oder Streckenfernsprecher. Dabei ist am Streckenfernsprecher lokal die Rufnummer des zuständigen Fahrdienstleiters angegeben, das Zugfunksystem stellt automatisch eine entsprechende Verbindung über die nächste ortsfeste Empfangsstelle her.
- Der **Lokführer eines Gegenzuges** erkennt die Gefahr. Er verständigt den Fahrdienstleiter über Zugfunk oder fernmündlich nach Halt am nächsten Fernsprecher, Bahnhof usw., der Fahrdienstleiter stoppt den gefährdeten Zug durch Signal oder über Funk.
- Ein **Betriebsangehöriger** (z. B. ein Rangierer, Schrankenposten, Ladearbeiter auf Firmengelände) erkennt die Gefahr, er benachrichtigt den Fahrdienstleiter über Funk, Telefon oder persönlich.
- Ein **Passant** bemerkt die Gefahr, er benachrichtigt einen Betriebsangehörigen, der den Notruf weiterleitet, oder er setzt einen Notruf ab (z. B. 110, 112). Die örtliche Notrufzentrale der Polizei bzw. Feuerwehr verständigt den Fahrdienstleiter und leitet selbst erste Maßnahmen ein.
- Wenn einer übergeordneten Stelle eine Gefahrensituation bekannt wird, benachrichtigt sie den bzw. die ihr untergeordneten, zuständigen Fahrdienstleiter. Diese Benachrichtigung erfolgt derzeit in vielen Fällen noch fernmündlich bzw. mit Fernschrei-

ber/Fax. Effektivere Kommunikationsmethoden, die ein direktes Fernstellen bzw. Fernsteuern der Bahnanlagen erlauben, werden eingeführt.

- Nicht in Bild 44 dargestellt sind Meldungen von lokalen Einrichtungen wie Heißläuferortungsanlagen usw., die meistens an das lokale Fahrdienstleiterstellwerk oder an eine Betriebszentrale angeschlossen sind.

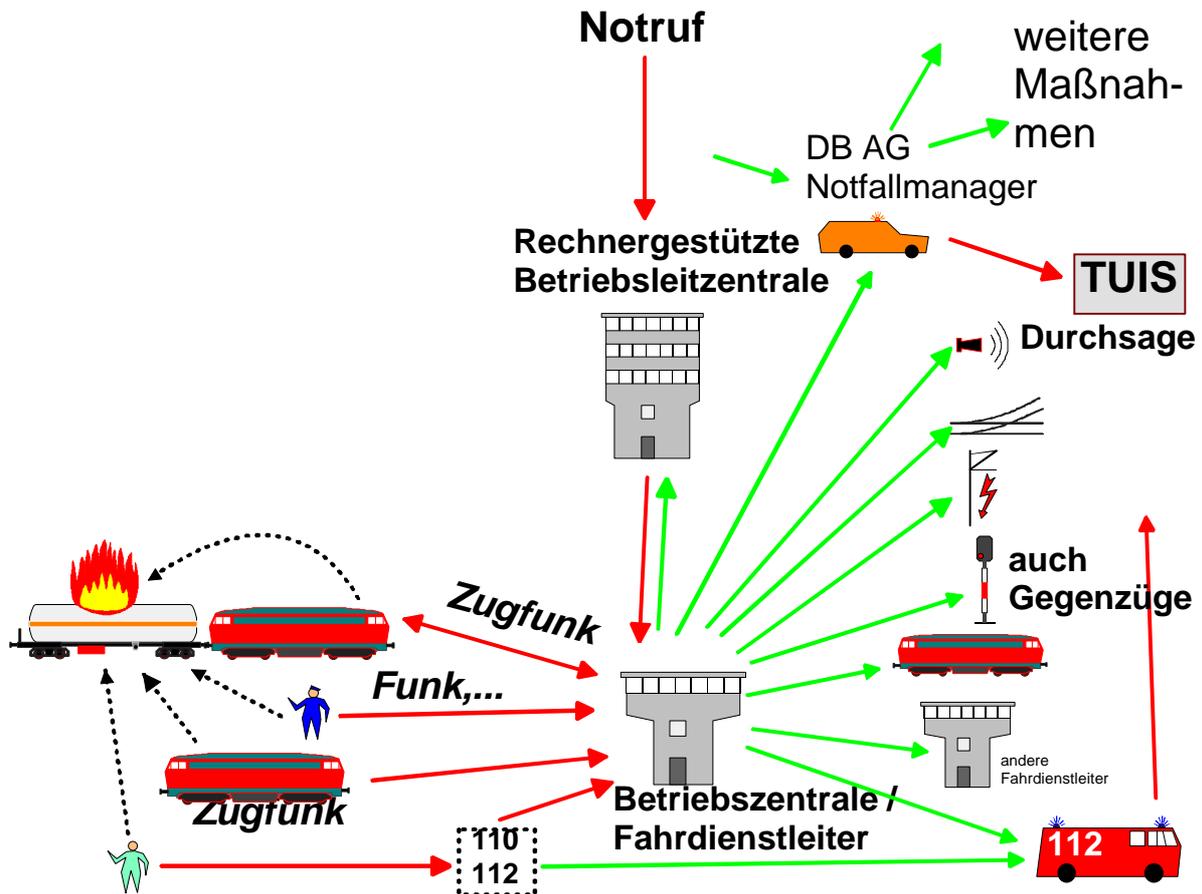


Bild 44: Derzeitige Alarmierungswege in Deutschland

Der Fahrdienstleiter wertet hier die eingehenden Notrufe aus, bestimmt letztendlich selbstständig, welche Maßnahmen zu ergreifen sind und alarmiert verschiedene Stellen bzw. leitet vom Stellwerk her Maßnahmen ein. Dazu zählen im akuten Notfall, also bei Gefahr im Verzug, z. B. folgende Maßnahmen:

- **Anhalten des betroffenen Zuges** durch Zugfunk und Signalstellung soweit die Meldung nicht durch den Triebfahrzeugführer des Zuges erfolgte.
- **Anhalten von nachfolgenden Zügen** soweit dies nicht automatisch vom Streckenblock usw. vorgenommen wird. Anhalten bzw. Alarmierung von Gegenzügen bei zweigleisiger Strecke, da der gefährdende Zug das Lichtraumprofil des Gegengleises verletzen könnte.

- **Fahrstraßeneinstellung**, um den gefährdeten Zug auf ein Nebengleis zu leiten bzw. andere Züge umzuleiten.
- **Abschalten und Erden der Fahrleitung** im betroffenen Abschnitt
- Bei einem stehenden Fahrzeug im Bahnhofsbereich **Warnung von Betriebsangehörigen und Passanten** beispielsweise per Lautsprecherdurchsage
- **Benachrichtigung benachbarter Fahrdienstleiter**, so daß auch hier entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden können.
- **Einleitung von betriebsinternen Gegenmaßnahmen** durch Benachrichtigung von Notfallmanager, Betriebsfeuerwehr usw.
- **Alarmierung öffentlicher Hilfsdienste** wie Feuerwehr usw.
- **Verständigung der übergeordneten Leitstelle** zur Einleitung weiterer Maßnahmen

Die übergeordnete Leitstelle, das betriebsinterne Notfallmanagement oder die öffentlichen Hilfsdienste können dann weitere Maßnahmen ergreifen und Alarmierungen auslösen. Beim Gefahrguttransport in Deutschland zählt hierzu auch das Einholen von Informationen bzw. die Absendung eines Hilfeersuchens an TUIS, dem Transport Unfall Informations- und Hilfeleistungssystem der deutschen Chemieindustrie [189], nach dessen Vorbild sich derzeit europaweit ein ähnliches Hilfssystem im Aufbau befindet und bereits erste Einsätze ausführt.

Wenn der Fahrdienstleiter bei seiner Alarmierung erkennt, dass keine unmittelbare Gefahr im Verzug ist, kann er in Kooperation mit benachbarten Fahrdienstleitern und der übergeordneten Leitstelle zahlreiche präventive Maßnahmen ergreifen, wie z. B. das Anhalten des Zuges im nächsten Bahnhof, das Aussetzen des betroffenen Wagens, die wagentechnische Untersuchung des Wagens.

Das in diesem Kapitel beschriebene, bestehende Alarmierungskonzept zeichnet sich durch seine stark dezentrale Struktur aus, so dass es flexibel auf unterschiedliche Gefahrensituationen reagieren kann. Durch die Einführung von Telematik können folgende Aspekte des bestehenden Alarmierungskonzeptes verbessert werden:

- Da das System selbständig eine Alarmierung auslöst, werden Gefahrenzustände eher erkannt, möglichst bevor von einer Störung eine akute Gefährdung ausgeht.
- Die Weitergabe von Informationen erfolgt beim bestehenden System in vielen Fällen mündlich, wobei es leicht zu Missverständnissen kommen kann. Das Telematiksystem gibt exakte Daten aus, die in schriftlicher Form als Bildschirmanzeige, Fax o. ä. gegeben werden.

- Gerade bei Störungen und Unfällen mit Gefahrgut sind die Kenntnis von der Art des Gefahrgutes sowie verschiedener Sekundärinformationen und Sicherheitshinweise zur Ladung extrem wichtig. Diese Information kann derzeit oft nur durch Augenschein bzw. durch Rückfragen in Erfahrung gebracht werden. Sie ist in der Regel kein direkter Bestandteil einer ersten Alarmierung.

Während ein großer Teil der Mitarbeiter im Bahnbetrieb eine grundsätzliche Schulung im Umgang mit Gefahrgut hat, wäre es trotzdem vorteilhaft, diesen Mitarbeitern im Gefahrfall auch zu ihrer eigenen Sicherheit möglichst schnell zusätzliche Informationen über übliche Sicherheits- und Abwehrmaßnahmen usw. übermitteln zu können.

### **4.2.3 Alternative Alarmierungsstrategien**

Im folgenden werden mögliche Formen der Alarmierung innerhalb des unter Kapitel 4.2.2 beschriebenen Systems dargestellt und auf ihre Eignung hin bewertet.

#### **4.2.3.1 Direkter Eingriff des Telematiksystems in den Betrieb**

Hierbei löst das Telematiksystem im Fall einer Gefahrensituation direkt eine Notbremsung aus, indem er die Hauptluftleitung entleert. Ein solches System von der Firma OKE wird derzeit in der Schweiz bereits in hoher Stückzahl eingeführt [1].

Vorteil des Systems ist der einfache Aufbau, da keine Kommunikationseinrichtungen und keine ortsfeste Infrastruktur oder Einrichtungen auf dem Triebfahrzeug benötigt werden. Nachteilig ist, dass auf das Erkennen der Gefahrensituation unmittelbar die Notbremsung durch Entlüftung der Hauptluftleitung eingeleitet wird. Durch das unkontrollierte Bremsen kann eine gefährliche Situation noch verschlechtert werden. Beispielsweise kann der Zug auf einer Brücke zum Stehen kommen, wo Hilfsleistungen schwierig sind oder im Tunnel oder in dichtbesiedeltem Gebiet, wo ein Brand oder austretende Chemikalien potentiell wesentlich gefährlicher sind, als wenn der Zug noch einige Kilometer weiter fährt, bevor er an einer geeigneten Stelle angehalten wird.

Grundsätzlich besteht für den einzelnen Gefahrgutwagen das Problem, dass der Wagen trotz ausgefeilter Logik bei der Evaluierung einer potentiell gefährdenden Situation nur auf seine eigene Sensorik und wenige, vorgespeicherte Informationen zurückgreifen kann und daher Situationen nicht vollständig überblicken kann. Auch aus diesem Grund ist die direkte Beeinflussung von Sicherungseinrichtungen (z. B. Haltstellung eines Signals durch direkte Kommunikation Gefahrgutwagen-Signal) nicht empfehlenswert.

Weiterhin funktioniert das System der direkten Beeinflussung nur bei fahrendem Zug und nicht bei abgestellten Wagen. Weitere Informationen über die Art des Notfalls usw. werden nicht gegeben.

#### **4.2.3.2 Telematiksystem meldet an Triebfahrzeugführer**

Im Fall einer Gefahr setzt das Telematiksystem eine Meldung an das Triebfahrzeug des Zuges ab. Diese Form der Alarmierung benötigt mit Ausnahme eines Einsatzes des im Text beschriebenen Pulsationsbremsventils eine Kommunikationsinfrastruktur. Die Meldung des Telematiksystems an den Triebfahrzeugführer funktioniert nur, wenn das Fahrzeug einem Zug zugeteilt ist (Problem Zugtaufe), nicht bei abgestellten Wagen.

Wenn neben der reinen Meldung, dass eine Gefahr vorliegt, noch weitere Angaben erfolgen sollen, so ist zu berücksichtigen, wie dies beim internationalen Einsatz für Fahrzeugführer mit verschiedener Sprache erfolgt. Möglich wären hier vereinheitlichte Symbole bzw. Ausdrücke (mit den Problemen der Standardisierung) oder eine "Mehrsprachigkeit" des Telematiksystems bzw. ein "Dolmetschen" des Empfangsgerätes im Triebfahrzeug.

Diese Alarmierungsmethode hat den Vorteil, dass der Triebfahrzeugführer unmittelbar in das Geschehen eingreifen kann und über die Kommunikationssysteme der Lok weitere Meldungen absetzen kann. Zu seiner eigenen Sicherheit sollte der Triebfahrzeugführer eine grundsätzliche Ausbildung über das Verhalten bei Notfällen mit Gefahrgutwagen haben. Wie wichtig eine solche Ausbildung ist, zeigt der Entgleisungsunfall am 2.3.99 auf der Neubaustrecke Hannover Würzburg der DB AG [125]. Hier stoppte der Triebfahrzeugführer eines Güterzuges mit einem erst entgleisten und dann in Brand geratenen Güterwagen im Tunnel, wobei die Auswirkungen des Unfalls durch den im Tunnel nur schwer zu bekämpfenden Brand und durch Beschädigungen im Tunnelbereich erheblich vergrößert wurde [91].

Die Methode der Alarmierung ist daher grundsätzlich empfehlenswert (s. auch [76]), Probleme der direkten Kommunikation zwischen Gefahrgutwagen und anderen Komponenten des Bahnsystems werden in Kapitel 4.2.3.4 dargestellt.

#### **4.2.3.3 Telematiksystem meldet an den Fahrdienstleiter bzw. an die Betriebsleitzentrale**

Bei einem Notfall sendet das Telematiksystem eine Meldung direkt an den Fahrdienstleiter bzw. an die Betriebsleitzentrale. Hier können sämtliche Maßnahmen direkt oder durch Befehlsabgabe an untergeordnete Stellwerke usw. getroffen werden. Über die Signalanlage oder über Zugfunk wird der Zug gegebenenfalls zum Stehen gebracht. Das System funktioniert sowohl bei der Zuordnung des Wagens zu einem Zug als auch bei einem autarken Wagen.

Schwierig ist die Zuordnung des Wagens zur richtigen Betriebsleitzentrale bzw. zum richtigen Fahrdienstleiter, die für die Zugfahrt bzw. den Wagen zuständig sind. Dies ist davon abhängig, wo der Wagen sich zum Zeitpunkt der Meldung befindet. Kommunikationssysteme, die den Wagen grundsätzlich mit der entsprechenden Leitstelle verbinden könnten (z. B. Li-

nienleiter, Balisen, bestimmte Funksysteme) sind aufwändig und in Europa nicht einheitlich und nicht durchgehend vorhanden und v.a. als Ausrüstung des Fahrwegs teuer.

Die Methode der Alarmierung ist grundsätzlich empfehlenswert, Probleme der direkten Kommunikation zwischen Gefahrgutwagen und anderen Komponenten des Bahnsystems werden in Kapitel 4.2.3.4 dargestellt.

Hinzu kommt, dass je nach gewähltem Funknetz Netzabdeckungsprobleme auftreten und erhebliche Zeitspannen für die Gesprächsvermittlung vergehen können.

#### **4.2.3.4 Grundsätzliche Probleme einer direkten Kommunikation zwischen Telematik - Wagen und anderen Teilnehmern des Systems Bahn**

Die direkte Kommunikation des Gefahrgutwagens mit Triebfahrzeugführer bzw. Infrastruktureinrichtungen hat grundsätzlich folgende Probleme:

- Der Gefahrgutwagen muss die verantwortliche Lok (Zugtaufe<sup>1</sup>) bzw. die verantwortliche Betriebsstelle ansprechen (Zuordnung von hinreichend genauen Ortskoordinaten zu Betriebsstellen). Dies muss europaweit erfolgen können.
- Für zusätzliche Informationen über die Ladung sowie zur Zuordnung des Wagens zu Zügen und zu verschiedenen Stellwerksbereichen müssen zahlreiche Daten auf dem Gefahrgutwagen vorgehalten werden. Die Vorhaltung und Übertragung dieser Daten, aber vor allem die Datenpflege und Aktualisierung bilden ein großes organisatorisches Problem.
- Sowohl auf dem Gefahrgutwagen als auch auf Triebfahrzeugen und Betriebsstellen müssen Kommunikationseinrichtungen vorhanden sein, die miteinander kompatibel sind. Derzeit und wahrscheinlich auch in nächster Zukunft sind in Europa noch eine Vielzahl unterschiedlicher Einrichtungen in Betrieb, wobei auch Werkbahnen und Privatbahnen zu berücksichtigen sind. Die Einrichtung multimodaler Kommunikationssysteme beim Telematiksystemen ist kostspielig.
- Logische Schnittstellen zur Kommunikation zwischen Gefahrgutwagen und Triebfahrzeug bzw. Betriebsstelle müssen vorgehalten werden. Dies führt entweder zu multimodalen und damit aufwändigen Übertragungsprotokollen oder es ist eine Einigung auf europaweite Standards notwendig. Diese weitgehende Standardisierung ist neben der damit verbundenen organisatorischen Probleme in einem derart frühen Stadium für weitere Entwicklungen der Telematik eher hinderlich, da ein Wettbewerb zwischen grundsätzlich unterschiedlichen Systemen eingeschränkt wird.

---

<sup>1</sup> Unter dem Begriff Zugtaufe wird die eindeutige Zuordnung aller Wagen zum befördernden Triebfahrzeug bei Erweiterung oder Neuzusammenstellung des Zuges vor der Abfahrt des Zuges verstanden.

- Um diese Probleme zu umgehen, wird die Einrichtung von Alarmierungszentralen empfohlen, die im Kapitel 4.2.3.6 beschrieben werden.

Im folgenden werden zwei Konzepte zur Alarmierung der zuständigen Stellen bei einem Notfall auf einem mit einem Telematiksystem ausgerüsteten Wagen beschrieben. Das erste System, "Telematik Now", ist ein einfaches Konzept um einige Vorteile von Telematik unmittelbar im europäischen Verkehr nutzen zu können. Das zweite System, "Telematik mit Alarmierungszentrale" bietet eine vollständige Nutzung der Telematik bei mittelfristiger Umsetzbarkeit und mit überschaubaren Investitionen. Beide Systeme setzen auf das bei Bahnen in Europa übliche Alarmierungssystem aus Kapitel 4.2.2 auf.

#### **4.2.3.5 Ein einfaches Konzept zur Alarmierung "Telematik Now"**

Das erste Konzept stellt eine einfache Möglichkeit dar, Wagen mit Telematiksystemen im europäischen Eisenbahnnetz einzusetzen, ohne wesentliche Veränderungen der Infrastruktur im bestehenden Bahnsystemen vorzunehmen. Das System braucht keine Kommunikationsinfrastruktur.

Der Telematik Gefahrgutwagen ist mit einem pulsierenden Bremsventil ausgestattet. Tritt ein, durch die Telematik erkannter Notfall, ein, warnt der Wagen mittelbar über die im Telematiksystem vorhandene Funkeinrichtung und seinen Besitzer den Fahrdienstleiter, der weitere Maßnahmen einleitet und den Zug gegebenenfalls durch Signalstellung oder Zugfunk stoppt.

Befindet sich der Wagen zum Zeitpunkt des Notfalls in einem Zugverband, warnt er zusätzlich den Triebfahrzeugführer mit dem pulsierenden Bremsventil. Der Wagen entlüftet dabei periodisch die Hauptluftleitung des Zuges, so dass die Bremsen des Zuges kurz und wenig ansprechen sowie das Druckluftmanometer der Lokomotive sich zu bewegen beginnt. Beim Ansprechen der Bremsen schließt das Ventil die Bremsleitung wieder, so dass der Kompressor des Triebfahrzeugs den Bremsleitungsdruck wieder auf normales Niveau bringt und sich die Bremsen lösen. Dies wird mehrmals wiederholt. Der Triebfahrzeugführer, der geschult ist, dieses Phänomen zu beachten, bringt den Zug an einer geeigneten Stelle zum Stehen und kann den betroffenen Wagen durch die optischen und akustischen Warnsignale identifizieren. Er kann dann entsprechende Gegenmaßnahmen einleiten und über Streckentelefon oder Zugfunk den zuständigen Fahrdienstleiter informieren, der seinerseits geeignete Maßnahmen vornimmt und Dritte alarmiert.

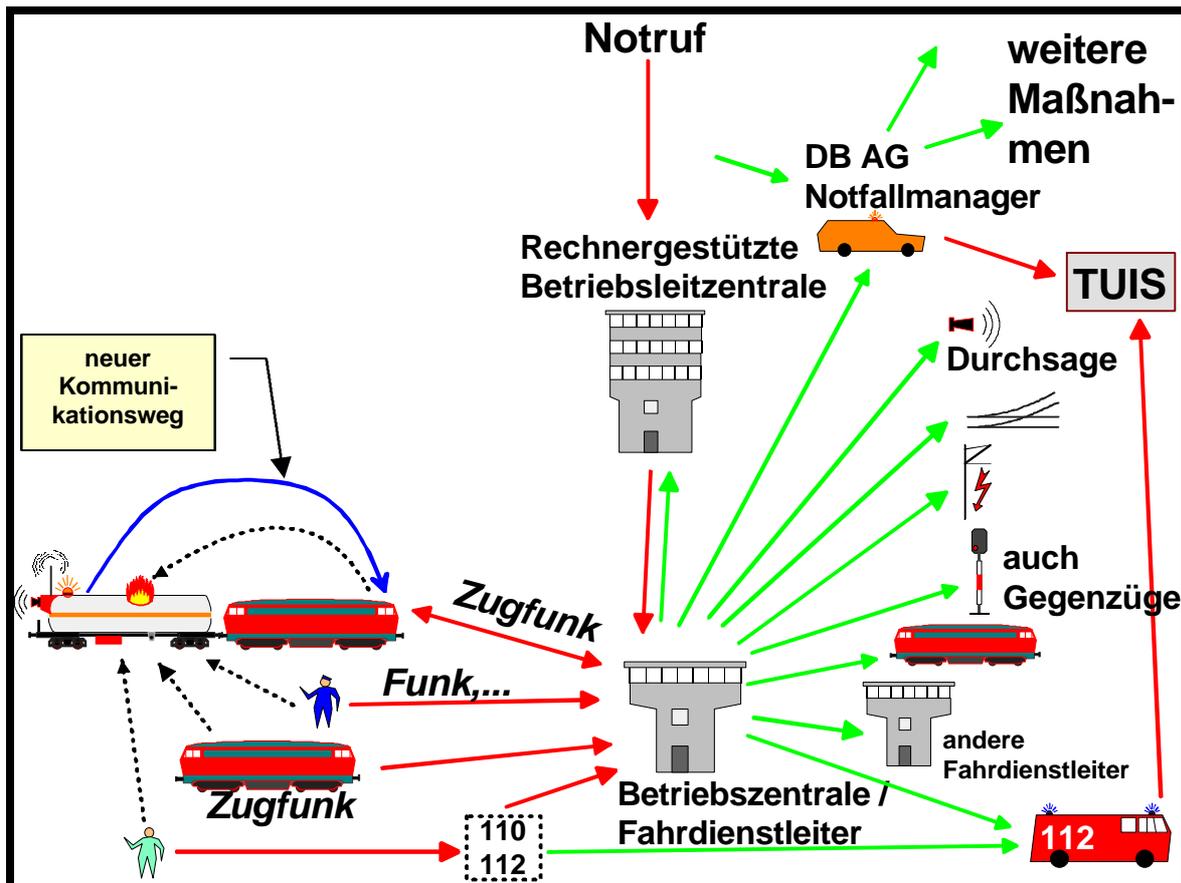


Bild 45: Alarmierung mit Pulsationsbremsventil "Telematik now"

Das Alarmierungssystem stellt eine klare Verbesserung gegenüber dem derzeitigen Sicherheitsstandard dar und hat weiterhin folgende Vorteile:

- Keine Zusatzinvestitionen in die Infrastruktur, nur Personalschulungskosten.
- Keine Neuorganisation des Bahnbetriebs, da jede Bahngesellschaft ihre gewohnten Alarmierungswege beibehält; gleichzeitig flexibel bei Änderungen der Betriebsführung; europaweit einsetzbar

Ein so einfaches System hat natürlich gegenüber fortgeschrittenen Anwendungen auch Nachteile:

- Es werden keinerlei Informationen über die Art des Notfalls gegeben und es gibt auch keine Sekundärinformation.
- Außerhalb des Zugverbandes gibt es keine Verbindlichkeit, dass die Gefahrenmeldung des Systems überhaupt wahrgenommen und rechtzeitig korrekt bewertet wird.

Trotz der genannten Nachteile eignet sich das System, um den Sicherheitsstandard von Gefahrguttransporten kurzfristig zu erhöhen. Da bis auf das pulsierende Bremsventil alle Komponenten des Systems auch in fortgeschrittenen Telematiksystemen nutzbar sind, kann dieses Alarmierungskonzept auch zur Einführung von Telematik eingesetzt werden, bis entsprechende Kommunikationsinfrastruktur bereitsteht. Desgleichen könnte das Alarmierungskonzept als Rückfallebene genutzt werden, wenn nur auf Teilen des befahrenen Netzes Kommunikationssysteme bereitstehen oder diese ausfallen.

#### **4.2.3.6 Telematik mit Alarmierungszentrale**

Die in Kapitel 4.2.3.4 beschriebenen Probleme einer direkten Alarmierung zuständiger Betriebsstellen oder des Triebfahrzeugführers führt zu dem Vorschlag, eine Alarmierungszentrale zwischen Telematikwagen und Triebfahrzeugführer bzw. Betriebsstellen einzusetzen.

Diese Alarmierungszentrale arbeitet folgendermaßen:

Im Gefahrenfall schickt der Telematikwagen ein Notsignal an die Alarmierungszentrale. Die Zentrale ist für den Wagen in ganz Europa unter einheitlicher Kennung erreichbar (vergleichbar einer internationalen Telefonnummer).

In der Zentrale wird der Wagen identifiziert, hier werden aktuelle Daten von verschiedenen Seiten vorgehalten und ständig aktualisiert, oder es bestehen Hochleistungs-Datenverbindungen zu verschiedenen Datenbanken. Zusammen mit der Alarmierung, bei der der Wagen seine eigene Identität, seine geographische Position als Längen- und Breitengrad sowie Informationen zur Art der Gefahr, zu seiner Ladung usw. angibt, beginnt die Alarmierungszentrale automatisch einen Alarmierungsdatensatz zusammenzustellen, wobei sie sich der vorliegenden Datenbanken bedient.

- Aus der Positionsmeldung und aktuellen, digitalen Karten erkennt die Alarmierungszentrale auf welcher Strecke, auf welchem Bahnhof und in welchem Bahnnetz sich der Wagen befindet und ob es sich um eine nationale Bahngesellschaft, eine Privatbahn oder eine Werksbahn handelt. Sie identifiziert die zuständigen örtlichen Betriebsstellen, die zu benachrichtigen sind. In einer Adressendatei sind dazu die Adressen und die mögliche Art der Benachrichtigung an diese Betriebsstellen verzeichnet.
- Aus den Daten des Wagens identifiziert die Alarmierungszentrale den Wageneigentümer der in der Datenbank zusätzliche Kenndaten des Wagens wie Wagengattung usw. abgelegt hat.
- Aus den Informationen, die der Telematikwagen übermittelt hat sowie aus dem elektronischen Frachtbrief, den die Alarmierungszentrale bei der Beladung des Wagens erhielt, identifiziert sie die Art der Ladung sowie den Versender und den Empfänger. Aus einer Gefahrgut-Datenbank können zusätzliche Informationen zur Ladung und über Spezialis-

ten zur Gefahrgutbekämpfung abgefragt werden. Versender, Empfänger sowie zusätzliche Hilfskräfte werden bei Bedarf benachrichtigt.

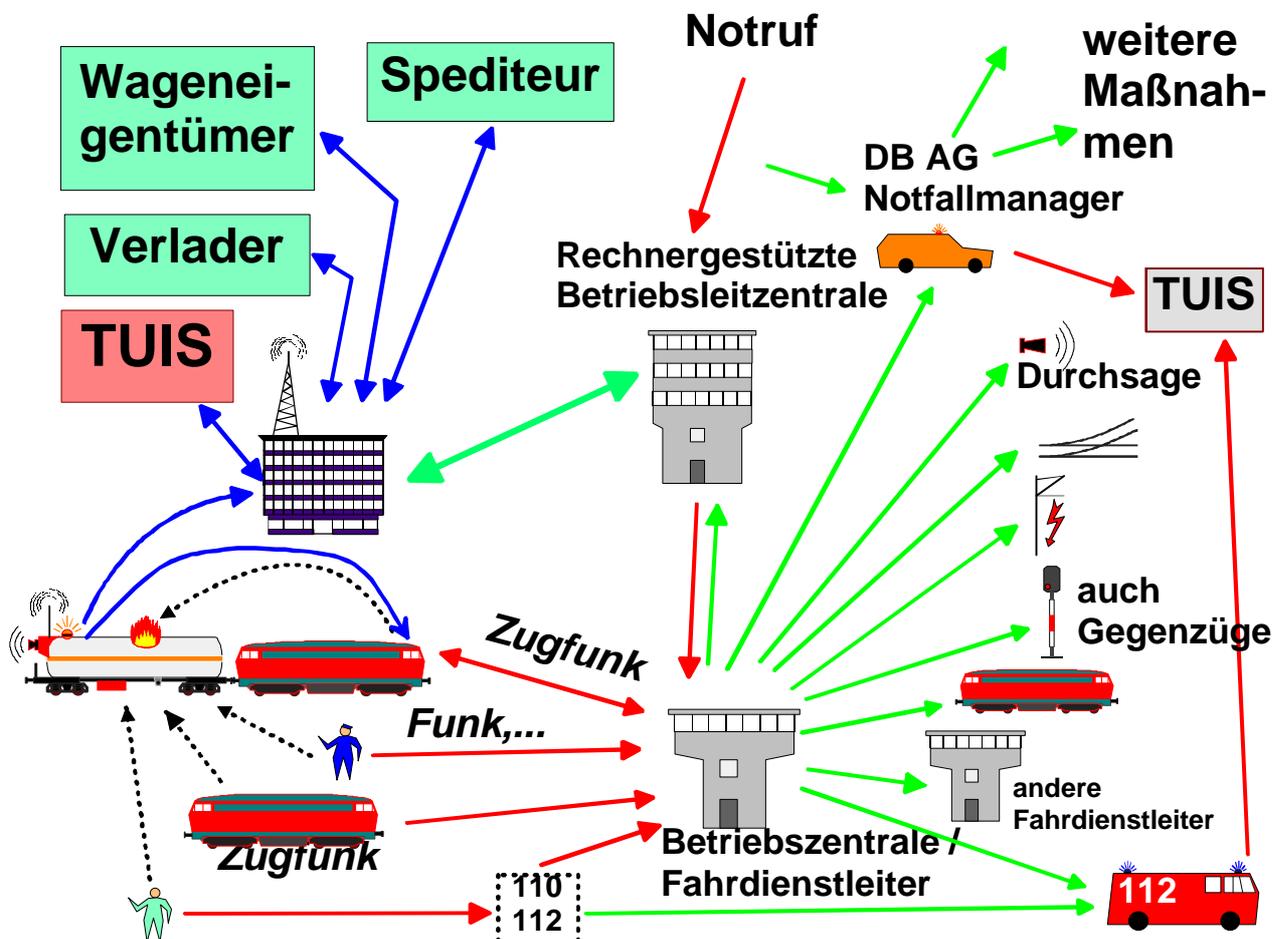


Bild 46: Alarmierung mit Alarmierungszentrale

Aus den Daten stellt die Alarmierungszentrale ein Alarmierungs-Datenpaket zusammen, das sie anschließend an die zuständigen Betriebsstellen schickt. Die Datenübertragung kann auf verschiedenen Wegen erfolgen. Wünschenswert ist dabei eine Übertragung per Datenfunk, Internet o. ä., jedoch ist diese mit Investitionen verbunden. Dies ist davon abhängig, welche Infrastruktur die entsprechende Betriebsstelle besitzt. Anfangs ist auch die Generierung eines Telefaxes möglich. Es bleibt einer vorab erfolgten, grundsätzlichen Vereinbarung zwischen Bahngesellschaft und Alarmierungszentrale vorbehalten, ...

- ... welche Betriebsstelle bei Notfällen auf einzelnen Strecken alarmiert werden. Dies können übergeordnete Leitstellen sein. Bahnintern erfolgt dann die Weitergabe der Alarmierung an untergeordnete Stellen sowie über Funk oder Signalstellung an den Triebfahrzeugführer. Möglich ist aber auch eine direkte Alarmierung des Fahrdienstleiters vor Ort mit Fax oder modernen Kommunikationssystemen. Selbst der Triebfahrzeugführer könnte direkt alarmiert werden, wenn es entsprechende Kommunikationsverbindungen gäbe.

- ... mit welchen Kommunikationssystemen und -standards die Benachrichtigung erfolgt (z. B. Standleitung mit Internet, Datenfunk, Fax, Telex usw. als ASCII oder Binärdatei usw.).
- ....welchen Inhalt die Benachrichtigung hat (z. B. welche Informationen, welche Sprache usw.).

Örtliche Stellen leiten letztendlich Gegenmaßnahmen ein, wobei durch die automatische Generierung und Weiterleitung der Daten bei leistungsfähigen Verbindungen nur wenige Sekunden zwischen erster Identifizierung einer Gefahrensituation im Telematikwagen und der Alarmierung zuständiger Stellen vergeht.

Eine direkte Alarmierung des Triebfahrzeugführers kann entweder durch eine direkte Kommunikationsverbindung Wagen-Triebfahrzeug erfolgen, was derzeit nicht entwickelt und mit den in Kapitel 4.2.3.4 beschriebenen Problemen behaftet ist, oder durch eine Verbindung zwischen der Alarmierungszentrale und Triebfahrzeug.

Grundsätzlich kann es dabei in Europa verschiedene Alarmierungszentralen geben. In der aktuellen Phase der Telematik ist eine Konkurrenz unterschiedlicher Systeme und Ansätze eher wünschenswert. Es muss nur für den einzelnen Telematikwagen feststehen, welcher Zentrale er angehört und dass die Meldungsstrategie eingehalten sowie sichergestellt wird. Die Alarmierungszentrale muss sich bilateral mit den Bahnbetreibern über die Modalitäten der Alarmierung einigen.

Die Alarmierungszentrale hat dabei Zugang zu zahlreichen Informationen, die für Unternehmen äußerst brisant sind, die untereinander im Wettbewerb stehen. Daher muss die Kommunikation zwischen Gefahrgutwagen und Zentrale verschlüsselt sein und die Alarmierungszentrale das Vertrauen aller Beteiligten genießen.

Aus den genannten Gründen gibt es verschiedene mögliche Organisationsformen für die Alarmierungszentrale:

- Ein Telematik-Dienstleister betreibt eine Alarmierungszentrale für die Kunden, die seine Telematiksysteme nutzen. Der Dienstleister stellt auch die Fahrzeugeinrichtungen zur Verfügung.
- Eine Güterbahngesellschaft, eine Spedition, ein großes Unternehmen im Gefahrgutbereich oder der Inhaber einer Fahrzeugflotte betreibt eine Alarmierungszentrale für die eigenen Fahrzeuge, Behälter oder Güter.

- Ähnlich TUIS findet ein Zusammenschluss nationaler oder europäischer Gruppen, die am Gefahrguttransport beteiligt sind, statt, die gemeinsam eine Alarmierungszentrale betreiben.

#### **4.2.4 Hardwaretechnische Betrachtungen der Kommunikation zwischen Wagen und Lokomotive**

Die Kommunikation zwischen telematikbestücktem Wagen und Lokomotive stellt nach derzeitigem Stand die Kernfrage für die flächendeckende Einführung von Telematiklösungen dar; aufgrund des engen zeitlichen Reaktionsfensters stellt sich nach einer Entgleisungsdetektion die Frage, wie am schnellsten und zuverlässigsten der Zug dort angehalten werden kann, wo die Unfallfolgen am besten zu beherrschen sind.

Das derzeit vor allem in der Schweiz eingeführte und von der OTIF zugelassene System der Firma Knorr (s. Kapitel 3.2.1.4 und Bild 105) führt bei Detektion einer Entgleisung, die im übrigen sehr unscharf in einem Bereich zwischen 5 und 10g detektiert wird, eine Notbremsung durch Entlüftung der Hauptluftleitung des Zuges durch. Neben den Problemen einer eventuellen Fehldiagnose und den damit verbundenen Zeiten für das Auffinden des ausgelösten Systems, dem Absperren des Systems und des Wiederauffüllens des Zuges bis zur Abfahrt, führt genau dieses unkontrollierte Auslösen eventuell bei einem Unglück dazu, dass das System nicht zwischen geeigneten Anhalteorten entscheiden kann, wie dies ein elektronisches Expertensystem anhand der geographischen Koordinaten oder ein Triebfahrzeugführer könnte.

Daher ist es für ein intelligentes Telematiksystem unabdingbar, eine Störungsmeldung schnellstmöglich zum Lokomotivführer zu übertragen, damit dieser eigenverantwortlich, ggf. durch ein Expertensystem unterstützt, entscheiden kann, ob und wann eine Bremsung einzuleiten ist, damit der Zug weder im Tunnel noch auf großen Brücken oder in dichtbesiedelten Kernbereichen von Städten ungewollt zum stehen kommt.

Im folgenden werden die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten dargestellt und die zur Umsetzung aussichtsreichsten Varianten näher beleuchtet.

##### **4.2.4.1 Drahtbus**

Die Schaffung eines Drahtbusses im Schienengüterverkehr ist seit langer Zeit im Gespräch und wird anlässlich innovativer Ideen wiederkehrend in verschiedenen Lösungsansätzen diskutiert.

Hinderlich bei der flächendeckenden Einführung eines Drahtbussystems sind in erster Linie die Frage der Kosten, der europaweiten Normung (s. Kapitel 1.2.1) und des Verhaltens des Drahtbusses bei Ausfall eines Wagens bzw. einer Baugruppe eines Wagens.

Hierbei entsteht bei Befragung der Wageneigentümer und der Kunden das Bild, dass jeder Euro, der für eine Modernisierung des Schienengüterverkehrs eingesetzt wird, durch die derzeitigen Transporterlöse nicht zu finanzieren ist.

Technisch würde die Schaffung eines Bussystems die Verfügbarkeit von elektrischer Energie auf dem Wagen und der Möglichkeit der Übertragung sicherheitsrelevanter Informationen auf einem standardisierten und sicheren Weg zu Lokomotive bedeuten.

Kostenschätzungen einer Wagonwerkstatt für die Einbaukosten eines Leer-Rohres DN 25 mit einigen wenigen Kabeln zur Durchleitung elektrischer Signale führen zu einem Preis von ca. 500 € pro Wagen.

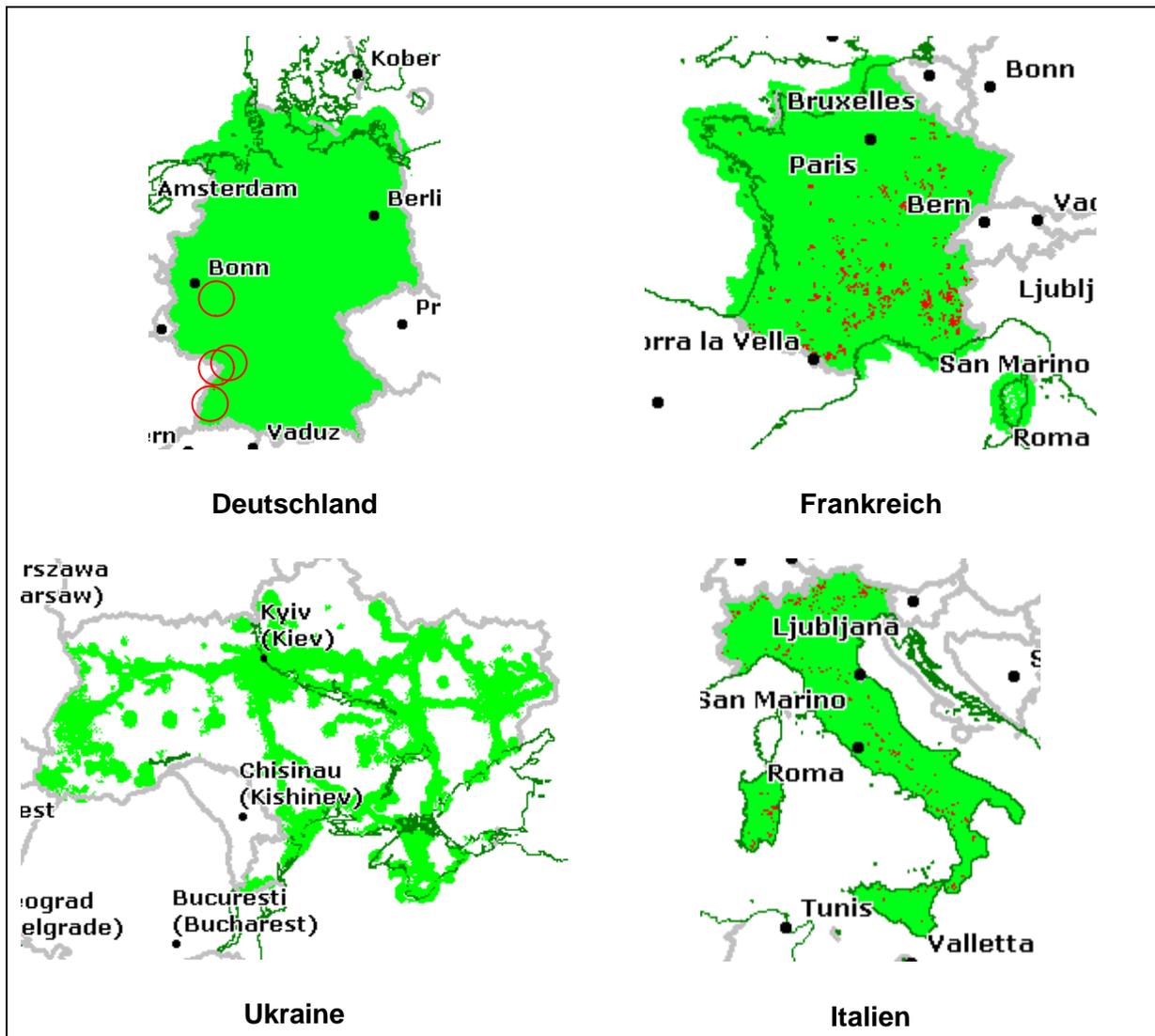
Unter Berücksichtigung der Wagonrevisionsfristen von 4 bzw. 6 Jahren und der Durchführung der notwendigen Arbeiten anlässlich dieser Hauptuntersuchung bestünde die Möglichkeit, dies zunehmend verstärkt auftretende Problem in überschaubarer Zeit zu lösen.

