



universität
wien

MASTER THESIS

Titel der Master Thesis / Title of the Master's Thesis

Systemtheorie in der Verkehrssicherheit – am Beispiel des Eisenbahnsystems in Österreich

verfasst von / submitted by

Stefan Kasper, BA

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2018 / Vienna 2018

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
Postgraduate programme code as it appears on
the student record sheet:

A 992 242

Universitätslehrgang lt. Studienblatt /
Postgraduate programme as it appears on
the student record sheet:

Risikoprävention und
Katastrophenmanagement

Betreut von / Supervisor:

Dipl.-Ing. Dr.techn. Lichtenegger Gerald

Erklärung

Hiermit versichere ich,

- dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubter Hilfe bedient habe,
- dass ich diese Diplomarbeit bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe
- und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Wien, September 2018

Inhaltsverzeichnis

Erklärung	III
Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
I. Vorwort	IX
II. Kurzfassung	X
III. Abstract	XI
1 Einleitung	1
1.1. Aktueller Forschungsstand	4
1.2. Zielsetzung und Hypothesen	6
2 Definitionen	8
2.1. Allgemeine Definitionen	8
2.2. Eisenbahnspezifische Definitionen	9
3 Methodik	10
3.1. Literaturrecherche	10
3.2. Variablen	12
3.3. Datenanalyse	13
4 Theoretische Ansätze	15
4.1. Allgemeine Systemtheorie	15
4.1.1. Komponenten der Systemtheorie	18
4.1.2. Merkmale der Systemtheorie	19
4.2. Systemtheorie nach Niklas Luhmann	22
4.2.1. Theorie offener Systeme	22
4.2.2. System als Differenz (Formanalyse)	23
4.2.3. Operative Geschlossenheit	23
4.2.4. Autopoiesis	24
4.2.5. Strukturelle Kopplung	25
4.2.6. Doppelte Kontingenz	25
4.2.7. Gesellschaft und ihre Subsysteme	26
4.3. Systemisches Risiko	28
4.4. Technik	28
4.5. Systemtechnik	35
4.6. Soziotechnische Systeme	36
4.7. Sicherheit	40
5 Sicherungssysteme Eisenbahn	44
5.1. Sicherheitsfahrschaltung (Sifa)	46
5.2. Punktförmige Zugbeeinflussung (PZB)	46
5.3. Linienzugbeeinflussung (LZB)	48
5.4. European Train Control System (ETCS)	49

Inhaltsverzeichnis

5.4.1.	ETCS Level 1	49
5.4.2.	ETCS Level 2	50
5.4.3.	ETCS Level 3	51
6	Rechtliche Aspekte des Eisenbahnsystems	54
6.1.	Allgemeine Anforderungen	55
6.1.1.	Sicherheit	55
6.1.2.	Zuverlässigkeit und Betriebsbereitschaft	55
6.1.3.	Gesundheit	56
6.1.4.	Umweltschutz	56
6.1.5.	Technische Kompatibilität	56
6.2.	Besondere Anforderungen an jedes Teilsystem	56
6.2.1.	Infrastrukturen	56
6.2.2.	Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung:	56
6.2.3.	Fahrzeuge:	56
7	Human Factors	58
7.1.	S-H-E-L-L Model zur Analyse von Unfälle	60
7.2.	Liveware	61
7.3.	Liveware-Software	62
7.4.	Liveware-Hardware	62
7.5.	Liveware-Environment	62
8	Kulturtheoretischer Ansatz	64
9	Eisenbahnunfälle	67
9.1.	European Railway Agency	67
9.2.	Sicherheitsuntersuchungen	67
9.2.1.	Definitionen	68
9.2.2.	Ziel der Untersuchung	69
9.3.	Unfälle in Österreich	70
10	Resümee	77
11	Ausblick	80
12	Literaturverzeichnis	81

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Funktionen des soziotechnischen Systems nach Baitsch (Datengrundlage: Lichtenegger, 2009, S.38)	39
Abbildung 2: ETCS Level 1 (Deutsche Bahn 2014)	50
Abbildung 3: ETCS Level 2 (Deutsche Bahn 2014)	51
Abbildung 4: Übersicht ETCS in Österreich (ÖBB Infra, 2014).....	52
Abbildung 5: Übersicht Zugsicherungssysteme in Europa (Deutsche Bahn 2014)	53
Abbildung 6: Gesamtübersicht Human Factors (eigene Darstellung)	59
Abbildung 7: Komponenten des SHEL Modells (Hawkins, 1987)	60
Abbildung 8: Verhältnis zwischen Entgleisungen und Kollisionen in Österreich (eigene Darstellung)	70
Abbildung 9: System-Umwelt Analyse nach dem SHELL-Modell (eigene Darstellung) .	74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Definitionen Korrelation (Bühl und Zöfel 2000)	14
Tabelle 2: Geschwindigkeitsüberprüfung nach Tzf Art und Magent (Universität Stuttgart)	47
Tabelle 3: Anzahl der Unfälle in Österreich von 2010-2016	69
Tabelle 4: Signifikante Unfälle in Europa von 2010-2015 (Quelle: ERAIL)	69
Tabelle 5: Stellenbeschreibungen nach Kategorie im Schienenverkehr(ERA, 2012)	70
Tabelle 6: Häufigkeitsverteilung der SHELL Kategorien in Bezug auf schwere Unfälle.	71
Tabelle 7:Häufigkeitsverteilung nach Jahreszeiten in Bezug auf schwere Unfälle	72
Tabelle 8: Häufigkeitsverteilung nach Tageszeiten in Bezug auf schwere Unfälle	73
Tabelle 9: Häufigkeitsverteilung in Bezug auf Verletzte und Tote in Bezug auf schwere Unfälle	73
Tabelle 10: Häufigkeitsverteilung nach Hauptkategorien in Bezug auf schwere Unfälle	74

Abkürzungsverzeichnis

bzw	beziehungsweise
E	Environmental
EisbBBV	Eisenbahnbau- und Betriebsverordnung
EisbG	Eisenbahn Gesetz
ERA	European Railway Agency
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ETCS	European Train Control System
EU	Europäische Union
Fdl	Fahrdienstleiter
GSM-R	Global System for Mobile Communication – Railways
H	Hardware
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organisation
IRGC	International Risk Governance Council
L	Liveware
L-E	Liveware-Environmental
L-H	Liveware-Hardware
L-L	Liveware-Liveware
L-S	Liveware-Software
Sifa	Sicherheitsfahrschaltung
S	Software
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
LFZG	Luftfahrzeug
LZB	Linienzug Beeinflussung
NIB	National Investigation Body
RBC	Radio Block System
RL	Richtlinie
UUG	Unfalluntersuchungsgesetz
SUB	Sicherheitsuntersuchungsstelle des Bundes
Tfz	Triebfahrzeug
Tfzf	Triebfahrzeugführer
TSI	Technische Spezifikationen Interoperabilität

I. Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde aus zweierlei Aspekten gewählt. Zum einen war es von großer Bedeutung in einer von Technikern umgebenen Arbeitswelt auch einen sozialwissenschaftlichen Bestandteil der Thematik darzulegen und eine enge Verknüpfung zwischen diesen beiden Fachgebieten herzustellen. Zum anderen liegt mir persönlich das Thema der öffentlichen Sicherheit am Herzen. Hierzu einen möglichen Gedankenanstoß zu setzen, dass es mehrere Möglichkeiten gibt auf die sich Eisenbahnunfälle zurückführen lassen.

Ich möchte mich an dieser Stelle von ganzem Herzen bei allen bedanken, die mich im Zuge der letzten beiden Jahre unterstützt haben.

II. Kurzfassung

Unfälle im Eisenbahnsystem können oftmals fatale Folgen für Menschen und die Umwelt haben. Um das Risiko eines Unfalles zu vermeiden werden in der heutigen Zeit oftmals technische Hilfsmittel eingesetzt um den Menschen bei Entscheidungsprozessen zu unterstützen. Trotz dieser technologisch komplexen Errungenschaften passieren nach wie vor Unfälle die Medial auf den Faktor Mensch reduziert werden.

In der vorliegenden Master Thesis wird der Fokus auf eine systemtheoretische Betrachtungsweise gelegt um aufzuzeigen, wie sich Menschen innerhalb eines Systems zu Recht finden und in Kombination mit technischen Systemen agieren. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wird die Schnittstelle zwischen dem Menschen auf der einen Seite und der Technik auf der anderen Seite sowohl theoretisch als auch anhand empirischer Daten dargelegt. Der Fokus liegt hierbei auf den Schnittstellen beziehungsweise Schwachstellen zwischen diesen beiden Systemen. Trotz der zahlreichen technischen Errungenschaften der letzten Jahrzehnte, kann das System Eisenbahn nach wie vor nicht als 100 prozentig sicher betrachtet werden. Die Erkenntnisse dieser Arbeit wurden Anhand einer Literaturrecherche sowie anhand einer empirischen Auswertung der Vorfälle auf dem Eisenbahnsystem in Österreich miteinander verbunden und vernetzt.

III. Abstract

Accidents in the railway system can have fatal consequences for people and the environment. In order to avoid the risk of an accident technical aids are often used to assist people in the decision making processes. Despite these technologically complex achievements accidents continue to be reduced to human factors. In this master thesis the focus is on a system-theoretical approach to show how people find themselves right within a system and act in combination with technical systems. Based on the knowledge gained, the interface between humans and technology is presented theoretically and empirically. The focus is on the interfaces or weak points between these two systems. Despite the numerous technical achievements of recent decades, the railway system still can not be considered as 100% safe. The findings of this work were linked and networked on the basis of a literature research as well as on the basis of an empirical evaluation of the incidents on the railway system in Austria.

1 Einleitung

Neue Technologien bringen oftmals ein gewisses Potential mit sich, die Sicherheit zu verbessern, zu erhöhen oder auch effizienter zu gestalten. Zum Beispiel ist die Wahrscheinlichkeit einen schweren Unfall mit der Eisenbahn, in Bezug auf Todesfälle pro Millionen Eisenbahn Kilometer, pro Person in Österreich, zu haben liegt bei einem Wert von 0,2 Prozent. Somit zeigt sich, dass das Verkehrsmittel Eisenbahn zu einem der Sichersten im öffentlichen Verkehr gehört. Im europäischen Kontext liegt dieser Wert sogar noch deutlich niedriger, nämlich bei einem Wert von 0,1 Prozent. Dieser Wert ist in Hinblick auf die Größe des österreichischen und europäischen gesamt Schienensystems sehr niedrig. Im Vergleich liegt dieser Wert nach der Verwendung eines Flugzeuges (0,06 Prozent) an der zweiten Stelle. Für Busreisen (0,19 Prozent) Autofahren (1,82 Prozent) und zweirädrige Fahrzeuge (37,8 Prozent) gibt es eine wesentlich höhere Wahrscheinlichkeit einen Unfall mit fatalen Folgen für die Gesundheit des Menschen zu haben. (ERA, 2017)

Bei der Aufklärung von Großschadensereignissen im Bereich Eisenbahn wird in vielen Fällen von menschlichem Versagen gesprochen. Demzufolge werden oftmals Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitstechniken als Konsequenzen von staatlichen Organisationen herangezogen, um solche derartigen Geschehnisse künftig zu vermeiden oder auf ein kalkulierbares Risiko zu minimieren. Diese können in Folge dessen durch technische Maßnahmen aber auch durch gezielte Trainingsmaßnahmen oder Gesetzesänderungen einen mittelbaren Einfluss auf künftige Ereignisse ausüben. Jedoch bleibt trotz aller Veränderungen nach wie vor ein gewisses Restrisiko durch den „Faktor Mensch“, welches nur sehr schwierig zu kalkulieren ist. Die vorliegende Arbeit soll sich explizit mit Hilfe eines Systemtheoretischen Ansatzes damit auseinander setzen.

Niklas Luhmanns Theorie von sozialen Systemen zählt zu einer der bedeutendsten aber auch mestdiskutierten Theorien in vielen Bereichen der Wissenschaft. Luhmann stellt sich innerhalb seiner Theorie selbst den Anspruch, eine allumfassende Theorie aufgestellt zu haben. Der Systemtheoretische Ansatz von Niklas Luhmann scheint an dieser Stelle sehr geeignet, da er eher wenige Konkretisierungen trifft und daher als Allgemein betrachtet werden kann. „Die Systemtheorie *„[...] orientiert sich an Probleme die verschiedene Lösungen vergleichen“* (zit. Schuldt, 2017, S.77). Die vorliegende Arbeit soll anhand seiner Theorien aber auch mit Hilfe anderer Systemtheorien den Versuch aufstellen, die Risiko- und Unfallforschung auf dem Gebiet der Eisenbahn in Österreich darzustellen und aufzuzeigen, dass sich mit Hilfe der Systemtheorie der Fehler im „System“ nachvollziehen und aufzeigen lässt.

Für Niklas Luhmann bedeutet der Begriff Risiko eine Zukunft, die das Individuum zum einen weder kennen kann und zum anderen auch nicht ausschließen kann „[...] dass man Entscheidungen später bereut, auch wenn man das Risiko kalkuliert hatte; denn wenn das Risiko eintritt, stellt sich die Sachlage doch wieder anders dar [...]“ (zit. Luhmann, 2008, S.189).

Auch das Thema Sicherheit steht in diesem Kontext in einem engen Zusammenhang mit jenem des Risikos und des Handelns von Individuen. Geht es nach einer Definition von Malte Hossenfelder, so ist eine Handlung eine bewusste Verfolgung eines Zweckes. (vgl. Hossenfelder, 2008, S.17). Das bedeutet, dass Handlungen frei und nicht durch vorausgehende Ereignisse determiniert sind.

Die wesentliche Frage mit welcher sich die Masterthesis beschäftigen soll, ist inwieweit der Faktor Mensch einen Einfluss auf Großschadensereignisse hat und ob dieser mit Hilfe technischer Maßnahmen minimiert oder eher erhöht wird. Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem subjektiven Sicherheitsempfinden von Menschen und der Anzahl an Unfällen? Wie und nach welchen Kriterien entscheiden Menschen oftmals innerhalb von Sekunden über eine zu setzende Maßnahme oder Handlung? Ist autonomes Fahren durch technische Innovationen sicherer als wenn der Mensch agiert? Genügt ein funktionales Sicherheitsempfinden für die Handelnden Personen damit sie sicherer unterwegs sind? Wo liegen die Grenzen hierfür?

Die vorliegende Arbeit soll diese Fragen anhand eines Systemtheoretischen Ansatzes aufzeigen. Hierfür soll methodisch mit Hilfe eines Systemtheoretischen Ansatzes herangeführt werden. Zu Beginn werden einige grundlegenden Bereiche der Systemtheorie von Luhmann, wie die Beschreibung von offenen und geschlossenen Systemen, der Begriff der operativen Geschlossenheit, der Autopoiesis und der doppelten Kontingenz erläutert um das Grundkonstrukt der allgemeinen Systemtheorie darzulegen.

In weiterer Folge wird von Luhmanns Grundverständnis der Systemtheorie aufbauend, auf diverse modifizierte Systemtheorien, wie soziotechnische Systeme, die eine der zentralen Problembereiche hinsichtlich einer möglichen Unfallursache darstellen, eingegangen. Anschließend soll eine Verbindung zwischen dem theoretischen Teil und einer Analysevariante von Hawkins (1987) hergestellt werden. Des Weiteren werden auch rechtliche Rahmenbedingungen, wie diverse Vorgaben, mit Hilfe derer der staatliche und europäische Apparat versucht, hinsichtlich der Sicherheit den Unternehmen Vorgaben zu machen dargelegt. Hierbei wird deutlich aufgezeigt, dass es sich dabei rein um Rahmenbedingungen handelt.

Im zweiten Teil der vorliegenden Arbeit, wird konkret auf die in Österreich herrschenden technischen Systemen, die die Sicherheit der Eisenbahn gewährleisten sollen eingegangen. Hierbei werden zunächst die Zugsicherungssysteme kurz dargelegt, sowie deren Funktionsweisen in einem theoretischen Konstrukt präsentiert. Es soll aufgezeigt werden, welche Arten in Österreich derzeit aktiv eingesetzt werden und in weiterer Folge welche Ziele seitens der Europäischen Union derzeit in der Umsetzungsphase sind. Die European Railway Agency, hat es sich zum Ziel gemacht, das sicherste Eisenbahn Netz der Welt werden.

Innerhalb der letzten Jahre gab es zahlreiche Methoden um das System Eisenbahn sicherer zu gestalten. Hierbei wurde der Fokus vor allem auf die Adaptierung von technischen Systemen gelegt. Der Faktor, der technisch nicht umsetzbar ist, jedoch oftmals einen Einfluss auf Handlungen hat, die zu Unfällen führen können, ist der Mensch, der hierbei jedoch noch nicht in all seinen Facetten und Elementen dargelegt wurde. Im Zuge von Unfallanalysen, wie sie von staatlichen Institutionen, durchgeführt werden, findet der Faktor Mensch bis dato nur am Rande statt.

Ziel sollte es sein, darzulegen, inwieweit der Mensch in das System eingreift, wo seine Schwierigkeiten liegen, in welchen Systemkonstellationen es zu Fehlern kommen kann und wie beziehungsweise in wie weit technische Systeme hier eingreifen könnten. Hierzu soll mit Hilfe einer System-Umfeld-Analyse nach SHELL grundsätzlich das Eisenbahnsystem dargelegt werden und in weiterer Folge mit Hilfe einer deskriptiven Analyse die Vorfälle in Österreich von 2010 bis 2017 verglichen werden.

Ein weiterer Aspekt der im Zuge der Analyse dargelegt werden soll ist der übergeordnete Begriff der Sicherheit.

Das Sicherheitsziel wird oftmals als eine Art Kostenfaktor angesehen. Es zählt hierbei nicht, die Optimierung eines Gesamtsystems voran zu treiben, sondern oftmals stehen zusätzliche sicherheitsrelevante Anwendungen dem gesamten gegenüber.

Es zeigt sich deutlich, dass „human factors“ in ein System eingebettet sind, dass von technischen und organisationalen Bereichen bestimmt wird. Die Rolle des Menschen, wird oftmals nicht als Löser des Problems dargestellt, sondern vielmehr als das Problem an sich. Dies zeigt sich recht deutlich anhand einer Studie von Giesa und Timpe (2000) die besagt, dass im Bereich der Luftfahrt der Mensch einen Anteil von beinahe 70 Prozent in der Ursachenforschung aufweist (Giesa und Timpe, 2000, S.89). Maschinen und Computer übernehmen zunehmend die Aufgaben von Menschen, was bedeutet, dass eine Automatisierung der Systeme, in der modernen Gesellschaft, immer präsenter wird. Wie sich anhand der vorliegenden Arbeit aufzeigt werden soll, dient der

Mensch in manchen Systemen nur mehr als eine Art Kontrollinstanz dieser technischen Systeme. Ob dies die Sicherheit erhöht oder eher nicht bzw. ob eine Steigerung der Komplexität der Systeme die Anzahl von latenten Fehlern erhöht, ist eine der wesentlichen Fragestellungen der vorliegenden Arbeit.

Um einen Überblick über das gesamte Zugsichersystem darstellen zu können, wird in der vorliegenden Arbeit eine System-Umfeld-Analyse nach dem SHELL Modell sowie eine Darstellung der einzelnen Akteure des ausgewählten Themenbereiches aufgezeigt. Des Weiteren werden die grundlegenden Sicherungssysteme, die derzeit in Österreich im Eisenbahnverkehr verwendet werden, zur Veranschaulichung vereinfacht, ohne in technische Details zu gehen, dargelegt. Anhand dieser Systeme wird eine deskriptive Statistik von ausgewählten Unfälle seit dem Jahr 2010 ausgewertet um eventuelle Zusammenhänge zwischen dem theoretischen Teil der Arbeit und den empirisch erhobenen Daten zu vergleichen.

1.1. Aktueller Forschungsstand

Der Stand der Forschung der Systemtheorie, wie sie im Laufe der Arbeit noch näher beschrieben wird, lässt sich Ursprünglich bis in die Weimarer Republik zurückverfolgen (Müller 1996 In: Lodde, 2010, S.156). Im Laufe der Zeit entwickelte sich der systemtheoretische Ansatz fortwährend und etablierte sich in beinahe allen wissenschaftlichen Disziplinen.

Der aktuelle Forschungsstand der Thematik Human Faktors im Eisenbahnwesen ist im Vergleich zum Forschungsstand in der zivilen Luftfahrt noch nicht sehr ausgeprägt. Die International Civil Aviation Organisation (ICAO) empfiehlt im Hinblick auf die Untersuchung von Human Factor Elementen das SHELL Modell von Hawkins (ICAO, 2004). Dieses Modell dient im Wesentlichen dazu, das Zusammenwirken von Menschen und Maschinen in einem bestimmten Arbeitsumfeld zu analysieren.

Die Bedeutung von „human factors“ wurde innerhalb der letzten Jahre auch im Eisenbahnsektor immer bedeutsamer. Der Begriff ist Disziplinen übergreifend und findet sich derzeit bei beinahe allen Untersuchungen von Großschadensereignissen wieder und wird auch in der Aufarbeitung immer öfters berücksichtigt. Seitens der European Railway Agency (ERA) wurde eine Task Force im Jahr 2012 gebildet, die sich Experten aus unterschiedlichsten Fachkreisen zusammensetzt. Ziel ist es, soziotechnische Systeme genauer zu betrachten, und im Laufe der Zeit die Integration von „human factors“ in den europäischen Eisenbahnunfall Untersuchungen zu etablieren. Auch seitens der ERA wird hinsichtlich auf die Untersuchung von Unfällen immer mehr der Fokus auf die detaillierte Betrachtung der menschlichen Faktoren gelegt. Ziel ist es,

dass Europäischen Eisenbahn System zu einem der Sichersten weltweit zu etablieren.

Hierzu müssen neben technischen Maßnahmen in Zukunft auch Human-Komponenten betrachtet werden. Im Moment gibt es seitens der ERA noch keine exakte einheitliche Vorgehensweise wie „human factors“ untersucht werden sollte. Bei näherer Betrachtung zeigt sich, dass die einzelne Mitgliedsstaaten der Union zwar die Human Faktoren in der Ursachenforschung nicht explizit ausschließen, jedoch findet sich keine einheitliche etablierte Methode für die Untersuchung von Unfällen in Hinblick auf diese.

Das Modell von Hawkins, das SHELL Model, unterscheidet die vier Systeme Liveware (Mensch), Hardware (Technik), Software (organisatorische Rahmenbedingungen) und Environmental (Umwelt). Das Prinzip wurde zwar bereits im Jahre 1987 entwickelt und anhand der Erfahrungen der ICAO zeigt sich jedoch, dass sich das System gut etablieren konnte und nach wie vor verwendet wird. Das System definiert „human factors“ explizit als eine angewandte Technologie, die das Verhältnis zwischen Menschen und ihren Aktivitäten als eine Art duale Zielorientierung zu optimieren versucht. Dies geschieht nach Hawkins, durch eine systematische Verwendung von humanwissenschaftlichen Ansätzen innerhalb von „system engineering“ (Hawkins, 1987, 13ff.).

Des Weiteren wurden wichtige Theoriemodelle in Hinblick auf die Sicherheitsforschung durch die Arbeiten von Turner (1978) und Perrow (1987) sowie durch Ansätze der High Reliability Forschungsgruppe gelegt. In Bezug auf die gewählte Thematik des systemischen Ansatzes im Hinblick auf Human Factors wurde vor allem die Arbeit von Badke-Schaub, Hofinger und Lauche herausgegeben Arbeit, über die Psychologie des sicheren Handelns in Risikobereichen, in zahlreichen Publikationen erwähnt. Professorin Dr. Badke-Schaub, hat den Lehrstuhl für Design Theorie und Methodologie an der technischen Universität Delft. Ihre Forschungsschwerpunkte beziehen sich auf Denk und Handlungsprozesse in komplexen Realitätsbereichen sowie im speziellen im Bereich der Produktentwicklung (Badke-Schaub, 2012,S.354). Weiters bezieht sich Salvendy (2006) in ihrem Handbuch, über Human Factors und Ergonomie, mit der Rolle des Menschen in komplexen Systemen sowie mit dem technischen Design von Geräten in Hinblick auf eine effiziente Anpassung von Arbeitsumgebungen in Risikobereichen (Badke-Schaub, 2012, S.4).

1.2. Zielsetzung und Hypothesen

Die vorliegende Arbeit nimmt sich zum Ziel, grundlegende Prinzipien der systemtheoretischen Forschung darzustellen und in weitere Folge explizit auf einige Aspekte dieser Theorien einzugehen. Es soll aufgezeigt werden, in wie weit und ob sich das Eisenbahnsystem mit Hilfe der Systemtheorie, in Bezug auf systemtechnische Sicherungssysteme, untersuchen und analysieren lässt, um darzulegen ob die derzeit entwickelten Maßnahmen, das Risiko eines menschlichen Fehlers verringern oder erhöhen. Des Weiteren soll ein Ausblick, auf für die Sicherheit relevante, mögliche Veränderungsschritte dargelegt werden.

Die Arbeit richtet sich explizit an ein technisches aber auch an ein nicht technikaffines Publikum, mit dem Ziel aufzuzeigen, dass hinter beiden Fachrichtungen derselbe Zielgedanke steckt, dass es jedoch mehrere Möglichkeiten gibt, dieses zu erreichen.

Die nachfolgenden Hypothesen wurden anhand der aktuellen Thematik und medialen Präsenz des vorliegenden Themas gewählt. Autonomes Fahren gewinnt derzeit in allen Verkehrsbereichen immer mehr an Bedeutung.

Die erste Hypothese soll der Frage nachgehen, ob technische Sicherungssysteme in Hinblick auf die Unfallprävention effizienter und zuverlässiger agieren als dies Menschen vergleichsweise erledigen. Hierzu soll der Frage nachgegangen werden ob es in Österreich mehr Unfälle gibt die auf menschliche oder auf technische Faktoren zurückzuführen sind. Weiters soll dargelegt werden, in welchem Teil des Gesamtsystems das größte Fehlerpotential liegen könnte und abschließend stellt sich die Frage, ob technische Sicherungssysteme die Sicherheit fördern oder eher behindern.

Aus diesem Grunde wurde die erste Hypothese wie folgt aufgestellt:

H1: „*Technische Systeme im Eisenbahnsystem erhöhen die Sicherheit.*“

Die zweite aufgestellte Hypothese soll der Frage nachgehen wie Menschen aus einer systemtheoretischen Sicht betrachtet, innerhalb eines Systems risikobereiter oder eher risikoscheuer sind. Weiters stellt sich die Frage ob eine eventuell Komplexität eines Systems zu Problemen führen kann oder ob dies keinen Einfluss hat. Sollte das System an Komplexität gewinnen, würde dies eventuell die menschliche Fehleranfälligkeit steigern. Abschließend soll dargelegt werden, ob es externe Faktoren gibt, die einen aktiven Einfluss auf menschliches Handeln ausüben können.

Durch diese Fragestellungen wurde die zweite Hypothese folgendermaßen aufgestellt:

H2: *„Innerhalb von komplexen Systemen reagieren Menschen affektiver“.*

Die Hypothesen sollen Anhand einer theoretischen und empirischen Vorgehensweise sukzessive beantwortet und abschließend entweder verworfen oder bestätigt werden.

2 Definitionen

Die folgenden Fachbegriffe der vorliegenden Arbeit werden an dieser Stelle erläutert, um den Einstieg in die Thematik zu erleichtern. Diverse fachspezifische Ausdrücke werden an gegebenen Stellen innerhalb der Arbeit explizit erläutert.

Als wesentliche Quelle für die Definitionen dienen diverse europäische Richtlinien beziehungsweise österreichische Rechtsgrundlagen.

2.1. Allgemeine Definitionen

Eisenbahnsystem

Gemäß Richtlinie 2004/49 EG vom 29. April 2004, wird als Eisenbahnsystem die Gesamt der Teilsysteme für die Struktur- und Betriebsbezogenen Bereiche definiert (2004/49/EG, Art.3a).

Schwerer Unfall

Als „schwere Unfall“ werden Kollisionen und Entgleisungen von Zügen definiert, bei denen es mindestens ein Todesopfer, fünf Schwerverletzte oder eine Gesamtschadenssumme von mindestens 2 Millionen Euro gibt (2004/49/EG, Art.3l).

Unfall

Ein „Unfall“ ist ein Ereignis das eine Verkettung von unbeabsichtigten Ereignissen zur Folge hat. Als Unfälle werden Kollisionen, Entgleisungen, Unfälle auf Bahnübergängen, Unfälle mit Personenschaden die von beweglichen Schienenfahrzeugen ausgehen definiert (2004/49/EG, Art.3k).

Technische Spezifikationen für die Interoperabilität

„Technische Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI)“, werden gemäß Richtlinie 2004/49/EG jene Spezifikation bezeichnet, die für jedes einzelne Teilsystem bzw. Teile davon im Hinblick auf *die „[...] Erfüllung der grundlegenden Anforderungen und die Gewährleistung der Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems und konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems [...] gelten“* (2004/49/EG, Art.3d).

Untersuchung

Eine „Untersuchung“ wird als ein Verfahren definiert, dass dem Zweck der Verhütung von Unfällen und Störungen dient. Hierbei werden Informationen ausgewertet und Schlussfolgerungen festgelegt. Es dient nicht dazu, eine Schuld oder Haftung zu klären sondern soll einen Beitrag zur Sicherheit leisten (2004/49/EG, Art.3n).

2.2. Eisenbahnspezifische Definitionen

Hauptbahnen

„Hauptbahnen“ sind Schienenbahnen, die von einer großen Verkehrsbedeutung geprägt sind. Beispielsweise können Hochleistungsstrecken hierfür angeführt werden.

Nebenbahnen

Als „Nebenbahn“ sind alle Schienenbahnen definiert, die nicht unter die Kategorie Hauptbahn oder Straßenbahn fallen.

Nicht öffentliche Eisenbahnen

„Nicht öffentliche Eisenbahnen“ werden als jene klassifiziert, die ein beliebiges Unternehmen rein für eigenen Zweck betreibt und somit nicht für den öffentlichen Personen und Güterverkehr zur Verfügung stehen.

Schutzsignale

„Schutzsignale“ sind hauptsächlich in Bahnhöfen vorzufinden und dienen dazu Hauptsignale zu ergänzen. Sie sind an die erforderliche Geschwindigkeit des Zuges anzupassen und müssen auf eine Sichtweite von mindestens 100 Meter erkennbar sein. (EisbBBV, 2008, §31)

Hauptsignale

„Hauptsignale“ sind bei Ein- und Ausfahrten aus Bahnhöfen zu finden. Sie dienen dazu den sicheren Betrieb bei der Ein- und Ausfahrt zu gewährleisten und sind technisch, ab einer Geschwindigkeit von mehr als 40km/h, gesichert. (EisbBBV, 2008, §29)

Vorsignale

„Vorsignale“ diene dazu, Hauptsignale für das Triebfahrzeugführer anzukündigen. Der Begriff der am Vorsignal aufscheint, muss hierbei mit jenem am Hauptsignal übereinstimmen. Der Abstand zwischen Vor- und Hauptsignal ist hierbei so gewählt, das es möglich ist, innerhalb der beiden Signale den Zug anzuhalten (EisbBBV, 2008, §30).

3 Methodik

Im Folgenden Kapitel der Arbeit sollen die wissenschaftlich verwendeten Methoden dargestellt werden. Zum einen wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt und zum anderen eine empirisch erhobene Datenanalyse als Basis für die Beantwortung der Fragestellungen gewählt.

3.1. Literaturrecherche

Die Grundlage für eine systematische Suche nach der wissenschaftlichen Literatur wurde anhand von Recherchen in fachspezifischen Datenbanken der Universität Wien, der Bibliothek des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, der Onlinedatenbank der European Railway Agency (ERA) und des Rechtinformationssystems des Bundes durchgeführt. Die hieraus gewonnen Erkenntnisse bilden in Kombination mit den empirisch erhobenen Daten einen wesentlichen Bestandteil der zur Beantwortung der Forschungsfragen herangezogen wurden. Als Schlagworte für die Literaturrecherche dienten vor allem die Begriffe der Systemtheorie sowie fachspezifische Begriffe des Eisenbahnsystems in deutscher als auch in englischer Sprache.

Rechercheorte

Für die vorliegende Arbeit wurde die jeweilige als relevant betrachtete Literatur auf etwaige Basisinformationen zum ausgewählten Thema und nach dem Schneeballprinzip herangezogen und analysiert. Für die Arbeit wurde eine Online Recherche in der Datenbank der Universität Wien zum gewählten Thema durchgeführt. Als weitere Orte für die Recherche galten auch eine Suche vor Ort auf der Bibliothek der Universität Wien, sowie eine Suche auf der Bibliothek des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. Ebenso wurde Anhand der Online Datenbanken des Rechtinformationssystems des Bundes sowie mit Hilfe einer Internet Recherche auf den Websites der Europäischen Organisationen ERA und EASA der derzeitige Status quo erhoben. Das Internet diente hierbei als weiteres wesentliches Medium um relevante Unfallberichte für die empirische Datenanalyse zu Sichten sowie um einen Überblick über die gesamte Thematik zu bekommen.

Des Weiteren wurde eine Analyse hinsichtlich des aktuellen Standes der Forschung im ausgewählten Themenbereich durchgeführt und es wurde versucht, den aktuellen Forschungsstand und die aktuellen Forschungsmethoden auf den Bereich der Unfallforschung im Gebiet der Eisenbahn in Österreich anzuwenden.

Eine weitere Grundlage für die Spezifikation des Themas war die Teilnahme am European Rail Safety Summit 2018 der von 10. bis 12. April in Dubrovnik

erstmalig stattgefunden hat. Die dort gewonnenen Erkenntnisse dienten als Grundlage für die vorliegende Arbeit.

Das Schneeballsystem

Als Strategie für die Suche nach relevanter Literatur wurde das Schneeballsystem angewandt. Dieses ermöglichte, dass mit Hilfe der Recherchemethode diverse Literaturverzeichnisse aus anderen Büchern, aber auch durch die Suche in Sachregistern und Personeregistern in wissenschaftlichen Artikeln, notwendige Querverweise zu diversen Fachpublikationen hergestellt werden konnten. (Stahl und Kipman, 2012, S.11). Dieses Prinzip ermöglichte eine spezifische Suche nach der diversen Fachliteratur.

Suche nach Schlagworten:

Die aufgrund der Analyse herangezogenen Schlagwörter waren:

In deutscher Sprache:: Systemtheorie, Luhmann, Systeme, komplexe Systeme, Systemtechnik, Human Factors, Eisenbahn, Unfälle, Katastrophe Eisenbahn,
In englischer Sprache: Systemtheory, Luhmann, Systems, komplex systems, systemtechnik, human factors, railway, accidents, incidents, crisis railway.

Datenerhebung

Für die Erhebung von empirischen Daten wurden Berichte von Eisenbahnunfällen in Österreich, die von der Sicherheitsuntersuchungsstelle des Bundes, auf der Homepage des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, veröffentlicht worden sind nach den unten angeführten und vorab definierten Kriterien untersucht. Diese Berichte wurden gewählt, da es sich hierbei um ein Untersuchungsverfahren handelt, welches weder Schuld noch Haftungsfragen herausarbeitet und somit als vertrauenswürdig für die durchgeführte Analyse erachtet werden kann.

Für die Analyse der Fragestellungen wurden alle Vorfälle die ab dem Jahr 2010 gemäß der Definition des Unfalluntersuchungsgesetzes (UUG 2005) als Unfälle (Kollisionen und Entgleisungen) definiert wurden und veröffentlicht worden sind, herangezogen. Für die Auswertung der Daten wurde von den untersuchten Unfällen nur Kollisionen und Entgleisungen herangezogen. Die Untersuchungen von „Zusammenprallen auf Eisenbahnkreuzungen“ wurden nicht analysiert, da es sich hierbei hauptsächlich um ein menschliches Versagen von Seiten der Straßenverkehrsteilnehmer handelt und dies die Analyse im Hinblick auf das Sicherheitssystem der Eisenbahn wesentlich verändern würde. Die veröffentlichten Untersuchungsberichte wurden in weiterer Folge mit Hilfe einer Inhaltsanalyse nach Mayring sukzessive in Bezug auf die nachfolgenden Variablen analysiert, um eine einheitliche Betrachtungsweise der Daten gewinnen zu können. Ziel der Analyse nach Mayring sollte es sein, systematisch und anhand des Analysematerials den Inhalt von Berichten auf die wesentlichen

Punkte zu reduzieren und anhand der gewonnen Kriterien Kategorien zu bilden. (Mayring, 2003, S.42ff.)

Ziel der qualitativen Inhaltsanalyse sollte sein, dass die gewählten Berichte innerhalb ihres Kontextes analysiert und in Hinblick auf die Entstehung von Ursachen untersucht werden. Aufgrund der vorliegenden Daten scheint diese Methode besonders geeignet zu sein, da sie nach Mayring einen klaren systematisierten Ablauf hat und „*texterfassend [...], texterklärend [...und] textstrukturierend*“ vorgeht (zit. Mayring, 2010, S.23ff.).

Des Weiteren wurden systematische Regeln zur Vorgehensweise entwickelt und konkret auf die festgelegten Fragestellungen entwickelt.

3.2. Variablen

Gemäß der Inhaltsanalyse nach Mayring (2010) wurden folgende Variablen für die durchgeführte Analyse gebildet:

Ursache:

Die Berichte wurden in die Kategorien Kollision und Entgleisung geteilt. Hierbei wurde das ausschlaggebende erste Kriterium als Hauptkriterium verwendet. Dies wurde gewählt, da es aufgrund einer Kollision in manchen Vorfällen als Folge zu einer Entgleisung gekommen ist.

Die Parameter hierfür waren gemäß den Definitionen Entgleisungen und Kollisionen.

Monat:

Hinsichtlich möglicher Einflussfaktoren wurden die Berichte in Bezug auf das Datum des Vorfalls untersucht um etwaige Rückschlüsse hinsichtlich der Jahreszeit untersuchen zu können. Die Monate wurden für die Auswertung in die Kategorien „Jänner bis März“, „April bis Juni“, „Juli bis September“ und „Oktober bis Dezember“ zusammengefasst.

Parameter: Datum des Vorfalls.

Tageszeit:

Um auf etwaige Sichtbehinderungen hinsichtlich Dunkelheit oder Sonnenschein Bezug nehmen zu können, wurden die Berichte auf die Uhrzeit des Vorfalls untersucht in Relation zur Jahreszeit und mit dem jeweiligen Sonnenaufgangs- und Sonnenuntergangszeitpunkt abgeglichen. Des Weiteren wurde mit Hilfe der Uhrzeit auch eine Unterscheidung in Tagesarbeit (06 Uhr bis 20 Uhr) und Nacharbeit (20 Uhr bis 06 Uhr) erstellt.

Parameter: Uhrzeit des Vorfalls.

Verletzte/Todesfälle:

Hierbei zählte nur die Tatsache, dass es entweder Tote oder Verletzte gegeben hat. Die jeweilige Anzahl wurde für die Kategorisierung nicht berücksichtigt.

Parameter: Anzahl der Verletzten beziehungsweise toten Personen.

SHELL:

Die Unfallursachen wurden hinsichtlich einer Unterteilung in die Elemente nach Hawkins analysiert und in die Variablen Liveware, Hardware, Software, Environment sowie in die jeweiligen Querverbindungen zugeordnet. Hierbei wurde der ausschlaggebende Hauptfaktor des Unfalles, die jeweilige Ursache, in die Kategorie „Technikversagen“, „Menschliches Versagen“ und „Technik in Kombination mit Mensch“ unterteilt und dienten in weiterer Folge auch als Parameter für die Analyse.

3.3. Datenanalyse

Mit Hilfe einer deskriptiven Analyse auf Basis der Software SPSS (Version 16) wurden die aus den Untersuchungsberichten gewonnenen Daten ausgewertet. Weiters wurden die Variablen hinsichtlich einer eventuellen Assoziation mit Hilfe eines χ^2 Tests überprüft.