Lokomotivseitig wäre bei Nutzung eines Drahtbusses ein Empfangsgerät notwendig, das die sicherheitsrelevanten Daten decodieren und unter Zuhilfenahme eines Expertensystems in Handlungsvorschläge für den Lokomotivführer umsetzen kann.

#### 4.2.4.2 Terrestrische Funksysteme

Im vorangegangenen Kapitel 4.2.3 wurde bereits die Möglichkeit der Nutzung terrestrisch basierter Funksysteme als zukünftige Lösung beschrieben. Unter dem Begriff terrestrische Funksysteme sind zum Beispiel GSM, GPRS und UMTS sowie GSM-R als bahnspezifisches System zu verstehen.

In Mitteleuropa ist derzeit das System GSM sehr verbreitet. Hierbei besteht eine sehr unterschiedliche flächige Netzabdeckung, wobei Ballungszentren aufgrund des hohen Gesprächsaufkommens sehr gut, ländliche Regionen eher schlecht abgedeckt sind. Trotz anderslautender Darstellungen der Mobilfunkunternehmen gibt es zahlreiche nicht bediente Bereiche (sog. weiße Flecken). Diese werden außerhalb Zentral-Mitteleuropas zunehmend größer (s. rote Stellen auf Bild 47); auf Bild 47 sind dabei die gut abgedeckten Bereiche **grün**, die Bereiche ohne Netzabdeckung **rot** dargestellt.



**Bild 47: GSM-Netzabdeckung bei überlagerter Abdeckung aller landesverfügbaren Netzbetreiber (Stand Nov. 2002) [142]**

Anm. zur Graphik: Die roten Kreise in Deutschland deuten dienen der Markierung von Stellen mit geringer Netzabdeckung, die so klein sind, dass sie mit roten Punkten in der Karte nicht mehr darstellbar sind.

Der Nutzung des heutigen GSM-Netzes für sicherheitsrelevante Bahnanwendungen steht weiterhin entgegen, dass durch die Mobilfunkbetreiber keine zeitlichen Fenster garantiert werden, innerhalb derer Funkverbindungen hergestellt oder Kurzmitteilungen (SMS) zugestellt werden. Je nach Netzbelastung kann dies bis zu Minuten dauern und scheidet somit für Sicherheitsanwendungen aus.

Derzeit wird das GSM-Netz zunehmend durch die Forderung der Kunden nach Multimedia-Anwendungen auf dem privaten Mobiltelefon durch das paketvermittelte System GPRS abgelöst, bei dem nach Datenvolumen und nicht wie bisher nach Dauer der Verbindung abgerechnet wird. Auch bei diesem System bestehen dieselben Probleme, da auch hier die Netzbetreiber in erster Linie die Netzdichte am kommerziellen Bedarf orientieren.

Das derzeit im Aufbau begriffene UMTS-Mobilfunk-Netz ist aufgrund der extremen Lizenzgebühren<sup>1</sup> noch stärker an einen kommerziellen Erfolg gebunden als das abzulösende GSM-Netz. Zu den Lizenzkosten kommen nach Schätzungen der Fa. McKinsey innerhalb der nächsten fünf Jahre auf jeden Provider 7,5 Mrd. € für Netzauf- und Ausbau sowie vertraglich verpflichtend anzubietende Dienste. Eine Wirtschaftlichkeit sei somit frühestens ab 2017 zu erwarten [145].

Aus diesen Gründen ist eine bahnahe Ausstattung mit Sende- und Empfangseinrichtungen nur in Ballungsräumen und entlang von Bahnstrecken mit hohem Fahrgastaufkommen wahrscheinlich.

Der Aufbau des GSM-Netzes der Deutschen Bahn (GSM-R) seit 1999 mit speziellen eisenbahnspezifischen Funktionen hat entlang ausgewählter Strecken begonnen. In erster Linie soll durch dieses Funksystem das bisherige, europa- und landesweit uneinheitliche sowie betreiberspezifische Zugfunksystem, ersetzt und modernisiert werden. In einem „memorandum of understanding“ kamen 1997 32 europäische Bahn überein, GSM-R einzuführen, wovon im Jahr 2000 16 Bahnen eine Absichtserklärung abgaben, bis 2003 mit der Implementierung zu beginnen [136].

Derzeit ist nicht absehbar, innerhalb welches Zeitfensters eine flächendeckende Lösung innerhalb Deutschlands und v.a. bei grenzüberschreitenden Verkehren innerhalb Europas verfügbar sein wird. Steht dieses System zukünftig mit geeigneter Netzabdeckung zur Verfügung, wäre für Telematikanwendungen eine gute funkbasierte Lösung geschaffen, zumal aufgrund der breiten Einführungsbasis auch die Lokomotiven mit entsprechenden Empfangsgeräten ausgerüstet würden. Bis dahin kann GSM-R nicht als Meldesystem angesehen werden.

#### **4.2.4.3 Satellitenbasierte Funkssysteme**

Satellitenbasierte Funkssysteme bieten eine erheblich höhere räumliche und zeitliche Verfügbarkeit dar als GSM-Netze. Nachteilig sind die sehr hohen Kosten für Übertragung und funktechnische Ausstattung der Telematiksysteme.

Ebenfalls ist keine Strategie erkennbar, einen direkten Kommunikationsweg zur führenden Lokomotive zu schaffen. Vielmehr basiert die Satellitenkommunikation zwangsläufig auf terrestrischen Stationen.

---

<sup>1</sup> Kosten der Lizenzversteigerung in Deutschland:

Deutsche Telekom: 8,48 Mrd.€, Vodafone: 8,42 Mrd.€, E-Plus/Hutchison: 8,40 Mrd.€, O<sub>2</sub>: 8,45 Mrd.€, Group 3G: 8,41 Mrd.€

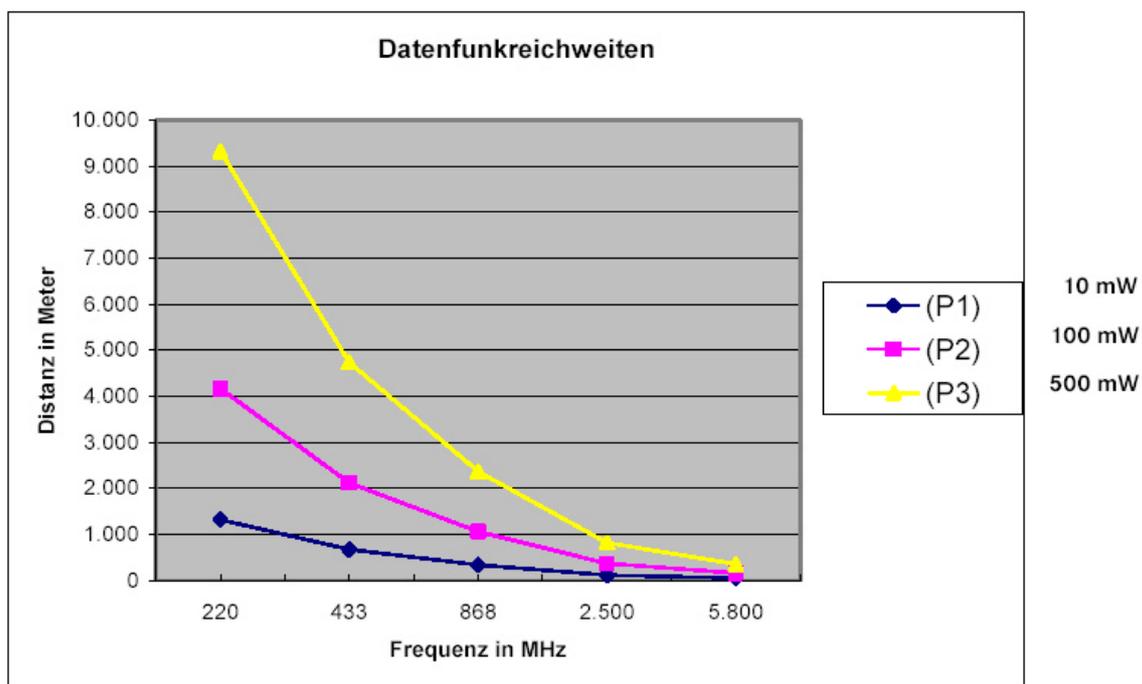
#### 4.2.4.4 Zug-Funk-Bus

Zugfunk-Bussysteme werden bei Telematikanwendungen zunehmend favorisiert, da bei vorhandenem Empfangsgerät auf der Lokomotive eine direkte Information des Lokomotivführers (wie in der Einleitung dieses Kapitels gefordert) sichergestellt ist.

Obwohl dies sicherlich unter den gegebenen äußeren Umständen die geeignetste Lösung ist, existieren nach derzeitigem Forschungsstand viele offene Fragen.

Mehrfach wurde die Frage der Reichweite des Funksignals vom sendenden Wagen unter eisenbahn-betrieblichen Bedingungen untersucht. Kennzeichen und Merkmale der Forschungsvorhaben sowie handelsüblichen Systemen sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Entscheidende Fragestellung, die mit der Reichweite korrespondiert, ist die Überbrückung nicht funktechnisch ausgerüsteter Wagen. Da zum einen in absehbarer Zeit nicht mit einer 100-prozentigen Ausrüstung aller Wagen zu rechnen ist und zum anderen die Frage der Stellung des Telematikwagens im Zug nicht vorhersehbar ist, ist die Reichweite von Funksystemen so zu bemessen, dass die Lokomotive unter allen denkbaren betrieblichen Umständen auch von der letzten Position im Zug erreicht werden kann. Diese ist u.a. von der verwendeten Frequenz und der Abstrahlungsleistung abhängig (s. Bild 48).



**Bild 48: Datenfunkreichweiten in Abhängigkeit der Abstrahlleistung und –frequenz**

(Quelle: Dornier Consulting GmbH)

**Tabelle 5: Überblick über derzeit realisierte Funkbus-Systeme im Schienengüterverkehr**

Quelle: Auszug aus [89] ergänzt um eigene Angaben

Thema	Institution	Kennzeichen	Kommentar
<b>TrainTalk</b> Überwachung und Steuerung eines Güterzugs	GE Harris (USA)	Funkkommunikation im 2,4 GHz-Band Bis 110 Wagen adressierbar	Hohe Zuverlässigkeit bei Tunnel- und Begegnungsfahrten Bisherige Anwendungen in USA und Australien
<b>Redacom</b> Lokomotiv-Fernsteuerung für Güterzüge	Safecom (CHE)	Funkkommunikation im 869 MHz-Band	Testfahrten bei der ÖBB erfolgreich, Zuglänge 569 m Zuverlässige Datenübertragung in 180°-Tunnel und bei Zugbegegnung
<b>TrainLink</b> Funk-Zugbus für Güterzüge zur Wagen- und Ladungsüberwachung	Siemens, TU Braunschweig (DEU)	Funkkommunikation im 1,9-2,4 GHz-Band auf DECT-Basis	Erprobung im Frühjahr 2003 geplant
Forschungsvorhaben <b>„Telematikgestützte Informationssysteme für Fahrzeugführer zur Gefahrgutüberwachung bei intermodalen Transportketten“</b>	Dornier Consulting GmbH (DEU)	Funkkommunikation im Schmalbandbereich im 868 MHz-Bereich	Unterbrechungsfreie Datenverbindung mit Innenantenne bei Zugförderung bis 500m, bei Rangierbetrieb bis 700m Bei Fahrt in 600m-Tunnel (80°) sichere Datenübertragung mit Außenantenne

#### 4.2.4.5 Kommunikation über eine Alarmzentrale

Die Vor- und Nachteile dieser Variante wurden bereits in Kapitel 4.2.3.6 beschrieben.

Diese Kommunikationsstrategie ist die derzeit am Einfachsten zu realisierende, jedoch ist es auch die, mit den schwerwiegendsten Problemen für sicherheitsrelevante Anwendungen. Wie bereits ausgeführt, meldet hierbei das Telematiksystem über ein terrestrisches oder satellitenbasiertes Funknetz das Diagnoseergebnis an eine ortsfeste Alarmzentrale, die dann mit der Kenntnis über Art und Menge des Ladeguts, speziellen Wagendaten und dem aktuellen Wagenstandort die Ereignismeldung in geeigneter Weise weiterleitet und angemessene Reaktionen sorgt.

Problematisch hierbei sind v.a. die systembedingt auftretenden Zeitverluste und nicht zu kalkulierenden Risiken bei jedem Verbindungsaufbau. In erster Linie ist die Unsicherheit der Kommunikation vom Wagen per GSM (Daten- und Sprachkanal) zu nennen. Eine Sicherstellung der Netzverfügbarkeit im Sendemoment ist nicht gegeben, da im Sprachverkehr, für den GSM-Netze eingeführt wurden, Netzausfälle toleriert werden. Weiterhin kann ohne einen geeigneten Dienst keine prioritäre Behandlung von Notrufen gewährleistet werden, so dass es sein kann, dass alle Kanäle des verfügbaren Netzes belegt sind, was bedeutet, dass „be-

setzt“ ist.

Wenn ein Kanal frei ist, ist nicht sichergestellt, in welcher maximalen Zeit die Verbindung hergestellt wird, so dass vom Beginn des Rufaufbaus bis zur hergestellten Verbindung bis zu einigen Minuten vergehen können.

Als nächste Schritte sind die Reaktionszeiten für die Beistellung von Informationen aus diversen Datenbanken und die Reaktionszeiten der Betriebszentralen gemäß Bild 46 auf Seite 97 zu beachten. Die Reaktions- und Handlungszeiten sind ohne Detailuntersuchung nicht abzuschätzen, jedoch sind die im vorhergehenden Absatz geschilderten Rufzeiten des GSM-Netzes zu lang, um diese Variante weiter zu verfolgen.

Sinnvoll ist dieser Lösungsansatz als Parallelweg zur direkten Information, wie es ebenfalls in Bild 46 vorgeschlagen ist. Hierbei würde die gesamte Reaktionszeit für die Alarmierung der Rettungskräfte reduziert und deren korrekte Information über Art, Umfang und Ausmaß des (zu erwartenden) Schadens sowie über die Art und Menge des Ladeguts gegenüber heute erheblich verbessert.

#### **4.2.4.6 Signalmodulation Hauptluftleitung**

Alle oben geschilderten Methoden sind aufwändig und mit teilweise hohem Entwicklungsaufwand behaftet.

Eine preiswerte Alternative, die vor allem ohne lokseitiges Empfangsgerät auskommt, eröffnet sich, wenn die bei allen Güterwagen genormt vorhandene Hauptluftleitung zur Datenübertragung in Betracht gezogen wird.

Durch ein geeignetes Dreiwegeventil kann durch rhythmisches Öffnen und Schließen der Hauptluftleitung ein Druckabfall in der Leitung erzeugt werden, der zu schwankenden Anzeigen in der Lokomotive und durch leichtes Anlegen der Bremsen zu geringen längsdynamischen Effekten führt, ohne jedoch den Zug durch vollständiges Entleeren der Leitung, überwacht durch einen geeigneten Sensor, zum Stillstand zu bringen.

#### **4.2.5 Nutzwertanalyse der Kommunikationssysteme Wagen-Lok**

Um die geeignete Strategie zur Einführung eines Kommunikationskonzepts zwischen telematikbestücktem Wagen und der Lokomotive bestimmen zu können, soll auf das bewährte Verfahren der Nutzwertanalyse der technischen Systementwicklung zurückgegriffen werden.

Generell lassen sich für alle Teilkomponenten des Kommunikationsweges mehrere Möglichkeiten unterscheiden. Eine objektiver Bewertung anhand für alle Möglichkeiten gleicher Kriterien führt dabei zur besten Gesamtlösung.

Entscheidend hierbei ist, dass den anzusetzenden Kriterien unterschiedliche Gewichtungen „ $g_i$ “ gegeben werden. Der Nutzwert wird durch Aufstellen einer Komponenten-Matrix nach

der Formel  $N = \left( \sum n_i / \sum n_{ideal} \right) \cdot 100$  in % berechnet, wobei sich der Nutzwert als prozentualer Nutzen im Vergleich zum Idealfall darstellt. Der Teilnutzwert  $n_i$  berechnet sich dabei nach  $n_i = b_i \cdot g_i$  und bezieht den Bewertungsfaktor  $b_i \in [0;4]$  für die Erfüllung des Kriteriums mit ein, wobei die Ziffer 0 „unbefriedigend“ und 4 „sehr gut“ bzw. „ideal“ bedeutet. Andere Abstufungen sind ebenfalls im Ermessen des Verfassers der Nutzwertanalyse zulässig [186].

Zu untersuchen sind mit Hilfe der Nutzwertanalyse die Systeme

- Drahtbus-Installation im gesamten Güterzug
- Funkkommunikation auf terrestrischer Basis (GSM)
- Funkkommunikation auf terrestrischer Basis im bahnspezifischen Funknetz (GSM-R)
- Funkkommunikation über eine Satellitenverbindung
- Errichtung eines Funk-Zug-Busses
- Kommunikation über eine stationäre Alarmleitzentrale
- Aufmodulation eines Signals auf die vorhandene Hauptluft-Leitung
- Nutzung eines pneumatischen Entgleisungsdetektors (z.B. EDT 100 der Fa. Knorr Bremse)

Die wesentlichen Beurteilungskriterien der Varianten der Kommunikationsstrukturen sind die Zuverlässigkeit, die Qualität der übermittelten Daten, die Anforderungen an die Infrastruktur und damit die Universalität der Einsetzbarkeit und die notwendigen Aufwendungen für die Systementwicklung, die Montage am Wagen und den Betrieb. Diese vier Kriterienbereiche (Toplevel-Merkmale), die jeweils als gleichwertig betrachtet werden, werden in der Nutzwertanalyse weiter unterschieden, wobei die Summe der Gewichtungsfaktoren der Sublevel-ebene immer „1“ bzw. 100% ergeben.

## 1. Zuverlässigkeit

### a. Zuverlässigkeit der Information an die Lokomotive ( $g_i = 0,50$ )

Entscheidend für den erfolgreichen Einsatz eines Kommunikationskonzeptes zwischen einem beliebigen Wagen und der Lokomotive ist, dass die Kommunikation zwischen beiden Partnern sicher funktioniert. Da es sich hierbei um die Hauptfunktionalität handelt, wird dieses Sublevel-Merkmal gegenüber den restlichen stärker gewichtet.

**b. Zuverlässigkeit der Information an die Betriebsleitstelle ( $g_i = 0,10$ )**

Das Konzept der Wagen-Lok-Kommunikation sieht in erster Linie vor, dass die Notfallmeldung den Triebfahrzeugführer erreicht, um einen schnellen Eingriff zu ermöglichen. Die Information eines Notfalls kann, falls die Betriebsleitstelle nicht erreicht werden kann, auch durch den bereits informierten Triebfahrzeugführer erfolgen. Aus diesem Grund wird die Informationsübermittlung an die Betriebsleitzentrale als eher zweitrangige Fragestellung betrachtet.

**c. Fehlalarmsicherheit ( $g_i = 0,20$ )**

Der konzipierte Einsatz von Telematik dient im hier betrachteten Fall dazu, den Betrieb effizienter und wirtschaftlicher zu gestalten.

Das Auftreten von Fehlalarmen mit der notwendigen Konsequenz des Anhaltens des vermeintlich entgleisten Zuges, würde das genaue Gegenteil bewirken und in letzter Konsequenz zur Ablehnung und Abschaffung dieser Systeme führen. Daher ist eine höhere Bewertung dieses Merkmals sinnvoll.

**d. Dauer der Übermittlung ( $g_i = 0,20$ )**

Die Dauer der Übermittlung bzw. der Signalisierung eines Notfalls an den Triebfahrzeugführer hat wesentlichen Einfluss auf die gesamte Ereignisdauer. Jede hier vergeudete Sekunde hat eine unnötige Zerstörung des Oberbaus bzw. die Erhöhung des Risikos des Eintretens eines Folgeschadens zur Folge. Daher ist auch hier eine höhere Bewertung gewählt worden.

**2. Datenqualität**

**a. Warnung Anderer (Gegenzüge etc.) ( $g_i = 0,20$ )**

Wie die Erfahrungen der zurückliegenden Zugentgleisungen gezeigt haben (siehe Tabelle 13), treten immer wieder neben einer Entgleisung des entgleisten Zuges durch das Verlassen dessen Lichtraumprofils Kollisionen mit Zügen auf dem Nachbargleis auf.

Durch den Einsatz einer beispielsweise rundstrahlenden Funkeinrichtung auf dem Telematikgüterwagen oder der Lokomotive ist es möglich, Gegenzüge oder Züge in unmittelbarer Nähe zu warnen, bevor diese in die Unfallstelle erreichen und das Schadensausmaß dadurch vergrößert wird.

Somit wird diesem Merkmal eine erhöhte Bedeutung zugemessen.

**b. Halt an sicherer Stelle ( $g_i = 0,40$ )**

Die wesentliche Fragestellung einer Entgleisungsdetektion ist neben der Zuverlässigkeit der Diagnose die Möglichkeit, weiteren Schaden abzuwenden.

Hierzu zählt vor allem die Möglichkeit, den Zug nicht einfach zu stoppen, wie dies durch das derzeit vor allem in der Schweiz eingeführte EDT 100-System geschieht, sondern dem Triebfahrzeugführer ein Entscheidungshilfsmittel zu geben, das es erlaubt, den Halt an einer sicheren Stelle durchzuführen. Als sichere Stelle in diesem Sinn ist z.B. bei Gefahrguttransporten eine ländliche Region außerhalb von Ballungsgebieten oder bei Transporten allgemein der Bereich außerhalb von

Tunneln oder Talbrücken zu sehen.

Daher wird dieses Merkmal innerhalb der Gruppe Datenqualität am höchsten gewichtet.

**c. Vorwarnung des Triebfahrzeugführers ( $g_i = 0,20$ )**

Dieser Aspekt ist unabhängig von der Vorstellung zu sehen, dass eventuell nur der Triebfahrzeugführer den Zug anhalten können sollte. Vielmehr ist es so, dass prinzipiell ein Diagnosesystem in der Lage sein könnte bzw. sollte automatisch auf eine Entgleisung zu reagieren. Dennoch ist es notwendig, den Triebfahrzeugführer über das Vorkommnis zu informieren, da er am besten geeignet ist, um den weiteren Ablauf z.B. per Funk zu initiieren.

Da es sich auch hierbei um ein wichtiges Merkmal handelt, erhielt es eine höhere Bewertung.

**d. Bereitstellung von Zusatzinformationen ( $g_i = 0,10$ )**

Für die Entwicklung einer langfristigen Strategie ist es von Bedeutung, dass durch ein Telematiksystem nicht nur signalisiert wird, dass beispielsweise eine Entgleisung aufgetreten ist, sondern dass das System zusätzliche Informationen zum Beispiel zum Ladegut und der Handhabung des Ladegutes im Fall des Austritts nach einem Unfall liefern kann.

Da diese Funktionalität in ihrer Wichtigkeit jedoch hinter den oben genannten Aspekten zurückbleibt, wurde sie geringer gewichtet.

**e. Qualitativ hochwertige Aussage ( $g_i = 0,10$ )**

Die Frage der Signalisierung sowie des Signalinhalts kann für die erfolgreiche Umsetzung mitentscheidend sein. Eine einfache Signalisierung im Sinne einer Warnleuchte kann zu wenig, ein komplex zu bedienender Touchpad-Bildschirm kann dagegen zu umfangreich sein. Eine sinnvolle Auswahl notwendiger Informationen und ggf. Handlungsanweisungen wäre die richtige Wahl, ist jedoch gegenüber den oben dargestellten Merkmalen eher als untergeordnet zu betrachten.

**3. Infrastrukturanforderungen**

**a. Nutzung vorhandener Infrastruktur ( $g_i = 0,50$ )**

Die Frage, ob vorhandene Infrastruktur genutzt oder neue erst entwickelt, getestet, zugelassen und installiert werden muss, ist für die wirtschaftliche Betrachtung und die Geschwindigkeit der Einführung entscheidend. Somit hat diese Fragestellung bei der Betrachtung der Infrastrukturanforderungen größtes Gewicht.

**b. Universell verständliche Information ( $g_i = 0,25$ )**

Die Frage einer universellen Verständnisschnittstelle ist wichtig, da im internationalen Vergleich die Bahnen Europas bisher die unterschiedlichsten Funk- und Kommunikationsmedien nutzen.

Eine so zentrale Fragestellung wie die Signalisierung und Verständlichkeit von Notfällen auch von ausländischen Wagen muss einheitlich geklärt und beachtet werden. Aufgrund der Bedeutung der Fragestellung dieses Merkmals wurde es relativ stark gewichtet.

**c. Zugzuordnung einfach ( $g_i = 0,25$ )**

Zu wissen, zu welchem Zug der sich meldende Wagen gehört, ist eine wichtige Fragestellung. Um so mehr, als auch eine gerichtete Funkverbindung in Rangierbahnhöfen und auf nahe bei einander liegenden Strecken durchaus nicht nur die zugehörige, sondern auch benachbarte Lokomotiven erreichen könnte. Dies würde zu empfindlichen Betriebsstörungen führen, was unerwünscht und zu vermeiden ist.

Deshalb erhält auch dieses Merkmal eine höhere Gewichtung.

**4. Entwicklung, Montage und Betrieb**

**a. Kostengünstiges System ( $g_i = 0,10$ )**

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in Kapitel 6 deuten auf eine weitgehende relative Unempfindlichkeit der Telematik- und Meldungssysteme in Bezug auf deren Kosten hin. Eine Amortisation der Kosten für eine Entgleisungsdetektion findet schätzungsweise bei ca. 70 % der Wagen nach 2 Jahren statt. Daher ist dieses Merkmal eher gering gewichtet, obwohl aus Kundensicht dieses Merkmal stets stark betont wird.

**b. Technisch einfach umsetzbares Konzept ( $g_i = 0,10$ )**

Für die erfolgreiche Marktakzeptanz ist ein System erforderlich, das technisch einfach umzusetzen ist und ohne teure Spezialanwendungen auskommt. Allerdings ist auch diese Fragestellung aus Anwendersicht letztendlich sekundär, so dass auch dieses Merkmal gering gewichtet wurde.

**c. Zulassungsfähigkeit ( $g_i = 0,50$ )**

Entscheidenden Anteil bei der Marktfähigkeit hat die Fragestellung der Zulassungsfähigkeit. In diesem Bereich spielt die Fragestellung eine Rolle, ob der Eingriff in die Zugförderung durch eine eventuelle automatisierte Bremsung erlaubt oder die Systeme im Explosionsschutzbereich eingesetzt werden können.

Daher wurde diesem Merkmal das größte Gewicht gegeben.

**d. Wartungsbedarf ( $g_i = 0,30$ )**

Der Wartungs- und Instandhaltungsbedarf ist ein wesentlicher Faktor, der die Akzeptanz und Zuverlässigkeit direkt beeinflusst. In den zurückliegenden Jahren wa-

ren Telematiksysteme stark am Markt vertreten, die nach unterschiedlichen Zeiten unplanbar zu großen Prozentsätzen ausfielen. Durch diese schlechten Erfahrungen derjenigen Firmen, die diese Systeme eingesetzt hatten, wurden auch diejenigen Unternehmen vom Einsatz abgehalten, die sich zunächst zögerlich verhalten hatten. Heute ist der Markt für Telematiksysteme stark durch diese Erfahrungen geprägt und sensibilisiert.

Hinzu kommt beim Einsatz sicherheitsrelevanter Systeme die große Stückzahl und der Einfluss der durchschnittlichen Zeit zwischen zwei Fehlern auf den reibungslosen Betrieb.

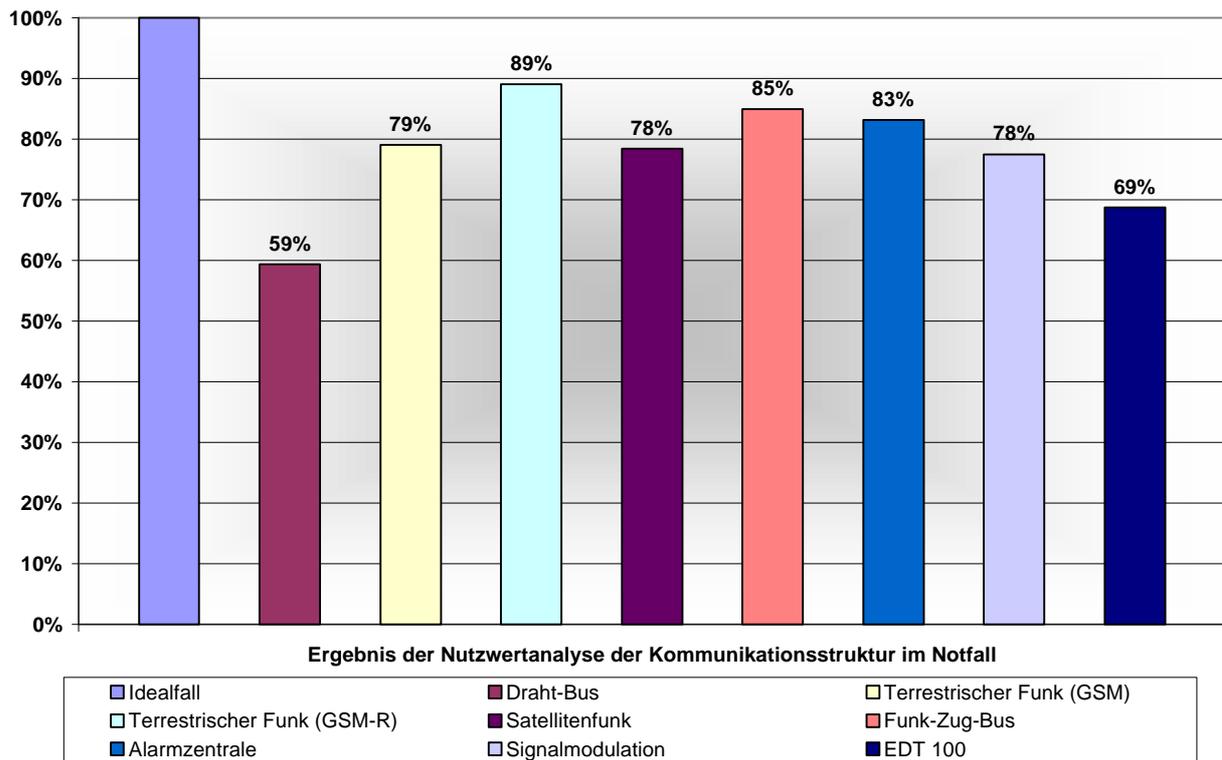
Daher erhielt dieses Merkmal eine überdurchschnittlich hohe Gewichtung.

In Tabelle 6 auf der folgenden Seite sind die Kernfunktionen der Kommunikationswege sowie deren Gewichtung und aus beidem abgeleitet der Nutzwert der Kommunikationsstruktur tabellarisch aufgelistet.

Tabelle 6: Nutzwertanalyse verschiedener Kommunikationsstrukturen für prioritäre Notfälle während der Fahrt

Beurteilungskriterium	Gewichtungs- faktor	Idealfall		Draht-Bus		Terrestrischer Funk (GSM)		Terrestrischer Funk (GSM-R)		Satellitenfunk		Funk-Zug-Bus		Alarmzentrale		Signal- modulation HL-Leitung		EDT 100	
		b	n	b	n	b	n	b	n	b	n	b	n	b	n	b	n	b	n
<b>b: Beurteilung, n: Teilnutzen</b>																			
<b>Zuverlässigkeit</b>	<b>1,00</b>																		
Zuverlässigkeit der Information an die Lokomotive	0,50	4	2	4	2	2	1	4	2	2	1	3	1,5	2	1	4	2	4	2
Zuverlässigkeit der Information an die Betriebsleitstelle	0,10	4	0,4	0	0	2	0,2	4	0,4	2	0,2	2	0,2	2	0,2	2	0,2	0	0
Fehlalarmsicher	0,20	4	0,8	4	0,8	4	0,8	4	0,8	4	0,8	4	0,8	4	0,8	4	0,8	1	0,2
Kurze Übermittlungsdauer	0,20	4	0,8	4	0,8	2	0,4	3	0,6	2	0,4	4	0,8	2	0,4	3	0,6	4	0,8
<b>Datenqualität</b>	<b>1,00</b>																		
Warnung Anderer (Gegenzüge, etc.)	0,20	4	0,8	0	0	0	0	4	0,8	0	0	4	0,8	3	0,6	1	0,2	0	0
Halt an sicherer Stelle	0,40	4	1,6	4	1,6	4	1,6	4	1,6	4	1,6	4	1,6	4	1,6	4	1,6	0	0
Vorwarnung Triebfahrzeugführer	0,20	4	0,8	4	0,8	3	0,6	4	0,8	4	0,8	4	0,8	2	0,4	4	0,8	0	0
Zusatzinformationen	0,10	4	0,4	0	0	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4	1	0,1	0	0
Qualitativ hochwertige Aussage	0,10	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4	1	0,1	0	0
<b>Infrastrukturanforderungen</b>	<b>1,00</b>																		
Nutzung vorhandener Infrastruktur	0,50	4	2	0	0	4	2	2	1	4	2	2	1	4	2	0	0	4	2
Universell verständliche Information	0,25	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1
Zugzuordnung einfach	0,25	4	1	4	1	1	0,25	3	0,75	1	0,25	2	0,5	2	0,5	4	1	4	1
<b>Entwicklung, Montage und Betrieb</b>	<b>1,00</b>																		
Kostengünstig	0,10	4	0,4	2	0,2	4	0,4	3	0,3	2	0,2	3	0,3	4	0,4	4	0,4	4	0,4
Technisch leicht umsetzbar	0,10	4	0,4	1	0,1	4	0,4	2	0,2	3	0,3	3	0,3	4	0,4	4	0,4	4	0,4
Zulassungsfähig	0,50	4	2	1	0,5	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2
Wartungsbedarf gering	0,30	4	1,2	1	0,3	4	1,2	4	1,2	4	1,2	4	1,2	4	1,2	4	1,2	4	1,2
<b>Summe</b>			<b>16</b>		<b>9,5</b>		<b>12,65</b>		<b>14,25</b>		<b>12,55</b>		<b>13,6</b>		<b>13,3</b>		<b>12,4</b>		<b>11</b>
<b>Rang</b>			<b>100%</b>		<b>59%</b>		<b>79%</b>		<b>89%</b>		<b>78%</b>		<b>85%</b>		<b>83%</b>		<b>78%</b>		<b>69%</b>
					<b>7</b>		<b>4</b>		<b>1</b>		<b>5</b>		<b>2</b>		<b>3</b>		<b>5</b>		<b>6</b>

Konzept zur Einführung von Telematikanwendungen für den Schienengüterverkehr am  
Beispiel sicherheitsrelevanter Anwendungen



**Bild 49: Ergebnisse der Nutzwertanalyse der Kommunikationswege zwischen Lokomotive und Wagen (Details s. Bild 94 bis Bild 101)**

Die Auswertung der Nutzwertanalyse ergibt folgendes Bild:

Platz 1: Terrestrischer Funk auf GSM-R-Basis	89%
Platz 2: Funk-Zug-Bus	85%
Platz 3: Alarmzentralen-Lösung	83%
Platz 4: Terrestrischer Funk auf GSM-Basis	79%
Platz 5: Signal-Modulation	78%
Satellitenfunk-Lösung	78%
Platz 6: EDT 100-Lösung	69%
Platz 7: Draht-Bus-Lösung	59%

Es wird deutlich, dass die Nutzwertanalyse mit den heutigen Bestrebungen der europäischen Eisenbahnen nach einem einheitlichen Kommunikationssystem übereinstimmt. Ebenso werden durch die Nutzwertanalyse technische Trends bestätigt, die unabhängig von einem Eisenbahn-Kommunikationsnetz sind.

Die Nutzwertanalyse untermauert, dass ein Kommunikationsnetz, das auf Basis des GSM-R-Netzes basiert, nicht nur für die Abwicklung des täglichen Fahrbetriebs, sondern auch für allgemeine und vor allem sicherheitsrelevante Telematikanwendungen sehr gut geeignet ist.

Ebenso werden die technischen Bestrebungen zur Entwicklung eines Funk-Zug-Bus-Systems für den Schienengüterverkehr bestätigt. Diese Lösung hat den Vorteil, umgehend eingeführt werden zu können und erhält Bestätigung durch verschiedene Untersuchungen zur Sicherstellung der Funkkommunikation verschiedener Teilnehmer in Tunnel- und Böschungsbereichen (vgl. Tabelle 5 auf Seite 104).

Weiter zeigt sich, dass die Nutzung einer Alarmzentralen-Struktur die Maximalanforderungen zu über 80% erfüllt und somit als geeignetes Kommunikationsmittel eingesetzt werden kann.

Der Zielerfüllungsgrad der anderen Lösungen liegt teilweise deutlich niedriger, wodurch sie nicht als universelle Lösung geeignet sind. Ihr Nutzen liegt jedoch in Nischenanwendungen, wo universelle Lösungen entweder nicht in überschaubarer Zeit eingeführt werden können (z.B. finanzielle Beschränkung bei der Modernisierung des Wagenparks in Osteuropa) oder technisch versagen würden (z.B. Nutzung von GSM-Netzen entlang osteuropäischer Eisenbahnlinien, vgl. Bild 47 auf Seite 101) .

## **5 Energieversorgungskonzepte**

Aufgrund der kritischen Energiesituation zur Gewährleistung der Funktion der Telematiksysteme sollen in den folgenden Unterkapiteln Lösungsansätze unterschiedlichster Art diskutiert und deren Vor- sowie Nachteile und Realisierungschancen bewertet werden.

### **5.1 Durchgehende elektrische Leitung**

Durch eine durchgehende Energieleitung durch alle Wagen, die empfehlenswerter Weise durch weitere Steuer- und Signalleitungen ergänzt würde, wäre die Frage ausreichender Energiezuführung für heutige und vor allem auch für zukünftige Telematiksysteme sowie für die Vielzahl an vorstellbaren Diagnoseaufgaben sehr gut gelöst.

Hinderlich bei der Einführung einer Zusatzleitung in allen europäischen Wagen ist, dass nach Aussagen aus dem Speditionsgewerbe derzeit die Zusatzeinbauten durch die Vermieterlöse nicht finanzierbar sind. Hinzu kommt, dass die Wagen frei in ganz Europa in Zugverbände einstellbar sein müssen.

Zur Einführung einer durchgehenden Stromleitung sind also europaweite Normungsbestrebungen notwendig, die, wenn Sie im herkömmlichen administrativen Stil durchgeführt werden, vermutlich erfolglos bleiben werden. Denkbar ist allerdings die Einführung durchgehender Leitungen bei Werksbahnen und bei Wagengruppen, die überwiegend in regional begrenzten Bereichen verkehren. Durch ihre Ausrüstung kann zum einen der Nutzen demonstriert werden und zum anderen Nutzen erzeugt werden, ohne dass auf die Umrüstung mindestens eines Großteils aller Wagen Europas binnen der Hauptuntersuchungsfrist gewartet werden muss.

### **5.2 Energiespeicher**

Voraussetzung bei Nutzung von Batteriestrom ist ein äußerst effizientes Energiemanagement, da bei gehäuften Systemausfall aufgrund von Energieproblemen die Kundenakzeptanz soweit zurückgeht, dass Telematik an sich als nicht brauchbar betrachtet werden wird und somit ein erheblicher Vertrauensverlust am Gesamtsystem zu befürchten ist.

#### **5.2.1 Batterie ohne Nachladung**

Je nach Rechner- und Systemarchitektur und nach geographischen Einsatzgebieten der mit Telematik ausgestatteten Wagen kann es empfehlenswert sein, auf eine Nachladung der

Batterien zu verzichten.

Dies zwingt zu strenger Kontrolle über die elektrischen Verbraucher und deren Strombedarf. Gelingt die Systemarchitektur, dass die Systeme nur alle 6 Jahre gewartet und mit frischen Batterien bestückt werden müssen, kann an den Kunden ein wenig diebstahlgefährdetes Telematiksystem übergeben werden.

Vorteilhaft ist weiterhin, dass aufgrund des geringeren Diebstahlrisikos die Versicherungsprämien im Vergleich zu Systemen mit Solarladetechnik geringer sind.

Neueste Entwicklungen in der Akkutechnik mit speziellem Focus auf Telematikanwendungen gehen in die Richtung, bei Systemaktivität einen kurzfristig möglichst hohen Strom zur Verfügung stellen zu können (z.B. für die Aktivierung von GSM und GPS) und generell einen möglichst konstant geringen Strom zur Versorgung der Grundfunktion des Telematiksystems zu liefern<sup>1</sup>.

Als Probleme dieser Strategie sind sowohl die erhöhten mitzuführenden Massen der Akkus als auch deren Selbstentladung während der sechs Jahre Wartungsfrist und die Kapazitätsbereitstellung bei sehr hohen und sehr tiefen Temperaturen.

### 5.2.2 Batterie mit Nachladung

Hierbei übernimmt die Batterie vor allem Pufferfunktion in Zeiten schlechter bzw. schwacher Nachladung. Somit kann die Batteriemasse bei sonst gleicher Systemauslegung reduziert und die Verfügbarkeit erhöht bzw. das Risiko des Systemausfalls stark reduziert werden. Moderne Akkutechniken (z.B. Lithium-Ionen-Technik) sind in der Lage, den von früheren Batterietechniken bekannten Memory-Effekt<sup>2</sup> ausschließen zu können.

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben kann es, je nach Einsatzgebiet der Telematiksysteme zu Diebstahlproblemen kommen, wenn z.B. mit bei Diebstählen begehrter Solar-technik nachgeladen wird.

Zu beachten bei der Wahl der Nachladetechnik ist vor allem auf die Art und Weise, auf die der Ladestrom bereitgestellt wird. Hier ist zu unterscheiden, ob nur bei Fahrt des Wagens Strom erzeugt wird (was bei Güterwagen aufgrund der teilweise langen Standzeiten ein Problem darstellen kann) oder ob im Stand durch Sonne oder Wind (geographischer Einsatzort) Energie erzeugt wird.

---

<sup>1</sup> z.B. Batterietyp Pulses Plus der Fa. Sonnenschein Lithium (D-63654 Büdingen)

<sup>2</sup> Als Memory-Effekt wird bezeichnet, dass sich die Kapazität eines Akkus um den Betrag verringert, bei dessen vorhandener Restkapazität nachgeladen wird. Ein Beispiel: Wird bei 10% noch vorhandener Restkapazität nachgeladen, „merkt“ sich dies der Akku und stellt nach vollständiger Ladung nur noch 90% der ursprünglich möglichen Kapazität als neue 100% zur Verfügung.