Für die Analyse der empirisch erhobenen Daten wurde mit Hilfe einer Häufigkeitsauszählung sowie mittels χ^2 Tests vorgegangen. Die verwendete Stichprobe die für die Analyse herangezogen wurde beinhaltet 51 Fälle.

χ^2 Test

Dieser Test überprüft primär ob es einen Unterschied zwischen den zu erwartenden Häufigkeiten und den beobachteten Häufigkeiten gibt. Als Voraussetzung hierfür dürfen die zu erwartenden Häufigkeiten jedoch keinen Wert der geringer als 5 ist annehmen. Das Ergebnis, welches mit Hilfe dieses Test gewonnen werden kann besagt, ob es einen zu erwartenden Zusammenhang zwischen den zu überprüfenden Variablen gibt oder nicht. Als grundsätzlicher Richtwert für einen positiven Zusammenhang beziehungsweise eine Assoziation zwischen den Variablen sind Werte die kleiner .05 sind. (Brosius, 2018, S.502f)

Korrelation

Unter Korrelation wird eine Kennzahl verstanden, die den Zusammenhang zwischen Variablen beschreibt. Diese Zahlen können Werte zwischen -1,00 (negative Korrelation) und +1,00 (positive Korrelation) annehmen. Zahlen die nahe am Wert 0 liegen bedeuten, dass es keinen Zusammenhang zwischen den Variablen gibt.

Die Ergebnisse werden nach Bühl und Zöfel (2000) wie folgt definiert (Bühl und Zöfel, 2000, S.320):

Tabelle 1: Definitionen Korrelation (Bühl und Zöfel 2000)

Wert	Interpretation
Bis 0,2	Sehr geringe Korrelation
Bis 0,5	Geringe Korrelation
Bis 0,7	Mittlere Korrelation
Bis 0,9	Hohe Korrelation
Über 0,9	Sehr hohe Korrelation

4 Theoretische Ansätze

Im nachfolgenden Kapitel sollen systematisch die unterschiedlichen theoretischen Ansätze der Systemtheorie punktuell aufgegriffen werden, um einerseits ein Verständnis der Komplexität des Begriffes der Systemtheorie darzulegen und andererseits um eine Verbindung zwischen der Technik und der Systemtheorie, wie sie zum Beispiel von Niklas Luhmann verstanden wird, aufzuzeigen. In dieser Arbeit liegt der Fokus auf dem systemtheoretischen Ansatz von Luhmann.

4.1. Allgemeine Systemtheorie

Der Begriff eines Systems lässt sich nach Müller auf die Zeit der Weimarer Republik zurückverfolgen (Müller 1996 In: Lodde, 2010, S.156). In den Anfängen der 30er Jahre war es demnach ein Bereich des so genannten organismischen Programmes, welches auf Ludwig v. Bertalanffys, der in seiner Forschung den Fokus auf die Selbstregulierungsfähigkeit offener biologischer Systeme legte, zurückzuführen ist (Bertalanffy, 1940 S. 114f.). In weiterer Folge leistete der Begriff einen wesentlichen Beitrag in amerikanischen Forschungsprojekten, bei denen es darum ging, einen interdisziplinären Lösungsweg zu erzielen. Dies war vor allem in der Kombination zwischen militärischen und ökonomischen Planungsbedürfnissen relevant. Daraus entstand eine Vielzahl neuer Forschungsrichtungen wie zum Beispiel die Kybernetik, die Spieltheorie und die Informationstheorie.

Der eigentlich Ansatzpunkt um eine allgemein gültige Systemtheorie zu entwickeln war eine Kritik der neu entstandenen Wissenschaftsdimensionen, die der bisherigen Theorie einen mangelhaften methodischen Status vorwarfen. Es war zum einen weder die empirische Signifikanz, noch der daraus zu gewinnende Erklärungsgehalt definiert, noch war der eigentliche Theoriebegriff der Systemtheorie bekannt, was in Folge dazu führte, dass je nach Vertreter unterschiedliche Verwendungstypen hierfür gefunden werden konnten (Müller, 1996, S. 512).

In Folge dessen strebte Bertalanffy eine allgemein gültige Systemtheorie an, um eine Verallgemeinerung seiner Forschungsergebnisse zu gewährleisten. Ziel war eine Integration des bisher gewonnenen Erkenntnisstandes zu denjenigen Prinzipien, die entweder physikalischen, biologischen, technischen oder aber auch sozialen Systemen eigen sind (Müller, 1996, S.179). Seiner Entwicklungstheorie zufolge, haben moderne Technologien und gesellschaftliche Entwicklungen zu einer steigenden Komplexität geführt und dadurch eine Vielzahl an neuen Fragestellungen hervorgebracht (Lodde, 2010, S.156). In diesem Zusammenhang spricht er von systematischen Problemen, die aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Variablen resultieren können. Daraus hat sich

ergeben, dass der Fokus der Systemtheorie auf das Konzept der organisierten Komplexität legte. Es wurde angestrebt, eine allgemein gültige Theorie für alle Systeme zu entwickeln. Dies führte jedoch dazu, dass ein hoher inhaltlicher Abstraktionsgrad, eine geringe Vielfalt an Merkmalskatalogen sowie eine zu geringe Operationalität entstanden sind (Staehle, 1999, S.40).

Zu Beginn der 1950er Jahre fand die Systemtheorie des derzeitigen Entwicklungsstandes vor allem in Verbindung mit biologischen und mathematischen Modellen in beinahe allen Wissenschaften Gehör. Dadurch entstanden viele unterschiedliche Ansätze und Subdisziplinen der Systemtheorie. Um diese in einem ersten Schritt zu systematisieren, werden sie im Wesentlichen auf folgende drei Systeme differenziert.

- Technische Systeme
- Biologische Systeme
- Soziale Systeme

Soziale Systeme unterscheiden sich insofern von technischen aber auch von biologischen, in dem sie den wesentlichen Fokus auf den Menschen und dessen soziale Beziehungen haben. Als zentrale Vertreter dieses sozialen Ansatzes gelten in weiterer Folge vor allem Talcott Parsons aber auch Niklas Luhmann.

Geht es nach Parsons, so beinhaltet die Theorie einen strukturell funktionalistischen Ansatz. Demzufolge gibt es vier wesentliche strukturelle Grundproblematiken sozialer Systeme: (Fuchs et al, 1995, S.678)

- **Adaption** (Anpassung an die Umwelt)
- **Goal attainment** (Zielverwirklichung)
- **Integration** (Integration, Zusammenhalt der Systembestandteile)
- **Latent pattern** (Strukturerhaltung, Werterhaltung)

In Bezug auf ein Gesellschaftssystem würden diese Problematiken das Folgende bedeuten:

Adaption bedeutet, nach dem Verständnis von Parson, dass sich das System an die wechselnden Situationen der Umwelt anpasst und sich vorhandenen Naturressourcen aneignet. Hierunter kann ein beliebiges ökonomisches System, mit institutionellen Formen der Arbeit, fallen. Das wesentliche Medium hierzu wäre Geld. (Fuchs et al, 1995, S.677f.)

Als Goal Attainment wird eine Funktion der Zielsetzung beziehungsweise der Zielverwirklichung verstanden. Das würde bedeuten, dass heraus ein Subsystem, dass beispielsweise ein politisches System (Gesetze) mit der Verpflichtung der

Umsetzung von gemeinsamen Zielen, durch das Medium Macht, in diese Kategorie fallen würde.

Die Integration wird von Parsons als ein Zusammenhang beziehungsweise als Stabilisierung nach innen verstanden. Als dazugehöriges Subsystem kann an dieser Stelle ein gesellschaftliches Gemeinwesen, mit intermediären Strukturen mit dem Medium des Einflusses genannt werden (Fuchs et al, 1995, S.678f.).

Latent bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die jeweiligen Normen und Werte lediglich Struktur- oder Werterhaltend im Hintergrund stehen. Als Subsystem könnte hierbei ein soziokulturelles System mit dem Medium des Wertes genannt werden.

Wenn der Ansatz von Parsons aus der Perspektive eines Handlungssystems betrachtet wird, so würde Adaption die Funktion der Anpassung an wechselnde Situationen der Umwelt mit dem Subsystem des Verhaltenssystems zukommen. Goal Attainment wäre aus dieser Betrachtungsweise das Subsystem des Persönlichkeitssystems, Integration das soziale System und Latent pattern als kulturelle Subsystem (Fuchs et al, 1995, S.680f.).

Demnach ist Handeln eine Balance zwischen den jeweiligen Komponenten des AGIL Schemas. Für Talcott Parsons stehen, wie bereits erwähnt, die Funktionen im Vordergrund, da es ohne diese seiner Ansicht nach keinen Bestand eines Handlungssystems geben könnte. Aus diesem Grunde bezeichnet er seinen Ansatz auch als Struktur-Funktionalismus (Luhmann, 2008, S.27).

Auf diesen Grundstein aufbauend, führte in weiterer Folge Niklas Luhmann seine eigenen Ansätze für eine umfassende Systemtheorie, die als eine funktional-strukturelle bezeichnet werden kann, aus (Fuchs et al, 1995, S.677).

Die wesentliche Annahme dieser ist es, dass „[...] *alle Annahmen und Aussagen über das Soziale funktionalisiert werden müssen in Hinblick auf das Problem der äußersten Komplexität*“ (zit. Fuchs et al, 1995, S.677).

Der Fokus von Luhmanns Ansatz liegt demnach auf der Funktionalität eines Systems und nicht auf die zur Erhaltung eines Systems und dessen Strukturen relevanter Systemleistungen.

Im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit wird explizit auf das Luhmannsche Systemverständnis eingegangen, das dieser die Kritik an einer strukturell funktionalistischen Theorie aufgreift, die es nicht vermag Konflikt und Wandel in einem ausreichende Maße zu erklären (Fuchs et al, 1995, S. 678).

Luhmann unterscheidet sich von Parsons insofern, als das Parson davon ausgeht, dass Systeme immer aus einer analytischen Konstruktion betrachtet

werden, das keinen realen Gegenwert hat, während Luhmann, wie später beschrieben, immer ein reales System voraussetzt, dessen Regeln auf die Probleme des Systems angewandt werden.

4.1.1. Komponenten der Systemtheorie

Um einen besseren Einblick in die Systemtheorie zu gewinnen, bedarf es an dieser Stelle einer genaueren Definition der wesentlichen Begriffe. Grundsätzlich kann ein System, als eine Art Ausschnitt der Natur, welcher miteinander und zueinander in unterschiedlichster Art und Weise in Beziehung stehende Elemente vereint, beschrieben werden. Einer Verständnis-Theorie zufolge gehen Hall und Hagen (1969) expliziter auf die jeweiligen Merkmale ein.

„...A system is a set of objects together with a relationship between the objects and between their attributes...” (zit. Hall/Hagen 1969, S. 31).

Das bedeutet, dass sich die Analyse von Systemen an den jeweiligen Elementen, deren Eigenschaften aber auch an deren jeweiligen Eigenschaft zueinander orientiert. Als Element können in diesem Zusammenhang alle Dinge bezeichnet werden. Beispielsweise sind dies Organisationen, Bausteine, Sachverhalte, Komponenten aber auch Objekte. In Anbetracht der jeweiligen Art der Elemente gibt es demnach keine Einschränkungen. Es gibt so zum Beispiel keinen relevanten Tatbestand oder auch kein Objekt, das keine Struktur aufweist bzw. kein System darstellt. (Fuchs 1973, S. 39f)

Ursprünglich war man der Auffassung, dass Elemente an sich die kleinsten Teile eines Systems darstellen. Von diesem Gedankengang ist man jedoch in weiterer Folge abgekehrt, hin zu der Meinung, dass Elemente der Grundbaustein eines jeden Systems sind. (Luhmann, 2003, S.49). Ein Element ist demnach aus einer anderen Perspektive betrachtet oftmals als System zu definieren. Die zentrale Entscheidung darüber, ob ein Objekt als Element oder als System betrachtet wird hängt von der Art der Betrachtung, der Zielsetzung, der Untersuchung und vom jeweiligen Objekt selbst ab. (Ulrich und Fluri, 1995, S. 31)

In weitere Folge der vorliegenden Arbeit wird aus diesem Grunde nach Ulrich die kleinste Einheit in einem System, die in weiterer Folge nicht analysierbar ist, als Element bezeichnet (Ulrich, 1968, S. 107).

Die Eigenschaften von Systemen können grundsätzlich gänzlich unterschiedlicher Natur sein. Sie unterliegen auch keiner numerischen Begrenzung (Fuchs, 1973, S.31). Um diese jedoch analysieren zu können, bedarf es allerdings diverser Systematisierungsansätze. Die Eigenschaften von Elementen sind demnach rein subjektiv und zweckorientiert (Fuchs, 1973, S. 42). Der eigentliche Systemgedanke schließt ein, dass es sich um eine Ganzheit der

Menge von zueinander in Beziehung stehenden Elementen in Form einer Einheit handelt, die im Wesentlichen mehr als nur die Summe ihrer Teile darstellen. Kann ein System diesbezüglich jedoch nicht über diese Summe definiert werden, so besteht die Möglichkeit diese rein mit Hilfe ihrer Beziehungen zwischen den einzelnen Elementen zu erklären (Kneer/Nassehi, 2000, S.17). Beziehungen, dies können auch Zusammenhänge, Verknüpfungen oder Relationen sein, zwischen den Elementen oder zwischen den Eigenschaften, bestimmen den speziellen Zustand eines Systems (Fuchs, 1973, S.50). Jedoch müssen nicht alle Eigenschaften in einem aktiven Verhältnis zu anderen Elementen stehen. Es genügt, wenn diese Eigenschaften rein physikalisch vorhanden sind. (Fuchs, 1973, S.340)

Die Struktur von Elementen eines Systems wird durch ein Gefüge der Anordnung von Elementen und deren Eigenschaften definiert (Hill et al, 1992, S. 21). Das bedeutet jedoch nicht, dass Elemente ohne Struktur nicht existent sind. Eine Struktur, kann in diesem Zusammenhang, auch individuell als Eigenschaft definiert werden. Die Systemstruktur legt lediglich die jeweiligen Grenzen eines Systems fest. Zur Umwelt eines Systems gehören alle Elemente die nicht direkt ein Bestandteil eines Systems sind. Geht es nach Niklas Luhmann so sind Systemgrenzen nicht rein physischer Natur sondern viel mehr sind sie Grenzen dessen, was innerhalb von Sinnzusammenhängen relevant sein kann (Luhmann, 2008, S. 183). Der Bezugspunkt des Systemhandelns ist der Sinnzusammenhang und somit stellt dieser auch die Systemstruktur dar (Luhmann, 2008, S. 92ff). Das bedeutet, dass der Zweck eines sozialen Systems darin liegt, bestimmte Aufgaben für ein übergeordnetes System zu erfüllen (Hill, 1992, S. 24). Das Ziel dieses Systems ist es, das Ergebnis eines systeminternen Willensbildungsprozesses hinsichtlich der erwünschten organisatorischen Zustände zu gewinnen (Hill, 1992, S.52).

In diesem Kontext spricht Luhmann davon, dass *„[...] die aus konkreten Handlungen eines oder mehrerer Menschen gebildet sind und sich durch Sinnbeziehungen zwischen diesen Handlungen von der Umwelt abgrenzen“* von Handlungssystemen (zit. Luhmann, 2003, S. 7).

Demnach sind Elemente von sozialen Systemen auch als Handlungen definiert, die ein sinnhaft orientiertes Verhalten aufweisen (Luhmann, 2003, S.7).

4.1.2. Merkmale der Systemtheorie

Betrachtet man Systemelemente und deren Eigenschaften, so kommt man zu dem Fazit, dass diese Systeme als geschlossene Systeme erscheinen. Soziale Systeme lassen sich hingegen jedoch nur durch ihren Bezug zu ihrer Umwelt erklären. Da es jedoch wechselseitige Beziehungen, wie anfangs erwähnt gibt, handelt es sich bei sozialen Systemen stets um offene Systeme (Hill, 1992,

S.22). Erst mit Hilfe der spezifischen Umwelt eines Systems ergibt sich eine Erklärung „*welche die interne Systemstruktur zu welchen Zwecken und mit welchen Stabilisierungs- Veränderungschancen funktional sein kann*“ erklärt (zit. Willke, 1991, S.38).

Die Umwelt eines Systems erhält ihre Einheit rein durch das System, was bedeutet, dass dieses auch nur rein relativ zum System stehen kann (Luhmann, 2003, S.36).

Der entscheidende Faktor der die Systemzugehörigkeit definiert, ist demnach ein Zusammenhang zwischen dem Sinn, sowie ein gemeinsamer Bezugspunkt aller Handlungen, die in Relation zum System stehen. Es gehören zum einen nur jene Elemente zu einem System, die einen Beitrag zu diesem Sinnzusammenhang stellen andererseits jedoch erhält dieses seine Beziehung zur Umwelt durch die Rationierung seiner Elemente zu jenen der Umwelt (Hill, 1992, S.21).

Weisen gewisse Elemente innerhalb eines Systems jedoch untereinander eine größere Intensität auf als gegenüber den anderen Elementen, so können diese als Subsysteme definiert werden (Hill, 1992, S.21). Dies hat zur Folge, dass Systeme nicht nur einen reinen Konnex zur Umwelt aufweisen müssen, sondern sie können auch aus einer Vielzahl von Subsystemen bestehen. Die funktionale Ordnung, in denen unterschiedliche Systeme zueinander stehen, kann als Systemdifferenz bezeichnet werden (Luhmann, 2003, S.37ff). So kann beispielsweise aus der Perspektive einer Safety Management Abteilung das Unternehmen/der Konzern als umliegendes System bezeichnet werden. Aus einer Gesamtperspektive heraus betrachtet, ist dieses jedoch als Subsystem zu definieren. Dieses muss wiederum unter gewissen Umständen überhaupt keinen Zusammenhang zu anderen Bereichen der Systems aufweisen. Nicht alles was sich in der Umwelt eines Systems befindet, muss demnach immer einen relevanten Einfluss auf dieses ausüben können. Ausschlaggebend für die Relevanz von Umweltelementen, ist der jeweilige Bezug auf das System selbst. In diesem Zusammenhang kann zwischen relevanter und irrelevanter Systemumwelt gesprochen werden (Luhmann, 2008, S.283f).

Die Komplexität sowie die jeweilige Dynamik sind die entscheidenden Kriterien die im Fokus der Systemtheorie stehen (Willke, 1991, S.39). Innerhalb der Systemtheorie ist die Bewältigung der Komplexität eines der zentralen Grundprobleme allen Handelns. Nach Luhmann ist eine zusammenhängende Menge von Elementen erst dann als komplex zu betrachten, wenn es zwischen den jeweiligen Elementen eine Vielzahl von Anschlussmöglichkeiten gibt, die nicht mehr alle realisierbar sind (Luhmann, 2008, S.46). Hat ein Systemelement demnach zumindest zwei andere Elemente, die einen Einfluss darauf nehmen, wobei diese beiden jedoch nicht gleichzeitig realisiert werden können, hat dies zur Folge, dass es mehrere unterschiedliche Zustände annehmen kann. Somit kann das System nach Willke als komplex definiert werden (Willke, 1991, S.20).

Der zweite Aspekt, die Dynamik, das ein Merkmal systemtheoretischer Ansätze ist, bezeichnet die Veränderungsrate eines Zustandes im Zeitablauf (Schreyögg, 2003, S. 311). Nach Child 1972 sind im Wesentlichen folgende drei unterschiedliche Determinanten von Dynamik zu unterscheiden (Child, 1972, S. 3).

- Häufigkeit der Veränderung von Elementen
- Ausmaß der eintretenden Veränderung
- Grad der Unregelmäßigkeiten mit der die Änderungen auftreten

Das bedeutet demnach, dass die Dynamik eines Systems mit dessen steigender Veränderung zunimmt. Dies macht sich insofern bemerkbar, als dass je zahlreicher die Zustände und je größer die Veränderung ist, desto unregelmäßiger treten diese auf. (Ulrich und Probst, 1988, S. 206)

Betrachtet man Systeme, als an ihrer Umwelt strukturell orientierte Gesamtheit, so benötigen diese neben der Bewältigung ihrer Komplexität auch einen adäquaten Umgang mit ihrer Dynamik. Je dynamischer sich die Umwelt des Systems zeigt, desto größer wird der Einfluss auf die Struktur des jeweiligen. Mit Hilfe eines Austausches zwischen einem System und der Dynamik bzw. Offenheit seiner Umwelt wird die Dynamik des Systems an sich fortwährend erhöht. (Burns und Stalker, 1971, S.147ff)

Aus diesen vorab definierten Systemeigenschaften lassen sich wie folgt drei Typen von Systemen definieren.

Einfache Systeme

Einfache Systeme bestehen aus einer geringen Anzahl von Elementen und Interaktionen. Die Dynamik innerhalb dieses Systems besteht primär aus isolierten Elementen die von außenstehenden Handlungen leicht beeinflusst werden. Das System kann grundsätzlich auf unabhängige einzelne Subsysteme reduziert werden. (Lichtenegger, 2009, S.29)

Komplizierte Systeme

Komplizierte Systeme können einerseits aufgrund ihrer großen Anzahl an unterschiedlichen Elementen und andererseits aufgrund ihrer großen Anzahl an ähnlichen Elementen unterschieden werden. Die Intensität kann sich in komplizierten Systemen im Laufe der Zeit ändern. Die unterschiedlichen Elemente aus denen das System besteht haben eine voneinander unabhängige Beziehung zueinander. (Lichtenegger, 2009, S.29f)

Komplexe Systeme

Komplexe Systeme zeichnen sich im Unterschied zu den anderen Systemen dadurch aus, dass sie eine dynamische Kombination aus mehreren heterogenen Elementen sind. Die Komplexität und die Dynamik sind hierbei unmittelbar miteinander verbunden. Komplexität entsteht hierbei, wenn die Unabhängigkeit zwischen den Elementen bedeutsam wird. Werden einzelne Elemente des Systems entfernt, so wird auch das Systemverhalten beeinflusst. (Ulich, 2005 In: Lichtenegger, 2009, S.30)

4.2. Systemtheorie nach Niklas Luhmann

In diesem Teil der vorliegenden Arbeit soll zunächst primär auf die Theorie von Niklas Luhmann und die wesentlichen Konzepte einer, wie er sie nennt, „Allgemeinen Systemtheorie“ eingegangen werden. Nacheinander werden dann die bedeutenden Theorien offener Systeme, System als Differenz (Formanalyse), operative Geschlossenheit, Selbstorganisation, Strukturelle Kopplung, doppelte Kontingenz und der Autopoiesis in ihrer Bedeutung, dargestellt.

Niklas Luhmann, wurde im Jahre 1927 in Lüneburg geboren, und gilt als einer der bedeutendsten Soziologen des vergangenen Jahrhunderts in Bezug auf soziologische Theorien. Seine wichtigsten Leistungen sind der Anschluss der soziologischen Theorien, wie der von Talcott Parsons, an neuere Systemtheorien der Gesellschaft. Luhmann erlag im November 1998 seinem schweren Krebsleiden. (Luhmann, 2008, S.8)

4.2.1. Theorie offener Systeme

Die Theorie offener Systeme kann, so sieht es Luhmann, auch als die Theorie beobachtender System bezeichnet werden. Ausgangspunkt hierfür ist eine Gleichgewichtstheorie, welche im Wesentlichen die Luhmann'sche Systemtheorie beeinflusst hat. Zunächst versucht Luhmann einmal den Begriff oder die Bedeutung eines geschlossenen Systems zu erklären. Als markantestes Beispiel für ein solches nennt Luhmann die Welt. Diese stellt einen so genannten „geschlossenen Mechanismus“ dar, was bedeutet, dass es jegliche Einwirkungen von außen abweist. Solche Systeme sind zwar Modelle von geschlossenen Systemen, allerdings existieren diese laut Luhmann nicht. Stattdessen wurde eine Theorie offener Systeme entwickelt. Mit dieser Theorie wollte man erklären, wieso Entropie nicht eintritt und weshalb Ordnung überhaupt gebildet wird.

Hierbei bedeutet Offenheit in jedem Fall einen gewissen Austausch an Informationen mit der Umwelt. Luhmann stellt in diesem Zusammenhang vier unterschiedliche Systeme dar:

- biologisches System
- organisches System

- sinnorientiertes System
- psychisches System

Das als erstes genannte biologische System dient dem Zwecke, die Energiezufuhr und die Abgabe von nützlicher Energie zu gewährleisten.

Das sinnorientierte System hingegen, bezeichnet er als sogenanntes soziales System, welches seine Informationen aus der Umwelt bezieht und so den Austausch von Informationen zwischen Umwelt und System gewährleistet. Dieser eben genannte Austausch zwischen Umwelt und offenem System wird von Niklas Luhmann als Paradebeispiel eines offenen Systems angeführt. Diese Systeme sind die Antwort auf die Provokationen von Entropiegesetzen. (Luhmann, 2008, S.13ff.)

Die Theorie offener Systeme, lässt in gewisser Art und Weise auf einer Ebene des allgemeinen Systemansatzes unbestimmt, welche Arten von Beziehungen zwischen System und Umwelt besteht. Es herrscht eine allgemeine Vorstellung darüber wie die Umwelt agiert und geht nicht explizit darauf ein, dass es innerhalb der Umwelt spezifische Bedingungen, oder aber auch andere Systeme, gibt.

4.2.2. System als Differenz (Formanalyse)

Offene Systeme beruhen auf Beziehungen zwischen System und Umwelt und zwar auf eine dynamische Art und Weise. Kein System kann ohne Umwelt existieren. Hierbei gilt es nochmals zu beachten, dass jede Form von sozialen Kontakten als System begriffen wird bis hin zur Gesellschaft als Gesamtheit mit der Berücksichtigung aller möglichen vollziehbaren Kontakte. Das heißt, dass alle sozialen und sinnhaften Handlungen, welche verschiedene Personen sowohl miteinander als auch untereinander vollziehen, zu einem sozialen System gehören. Ergo sind alle Handlungen, welche nicht auf dieses bestimmte soziale Handeln Bezug nehmen, nicht zu den sozialen Systemen hinzuzufügen, sondern sie bilden quasi deren Umwelt. Als System wird also die Differenz zwischen System und Umwelt bezeichnet. Diese Differenz ist sohin die Tatsache, dass eine Operation eine weitere Operation des gleichen Typus erzeugt. Dies bedeutet, dass ein System nur eine einzige Operation benötigt, um die Differenz zwischen System und Umwelt zu reproduzieren. Beispielsweise Kommunikation durch Kommunikation. (Luhmann, 2008, S. 41ff.)

4.2.3. Operative Geschlossenheit

Die These dieser Thematik stellt sich wie folge dar: *„Das System kann seine eigenen Operationen nicht benutzen um sich mit der Umwelt in Verbindung zu setzen.“* (zit. Luhmann 2004, S. 91). Dies bedeutet, dass Operationen nur im System möglich sind, aber dass diese nicht benutzt werden können. Luhmann

spricht hier von einem operational geschlossenen System, indem sich alles nur auf interne Operationen bezieht. Systeme produzieren die Operationen aus denen sie bestehen selbst. Operationen können Systeme nicht verlassen und auch nicht von außen in sie hineingelangen. Unsere Gedanken können beispielsweise unsere Köpfe nicht verlassen. Stattdessen gibt es Kommunikation, die keine Gedankenübertragung ist. Die Umwelt dient nur als Infrastruktur oder Quelle von Irritationen, die bei der Produktion von Operationen aufgegriffen und nach eigenen Regeln verarbeitet werden. Operative Geschlossenheit heißt daher auch, dass autopoietische Systeme von außen nicht kausal gesteuert werden können (z.B. kann Politik die Wirtschaft nicht direkt steuern). Das bedeutet somit, dass sich ein System mit eigenen Operationen gewisse Grenzen zieht um sich so von der Umwelt zu unterscheiden und nur so als System beobachtet werden kann (Luhmann 2004, S. 91).

4.2.4. Autopoiesis

Autopoiesis bezeichnet die Reproduktion von Elementen eines Systems durch das System selbst. Die Umwelt hat auf autopoietische Systeme (außer deren Zerstörung) keinen direkten Einfluss. Sie kann weder die Elemente konstituieren noch deren operationsweise direkt verändern. Autopoietische Systeme werden daher auch als operativ geschlossen bezeichnet. Die Operationen von zum Beispiel psychischer Systeme sind ausschließlich Gedanken. Ein autopoietisches System ist eine sich selbsterzeugende und selbsterhaltende Einheit, welche ihre Reproduktion durch ein Netzwerk von Elementen sichert. Diese Systeme grenzen sich weiters auch von ihrer Umwelt ab und agieren deshalb autonom. Aus diesem Grunde gewinnt das Prinzip der Autopoiesis für die Sozialwissenschaften an Bedeutung. Niklas Luhmann adaptiert hier das biologische System der beiden Neurophysiologen Maturana und Varela für seine eigene Theorie sozialer Systeme, indem er es als selbstreferentielle geschlossene autopoietische Systeme konzipiert. (Luhmann, 2004, S. 89)

Um die Autopoiesis in seine Theorie einzubringen, hielt es Luhmann für notwendig, den Begriff zu generalisieren. Er benutzt einen allgemeinen Autopoiesis-Begriff zur Beschreibung unterschiedlicher Systemarten, wie etwa psychische und soziale Systeme.

Am Beispiel von Bewusstseinssystemen zeigt Luhmann, dass diese autopoietisch operieren. Die kleinsten Einheiten in jenen Systemen sind Gedanken. Diese werden ständig aufs Neue reproduziert, da sie, kaum dass sie aufgetaucht sind, auch schon wieder verschwunden sind. Damit das Bewusstseinssystem imstande ist, Gedanken herzustellen, bedarf es an Ressourcen. Ohne ständige Sauerstoffzufuhr, um nur ein Beispiel zu nennen, könnte das Gehirn nicht arbeiten. Diese Ressourcen verschafft sich das System von seiner Umwelt. Nun darf aber nicht angenommen werden, dass das Gehirn

an sich Gedanken herstellt; dies macht das Bewusstseinssystem. Jedoch ist das Bewusstseinssystem auf Gehirntätigkeiten angewiesen; diese Beiträge sind Voraussetzung für die Gedankenproduktion. Trotzdem arbeiten Bewusstsein und Gehirn isoliert voneinander und sind füreinander Umwelt. Dieses Abhängigkeitsverhältnis bezeichnet Luhmann als „strukturelle Kopplung“ (Luhmann, 2004, S. 118).

4.2.5. Strukturelle Kopplung

Als strukturelle Kopplung versteht Luhmann in seiner Systemtheorie die nicht ontologische Beziehung zwischen Systemen. Wie schon erwähnt, sind laut Luhmann soziale Systeme sowohl offen als auch geschlossen. Sowohl psychische Systeme als auch soziale Systeme sind mit Hilfe von Sprache strukturell gekoppelt. Diese Kopplung zwischen System und Umwelt besteht dann, wenn die jeweiligen Systeme Erwartungsstrukturen aufbauen, welche sie für bestimmte Irritationen weitaus sensibler machen (Luhmann, 2008, S. 117).

Wie bereits erwähnt, bezeichnet „strukturelle Kopplung“ vor allem die Beziehung zwischen Systemen. Die Systemgrenzen legen fest, dass es zwar keine Überschneidungen im Elementarbereich, dafür aber Abhängigkeiten durch gegenseitige massive, wiederholte Irritationen gibt. Diese Abhängigkeiten sind derart, dass ein System "bestimmte Eigenarten seiner Umwelt dauerhaft voraussetzt und sich strukturell darauf verlässt" (Luhmann, 2008, S. 123). Kennzeichnend für strukturelle Kopplung ist dabei das Fehlen jeglicher Hierarchie in der gegenseitigen Abhängigkeit gekoppelter Systeme (Luhmann, 2008, S. 125ff.).

4.2.6. Doppelte Kontingenz

Mit dem Begriff der „doppelten Kontingenz“ versucht Niklas Luhmann „das Entstehen von sozialen Systemen und somit sozialer Ordnung“ zu verdeutlichen (vgl. Luhmann, 2008, S. 316).

Doppelte Kontingenz bedeutet, dass die an einer Kommunikation beteiligten psychischen Systeme nicht darüber gewiss sein können, wie die anderen Systeme handeln werden. Beispielsweise weiß ein Akteur A nicht, welche Information von Akteur B mitgeteilt werden wird, somit weiß auch A noch nicht, wie er sich verhalten wird. Luhmann stellt sich die Frage, wie doppelte Kontingenz, die „*die Koordination und gegenseitige Vorhersagbarkeit von Handlungen sehr schwierig und unwahrscheinlich*“ macht, bewältigt werden kann (zit. Luhmann, 2008, S. 317).

Da, wie bereits oben angesprochen, Menschen das Bedürfnis haben Komplexität zu reduzieren, geht die Systemtheorie davon aus, dass „*sich die Akteure an*

allem festhalten, was eine Verbindung und Fortsetzung von Handlungen ermöglicht“. (zit. Luhmann, 2008, S. 319).

Nun behauptet Luhmann, dass bereits die gegenseitige Erwartung von doppelter Kontingenz ein erstes strukturierendes, ordnendes Prinzip in sich trägt, da dies die Akteure dazu zwingt ein (soziales) System gegenseitiger, aufeinander bezogener Erwartungen zu konstruieren. Dadurch entsteht ein soziales System. *„Und es gibt noch einen weiteren Schritt, der zur Einrichtung von Ordnung in einem solchen System führt: Jede Handlung, die einen Anschluss an eine andere Handlung erlaubt, wird wahrscheinlich festgehalten und fortgeführt“* (zit. Münch, 2004, S. 185ff.).

Die beschriebene Möglichkeit zum Anschluss von Handlungen bzw. von Kommunikation begründet Luhmann wiederum mit dem fundamentalen Bedürfnis des Akteurs, Komplexität zu reduzieren. Durch die Interaktion der Akteure entsteht aufgrund der doppelten Kontingenz und ihrem Bedürfnis nach Komplexitätsreduktion ein soziales System, *„ein aus Kommunikation bestehendes System gegenseitig ausgerichteter Erwartungen und Handlungen, das eine eigene Qualität annimmt. Es entstammt dem Bewusstsein jedes Einzelnen und unterscheidet sich dennoch vom Bewusstsein der beiden“* (zit. Münch, 2004, S.186ff.).

Dadurch kann Luhmann soziale Systeme auch mehr oder minder unabhängig von psychischen Systemen (bzw. Akteuren) modellieren (Luhmann, 2008, S.316ff.).

4.2.7. Gesellschaft und ihre Subsysteme

Subsysteme haben gewisse Charakteristika denen sie zu Grunde liegen. Eines davon ist ein gewisses Systembild, welches autokatalytisch funktioniert. Des Weiteren sind sie auch autopoietisch geschlossene Systeme in Systemen und setzen füreinander Umwelt und speziell gegenseitige Anpassungsprozesse in Bewegung.

Es gibt eine Vielzahl einfacher Sozialsysteme, wie zum Beispiel Interaktionssysteme, allerdings befasst sich Niklas Luhmann eher mit den umfassenden Sozialsystemen, das heißt, mit Gesellschaften und insbesondere mit modernen Weltgesellschaften. Diese so genannten Weltgesellschaften sind im Unterschied zu deren Vorgängern, segmentär und hierarchisch gegliedert. Gesellschaften im Allgemeinen sind durch funktionale Differenzierungen gekennzeichnet, was bedeutet, dass sie eine Vielzahl von Subsystemen beinhalten. Bei der Ausbildung funktionsspezifischer Subsysteme, lassen sich gewisse Leitlinien ausmachen, welche von Luhmann im Weiteren als binäre Codes dargestellt werden. Diese jeweiligen binären Codes stellen die

sogenannte Leitdifferenz dar, um die herum sich die subsystemischen Semantiken bilden (Staubmann, 1989, S. 233).

Der binäre Code ermöglicht die Unterscheidung zwischen Systemzugehörigem und Nichtzugehörigem (z.B. wahr/nicht wahr im Wissenschaftssystem). Er sichert die operative Schließung des Systems, denn er ist die leitende Differenz, an der sich alle systeminternen Operationen orientieren. Der Code sichert die Funktionsfähigkeit eines Systems. Innerhalb des Systems Wirtschaft ist Geld das Kommunikationsmedium, welches binär codiert ist in Zahlen/Nichtzahlen. Innerhalb des Wissenschaftssystems ist Wahrheit das Medium. Sie ist ebenfalls binär codiert und zwar in wahr/unwahr. Der allgemeine Code für jedes soziale System ist Kommunikation/Nicht-Kommunikation, denn Kommunikation ist das Medium sozialer Systeme. Psychische Systeme operieren im Medium des Bewusstseins, ihr Code lautet Gedanke/Nicht-Gedanke. Die Codierung von autopoietischen Systemen verhält sich co-evolutionär zur funktionalen Differenzierung der Gesellschaft in ihre Teilsysteme. Jedes System, das neu entsteht, braucht einen Code zur Erhaltung seiner überlebensnotwendigen System-Umwelt-Differenz und zur Erfüllung seiner spezifischen Funktion (Staubmann, 1989, S. 234).

Für Niklas Luhmann bedeutet der Begriff des Risikos hingegen eine Zukunft, die das Individuum zum einen weder kennen kann und zum anderen aber auch nicht ausschließen kann „[...] *dass man Entscheidungen später bereut, auch wenn man das Risiko kalkuliert hatte; denn wenn das Risiko eintritt, stellt sich die Sachlage doch wieder anders dar* [...]“ (zit. Luhmann, 2008, S.189)

Demnach ist das was vom Menschen als Risiko wahrgenommen wird eher subjektiv zu betrachten, da das persönliche Empfinden von Risiko im Zuge der Sozialisation erlangt wird. Die Bereitschaft Risiko einzugehen steht in einem engen Zusammenhang mit jenen Denkmustern, die von der Gesellschaft vorgelebt werden. Demnach stellt sich die Frage, ab wann der Mensch laut Luhmann bereit ist ein Risiko einzugehen. Für ihn wird ein Risiko nur eingegangen, wenn die individuelle Schwelle nicht überschritten wird und demnach das eigene Risikoempfinden nicht zu groß ist (Luhmann, 2003, S.9ff).

Des Weiteren kann Risiko für Luhmann auch nicht in einer Form von Kosten dargestellt werden, da Entscheidungen, die anhand von Kostendeckungen getroffen werden, niemals rational sind, sondern in jedem Fall eine nichtrationale Zone errichten. Er spricht in diesem Zusammenhang von einem gebrochenen Rationalitätskontinuum (Luhmann, 2008, S.189).

Luhmann unterscheidet hierbei zwischen folgenden zwei Begriffen. Zum einem spricht er von Risiko als entscheidungsabhängige Variable und stellt dem aber den Begriff der Gefahr als entscheidungsunabhängige Variable gegenüber

(Luhmann, 2003, S.30). *„Entweder wird der etwaige Schaden als Folge der Entscheidung gesehen, also auf die Entscheidung zugerechnet. Dann sprechen wir von Risiko, und zwar vom Risiko der Entscheidung. Oder der etwaige Schaden wird als extern veranlasst gesehen, also auf die Umwelt zugerechnet. Dann Sprechen wir von Gefahr“* (Luhmann, 2003, S.30).

Luhmann spricht davon, dass die Bereitschaft ein Risiko einzugehen davon abhängt, je mehr das Individuum glaubt, die jeweilige Situation selbst kontrollieren zu können. Der Mensch entwickelt verschiedene Arten von Solidarität. Er unterscheidet hierbei zwischen Gefahr und Risiko und reglementiert seine Solidarität demgegenüber (Luhmann, 2003, S.122). Tritt beispielsweise ein Schaden aufgrund einer Gefahr ein, so zeigt sich eine andere Form der Solidarität als wenn dieser Schaden aufgrund eines Risikos hervorgerufen worden ist (Luhmann, 2003, S.112).