### 5.3 Nutzwertanalyse

Unter Berücksichtigung einiger, am Markt verfügbarer, Nachladetechniken wurde das Spektrum möglicher Lösungen zur Energieversorgung anhand folgender Kriterien einer Nutzwertanalyse unterzogen. Es gelten hierbei dieselben Regeln wie in Kapitel 4.2.5 (Kommunikationskonzept) und folgende Bewertungskriterien

- tagsüber
- nachts
- Nordeuropa
- Mitteleuropa
- Südeuropa
- Fahrt
- Stand
- technische Verfügbarkeit
- Lebensdauer
- Sicherheit
- Akustik
- Wartung
- Preis

Damit stellen sich die Einzel- ( $n_i$ ) und Gesamtnutzen ( $N$ ) mit Bewertungsfaktoren  $b_i$  zwischen 0 und 4 und den Gewichtungsfaktoren  $g_i$  wie in Tabelle 7 dar.

Zur übersichtlicheren Darstellung der Gewichtung der Merkmale (s. Bild 50) und der Einzelösungen (s. Bild 51 und Bild 52) soll die Netzdarstellung herangezogen werden.

Die Nutzwertanalyse zeigt dabei im **Gesamtergebnis**, dass beide Techniken ohne Nachladung, die Batterie mit 6 Jahren Lebensdauer auf Rang 1 und die Brennstoffzelle auf Rang 2 die zu favorisierenden Lösungen sind, obwohl beide auch Nachteile haben.

Als nächstbeste Lösungen sind die Nachladung mit Solarzellen und Windgenerator auf Rang 3 und 4 zu nennen. Anschließend kommt die Lösung mit Radsatzgenerator und die durchgehende Energieleitung.

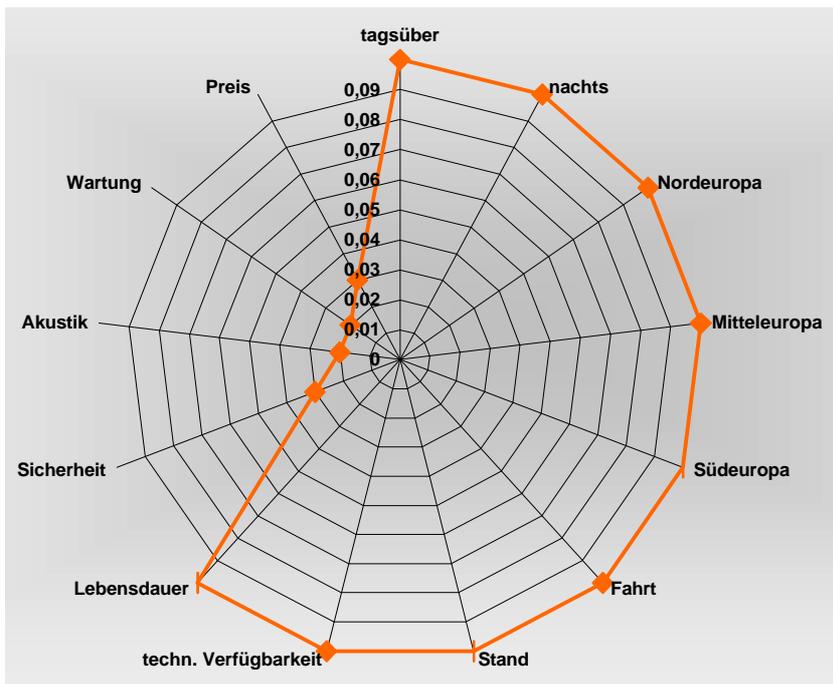


Bild 50: Gewichtungsfaktoren der Merkmale der Nutzwertanalyse der Telematikenergieversorgung

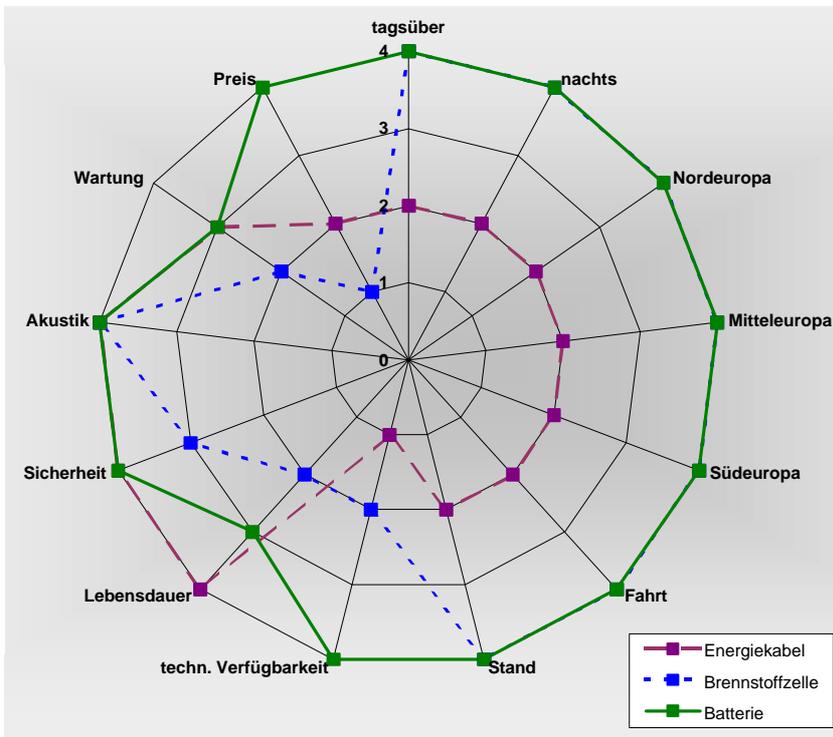
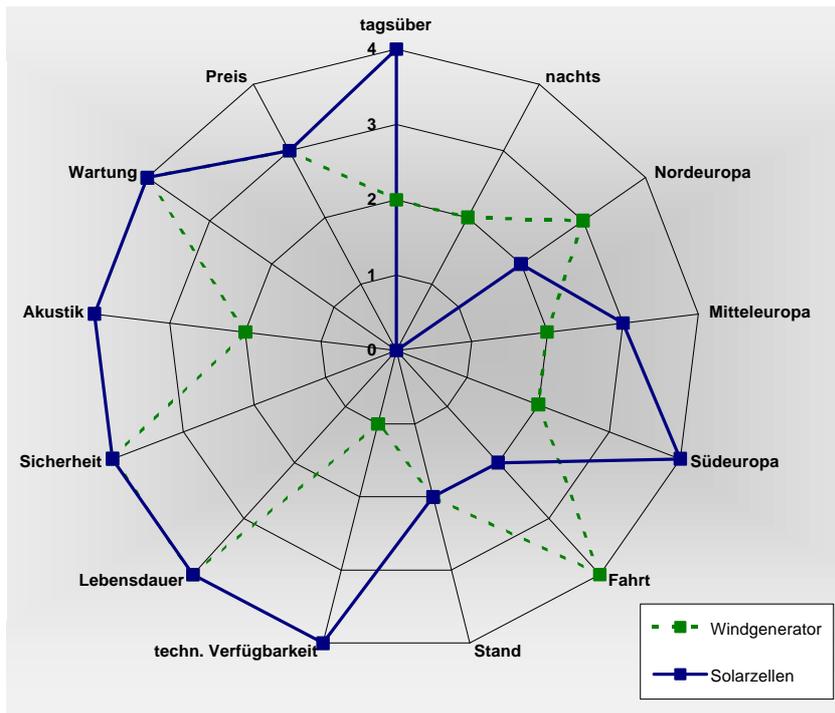


Bild 51: Vergleich der Bewertungsfaktoren für die durchgehende Energieleitung und die Lösungen ohne Energie-Nachladung



**Bild 52: Vergleich der Bewertungsfaktoren des Windgenerators und der Solarzellen als Nachladetechniken**

Tabelle 7: Nutzwertanalyse Energieversorgung der autarken Telematiksysteme

Merkmal	Gewichtungsfaktor	Ideal		Dauerhafte Energieversorgung		Ohne Nachladung				Akkumulator mit Nachladung																					
		b <sub>i</sub>	n <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	n <sub>i</sub>	Zugbus "Energiekabel"		Brennstoffzelle		Batterie		Radsatzgenerator		Druckluftgenerator		Windgenerator		Solarzellen		Schwingankerprinzip											
b: Beurteilung, n: Teilnutzen																															
tagsüber	0,1	4	0,4	2	0,2	4	0,4	4	0,4	2	0,2	2	0,2	2	0,2	4	0,4	2	0,2	2	0,2	4	0,4	2	0,2						
nachts	0,1	4	0,4	2	0,2	4	0,4	4	0,4	2	0,2	2	0,2	2	0,2	4	0,4	2	0,2	2	0,2	0	0	2	0,2	2					
Nordeuropa	0,1	4	0,4	2	0,2	4	0,4	4	0,4	2	0,2	2	0,2	2	0,2	4	0,4	2	0,2	3	0,3	2	0,2	2	0,2	2					
Mitteleuropa	0,1	4	0,4	2	0,2	4	0,4	4	0,4	2	0,2	2	0,2	2	0,2	4	0,4	2	0,2	2	0,2	3	0,3	2	0,2	2					
Südeuropa	0,1	4	0,4	2	0,2	4	0,4	4	0,4	2	0,2	2	0,2	2	0,2	4	0,4	2	0,2	2	0,2	4	0,4	2	0,2	2					
Fahrt	0,1	4	0,4	2	0,2	4	0,4	4	0,4	2	0,2	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4	2	0,2	2	0,2	3					
Stand	0,1	4	0,4	2	0,2	4	0,4	4	0,4	2	0,2	4	0,4	0	0	0	0	2	0,2	2	0,2	2	0,2	2	0,2	0					
technische Verfügbarkeit	0,1	4	0,4	1	0,1	2	0,2	4	0,4	3	0,3	2	0,2	2	0,2	1	0,1	4	0,4	1	0,1	4	0,4	1	0,1	0					
Lebensdauer	0,1	4	0,4	4	0,4	2	0,2	3	0,3	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4	2					
Sicherheit	0,03	4	0,12	4	0,12	3	0,09	4	0,12	4	0,12	4	0,12	4	0,12	4	0,12	4	0,12	4	0,12	4	0,12	4	0,12	4					
Akustik	0,02	4	0,08	4	0,08	4	0,08	4	0,08	4	0,08	4	0,08	4	0,08	4	0,08	4	0,08	2	0,04	4	0,08	4	0,08	4					
Wartung	0,02	4	0,08	3	0,06	2	0,04	3	0,06	3	0,06	3	0,06	2	0,04	4	0,08	4	0,08	4	0,08	4	0,08	4	0,08	2					
Preis	0,03	4	0,12	2	0,06	1	0,03	4	0,12	1	0,03	1	0,03	1	0,03	1	0,03	3	0,09	3	0,09	3	0,09	3	0,09	2					
<b>Gesamtnutzen N:</b>		<b>4</b>	<b>100%</b>	<b>2,22</b>	<b>56%</b>	<b>3,44</b>	<b>86%</b>	<b>3,88</b>	<b>97%</b>	<b>2,39</b>	<b>60%</b>	<b>2,21</b>	<b>55%</b>	<b>2,53</b>	<b>63%</b>	<b>2,87</b>	<b>72%</b>	<b>1,9</b>	<b>48%</b>	<b>2,21</b>	<b>55%</b>	<b>2,39</b>	<b>60%</b>	<b>2,21</b>	<b>55%</b>	<b>2,53</b>	<b>63%</b>	<b>2,87</b>	<b>72%</b>	<b>1,9</b>	<b>48%</b>
<b>Rang:</b>				<b>6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	

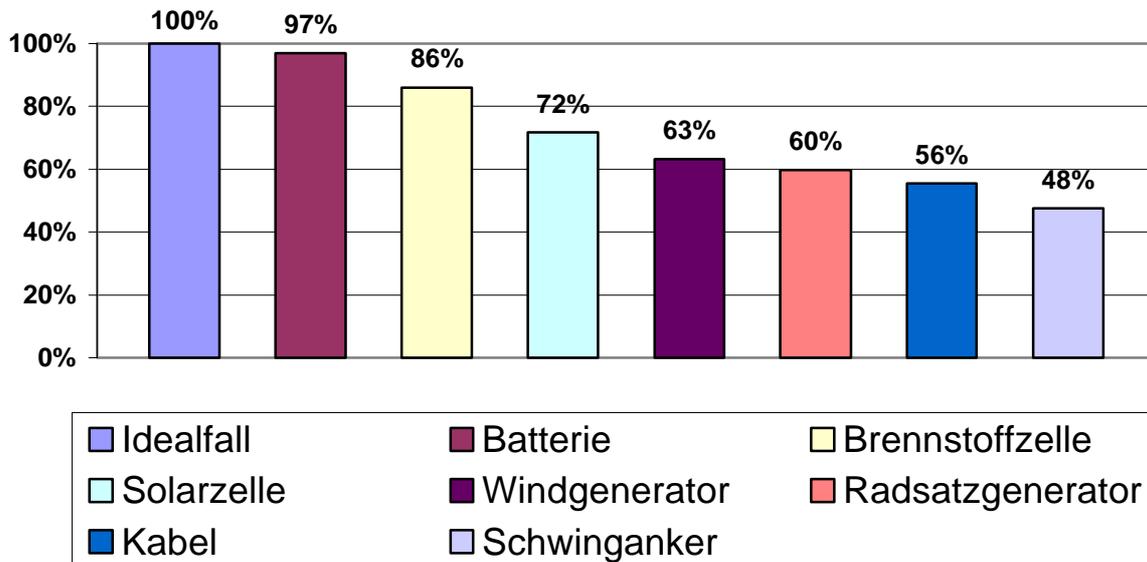


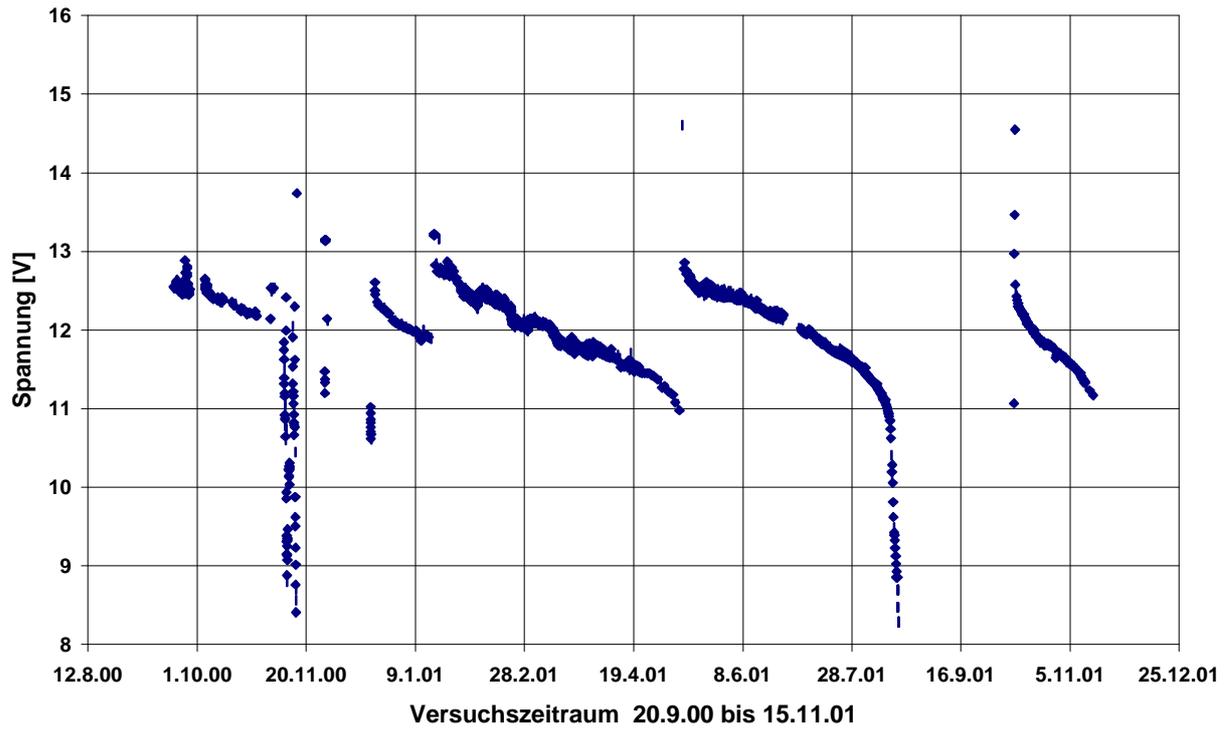
Bild 53: Ergebnisse der Nutzwertanalyse der Energieversorgungskonzepte für Telematiksysteme

## 5.4 Praxisbeispiele

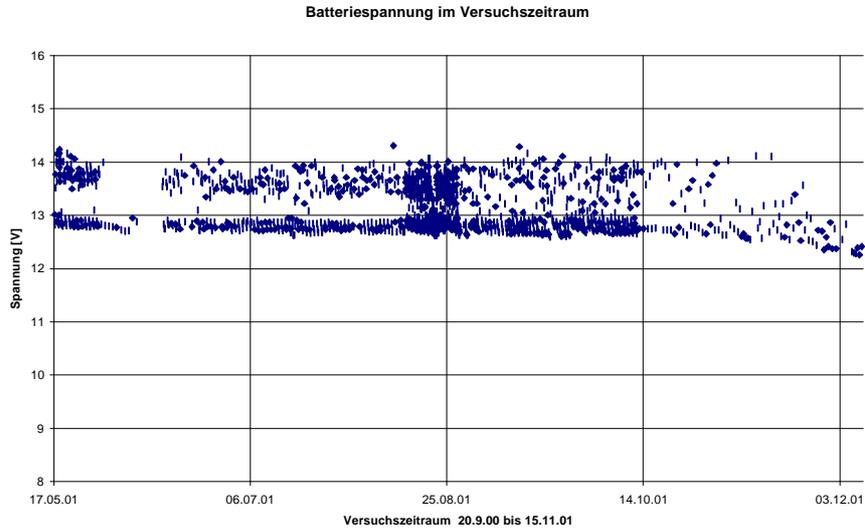
Die zentrale Frage bei der Akzeptanz und damit bei der Einführung von Telematiksystemen ist die Energieversorgung und damit die Häufigkeit der Außerbetriebsetzung des ausgerüsteten Wagens zur Pflege des Telematiksystems. Somit entscheidet die Frage der Energieversorgung mit über die erfolgreiche Einführung solcher Systeme.

Wie wichtig die Frage der Energieversorgung ist, soll kurz, bevor verschiedene Lösungsansätze diskutiert werden, anhand der Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Informationssysteme für Schienenfahrzeuge auf Bus- bzw. Telematikbasis (Phase 2)“ dargestellt werden. In diesem Forschungsvorhaben wurden, wie schon an verschiedenen Stellen erwähnt, drei Kesselwagen mit Telematiksystemen, die für das Forschungsvorhaben modifiziert wurden, ausgerüstet, wobei der sensorische Funktionsumfang stark variierte. Deshalb wurden die Systeme auch mit unterschiedlich großen Solarpaneelen ausgestattet; dabei besaß der Chemiekesselwagen das kleinste Paneel (s. Bild 102) und Mineralöl- sowie Druckgaswagen identische, größere Paneele (s. Bild 103).

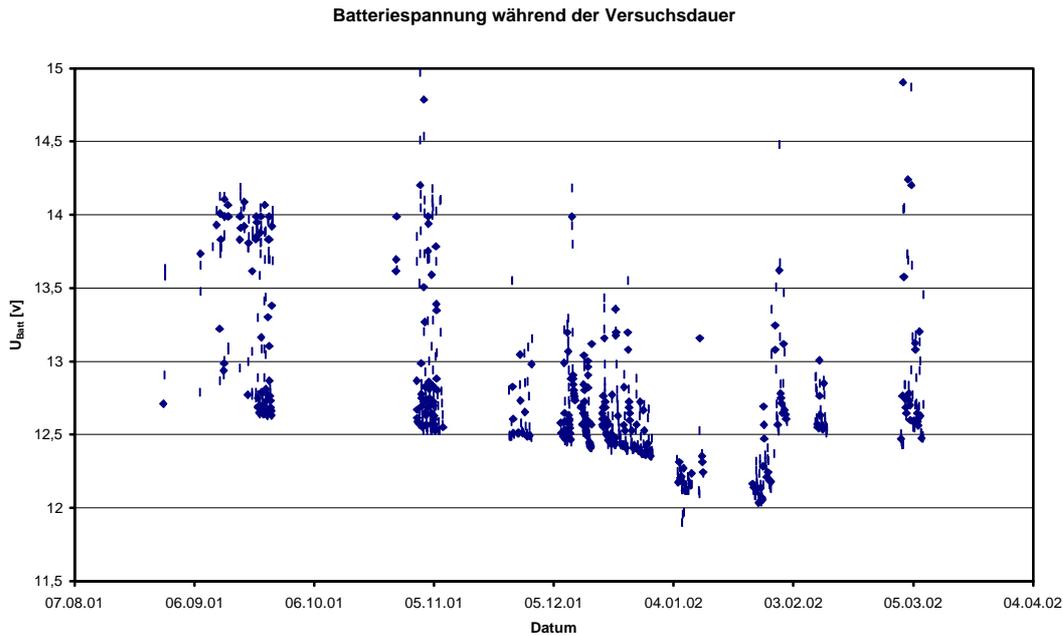
Während der Messfahrten wurde die Batteriespannung und damit die energetische Auslegung des Systems gemessen und anschließend ausgewertet. Es ergab sich folgendes Bild der drei Wagen.



**Bild 54:** Verlauf der Systemspannung des Chemiekesselwagens (7808 Datensätze)



**Bild 55:** Verlauf der Systemspannung des Mineralölkesselwagens (4448 Datensätze)



**Bild 56: Verlauf der Systemspannung des Druckgaskesselwagens (930 Datensätze)**

Die oben gezeigten Bilder zeigen die sehr unterschiedliche Systemauslegung der Energieversorgung sowie die daraus resultierenden Konsequenzen.

Bild 54 zeigt die Systemspannung des Chemiekesselwagens während der Projektlaufzeit. Das Bild zeigt deutlich die viel zu geringe Solarfläche und den dadurch bedingten Systemausfall bei Spannungen von unter 11,5 bzw. 11 Volt sowie die häufige manuelle Nachladung um die Funktion des Systems zu gewährleisten. Bild 55 dagegen zeigt sehr deutlich, dass die Solarfläche für das Einsatzprofil gut dimensioniert war und das System fehlerfrei gearbeitet hat. Bild 56 zeigt den Verlauf der Systemspannung des Druckgaskesselwagens, der aufgrund der Lichtraumprofilbeschränkung mit besonderen Problemen zu kämpfen hatte. So war die Größe der Solarfläche durch die Telematikanforderungen vorgegeben; daraus abgeleitet ergab sich ein Montageort der um 58° von der Senkrechten abweichen musste, da nur dort das Lademaß eingehalten werden konnte (vgl. Bild 75 auf Seite 190). In Kauf genommen werden musste dabei eine sehr ungleichmäßige Sonneneinstrahlung, die v.a. von der Ausrichtung des Wagens zur Stellung der Sonne abhing. Dennoch zeigt Bild 56, dass die Systemspannung stabil zwischen 12 und 15 V lag. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass bedingt durch die Misskonfiguration der Telematik erheblich weniger Datensätze aufgezeichnet und gesendet worden sind als beispielsweise beim Mineralölkesselwagen.

Somit wird deutlich, dass eine abgestimmtes Energiemanagement für kommerzielle Produkte unbedingt erforderlich ist, da ansonsten die Kundenakzeptanz nicht gehalten werden und

andererseits ein wirtschaftlicher Betrieb sowohl hersteller- als auch kundenseitig nicht möglich ist.

## 6 Überlegungen zum Return-of-Investment bei Einsatz von Telematiksystemen

Wie oben bereits erläutert, bilden die Bereiche

- Reduktion der Entgleisungsfolgekosten,
- Reduktion ungeplanter Ausfälle durch Kenntnis über den Wagenzustand sowie
- Logistikinformationen

die Hauptnutzenfelder von Telematiksystemen.

Im Folgenden soll daher unter Zuhilfenahme geeigneter Annahmen eine Abschätzung des Zeitraums der Amortisation eines geeigneten Telematiksystems für den speziellen Einsatzfall dargestellt werden.

### 6.1 Reduktion der Folgekosten einer Entgleisung durch Einsatz eines Telematiksystems mit Entgleisungsdetektor

Entscheidend zur Berechnung des jährlichen Anteils eines Wagens an den hier betrachteten, in Deutschland vorkommenden, Entgleisungen und damit der Amortisationszeit eines Telematiksystems, sind eine Reihe von Annahmen zu treffen, die im Folgenden kurz erläutert werden sollen.

- **Aufteilung des Drehgestell-Wagenbestandes der Wagen mit Drehgestellen auf die Hauptwagengattungen der bei der DB eingestellten Wagen sowie deren durchschnittliche jährliche Laufleistung**

Die Bestände der Güterwagen der DB AG sind bis auf sehr wenige Ausnahmen nicht publiziert und nicht zugänglich.

Daher ist war es im Rahmen dieser Abschätzung notwendig, auf Sekundärliteratur und ältere Daten zurückzugreifen.

**Tabelle 8: Bestand der Drehgestell-Güterwagen der DB AG im Jahr 1998 [83], [88]**

Hauptwagengattung	Bestand
E	16.067
F	13.707
H	100
R	17.705
S	21.735
T	6.629
U Flachwagen	98
U Behälterwagen	167
<b>Summe</b>	<b>76.208</b>

Die mittlere jährliche Laufleistung der Wagen einer Gattung ist noch schwieriger als der Wagenbestand pro Wagengattung zu ermitteln, da diese Angabe unmittelbare Rückschlüsse auf Konzerninterna zulässt. Dennoch finden sich in [83] Angaben dazu, die weitgehend auf Befragungen basieren (siehe auch Bild 104 auf Seite 208 im Anhang).

**Tabelle 9: Mittlere jährliche Laufleistungen je Hauptwagengattung und Spanne der jährlichen Laufleistung [83]**

Hauptwagengattung	Mittlere jährliche Laufleistung [km]	Spannweite der jährlichen Laufleistung [km]	
E	30.000	20.000	40.000
F	80.000	60.000	100.000
H	83.000	50.000	125.000
R	40.000	20.000	60.000
S	131.000	80.000	200.000
T		keine Angabe	
U	15.000	keine Angabe	keine Angabe

- **Jährliche Transportleistung und Transportmenge der Railion (ehem. DB Cargo)**

In [88] finden sich folgende Angaben für den Zeitraum 1998 für

- o die Transportleistung: 73,273 Mrd tkm
- o die Transportmenge: 288,7 Mio. t

Hieraus lässt sich die gesamte Transportstrecke im Jahr 1998 zu ca. 254 Mio. Kilometer ableiten.

- **Durchschnittliche Anzahl von Entgleisungen pro Jahr auf dem Netz der Railion mit signifikantem Schaden (keine Rangierentgleisungen o.ä.) sowie Durchschnittliche Kosten und Länge einer unentdeckt bleibenden Entgleisung auf freier Strecke**

Die Auswertung der Tabelle 13 im Anhang für den Zeitraum der zurückliegenden 10 Jahre zeigte, dass sich pro Jahr 11,3 signifikante Entgleisungen auf freier Strecke und/oder mit hohem Sachschaden ereignen.

Weiterhin zeigt die Auswertung der Tabelle 13 bei Betrachtung aller signifikanten Güterzugunfälle der letzten 10 Jahre, für die Unfallkosten bekannt sind, dass in diesem Zeitraum 88 Entgleisungen mit einem Gesamtschaden von ca. 72 Mio. € in Deutschland eingetreten sind. Dies ergibt pro Entgleisung durchschnittliche Kosten in Höhe von ca. 820.000 € pro Entgleisung.

Wie bereits erwähnt, bleiben Entgleisungen nach Aussagen aus internen Bahnkreisen durchschnittlich bis ca. 6 Kilometer unentdeckt.

Oben genannte Eingangsannahmen führen dazu, dass die Wahrscheinlichkeit einer Entgleisung pro Kilometer  $44,5 \times 10^{-9}$  beträgt.

Die Gesamtleistungen für jede der in Tabelle 8 und Tabelle 9 betrachteten Wagengattungen wurden in Tabelle 10 berechnet.

Werden die jährlichen Gesamtleistungen einer Wagengattung mit der Wahrscheinlichkeit einer Entgleisung pro Jahr multipliziert, erhält man die Wahrscheinlichkeit, mit der diese Gattung an einer Entgleisung beteiligt ist. Unter Berücksichtigung der Kosten einer Entgleisung, der Annahme, dass ein Telematiksystem die Entgleisungskosten halbieren kann und der Anzahl der Wagen pro Wagengattung ergibt sich der finanzielle Anteil eines Wagens der jeweiligen Gattung an einer Entgleisung und somit, bei vorausgesetzten 1.500 € Systemkosten für ein Telematiksystem mit Entgleisungsdetektor, die Amortisationszeit in Jahren.

**Tabelle 10: Laufleistungen der Wagengattungen (Einzelbetrachtung und alle Wagen einer Gattung)**

Hauptwagengattung	Bestand	Jährliche Laufleistung eines Wagens pro Wagengattung [km]		Jährliche Gesamtleistung aller Wagen pro Wagengattung [Mio. km] <sup>1</sup>	
		Mittelwert	Spanne	Mittelwert	Spanne
E	16.067	30.000	min. 20.000 max. 40.000	482	min. 321 max. 643
F	13.707	80.000	min. 60.000 max. 100.000	1.097	min. 822 max. 1.371
H	100	83.000	min. 50.000 max. 125.000	8	min. 5 max. 13
R	17.705	40.000	min. 20.000 max. 60.000	708	min. 354 max. 1.062
S	21.735	131.000	min. 80.000 max. 200.000	2.847	min. 1.739 max. 4.347
T	6.629	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
U	15.167	15.000	k.A.	k.A.	k.A.
<b>Summe</b>	<b>76.208</b>				

**Tabelle 11: Berechnung der Amortisationszeit von Telematiksystemen mit Entgleisungsdetektor für unterschiedliche Wagengattungen**

Hauptwagengattung	Jährliche Gesamtleistung aller Wagen pro Wagengattung [Mio. km] <sup>2</sup>		Entgleisungswahrscheinlichkeit	Halbe Kosten einer Entgleisung	Wagenbestand
	Mittelwert	Spanne			
E	482	min. 321 max. 643	$44,5 \times 10^{-9}$	410.000 €	16.067
F	1.097	min. 822 max. 1.371	$44,5 \times 10^{-9}$	410.000 €	13.707
H	8	min. 5 max. 13	$44,5 \times 10^{-9}$	410.000 €	100
R	708	min. 354 max. 1.062	$44,5 \times 10^{-9}$	410.000 €	17.705
S	2.847	min. 1.739 max. 4.347	$44,5 \times 10^{-9}$	410.000 €	21.735

<sup>1</sup> gerundet  
<sup>2</sup> gerundet

(Fortsetzung)

Hauptwagengattung	Anteilige Entgleisungskosten <sup>1</sup>		Amortisationszeit [Jahre] <sup>1</sup>	
	Mittelwert	Spanne	Mittelwert	Spanne
E	547€	min. 364 € max. 730 €	2,7	min. 4,1 max. 2,1
F	1.460 €	min. 1.097 € max. 1.825 €	1,0	min. 1,4 max. 0,8
H	1.460 €	min. 921 € max. 2.372 €	1,0	min. 1,6 max. 0,6
R	730 €	min. 365 € max. 1.094 €	2,1	min. 4,1 max. 1,4
S	2.390 €	min. 1.460 € max. 3.649 €	0,6	min. 1,0 max. 0,4

Die Betrachtung der Amortisationszeiten (s. Tabelle 11 und Bild 57) zeigt, dass sich die Anschaffungskosten für ein Telematiksystem mit Entgleisungsdetektion in Hinblick auf die Verursachung einer Entgleisung innerhalb von 0,4 und 4,1 Jahren amortisieren.

Wie Bild 57 graphisch sehr deutlich zeigt, amortisieren sich statistisch gesehen bereits nach einem Jahr 27% der Entgleisungsdetektionssysteme, nach spätestens 2 Jahren insgesamt 67 % der Systeme und im dritten Jahr schon 87 % aller Systeme.

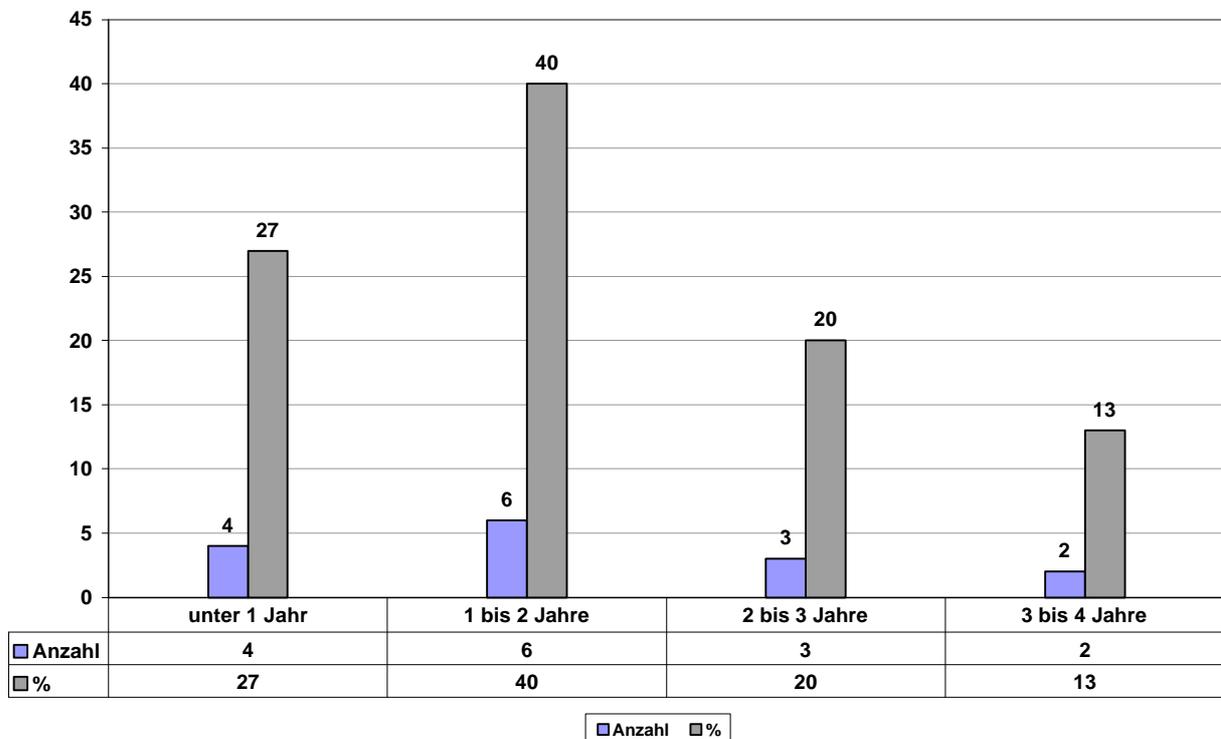


Bild 57: Amortisationsdauern von Telematiksystemen mit Entgleisungsdetektion

## 6.2 Logistische Effekte

Auszugehen ist bei Einsatz von Telematiksystemen von der Möglichkeit, durch Kenntnis des Standortes Einfluss auf das Transportgeschehen nehmen zu können.

Hier sind mehrere Ansatzpunkte vorhanden. Aus der Praxis wird häufig davon berichtet, dass Wagen sowohl beim Be- als auch beim Entladen länger als notwendig stehen, da bei der geringen Wagenmiete von ca. 20 – 25 Euro pro Tag kein Grund zur Eile gesehen wird. Außerdem werden häufig durch das befördernde Bahnunternehmen längere Standzeiten an der Landesgrenze im internationalen Verkehr oder bis zu mehreren Tagen auf bestimmten Rangierbahnhöfen toleriert (Stimmen aus der Praxis sprechen von bis zu drei Tagen).

Für die monetäre Untersuchung des Einflusses der Kenntnis der Standzeiten und -orte mit Hilfe von Telematiksystemen wird vorausgesetzt, dass unnötige Standzeiten sowohl beim Versender bzw. Empfänger als auch unterwegs durch Meldung bei der zuständigen Stelle positiv beeinflusst. Grundlage ist weiterhin die Voraussetzung eines geschlossener Absatzmarkt, der durch schnelleren Transport nicht erweitert werden kann; dies ist beispielsweise bei Fabriken der Fall, die einen bestimmten Monatsausstoß haben und deren Kapazitäten nicht erweiterbar sind.

### **Szenario „Begrenzte Abnahme- bzw. Produktionsmenge“**

Wie bereits erwähnt geht dieses Szenario davon aus, dass entweder der Versender seine Produktion nicht erhöhen oder der bzw. die Empfänger nicht mehr Ware annehmen können. Weitere Grundlage der Überlegungen ist eine Umlaufbeschleunigung durch Kenntnis des Wagenstandorts und einer automatisierten Transportplanverfolgung, die bei Überschreitung bestimmter Zeitfenster eine Meldung an den Spediteur sendet.

Ausgegangen wird von einer transportierten Masse pro Monat, die konstant ist. Um diese Ladung zu transportieren sind eine bestimmte Anzahl von Wagenladungen mit gleicher Ladekapazität pro Wagen notwendig. Die Umlaufdauer beträgt dabei eine bestimmte Anzahl an Tagen woraus sich die Anzahl möglicher Umläufe pro Monat und die Mietkosten für die Wagen berechnen lassen.

### **Beispiel 1**

Ein Hersteller eines Gutes versendet pro Monat 1.020 Tonnen eines beliebigen Gutes. Jeder seiner angemieteten Wagen kann ca. 60 Tonnen Nutzlast transportieren, woraus abzuleiten ist, dass er 17 Wagenladungen benötigt, um seine Ware zu transportieren.

Weiter angenommen, dass die Leer- und Lieferfahrten beide fünf Tage dauern, beim Beladen zwei Tage und beim Entladen drei Tage vergehen, ergibt sich eine Umlaufdauer von 15 Tagen. Dies bedeutet, dass bei einer mittleren Monatslänge von 30,4 Tagen 2,0 Umläufe möglich sind und für die Lieferung 8,5 (gerundet 9) Wagen angemietet werden müssen.

Eine mögliche Reduktion der Standzeiten der Wagen an beiden Ladestellen um jeweils einen Tag führt dazu, dass die Umlaufdauer von 15 auf 13 Tage sinkt und pro Monat 2,3 Um-

läufe möglich werden. Für die Lieferung der o.g. 17 Wagenladungen sind damit rechnerisch nur 7,3 (gerundet 8) Wagen notwendig.

Da weiterhin angenommen wird, dass es sich um ein hochwertiges Gut handelt und damit ein besserer Wagen notwendig ist, werden die monatlichen Mietkosten zu 761 Euro (25 Euro pro Tag mit 30,42 Tagen pro Monat<sup>1</sup>) angesetzt. Obiges Beispiel zeigt, dass durch die Umlaufbeschleunigung 1,2 Wagen (abgerundet 1 Wagen) pro Monat eingespart werden kann. Dies bedeutet weiter, dass die monatlichen Mietkosten eines Wagens in Höhe von ca. 760 Euro eingespart werden können, wenn angenommen wird, dass pro Transport ein Telematiksystem zur Beschleunigung der Vorgänge ausreicht, und sich daher die Kosten eines Telematiksystems in Höhe von 1.500 Euro innerhalb von zwei Monaten rentiert haben. Wird dagegen pro Wagen ein Telematiksystem benötigt, entstehen damit Anschaffungskosten von 12.000 € für 8 Wagen, so dass die Amortisationszeit gerundete 16 Monate beträgt.

### Beispiel 2

Ein Hersteller eines Gutes versendet pro Monat 1.020 Tonnen eines beliebigen Gutes. Jeder seiner angemieteten Wagen kann ca. 60 Tonnen Nutzlast transportieren, woraus abzuleiten ist, dass er 17 Wagenladungen benötigt, um seine Ware zu transportieren.

Es wird weiter analog zu einer bestehenden Langstreckentransportrelation angenommen, dass die Lieferfahrt ab Werksausgang 9 Tage, die Entladung inklusive Standzeiten bis zur Abholung 4,3 Tage, die Rückfahrt 8,3 Tage und der Stand im Versandwerk bis zur nächsten Abfahrt weitere 5 Tage dauert, wobei es sich um durchschnittliche Dauern über 9 Fahrtzyklen handelt. Alles zusammen beträgt die Umlaufdauer damit 26,6 Tage von Abfahrt bis Abfahrt.

Eine mögliche Reduktion der Standzeiten sowohl bei der Be- als auch bei der Entladung um jeweils einen Tag und zusätzlich eine Beschleunigung des Rücklaufs durch Vermeidung von Umwegen oder Standzeiten um einen weiteren Tag führt zu einer neuen Umlaufdauer von 23,6 Tagen.

Dies bedeutet, dass bei der bisherigen Situation 1,14 Umläufe monatlich möglich sind und dafür gerundet 15 Wagen (exakt 14,9 Wagen) notwendig sind. Eine Reduktion der Umlaufzeiten wie oben geschildert um drei Tage führt dazu, dass monatlich 1,29 Umläufe mit gerundeten 13 Wagen (exakt 13,2 Wagen) möglich werden. Dies bedeutet weiterhin, dass pro Monat zwei Wagen und deren Mietkosten in Höhe von 1.521 € eingespart werden können, wenn angenommen wird, dass pro Transport ein Telematiksystem zur Beschleunigung der Vorgänge ausreicht.

Wird dagegen pro Wagen ein Telematiksystem benötigt, entstehen damit Anschaffungskosten von 19.500 € für 13 Wagen, so dass die Amortisationszeit gerundete 13 Monate beträgt.

---

<sup>1</sup> Rechnerisches Mittel einer Monatslänge pro Jahr (365 Tage/12 Monate)

Dieses Beispiel, das in Näherung einem realen Transport entspricht, zeigt sehr deutlich, dass sich die Kosten eines Telematiksystems ausgesprochen schnell amortisieren, wenn die Informationen, die ein Telematiksystem liefert, konsequent genutzt werden.

### 6.3 Reduktion ungeplanter Reparaturzeiten

Beim heutigen System Güterwagen treten aus den unterschiedlichsten Gründen während der Liefer- und Leefahrten unvorhergesehene Ausfälle auf, die hohe Kosten zur Folge haben.

Praxisaussagen von Spediteuren belegen, dass es sich pro Wagen um 1 bis 2 unerwünschte Werkstattaufenthalte pro Jahr handelt.