4.3. Systemisches Risiko

Der Begriff „Systemisches Risiko“ beschreibt nach dem International Risk Governance Council (IRGC) jenes Risiko, welches für die menschliche Gesundheit, die Umwelt und in einem weiteren Kontext auch in sozialer, finanzieller und ökonomischer Hinsicht, Konsequenzen nach sich zieht und die zunehmende gegenseitige Abhängigkeiten sowohl von Risiken als auch ihrer verschiedenen Hintergründe innehat. (Renn und Klinke, 2004, S.41ff)

Als typisches Merkmal für ein systemisches Risiko kann genannt werden, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit und ein mögliches potentiell Schadensausmaß nicht bekannt sind und eine Ungewissheit über das Eintreten eines Risikos und dessen Schäden nicht mehr kalkulierbar sind. Für Renn ist *„[...] systemisches Risiko die Möglichkeit, dass ein katastrophales Ereignis die lebenswichtigen Systeme, auf denen unsere Gesellschaft beruht, in Mitleidenschaft zieht [...]“* (zit. Renn, 2014, S.330).

Des Weiteren können systemische Risiken nach Renn folgendermaßen charakterisiert werden: sie sind häufig stochastisch und nicht linear. Das bedeutet, dass gleiche Ursachen nicht unbedingt zu identen Ergebnissen führen (Renn, 2014, S.331ff.).

4.4. Technik

Niklas Luhmanns Theorie sozialer Systeme verwendet den Begriff der Technik nur im Rahmen seiner Theorie der modernen Gesellschaften. Die Theorie vermeidet zwar grundsätzlich konsequent ein technizistisches als auch ein kulturalistisches Erklärungsmuster, indem sie eine strikte Gegenüberstellung von Technik und Gesellschaft auflöst und ersetzt. Geht es nach Luhmann, so ist der

Begriff der Gesellschaft so definiert, dass er die Gesamtheit aller überhaupt möglichen kommunikativen Pläne ausschließt (Passoth, 2008, S.21). Die Menschen stellen, seiner Theorie nach, für die Gesellschaft eine Art Umwelt dar. Hierbei stellt sich jedoch die Frage, ob dies nicht auch für die Technik gelten sollte? Materielle Dinge, in all ihren physikalischen Eigenschaften, sind Maschinen, wie zum Beispiel Apparate und Computer und stellen für die jeweilige Gesellschaft eine Art Umwelt dar. Technik ist aus einer systemtheoretischen Betrachtungsweise heraus nicht mit materiellen Dingen in der Gesellschaft gleichzusetzen. Es gibt nach Passoth (2008) folgende drei unterschiedliche Konzepte für das Verständnis von Technik und Gesellschaft im systemtheoretischen Konzept.

- evolutionäre Errungenschaft
- Technik
- Semantik des Technischen

Für Niklas Luhmann steht innerhalb der Systemtheorie die Technik, vor allem Sachliches aber auch Dingliches, gleichsam mit dem Menschen, an sich außerhalb der Gesellschaft. Sie bilden eine Art notwendige Umwelt. Die Sozialtheorie, nach dem Verständnis von Niklas Luhmann, betrachtet die Technik eher am Rande und zählt diese eher zur Natur der Umwelt einer Gesellschaft. (Passoth, 2008, S.29)

Die Theorie sozialer Systeme verwendet den Begriff der Technik viel eher in einem Zusammenhang mit der modernen Gesellschaft. Es wird vermieden ein technisches aber auch kulturelles Erklärungsmuster zu beschreiben und zwar dadurch, dass die Theorie eine Gegenüberstellung dieser beiden Systeme, Technik und Gesellschaft, auflöst.

„Sie [...] sind entweder von einem Begriff der Kultur oder von einem Begriff der Handlung ausgegangen und haben das Phänomen der Technik damit auf dinghafte Substrate externalisiert“ (Luhmann, 1997, S. 522).

Luhmann steht hierbei in einem Widerspruch. Zum einen definiert er den Begriff der Technik innerhalb seiner Theorie nicht explizit, zum anderen beschreibt er jedoch materielle Dinge in ihren Eigenschaften, sei dies in ihren physikalischen Eigenschaften, als Maschinen oder Apparate (Passoth, 2008, S.233).

Niklas Luhmann geht davon aus, dass ein Zuwachs an Komplexität ein Ergebnis der Evolution ist. Er sagt in diesem Zusammenhang jedoch nichts darüber, was dies auf der Ebene der Struktur einer Gesellschaft bedeutet, wenn deren Komplexität zunimmt. In diesem Zusammenhang spricht Luhmann von einer evolutionären Errungenschaft in der *„[...] strukturelles Arrangement mit deutlicher Überlegenheit über funktionale Äquivalente“* zu setzen ist (Luhmann, 1997, S.506). Hierbei bedeutet Überlegenheit nicht eine prinzipielle Überlegenheit,

sondern viel mehr, ist diese in Bezug auf den bestehenden Komplexitätsgrad der Gesellschaft im Vergleich zu anderen Strukturen zu legen (Passoth, 2008, S.233). Aus diesem Grunde sind evolutionäre Errungenschaften nicht in Hinblick auf ihre Eigenschaften überlegen, sondern aufgrund der Tatsache, dass sie eine spezifische Steigerung der gesellschaftlichen Komplexität in Form einer etwaigen Lösung für ein gesellschaftliches Problem, das zu Beginn womöglich nicht einmal bekannt war, mit sich bringen. Der Begriff der Evolutionären Errungenschaft ist hierbei offen gehalten. Er bezeichnet alle möglichen Ergebnisse die eine gesellschaftliche Entwicklung mit sich bringen kann. Für Luhmann stellen in diesem Zusammenhang Straßennetze, Landwirtschaft und Geld, Sprache, Schrift und Buchdruck aber auch die Differenzierungsformen der Gesellschaft jeweils evolutionäre Errungenschaften dar (Luhmann, 1997, S.515).

Luhmann nennt die Schrift, die ursprünglich nicht als Medium für die Verbreitung geschaffen wurde, sondern in einem Zusammenhang mit Praktiken der Verwaltung, als Beispiel hierfür. Die ersten Formen der chinesischen Schrift sind auf den Gebrauch von Knochen im Rahmen religiöser Methoden zurückzuführen. Diese konnten zwar gelesen werden, jedoch war es nicht möglich diese zu schreiben (Luhmann, 1997, S.261ff.).

Dadurch kam es in weitere Folge zu einem Übergang hin zu Lautzeichen und zur Nutzung von Schrift als Medium der Aufzeichnung. Erst nach diesem Prozess sind Veränderungen der Gesellschaft im Hinblick auf die Nutzung von Schrift als Kommunikationsmedium zu bemerken gewesen. Solche evolutionären Errungenschaften sind bei Luhmann als relativ stabile Strukturen definiert. Der jeweilige Komplexitätsgewinn, der dadurch entsteht, führt dazu, dass sich andere Strukturen der Gesellschaft auf diese Veränderungen einstellen können. Dies hat zur Folge, dass sich ein etwaiger gesellschaftlicher Rückschritt massiv erschweren kann. Diese neuen Strukturen, welche die alten ersetzen könnten, müssten nach Luhmann funktionale Äquivalente sein. Beispielsweise nennt Luhmann für solche Prozesse die evolutionäre Errungenschaft von Geld. Ursprünglich war eine geprägte Münze ein eindeutiges Indiz für Eigentum, da es sowohl eine Klassifikation als auch eine Zuordnung ausdrückte. Die Münzen wurden in Folge von Banknoten ergänzt. Die Bank gibt dem Individuum wiederum die Garantie, dass die Noten wieder gegen Münzen umgetauscht werden können. Dieses Beispiel zeigt, dass funktionale Äquivalente zu evolutionären Errungenschaften werden können. Sie ersetzen nicht den Vorgänger, sondern ergänzen und spezifizieren diesen eher (Luhmann, 1997, S.510ff.).

Der Begriff der evolutionären Errungenschaft bezeichnet demnach ein Ergebnis der Evolution von natürlichen, biologischen, physischen aber auch von sozialen Systemen und dies jeweils in Bezug auf die Gesellschaft innerhalb derer eine Komplexitätssteigerung möglich ist. In diesem Zusammenhang schließt nach

Luhmann der systemtheoretische Begriff der Technik an. Bestimmte Ergebnisse der Evolution erlauben ein ausgesprochen hohes Maß an Komplexitätssteigerung. Derartige Errungenschaften, die im speziellen für die Gesellschaft als funktionierende Simplifikationen agieren, werden nach Luhmann als Technik bezeichnet (Luhmann, 1997, S.524). Hierbei bezeichnet er zum Beispiel den Buchdruck „...als eine Technik gefeierter Errungenschaft...“(zit. Luhmann, 1997, S. 520).

Demnach ist Technik nicht die evolutionäre Errungenschaft an sich, sondern es ist die jeweilige Bezugnahme der gesellschaftlichen Reaktion auf ein Resultat der Evolution. Luhmann spricht dann von Technik, wenn die vielfältigen Möglichkeiten die von einer evolutionären Errungenschaft ermöglicht wurden, innerhalb der Gesellschaft rein auf ihr funktionieren reduziert werden. Aus diesem Grunde beinhaltet der Luhmann'sche Technik Begriff zum einen die Kausaltechnik (Maschinen und Apparate) zum anderen aber auch die Informationstechnik wie Verfahren und Kalküle (Luhmann, 1997, S.524ff.).

Die Kausaltechnik reduziert in diesem Verständnis die oftmals relativ langen Kausalketten, beispielsweise jene die dazu dienen, den Motor eines Autos laufen zu lassen, auf relativ einfache Verkürzungen. Es genügt hierbei, wenn der Schlüssel umgedreht wird, dass der Motor startet und funktioniert. Die Informationstechnik wiederum reduziert nach Luhmann die jeweiligen Unmengen an möglichen Irritationen, auf einen einzigen Unterschied, der für ein System einen Unterschied macht. Aus diesem Grunde spricht Luhmann davon, dass in Bezug darauf die Codes der Funktionssysteme, der modernen Gesellschaft, als Technisierung definiert werden können(Luhmann, 1997,S.524).

Diese Ansätze zeigen recht deutlich, dass eine Überwindung der Trennung, von Technik und Gesellschaft, im Zuge der soziologischen Systemtheorie erfolgen kann. Technik wird als kommunikative Bezugnahme und Einstellung der gesellschaftlichen Strukturen auf die zu erwartende Wiederholbarkeit von Resultaten angenommen und nicht als ein der Gesellschaft fremder Bereich. Die Basis (z.B. stählerne Zahnräder, Unternehmen, etc.) stellt in den meistens Fällen die Umwelt der Gesellschaft dar(Luhmann, 1997, S.528).

„Technik lässt sich nur beobachten und einrichten, wenn ein System bestimmt, welche der unzähligen Elemente zu koppeln sind. Technik ist nach all dem ein guter Beweis für unsere Ausgangsthese, dass operative Schließung keineswegs kausale Isolation bedeutet, wohl aber die Möglichkeit gewährt, systemintern durch Disposition über eigene Elemente Kopplungen mit der Umwelt zu realisieren“ (zit. Luhmann, 1997, S.527).

Der Technikbegriff muss jedoch auch hinsichtlich der kommunikativen Bezugnahme auf evolutionäre Errungenschaften nach dem Prinzip der funktionalen Simplifikation unterschieden werden, in denen in der Gesellschaft

Technik überhaupt thematisiert wird. Aus einer wirtschaftlichen Perspektive betrachtet, lässt sich Technik auch unter dem Punkt Kosten thematisieren. Politisch hingegen als sachlogische Bedingung für allgemeine Entscheidungen, sie kann als rechtmäßig, aber auch als illegal bezeichnet werden. Die Art und Weise, in wie fern die unterschiedlichsten Bereiche der Gesellschaft auf die Adaption von Technik reagieren, zeigt sich dadurch, dass sich die Gesellschaft auf die Technik einstellt (Passoth, 2008, S.235).

In diesem Zusammenhang kritisiert Jan Hendrik Passoth, Niklas Luhmanns Theorie sozialer Systeme dahingehend, als das er behauptet, dass diese sich nur peripher für den Technik Begriff interessiert. Luhmann bezeichnet den Begriff der Technik als eine evolutionäre Errungenschaft die sich durch strukturierende Simplifikationen auf die Gesellschaft einstellt. In weiterer Folge geht er jedoch in seiner These nicht näher darauf ein (Passoth, 2008, S.236).

Technik ist grundsätzlich in den alltäglichen Handlungen fest verankert. Wenn wir von A nach B reisen wollen benötigen wir ein Ticket oder einen Fahrschein. Dabei rechnet und registriert eine Kasse. Wenn Informationen über die Abfahrtszeit, die Dauer oder die Ankunftszeit benötigen vermittelt die digitale Welt und bewegt das Fahrzeug im Raum. Des Weiteren ist Technik in oftmals nicht sichtbare große Infrastruktursysteme eingebettet. Kauf und Verkauf der Wirtschaft beruhen beispielsweise auf Verkehrsnetze wie Straßen, Schienen oder Luftwege. Die dafür benötigte Energie wird durch Kraftwerke, Leitungsnetze und externe Stationen erzeugt die auf den ersten Blick nicht ersichtlich sind. Technik wird grundsätzlich hinsichtlich ihrer Wirkung erst erfahrbar wenn sie nicht vorhanden ist oder nicht funktioniert. Funktioniert der Zug oder das Flugzeug nicht, sei dies durch einen Stromausfall oder durch sonstige Einflüsse, dann werden Routinetätigkeiten oftmals unterbrochen. Dies kann unter gewissen Umständen dazu führen, dass Rationalitäten unterbrochen werden und dass es auch einen Einfluss auf die soziale Ordnung geben kann.

Technik hat erwünschte Folgen aber auch nicht erwünschte Nebenfolgen. Diese Folgen können durch die Technik nicht direkt determiniert sein, sondern lediglich durch dessen Gestalt, die Art und Weise wie diese institutionell eingebettet sind. Demnach können Techniken als formende und fundierte Elemente sozialer Handlungen und sozialer Systeme angesehen werden (Rammert, 2016, S.8).

Zum einen können Techniken als Sachtechniken, die als eine Ressource soziales Handeln in Gesellschaften ermöglichen, betrachtet werden. Zum anderen werden Techniken jedoch erst durch eine konstruktive und experimentelle Praktik der Wirkungssteigerung, als Form der Technisierung (Routinen, Mechanismen und Methoden), hervorgebracht. Techniken sind demnach sozial produzierte, geprägte und eingebettete Produkte der Gesellschaft. Sie können als soziale Phänomen und Prozesse verstanden werden, da sie bewusst geschaffen und planmäßig konstruiert sowie materielle oder symbolische Artefakte sind. Sie

werden zu bestimmten Zwecken kombiniert und werden als materielle Infrastrukturen institutionalisiert um dauerhaft und verlässlich gesellschaftlich definierte Erwartungen und Bedarfe zu erfüllen. Als Beispiel hierfür können Netzwerke des Verkehrs oder der Energieversorgung angesehen werden.

„Techniken sind also nicht allein ingenieurtechnische Konstruktionen wirksamer Werkzeuge und Maschinen, sondern zugleich auch soziale Konstruktionen der Mittel und Formen, wie in Gesellschaften gearbeitet, geforscht, kommuniziert und gelebt wird. Techniken sind nicht nur technische Installationen aus physischer Materie, Energie und Information, sondern zugleich auch material vermittelte soziale Institutionen.“(zit. Rammert, 2016,S.9).

Technische Systeme sind in Maschinen, Mechanisierungsgrade und dergleichen zu finden während sich hingegen soziale Systeme in industrielle Beziehungen und Bereichen der Arbeitsorganisationen wiederfinden. Weder das technische System noch das soziale System bestimmen die jeweils andere Seite. Vielmehr gibt es ein soziotechnisches System, dass in seiner gesamten funktionalen Bezogenheit aufeinander einwirkt. Es ist also eine Kombination aus beiden aufeinander. Ein soziotechnisches System (Rammert 2016,S.32).

Auf die Frage wer oder was als Ursache für eine Katastrophe dient, ging der Organisationssoziologe Charles Perrow in den 1980er Jahren an die Analyse von Industrieunfällen und atomaren Katastrophen heran. Grundsätzlich trennt die Risikoforschung sowohl konzeptuell als auch methodisch zwischen technischen Fehlern und menschlichem Versagen. Hierbei wurden alle Einheiten nach folgenden zwei Aspekten untersucht und vergleichend eingeordnet (Perrow 1987, 138).

- Interaktionsform (linear oder komplex)
- Koppelung (streng oder locker)

Die wesentliche Antwort auf die Frage nach der Sicherheit von hochriskanten Systemen, wie Schifffahrt, Chemiefabriken oder Kernkraftwerken, verließ den konventionellen Weg der dualistischen Trennung von technischen Operationen und menschlichen Interventionen. Das Ergebnis war, je enger gekoppelt die technischen Einheiten eines Systems sind, desto größer ist das Risikopotential und damit die Normalität von Katastrophen bei diesen Systemen. Diese Ansätze, können sich anhand folgender Frage näher definieren lassen (Rammert, 2016, S.32). Erklärend hierfür könnte man sich folgende Fragestellung durch den Kopf gehen lassen:

„Wer oder was steuert einen Zug von A nach B?“

Aus einer soziologischen Perspektive heraus betrachtet würde man behaupten, dass ein Triebfahrzeugführer (Tfzf) die Maschine steuert. Zweitens kommt die Frage nach Zugbegleitern bzw. Fahrdienstleitern, Lotsen, Kontrolleure, und viele mehr. Als endgültig Antwort könnte man die Behauptung aufstellen, dass es eine ganze Gruppe ist, die den Zug gemeinsam steuert.

Weiters würde ohne zahlende Fahrgäste und ohne Infrastrukturbetreiber bzw. ohne Sicherheitsorgane, Wartungspersonal, Ausbildungsorgane das Eisenbahnsystem nicht existieren. Alle menschlichen sozialen Akteure, die individuellen (Individuen), die kollektiven (Gruppen) und die kooperativen Akteure (Organisationen) sind daran beteiligt das Fahrzeug von A nach B zu bringen (Rammert, 2016,S.32).

Demgegenüber steht ein ingenieurswissenschaftlicher Ansatz der besagt, dass Naturgesetze, technische Vorrichtungen, Geräte und Steuerungszeichen den Zug fahren lassen. Luftströme brechen sich in einem bestimmten Winkel am Zug und lassen ihnen schneller oder langsamer fahren. Windströmungen unterstützen oder Stören das Fahren. Elektrische oder dieselbetriebene Motoren treiben den Zug voran. Durch ein technisches System fährt der Zug in die richtige Richtung. Fahrpläne, Funkleitstrahlen und Sicherungssysteme sind am Fahrbetrieb mehr (Automatik) oder weniger (menschliche Intervention) beteiligt.

Sowohl Fakten der Natur als technische Artefakte bewirken zwar das Fahren des Zuges nach Richtung und Geschwindigkeiten werden jedoch nur als passive Mittel menschlicher Intentionalität des Typs instrumentellen Handelns gesehen (Rammert, 2016, S.33).

Einigkeit herrscht zwischen Sozialwissenschaftlern und Technikern nur in einem Punkt. Nur Menschen können handeln. Das bedeutet, dass nur Menschen in der Lage sind Zwecke zu setzen und entsprechende Mittel zu wählen. Das bedeutet, Zweck-Mittel Beziehungen werden von Menschen intelligent gewählt, während hingegen Maschinen nur nach einem bestimmten Schema und Muster funktionieren können.

Menschen handeln oftmals mechanisch indem gewisse Handlungen automatisch durchgeführt werden. Im alltäglichen Sprachgebrauch wird in diesem Zusammenhang oftmals davon gesprochen, dass Menschen funktionieren. Handlungen werden dabei routiniert, habitualisiert und formalisiert, was dazu führt, dass Handlungen nicht einzigartig und un nachahmbar sind. (Collins/Kush, 1998 In: Rammert, 2016, S33).

Maschinen hingegen lassen sich im derzeitigen Stand nicht auf den Status eines passiven Instrumentes reduzieren. Sie sind eine Art kombiniertes technisches System die aus mehreren funktionalen Komponenten zusammengefügt werden. Sie bekommen durch die Aktorik (Arbeit und Ausführung) ihre Aktionsfähigkeit. Die Motorik (Antrieb und Bewegung) macht sie im jeweiligen Raum mobil, die Sensorik (Umwelt und Selbstwahrnehmung) sorgt für eine differenzierte

Empfänglichkeit für die Umgebung und die Informatik (Steuerung und Regelung) verleiht eine kalkulierende, memorierende und strategische Intelligenz. (Rammert, 2016, S.33).

Bringt man zu den genannten Komponenten noch die Telematik (Kommunikation unter EDV Systemen) entstehen daraus diverse Möglichkeiten zur Verteilung der Aktivitäten auf eine Vielzahl von technischen Agenten, zur flexiblen Koordination und zur relativen autonomen Kooperation unter ihnen.

Des Weiteren gibt es auch eine Veränderung zwischen Menschen und Maschinen. Was zu Beginn ein rein instrumentelles Verhältnis zu Maschinen war, verändert sich hin zu einem interaktiven zwischen Benutzer und Maschine. Hierbei geht es nicht mehr rein um die Benutzung und Bedienung eines Interfaces am Bildschirm, sondern es geht vielmehr um eine Verteilung der Aktivitäten auf Maschinen, Programme und Menschen. Interaktivität in diesem Zusammenhang bedeutet, dass die Beziehung zwischen Mensch und Technik durch Komplexität, Kontingenz und durch symbolisch vermittelte Kommunikation verbunden ist. In Verbindung mit kombinierten technischen Systemen gibt es eine Vielzahl an unterschiedlichen Elementen, Kopplungen und verschiedenartige Beziehung. Beispielsweise kann es bei Maschinen, die programmierbar sind, unterschiedliche Wahlmöglichkeiten und Kopplungen mit deren Umgebung bzw. Umwelt geben (Rammert 2016,S.34).

So kommt es bei Bildschirmschnittstellen zu einem Zuwachs der Kapazitäten in Bezug auf die Kommunikation von Zuständen und Anweisungen, dass hieraus differenzierende Dialoge geführt und der anderen Seite eine Interaktionsfähigkeit zugerechnet werden kann. Dies bedeutet, dass Computer als eine Art Interaktionspartner betrachtet werden können (Geser 1989 In: Rammert, 2016, S. 34).

Hierbei gilt es, hinsichtlich dieser Kombination der Aktivitäten, die grundlegende Differenz zwischen Menschen und Maschinen, Handeln und Operieren, Geist und Programm heraus zu differenzieren. Der allgemeinen Grundbehauptung, dass Computer nicht denken und Maschinen nicht handeln können, muss an dieser Stelle die grundsätzliche Differenz zwischen Mensch und Maschine entgegengestellt werden.

4.5. Systemtechnik

Grundsätzlich kombiniert die systemtechnische Methodik verschiedene Ansätze aus den Fachdisziplinen der Biologie, der Kybernetik und der Informationstheorie und versucht diese Ansätze jeweils auf die Technik anzuwenden. Gekennzeichnet sind diese technischen Systeme dadurch, dass jedes System aus interaktiven Elementen besteht. Diese Systemelemente lassen sich im Wesentlichen durch eine zweckmäßig definierte virtuelle Grenze des Systems

von der Umgebung und anderen Systemen abgrenzen was zur Folge hat, dass diese exemplarisch isoliert betrachtet werden können. Die Inputs (Eingangsgrößen) die in das System eintreten werden als „Prozessgrößen“ über die Systemelemente in Outputs (Ausgangsgrößen) überführt. Des Weiteren wird die Funktion eines Systems durch die Input-und Output-Beziehungen zwischen den operativen Eingangsgrößen und den funktionellen Ausgangsgrößen beschrieben. Diese können gegeben falls durch diverse Störgrößen und Dissipationsgrößen beeinflusst werden. (Czichos, 2015, S. 14)

Sowohl jeglicher Input als auch jeder Output kann den kybernetischen Grundkategorien Energie, Stoffe aber auch Information zugeordnet werden. Die zu bestimmende Systemfunktion bildet die Rahmenbedingung für eine zu gestaltende Systemstruktur mit Hilfe ihrer Elemente, der Eigenschaften und den jeweiligen Wechselwirkungen (Czichos, 2015,S.14).

Für das Design sowie für die Entwicklung technischer Systeme gelten folgende Grundprinzipien:

- Definieren der Systemstruktur
- Realisieren der Systemstruktur

Diese systemtechnische Methodik hat das Ziel, ein technisches Fachgebiet in seiner Gesamtheit zu behandeln. Der Begriff der Gesamtheit kann an dieser Stelle auch mit jenem der Ganzheit gleichgestellt werden, da sich dieser als methodischer Begriff in einer Vielzahl von wissenschaftlichen Ansätzen wiederfindet. Ganzheit bedeutet in diesem Kontext, dass er erst durch seine Struktur bestimmt wird und nicht von einzelnen Bestandteilen definiert ist. Weitere zentrale Begriffe die in Zusammenhang mit der systemtechnischen Methodik zu finden sind, sind die Systemfunktion sowie die Systemstruktur.

Demnach kann ein System innerhalb des systemtechnischen Begriffes als ein Gebilde definiert werden, welches durch seine Funktion sowie durch seine Struktur verbunden ist und durch eine Systemgrenze von seiner Umgebung virtuell abgegrenzt werden kann. Die Funktion definiert sich dadurch, dass sie in der Überführung von operativen Eingangsgrößen in funktionelle Ausgangsgrößen durch die Systemstruktur getragen wird. Diese Struktur wiederum besteht aus der Gesamtheit der Systemelemente, derer Eigenschaften sowie deren Wechselwirkungen. (Czichos, 2015,S.14)

4.6. Soziotechnische Systeme

Um einen grundlegenden Einblick in soziotechnische Systeme geben zu können, bedarf es an dieser Stelle den Bezug zum Begriff der Technik und des technischen Systems herauszuarbeiten und genauer zu beschreiben. Die eigentliche Frage, wie Technik grundsätzlich funktioniert und welche Folgen die

Technik für die Gesellschaft haben kann, soll wie folgenden sukzessive beschrieben werden.

Die Technik, ist nach Rammert (2016), ein integraler Bestandteil der Sozialstruktur der Gesellschaft. (Rammert, 2016, S.4)

Primär kann die These aufgestellt werden, dass es ohne den Einfluss von Technik die menschliche Gesellschaft, wie sie heute existiert, nicht geben würde. Ohne technische Errungenschaften und ohne technische Hilfsmittel wie beispielsweise Textilien, Architektur, aber auch ohne Maschinen würde es keinen wesentlichen Unterschied zwischen der heutigen modernen Gesellschaft und Primatengruppen geben (Rammert, 2016, S.19).

Technik dient vereinfacht gesagt dazu, eine Sicherung eines Bestandes überhaupt erst zu ermöglichen sowie die Ausbeute zu steigern, aber sie dient auch dazu, die Technik an sich zu verbessern. So gesehen, kann Technik für die Gesellschaft als konstitutiv betrachtet werden. Der Determinismus der Technik setzt im Wesentlichen an der strukturierenden Kraft technischer Revolutionen an. Gesellschaftliche Epochen aber auch Gesellschaftsformationen wurden und werden an ihrem jeweiligen Niveau der technischen Entwicklung voneinander getrennt. Die Verwendungen von Werkzeugen oder die Herstellung von Geräten aus Metall oder Kunststoff brachten in der Vergangenheit neue Gesellschaftstypen hervor. (vgl. Popitz 1995 In: Rammert, 2016, S.19)

Techniken können demnach, als Resultate von sozialem Handeln definieren werden. Sie und können als eine Form des „[...] kreativen Handelns, wie das Forschen und Entdecken von Ursache-Wirkungs-Beziehungen (Kausalität) und das Erproben und erfinden von Wirksamen Zweck-Mittel-Relationen(Effektivität)“ (zit. Dewey 1938 In:Rammert, 2016, S.4) bezeichnet werden.

Eine Bündelung von einzelnen diversen Innovationen wie zum Beispiel die technischen Medien der Kommunikation (von der Schrift zum Buchdruck bis hin zum elektronischen Netz) werden von der jeweiligen Population festgelegt. Die Schnelligkeit und die Zuverlässigkeit bei der Übertragung von Nachrichten und Informationen sowie auch die Verbreitung von Vorschriften und Gesetzen bestimmen in diesem Kontext die Ausdehnung von gesellschaftlichen Herrschaftsgebieten und die Intensität des Handelsverkehrs seit Jahrhunderten. Mit Hilfe von Eisenbahnen und Flugverkehr werden die Sozialräume verkleinert und die Geschwindigkeitsanforderungen im gesellschaftlichen Alltag erhöht. Die Gedankenführung wird durch Schrift stärker kontrollierbarer gemacht und hat somit eine große Bedeutung für juristische und wissenschaftliche Argumentationen. Moderne Kommunikationsmittel, die eine ständige Präsenz zeigen, bringen einen unvermittelten Zugang zu sozialen Schranken zwischen den gesellschaftlichen Schichten und erschaffen räumliche Grenzen zwischen Regionen und Nationen.

Determinismus kann jedoch auch anders betrachtet werden. Aus einer anderen Perspektive heraus kann es auch bedeuten, dass nur ein zeitlicher Vorsprung technischer Innovationen gegenüber dem gesellschaftlichen und kulturellen Wandel steht. Eine These von William F. Ogburn stellt die Behauptung auf, dass neue Erfindungen und technische Neuerungen stets einer soziokulturellen Veränderung voraus gingen und dadurch einen starken Anpassungsdruck ausübten. Das bedeutet, dass die gesellschaftliche Entwicklung der technischen Entwicklung stets einen Schritt hinterher ist. (vgl. Ogburn 1937 In Rammert, 2016, S.20)

Erst durch eine mögliche Verbindung zwischen technischen und gesellschaftlichen Möglichkeiten gelingt es der Technik die Grenzen gesellschaftlicher Organisationen zu fixieren. Hierbei stellt sich die Frage wie diese wirkt beziehungsweise welchen Einfluss die Technik auf die Gesellschaft hat?

Systemtheoretisch betrachtet ist Technik mehr als nur die Umwelt der Gesellschaft. Sie ist stark konstitutiv für die Entstehung, die Gestaltung und die Erhaltung gesellschaftlicher Formen. Mit Hilfe von Technik werden soziale Prozesse ermöglicht. Beispielsweise wäre das Bezahlen mit Geld oder eine elektronische Transaktion, Kommunikation (mündlich bzw. Massenkommunikation auf globaler Ebene) ohne Technik nicht möglich. Sie unterstützt und verstärkt das soziale Handeln um viele Wirkungsgrade. Beispielsweise wäre eine menschliche Arbeitskooperation durch eine Antriebs-Arbeits-Transmissionsmaschinerie (Sicherheitssysteme) nicht realisierbar. Technik steigert in diesem Sinne die Wirkung sozialer Prozesse zeitlich (Beschleunigung) und räumlich (globale Ausdehnung). (vgl. Rosa 2005 und Schroer 2006 In: Rammert, 2016, S. 21ff.)

Weiters können soziales Handeln und soziale Abläufe mit unterschiedlichen Wirkungsgraden durch Technik determiniert werden. Diese Wirkungsgrade können in folgende drei Kategorien unterschieden werden:

- Zwang wird durch die Infrastruktur vorgegeben. Wenn diverse Steuerungsprogramme den Menschen Taktzeiten und Eingriffspunkte vorgeben, kann sich dieser Prozess auf die Handlungsautonomie und auf die Qualifikationsanforderung restriktiv auswirken.
- Druck als eine zweite Kategorie bedeutet, dass wenn aufgrund von infrastrukturellen Vorentscheidungen alternative Techniken nur mit einem relativ großen Aufwand umgesetzt werden können.
- Drift als dritte Kategorie kann wie folgt verstanden werden. Sollte ein sozialer Handlungsablauf unbemerkt in eine nicht vorgesehene Richtung

gedrängt werden kann dies als eine Art normalisiertes Verhalten gelten. (Rammert, 2016, S.21ff.)

Die jeweiligen Wirkungen der Technik werden sowohl bewusst erzeugt als auch planvoll eingesetzt, was zur Folge hat, dass die Technik als ein sozialer Prozess der Gesellschaft bezeichnet werden kann. Dementsprechend kann der Dualismus zwischen Gesellschaft und Technik, von Interaktion und Arbeit oder von Praxis und Operation, als Hindernis für die Begriffsbeschreibung der Technik innerhalb der Gesellschaft angesehen werden. Historisch betrachtet, wurde die Technik „[...] entweder als schwergewichtiges sachliches Artefakt oder als dürres Schema der Technizität“ (zit. Rammert, 2016, S.49) angesehen.

Soziotechnische Systeme können also demnach als die elementare Verbindung zwischen technischen und sozialen Systemen definiert werden. Hierunter fallen alle Handlungen die seitens der Gesellschaft in Kombination mit der Technik stattfinden. Wie in der nachfolgenden Abbildung 1 ersichtlich, ist neben einer primären Funktion auch die sekundäre Funktion innerhalb von soziotechnischen Systemen von großer Bedeutung.

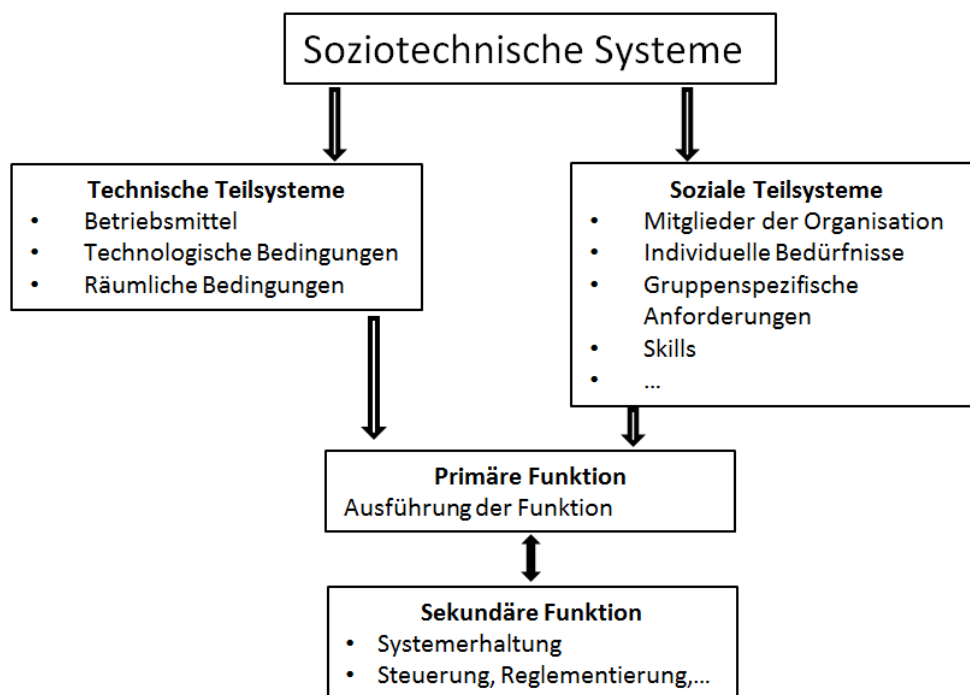


Abbildung 1: Funktionen des soziotechnischen Systems nach Baitsch (Datengrundlage: Lichtenegger, 2009, S.38)

Die primäre Funktion dieses Systems wird in den meisten Fällen von den sekundären Funktionen begleitet. Die jeweiligen Verbindungen zwischen diesen beiden können jedoch in Kombination, mit einer intensiven Nutzung technologischer Errungenschaften, oftmals kritische Auswirkungen auf die

primäre Funktion haben. In diesem Zusammenhang befindet sich der Mensch in einer kooperativen Beziehung mit der Technik was unter gewissen Umständen zu Problemen führen kann (Lichtenegger, 2009, S.38).

Das soziotechnische System kann demnach wie folgt definiert werden:

„A socio-technical system is an organized set of people and technologies that are structured in a certain way to reach a specific result. The production of a specific result is the primary mission.“ (zit. Udris, 2002 In: Lichtenegger, 2009, S. 38)

Im ausgewählten Thema der vorliegenden Arbeit kann das Eisenbahnsystem demnach explizit als soziotechnisches System definiert werden.

4.7. Sicherheit

Der Begriff der Sicherheit übt einen sehr starken Einfluss auf die gesellschaftliche Akzeptanz, das Wohlbefinden und die Zufriedenheit der Menschen aus. Innerhalb der Europäischen Union kamen im Jahr 2015 knapp 26.100 Menschen bei Verkehrsunfällen ums Leben. (Eurostat) Davon kamen 963 Menschen bei Eisenbahnunfällen ums Leben. Diese Zahl ist im Vergleich zu dem Jahr 1995 innerhalb von 20 Jahren um 59 Prozent gesunken (Eurostat, 2016). Im selben Zeitraum gab es in Österreich vergleichsweise 37 Todesopfer. Diese Zahl zeigt deutlich auf, dass die Vermeidung von Unfällen eines der obersten Ziele von Organisationen darstellt.

Sicherheit wird allgemein dargestellt, sehr stark mit der mathematischen Wahrscheinlichkeit von 100% in Bezug auf ein (Nicht-)Eintreten eines Ereignisses dargestellt. Demnach kann Sicherheit als ein Zustand einer störungsfreien und gefahrenfreien Funktion definiert werden. Hierbei wird der Begriff als positiver Sollzustand mit einer weiteren Systemeigenschaft, der Zuverlässigkeit, gleichgesetzt. Systeme werden gemäß DIN 40041, als „Zuverlässig“ bezeichnet, wenn sie geforderte Funktion unter gewissen Bedingungen über einen definierten Zeitraum hinweg ausführen (DIN 40041, 1990).

Demnach kann Zuverlässigkeit folgende drei Aspekte beinhalten.

- Korrektheit (verlaufen nach gewissen Vorgaben)
- Robustheit (auftretende Störungen können vom System ausgeglichen werden)
- Ausfallsfreiheit (definierte Sicherheit gegen Ausfall)

In einem anderen Fachgebiet, wird Sicherheit mit einem hohen Gefährdungspotential als Eigenschaft definiert. *„[...] die es dem System gestattet, ohne größere Zusammenbrüche unter vorgegebene Bedingungen und mit einem*

Minimum unbeabsichtigten Kontrollverlusts oder Schadens für die Organisation und die Umwelt zu funktionieren.”(Fahlbruch und Wilpert, 1999, S.56).

Sicherheit ergibt sich demnach aus einer fortwährenden Interaktion zwischen Mitgliedern, Strukturen und Regeln sowie interner als auch externer Technologien (Gherardi et al., 1998 In: Badke Schaub, 2012, S.23). Nicht das Ereignis steht hierbei im Vordergrund sondern es stehen auch die kontinuierlich ablaufenden Prozesse, die zum Ereignis beitragen im Fokus. In diesem Kontext, sprechen Weick und Sutcliffe von einem „dynamischen Nicht-Ereignis“ (Weick, Sutcliffe, 2001, S.43). Das bedeutet, dass Zuverlässigkeit und Sicherheit unterschiedliche Qualitäten eines Systems darstellen und demnach völlig unabhängig voneinander auftreten können. Eine Implementierung von redundanten Komponenten kann die Zuverlässigkeit einer sicherheitskritischen Systemfunktion erhöhen, da bei einem etwaigen Ausfall einer Komponente eine zweite die Funktion übernimmt. Nach Perrow (1987) führt dies allerdings zu einer zunehmenden Komplexität, da dadurch neue und nicht vorhersehbare Wechselwirkungen entstehen können (Badke-Schaub, 2012, S.23).