In diesem Kapitel soll eine Abschätzung der Kosten, die jedes Unternehmen geheim hält, versucht werden, um anhand realistischer Ausfallgründe abzuschätzen, in wie weit Telematiksysteme diese Kostenart reduzieren helfen können. Es wird dabei nur angenommen, dass durch geeignete Sensoren am Telematiksystem der sich anbahnende BauteilAusfall erkannt werden kann, um entweder die Fahrt schadlos mit geringer Geschwindigkeit zu Ende zu führen oder noch vor Lieferfahrtbeginn die Reparatur durchführen zu lassen.

Auch hier sind einige Voraussetzungen notwendig, um die Kostenbetrachtung durchführen und ein realistisches Szenario annehmen zu können.

- **Wagenausfall**

Es wird von einem beladenen Wagen ausgegangen, bei dem ein Defekt während der Vorbereitung zur Zugausfahrt aus einem Rangierbahnhof auftritt, der die Weiterfahrt ohne Reparatur verhindert.

- **Reparatur**

Die Dauer der Reparatur beträgt vom Ausfall bis zur nächst möglichen Nutzung eine Woche.

Die Reparaturkosten setzen sich dabei aus folgenden Bereichen zusammen, die an dieser Stelle monetär bewertet werden sollen.

Die in Tabelle 12 benannten Kosten können aufgrund der wenigen zur Verfügung stehenden Zahlen nur Schätzungen sein. Sie entsprechen jedoch in erster Näherung realistischen Größen und sprechen im Ergebnis für sich. Sollte es pro Wagen durch ein Telematiksystem mit Sensoren auch nur einmal möglich sein, einen ungeplanten Werkstattaufenthalt zu vermeiden, hätten sich die Telematiksystem- und Installationskosten bereits mehr als amortisiert. Diese Größenordnung der Ausfallkosten entsprechen bei einem Mittelwert der Kosten von 5.000 € dem Mieterlös von 200 Tagen und steht somit in keinem wirtschaftlichen Verhältnis.

**Tabelle 12: Kosten eines ungeplanten Wagenausfalls**

Position	Dauer	Kosten
- Auflösung des bereits gebildeten und zur Ausfahrt bereiten Zuges.	ca. 2 h	ca. 500 €
- Umfüllen der Ladung	ca. 3 h	ca. 1.000 €
- Transport des Wagens zur Werkstatt	ca. 5 h	ca. 500 €
- Reinigung des Wagens vor Einfahrt in die Werkstatt	ca. 12-15 h	ca. 1.000 €
- Erhöhte Reparaturkosten gegenüber einer zeitlich geplanten Reparatur (Mehraufwand durch fortgeschrittene Beschädigungen am Wagen)		ca. 1.000 € bis 3.000 €
- Ersatzwagen		
o Bereitstellung und		ca. 500 €
o Mietkostenausfall für eine Woche (à 25 €/ Tag)	7 Tage	ca. 175 €
<b>Summe</b>		<b>4.675 € bis 6.675 €</b>

#### 6.4 Zusammenfassende Betrachtung der Wirtschaftlichkeit

Beispielhaft wurden in den Kapiteln 6.1 bis 6.3 einzelne Aspekte des Telematikknutzens betrachtet. Für Eisenbahnverkehrsunternehmen ist unter anderem die Frage der Verringerung von Unfallfolgekosten wichtig, für Spediteure der Einfluss auf den Transportablauf und für Wageneigentümer die Reduktion der Instandhaltungskosten.

Die Abschätzungen ergaben, dass für die Entgleisungsdetektion Amortisationszeiten, je nach Wagengattung, zwischen 7 Monaten und 2 Jahren und acht Monaten liegen (vgl. Tabelle 11).

Der logistische Nutzen stellt sich, beispielhaft an zwei Transportrelationen dargestellt, bei Nutzung eines Systems pro Zug nach einem bzw. zwei Monaten, bei Ausrüstung eines ganzen Zuges mit Telematiksystemen nach 13 bzw. 16 Monaten ein.

Die Abschätzung der Kosten eines ungeplanten Ausfalls eines Wagens mitten im Transportumlauf und die Möglichkeit, der sensorischen Diagnose im Vorfeld und der Annahme, dass es durch den Einsatz von Telematik möglich ist, einen Ausfall zu vermeiden, führt dazu, dass

ein Ausfall das drei- bis viereinhalbfache der Anschaffungskosten eines Telematiksystems kostet.

Der Vergleich der oben genannten Zahlen bei Einsatz von Telematik mit den in Kapitel 3.3.2 (ab Seite 76) genannten Dauern von bereits realisierten Praxisbeispielen zeigt, dass der Einsatz von Telematiksystemen im Schienengüterverkehr ähnliche Amortisationszeiten hat, wie Einrichtungen der Großindustrie.

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse und Perspektiven

Der Transportleistungsanteil des Schienengüterverkehrs sinkt von Jahr zu Jahr sowohl in Deutschland als auch innerhalb der Europäischen Union.

Ursächlich für diese Entwicklung ist die Stagnation des Schienengüterverkehrs in technischer und betrieblicher Hinsicht, was sich gegenseitig bedingt. Während die Wagenaufbauten den Kundenbedürfnissen ständig angepasst werden, findet eine Weiterentwicklung der für den effizienten und vor allem sicheren Betrieb notwendigen Lauftechnik nur sehr eingeschränkt statt. Auch Entwicklungen, zur Befriedigung von Kundenbedürfnissen nach Standort- bzw. Verspätungsinformationen zur Planbarkeit hochwertiger Transporte, z.B. von just-in-time und just-in-sequence-Transporten, werden nur zögerlich eingeführt, obwohl der Hauptkonkurrent Lastwagen seit langem darüber verfügt und ständig seinen Kunden Innovationen anbietet.

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass der Einsatz autarker Telematiksysteme vielfältigen Nutzen bringt. Hierzu zählen vor allem Sicherheitsaspekte und logistische Informationen, die Anreiz zur Einführung von Telematiksystemen seinen können.

Im Bereich Sicherheit bieten Telematiksysteme vor allem Gewinne bei der fahrdynamische Überwachung des Wagenlaufs und hier vor allem bei der Detektion einer Entgleisung, die sonst über viele Kilometer unentdeckt bleibt und meist in einer Katastrophe endet. Sensorische Weiterentwicklungen und Neufassungen der Gesetzeslage werden zu einem Übergang zur zustandsbezogenen Instandhaltung führen, wie dies in anderen Industriezweigen bereits Stand der Technik ist.

Zu den logistischen Informationen gehören derzeit vor allem die Möglichkeit, Abweichungen vom Soll-Fahrplan zu erfahren. Zu diesem Zweck werden in den wagenautarken Telematiksysteme derzeit die Soll-Daten vor Fahrtbeginn hinterlegt, wobei das Telematiksystem durch Positions-Zeit-Vergleich mit Hilfe eines GPS-Empfängers Abweichungen bestimmen und bei Verlassen definierter Randbedingungen seinen Besitzer informieren kann. Allerdings ist eine reine Verspätungsinformation wichtig, alleine bei zeitkritischen Informationen aber nur wenig hilfreich. Wichtig wäre ein zusätzlich hinterlegtes Expertensystem, das nach Erfahrung aus vorangegangenen Transporten die restliche Transportdauer abschätzen kann. Nur damit würde der Schienengütertransport in logistischer Hinsicht mit dem Lastwagen gleichziehen ohne jedoch das größte Problem der geringen Transportgeschwindigkeit zu lösen.

Um Telematiksysteme am Markt etablieren zu können, ist es erforderlich, ähnlich wie in der IT-Branche, eine sukzessive Migration von Systemen zu haben. Sicherlich sind die heute am Markt verfügbaren Systemen nicht diejenigen Systeme mit der Leistungsfähigkeit und Perfektion, die in 10 oder 20 Jahren angeboten werden. Jedoch entstehen Kunden die heute bereits Telematiksysteme einsetzen, Wettbewerbsvorteile gegenüber ihren Wettbewerbern, die dies nicht tun. Es ist nicht zu erwarten, dass Telematiksysteme von Beginn flächendeckend eingeführt werden, jedoch werden die Ausbreitungseffekte von Insellösungen und innovati-

von Unternehmen beginnend nach und nach ihren Einsatz in vielfältigen (intermodalen) Transporten finden.

An künftige Telematiksysteme ist die Forderung zu stellen, dass sie als offene Systeme mit hinreichend Schnittstellen für weitere sensorische Anwendungen konzipiert werden müssen. Diese Schnittstellen sind möglichst zu normen, so dass der Einsatz sich nicht bewährender Komponenten nicht zu einem System-, sondern nur zu einem Herstellerwechsel führt.

International zu normen sind die Schnittstellen, mit denen Telematiksystem in den Eisenbahnbetrieb eingreifen werden. Dies betrifft die Informationswege und die Handlungsanweisungen für den Lokomotivführer, wenn ein Telematiksystem einen gefährlichen Zustand erkannt hat und diesen an den Lokführer meldet (z.B. eingetretene Entgleisung). Es betrifft ebenso die Information von Hilfsdiensten sowie deren Zugriffsmöglichkeit auf ergänzende Information in Bezug auf Wagentyp und die Ladung des Wagens.

Weiterhin ist auf eine ausreichend dimensionierte Rechenleistung der eingesetzten Rechnerarchitektur zu achten, da nach und nach kundenseitig der Wunsch entstehen wird, weitere Anwendungen nachzurüsten. Bei diesen Kundenwünschen ist nach Sinnhaftigkeit und technischer Möglichkeit zu fragen; ein für alle Fälle dimensioniertes System ist nicht sinnvoll und nicht bezahlbar.

Für Prozesse, die zu einem Eingriff in den Bahnbetrieb führen, ist auf die Selbsttestfunktion der beteiligten Komponenten zu achten, da unbegründete Zugstopps nicht tolerierbar und unnötig sind.

Die Frage der Energieversorgung der Güterwagen im allgemeinen und der Telematiksysteme im speziellen ist sicherlich noch nicht abschließend zu beantworten. Nach dem derzeitigen Stand der Technik verfügen Güterwagen nur über die allen gemeinsame Druckluftleitung zu Erzeugung der Bremswirkung. Diese Technik stammt aus dem Beginn der Eisenbahntechnik als elektrische Energie auf den Wagen noch nicht erforderlich war. Durch die dargestellten neuen Funktionen wird mittelfristig die Bereitstellung elektrischer Energie notwendig werden.

Abschließend lässt sich feststellen, dass Telematiksysteme eine neue Transportqualität in den Schienengüterverkehr bringen und somit auch die Akquisition neuer Verkehre ermöglichen. Bei den sensorischen Anwendungen ist darauf zu achten, dass nicht jeder Diagnosewunsch mit einem eigenen Sensor beantwortet wird, sondern dass durch Einsatz weniger Sensoren viele Diagnosewünsche durch intelligente Auswertung der Signale das gewünschte Auswertungsergebnis entstehen kann.

Die klassische Antwort vieler Wageneigentümer, sie könnten Telematiksysteme nicht einführen, weil der Kunde diese nicht bezahlen würde, hinkt aus mehreren Gründen. Im Lastwagenbereich finden mit jedem Modellwechsel starke Innovationssprünge statt, bei denen neue Techniken eingeführt werden, die den Transport trotz höherer Anschaffungskosten effizienter gestalten. Die Betrachtung der life-cycle-costs spielt im Lkw-Bereich, in dem zur Zeit Ge-

winnmargen von unter 1% üblich sind<sup>1</sup>, eine nennenswerte Rolle, um am Markt bestehen zu können.

Weiterhin zeigen die Ergebnisse der Berechnung der Systemkostenamortisation, dass je nach Einsatzgebiet und kundenspezifischen Nutzen die Amortisationszeiten bei dem Investitionsgut Güterwagen, das ca. 25 Jahre genutzt wird, innerhalb von wenigen Monaten bis wenigen Jahren erreicht sind.

Sobald sich diese differenzierte Sicht der Kostenlage und der Kostenverursachungsstruktur durchgesetzt haben wird, werden die Entscheidungsträger den Einsatz von Telematiksystemen forcieren, um wettbewerbsfähiger zu werden. Dies wird allerdings in starkem Maß auch davon abhängen, ob es den Anbietern von Telematiksystemen gelingt, tragfähige Geschäfts- und Kostenmodelle zu entwickeln, bei denen sich die Nutzergruppen nicht mehr auf der Ausrede ausruhen können, andere Nutzerkreise hätten viel mehr Nutzen, also sollen sie doch investieren.

---

<sup>1</sup> Diese Zahlen wurden mehrfach in persönlichen Gesprächen auf der Messe „transportlogistic 2003“ genannt.

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Abschlußbericht der AG „Tank- und Fahrzeugtechnik“ des Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2002
- [2] anonym  
„Sicherheit bei der Bahn“  
Schweizerische Technische Zeitschrift, 1997 (Sonderdruck SBB 101.08), S. 50-51
- [3] anonym  
„ ‚Aus‘ für leise NPZ“  
Schweizer Eisenbahn-Revue 4/1992, Seite 135
- [4] anonym  
„Acht Tote in Australien“  
Schweizer Eisenbahn-Revue 3/2003, Seite 129
- [5] anonym  
„Benzinzug entgleist“  
Schweizer Eisenbahn-Revue 1-2/1991, Seite 3
- [6] anonym  
„Betriebsstörungen“  
Schweizer Eisenbahn-Revue 7/1990, Seite 200
- [7] anonym  
„Brugg: Entgleisung zum Dritten“  
Schweizer Eisenbahn-Revue 7/2003, Seite 293
- [8] anonym  
„CargoMover – Mit Innovationen mehr Güterverkehr auf die Schienen“  
Signal + Draht (95), 1+2/2003, Seite 41
- [9] anonym  
„Chaos nach Zugunglück in Rom“  
Schweizer Eisenbahn-Revue 9/1997, Seiten 422-423
- [10] anonym  
„Der Entgleisungsdetektor“  
Schweizer Eisenbahn-Revue 3/1996, Seiten 87-90
- [11] anonym  
„Der Unfall in Bad Mündler“  
Eisenbahn-Revue International 11/2002, Seite 500
- [12] anonym  
„Der Unfall in Zürich Affoltern“  
Schweizer Eisenbahn-Revue 4/1994, Seiten 137-140
- [13] anonym  
„Der Zusammenstoß in Wampersdorf“  
Eisenbahn-Revue International 4/2002, Seite 173
- [14] anonym  
„Die Engleisung in Zürich Oerlikon“  
Schweizer Eisenbahn-Revue 10/2001, Seite 448

- [15] anonym  
"Die Entgleisung in Wassen"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 5/1996, Seite 192
- [16] anonym  
"Entgleisung auf der Arlbergbahn"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 5/2000, Seite 229
- [17] anonym  
"Entgleisung bei der Signalstation Ruchfeld"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 6/1995, Seite 235
- [18] anonym  
"Entgleisung bei der Signalstation Ruchfeld"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 9/1995, Seite 393
- [19] anonym  
"Entgleisung im Bahnhof Luzern"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 8-9/2000, Seite 339
- [20] anonym  
"Entgleisung im Bahnhof Reiden"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 9/1999, Seite 339
- [21] anonym  
"Entgleisung im Burgdorf"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 1/2000, Seite 4
- [22] anonym  
"Entgleisung in Amsteg-Silenen"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 12/1995, Seite 511
- [23] anonym  
"Entgleisung in Baden"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 7-8/1997, Seite 283
- [24] anonym  
"Entgleisung in Basel SBB"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 10/1993, Seite 444
- [25] anonym  
"Entgleisung in Basel"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 11/2002, Seite 498
- [26] anonym  
"Entgleisung in Basel"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 9/1994, Seite 382
- [27] anonym  
"Entgleisung in Benzenschwill"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 1-2/1990, Seite 9
- [28] anonym  
"Entgleisung in Brugg AG"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 3/2003, Seite 99
- [29] anonym  
"Entgleisung in Dottikon-Dintikon"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 10/1995, Seite 405

- [30] anonym  
"Entgleisung in Einingen"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 6/2000, Seite 246
- [31] anonym  
"Entgleisung in Grellingen"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 5/1996, Seite 170
- [32] anonym  
"Entgleisung in Krummenau"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 6/2000, Seite 248
- [33] anonym  
"Entgleisung in Luzern geklärt"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 12/2001, Seite 522
- [34] anonym  
"Entgleisung in Malters"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 4/2001, Seite 154
- [35] anonym  
"Entgleisung in Mezzovico"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 12/2000, Seite 540
- [36] anonym  
"Entgleisung in Rodi-Fiesso"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 12/2001, Seite 556
- [37] anonym  
"Entgleisung in Rodi-Fiesso"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 6/2000, Seite 246
- [38] anonym  
"Entgleisung in Rodi-Fiesso"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 6/2001, Seite 243
- [39] anonym  
"Entgleisung in Sachseln"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 7/2000, Seite 324
- [40] anonym  
"Entgleisung in Sachseln"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 7-8/1999, Seite 282
- [41] anonym  
"Entgleisung in Thun"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 3/1991, Seite 68
- [42] anonym  
"Entgleisung in Turbenthal"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 6/1999, Seite 227
- [43] anonym  
"Entgleisung in Vedeggio"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 10/1992, Seite 455
- [44] anonym  
"Entgleisung in Ziegelbrücke"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 7-8/1994, Seite 311

- [45] anonym  
"Entgleisung und Kollision in Rothrist"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 10/1993, Seite 442
- [46] anonym  
"Entgleisung und Kollision in Zürich Wiedikon"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 3/1999, Seiten 66-67
- [47] anonym  
"Eurostar-Entgleisung"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 7/2000, Seite 322
- [48] anonym  
"Grossbritannien: Erneut schweres Zugunglück"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 12/2000, Seite 549
- [49] anonym  
"Güterzugsentgleisung in Bellinzona"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 12/1997, Seite 551
- [50] anonym  
"Güterzugsentgleisung in Rickenbach-Attikon ZH"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 12/1997, Seite 551
- [51] anonym  
"Güterzugsentgleisung in Solothurn"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 9/1999, Seite 338
- [52] anonym  
"Huckepackzug entgleist"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 9/1997, Seite 38
- [53] anonym  
"IC 711 bei Gland VD entgleist"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 6/1998, Seite 227
- [54] anonym  
"ICE DIAMANT entgleist"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 6/1993, Seite 292
- [55] anonym  
"Kerosinzug-Entgleisung in Alaska"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 2/2000, Seite 82
- [56] anonym  
"Metro-Entgleisung in Paris"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 10/2000, Seite 463
- [57] anonym  
"Millionenschaden"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 10/1996, Seite 402
- [58] anonym  
"MOB-Zug entgleist"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 1/2000, Seite 11
- [59] anonym  
"Rollende Tresore für Werttransporte"  
Cargo aktuell, Nr. 4 / August 2001, Seite 8

- [60] anonym  
"Schienenbruch – Zug entgleist"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 1/2003, Seiten 2-3
- [61] anonym  
"Schwarzes Wochenende"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 7/2000, Seite 322
- [62] anonym  
"Seltsame Unfallursache"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 7-8/1995, Seite 283
- [63] anonym  
"Spektakulärer Unfall auf dem Pelepones"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 12/1998, Seite 553
- [64] anonym  
"TGV mit 300 km/h entgleist"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 1-2/1994, Seite 10
- [65] anonym  
"Unfall in der ‚Tube‘ "  
Schweizer Eisenbahn-Revue 3/2003, Seite 129
- [66] anonym  
"Wiederholte Entgleisung in Luzern"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 11/2001, Seite 475
- [67] anonym  
"Zug in Spiez entgleist"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 10/1997, Seite 438
- [68] anonym  
"Zugunglück in Bad Mündler – Kesselwagen mit Chemikalien explodiert"  
Eisenbahn-Kurier 11/2002, Seite 8
- [69] anonym  
"Zugunglück in Piacenca"  
Schweizer Eisenbahn-Revue 1-2/1997, Seite 55
- [70] anonym  
Güterzugentgleisung in Darmstadt"  
Eisenbahn-Revue International 4/1999, Seite 117
- [71] anonym:  
"Entgleisung auf der Arlbergbahn"  
Der Eisenbahningenieur, 5/2000, Seite 230
- [72] Balsen-W.  
„Bremsproben werden oft abgekürzt“  
Frankfurter Rundschau, 24.10.2002
- [73] Becker-K-G., Baranek-M.  
"Intelligente Chemielogisitk"  
Internationales Verkehrswesen (53), 1+2/2001, Seiten 42-43
- [74] Beika-U.:  
"Telematik als Element zur Steigerung der Transportsicherheit und Effektivitätssteigerung  
des Schienengüterverkehrs"  
Diplomarbeit am Fachgebiet Schienenfahrzeuge der TU Berlin, 2003

- [75] Berliner Morgenpost vom 05.02.1997
- [76] Böse-P., Hansmann-A.  
"Gefährliche Güter sicher transportieren"  
Internationales Verkehrswesen (55) 05/2003, Seiten 237-240
- [77] Bundesministerium für Verkehr (Bonn), Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (Berlin)  
"Verkehr in Zahlen 2001"  
Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg
- [78] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen  
Zwischenbericht der AG „Betriebssicherheit“, Mai 1998
- [79] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen  
Abschlußbericht der Arbeitsgruppe „Tank- und Fahrzeugtechnik“ (02/2002), Seite 11
- [80] Burgwinkel-P., Rensmann-F.  
"Lokomotivüberwachung und Instandhaltungsmanagement via Internet und Satellit"  
Eisenbahningenieur (52) 6/2001, Seiten 78-81
- [81] Cargo aktuell im Interview mit Hartmut Kassuhn  
Cargo aktuell, Nr. 6, Dez. 2002, Seite 27
- [82] Conlon-P.  
"Sicherheit von Kesselwagen"  
rail international - Schienen der Welt, März 1998  
Online-Publikation der UIC (<http://www.uic.asso.fr>)
- [83] Danzer, P.  
Entwicklung eines leichten und lärmarmen Güterwagen-Drehgestells – LEILA-DG –  
Abschlußbericht des AP 410: Life Cycle Costs – LCC – (unveröffentlicht)  
Technische Universität Berlin, Fachgebiete Schienenfahrzeuge / Schienenfahrwege und  
Bahnbetrieb (März 2003)
- [84] Dassler, S.  
"Blackout bei der Bremsprobe"  
Der Tagesspiegel vom 09.11.2002
- [85] Dassler-S.  
"Das Inferno von Elsterwerda"  
Der Tagesspiegel vom 07.11.2002
- [86] DB Cargo AG, Mainz
- [87] Der Tagesspiegel, Berlin, Seite 32, Nachricht in der Ausgabe vom 17.02.2002
- [88] Deutsche Bahn AG  
Daten und Fakten 1998/99  
Herausg.: Vorstand der Deutschen Bahn AG, Zentralbereich Konzernkommunikation, Berlin
- [89] Dornier Consulting GmbH  
Abschlussbericht des Projekts "Telematikgestützte Informationssysteme für Fahrzeugführer  
zur Gefahrgutüberwachung bei Intermodalen Transportketten" im Auftrag des Bundesminis-  
teriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Projekt-Nr. 96.617/2001), Januar 2003
- [90] Eisenbahnbundesamt  
Interne Statistik des Beauftragten für Unfalluntersuchung (unveröffentlicht)
- [91] Eisenbahn-Revue *International* 4/1999, Seite 116

- [92] Eisenbahn-Revue *International* 4/1999, Seite 117
- [93] Eisenbrand-E., Pachnicke-J.:  
"Heißläufer- und Festbremsortungsanlagen"  
Signal+Draht 7+8/1992, Seiten 217-223
- [94] European Commission  
"EU Energy and Transport in Figures" Statistical pocketbook 2002  
ISSN 1225-1095, ISBN 92-894-4165-8
- [95] Fa. Fritz Rensmann GmbH & Co. (Dortmund)  
<http://www.rudi-web.de>
- [96] Freudiger-G.:  
"Heißläufer- und Festbremsortungsanlagen der neuen Generation bei den SBB"  
Signal+Draht 10/96, Seiten 27-30
- [97] Geropp-B.:  
"Ferndiagnose an mechanischen Antrieben von Großgeräten"  
4. Tagung Technische Diagnostik, Merseburg, Oktober 2000
- [98] GUNDI – Gefahrgut-Unfall-Datenbank im Internet  
Storck-Verlag, Hamburg  
<http://www.storck-verlag.de>
- [99] Hamburger Morgenpost vom 02.03.1999
- [100] Hamburger Morgenpost vom 07.03.1999
- [101] Hamburger Morgenpost vom 08.02.1999
- [102] Hamburger Morgenpost vom 08.03.1999
- [103] Hamburger Morgenpost vom 08.03.1999
- [104] Hamburger Morgenpost vom 08.06.1999
- [105] Hamburger Morgenpost vom 14.02.2000
- [106] Hamburger Morgenpost vom 18.06.1998
- [107] Hamburger Morgenpost vom 19.01.1999
- [108] Hamburger Morgenpost vom 23.05.2000
- [109] Hamburger Morgenpost vom 27.12.1999
- [110] Health & Safety Executive  
"Train Derailment at Hatfield, 17 October 2000; Second HSE interim report"
- [111] Health & Safety Executive  
"Train Derailment at Potters Bar, 17 May 2002; HSE interim report"
- [112] Hecht-M., Fernandez-J., Rieckenberg-Th.:  
Machbarkeitsstudie „Individualisierter Schienengüterverkehr“ , Kapitel „Antriebstechnik“  
(AP 620) und „Telematik“ (AP 630)  
Gefördert durch das BMBF in den Jahren 2001 und 2002, Förderkennzeichen 19G1050

- [113] Hecht-M., Janik-M., Rieckenberg-Th., Salz-D.:  
"Diagnose- und Telematikkonzepte für den Schienengüterverkehr"  
Bericht 07/99 des Fachgebiets Schienenfahrzeuge der TU Berlin
- [114] Hecht-M., Rieckenberg-Th.  
"Entwicklung eines Sensormoduls zur Füllstands-, Druck- und Temperaturmessung bei Eisenbahnkesselwagen"  
Bericht 03/03 des Fachgebiets Schienenfahrzeuge der TU Berlin
- [115] Hecht-M., Rieckenberg-Th.  
"Informationssysteme für Schienenfahrzeuge auf Bus- bzw. Telematikbasis"  
Schlussbericht der Phase 2  
Bericht 06/02 des Fachgebiets Schienenfahrzeuge der TU Berlin
- [116] Hecht-M., Schirmer-A. u.a.  
"Informationssysteme für Schienenfahrzeuge auf Bus- bzw. Telematikbasis  
Phase 1: Entgleisungsversuche"  
Bericht 11/00 des Fachgebiets Schienenfahrzeuge der Technischen Universität Berlin
- [117] Hecht-M., Schirmer-A.  
"Versuche zur Diagnose von Entgleisungen"  
ZEV+DET Glasers Annalen 125 (2001), Nr. 8, Seiten 279-289
- [118] Hecht-M.:  
"Fahrwerkkomponenten – Neue Anforderungen und Entwicklungshilfsmittel"  
Eisenbahntechnische Rundschau (47) 1998, Seiten 679-684
- [119] Hinzen-A.  
"Der Einfluß des menschlichen Fehlers auf die Sicherheit der Eisenbahn"  
Eisenbahntechnische Rundschau (ETR) 45 (1996), H. 10, Seiten 623-630
- [120] <http://archiv.bz-berlin.de>
- [121] <http://heraldsun.news.com.au>
- [122] [http://magazine.orf.at/thema/sendungen/020304/020304\\_1.html](http://magazine.orf.at/thema/sendungen/020304/020304_1.html)
- [123] <http://news.bbc.co.uk>
- [124] <http://report.ca/classics/02171986/p32i860217f.html>
- [125] <http://rhein-zeitung.de/old/99/04/18/topnews/chrono.html>
- [126] <http://rhein-zeitung.de/old/99/04/28/topnews/zugschlamp.html>
- [127] <http://www.accidentreconstruction.com/reports/indiatrain/sr080299i.html>
- [128] <http://www.bahnarchiv.net>
- [129] <http://www.bahnonline.ch/gotthard.htm>
- [130] <http://www.bics.be.schule.de>
- [131] <http://www.br143.de/unfl143.htm>
- [132] <http://www.buwal-herkules.admin.ch/umweltbericht/de/d-183-191-Risiken.pdf>
- [133] <http://www.cnn.com>

- [134] <http://www.danger-ahead.railfan.net>
- [135] <http://www.davidgroner.com>
- [136] [http://www.db-telematik.de/konzern/holding/db\\_telematik/dbag\\_gsmr.shtml](http://www.db-telematik.de/konzern/holding/db_telematik/dbag_gsmr.shtml)
- [137] <http://www.eifelbahn.de/news/bahnkata.htm>
- [138] [http://www.emergency-management.net/freiht\\_train.htm](http://www.emergency-management.net/freiht_train.htm)
- [139] <http://www.emergency-management.net/HFPA-Journal.htm>
- [140] [http://www.emergency-management.net/pass\\_train.htm](http://www.emergency-management.net/pass_train.htm)
- [141] <http://www.geranova-magazin.de>
- [142] <http://www.gsmworld.com>
- [143] <http://www.iafrica.com>
- [144] <http://www.igreens.org.uk>
- [145] <http://www.informationweek.de/index.php3?channels/channel34/011124.htm>
- [146] <http://www.michael-murr.de/buv/zugkat.htm>
- [147] <http://www.neue-oz.de>
- [148] <http://www.news.com.au>
- [149] <http://www.nts.gov/events/UP/gurnee.htm>
- [150] <http://www.oeamtc.at/netautor/pages/resshp/anwendg/1096625.html>
- [151] <http://www.rhein-zeitung.de>
- [152] <http://www.santacruzsentinel.com>
- [153] [http://www.sbb.ch/gs/press/press23\\_d.htm](http://www.sbb.ch/gs/press/press23_d.htm)
- [154] <http://www.sky-eye.com>
- [155] <http://www.smh.com.au/articles/2003/01/31/1043804505626.html>
- [156] <http://www.warailfanpage.tripod.com>
- [157] <http://www.zimmreed.com>
- [158] Hubacher-W., Scheiber-P.  
"Entgleisungsdetektion beim Rollmaterial der SBB"  
Rail International, 09/2000, Seiten 31-37
- [159] IMG gGmbH, Nordhausen  
Abschlußbericht des Projektes „rail-Sensorik für Kesselwagons zur Unterstützung, Wartung  
und Sicherheit“  
gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit über die Fraunhoferservi-  
ce GmbH (FHS), Förderkennzeichen: 203/01

- [160] Köhler-Ch.  
"Schadensfall an einem Druckgaskesselwagen"  
TÜ-Information, Bd. 39 (1998), Nr. 4, Springer-Verlag (Düsseldorf)
- [161] Kolerus-J.:  
"Zustandsüberwachung von Maschinen"  
Renningen-Malmsheim, expert-Verlag (2000)
- [162] Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Weißbuch  
"Die europäische Verkehrspolitik bis 2012: Weichenstellungen für die Zukunft"
- [163] Kuper-K, Janicki-J.  
"Bremstechnik und Bremsproben"  
Eisenbahnfachverlag, Bd. 9/11, 3. Auflage
- [164] Landgericht Aschaffenburg  
AZ 1HK O 111/98 vom 15.10.2002  
"Deutsche Bahn ./ Bavaria Schifffahrts- und Speditions AG sowie Niederrheinische Ver-  
kehrs AG"
- [165] Lebeau-G.  
"Railway telematics in North America, Ride Quality Monitoring – Results from testing in  
North America"  
1. Internationaler Workshop "Telematik im Schienengüterverkehr" am 14.09.2000  
Veranstalter: IFV Bahntechnik (Berlin), Salzufer 17-19, 10587 Berlin
- [166] Lege-B.  
"Sicherheit und Entwicklung eines selbsttätig signalgeführten Triebfahrzeugs (SST)"  
Forstschrift-Berichte VDI, Reihe 12 Nr. 356, VDI-Verlag Düsseldorf (1998)
- [167] Leyh-Th., Tielsch-P.  
"Operating Experience with the Stationary Machine Diagnosis System at the Schwarze  
Pumpe Power Plant"  
VGB PowerTech 4/2001, 58-63
- [168] Meltzer-G.  
„Maschinenüberwachung und Maschinendiagnose – Zielstellung und Lösungsweg.“  
In: VDI Bildungswerk: Seminar 36-34-18 Maschinendiagnose und zustandsabhängige In-  
standhaltung (12. und 13.03.2001)
- [169] Merkur Online vom 27.06.2003  
<http://www.merkur-online.de/regionen/dachau/41,149936.html>
- [170] News-Networld  
[http://www.news.at/articles/0241/19/44378\\_s3.shtml](http://www.news.at/articles/0241/19/44378_s3.shtml)
- [171] Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID)  
Stand 03/2001, ISBN 4641
- [172] Orlík-T.  
"Accident in Kozolupy"  
Railvolution Vol. 3, 1/2003, Seite 12
- [173] OTIF, RID-Fachausschuss  
Arbeitsgruppe Tank- und Fahrzeugtechnik (Bonn, 5. und 6. Sept. 2002)  
"Zwischenfall in Roermond (Niederlande) am 18. April 2002", NF. NL 1
- [174] Pätzold-F., W1-0295-4ittenberg-K., u.a.  
"Kommentar zu Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung"  
4. Aufl. 2001, Hestra-Verlag (Darmstadt), ISBN 3-777

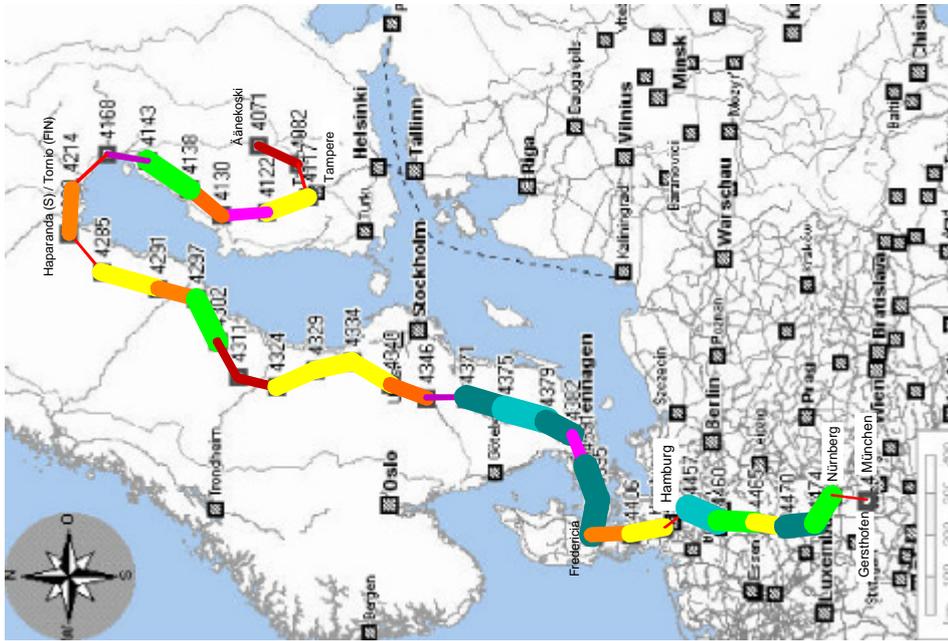
- [175] Präsentation „Software für autarke Telematiksysteme“  
der Fa. transportdata AG, München (unveröffentlicht)
- [176] Reitz-K.; Geropp-B.  
“Schwingungsdiagnose im praktischen Einsatz“  
In: Tagungsband des DKIN-Fachkongress Instandhaltung - vom Kostentreiber zum Werttreiber, 07./08.04.2000, Bad Soden, IX/1-IX/15 (Umdruck)
- [177] Salzburger Nachrichten vom 01.06.1999
- [178] Salzburger Nachrichten vom 01.06.1999  
<http://www.bfi-sbg.or.at/sn/99/06/01/innenpolitik-18665.html>
- [179] San Martin-F., Neuroth-B.:  
“Intelligente Heißläuferortung sichert die Hochgeschwindigkeitsstrecke Madrid-Sevilla“  
Signal+Draht 1+2/99, Seiten 30-33
- [180] SAVE Consulting Scientists:  
“Accident probabilities for the transport of dangerous goods by rail“  
Bericht im Auftrag der Nederlandse Spoorwegen (NS), Apeldoorn, Niederlande, 1993
- [181] SBB aktuell Nr. 6, 1995
- [182] Schmeja-M.:  
“Realisierung eines Onboard-Fahrwerkdiagnosesystems“  
ZEVrail Glasers Annalen – 126, Tagungsband SFT Graz 2002, Seiten 258-266
- [183] Siegmann,-J., Große-Ch.  
“Die Zukunft von Gleisanschlüssen und Güterverkehrsanlagen in Ballungsräumen“  
VDI Bericht 1545 (2002)
- [184] Siegmann-J., Große-Ch., Heidmeier-S.  
Machbarkeitsstudie „Individualisierter Schienengüterverkehr“,  
AP 210 (Marktanforderungen)  
Gefördert durch das BMBF in den Jahren 2001 und 2002, Förderkennzeichen 19G1050
- [185] Sikora-H.  
Einleitung und Grußwort anlässlich des 1. Internationalen Workshops „Telematik im Schienengüterverkehr“ in Berlin am 14.09.00  
Veranstalter: IFV Bahntechnik Berlin
- [186] Steinwender-F., Christian-E.  
“Konstruieren im Maschinenwesen“  
Markt & Technik Buch- und Software-Verlag GmbH, München, 1997
- [187] „Das Bahnchaos nimmt kein Ende, Güterzug legt Strecke München-Ingolstadt lahm“  
Süddeutsche Zeitung vom 27.06.2003, Seite 45
- [188] UIC-Merkblatt 526-1 (Güterwagen - Puffer mit 105 mm Hub)  
UIC – Internationaler Eisenbahnverband, 16, Rue Jean Rey, F-75015 Paris  
(<http://www.uic.asso.fr>)
- [189] Verbandes der Chemischen Industrie  
<http://www.vci.de>
- [190] Weiss-S.  
“Derailment detectors fitted to Swiss tank wagons“  
Railway Gazette International, 03/2003, Seite 166

# Anhang

## A Durchschnittliche Transportgeschwindigkeiten und Standzeiten auf der Strecke Gersthofen-Äänekoski

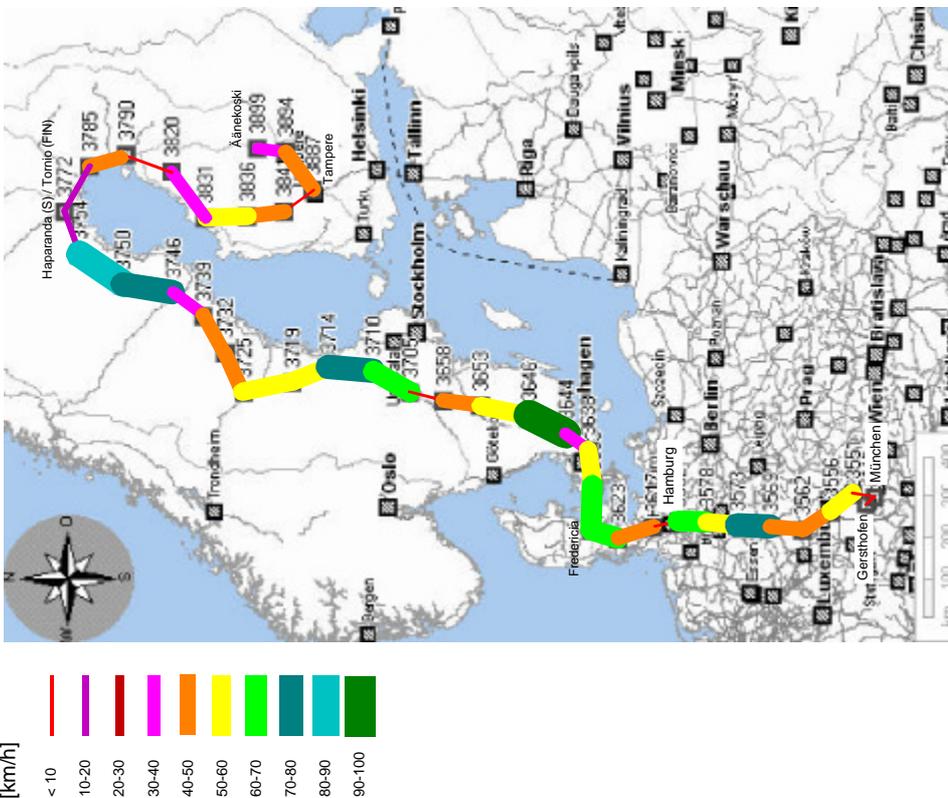
Äänekoski (FIN) - Gersthofen / Augsburg Rückfahrt 19.03.01-26.03.01, leer

Gesamtstreckenlänge: 3562,5 km  
Durchschnittsgeschwindigkeit 7 Tage: 22,8 km/h



Gersthofen / Augsburg - Äänekoski (FIN) Hinfahrt 10.03.01-17.03.01, beladen

Durchschnittsgeschwindigkeiten, bezogen auf die Abschnittslänge  
Gesamtstreckenlänge: 3599,9 km  
Durchschnittsgeschwindigkeit 7 Tage: 22,0 km/h



Durchschnittsgeschwindigkeit des gesamten Durchlaufs (18 Tage): 16,5 km/h

Bild 58: Repräsentative durchschnittliche Transportgeschwindigkeiten des Chemiekesselwagens [74]



## B Unfallbilder des Schienengüterverkehrs



**Bild 60: Kesselwagen nach einer Entgleisung bei langsamer Fahrt (2002)**



**Bild 61: Bahnhof Zürich-Affoltern nach der Entgleisung eines mit Benzin beladenen Güterzugs (08.03.1994)**



**Bild 62: Zugunglück in Wampersdorf infolge Bremsdefekt (mangelhafte Bremsprobe) am 26.02.2002 [150]**

## C Eisenbahn-Entgleisungen

Tabelle 13: Entgleisungsunfälle im Schienenverkehr

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
P	15.02.1901	Sydenham (AUS)	Entgleisung eines Personenzuges.	7/n.b.		[155]
P	01.07.1906	Salisbury (UK)	Personenzug entgleist und prallt mit entgegenkommendem Güterzug zusammen.	24/n.b.		[140]
P	18.01.1915	Guadalajara (MEX)	Ein Personenzug entgleist.	>500/n.b.		[140]
P	09.06.1925	Traverston (AUS)	Entgleisung eines Schnellzuges auf einer Brücke.	10/n.b.		[155]
P	16.12.1943	Rennert (USA)	Zugzusammenstoß eines Personenzuges mit einem entgleisten Zug.	74/54		[137], [134]
G	05.05.1947	Camp Mountain (AUS)	Ein Güterzug entgleist.	16/n.b.		[155]
G	30.06.1948	Rocky Ponds (AUS)	Ein Postzug entgleist.	4/19		[155]
P	06.02.1951	Woodbridge (USA)	Ein Vorortzug entgleist wegen zu hoher Geschwindigkeit.	84/n.b.		[140]
P	22.01.1956	Los Angeles (USA)	Ein Personenzug entgleist und stürzt um.	30/150		[140]
P	09.11.1963	Yokohama (JPN)	Zwei Passagierzüge fahren in einen entgleisten Güterzug.	162/120		[140]
P	26.07.1964	Custoias (PRT)	Entgleisung eines Passagierzugs wegen überhöhter Geschwindigkeit.	100/79		[137]
P	05.11.1967	Hither Green (UK)	Entgleisung wegen gebrochener Schiene.	49/78		[137]
P	07.03.1968	Marchtrenk (AUT)	Der Schnellzug „Wiener Walzer“ entgleist.	4/8		[170]
P	15.04.1970	Wien (AUT)	Der Expresszug Wien-Basel entgleist.	2/3		[170]