Sicherheit wird demnach als Systemeigenschaft definiert, da ein System zwar aus sogenannten Einzelkomponenten besteht, gesamt betrachtet jedoch nicht als Sicher einzustufen ist. (Leveson, 2011 In: Badke Schaub, 2012, S.23)

Eine Förderung von Sicherheit, in einem betrieblichen Kontext betrachtet, zielt darauf ab, eine gesundheitliche Schädigung von Personen zu vermeiden. Demnach kann Sicherheit als gefahrenfreier Zustand während einer Ausübung eines Berufes definiert werden (Skiba 1997 In: Badke Schaub, 2012, S.23). Gemäß der europäischen Richtlinie 2004/49/EG vom 29. April 2004, Abl. Nr. L164 vom 30. April 2004 „Richtlinie über die Eisenbahnsicherheit in der Gemeinschaft“ in der geltenden Fassung, ist das Eisenbahninfrastruktur Unternehmen dazu verpflichtet, erforderliche Maßnahmen zu treffen um einen sicheren Bahnbetrieb für Angestellte und Bahnbenutzende herzustellen. Des Weiteren muss das Unternehmen die Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen überprüfen und diese bei eintretender Änderung adaptieren. Die Verhütung von Unfällen hat hierbei oberste Priorität. Derartige Änderungen des Systems werden heute zu Tage im Rahmen eines integrierten Managementsystems (IMS) verfolgt. Ob und in wie fern ein Unternehmen oder eine Organisation eine systemorientierte Strategie in Bezug auf die Gewährleistung von Sicherheit führt hängt grundsätzlich jeweils vom individuellen Gefährdungspotential ab. Sollte dieses etwa aufgrund der verwendeten Technologien ein hohes Gefährdungspotential haben, so ist Systemsicherheit wie am Beispiel des Systems Eisenbahn unverzichtbar. Grundsätzlich gilt das europäische Eisenbahnsystem als eines der sichersten der Welt. Der Risikograd liegt hierbei bei ca. 10^6 (Badke Schaub, 2012, S.24).

Solche derartigen extrem sicheren Organisationen verdanken ihr niedriges Risikopotential bestimmten Gestaltungsmerkmalen, die sich im Design von technischen Systemen widerspiegeln. Hierbei werden bereits im Prozess der Produktentwicklung mögliche Schadensszenarien miteingeplant um etwaige Überbeanspruchungen von Sollbruchstellen oder Sicherungen entgegenzuwirken.

Systemtheoretische Ansätze betrachten allgemein dargestellt Organisationen analog zu biologischen Organismen. Hierbei gibt es eine Relation zwischen Input und Output zur jeweiligen Umgebung, wobei das Überleben durch eine permanente interne Operation sichergestellt wird (Maturana, 1982 In: Badke Schaub 2012, S.167). Wesentliche Inputs, wie zum Beispiel Informationen, Energie und materielle Stoffe, werden verarbeitet, wobei hingegen auf der Seite des Outputs Informationen, Produkte und Dienstleistungen geschaffen werden.

Eine der Kernideen eines gekoppelten soziotechnischen Systems ist es, dass Organisationen von ihrer Umwelt unterscheidbare Systeme sind. Diese sind durch vielfältige Relationen mit der Organisationsumwelt verknüpft. Als soziotechnische Systeme betrachtete Organisationen bilden hierbei stets interne Strukturen, innerhalb derer Menschen aber auch die Technik miteinander interagieren. Sowohl das Technik- als auch das Sozialsystem einer Organisation ist historisch gewachsen, unterliegt bestimmten Veränderungen und folgt eigenen Gesetzen. (Badke-Schaub, 2012, S.168)

Organisation als ein soziales System kann nach Luhmann auch als Kommunikationssystem konzipiert werden (Luhmann, 1984, In: Badke Schaub, 2012, S.169). Das bedeutet, dass es aus Kommunikationen gebildet wird, die von Mitgliedern sowohl vorgebracht als auch beobachtet werden. Hierbei nehmen die Mitglieder des Systems auch die Rolle des Beobachters und damit jene der Umwelt ihres eigenen Systems an. Beobachtbare Muster, wie zum Beispiel Regeln oder koordiniertes Verhalten werden hierbei konzeptionell von den Personen und deren psychischen Prozessen getrennt (Simon, 2006 In: Badke-Schaub 2012, S. 168). Gebildet wird ein solches Kommunikationssystem aus folgenden drei Grundelementen:

- Informationen
- Prozess des Mitteilens/Übermittelnder Informationen
- Verstehens Prozess des Rezipienten

Jede Form der Interaktion die zwischen den Mitgliedern einer Organisation stattfindet bildet ein vergleichbares Kommunikationssystem (Nerdinger, et al, 2011 In: Badke- Schaub, 2012, S.169).

Durch eine ständige Korrektur von minimalen Abweichungen wird Sicherheit in komplexen soziotechnischen Systemen garantiert. Unfälle gelten in diesem

Zusammenhang als „strukturelles Nebenprodukt“ von normal funktionierenden Systemen. Hierbei müssen jedoch sehr viele Ereignisse gemeinsam auftreten damit es zu einem Unfall überhaupt erst kommen kann. (Perrow, 1999, S. 89ff)

Eine Vielzahl von Untersuchungen zeigen recht deutlich, dass „human errors“ nur in einer losen Beziehung zu Unfällen stehen. Es sind nicht einzelne individuelle falsche Handlungen, sondern vielmehr eine Verkettung von mehreren, die kollektiv auf ein Unfallgeschehen einwirken. (Hollnagel, 2004 In: Badke-Schaub, 2012, S.175)

Sicherheitskultur kann in diesem Zusammenhang als Ergebnis von Wechselwirkungsbeziehungen zwischen individuellen Werten, Verhaltensweisen und Einstellungen charakterisiert werden. Sie ist zum einen als Prozess der Wertvorstellungen zum anderen als ein Modell von Arbeitshandlungen definiert, dass die Grenzen der Sicherheitskultur aufzeigt. (Reason und Hobbs, 2003 In: Badke Schaub, 2012, S.175)

Die Richtung in die sich die für die Sicherheit relevante Technik künftig bewegen wird, kann weder von Naturwissenschaftler, Techniker noch von Sozialwissenschaftler alleine, sondern nur im Kollektiv dieser festgelegt werden. Eine fachliche Kompetenz aller Akteure, um nicht nur technische Funktionen sondern auch gesellschaftliche Entwicklungen zu berücksichtigen, wird hinsichtlich zukünftiger soziotechnischer Konstellationen von Bedeutung sein.

5 Sicherungssysteme Eisenbahn

Die Sicherung von Eisenbahnsystemen ist ein wesentlicher Bestandteil der Verkehrstechnik, die sich grundsätzlich mit den relevanten Prozessabläufen innerhalb des Systems und dem notwendigen Zusammenwirken der Systemkomponenten, befasst. Hierzu gehören explizit im Eisenbahnverkehr die Planung, die Steuerung sowie die Sicherung aller Fahrten im System. (Pachl, 2018, Kap.1.1)

Der Erfolg, der mit Hilfe des Eisenbahnsystems entstanden ist, ist auf einen systemimmanenten Vorteil gegenüber anderen Verkehrssystemen zurückzuführen. Mit Hilfe der Eisenbahn ist es zum einen möglich große Massen und zum anderen diese mit hohen Geschwindigkeiten zu befördern. Der grundlegende Vorteil dieses Systems, gegenüber anderen, der mit den Systemeigenschaften verbunden ist, sind zum einen die besondere Technik die zur Steuerung und Sicherung von Fahrwegelementen (Spurführung) notwendig ist und zum anderen sind es besondere Techniken zur Regelung und Sicherung der Zugfolge (lange Bremswege durch geringe Reibung) (Pachl, 2018, Kap 1.1).

Im Vergleich zu Straßenfahrzeugen ist die Haftreibung von Schienenfahrzeugen, aufgrund des Systems Stahl brems auf Stahl, um ein vielfaches höher und bedingt dadurch oftmals sehr lange Bremswege. Diese können unter Umständen die Sichtweite des Triebfahrzeugführers (Tfzf) um ein Vielfaches übersteigen. Um auf diesem System die notwendige Sicherheit gewährleisten zu können, bedarf es besonderer technischer Systeme. (Pachl, 2018, Kap1.1)

Um eine technische Sicherung herstellen zu können, die das Fahren in einem gewissen Raumabstand sicherstellen, werden gewisse Abhängigkeiten zwischen den Streckenblockanlagen, dies sind Sicherungseinrichtungen die nur in Kombination zwischen Strecke und Zug eintreten, hergestellt. Diese könne an Signalen, entweder zu Beginn oder am Ende eines Blockabschnittes, beziehungsweise direkt auf Signale, die am Streckenrand stehen, Einfluss nehmen. (Pachl, 2018; Kap.1.2)

Eisenbahnspezifische technische Kontrollsysteme wurde entwickelt um den Zug vor Fehlern des Tfzf zu schützen, wenn das System der Meinung ist, dass der Tfzf zu schnell unterwegs ist, ein haltzeigendes Signal überfährt oder außerhalb der vorgeschriebenen Grenzen agiert. Ziel sollte es sein, dass Risiko von „human errors“ in Bezug auf fatale Ereignisse zu reduzieren. Nach einer Studie von Wreathall, Woods et al. (2007) wurden in den Vereinigten Staaten von Amerika über 100 Vorfälle identifiziert, die durch ein funktionsfähiges Zugsicherungssystem, vermieden werden hätten können. (Bearmann et al, 2016, S.429)

Durch die Einführung eines solchen Systems konnten in Großbritannien wiederum, in Bezug auf unerlaubte Signalüberfahrungen, die Vorfälle um 22 Prozent gesenkt und um 86 Prozent des allgemeinen Risikos reduziert werden. Nichts desto trotz ist die Einführung von neuen Technologien nicht gänzlich ohne Risiko behaftet. Es gibt zahlreiche Unfälle die seit der Einführung dieser Systeme trotzdem passiert sind. Beispielsweise gab es in einen Vorfall in Großbritannien, bei dem zwei Warnsignale des Systems, im Fahrzeugcockpit durch den Tfzf widerrufen worden sind und es in weiterer Folge zu einer beinahe Kollision mit einem anderen, entgegenkommenden Zug gekommen ist (Rail Accident Investigation Branch, 2007).

In Situationen wie oben angeführt, zeigt sich relativ deutlich, dass in den meisten Fällen, ein Fehler des Menschen dazu geführt hat, dass es zu solchen folgeschweren Unfällen kommen konnte. Hingegen muss an dieser Stelle jedoch angemerkt werden, dass durch solche hochtechnologische Sicherheitssysteme, oftmals auftretende Fehlmeldungen (Warnleuchten die keine Handlungsbedarf auslösen, sogenannte Fehlalarme) auf den Tfzf einen unerwarteten Einfluss nehmen können. So können Tfzf dadurch auch zu unangemessenen Handlungen tendieren. (Bearman et al, 2016, S.450)

In Österreich und der europäischen Union wird der Eisenbahnbetrieb durch ortsfeste Signale geführt. Hierbei gilt, dass jedes Hauptsignal durch jeweilige Vorsignale angekündigt wird. Dies dient dazu, dass ein fahrender Zug, der hinsichtlich seiner Masse einen großen Brems- und Reaktionsweg hat, zeitgerecht auf die Signale reagieren kann. Ist eines dieser Vorsignale in der Stellung „Vorsicht“ so ist es die Aufgabe des Triebfahrzeugführers den Zug soweit abzubremesen, dass er auf dem Weg bis zum Hauptsignal das Fahrzeug anhalten kann. Hierbei ergeben sich jedoch oftmals diverse Schwierigkeiten für die Person, die die Maschine bedient. Zum einen ergibt sich aus der hohen Geschwindigkeit eine Reduzierung der notwendigen Zeit für den Triebfahrzeugführer, in der er das gegebene Signal wahrnehmen kann, und zum anderen können auch schlechte Sichtverhältnisse, sei es Nebel, Schneefall oder Starkregen, einen Einfluss darauf nehmen um zeitgerecht auf ein Signal reagieren zu können. Um solche und andere menschliche Faktoren besser kontrollieren zu können gibt es eine Vielzahl technischer Systeme, die gegebenenfalls in Kombination mit dem Menschen die Sicherheit im Eisenbahnverkehr erhöhen sollen. Diese Sicherheitslücken, die zwischen Mensch und Maschine entstehen können, werden mit Hilfe von technischen Zugbeeinflussungssystemen geschlossen. Hierbei werden wesentliche Informationen über die erlaubte und zulässig Fahrweise vom Fahrweg zum Fahrzeug übertragen und gegebenenfalls Sicherheitsmaßnahmen systematisch gesetzt.

Laut derzeitigem Stand der Technik und der Umsetzung gibt es folgende technische Zugbeeinflussungsmöglichkeiten als Sicherheitssysteme:

- Sicherheitsfahrschaltung (Sifa)
- Punktförmige Zugbeeinflussung (PZB)
- Linienzugbeeinflussung (LZB)
- European Train Control System (ETCS)

In den folgenden Kapiteln der vorliegenden Arbeit sollen diese technischen Systeme hinsichtlich ihrer Aufgabe, Auswirkungen und ihrer Vor- und Nachteile kurz analysiert werden.

5.1. Sicherheitsfahrschaltung (Sifa)

Die wesentliche Aufgabe einer Sicherheitsfahrschaltung ist es die jeweilige Tauglichkeit eines Triebfahrzeugführers (Tfzf) während seiner Fahrt zu überwachen. Aus diesem Grunde ist es eine Vorgabe, dass die Sifa bei besetzten Triebfahrzeugen (Tfz) sowohl tauglich als auch aktiviert sein muss. Ein wesentliches Kriterium für eine Sicherheitsfahrschaltung ist, dass bei falscher Bedienung seitens des Tfzf automatisch eine Zwangsbremmung eingeleitet wird was zur Folge hat, dass das Tfz abrupt abbremst und abgeschaltet wird. Bedient wird dieses Sicherheitssystem durch eine Hand- oder Fußbetätigung des Tfzf, je nach Modell entweder alle 30 Sekunden bzw. alle 900 Meter. Der Tfzf wird durch ein akustisches Signal auf die Betätigung der Sifa hingewiesen. Geschieht dies nicht unmittelbar danach, so wird vom System automatisch eine Schnellbremsung eingeleitet. (Uni-Stuttgart)

Die Sicherheitsfahrschaltung ist das am häufigsten eingesetzte System in Österreich. Es erweist sich grundsätzlich als sehr hilfreich, jedoch entsteht durch immer während gleiche Intervalle bei Tfzf teilweise ein Automatismus hinsichtlich der Betätigung. Aufgrund dessen kann mit diesem technischen System zwar überprüft werden, ob sich der Tfzf als körperlich tauglich im Führerstand befindet, und nicht etwa in Ohnmacht oder eine andere gesundheitliche Einschränkung hat, die ihn daran hindert seine Aufgabe auszuüben, andererseits kann jedoch dieser Automatismus der Betätigung nach einer gewissen Zeit im Unterbewusstsein stattfinden und somit eher kontraproduktiv fungieren.

5.2. Punktförmige Zugbeeinflussung (PZB)

Die punktförmige Zugbeeinflussung überwacht primär, ob seitens des Tfzf Vorsignale, Hauptsignale und Nachsignale, die durch gelbe Lichtzeichenanlagen gesteuert sind sowie bestimmte Geschwindigkeitsbeschränkungen, eingehalten werden. Hierzu werden an bestimmte Streckenpunkten Signale an das Fahrzeug übertragen. Gibt es seitens des Tfzf nicht die dementsprechende Handlung auf

eines dieser Signale, so wird automatisch eine Unterbrechung der Antriebsleistung bewirkt, was mit einer Zwangsbremmung des Tzf gleich zu setzen ist. Auch bei der PZB ist es verpflichtend, dass sie während der gesamten Fahrt auf Haupt- und Nebenfahrten aktiviert ist. Zum Einsatz kommen PZB Ausrüstungen bei folgenden Signalen:

- Schutzsignalen
- Vorsignalen
- Hauptsignalen
- streckenbedingten Geschwindigkeitsbeschränkungen

Die PZB besteht aus speziellen Einrichtungen die einerseits an den Tzf montiert sind und zum anderen auch auf den Gleiskörpern fix angebracht worden sind. Hierbei handelt es sich um elektrische Schwingkreise (im Folgenden als Magnet bezeichnet) die eine Resonanzfrequenz von 500HZ, 1000HZ oder 2000HZ erreichen können. (Pachl, 2018, Kap.3.4.1).

Die Wirkungsweise der Magneten ist je nach Frequenz unterschiedlich. 500Hz Magneten befinden sich hauptsächlich in einem Abstand von ungefähr 250 Metern vor einem Hauptsignal und dienen dazu, die örtlich vorgeschriebene Geschwindigkeit zu kontrollieren. 1000HZ Magneten wiederum befinden sich direkt an Vorsignalen und sind einer Wachsamkeitsprüfung des Tzf gleichzusetzen. Überfährt das Tzf einen solchen Magneten so hat der Tzf vier Sekunden Zeit um eine Wachsamkeitstaste zu bedienen. Geschieht dies nicht innerhalb der vorgeschriebenen Zeit, so löst die PZB automatisch eine Zwangsbremmung aus. Des Weiteren wird nach passieren eines 1000HZ Magneten automatisch eine zeitabhängige Geschwindigkeitskontrolle aktiviert. (Uni-Stuttgart)

Die nachfolgende Tabelle 2 soll einen ungefähren Überblick über die jeweiligen einzuhaltenden Geschwindigkeiten abhängig von der Art des Tzf und maximal zulässiger Geschwindigkeitsprüfung durch die Magneten darlegen.

Tabelle 2: Geschwindigkeitsüberprüfung nach Tzf Art und Magnet (Universität Stuttgart)

Tzf Art	Zeitspanne der Überprüfung (1000HZ)	Max. erl. Geschwindigkeit der zeitabhängigen Geschwindigkeitsüberprüfung (1000HZ)	Max. erl. Geschwindigkeit der Geschwindigkeitsüberprüfung (500HZ)
Schnellzug	20 Sekunden	95km/h	65km/h
Personenzug	26 Sekunden	75km/h	50km/h
Güterzug	34 Sekunden	65km/h	40km/h

Werden die Wachsamkeits- und Geschwindigkeitsüberprüfungen wie in Tabelle 2 dargelegt nicht eingehalten, so wird seitens der PZB eine automatische

Zwangsbremmung ausgelöst, was zur Folge hat, dass das Tzf innerhalb von 200 Metern hinter dem entsprechenden Signal zum Stehen kommen sollte. Die PZB ist für eine Geschwindigkeit von maximal 160km/h bei Zügen vorgesehen.

Kritisch ist hinsichtlich der PZB anzumerken, dass diese nur einwandfrei aktiv eingreifen kann, sofern sich der richtige Magnet auch an der richtigen Stelle befindet. Sollte ein Tzf einen Magneten passiert haben und somit nicht mehr unmittelbar von ihm beeinflusst werden, kann ein Signal jedoch trotzdem auf „Halt“ stehen, ist es nach wie vor möglich, dass der Tzf eine Beschleunigung einleitet. Bis zum nächsten Kontrollpunkt, der wieder ins System eingreifen und gegebenenfalls wieder eine Schnellbremsung auslösen kann, bringt eine neuerlich potentielle Gefahr mit sich, da das in Bewegung befindliche Fahrzeug einen erneuten Weg zurückzulegen hat. Unter Umständen könnte dies jedoch zu einer Flankenfahrt oder Kollision mit einem entgegenkommenden Fahrzeug führen.

Für automatisierte Fahrten wäre eine PZB als nicht geeignet zu betrachten, da sie bei einer Annäherung an ein „Halt“ zeigendes Signal, je nach Fahrtstellung, nicht auf das Fahrzeug übertragen wird, sondern lediglich vom Tzf bestätigt werden muss. Dementsprechend wird nur ein bedingter Schutz durch die PZB erreicht. (Pachl, 2018, Kap. 3.4.1)

5.3. Linienzugbeeinflussung (LZB)

Im Gegensatz zur PZB wird mit Hilfe der Linienzugbeeinflussung ein technisches System verwendet, dass auch höhere Geschwindigkeiten überwachen kann. Da sich bei Geschwindigkeiten von über 160km/h auch die Zeitspanne zwischen den einzelnen Signalen verändert, reicht eine herkömmliche Zugbeeinflussungsüberwachung nicht mehr aus. Bei der LZB gibt es im Unterschied zur PZB keine örtlichen Signalisierungen die Einfluss auf Geschwindigkeit und Fahrverhalten des Tzf nehmen. Züge mit dieser Art der Zugbeeinflussung werden durch festgelegte Geschwindigkeiten der LZB überwacht. Das Fahrverhalten wie auch das Bremsverhalten richtet sich nach der Führerstandsignalisierung und jeweils vordefinierten Verkehrszeiten die im Buchfahrplan vorab festgelegt worden ist. Somit wird eine automatische Bremswegüberwachung durch einen kontinuierlichen Austausch von Informationen zwischen den fahrenden Tzf und den Steuerstellen gewährleistet. Diese Steuerstellen haben jederzeit die Möglichkeit den aktuellen Ort sowie die aktuelle Geschwindigkeit der Tzf im jeweiligen Bereich zu überwachen. Der Zugbetrieb wird durch „Sollwerte“ für die Geschwindigkeit gesteuert. Diese werden im Führerstand des Tzf optisch angezeigt und können direkt auf Steuerung des Fahrzeuges wirken. Seitens des Tzf können diese Vorgaben nicht beeinflusst werden (Uni Stuttgart).