<sup>1</sup> Güter- bzw. Personenzug

<sup>2</sup> Umrechnungskurse vom 18.07.03: 1 SFr.  $\cong$  0,65 €, 1 US\$  $\cong$  0,89 €

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
P	09.02.1971	Aitrang (DEU)	Ein TEE entgleist wegen überhöhter Geschwindigkeit, Gegenzug fährt anschließend in die Trümmer.	24/42		[137]
P	21.07.1971	Freiburg i. Br. (DEU)	Ein D-Zug entgleist.	23/142		[137]
P	30.08.1974	Zagreb (YGW)	Entgleisung nahe des Bahnhofs.	153/60		[140]
P	18.01.1977	Sydney (AUS)	Entgleisung eines Personenzugs unter einer Straßenbrücke, die darauf einbricht.	83/200		[137]
P	18.01.1977	Granville (AUS)	Ein Passagierzug entgleist und zerstört Brückenkonstruktion.	83/200		[140], [155]
P	19.10.1979	Rodaun (DEU)	Ein Güterzug entgleist wegen Bremsversagens.	3/1		[170], [2]
G	10.11.1979	Mississauga (CAN)	Evakuierung von 250.000 Menschen nach der Entgleisung eines Gefahrgut-Güterzugs.			[124]
P	Juni 1981	Erfurt (DEU)	Ein D-Zug entgleist, wobei die entgleisten Wagen eine Böschung hinab stürzen.	14/93		[137]
P	31.08.1985	Argenton-Sur-Creuse (FRA)	Wegen überhöhter Geschwindigkeit entgleist ein Zug und fährt in einen entgegenkommenden Postzug.	43/38		[140]
P	17.04.1986	Laage (DEU)	Entgleisung der Lokomotive 243 069.	n.b./n.b.		[131]
P	26.09.1987	Potsdam (DEU)	Entgleisung der Lokomotive und dreier Wagen.	n.b./n.b.		[131]
P	08.07.1988	Kerala (IND)	Ein Personenzug entgleist.	105/n.b.		[146]
P	27.08.1988	Angermünde (DEU)	Entgleisung der Lokomotive mit anschließendem Umsturz der Lok und dreier Wagen.	n.b./n.b.		[131]
P	18.04.1989	Jahnsi (IND)	Ein Personenzug entgleist im Bahnhof.	167/n.b.		[140]
P	01.11.1989	Bihar (IND)	Ein Personenzug entgleist.	48/k.A.		[127]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
G	09.01.1990	Benzenschwill (CHE)	Entgleisung von neun Wagen eines Güterzuges wegen Achsheißläufer. Heißläufer wurde von Heißläuferortungsanlage nicht bemerkt, jedoch von einem Stationsbeamten, dessen Warnung jedoch zu spät kam.	0/0		[27]
P	09.05.1990	Lenzburg (CHE)	Entgleisung der Lokomotive und dreier Personenwagen eines InterCity wegen Montagefehlern bei der Weicheninstallation.			[6]
G	04.01.1991	Steinsäckingen (CHE)	Entgleisung von acht der vierzehn Kesselwagen eines Güterzuges, die mit Benzin beladen sind. Drei der vier Kesselwagen entzündeten sich. Etwa 75.000 Liter Benzin verbrennen, versickern oder laufen in die Kanalisation.	0/0		[132], [5]
G	15.02.1991	Thun (CHE)	Entgleisung dreier Coil-Güterwagen nach vorherigem Ansprechen einer Radlastwaage. Vmtl. war zuvor ein Coil auf einer Eisschicht gelagert worden und verrutscht.	0/0		[41]
P	27.02.1992	Rothrist (CHE)	Entgleisung eines NPZ-Wagens aufgrund Radreifenbruchs infolge Überhitzung.	0/0		[3]
G	16.03.1992	Aix-le-Bains (FRA)	Mehrere Kesselwagen eines Güterzuges entgleisen. Bei einem mit 20 Tonnen Dimethylamin beladenen Wagen bestand Explosionsgefahr.			[98]
G	01.07.1992	Superior (USA)	Beim Überfahren einer Flussbrücke entgleisen 13 Wagons eines Güterzuges. Austritt von 110.000 Litern einer benzolhaltigen Flüssigkeit.			[98]
P	25.08.1992	Vedeggio (CHE)	Wegen Weichendefekts entgleisen zwei Begleitwagen eines Huckepack-Zuges.			[43]
G	22.09.1992	Peti (BRA)	Entgleisung eines aus 118 Wagen bestehenden Kesselwagenzuges (Anz. entgleister Wagen ist unbekannt). Einige Kesselwagen platzen auf, wobei 39.000 Litern Benzin austreten.			[98]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
P	15.11.1992	Northeim (DEU)	Ein D-Zug fährt in die entgleis- ten Wagen eines Güterzugs, der einen Puffer verloren hatte.	11/52		[137]
G	13.12.1992	Peti (BRA)	Entgleisung eines Güterzuges mit Austritt von 20.000 Litern Dieselkraftstoff.			[98]
P	25.03.1993	Hanau (DEU)	Entgleisung eines ICE wegen falscher Weichenstellung.	n.b./n.b.		[54]
G	15.05.1993	Aumühle (DEU)	Der 17. von 22 leeren Kessel- wagen entgleist und reißt sechs weitere Wagen mit sich.			[98]
G	23.07.1993	Oberhausen (DEU)	Zwei Kesselwagen, die mit Pro- pylen beladen sind, entgleisen auf einem Betriebsgelände.			[98]
P	02.09.1993	Basel SBB (CHE)	Entgleisung zweier Personen- wagen bei Ausfahrt aus dem Bahnhof Basel SBB und an- schließende Kollision mit einem Brückpfeiler.			[24]
G	21.09.1993	Rothrist (CHE)	Entgleisung zweier Güterwagen im Weichenbereich des Bahn- hofs Rothrist. Anschließende Kollision der Lok des Gegenzu- ges mit einem der entgleisten und umgestürzten Wagen.			[45]
G	03.10.1993	Zschortau (DEU)	Entgleisung des letzten Wagens eines Güterzuges, der auf die Seite fällt und über 500 m mit- geschleift wird. Der Wagen prallt auf eine Lokomotive auf dem Nebengleis. Austritt von 50.000 Litern Die- selkraftstoff.			[98]
G	05.10.1993	Gotha (DEU)	Entgleisung von sieben Kes- selwagen mit Austritt von 20 Li- tern Methanol.			[98]
G	02.11.1993	Villingen- Schwenningen (DEU)	Drei Kesselwagen entgleisen, wobei einer davon umstürzt.			[98]
P	21.12.1993	Chaulne (FRA)	Ein TGV mit 300 km/h entgleist. Die Ursache war eine Kaverne unter dem Gleis.			[64]
G	30.01.1994	Westree (CAN)	23 Wagen eines Güterzuges entgleisen mit Austritt von 10.000 Litern Vinylacetat.			[98]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
G	02.03.1994	Kerala (IND)	27 Kesselwagen brennen nach einer Entgleisung aus.	0/0		[98]
P	08.03.1994	Pinetown (ZAF)	Eintritt einer Entgleisung wegen überhöhter Geschwindigkeit.	60/>200		[137]
G	08.03.1994	Zürich-Affoltern (CHE)	Entgleisung eines mit Benzin beladenen Güterzugs im Bahnhof Zürich Affoltern nach Radsatzlagerdefekt mit Austritt von 750.000 Litern Benzin.	0/0	Ca. 15.600.000 € (Ca. 24 Mio. SFr.)	[12], [10]
G	27.05.1994	Ziegelbrücke (CHE)	Drei von 37 Wagen eines Güterzuges entgleisen und stürzen um. Das Gleis und drei Weichen müssen ersetzt werden.			[44]
G	28.06.1994	Basel SBB (CHE)	Entgleisung dreier Güterwagen.	0/0		[26]
G	29.06.1994	Lausanne (CHE)	14 von 40 Kesselwagen eines Güterzuges entgleisen vor dem Bahnhof Lausanne. Sieben stürzen um, wobei 400 Litern Epichlorhydrin austreten.			[98]
G	17.08.1994	Mentor (USA)	11 Wagen eines 118 Wagen langen Güterzuges entgleisen mit Austritt von 500 Litern Vinylacetat.			[98]
P	22.09.1994	Bibala (AGO)	Ein Personenzug entgleist.	300/n.b.		[146]
G	20.10.1994	Amsteg (CHE)	Ein mit 60 Tonnen Chloroform beladener Kesselwagen entgleist wegen eines Achslagerheißläufers. 2.500 Liter Chloroform laufen aus. Rund 100 Kubikmeter Erde und Oberbau müssen erneuert werden. Die Ursache war vermutlich ein Achsheißläufer.	n.b./n.b.		[132]
G	02.11.1994	Durunka (EGY)	Entgleisung eines mit Benzin beladenen Güterzuges mit Austritt von 18.000 Litern Benzin. Einsatz von 20 Feuerwehren ohne Erfolg.	475/n.b.		[98]
P	30.12.1994	Madalay (MMR)	Ein Zug entgleist bei Bergauf-fahrt.	102/53		[140]
G	21.01.1995	Shawinigan (CAN)	28 Wagen eines 44 Wagen langen Güterzuges entgleisen. 11 der 28 Wagen werden undicht wobei 250.000 Liter Schwefel-			

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
			säure austreten.			
G	10.04.1995	Vieselbach (DEU)	Ein mit 35 Tonnen Propangas beladener Kesselwagen ent- gleist und stürzt um. Es besteht während der Bergungsarbeiten Explosionsgefahr.			[98]
P	15.05.1995	Ruchfeld (CHE)	Entgleisung der letzten drei Wagen eines Schnellzuges auf- grund einer unter dem Zug ge- stellten Weiche wegen Lötarbeiten im Stellwerk.	0/0		[17], [62]
G	17.06.1995	Corning (USA)	Entgleisung von 21 Wagen ei- nes Güterzuges mit Austritt und Brand von 58.000 Litern Propan			[98]
G	19.06.1995	Miami (USA)	Ein mit Chemikalien beladener Kesselwagenzug entgleist.			[98]
P	11.08.1995	Bludenz (AUT)	Entgleisung eines InterCity, be- stehend aus 12 Wagen und Lo- komotive mit 70 km/h. Sturz des Zuges in einen Bach.	3/100		[18]
G	19.09.1995	Dottikon (CHE)	Entgleisung von vier Wagen bei Einfahrt in den Bahnhof.	0/0	Ca. 650.000 € (Ca. 1 Mio. SFr.)	[29]
G	25.11.1995	Amsteg (CHE)	Entgleisung zweier Güterwa- gen.	0/0		[22]
G	24.12.1995	Halle (DEU)	Ein Kesselwagen entgleist, kippt um und wird 400 Meter mitgeschleift. Er reißt dabei auf und es treten 30.000 Liter Die- selkraftstoff aus.			[98]
P	27.01.1996	Postbauer-Hend (DEU)	Entgleisung des Triebfahrzeu- ges und des ersten Wagens auf einer Weiche.	0/1		[90]
P	26.02.1996	Blechhammer (DEU)	Entgleisung des Triebfahrzeu- ges und des ersten Wagens auf einer Weiche wegen Fehler im Weichenantrieb.			[90]
G	05.03.1996	Weyauwega (USA)	37 Wagen eines 81 Wagen lan- gen Güterzuges entgleisen und werden übereinandergescho- ben. Ein Wagen explodiert, drei weitere fangen Feuer. Austritt von 450.000 Litern Propan.			[98]
G	03.04.1996	Grellingen (CHE)	Entgleisung zweier Güterwagen	0/0		[31]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
			bei einer Rangierfahrt.			
P	10.04.1996	Neustadt (DEU)	Entgleisung des Triebfahrzeuges und der ersten beiden Wagen auf einer Weiche wegen unberechtigten Eingriffs eines Technikers.			[90]
G	11.04.1996	Wassen (CHE)	Entgleisung des gesamten Zuges mit 124 Achsen aufgrund falscher Zugfördervorschriften im abschüssigen Teil der Strecke.	0/0		[15]
P	16.04.1996	Knau-Auma (DEU)	Erster Wagen des Zuges RB 15110 mit einem Drehgestell wegen Spurerweiterung entgleist.			[90]
G	18.04.1996	Wellen – Wicher- ringen (DEU)	Zweiter Wagen des Güterzuges infolge Gleisverdrückung entgleist.		ca. 412.000 €	[90]
G	19.04.1996	Hanau (DEU)	Güterzug im Einfahrbereich des Bahnhofs aus unbekannter Ursache entgleist.		ca. 130.000 €	[90]
G	09.05.1996	Bensheim (DEU)	8 der 21 Kesselwagen eines Güterzuges entgleisen bei Einfahrt in den Bahnhof wegen Schienenbruchs.		ca. 46.000 €	[90]
G	01.06.1996	Schönebeck (DEU)	Der drittletzte Wagen eines Kesselwagen-Ganzzuges entgleist und stößt gegen einen Oberleitungsmast wodurch der Wagen explodiert. Drei weitere entgleiste Wagen fangen Feuer. Insgesamt entgleisen 10 der 18 Wagen. Ursache Spurerweiterung. Austritt von 200.000 Litern Vinylchlorid.		ca. 3.300.000 €	[98], [90]
G	12.06.1996	Kirchhorsten (DEU)	Ein Tragfederbruch am 6. Wagen führt zur Entgleisung von sechs Wagen.			[90]
P	19.06.1996	Muldenstein (DEU)	Entgleisung des Triebfahrzeuges und der ersten drei Wagen wegen eines Weichenfehlers.			[90]
P	30.06.1996	Aachen (DEU)	Erstes Drehgestell des vierten Wagens des D 425 entgleist infolge eines losen Radreifens.			[90]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
P	08.07.1996	Neudorf (DEU)	Zwei Wagen des Dg 64080 entgleisen wegen Achsschenkelbruchs am sechszehnten Wagen.			[90]
G	06.08.1996	Petershausen (DEU)	Entgleisung von zwölf RoLa <sup>1</sup> -Wagen. Anschließende Kollision mit abgestellter S-Bahn und Ausbruch von Feuer. Ursache ist vmtl. zum Einbau bereit gelegtes Schienenstück, das im Lichtraumprofil lag oder ein Fehler am Drehgestell.	0/0		[57], [90]
G	11.08.1996	Kerwood (CAN)	35 Wagen eines 112 Wagen langen Güterzuges entgleisen und werden teilweise übereinander geschoben. Austritt von 400 Litern Schwefelsäure.			[98]
P	22.08.1996	Dannenberg Ost – Lüneburg (DEU)	Bei RB 3270 entgleist die erste Achse des Steuerwagens aus unbekanntem Grund.			[90]
P	11.09.1996	Niederhövels (DEU)	Das Triebfahrzeug des SE 6747 entgleist im Weichenbereich wegen schlechter Gleislage.			[90]
G	28.09.1996	Köln (West) (DEU)	Entgleisung von drei Achsen eines Güterzuges bei Bahnhofseinfahrt wegen mangelhafter wagentechnischer Prüfung.			[90]
G	05.11.1996	Waghäusel (DEU)	Fünfzehn Wagen entgleisen durch einen Heißläufer nach einer Weichenüberfahrt. Neun Wagen stürzen um, es treten 40.000 Liter Dieseldieselkraftstoff aus.			[98], [90]
G	05.11.1996	Kornwestheim (DEU)	Entgleisung der ersten Achse des ersten Drehgestells des vierzehnten Wagens aus unbekanntem Grund bei Einfahrt in den Bahnhof.			[90]

<sup>1</sup> RoLa: Rollende Landstraße

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
G	06.11.1996	Neuhof (DEU)	Entgleisung von 12 Wagen bei Bahnhofsabfahrt von denen neun Wagen umstürzen. Ursache: Zug fuhr im Bahnhofs-bereich über den vom fünften Wagen abgefallenen Puffer			[90]
P	24.11.1996	München (DEU)	Der ICE 32683 entgleist während einer Überführungsfahrt auf einer Weiche aus unbekanntem Grund.			[90]
P	27.11.1996	Mettlach (DEU)	Das nachlaufende Drehgestell des Triebfahrzeuges und das erste Drehgestell des ersten Wagens der RB 5859 entgleisen auf einer Weiche wegen Radreifenschadens.			[90]
P	28.11.1996	Berlin-Lichtenberg (DEU)	Bei der Abfahrt aus dem Bahnhof entgleist das zweite Drehgestell des führenden Steuerwagens ET 477122 wegen menschlichen Versagens.			[90]
G	05.12.1996	Freilassing (DEU)	Drei beladene Wagen eines ein-fahrenden Güterzugs entgleisen wegen eines Heißläufers.			[90]
G	09.12.1996	Dresden (DEU)	Entgleisung der ersten drei Wagen eines Güterzugs wegen eines mitgeschleiften, vergesenen Hemmschuhs.			[90]
P	20.12.1996	Neukirchen-Klaffenbach (DEU)	Der Steuerwagen der RB 8979 entgleist in einer Weiche wegen menschlichen Versagens.			[90]
G	21.12.1996	Mainz (DEU)	Entgleisung von drei der acht-zehn Wagen eines Güterzuges wegen ungünstigen Zusammenspiels zwischen Fahrweg und Fahrzeug (u.a. einseitige Beladung)		Ca. 1.000.000 €	[90], [164]
P	28.12.1996	Köthen (DEU)	Entgleisung einer Achse des zweiten Wagens des IC 745 im Weichenbereich wegen Weichenfehler.			[90]
G	08.01.1997	Lehrberg (DEU)	Der fünfte Wagen eines Güter-zuges entgleist auf einer Weiche infolge Radbruchs.		Ca. 300.000 €	[90]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
P	12.01.1997	Piacenza (ITA)	Pendolino ETR460 entgleist wegen überhöhter Geschwindigkeit.	8/>50		[137], [69]
G	15.01.1997	Cordoba (ESP)	18 von 20 Kesselwagen entgleisen mit Austritt von 500.000 Litern Dieseldieselkraftstoff.			[98]
G	04.02.1997	Apach (FRA)	Ein Castor-Güterzug entgleist.	0/0		[75]
G	07.02.1997	Gurnee (USA)	Ein Güterzug entgleist.	0/0	Ca. 550.000 € (Ca. 618.000 US\$)	[149]
G	20.02.1997	Grifhorn Stadt – Warenholz (DEU)	Ein Güterzug in Überführungsfahrt entgleist in einer Weiche.		Ca. 1.000 €	[90]
G	22.02.1997	Fürth – Nürnberg (DEU)	Ein Güterzug entgleist mit zwei Wagen wegen Achsbruch.		Ca. 280.000 €	[90]
P	03.03.1997	Khaniwal (PAK)	Ein Schnellzug entgleist.	135/n.b.		[146]
P	16.04.1997	Wittmund (DEU)	Ein Personenzug entgleiste wegen zu früh gestellter Weiche.			[90]
G	19.04.1997	Aachen (West) (DEU)	Bei Bahnhofsausfahrt entgleist die Schiebelokomotive eines Güterzuges mit einer Achse.			[90]
P	27.04.1997	Sternschanze (DEU)	Ein Triebfahrzeug der S 8803 entgleist wegen einer zu früh gestellter Weiche.		Ca. 180.000 €	[90]
G	20.05.1997	Sulzbach Ro- senberg (DEU)	Die nachfolgende Schiebelokomotive fährt auf den letzten Wagen des Zuges auf und bringt diesen zum Entgleisen.		Ca. 92.000 €	[90]
G	21.05.1997	Rohrdorf – Landl (DEU)	Entgleisung eines Güterzuges mit sieben Radsätzen wegen eines vergessenen Hemmschuhs.			[90]
G	29.05.1997	Sangershausen (DEU)	Ein Geschobener Rangier-Güterzug entgleist auf einer Weiche.		Ca. 150.000 €	[90]
P	03.06.1997	Hermisdorf- Klosterlausitz (DEU)	Bei Einfahrt in den Bahnhof entgleist vom RE 3474 das Triebfahrzeug mit vier Achsen und die erste Achse des ersten Wagens.			[90]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
G	10.06.1997	Baden (CHE)	Entgleisung eines leeren Kesselwagens wegen Federbruchs mit Umsturz des Wagens und Kollision mit entgegenkommender S-Bahn.	0/0	Ca. 745.000 € (Ca. 300.000 SFr.)	[23]
G	24.06.1997	Castione-Arbedo (CHE/ITA)	Kupplungsbruch zwischen zweitem und drittem Huckepackwagen führte zur Entgleisung der ersten beiden Wagen.	0/n.b.		[52]
G	25.06.1997	Helmstedt (DEU)	Entgleisung eines Wagens eines Kesselwagenzugs im Bahnhof Helmstedt mit Austritt von 25.000 Litern Natriumhydroxid (Natronlauge).		Ca. 270.000 €	[98], [90]
P	02.08.1997	Rom (ITA)	Entgleisung eines Schnellzuges im Bahnhof Romana Casilina vmtl. wg. überhöhter Geschwindigkeit.	0/4		[9]
P	11.08.1997	Birkenwerder (DEU)	Der Steuerwagen der RB 4769 entgleist mit einem Drehgestell wegen vorzeitiger Fahrstraßenauflösung.	0/10	Ca. 5.000 €	[90]
P	13.08.1997	Spiez (CHE)	Leere Personenwagen entgleisen beim Rangieren wobei eine Weiche und mehrere Drehgestelle beschädigt werden.	0/0		[67]
G	09.09.1997	München (DEU)	Ein Güterzug entgleist. Der viertletzte Wagen stürzt um, die dritt- und zweitletzten Wagen entgleisen mit je einem Drehgestell. Ursache: Schaden an einer Tragfeder.		Ca. 500.000 €	[90]
G	10.09.1997	Peine (DEU)	Ein Güterzug entgleist.	0/0	Ca. 1.000.000 €	[120]
G	24.09.1997	Bitterfeld (DEU)	Bei Einfahrt in den Bahnhof entgleist ein Güterzug auf einer Weiche mit zwei Achsen.			[90]
G	07.10.1997	Nürnberg – Mögeldorf (DEU)	Ein Güterzug entgleist auf einer Gleissperre wegen eines Missverständnisses mit dem Fahrdienstleiter, der versehentlich die Weiche falsch stellte.		Ca. 65.000 €	[90]
G	29.10.1997	Rickenbach-Attikon (CHE)	Ein Radbruch bei einem Wagen führt zur Entgleisung von 8 der 24 Wagen bei ca. 80 km/h. Entgleisung fand vmtl. 2 km vor	0/0	Mehrere 100.000 SFr.	[50]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
			dem Bahnhof statt.			
G	03.11.1997	Göttingen (DEU)	Entgleisung eines Güterzuges wegen vergessenen Hemmschuhs.		Ca. 225.000 €	[90]
G	05.11.1997	Bellinzona (CHE)	Entgleisung eines Zementwagens im Bahnhof Bellinzona, der durch den Svito-Tunnel gezogen wurde und anschließend in Schräglage zum Stehen kam. Ursache vmtl. Achsbruch.	0/0	Ca. 455.000 € (Ca. 700.000 SFr.)	[49]
G	20.11.1997	Elsterwerda (DEU)	Entgleisung eines mit 1,3 Mio. Litern Benzin beladenen Güterzuges im Bahnhof Elsterwerda; Explosion eines Kesselwagens mit Austritt von 600.000 Litern Benzin.	1/9		[130], [98]
G	04.12.1997	Nersingen (DEU)	Der dritte Wagen eines Güterzuges entgleist infolge einer glühenden Achse wegen eines Achsheißläufers. Mehrere Wagen stürzen ins Gegengleis. Das Gleis ist auf 4,1 km beschädigt.		Ca. 3.900.000 €	[90]
G	12.12.1997	Hilden – Im- migrath (DEU)	Aufgrund eines Oberbauschadens entgleist der zweite Wagen eines Güterzuges mit einer Achse.		Ca. 50.000 €	[90]
P	16.12.1997	Ulm – Sigmarin- gen (DEU)	Ein Regionalexpress entgleist infolge eines Schienenbruchs mit dem letzten Drehgestell der zweiten Einheit.		Ca. 135.000 €	[90]
G	02.01.1998	Hannover Wülfel (DEU)	Der letzte Wagen eines Güterzuges entgleist wegen eines vergessenen Hemmschuhs.		Ca. 42.000 €	[90]
G	30.01.1998	Fulda (DEU)	Bei Ausfahrt aus dem Bahnhof entgleisen vier Wagen, von denen zwei Kesselwagen überpuffern. Ursache ist ein vergessener Hemmschuh.		Ca. 105.000 €	[90]
P	02.02.1998	Zürich (CHE)	Entgleisung des letzten Wagens eines Schnellzuges wegen Schienenbruchs auf ca. 2 m Länge. Anschließende Kollision eines weiteren Zuges mit dem entgleisten Zug	1/n.b.		[46]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
G	04.02.1998	Jaunde (CMR)	Entgleisung eines Kesselwagenzuges, der mit Kerosin beladen war. Anschließend Kollision mit einem weiteren Zug.	120/n.b.		[98]
P	08.02.1998	Aachen (DEU)	Eine Regionalbahn entgleist mit drei Achsen.		Ca. 10.700 €	[90]
G	17.02.1998	Bönnen – Selmig (DEU)	Bei Verlust der Ladung eines Güterzuges entgleist ein Drehgestell eines nachlaufenden Wagens.		Ca. 130.000 €	[90]
G	07.03.1998	Oberhafen – Hamburg (DEU)	Nach einer Zwangsbremmung tritt eine unbemerkte Überpufferung wegen einer mangelhaften Bremsprobe auf. Beim Wiederanfahren entgleisen fünf Wagen.		Ca. 266.000 €	[90]
G	10.03.1998	Konz (DEU)	Bei Einfahrt in das Überholungsgleis entgleist ein Güterzug mit 12 von 23 Wagen.		Ca. 390.000 €	[90]
G	23.03.1998	Nürnberg (DEU)	Sechs Wagen eines Güterzuges entgleisen bei der Ausfahrt wegen eines Weichenzugenbruchs.		Ca. 160.000 €	[90]
G	25.03.1998	Buttenheim – Eggolsheim (DEU)	Der erste Wagen eines Güterzuges entgleist und beschädigt den Oberbau auf ca. 400m Länge wegen eines Heißläufers.		Ca. 270.000 €	[90]
P	24.04.1998	Gland VD (CHE)	Entgleisung von drei IC-Wagen bei ca. 140 km/h aufgrund Sabotage durch eine Platte im Gleis. Durch die Beschädigung einer Weiche aufgrund der Entgleisung entgleisten beim nachfolgenden Personenzug ein Drehgestell.	0/0	Ca. 650.000 € (Ca. 1.000.000 SFr.)	[53]
G	30.04.1998	Appenweiler – Offenburg (DEU)	Nach Ladegutverlust entgleist ein Güterwagen.		Ca. 370.000 €	[90]
G	07.05.1998	Bielefeld (DEU)	Entgleisung eines Kesselwagens beim Rangieren.			[98]
G	19.05.1998	Robertson (AUS)	Ein Güterzug entgleist.	0/2		[155]
G	29.05.1998	Saalfeld (DEU)	Unter einem Güterzug wird die Fahrstraße aufgelöst und eine Weiche zu früh gestellt, so dass der 19. und 20. Wagen entglei-		Ca. 185.000 €	[90]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
			sen.			
P	03.06.1998	Eschede (DEU)	Entgleisung eines ICE wegen Radreifenbruchs.	101/300		[137], [139]
P	09.06.1998	Concord-West (AUS)	Ein leerer 8-Wagen-Zug entgleist.	0/2		[155]
G	12.06.1998	Neunkirchen (DEU)	Geschoben entgleisen vier Wagen eines Güterzuges bei Bahnhofseinfahrt.		Ca. 2.500 €	[90]
G	22.06.1998	Hildesheim (DEU)	Sieben Wagen eines Güterzuges entgleisen wegen eines vergessenen Hemmschuhs.		Ca. 890.000 €	[90]
G	30.06.1998	Lübeck (DEU)	Nach einer Zwangsbremmung überpuffern und entgleisen zwei Güterwagen.		Ca. 80.000 €	[90]
P	02.07.1998	Ramstein (DEU)	Ein Zug entgleist wegen einer Weiche, die nicht in ihrer Endlage war.		Ca. 8.000 €	[90]
G	08.07.1998	Aachen – Gemmenich (DEU)	Bei einem nachgeschobenen Güterzug entgleist während des Gleiswechsels der vorletzte Wagen.		Ca. 35.000 €	[90]
G	13.08.1998	Göttingen (DEU)	Ein Wagen eines Güterzuges entgleist wegen eines vergessenen Hemmschuhs in einer Weiche.		Ca. 9.000 €	[90]
P	16.08.1998	London (UK)	Ein InterCity entgleist wegen Radbruchs.	0/0		[106]
G	21.08.1998	Senftenberg (DEU)	Wegen zu früher Weichenstellung entgleist der fünftletzte Wagen eines Güterzuges.		Ca. 28.000 €	[90]
P	12.09.1998	Horrem – Bedburg (DEU)	Ein Regionalzug entgleist mit erstem Drehgestell wegen eines Hindernisses im Lichtraumprofil.		Ca. 30.000 €	[90]
P	17.09.1998	Kakia (EL)	Entgleisung eines Schnellzuges mit ca. 50 bis 60 km/h. Ursache war vmtl. schlechter Instandhaltungszustand des Gleises.	0/0		[63]
G	18.09.1998	Karlsruhe (DEU)	Wegen schlechter Gleislage entgleist der siebte Wagen eines Güterzuges mit einer Achse.		Ca. 800 €	[90]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
P	27.09.1998	Crossen (DEU)	Der Steuerwagen einer Regionalbahn entgleist wegen vorzeitiger Fahrstraßenauflösung und unzeitiger Weichenstellung.			[90]
P	02.10.1998	Hamburg – Langenfelde (DEU)	Die Zuglokomotive entgleist auf einer Weiche wegen Spurerweiterung.		Ca. 130.000 €	[90]
P	23.10.1998	München Ost (DEU)	Das Triebfahrzeug eines D-Zuges entgleist mit dem nachlaufenden Drehgestell wobei eine Überpufferung des ersten Wagens mit der Lok auftritt.		Ca. 200.000 €	[90]
G	30.10.1998	Fulda (DEU)	Die ersten drei Wagen hinter der Lok eines 38 Wagen langen Güterzuges entgleisen. Ursache: vmtl. ein vergessener Hemmschuh.			[98]
G	13.11.1998	München Nord – Kornwestheim (DEU)	Zwei Wagen eines Güterzuges entgleisen wegen einer defekten Radscheibe einer der beiden Wagen.		Ca. 300.000 €	[90]
P	23.11.1998	Waiblingen (DEU)	Eine S-Bahn entgleist wegen Schienenbruchs mit 10 Achsen und dringt in das Lichtraumprofil des Gegengleises ein.		Ca. 390.000 €	[90]
P	26.11.1998	Punjab (IND)	Ein Expresszug fährt in einen anderen entgleisten Personenzug.	210/k.A.		[127]
G	18.12.1998	Klein Bünzow – Anklam (DEU)	Elf Wagen und die Lokomotive eines Güterzuges mit 16 Wagen entgleisen und dringen in das Lichtraumprofil des Gegengleises ein. Ca. 200m Gleis werden dabei zerstört.		Ca. 2.225.000 €	[90]
P	14.01.1999	Minden (DEU)	Das erste Drehgestell des ersten Wagens entgleist wegen eines Fehlers am Bremsgestänge.		Ca. 74.000 €	[90]
P	19.01.1999	Hannover (DEU)	Entgleisung des ICE2 „Theodor-Fontane“ durch Weichenbruch.	n.b.	Ca. 430.000 €	[151], [107]
G	04.02.1999	Friedberg (DEU)	Wegen vorzeitiger Fahrstraßenauflösung entgleist ein Güterzug mit vier Drehgestellen.		Ca. 380.000 €	[90]
G	08.02.1999	Braunschweig (DEU)	Entgleisung eines mit Ammoniaklösung beladenen Kesselwagens in Bahnhofsnähe vmtl.	0/0		[101]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
			wegen eines Weichendefekts.			
P	18.02.1999	Immenstadt (DEU)	Ein InterCity entgleist auf einer Weiche mit dem hinteren Drehgestell des drittletzten Wagens wobei die restlichen Wagen auf das Gegengleis laufen und dort mit einem entgegenkommenden Zug kollidieren.	2/n.b.	Ca. 2.010.000 €	[90]
G	01.03.1999	Darmstadt (DEU)	Auf der Strecke Darmstadt-Heidelberg entgleist ein Güterzug. 14 Wagen stürzen um. Ursache: Radfehler.	0/0	Ca. 1.500.000 Mio. €, 760 m Gleis zerstört	[125], [70]
G	01.03.1999	Göttingen – Mengershausen (DEU)	Ein Güterzug von Maschen nach Nürnberg bleibt wegen eines Heißläufers im Leinebuschtunnel liegen. 14 von 24 Wagen entgleisen.		Ca. 4.600.000 €	[90]
G	02.03.1999	Jühnde (DEU)	Auf der ICE-Strecke Hannover-Würzburg springt ein mit Papier und Zellstoff beladener Wagen aus den Schienen und brennt in einem Tunnel bei Jühnde aus. Ursache: Achslager-Heißläufer.	0/0	Mehrere Mio. €	[125] , [70]
G	02.03.1999	Darmstadt (DEU)	Entgleisung eines Güterzuges mit 20 Wagen auf der Strecke Darmstadt-Heidelberg.	0/0		[99]
G	05.03.1999	Karow – Bies- dorfer Kreuz (DEU)	Wegen verlorener Ladung wurden die Aufbauten eines Wagens erheblich beschädigt. Dieser Wagen entgleiste kurzfristig. Erhebliche Schäden an ortsfesten Einrichtungen.		Ca. 340.000 €	[90]
P	06.03.1999	Kiel (DEU)	Bei einer Rangierfahrt entgleist ein Regionalexpress im Bahnhof.	0/0		[125]
G	07.03.1999	Lauf (DEU)	Vier Güterwagen entgleisen vermutlich wegen einer falsch gestellten Weiche. Ein Güterwagen stürzt um.	0/0	Ca. 500.000 €	[100], [102], [125]
P	09.03.1999	Obergrafendorf (AUT)	Entgleisung eines Personenzuges in einer Kurve wegen überhöhter Geschwindigkeit.	0/6		[151]
P	15.03.1999	Wiesbaden (DEU)	Entgleisung eines Personenzuges wegen einer abgeschlossenen Gleissperre.	0/0		[151]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
G	23.03.1999	Günstädtel (DEU)	Bei Einfahrt in den Bahnhof entgleiste der vorletzte Wagen in einer Weiche wegen vorzeitiger Fahrstraßenauflösung und unzeitiger Weichenstellung.			[90]
P	17.04.1999	Koblenz (DEU)	Nachtzug entgleist mit ca. 100 km/h aufgrund eines monatelang bekannten Schienenbruchs.	n.b./ n.b.	Ca. mehrere Mio. €	[151], [126]
G	22.04.1999	Nürnberg (DEU)	Wegen eines vergessenen Hemmschuhs entgleisten zwei Wagen in einer Weiche.		Ca. 50.000 €	[90]
P	24.04.1999	Buchloe (DEU)	Wegen eines Fehlers des Triebfahrzeugführers entgleist ein leerer Personen-Triebzug auf einer Weiche.		Ca. 50.000 €	[90]
G	27.04.1999	Turbental (CHE)	Entgleisung eines Güterwagens im Bahnhof Turbenthal.	0/0		[42]
G	28.04.1999	Alheim (DEU)	Zwischen zwei Tunneln auf einer ICE-Strecke entgleisen bei einem Containerzug-Güterzug bei ca. 120 km/h, der 16 Wagen führte, die Wagen fünf bis acht und führen zur Zugtrennung. Zwei Wagen stürzen im Tunnel um und verkeilten sich.		Ca. 3.600.000 €	[98], [151]
P	07.05.1999	Neuss (DEU)	Bei Bahnhofseinfahrt entgleist das Triebfahrzeug mit einer Achse des ersten Drehgestells wegen eines Gleislagefehlers.		Ca. 40.000 €	[90]
G	13.05.1999	Orxhausen – Gehrenrode (DEU)	Der letzte Wagen eines Güterzuges entgleist nach einem Achsweißläufer in einem Weichenfeld.		Ca. 1.000.000 €	[90]
G	14.05.1999	Hannover- Göttingen (DEU)	Entgleisung eines Güterwagens auf der Strecke Hannover-Göttingen infolge eines defekten Radlagers.	0/0	Ca. mehrere Mio. €	[108]
P	30.05.1999	Linz (AUT)	Entgleisung eines Regionalzuges bei 80 km/h.	0/0		[178]
P	31.05.1999	Sachseln (CHE)	Entgleisung des Steuerwagens eines Wendezuges durch eine unter dem Wagen gestellte Weiche.	0/0		[40]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
G	08.06.1999	Lahr (DEU)	Entgleisung zweier mit Benzin beladener Kesselwagen eines Güterzuges wegen Spurerweiterung.	n.b./ n.b.	Ca. 6.500.000 €	[98], [90]
G	29.06.1999	Jarplund-Weding (DEU)	Entgleisung zweier Güterwagen. Ladegut eines Wagens: Propan.			[98]
P	10.07.1999	Hornsby (AUS)	Ein Vorortzug entgleist.	0/3		[134]
P	22.07.1999	Sargard (DEU)	Bei der Einfahrt in den Bahnhof entgleist das vorletzte Drehgestell des nachlaufenden Steuerwagens aus unbekannter Ursache.		Ca. 9.000 €	[90]
P	22.07.1999	Reiden (CHE)	Entgleisung der Lokomotive und des ersten Wagens eines Inter-City.	0/0	Ca. 65.000 € (Ca. 100.000 SFr.)	[153], [20]
G	24.07.1999	Reichertshofen (DEU)	Ein Zug der „Rollenden Landstraße“ entgleist mit drei Drehgestellen wegen eines Heißläufers. Erhebliche Schäden an ortsfesten Einrichtungen.		Ca. 400.000 €	[90]
G	26.07.1999	Solothurn (CHE)	Entgleisung von sechs Wagen im Weichenbereich des Bahnhofs Solothurn.	0/0	Ca. 650.000 € (Ca. 1.000.000 SFr.)	[51]
P	05.08.1999	Merzig (DEU)	Das Triebfahrzeug und vier Wagen entgleisen bei Einfahrt in den Bahnhof wegen einer unter dem Zug umgestellten Weiche.		Ca. 260.000 €	[90]
G	30.08.1999	Sulzdorf – Schwäbisch Hall (DEU)	Kurz vor der Bahnhofseinfahrt entgleist eine Achse vmtl. im Zusammenspiel zwischen Bremslängsdruckkräften und der Bremsstellung.		Ca. 1.500 €	[90]
G	25.09.1999	Wunstorf – Lehrte (DEU)	Siebter Wagen der 19 Wagen eines Güterzuges wegen Achsheißläufers entgleist.		Ca. 1.600.000 €	[90]
G	29.09.1999	Hamburg (DEU)	Güterzug wegen Achsheißläufers mit Achslagerverlust entgleist.		Ca. 3.400.000 €	[90]
G	30.09.1999	Winsen (DEU)	Güterzug auf der Strecke Hamburg-Hannover entgleist. Güterwagen wurden ca. 4 Kilometer mitgeschleift.	0/0	Ca. mehrere Mio. €	[151], [103]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
G	09.10.1999	Bremen (DEU)	Bei Ausfahrt aus dem Rangierbahnhof entgleiste der letzte Wagen mit beiden Drehgestellen und stellte sich quer.		Ca. 560.000 €	[90]
G	23.10.1999	Neusiedl (AUS)	Ein Güterzug entgleist.	n.b./n.b.		[2]
G	16.11.1999	Burgdorf (CHE)	Entgleisung dreier Güterwagen.	0/0		[21]
P	20.11.1999	Les Avants VD (CHE)	Entgleisung eines Personenzuges.	0/0		[58]
P	25.11.1999	Köln (DEU)	Als ein Leer-Reisezug eine Weiche überfuhr brach bei dieser die Weichenzunge.			[90]
G	27.11.1999	Bludenz (AUS)	Entgleisung eines Gefahrgutkesselwagens im Bhf. Bludenz wegen Blattfederbruchs.			[98], [170]
P	27.11.1999	Hamburg (DEU)	Beim Überfahren einer Weiche entgleist die Zuglokomotive wegen alter Radschäden.		Ca. 250.000 €	[90]
P	29.11.1999	Dresden (DEU)	Wegen vorzeitiger Fahrstraßenauflösung und Weichenstellung entgleist ein InterRegio		Ca. 56.000 €	[90]
G	30.11.1999	Goßkarolinenfeld – Ostermünchen (DEU)	Wegen eines Defekts am Drehgestellrahmen entgleisen 48 Achsen eines Güterzuges.		Ca. 500.000 €	[90]
P	14.12.1999	Portland (USA)	Ein Personenzug entgleist auf einer Brücke.			[134]
G	21.12.1999	Rosenheim – Brannenburg (DEU)	Eine über vier Kilometer unentdeckte Entgleisung wird durch den Fahrdienstleiter Raubling optisch bemerkt. Die Heißläuferortungsanlage, die ca. 50 km vorher überfahren wurde, sprach nicht an.		Ca. 1.400.000 €	[90]
G	22.12.1999	Anchorage (USA)	Entgleisung eines Güterzuges wegen starker Schneefälle. Entgleisung der drei Güterzuglokomotiven und 15 Kesselwagen. Vier Kesselwagen werden leck.	0/0		[55]
G	23.12.1999	Nürnberg (DEU)	Ein Güterzug prallt auf einen vergessenen Hemmschuh, der sich anschließend in einer Weiche verkeilt wodurch der erste		Ca. 2.500 €	[90]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
			Wagen entgleist.			
G	27.12.1999	Krempdorf (DEU)	Entgleisung zweier mit Salpetersäure beladener Kesselwagen eines Güterzuges. Schäden am Gleis auf mehr als einem Kilometer. Kein Austritt von Gefahrgut	0/0		[109], [98]
G	03.01.2000	Hannover (DEU)	Bei der Ausfahrt wird ein vergessener Hemmschuh mitgeschleift, der sich in einer Weiche querstellt. Ein Wagen entgleist und gleist sich selbst kurz danach wieder auf.		Ca. 1.000 €	[90]
G	12.01.2000	Homburg – Bexbach (DEU)	Die Lokomotive eines Güterzuges entgleist aus bisher unbekannter Ursache. Vmtl. war ein Montagefehler an der Radsatz-Federung ursächlich.		Ca. 4.500 €	[90]
G	18.01.2000	Mainz (DEU)	Wegen Schienenbruchs (ca. 50 cm) entgleist ein Drehgestell eines Druckgaskesselwagens bei der Bahnhofseinfahrt.		Ca. 600 €	[90]
P	06.02.2000	Brühl (DEU)	Ein Zug entgleist wegen überhöhter Geschwindigkeit.	9/100		[140]
G	10.02.2000	Fürstenhausen (DEU)	Drei Wagen eines Güterzuges entgleisen im Weichenbereich wegen eines mitgeschleiften Hemmschuhs. Fehler des Triebfahrzeugführers, der für die Zugvorbereitung verantwortlich war.		Ca. 100.000 €	[90]
P	14.02.2000	Fulda (DEU)	Ein Regionalexpress entgleist bei Ausfahrt aus dem Bahnhof wegen eines Schienenbruchs in der Weiche.	0/0	Ca. 30.000 €	[105], [90]
G	16.02.2000	Osnabrück (DEU)	Acht Gefahrgut-Güterwagen entgleisen. Es kommt zu 60 Tonnen Gefahrgutaustritt (Acrylnitril).	0/3		[87], [147], [98]
P	15.03.2000	Carbondale (USA)	Ein Personenzug entgleist.			[134]
P	15.03.2000	Berlin (DEU)	Eine S-Bahn entgleist wegen Radscheibenbruchs.		Ca. 15.000 €	[90]
G	18.03.2000	Linz	Ein Güterzug entgleist im Rangierbahnhofsgebiet und stürzt	0/0		[170]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
		(AUT)	auf das Nachbargleis. Eine Kollision mit einem Eurocity kann nur durch Zufall verhindert werden.			
P	22.03.2000	Zirndorf (DEU)	Ein Stadt-Express entgleist mit drei Drehgestellen wegen einer abgefallenen Lichtmaschinen-Riemenscheibe.		Ca. 21.000 €	[90]
G	25.03.2000	Pians (AUT)	Ein Güterzug entgleist im Einfahrweichenbereich des Bahnhofs Pians. Mehrere Güterwagen werden noch über 3 Kilometer über die Trisannabrücke mitgeschleift. Entgleisungsursache ist ein Tragfederbruch.	0/0		[71], [16]
P	03.04.2000	Ottendorf – Dresden (DEU)	Wegen baulicher Mängel entgleist ein Stadt-Express am Bahnübergang.	0/5	Ca. 500 €	[90]
G	06.04.2000	Nürnberg (DEU)	Bei Einfahrt in den Rangierbahnhof entgleist ein Wagen wegen eines Tragfederbruchs.		Ca. 1.000 €	[90]
P	18.04.2000	Charleroi (BEL)	Ein Personenzug entgleist und kollidiert mit einem entgegenkommendem Güterzug.	1/22		[134]
G	19.04.2000	Einingen (CHE)	Entgleisung eines mit Schotter beladenen Güterzuges im Bahnhof Einingen. Vier der sieben Wagen entgleisen	0/0	Ca. 325.000 € (Ca. 500.000 SFr.)	[30]
P	20.04.2000	Krummenau (CHE)	Entgleisung des am Zugende laufenden Triebwagens bei Einfahrt in den Bahnhof Krummenau. Beschädigung von 350 Meter Gleis und einer Weiche.	0/0		[32]
P	26.04.2000	Bad Berka (DEU)	Eine Regionalbahn entgleist mit der ersten Achse wegen eines Weichenfehlers.			[90]
P	03.05.2000	Sondershausen (DEU)	Eine Regionalbahn entgleist mit der ersten Achse wegen Radsatzwellenbruch.		Ca. 5.000 €	[90]
G	03.05.2000	New Iberia (USA)	Mehrere Gefahrgut-Güterwagen entgleisen, es kommt zu Gefahrgutaustritt.	n.b./ n.b.		[135]
G	05.05.2000	Oberhausen (DEU)	Ein Güterzug entgleist bei Ausfahrt aus dem Bahnhof mit den ersten vier Wagen wegen eines vergessenen Hemmschuhs.		Ca. 1.000 €	[90]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
G	06.05.2000	Karlsruhe (DEU)	Entgleisung des letzten Wagens eines Güterzuges wegen vorzeitiger Fahrstraßenauflösung und Weichenstellung unter dem Zug.		Ca. 8.000 €	[90]
G	06.05.2000	Rodi (CHE)	Entgleisung von zwei Wagen eines Güterzuges im Weichenbereich.	0/0	Ca. 130.000 € (Ca. 200.000 SFr.)	[129], [37]
G	09.05.2000	Neuburg (DEU)	Entgleisung des letzten Wagens eines Güterzuges wegen vorzeitiger Fahrstraßenauflösung und Weichenstellung unter dem Zug.		Ca. 150.000 €	[90]
P	09.05.2000	Sachseln (CHE)	Entgleisung dreier Radsätze des Steuerwagens eines Regionalzuges.	0/0		[39]
G	10.05.2000	Augsburg (DEU)	Entgleisung des 14. und 15. Wagens eines Güterzuges bei Bahnhofsausfahrt wegen eines vergessenen Hemmschuhs.		Ca. 40.000 €	[90]
G	27.05.2000	Eunice (USA)	25-30 Wagen eines Gefahrgut-Güterzug entgleist wobei 10 Wagen Feuer fangen.			[138]
P	04.06.2000	Chasse-sur-Rhône (FRA)	Entgleisung eines Nachtzuges wegen Sabotage.	2/12		[61]
P	05.06.2000	Arras (FRA)	Entgleisung des Eurostars bei 240 km/h wegen Drehgestelldefekt.	13/0		[47]
G	09.06.2000	Beddingen (DEU)	Ein nicht entfernter Hemmschuh führte im Weichenbereich zur Entgleisung und Überpufferung mit der Lok des ersten Wagens.		Ca. 40.000 €	[90]
G	28.06.2000	Westerland (DEU)	Bei Abfahrt des Zuges prallte dieser auf einen vergessenen Hemmschuh, der sich in einer Weiche verklemmt. Deswegen entgleiste ein Drehgestell eines Wagens.		Ca. 2.500 €	[90]
P	02.07.2000	Luzern (CHE)	Entgleisung mehrerer Drehgestelle der EW IV-Wagen eines Personenzuges. Starke Streckenschäden infolge der Entgleisung.	0/0		[19]
G	26.07.2000	Koborn-Gondorf (DEU)	Entgleisung des dritten Wagens eines Güterzuges wegen ver-		Ca. 100.000 €	[90]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
			schobener Ladung.			
G	02.08.2000	Osnabrück (DEU)	Bei Ausfahrt aus dem Bahnhof entgleist das vordere Drehgestell eines Wagens wegen eines vergessenen Hemmschuhs.		Ca. 500 €	[90]
G	08.08.2000	Dortmund (DEU)	Entgleisung eines leeren Kesselwagens wegen eines vergessenen Hemmschuhs.		Ca. 3.000 €	[90]
P	30.08.2000	Paris (FRA)	Ein Metro-Zug entgleist. Der Gegenzug konnte nur knapp vor dem entgleisten Zug angehalten werden.	23/0		[56]
G	06.09.2000	Wallarobba (AUS)	Ein Güterzug entgleist.			[134]
G	10.09.00	Vingst – Porz Gremberghoven (DEU)	Bei einer Überführungsfahrt entgleiste ein Wagen wegen Achsenbruchs.		Ca. 45.000 €	[90]
G	20.09.2000	Saarbrücken (DEU)	Nach einer Zwangsbremmung entgleist der 15. von 24 Wagen wegen einer falschen Bremsstellung.		Ca. 6.000 €	[90]
G	28.09.2000	Mezzovico (ITA)	Entgleisung eines beladenen RoLa-Wagens wegen eines Achsweißläufers. Wegen starker Streckenbelastung entscheidet der Lokführer die Strecke mit 10 km/h zu räumen. Im Weichenbereich tritt dann die Entgleisung ein.	0/0		[35]
G	14.10.2000	Hannover (DEU)	Ein Güterzug entgleist in einer Weiche wegen eines vergessenen Hemmschuhs.		Ca. 9.000 €	[90]
P	17.10.2000	Hatfield (UK)	Ein Schienenbruch führt zu Entgleisung von acht Wagen eines Expresszuges.	4/31		[110], [48]
G	19.11.2000	Nordhausen (DEU)	Während der Zugeinfahrt entgleist ein Güterzug, da die Fahrstraße vorzeitig aufgelöst und eine Weiche unter dem Zug gestellt wird.		Ca. 70.000 €	[90]
G	22.11.2000	Oppenweiler – Backnang (DEU)	Ein Güterzug entgleist auf offener Strecke vmtl. wegen verschobener Ladung.		Ca. 90.000 €	[90]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
G	23.11.2000	Hagen (DEU)	Der 2. und 3. Wagen eines Güterzuges entgleisen wegen eines vergessenen Hemmschuhs.		Ca. 5.000 €	[90]
G	27.11.2000	Beddingen – Pelkum (DEU)	Der 23. von 42 Wagen eines Güterzuges entgleisen bei Bahnhofseinfahrt wegen einseitiger Beladung.		Ca. 430.000 €	[90]
G	30.11.2000	Schwandorf (DEU)	Ein Güterzug prallt auf einen vergessenen Hemmschuh, entgleist teilweise und gleist sich eigenständig wieder ein.		Ca. 6.000 €	[90]
G	29.12.2000	Hagen (DEU)	Bei Bahnhofsausfahrt entgleist und überpuffert ein Wagen wegen eines vergessenen Hemmschuhs.		Ca. 1.500 €	[90]
G	09.01.2001	Saarbrücken (DEU)	Ein Güterzug entgleist bei der Ausfahrt wegen eines vergessenen Hemmschuhs.		Ca. 15.000 €	[90]
G	31.01.2001	Bremen (DEU)	Entgleisung von zwei Kesselwagen im Bahnhofsbereich. Ladegut: Ammoniak.			[98]
P	07.02.2001	Heide (DEU)	Ein Personenzug prallt auf einen auf den Schienen liegenden Gullydeckel und schiebt ihn bis in die nächste Weiche wodurch der Zug entgleist und im Lichtraumprofil des Gegenzugs steht.		Ca. 36.000 €	[90]
G	21.02.2001	Malters (CHE)	Entgleisung eines Rangierzuges. Ursache evtl. eine unter dem Zug gestellte Weiche.	0/0		[34]
P	20.03.2001	Kleeth (DEU)	Ein Regionalexpress entgleist bei Bahnhofseinfahrt wegen vorzeitiger Fahrstraßenauflösung und unzeitiger Weichenstellung.		Ca. 500 €	[90]
G	22.03.2001	Innsbruck (AUT)	Entgleisung des zweiten Wagens eines mit Holzstämmen beladenen Güterzuges. Der Wagen war um 22,2 Tonnen überladen.	n.b./n.b.		[2]
G	27.03.2001	Oberhausen (DEU)	Ein Güterzug entgleist bei der Ausfahrt wegen eines vergessenen Hemmschuhs.		Ca. 310.000 €	[90]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
G	27.03.2001	Braunschweig (DEU)	Ein Güterzug entgleist bei der Ausfahrt wegen eines verges- senen Hemmschuhs.		Ca. 1.000 €	[90]
P	12.04.2001	Rodi (CHE)	Entgleisung eines Nachtzuges im Weichenbereich des Bahn- hofs Rodi-Fiesso.			[38]
G	22.04.2001	Bremen (DEU)	Ein Güterzug entgleist mit den beiden vorletzten Achsen we- gen eines losen Radreifens.		Ca. 40.000 €	[90]
G	25.04.2001	Osnabrück (DEU)	Ein ausfahrender Güterzug schleift einen vergessenen Hemmschuh mit. Erheblicher Sachschaden.			[90]
G	27.04.2001	Seelze (DEU)	Entgleisung von zwei mit 78 Tonnen Propan beladene Kes- selwagen nach Ablaufen über einen Ablaufberg.			[98]
G	15.05.2001	Werl – Soest (DEU)	Die 8. bis 10. Wagen eines Gü- terzuges entgleisen wegen der kombinierten Unfallursache aus schlechter Gleislage und Dreh- gestellschaden.		Ca. 285.0000 €	[90]
G	21.05.2001	Beckham (AUS)	Entgleisung eines Güterzugs. Dauer der unbemerkten Ent- gleisung: 1,5 Stunden.	n.b./ n.b.		[156]
G	13.06.2001	Dortmund (DEU)	Ein Güterzug entgleist mit einer Achse wegen Spurerweiterung.		Ca. 750 €	[90]
G	15.06.2001	Bebra (DEU)	Ein Güterzug entgleist mit sie- ben Wagen wegen zweier ver- gessener Hemmschuhe.		Ca. 24.000 €	[90]
G	26.06.2001	Biederitz – Gü- terglück (DEU)	Zehn Wagen eines Güterzuges entgleisen auf gerader Strecke bei der Durchfahrt durch einen Bahnhof vmtl. wegen einseitiger Beladung.		Ca. 320.000 €	[90]
P	04.07.2001	Köln (DEU)	Eine S-Bahn entgleiste bei Bahnhofsausfahrt mit einem Drehgestell des 3. Wagens auf unbekannten Gründen.		Ca. 60.000 €	[90]
G	05.07.2001	Hemmersdorf (DEU)	Drei Wagen eines Güterzuges entgleisen wegen vorzeitiger Fahrstraßenauflösung und un- zeitiger Weichenstellung durch den Fahrdienstleiter.		Ca. 55.000 €	[90]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
G	27.07.2001	Kassel (DEU)	Ein Drehgestell eines Güterzuges entgleist bei der Ausfahrt wegen eines vergessenen Hemmschuhs.		Ca. 500 €	[90]
P	29.07.2001	Zürich (CHE)	Entgleisung des ICN mit einem Drehgestell wegen Drehgestelldefekts.	0/0		[14]
P	31.07.2001	Michendorf (DEU)	Eine Regionalbahn entgleist mit dem Triebfahrzeug mit allen Achsen wegen unterlassener Weichenprüfung nach Bauarbeiten durch den Fahrdienstleiter.		Ca. 90.000 €	[90]
P	06.08.2001	Laaspe (DEU)	Eine Regionalbahn entgleist mit dem letzten Drehgestell wegen vorzeitiger Fahrstraßenauflösung und unzeitiger Weichenstellung.		Ca. 12.000 €	[90]
G	07.08.2001	Hamm (Wesf.) (DEU)	Ein Triebfahrzeug entgleist mit vier Achsen wegen Schienenbruchs in einer Weiche.		Ca. 7.000 €	[90]
G	27.09.2001	Passow (DEU)	Ein Wagen eines Güterzuges entgleisen wegen vorzeitiger Fahrstraßenauflösung und unzeitiger Weichenstellung durch den Fahrdienstleiter.		Ca. 26.000 €	[90]
P	08.10.2001	Luzern (CHE)	Entgleisung zweier Wagen eines Expresszuges. Ursache war die Überschreitung von Verschleißtoleranzen am Rad und an der Weiche.	0/0		[66], [33]
G	23.10.2001	Nürnberg (DEU)	Bei der Ausfahrt aus dem Bahnhof entgleist der sechste Wagen mit einer Achse und gleist ca. ca. 20 m wieder ein. Die Entgleisungsspuren werden erst nach einer Stunde entdeckt.		Ca. 5.300 €	[90]
P	31.10.2001	Dax (FRA)	Ein TGV entgleist bei 130 km/h und stürzt teilweise um.	5/0		[36]
G	16.11.2001	Saarbrücken (DEU)	Bei Einfahrt eines Zuges entgleisen die 7. bis 13. Wagen in einer Weiche.		Ca. 38.000 €	[90]
G	08.12.2001	Ingolstadt (DEU)	Bei Bahnhofsdurchfahrt entgleisen mehrere Wagen aus unbekannter Ursache. Unter den entgleisten Wagen ist			[90]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
			auch ein Kesselwagen, der umkippt und Leck schlägt.			
P	14.12.2001	Markdorf – Friedrichshafen (DEU)	Eine Regionalbahn entgleist nach einem 2m-langem Schienenbruch.		Ca. 65.000 €	[90]
G	18.12.2001	Halle (Saale) (DEU)	Wegen des Bruchs einer Weichenzunge entgleist ein Güterzug mit vier Wagen.		Ca. 25.000 €	[90]
G	20.12.2001	Schweinfurt (DEU)	Bei Bahnhofsdurchfahrt schert wegen eines Achsheißläufers das Achslager ab. Eine Entgleisung tritt nicht auf.		Ca. 1.000 €	[90]
P	22.12.2001	Heinebach (DEU)	Eine Regionalbahn entgleist beim Wiederanfahren nach einem Halt wegen Radreifenbruchs.		Ca. 85.000 €	[90]
G	18.01.2002	Minot (USA)	Mehrere Gefahrgut-Güterwagen entgleisen, es kommt zu Gefahrgutaustritt.	n.b./ n.b.		[157]
G	18.01.2002	Bebra (DEU)	Zwei Wagen eines Güterzuges entgleisen vmtl. wegen ungünstiger Längsdruckkräfte.		Ca. 192.000 €	[90]
G	03.02.2002	Altenbeken (DEU)	Ein Güterzug entgleist bei Bahnhofseinfahrt mit 2 Achsen wegen eines Schienenbruchs		Ca. 4.500 €	[90]
G	16.02.2002	Osnabrück (DEU)	Bei der Bahnhofseinfahrt entgleist das Triebfahrzeug sowie sieben Wagen mit 30 Achsen.		Ca. 550.000 €	[90]
G	16.04.2002	Kirchseeon (DEU)	Vor der Bahnhofseinfahrt entgleist der leere letzte Kesselwagen.		Ca. 540.000 €	[90]
G	16.04.2002	Grafing – Kirchseeon (DEU)	Ein Güterzug entgleist mit zwei Achsen wegen eines Schlechtläufers.		Ca. 540.000 €	[90]
P	10.05.2002	Potters Bar (USA)	Entgleisung eines Personenzuges nach Ausfahrt aus dem Bahnhof Potters Bar an einer Weiche.	7/76		[111]
G	21.05.2002	Oldenburg – Bremen (DEU)	Eine Lokomotive eines Güterzuges entgleist wegen Achsbruchs.		Ca. 21.000 €	[90]
G	28.05.2002	Traimauer (AUS)	Ein Güterzug entgleist nach Weichenstellung unter dem Zug, mehrere hundert Meter	n.b./n.b.		[2]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
			Gleis zerstört.			
G	10.06.2002	Wolfratshausen (DEU)	Drei Kesselwagen entgleisen.			[98]
G	12.07.2002	Kornwestheim (DEU)	Der letzte Wagen eines Güterzuges entgleist als Schlechtläufer mit der letzten Achse. Die Entgleisung bleibt unbemerkt, da sich der Wagen nach 700m in einer Weiche wieder eingleist.		Ca. 20.000 €	[90]
P	30.07.2002	Kensington (USA)	Entgleisung eines Nahverkehrs-zuges.	0/101		[133]
P	18.08.2002	Priort (DEU)	Ein Regionalexpress entgleist bei Bahnhofseinfahrt wegen einer nicht in der Endlage stehenden Weiche. Ursache Kontaktkorrosion am Motor.		Ca. 22.500 €	[90]
G	29.08.2002	Trier-Ehrang (DEU)	Entgleisung von vier Kesselwagen im Bahnhofsbereich. Auslaufendes Isopropylbenzen setzt zwei Wagen in Brand.		Ca. 3.000.000 €	[98]
G	10.09.2002	Gaschwitz (DEU)	Der letzte Wagen eines Güterzuges entgleist bei Bahnhofsdurchfahrt aus unbekanntem Grund.		Ca. 50.000 €	[90]
P	15.09.2002	Klinge (DEU)	Ein Intercity entgleist wegen vorzeitig aufgelöster Fahrstraße und unzeitiger Weichenstellung.			[90]
G	17.10.2002	Basel Bad Bf. (DEU)	Entgleisung eines Güterzuges aufgrund des Bruchs einer Weichenzunge. Die querstehende Lokomotive wird durch die Wagen 150 m weit geschoben.	0/0	Ca. 1.000.000 €	[25]
G	23.10.2002	Innsbruck (AUT)	Ein Güterzug entgleist aus bisher unbekannter Ursache.	n.b./n.b.		[2]
P	06.11.2002	Sion (CHE)	Entgleisung der ersten beiden Wagen eines InterRegio-Zuges. Ursache ist ein Schienenbruch auf 1,20 Meter Länge	0/0		[60]
G	22.11.2002	Köln (DEU)	Bei normaler Fahrt entgleist ein leerer Güterwagen wegen mangelhafter wagentechnischer Untersuchung. Der Wagen wird unbemerkt einen Kilometer mitgezogen. Im anschließenden		Ca. 1.500.000 €	[90]

## Anhang

G- /P- Zug <sup>1</sup>	Datum	Ort (Land)	Unfallhergang	Anzahl Tote / Verl.	Höhe des Sachschadens <sup>2</sup>	Quelle
			Weichenbereich entgleisen die nachfolgenden neun Wagen.			
P	25.11.2002	London (UK)	Entgleisung wegen einer defekten Schienebefestigung.	0/0		[123]
P	30.11.2002	Lütter (DEU)	Eine Regionalbahn entgleist im Bahnhof Lütter aus bisher unbekannter Ursache.		Ca. 240.000 €	[90]
P	11.12.2002	Coliseo (CUB)	Entgleisung eines Personenzugs.	13/74		[143]
P	21.12.2002	Kurnool (IND)	Entgleisung eines Nachtzuges.	20/100		[148], [121]
G	03.01.2003	Aptos (USA)	Dritte Güterzug-Entgleisung in einem Monat.	n.b./ n.b.		[152]
P	04.01.2003	Tobarra (ESP)	Entgleisung eines TALGO-Zuges.	2/24		[133]
G	11.01.2003	Kozolupy (CZE)	Entgleisung eines Güterzuges.		Ca. 130.000 €	[172]
G	15.01.2003	Brugg (CHE)	Entgleisung von vier mit Stahl-Coils beladenen Wagen.			[28]
P	25.01.2003	London (UK)	Entgleisung eines Zuges der Londoner Metro an der Station Chancery Line. Anprall an der Tunnelwand.	0/32		[65]
G	28.01.2003	Brugg (CHE)	Entgleisung dreier leerer Kesselwagen.			[28]
P	31.01.2003	Sydney (AUS)	Entgleisung eines Regionalzuges.	8/n.b.		[4]
G	20.05.2003	Brugg (CH)	Entgleisung des letzten Wagens des aus 22 Wagen bestehenden Güterzuges, wobei Teile des Wagens über 5 km mitgeschleift werden.	0/0	Ca. 650.000 €	[7]
G	26.06.2003	Röhrmoos (DEU)	Entgleisung von sieben der 25 Wagen eines Güterzuges. Streckenschäden auf ca. sechs Kilometern der gerade erneuerten Strecke. Unfallursache derzeit noch unklar. Verdacht auf Radbruch	0/0	Ca. 500.000 €	[169], [187]
G	32.10.2003	Hamburg (DEU)	Entgleisung mehrerer Wagen eines Güterzuges auf der Strecke Hamburg – Berlin.	0/0		[141]



## D Entgleisungsversuche

### Entgleisungsversuche Phase 1

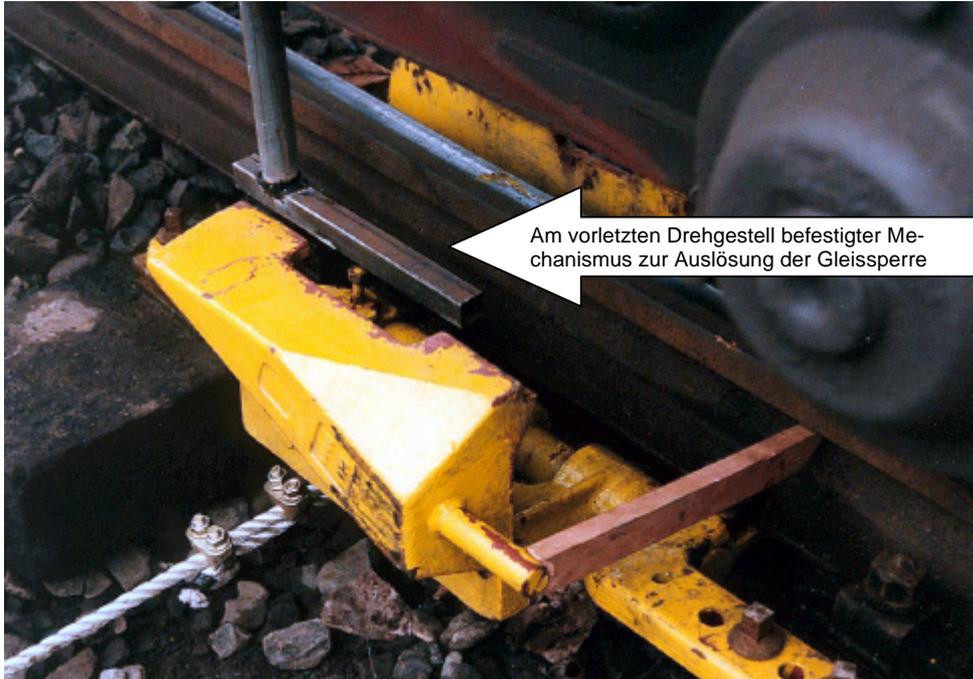


Bild 63: Gleissperre

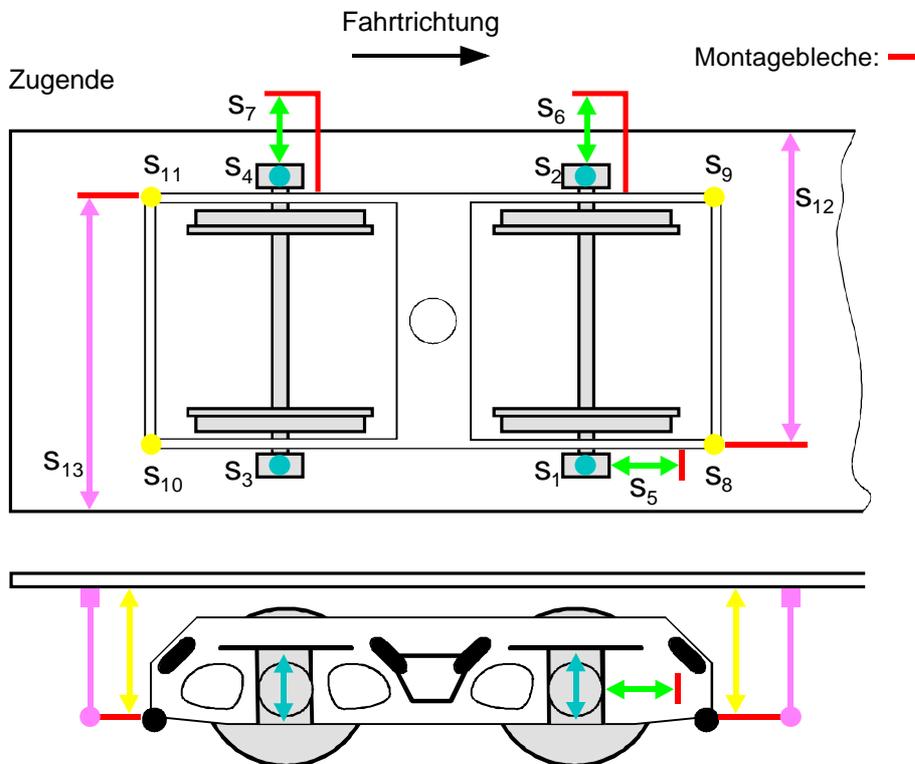
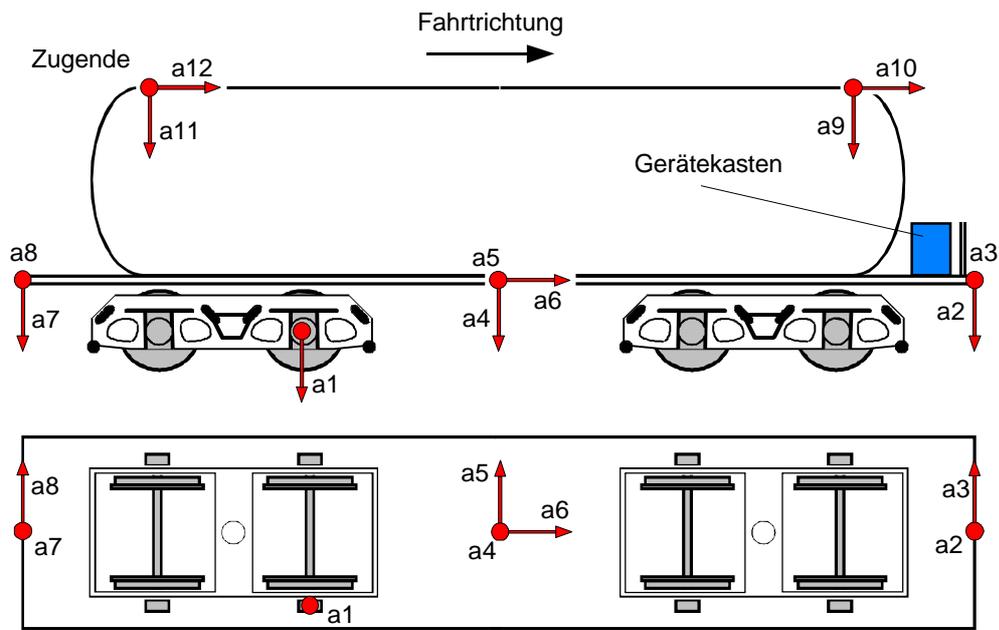


Bild 64: Anordnung der Wegsensoren am entgleisenden Kesselwagen



**Bild 65: Anordnung der Beschleunigungssensoren am entgleisenden Kesselwagen**



**Bild 66: Zustand nach der Entgleisung bei 43 km/h und leerem Kesselwagen**



**Bild 67: Überpufferung bei Versuchen mit beladenem Kesselwagen**

Entgleisungsversuche Phase 2

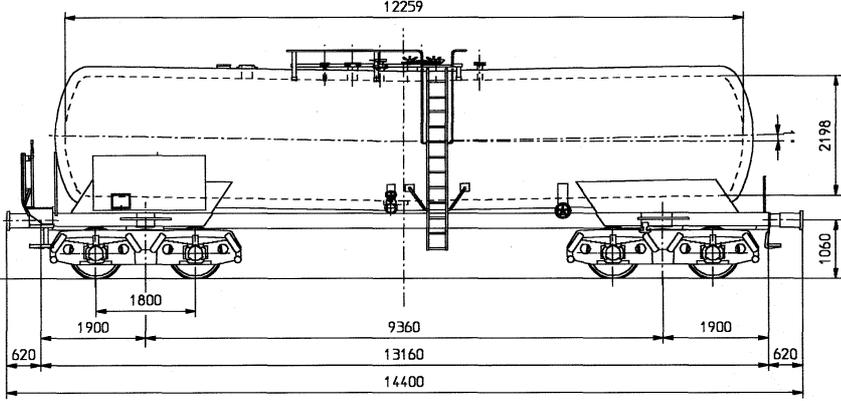
	<b>Isol. Kesselwagen</b> geeignet für den den Verkehr nach Finnland	<b>45 m<sup>3</sup></b>												
														
<p><b>Ladegut</b>                  Monochloressigsäure-Lösung                  gemäß Tankart 142.0.3                  RID Kl.6.1 Ziffer 27b</p>														
<p><b>Allgemeines</b></p> <p>Eigengewicht 23,0 t                  Bremsbauart KE-GP 16"                  Intern. Verwendung RIV                  kleinster Gleisradius 35m</p>		<p><b>Lastgrenzen</b></p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">C</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">S</td> <td style="text-align: center;">41,0t</td> <td style="text-align: center;">49,0t</td> <td style="text-align: center;">57,0t</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">120</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">00,0t</td> <td></td> </tr> </table>		A	B	C	S	41,0t	49,0t	57,0t	120	00,0t		
	A	B	C											
S	41,0t	49,0t	57,0t											
120	00,0t													
<p><b>Laufwerk</b></p> <p>Drehgestell Talbot R (UIC 430-3)                  Radsatz BA 80</p>		<p>Tragfeder 8Blit x 120x16 - 1200                  zul. Radsatzlast 20,0 t</p>												
<p><b>Tank</b></p> <p>Volumen 45 m<sup>3</sup>                  Prüfüberdruck 4,0 bar                  Betriebsüberdruck 3,0 bar                  Berechnungsdruck 10,0 bar                  zul. äußerer Überdruck 0,5 bar</p>		<p>Werkstoff 1.4571                  Manteldicke 5,6 mm                  Bodendicke 6,0 mm                  Explosionsdruckstoßfest ja</p>												
<p><b>Tankausrüstung</b></p> <p>Heizungsbauart 6xhalb Rohr außen                  Heizfläche 6,6 / 9 m<sup>2</sup>                  Betriebsüberdruck 6,0 bar</p>		<p>Isolierung 200mm PU-Schaum</p>												
<p><b>Füll- und Entleereinrichtung</b></p> <p>Dom 4-Knebel-dom DN 500 (DIN26020)                  Bodenventil EVA hydr. DN 100 FormB)                  Zapfventil EVA DN 100                  Anschluß Kamlok DN 80</p>		<p>Füllstutzen DN 150/100                  Druckstutzen DN40 mit Kugelhahn DN 50                  Steigrohr DN 80                  Sonderstutzen DN 80</p>												
<p><b>sonstige Ausrüstung</b></p> <p>1 x analog Thermometer                  1 x System Atis incl. Temperaturmeß. Sensorik</p>														
EVA Eisenbahn-Verkehrsmittel-Gesellschaft mbH 40013 Düsseldorf	2000	E 881												

Bild 68: Chemiekesselwagen (Wg.-Nr. 34 80 787 3 442-6)

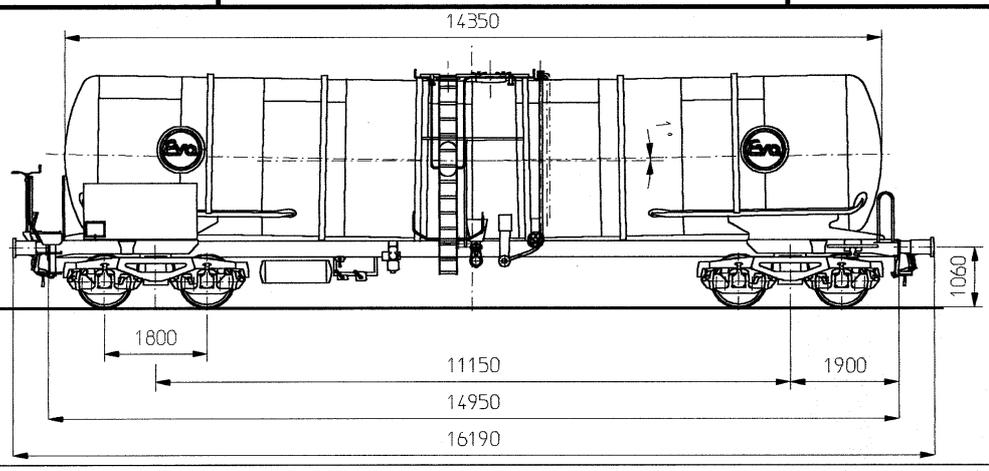
	<b>Mineralöl-Kesselwagen</b>	<b>86 m<sup>3</sup></b>
		
<b>Ladegut</b>		
entzündbare, ätzende, flüssige Stoffe gemäß Tankart 131.2.1		
<b>Allgemeines</b>		
Eigengewicht	24,0 t	
Bremsbauart	KE-GP 16"	
Intern. Verwendung	RIV	
kleinster Gleisradius	35 m	
<b>Laufwerk</b>		
Drehgestell	Y25Ls	Tragfeder
Radsatz	BA 80	zul. Radsatzlast
Radsatz-Rollenlager	BA 80	2stuf. Schraubenfeder
		20,75 t
<b>Tank</b>		
Volumen	86 m <sup>3</sup>	Werkstoff
Prüfüberdruck	4,0 bar	Manteldicke
Betriebsüberdruck	3,0 bar	Bodendicke
Berechnungsdruck	4,0 bar	Explosionsdruckstoßfest
zul. äußerer Überdruck	0,4 bar	
		St 52-3
		6,5 mm
		8,0 mm
		ja
<b>Tankausrüstung</b>		
Heizungsbauart	-	Isolierung
Heizfläche	- m <sup>2</sup>	Auskleidung
Betriebsüberdruck	- bar	
<b>Füll- und Entleereinrichtung</b>		
Dom	4-Knebel-dom DN 500	Füllstutzen
Bodenventil	EVA hydr. DN 100	Druckstutzen
Zapfventil	EVA DN 100	Steigrohr
Anschluß	Gewinde 5½"	
		DN 150
		DN -
		DN -
<b>sonstige Ausrüstung</b>		
Zusatzstutzen DN100 mit Belüftungsventil ZB 718		
bodenbedienbare Gaspendelleitung DN80		
EVA Eisenbahn-Verkehrsmittel-Gesellschaft mbH 40013 Düsseldorf	2001	E 899B

Bild 69: Mineralölkesselwagen (Wg.-Nr. 33 80 784 5 756-5)

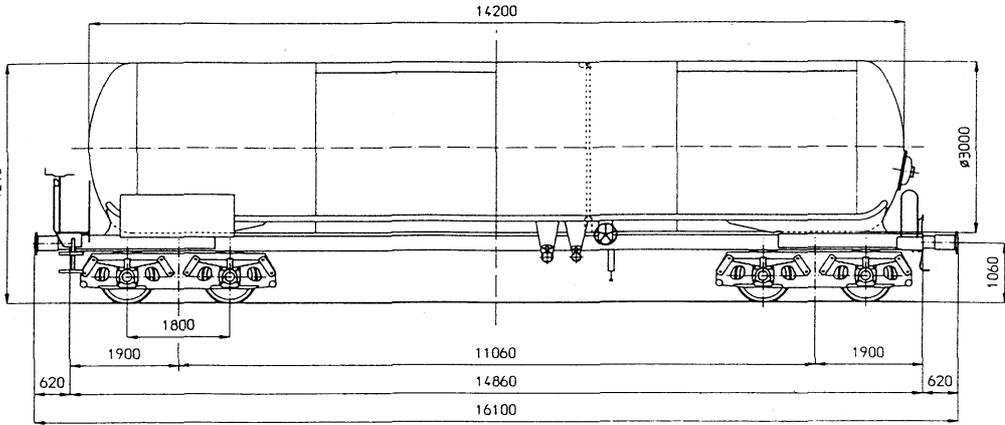
	<b>Druckgaswagen <math>\geq 23</math> bar</b>	<b>95 m<sup>3</sup> 33B914</b>
		
<b>Ladegut</b>		
Ladegüter gemäß Tankart 229.0.9 bzw. 280.0.9		
<b>Allgemeines</b>		<b>Lastgrenzen</b>
Eigengewicht	31,3 t	A B C
Bremsbauart	KE-GP 16"	S 32,7t 40,3t 48,7t
Intern. Verwendung	RIV	
Kleinster Gleisradius	35 m	
<b>Laufwerk</b>		
Drehgestell	661.1	Tragfeder 8 Blt x 120x16 - 1200
Radsatz	BA 80	zul. Radsatzlast 20 t
Radsatz-Rollenlager	BA 88	
<b>Tank</b>		
Volumen	95 m <sup>3</sup>	Werkstoff STE 47
Prüfüberdruck	29 bar	Manteldicke 13,7 mm
Betriebsüberdruck	-	Bodendicke 13,4 mm
Berechnungsdruck	29 bar	Explosionsdruckstossfest -
zul. äußerer Überdruck	-	
<b>Tankausrüstung</b>		
Heizungsbauart	-	Isolierung -
Heizfläche	-	Auskleidung -
Betriebsüberdruck	-	
<b>Füll- und Entleereinrichtung</b>		
Dom	Mannloch DN 500	Füllstutzen -
Bodenventil	EVA hydr. DN 80/50	Druckstutzen -
Zapfventil	EVA DN 80/50	Steigrohr -
Anschluß	R 13 DN 80/50 PN 40	
<b>sonstige Ausrüstung</b>		
EVA Eisenbahn-Verkehrsmittel- Gesellschaft mbH 4000 Düsseldorf 1	1994	K 139

Bild 70: Druckgaskesselwagen (Wg.-Nr. 33 80 791 7 665-1)



**Bild 71: Versuchs-Chemiekesselwagen**



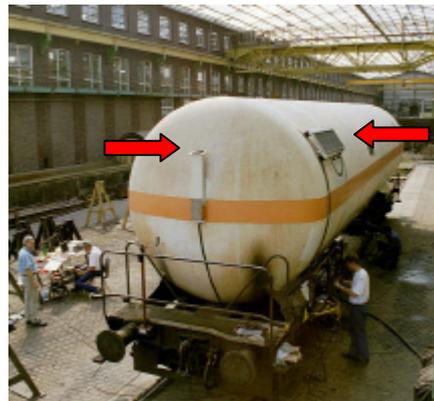
**Bild 72: Versuchs-Mineralölkesselwagen**



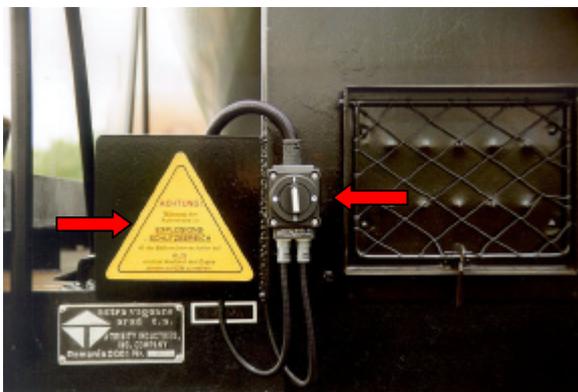
**Bild 73: Versuchs-Druckgaskesselwagen**



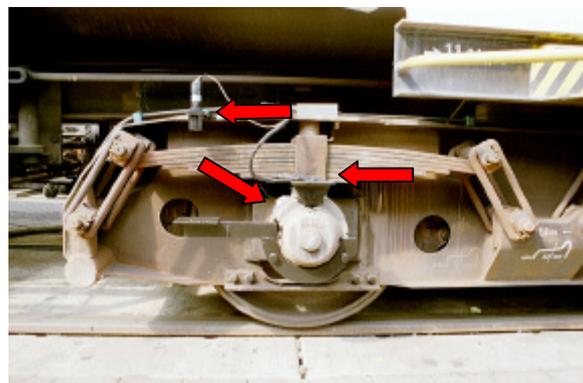
**Bild 74: ATIS (links) und Batteriekasten (rechts) des Druckgaswagens**



**Bild 75: GPS/GSM (links) und Solarpaneel (rechts) des Druckgaswagens**



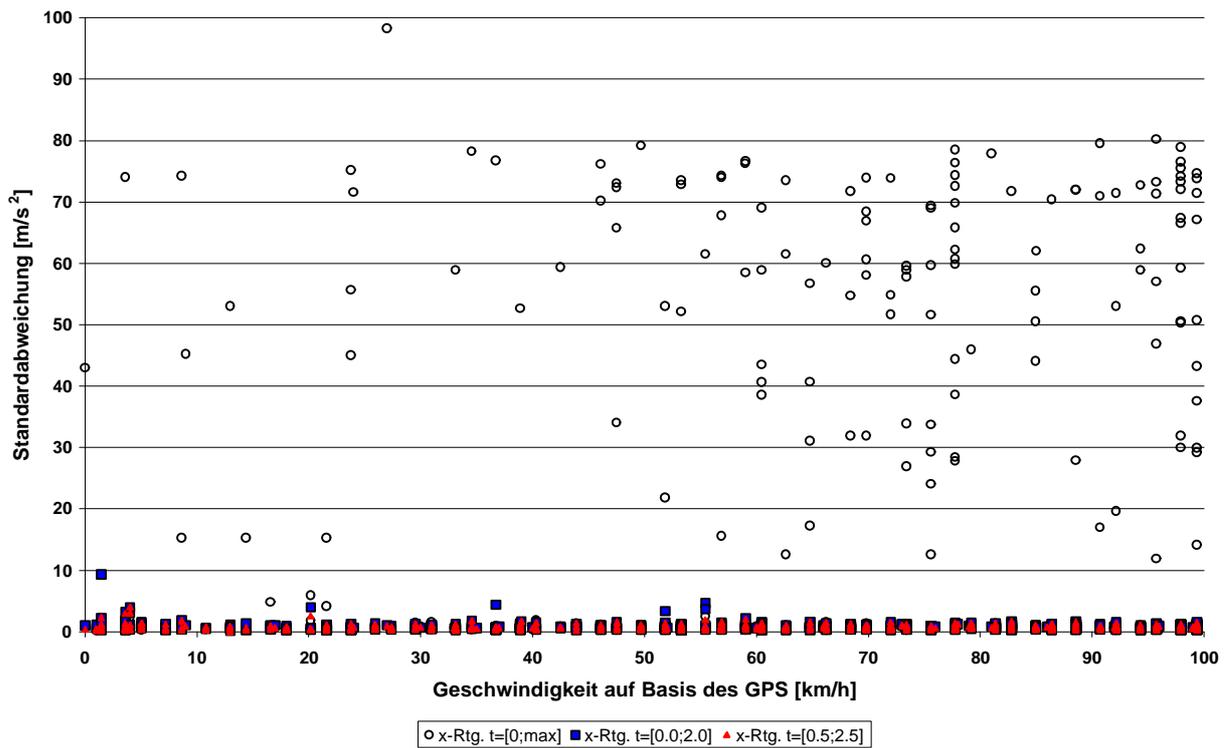
**Bild 76: Batterietrennschalter (rechts) und Hinweisdreieck (links) an der Bremserbühne des Mineralölwagens**



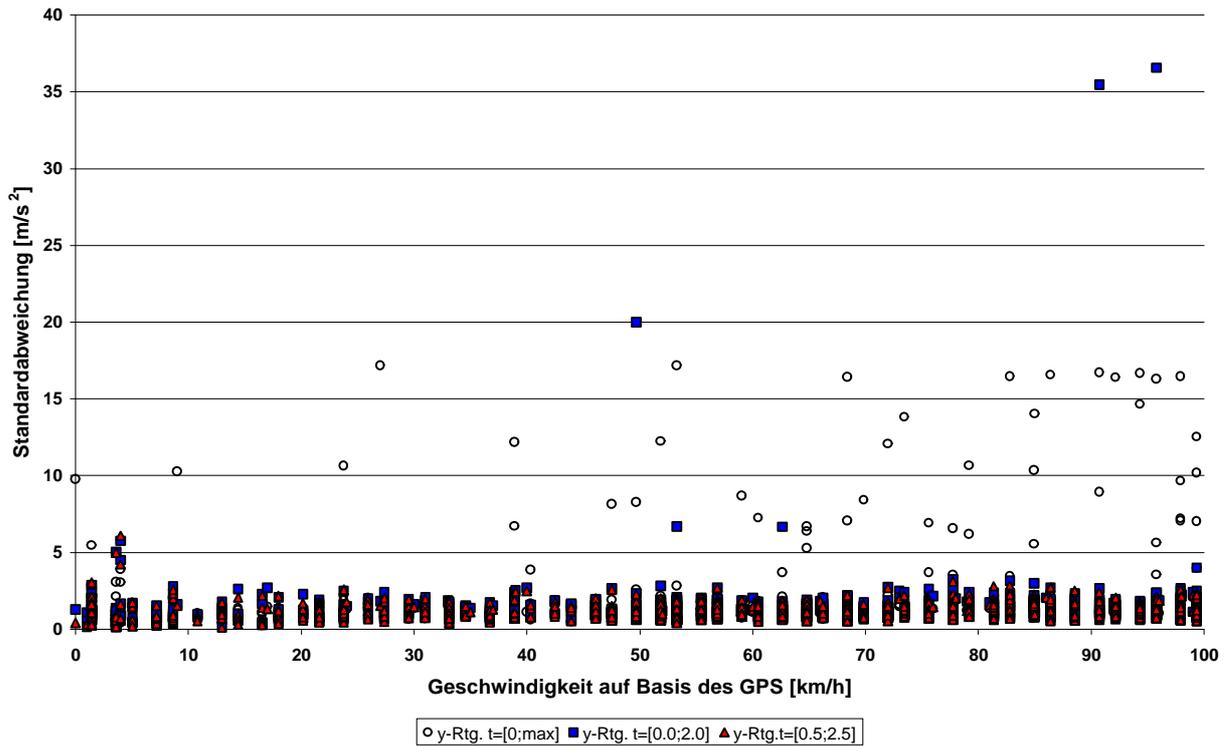
**Bild 77: Ultraschall- (oben), Beschleunigungs- (Mitte) und Temperatursensor (unten) am Drehgestell des Druckgaswagens**



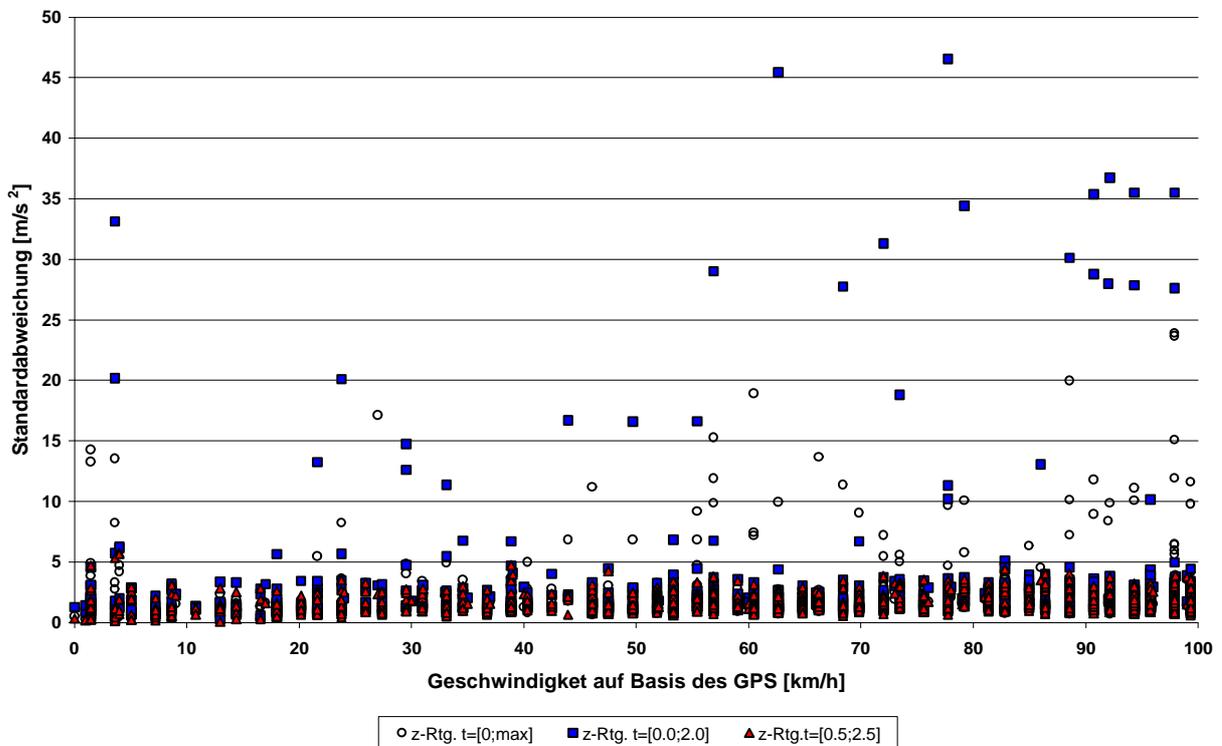
**Bild 78:** Piezoelektrischer Beschleunigungssensor zur Achslagerdiagnose des Druckgaswagens



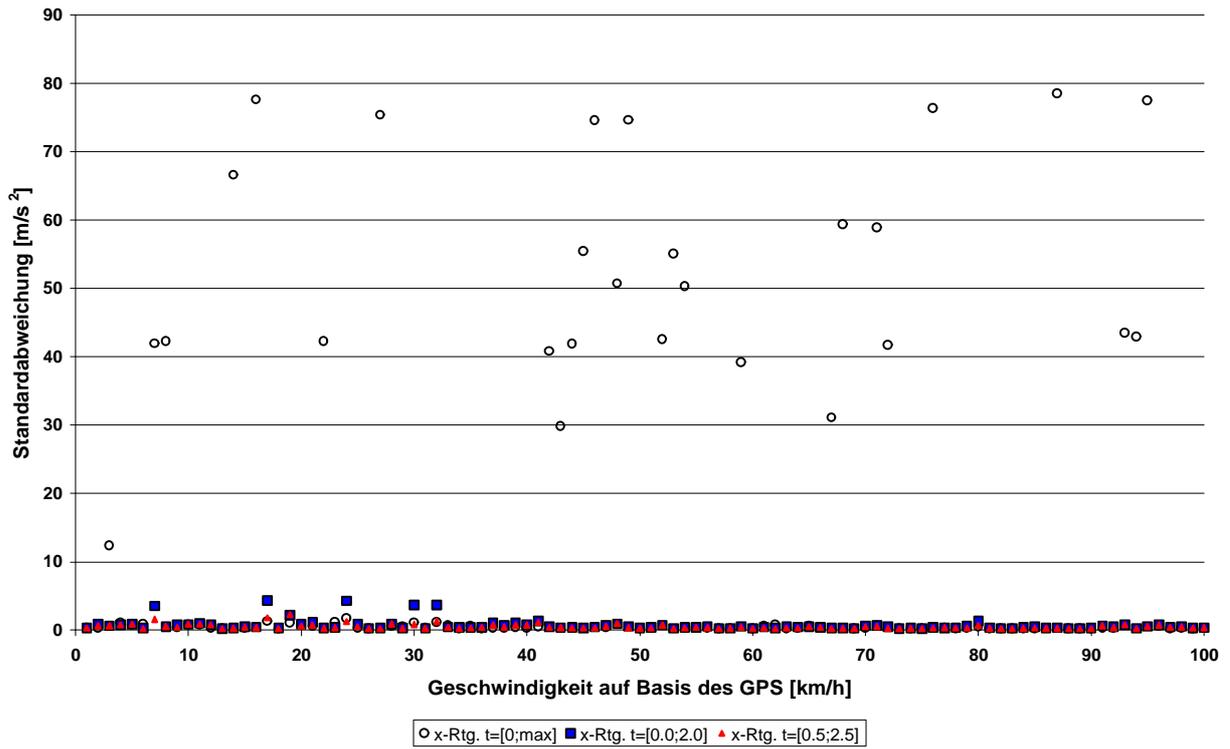
**Bild 79:** Standardabweichungen des Chemiekesselwagens in Längsrichtung als Funktion der Geschwindigkeit für verschiedene Auswertungsintervalle



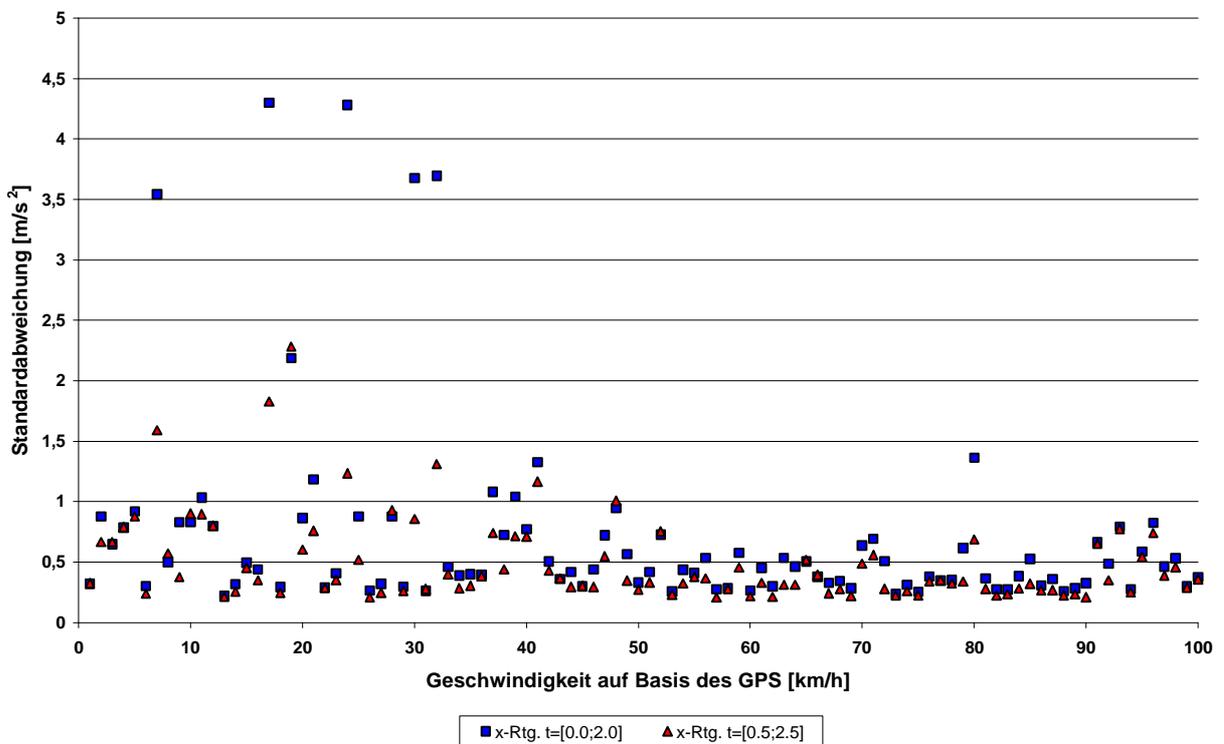
**Bild 80:** Standardabweichungen des Chemiekesselwagens in Querrichtung als Funktion der Geschwindigkeit für verschiedene Auswertungsintervalle



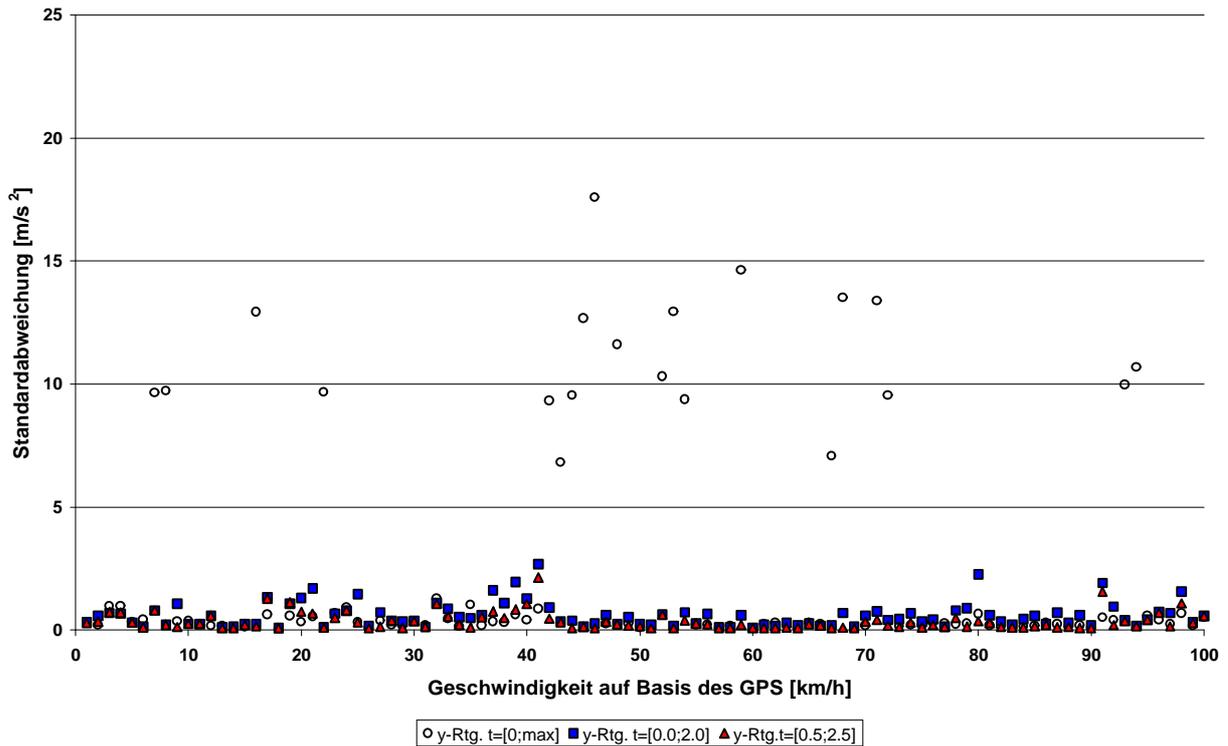
**Bild 81:** Standardabweichungen des Chemiekesselwagens in Vertikalrichtung als Funktion der Geschwindigkeit für verschiedene Auswertungsintervalle



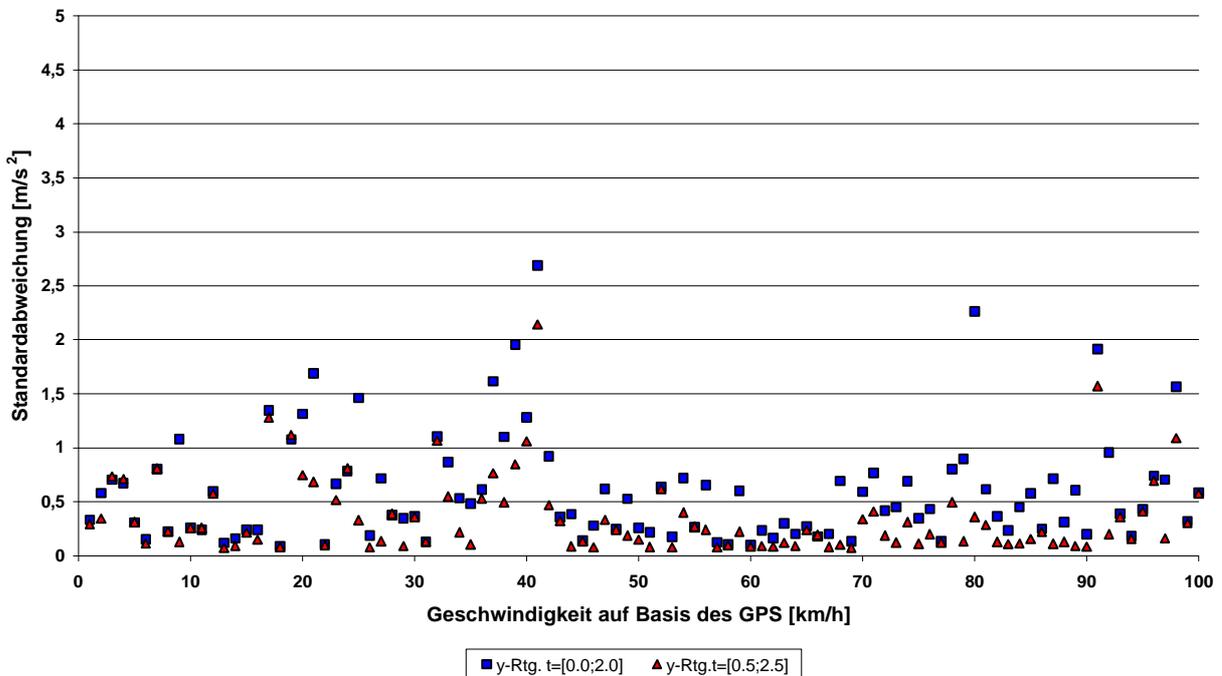
**Bild 82:** Standardabweichungen des Mineralölkesselwagens in Längsrichtung als Funktion der Geschwindigkeit für verschiedene Auswertungsintervalle



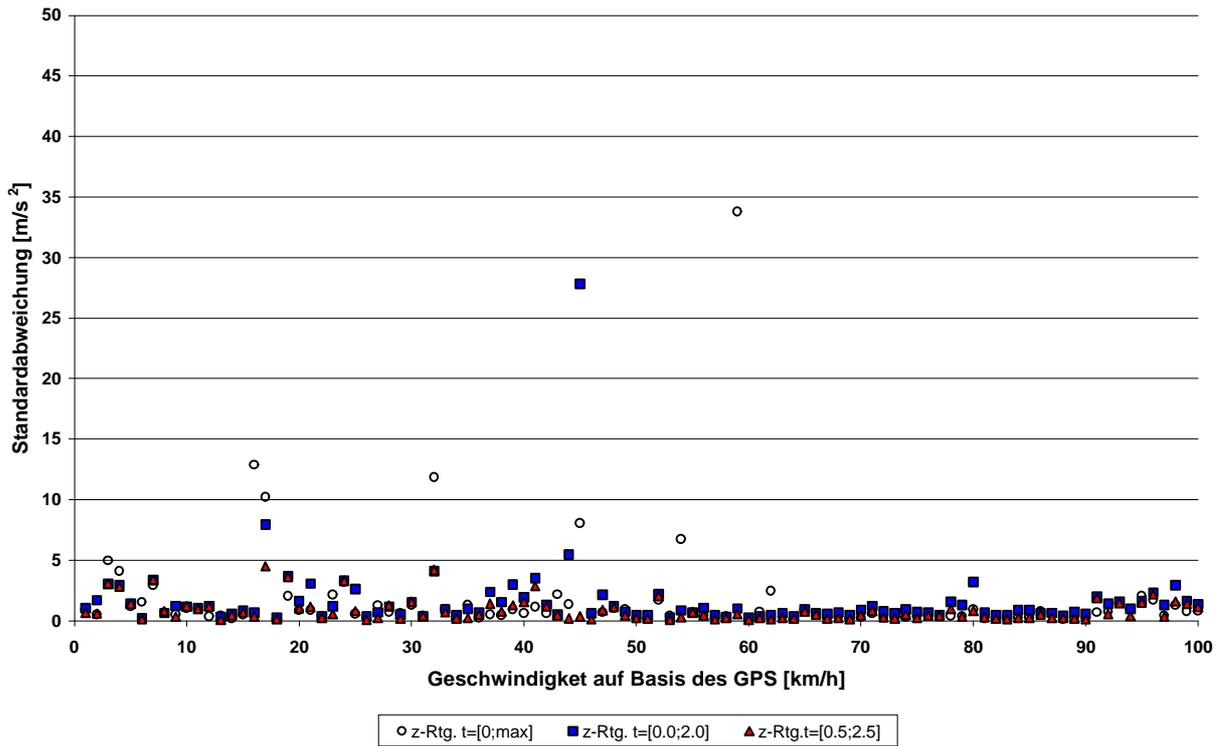
**Bild 83:** Standardabweichungen des Mineralölkesselwagens in Längsrichtung als Funktion der Geschwindigkeit (Messintervall: 2-Sekunden)



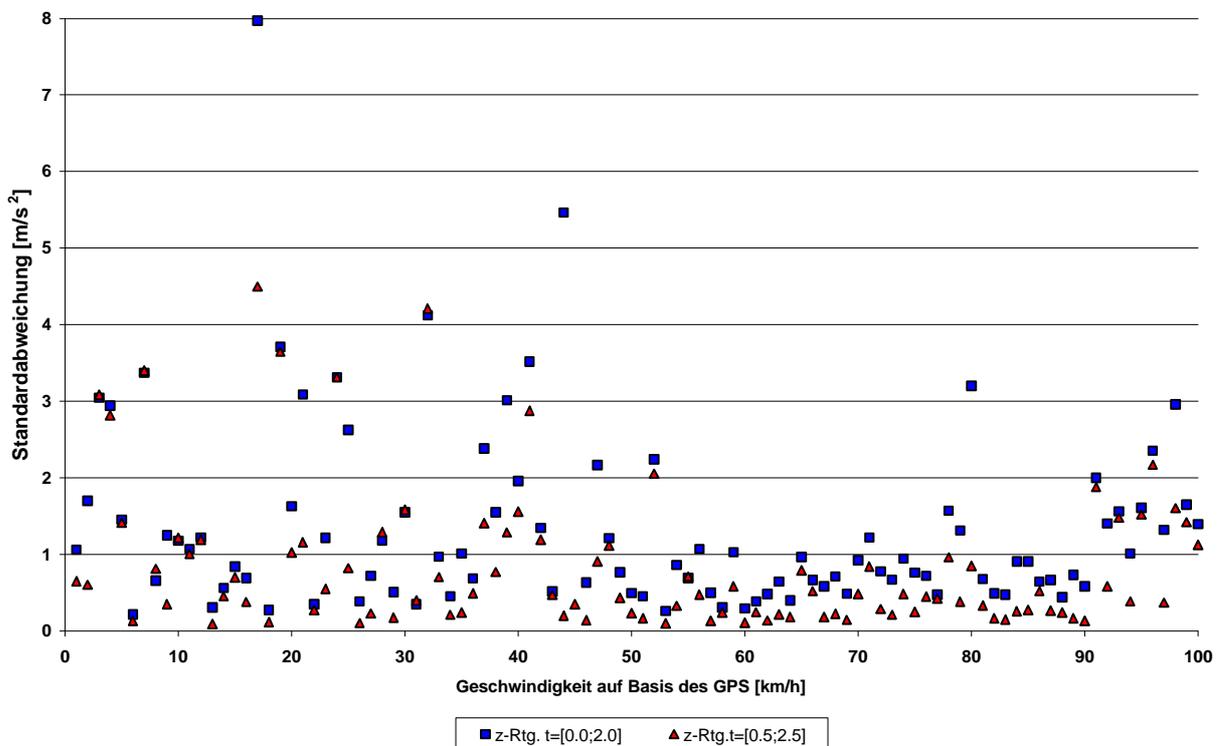
**Bild 84:** Standardabweichungen des Mineralölkesselwagens in Querrichtung als Funktion der Geschwindigkeit für verschiedene Auswertungsintervalle



**Bild 85:** Standardabweichungen des Mineralölkesselwagens in Querrichtung als Funktion der Geschwindigkeit (Messintervall: 2-Sekunden)



**Bild 86:** Standardabweichungen des Mineralölkesselwagens in Vertikalrichtung als Funktion der Geschwindigkeit für verschiedene Auswertungsintervalle

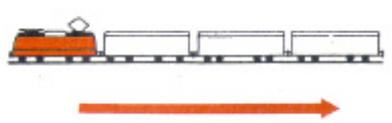


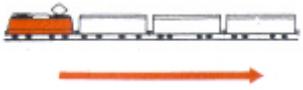
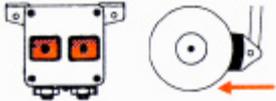
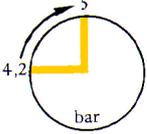
**Bild 87:** Standardabweichungen des Mineralölkesselwagens in Vertikalrichtung als Funktion der Geschwindigkeit (Messintervall: 2-Sekunden)

## E Bremse

### Ablauf der vollständigen Bremsprobe

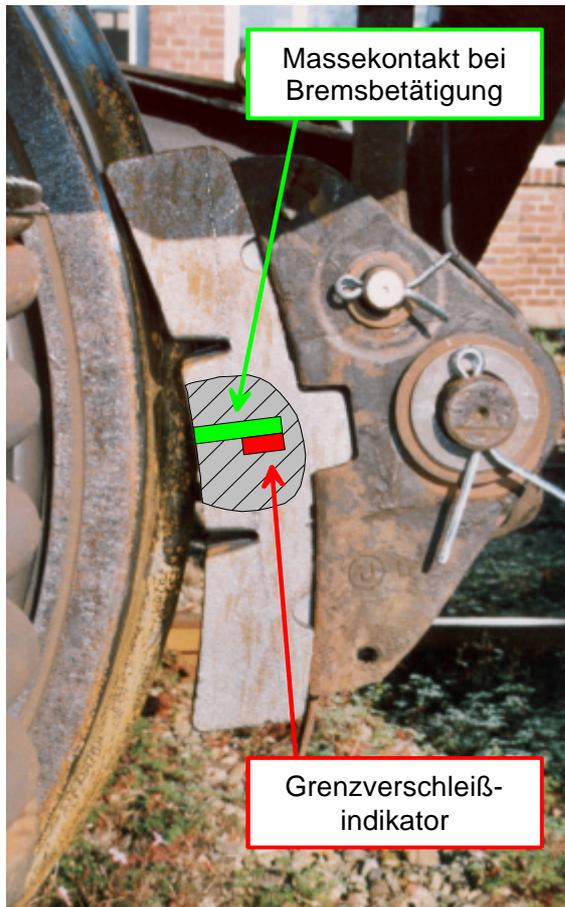
Tabelle 14: Ablauf der vollständigen Bremsprobe bei Güterwagen nach [163]

Schritt	Aufgaben des <u>bedienenden</u> Bremsprobenberechtigigten	Aufgaben des <u>prüfenden</u> Bremsprobenberechtigigten
1		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verständigung des Triebfahrzeugführers (mündlich, Funk)</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bremsen füllen</li> <li>- Mit Füllstoß einleiten</li> <li>- 5 bar abwarten (4,8 bar bei Verwendung von Bremsprüfeinrichtungen)</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- Führerbremsventil in Mittelstellung</li> <li>- Dichtheit prüfen: Druckabfall höchstens 0,5 bar/min.</li> <li>- Undichtigkeiten beseitigen lassen</li> <li>- Hauptluftleitung wieder auffüllen</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lösezustand aller Druckluftbremsen feststellen</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einzelne feste Druckluftbremsen durch kurzes Ziehen am Lösezug lösen</li> <li>- Zustand aller Bremsen prüfen</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meldung aufnehmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Signal „Bremse anlegen“ <ul style="list-style-type: none"> <li>o Handsignal</li> </ul>   <li>o Lichtsignal</li> </li></ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>o Mündlich</li> </ul>

Schritt	Aufgaben des <u>bedienenden</u> Bremsprobenberechtigigten	Aufgaben des <u>prüfenden</u> Bremsprobenberechtigigten
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bremsen anlegen Drucksenkung etwa 0,8 bar</li> </ul> 	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bremszustand feststellen</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bremsen, die nicht anliegen oder von selbst auslösen: <ul style="list-style-type: none"> <li>o ausschalten</li> <li>o entlüften</li> <li>o bezetteln</li> </ul> </li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meldung aufnehmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Signal „Brems lösen“ <ul style="list-style-type: none"> <li>o Handsignal</li> </ul> </li> </ul>   <ul style="list-style-type: none"> <li>o Lichtsignal</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>o mündlich</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bremsen lösen (ohne Füllstoß einleiten)</li> </ul> 	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lösezustand feststellen</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bremsen, die nicht lösen: <ul style="list-style-type: none"> <li>o ausschalten</li> <li>o entlüften</li> <li>o bezetteln</li> </ul> </li> </ul>

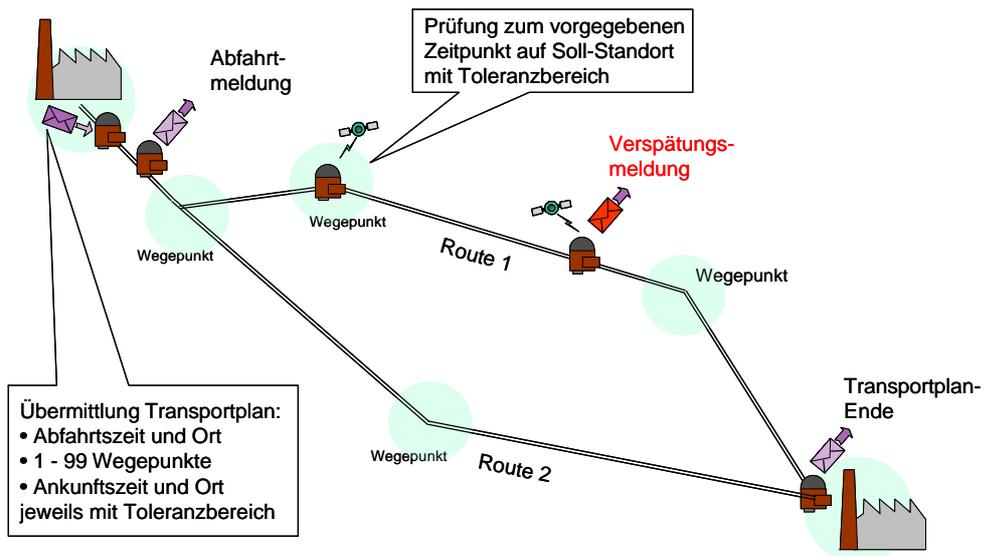
Schritt	Aufgaben des <u>bedienenden</u> Bremsprobenberechtigten	Aufgaben des <u>prüfenden</u> Bremsprobenberechtigten
7	- Meldung aufnehmen	- Signal „Bremsse in Ordnung“ <ul style="list-style-type: none"><li>○ Handsignal Zp 14 (nur auf dem Gebiet der ehemaligen DR)</li><li>○ Lichtsignal </li><li>○ mündlich</li></ul> - Bremsprobenmeldezettel am ersten Wagen anbringen, wenn die Bremsprobe nicht mit der Zuglok ausgeführt wurde

## Bremsdiagnose



**Bild 88:** Vorschlag einer Diagnose des Bremsklotzes mit elektrischen Kontakten

## F Disposition



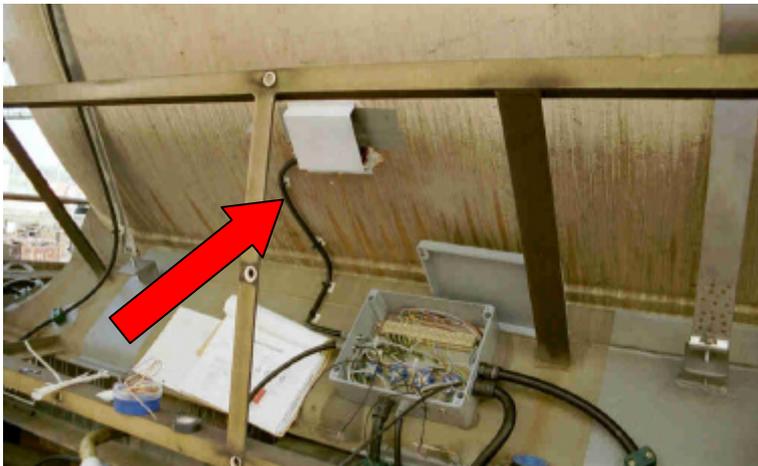
Softwarelösungen für Autarke Systeme

**Bild 89: Schematische Meldungsstruktur eines Telematiksystems zur Fahrplanverfolgung [175]**

## G Ladegutüberwachung



**Bild 90:** Einbauort des Kesseltemperatursensors am Chemiekesselwagen (Blick auf die Kesselseite)



**Bild 91:** Messstelle für die Druckmessung des Kesselinnendruckes am Kesselzylinder oberhalb des Sattelblechs



**Bild 92:** Einbauort des Referenzsensors zur Überprüfung des Kesselinnendruckes

## H Kommunikationskonzept

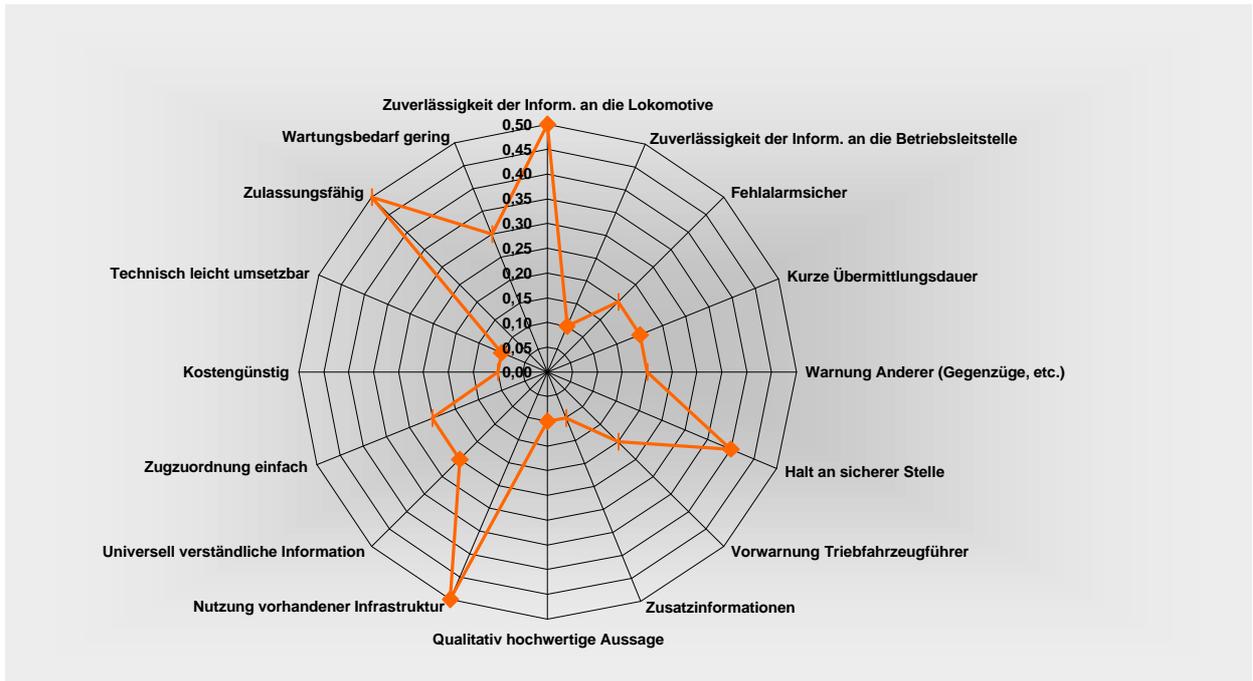


Bild 93: Gewichtung der Sublevelmerkmale im Überblick

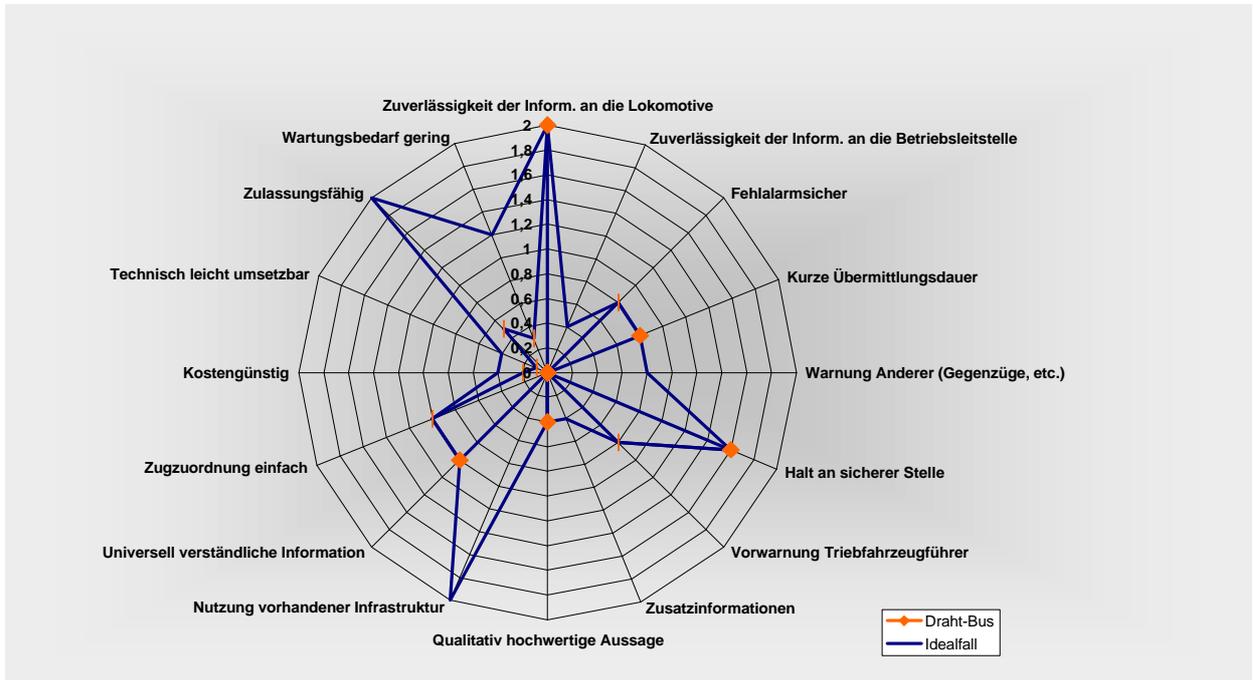
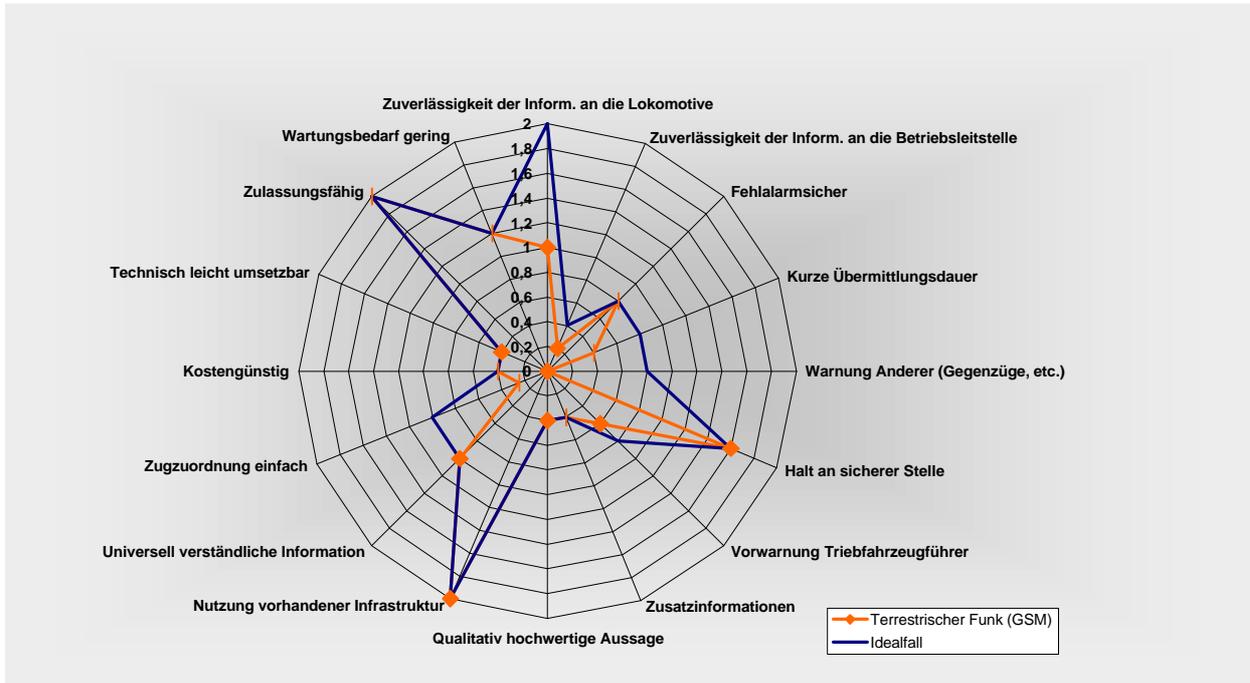
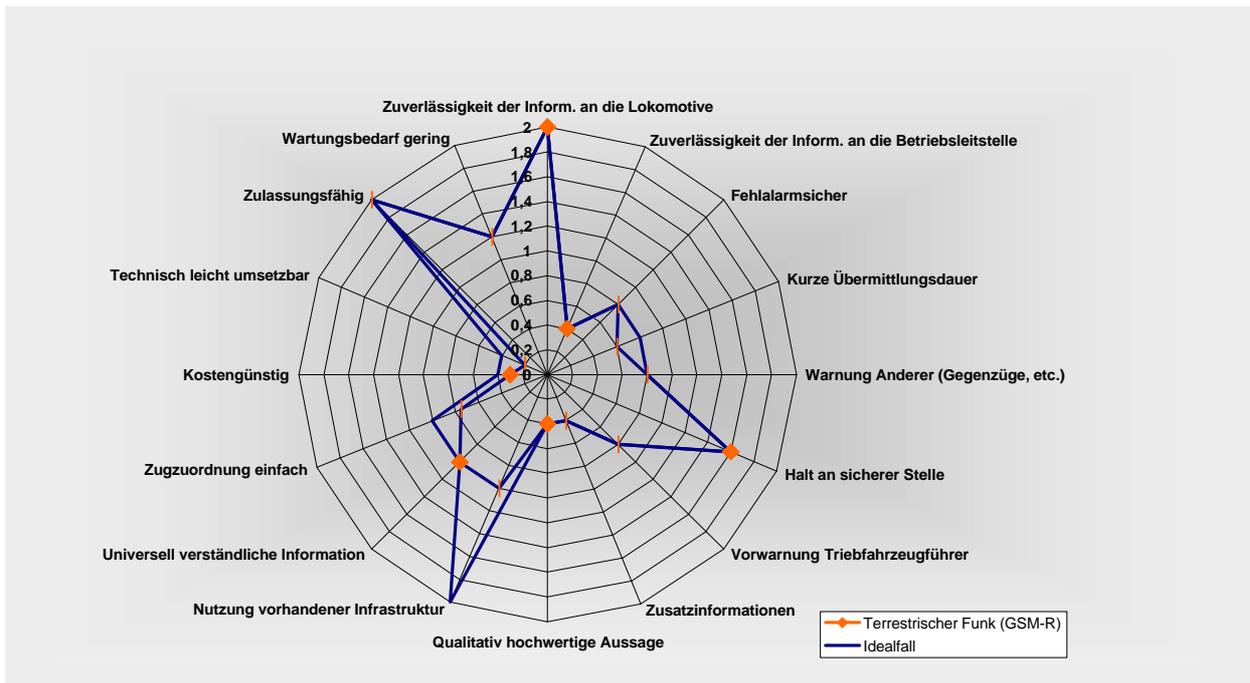


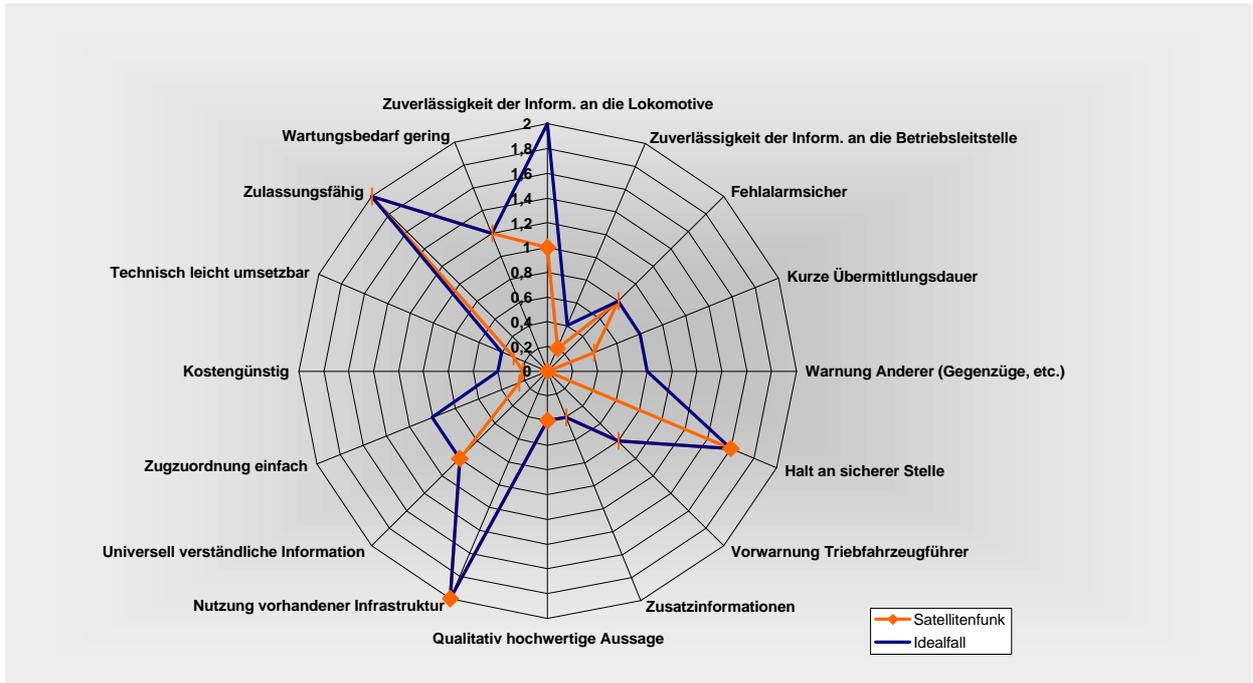
Bild 94: Ergebnis der Nutzwertanalyse des Drahtbus-Systems im Vergleich zur "Ideallösung"



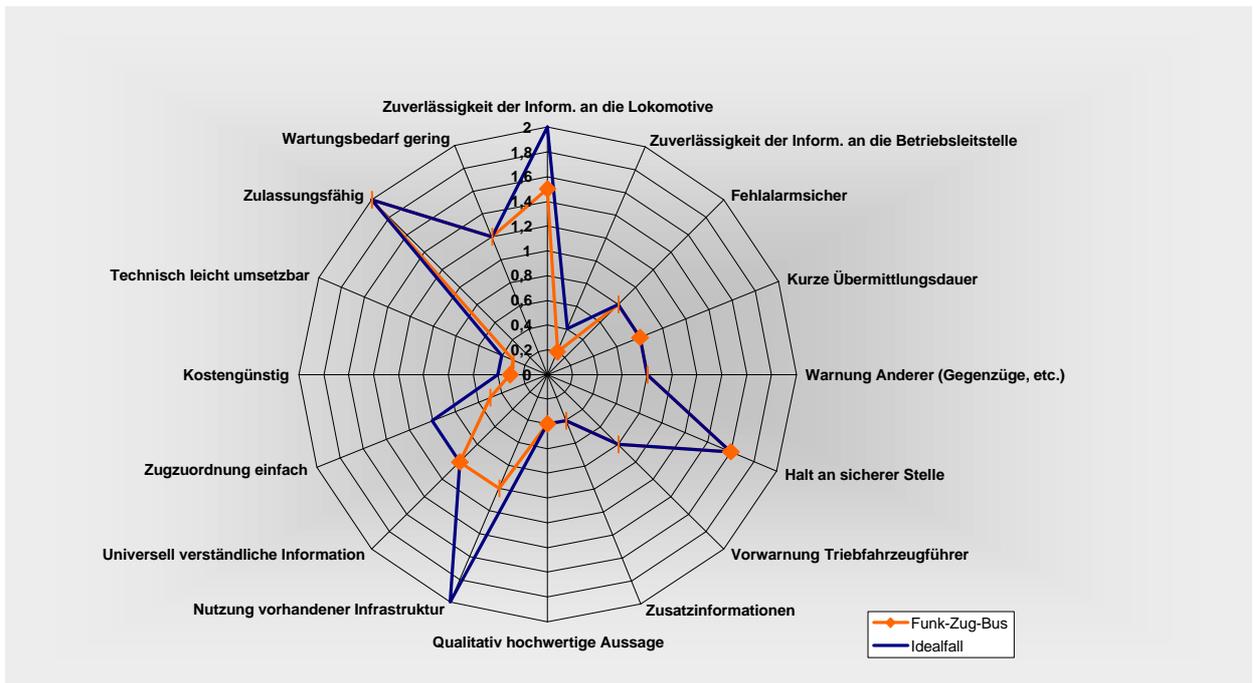
**Bild 95:** Ergebnis der Nutzwertanalyse des Terrestrischen Funk-Systems auf *GSM-Basis* im Vergleich zur "Ideallösung"



**Bild 96:** Ergebnis der Nutzwertanalyse des Terrestrischen-Funksystems auf *GSM-R-Basis* im Vergleich zur "Ideallösung"



**Bild 97: Ergebnis der Nutzwertanalyse des Satellitenfunk-Systems im Vergleich zur "Ideallösung"**



**Bild 98: Ergebnis der Nutzwertanalyse des Funk-Zug-Bus-Systems im Vergleich zur "Ideallösung"**

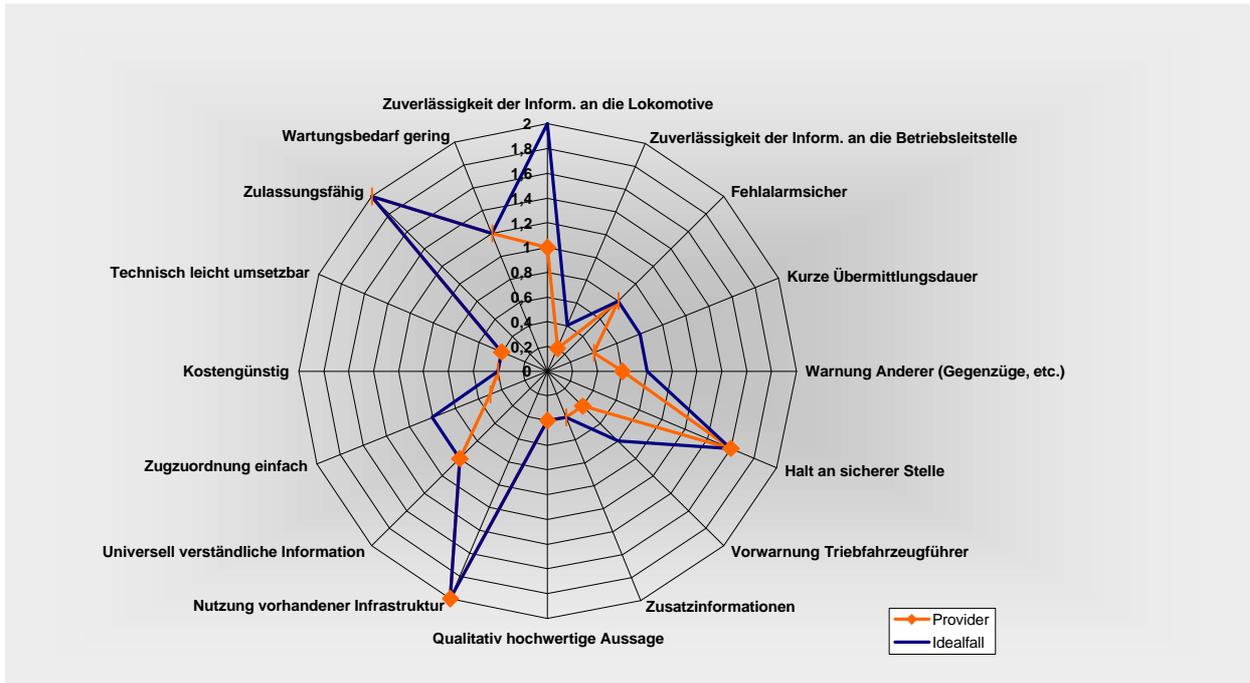


Bild 99: Ergebnis der Nutzwertanalyse des Providers-Systems im Vergleich zur "Ideallösung"

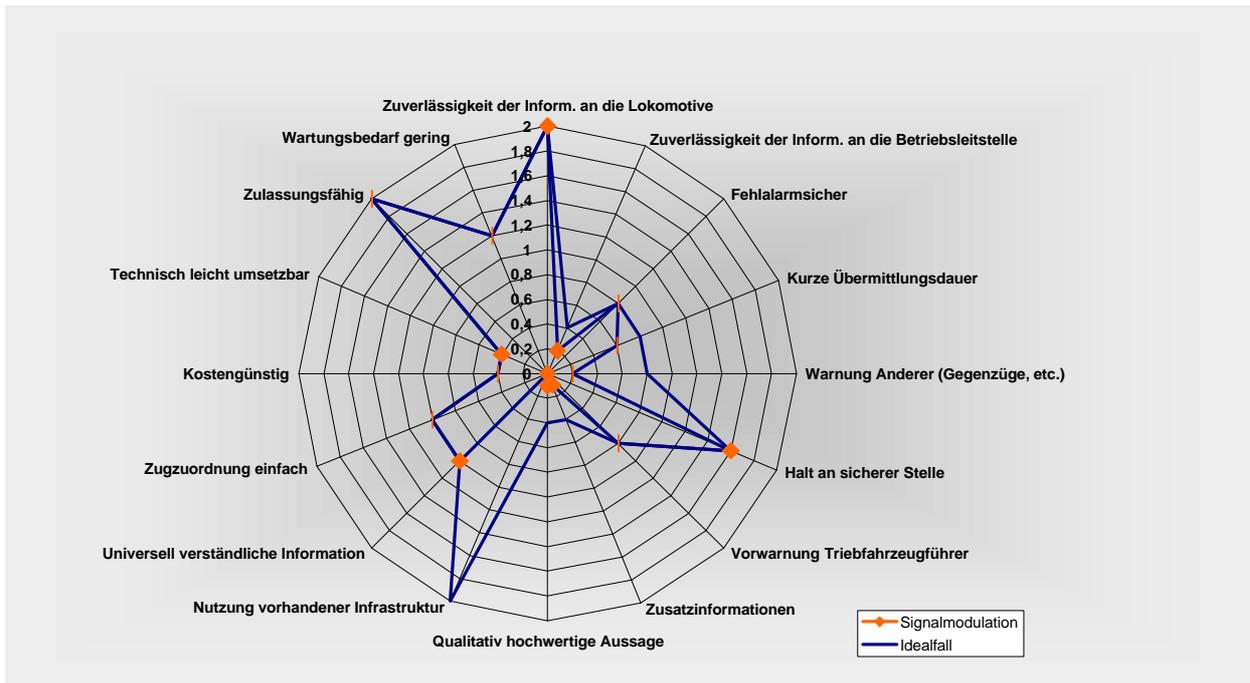
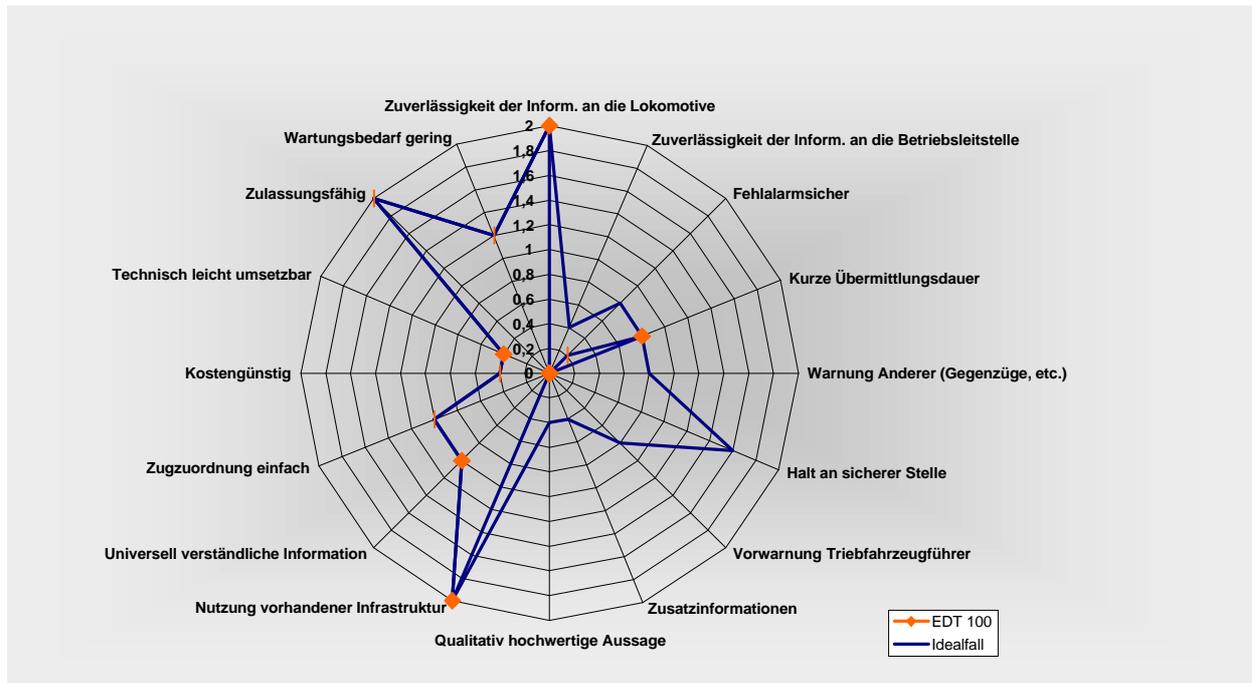


Bild 100: Ergebnis der Nutzwertanalyse des Signalmodulationssystems im Vergleich zur "Ideallösung"



**Bild 101: Ergebnis der Nutzwertanalyse des rein pneumatischen Entgleisungsdetektionssystems im Vergleich zur "Ideallösung"**

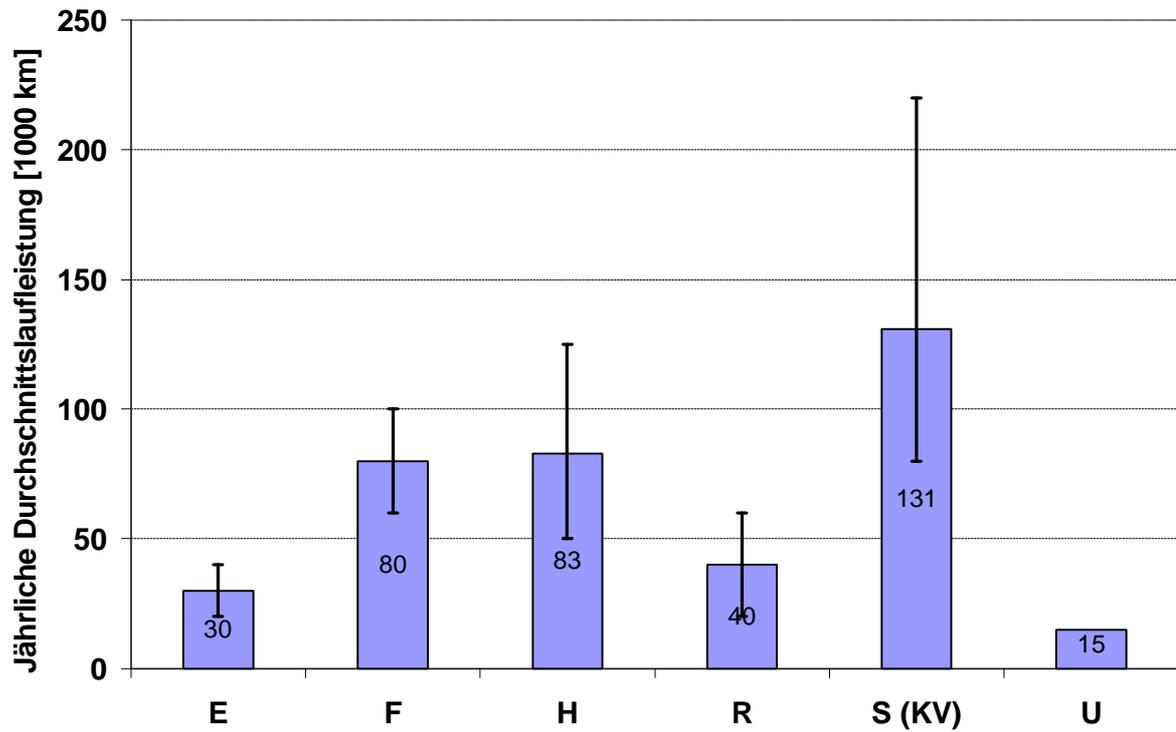
## I Energieversorgung



**Bild 102: Solarpaneel des Chemiekesselwagens**



**Bild 103: Solarpaneel des Mineralölkes-  
selwagens**

**J Wirtschaftlichkeit****Bild 104: Jährliche Durchschnittsleistung und Spanne der Laufleistung (1998)**

## K Sonstiges

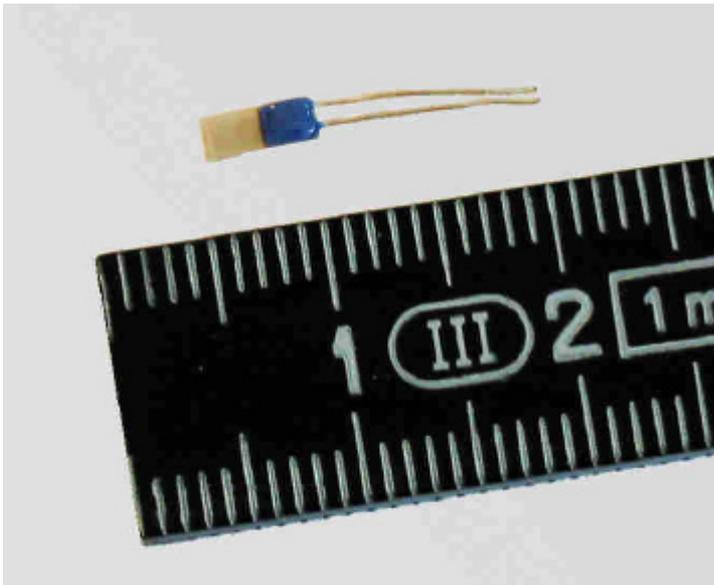
### Mechanischer Entgleisungsdetektor EDT 100



**Bild 105: Mechanischer Entgleisungsdetektor der Fa. Knorr-Bremse**

*Quelle: Katalogabbildung*

### Temperatursensor Achslager

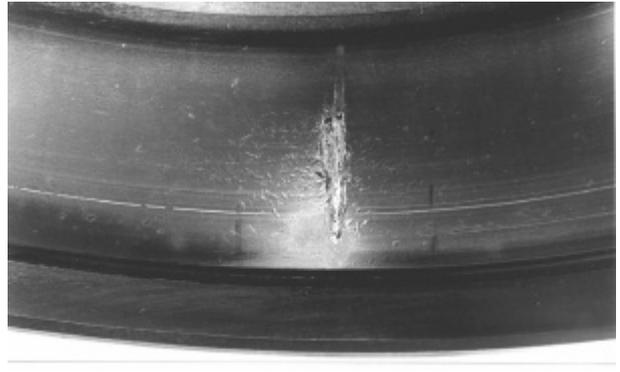
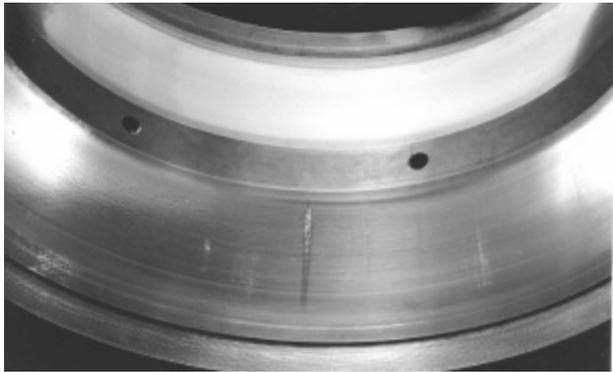
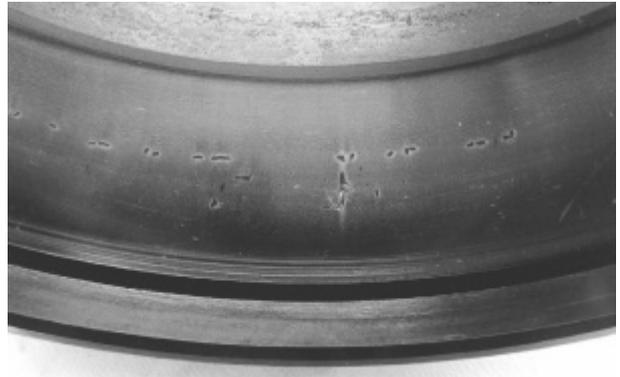
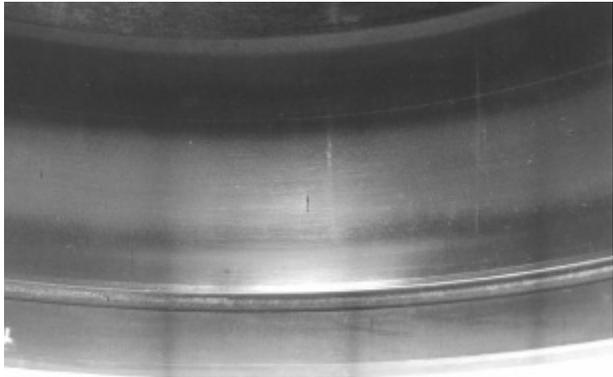


**Bild 106: Beispiel eines Pt1000-Temperatursensors zum Einbau im Achslager**

## Typische Achslager-Schadensbilder im Schienenverkehr

Tabelle 15: Typische Pittingschäden unterschiedlicher Stärke am Außenring der Achslager des ICE-1 (BR 401)

Quelle: Fa.  $\mu$ -sen (Rudolstadt)



## Index

### A

Abfüllung..... 27  
 Abholung..... 130  
 Abnutzung..... 77  
 Abnutzungsvorrat 74, 75, 76, 77, 79, 80, 81  
 Achsweißläufer .... 155, 157, 164, 169, 170,  
 175, 179  
 Achslager.... 14, 33, 34, 35, 43, 44, 54, 73,  
 76, 78, 83, 168, 169, 179, 209, 210  
 Ausfall..... 35  
 Bauart..... 33  
 Schaden..... 34, 84  
 Verschleiß..... 34  
 Achslagerdiagnose..... 33, 43, 54, 191  
 Achslagerschaden..... 21  
 Achslagerzustand..... 34  
 Acrylnitril ..... 172  
 Actros..... 79  
 Alarm .... 27, 77, 78, 86, 88, 89, 90, 91, 92,  
 93, 94, 95, 96, 97, 98, 104, 105, 112,  
 113  
 Alarmierungskonzept..... 88, 90, 96  
 Alarmierungsstrategie ..... 15, 87, 91  
 Alarmierungsweg ..... 87, 89, 95  
 Alarmleitzentrale ..... 94, 96, 97, 98, 106  
 Alarmmeldung..... 26, 29  
 Alaska ..... 140  
 Ammoniak ..... 167, 176  
 Amortisation ..... 78, 109, 124, 128, 131  
 Amortisationsdauer ... 14, 30, 85, 124, 126,  
 127, 128, 130, 132, 133, 136  
 Anschaffung..... 78, 79, 128, 130, 133, 135  
 ATIS..... 5, 52, 54, 66, 190  
 Aufbau 39, 40, 65, 82, 87, 90, 91, 102, 168  
 Auftretenswahrscheinlichkeit..... 37, 39, 42  
 Ausfall ... 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 74,  
 75, 76, 77, 86, 96, 99, 110, 124, 131,  
 132

### B

Batterie ..... 52, 54, 114, 115, 116, 120, 190  
 Befüllen ..... 27, 33, 40, 41, 42, 70  
 Beiladung ..... 26  
 Beladung ... 21, 27, 28, 48, 49, 52, 96, 131,  
 151, 155, 156, 157, 158, 161, 164, 165,  
 167, 168, 170, 172, 173, 175, 176, 177,  
 181, 185  
 Benzin ..... 137, 151, 155, 157, 164, 170  
 Betrug..... 25, 85  
 Bremsanlage ..... 31, 32, 72, 73  
 Bremsbelag ..... 72, 79  
 Bremsdefekt ..... 152  
 Bremsdiagnose..... 32, 199  
 Bremsdruck ..... 32  
 Bremse .. 32, 33, 42, 43, 44, 72, 73, 91, 94,  
 99, 105, 106, 109, 146, 196, 197, 198,  
 209  
 Bremsklotz..... 44, 199  
 Bremsprobe..... 14, 20, 31, 32, 44, 72, 73,  
 141, 142, 146, 152, 165, 196, 198  
 Bremsstellung..... 170, 175  
 Bremsventil..... 94, 96  
 Bremsvermögen ..... 73, 154  
 Bremsversagen ..... 135  
 Bremswirkung..... 197  
 Brennstoffzelle..... 116  
 Bus .. 5, 100, 103, 106, 112, 113, 120, 144,  
 204

### C

Chemiekesselwagen 51, 54, 55, 61, 62, 63,  
 64, 65, 66, 67, 120, 121, 122, 149, 150,  
 186, 189, 191, 192, 201, 207  
 Coil ..... 155

- D**
- DECT ..... 104
- Dehnungsmessstreifen.....5, 54, 67, 68
- Diagnose15, 20, 21, 24, 28, 30, 31, 33, 34,  
35, 36, 37, 38, 39, 41, 44, 45, 48, 56,  
66, 70, 71, 72, 73, 76, 77, 78, 82, 104,  
107, 108, 114, 132, 135, 143, 144, 146,  
199
- Diebstahl.....28, 29, 82, 115
- Dimethylamin ..... 155
- Disposition ..... 15, 25, 26, 85, 200
- Drehgestell.. 28, 30, 48, 50, 51, 52, 54, 73,  
124, 142, 160, 163, 167, 169, 170, 171,  
173, 174, 177, 178
- Druck .... 27, 28, 32, 40, 41, 42, 44, 52, 66,  
67, 69, 70, 72, 84, 105, 144, 196, 197
- Druckgaskesselwagen ..27, 52, 54, 55, 64,  
66, 67, 120, 122, 146, 172, 188, 190,  
191
- Durchschnittsgeschwindigkeit ..... 16, 21
- Durchschnittsleistung ..... 208
- Durchschnittstemperatur ..... 66
- E**
- EBO ..... 5, 23
- EDT 100.....106, 107, 112, 209
- Einzelwagen..... 15, 21, 36
- Energie .... 14, 15, 20, 24, 74, 78, 86, 100,  
114, 115, 116, 117, 119, 120, 122, 135,  
207
- Entdeckung. 27, 33, 37, 38, 39, 40, 41, 42,  
43, 44, 46
- Entgleisung. 15, 21, 28, 30, 33, 35, 42, 43,  
46, 47, 48, 50, 53, 55, 56, 62, 63, 92,  
99, 107, 108, 124, 126, 127, 128, 134,  
135, 137, 138, 139, 140, 141, 144, 151,  
153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160,  
161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168,  
169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176,  
177, 178, 179, 180, 181, 183, 184
- Entgleisungsdetektion ... 14, 30, 31, 35, 46,  
47, 48, 49, 50, 52, 54, 55, 63, 99, 106,  
107, 109, 124, 126, 127, 128, 132, 137,  
145, 206, 209
- Entgleisungsgefahr.....36
- Entgleisungskosten..... 124, 126, 128
- Entgleisungsunfall..... 14, 30, 92, 153
- Entgleisungsursache ..... 173
- Entgleisungsversuch31, 35, 46, 47, 48, 50,  
56, 144, 183, 186
- Entgleisungswahrscheinlichkeit .....42, 127
- Epichlorhydrin..... 157
- Explosion..... 41, 66, 155, 158, 164
- Explosionsschutz..... 52, 70, 109
- F**
- Feder..... 28, 44, 73, 163, 172
- Fehler...21, 37, 40, 70, 110, 144, 167, 169
- Fehlalarm .....47, 107
- Fehlbedienung ..... 27
- Fehldiagnose..... 99
- Fehlerentdeckung.....40, 43
- Fehlerrate..... 14, 20, 21
- Fehlerzustand ..... 39
- Fehlfunktion ..... 37, 38, 39, 40, 41, 42
- Fehlhandlung ..... 20
- Festbremsortung..... 43, 143
- Flachstelle ..... 33, 35, 43, 48, 73
- FMEA ..... 37, 38, 39, 40, 41, 44, 45
- Frist
- Fristen.....23, 35
- Fristwartung .....23, 36
- Früherkennung .....77
- Füllstand..... 40, 42, 66, 70, 144
- Funkbus..... 14, 104
- Funknetz..... 93, 104, 106
- Funksignal ..... 103
- Funksystem ..... 82, 93, 100, 102, 103, 203
- G**
- Galileo .....35
- Ganzzug ..... 15, 159
- Gefahrgut ....27, 28, 38, 39, 51, 87, 91, 96,  
98, 143, 154, 172, 173, 174, 179
- Gefahrgutaufkommen .....51

Gefahrgutaustritt .....172, 173, 179  
 Gefahrgutbehälter ..... 30  
 Gefahrgutbekämpfung..... 97  
 Gefahrgutkesselwagen..... 46, 171  
 Gefahrgutrecht ..... 67  
 Gefahrguttransport ..39, 43, 44, 66, 70, 86,  
 90, 96, 98, 107  
 Gefahrgutüberwachung..... 104, 142  
 Gefahrgutverlust..... 40  
 Gegenzug . 87, 88, 90, 107, 154, 156, 175,  
 176  
 Gleissperre.....47, 48, 163, 168, 183  
 GPRS.....5, 100, 101  
 GPS ..... 5, 15, 35, 54, 82, 115, 134, 190  
 GSM.. 5, 50, 52, 54, 78, 82, 100, 101, 102,  
 104, 105, 106, 112, 113, 115, 190, 203  
 GUNDI ..... 143  
 Güterverkehr ..... 16, 17, 18, 19, 20, 46, 73,  
 137, 147  
 Güterwagen 14, 15, 20, 21, 24, 25, 26, 28,  
 30, 31, 35, 38, 39, 43, 46, 71, 72, 73,  
 92, 105, 115, 124, 125, 131, 135, 136,  
 142, 147, 155, 156, 157, 158, 165, 166,  
 168, 169, 170, 171, 172, 173, 179, 180,  
 196  
 Güterzug . 24, 30, 33, 46, 87, 92, 104, 106,  
 126, 140, 141, 147, 151, 153, 154, 155,  
 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163,  
 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171,  
 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179,  
 180, 181

## H

Hauptuntersuchung..... 100, 114  
 Hemmschuh.. 35, 161, 162, 164, 166, 167,  
 169, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177,  
 178

## I

Instandhaltung .. 15, 22, 24, 32, 33, 34, 35,  
 36, 74, 75, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 83,

84, 86, 109, 115, 116, 134, 142, 145,  
 146, 147  
 Instandhaltungsbedarf ..... 109  
 Instandhaltungskosten..... 35, 78, 132  
 Instandhaltungsstrategie .....22, 74, 84  
 Instandhaltungszustand ..... 166  
 Instandsetzung ..... 74, 75, 77  
 Isopropylbenzen ..... 180

## K

Kessel..... 51, 52, 66, 68, 70  
 Kesseldruck..... 52, 54, 66, 67, 68, 70, 201  
 Kesseldruckprüfung .....69  
 Kesseltemperatur..... 66, 67, 201  
 Kesselwagen .... 14, 31, 33, 39, 40, 41, 42,  
 44, 45, 48, 50, 51, 52, 64, 66, 70, 120,  
 141, 142, 145, 151, 155, 156, 157, 158,  
 159, 162, 163, 164, 165, 167, 170, 171,  
 172, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181,  
 183, 184, 185  
 Kollision.28, 107, 140, 156, 160, 163, 164,  
 165, 168, 172, 173  
 Kommunikation. 14, 52, 53, 86, 87, 89, 91,  
 92, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 102, 104,  
 105, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 113,  
 116, 202  
 Kühltransport .....26  
 Kühltransport  
 Kühlaggregat.....26, 27  
 Kühlkette..... 15  
 Kühlmaschine..... 27  
 Kühlmittelstand..... 79

## L

Ladegut  
 Schaden..... 29  
 Temperatur .....27, 66  
 Überwachung ..... 26, 51, 66, 85, 104, 201  
 Verlust.....28, 165  
 Verschiebung ..... 28  
 Zustands ..... 28  
 Lademaß ..... 122  
 Logistik ..... 24, 52, 85, 132, 134

- M**
- Mineralölkesselwagen...51, 54, 55, 63, 64, 65, 66, 120, 121, 122, 187, 189, 190, 193, 194, 195, 207
- Mobilfunk.....100, 101, 102
- Modulation ..... 106
- Monochloressigsäure ..... 51, 66
- N**
- Netzabdeckung .....93, 100, 101, 102
- Notfall14, 89, 90, 92, 94, 97, 107, 109, 111
- Notruf .....88, 89, 96, 104
- Nutzen .. 24, 25, 26, 28, 30, 36, 39, 42, 44, 45, 74, 77, 85, 106, 113, 114, 132, 134, 136
- Nutzfahrzeug..... 23, 79, 81
- Nutzwert..... 105, 110
- Nutzwertanalyse... 14, 105, 106, 111, 112, 116, 117, 119, 120, 202, 203, 204, 205, 206
- O**
- Ortung .....5, 25, 35, 43
- P**
- Position .....25, 96, 103, 132, 134
- Propangas.....27, 158, 170, 177
- R**
- Radfehler ..... 35, 168
- Radlast..... 43, 155
- Radsatzgenerator..... 116
- Radschaden..... 171
- Rangierbahnhof. 21, 31, 71, 109, 129, 131, 171, 172, 173
- Rangieren ..... 88, 104, 126, 162, 163, 165, 176
- Rangierfahrt ..... 158, 168
- Rangierstoß ..... 71, 72
- Reparatur..... 23, 30, 32, 78, 85, 131, 132
- Revision.....34
- Revisionsfrist .....23
- RID ..... 6, 27, 33, 67, 71, 146
- S**
- Salpetersäure ..... 172
- Satellit.....35, 102, 104, 106, 112, 142, 204
- Schaden 21, 23, 29, 30, 31, 34, 35, 46, 66, 73, 105, 107, 126, 163, 168, 170, 172
- Schadensausmaß.....33, 107
- Schadensbild .....210
- Schadenseintritt..... 15, 30
- Schadensfall ..... 146
- Schadensfrüherkennung.....34, 78
- Schadensgrenze.....74
- Schadenspotenzial .....66
- Schwefelsäure ..... 160
- Selbsttest..... 135
- Sichtprüfung .....32
- Solarzelle.52, 54, 115, 116, 118, 120, 190, 207
- Standort..... 25, 29, 82, 104, 129, 134
- Standzeit ..... 28, 115, 129, 130, 149, 150
- Stückgutverkehr.....28
- T**
- Telematik...1, 5, 15, 24, 26, 27, 35, 46, 50, 52, 68, 85, 86, 87, 90, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 104, 105, 107, 109, 114, 120, 122, 132, 133, 141, 142, 143, 144, 146, 147
- Anforderung ..... 122
- Anwendung ..... 85, 102, 103, 112, 115
- Einführung..... 24
- Einsatz ..... 25
- Energieversorgung ..... 117
- Konzept..... 144
- Nutzen ..... 132
- System14, 15, 24, 25, 26, 29, 30, 36, 46, 47, 50, 52, 53, 66, 70, 73, 85, 91, 92, 93, 94, 96, 98, 99, 102, 104, 108, 110, 114, 115, 119, 120, 124, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 147, 200

Telligent .....	79	Unfall .6, 20, 31, 36, 39, 42, 67, 90, 91, 92, 107, 108, 137, 141, 142, 143, 151, 153
Temperatur ...	6, 26, 27, 28, 33, 40, 41, 44, 51, 54, 66, 67, 68, 70, 78, 115, 144, 190, 209	Unfallfolgekosten .....
Tracing .....	25	132
Tracking .....	25, 52	Unfallfolgen.....
TrainLink .....	104	99
TrainTalk.....	104	Unfallkosten.....
Transport. 6, 15, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 51, 90, 129, 130, 131, 132, 135, 143		126
Transportdauer.....	134	
Transportentfernung.....	22	
Transporterlös .....	99	
Transportgeschwindigkeit.....	21, 134, 149	
Transportkette .....	104, 142	
Transportkosten .....	15	
Transportleistung .	15, 16, 22, 35, 126, 134	
Transportmenge.....	126	
Transportplanverfolgung .....	129	
Transportqualität .....	29, 135	
Transportsicherheit .	15, 27, 30, 46, 50, 85, 141	
Transportumlauf .....	129, 130	
Transportumlaufdauer.....	129, 130	
TUIS.....	6, 90, 98	
Tunnel	91, 92, 99, 104, 113, 164, 168, 169	
Tür .....	29	
Türöffnung.....	27, 29	
<b>Ü</b>		
Überladung .....	27, 28, 35, 176	
<b>U</b>		
Ultraschall .....	54, 190	
Undichtigkeit .....	40, 41, 42, 157, 196	
<b>V</b>		
Verkehrsträger.....	16, 22	
Verschleiß.....	31, 32, 74	
Verschleißgrenzmaß.....	72	
Verschleißzustand .....	79	
Verspätung .....	24, 25	
Verspätungsinformation .....	134	
Vinylacetat.....	156, 157	
Vinylchlorid .....	159	
<b>W</b>		
Wagenverfolgung.....	51, 85	
Werttransport.....	140	
Windgenerator .....	116, 118	
Windkraftanlage.....	78	
Wirtschaftlichkeit	15, 25, 30, 102, 109, 132, 208	
<b>Z</b>		
Zugfunk .....	88, 89, 92, 94, 102, 103	
Zugtaufe .....	92, 93	
Zugtrennung .....	30, 169	
Zugvorbereitung .....	172	
Zugzuordnung .....	109	
Zugzusammenstellung.....	21	
Zuverlässigkeit..	15, 31, 38, 39, 40, 52, 53, 55, 71, 78, 79, 99, 104, 106, 107, 109	
Zwangsbremung .....	165, 166, 175	