5.4. European Train Control System (ETCS)

Da es aufgrund der Vielzahl an unterschiedlichen Zugsicherungsarten innerhalb der Europäischen Union zu Problemen im grenzüberschreitenden Verkehr gekommen ist, wurde seitens der European Railway Agency (ERA) das System ETCS eingeführt um einen interoperablen und effizienten grenzüberschreitenden Bahnverkehr innerhalb der Europäischen Union zu ermöglichen. Hierfür wurde das Zugsicherungssystem ETCS, das Zugfunksystem (GSM-R) sowie einheitliche Regelwerke (technische Spezifikation für Interoperabilität) entwickelt. Gemeinsam bilden diese Standards das European Rail Traffic Management System (ERTMS).

Das Zugsicherungssystem ETCS überwacht primär die örtlich erlaubte Höchstgeschwindigkeit, die zulässige Höchstgeschwindigkeit des Tfz, die korrekte Fahrtstrecke, die korrekte Fahrtrichtung sowie die jeweilige Eignung des Zuges für die Strecke. Hierbei gibt es unterschiedliche Ausrüstungsstandards die es erlauben eine individuelle Streckenausrüstung für den jeweiligen betrieblichen Bedarf zu verwenden. Unterschieden werden diese drei Standards¹ durch die Art der Datenübertragung von Streckeninformationen zum Tfz. Bei einer Nichteinhaltung der vorgegebenen Geschwindigkeiten oder bei unerlaubten Überfahrungen von Signalen wird durch das Zugsicherungssystem ETCS ähnlich wie bei den bereits oben erwähnten Systemen Sifa, PZB und LZB eine Zwangsbremmung automatisch eingeleitet.

Das ETCS System benutzt im Unterschied zu anderen Sicherungssystemen eine eigene Sprache um den Datenaustausch zwischen Strecke und Tfz.

Zur Verarbeitung dieser Informationen, werden neben der GSM-R auch die Systeme Eurobalise und Euroloop verwendet. Die Eurobalise ist grundsätzlich ein System, das mit Hilfe eines Transponders ausgestattet ist und für eine punktförmige Übertragung von Signaldaten, die sowohl abhängig als auch unabhängig sein können, verwendet wird.

Abhängig von der jeweiligen betrieblichen Erfordernis kann das ETCS System in unterschiedlichen Ausrüstungsstufen, auch Level genannt, installiert werden (Pachl, 2018, Kap.3.4.4.2)

5.4.1. ETCS Level 1

Wie in Abbildung 2 ersichtlich gibt es im ETCS Level 1 eine Datenübertragung zwischen Tfz und Signal mit Hilfe einer Eurobalise, die den jeweiligen Signalzustand zwischen der Signalsteuerung am Stellwerk (Zentrale) und der Eurocab, im Tfz, herstellt.

¹ Level 1, Level 2, Level 3

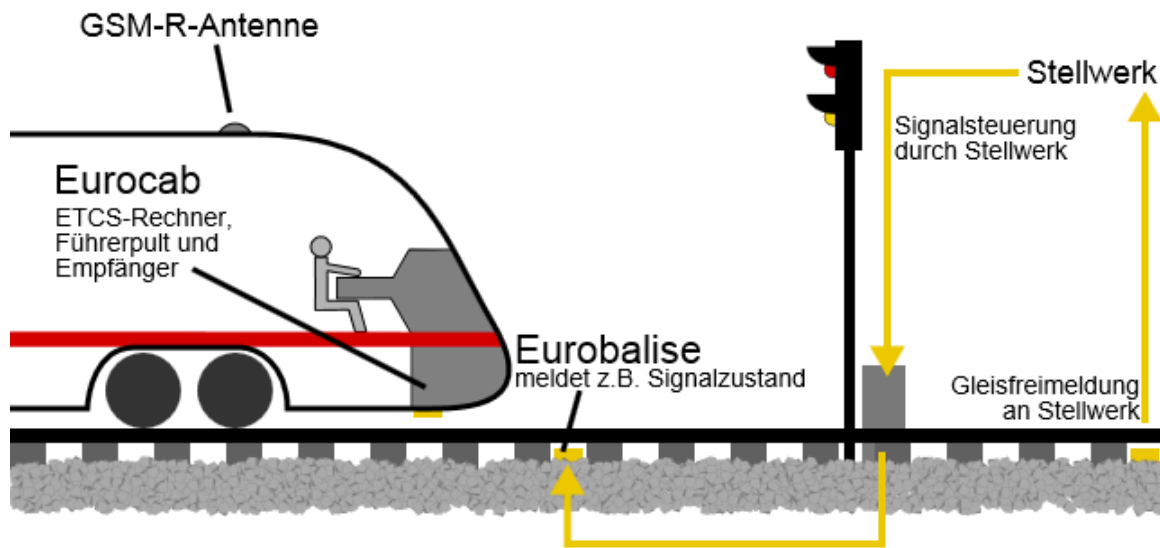


Abbildung 2: ETCS Level 1 (Deutsche Bahn 2014)

Hierbei wird vom System ETCS die Rolle einer interoperablen Punktförmigen Zugbeeinflussung übernommen. Dies geschieht unabhängig von der ortsfesten Signalgebung.

Im Normalfall befinden sich nur an den Standorten der Vor- und Hauptsignalen die spezifischen Balisengruppen. Dies hat zum Vorteil, dass im Level 1 alle Daten, die zur Führung des Zuges notwendig sind, übertragen werden. In diesem Punkt unterscheidet sich dieses System wesentlich von der Alternative, der Punktförmigen Zugbeeinflussung, dadurch, dass eine vollständig überwachte Zugführung möglich ist. Durch die Installation des Systems wird eine Signalführung de facto überflüssig und dient rein der Kontrollfunktion für den Tzf. Der Triebfahrzeugführer wird mit Hilfe dieses System von seiner eigentlichen Tätigkeit entlastet, da sowohl eine Wachsamkeitsprüfung (Sifa) als auch die Befreiungsmöglichkeit der PZB als obsolet betrachtet werden können (Pachl. 2018, Kap.3.4.4.2).

5.4.2. ETCS Level 2

Die Datenübertragung zwischen Tzf und Stellwerk (Zentrale) funktioniert durch das Zugfunksystem GSM-R wie in Abbildung 3 ersichtlich. Hierdurch wird eine fehlerlose und ständige Datenübertragung zwischen den Eurobasile, mit Hilfe des RBC Systems, gewährleistet.

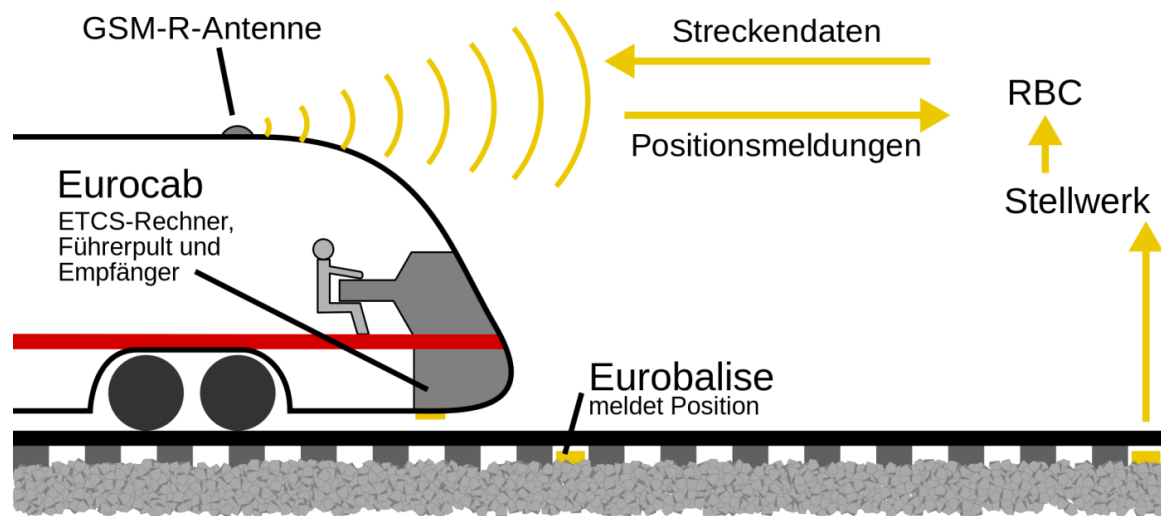


Abbildung 3: ETCS Level 2 (Deutsche Bahn 2014)

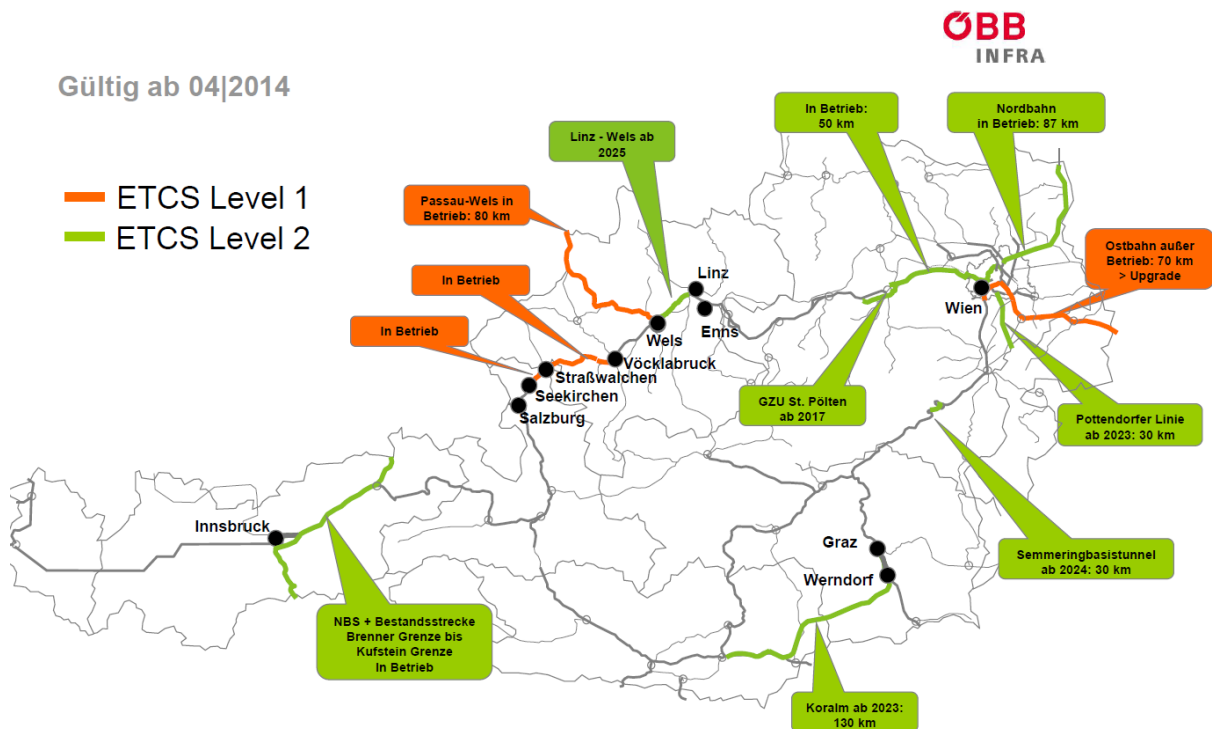
Das RBC ist durch sogenannte Schnittstellen der Stellwerkstechnik verbunden und erstellt aus den vorgegebenen Fahrstraßen sowie aus den vorgelegten Blockabschnitten die Führungsgröße die mit dem GSM-R System des Tzf kommuniziert. Die Fahrzeugortung erfolgt über die Eurobasilen, die als Ortsmarken dienen. Wird auf ortsfeste Signale verzichtet, so werden vor den definierten Gefahrenzonen (zum Beispiel Bahnhöfe), ETCS Haltetafeln platziert, da diese für nicht ETCS geführte Züge einen Haltebefehl bestimmen (Pachl, 2018, Kap.3.4.4.2).

5.4.3. ETCS Level 3

Die Datenübertragung erfolgt wie bei ETCS Level 2 über den GSM-R. Zusätzlich wird durch Level 3 eine Zugvollständigkeitserkennung vom Tzf sichergestellt. Dies ermöglicht, dass die Tzf abhängig von ihrer Bremsleistung immer im idealen Abstand in Bezug auf die Bremsweglänge vorausfahrende Züge gesteuert werden können. Dies ermöglicht die Kapazität der jeweiligen Zugstrecke zu optimieren. Mit Hilfe des Level 3 wird nicht nur eine Zugbeeinflussung, sondern auch eine Folgezugsicherung, erreicht. Durch das installierte RBC System ersetzt dadurch auch die Streckenblocksysteme. Die jeweilige Ortung der Tzf erfolgt analog zu jener des Level 2.

Level 3 ist derzeit technisch jedoch noch nicht umgesetzt da seitens der Industrie die dafür notwendigen Standards noch nicht realisiert wurden.

In der nachfolgenden Abbildung 4 wird die Umsetzung der ETCS Level in Österreich dargelegt.



Es zeigt sich, dass der Betrieb mit ETCS Sicherheitssystemen vor allem auf der Donauachse (ca. 335km), der Brennerachse (148km) und der Pontebbanachse (277km) in Österreich umgesetzt wurde bzw. sich derzeit in einer Umsetzungsphase befindet. Derzeit wird parallel mit einer PZB und Signalausrüstung als eventuelle Rückfallebene bei Störungen oder Problemen mit dem ETCS Systemen auf den Strecken gefahren (ÖBB Infra).

Wie aus Abbildung 4 weiters ersichtlich, wird die Strecke des Brennerbasistunnels, bei Fertigstellung, auch im ETCS Level 2 Betrieb ausgerüstet werden.

Hinsichtlich der Wirkungsweise erscheint das ETCS System als das derzeit Sicherste im Eisenbahnsystem. Jedoch muss an dieser Stelle angemerkt werden, dass etwaige Langzeitstudien noch nicht verfügbar sind.

Um eine Technologie, in den unterschiedlichsten Situationen, effizient und effektiv zum Einsatz zu bringen, ist es notwendig, dass diejenige Person, die es verwendet, versteht wie das System arbeitet.

Das physische Design (Interface bzw. Positionierung) einer Technologie spielt eine bedeutende Rolle in der Frage wie einfach es zu verwenden ist. Auch wenn

es noch so einfach designt wurde, kann es in Zusammenhang mit der Positionierung von anderen Elementen, in der Fahrzeugkabine eines Zuges, zu Problemen führen. Da es dort jedoch einen relativ geringen verwendbaren Raum gibt, kann es vorkommen, dass die Installation eines technologischen Systems nicht ideal angebracht wird. Sollte sich der Bedienschalter eines Systems beispielsweise nicht im unmittelbaren Handlungsbereich eines Tfzf befinden, so kann dieser womöglich nicht binnen Bruchteilen betätigt werden, was in weiterer Folge eine wertvolle Zeitressource im Notfall darstellen kann.

Ziel des ETCS Systems sollte es sein, innerhalb der Europäischen Union ein einheitliches System zu etablieren um die Sicherheit im Eisenbahnsystem über die Ländergrenzen hinweg allgemein auf ein hohes Niveau zu heben. Wie aus Abbildung 5 ersichtlich, gibt es derzeit eine Vielzahl an unterschiedlichen Systemen die in Europa zum Einsatz kommen.

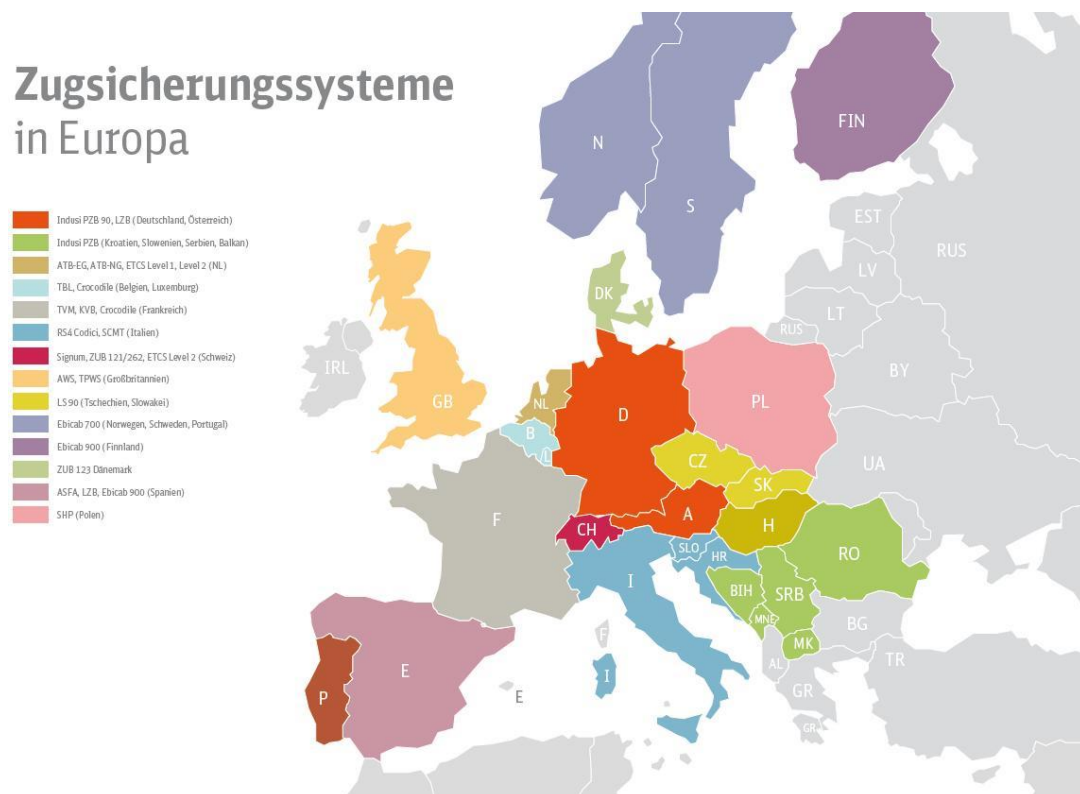


Abbildung 5: Übersicht Zugsicherungssysteme in Europa (Deutsche Bahn 2014)

6 Rechtliche Aspekte des Eisenbahnsystems

Auf einem Nationalen Level gilt in der Republik Österreich das Eisenbahngesetz (EisbG), BGBl. Nr. 60/1957 zuletzt geändert durch BGBl. Nr. 137/2015, welches im Sinne der europäischen Richtlinie 2004/49/EG vom 29. April 2004, Abl. Nr. L164 vom 30. April 2004 „Richtlinie über die Eisenbahnsicherheit in der Gemeinschaft“ in der geltenden Fassung angepasst wurde. Dieses Gesetz beinhaltet in drei Teilen die Begriffsbestimmungen, die Zuständigkeit und die Aufgabe der Eisenbahnbehörde sowie die für den Bau und den Betrieb von Eisenbahnen, Schienenfahrzeugen und den Verkehr auf Eisenbahnen rechtlichen Rahmen. Im Zuge der vorliegenden Arbeit soll der Fokus neben den einzelnen Definitionen jedoch vor allem auf den Aspekten betreffend die Sicherheit liegen.

Gemäß §1 EisbG 1957 werden Eisenbahnen zum einen unterteilt als Öffentliche Eisenbahnen im Sinne von Hauptbahnen, Nebenbahnen und Straßenbahnen. Öffentliche Eisenbahnen dienen dem allgemeinen Personen-, Reisegepäck- und Güterverkehr und dem öffentlichen Verkehr (EisbG 1957, §2) und zum anderen als nicht öffentliche Eisenbahnen (Materialbahnen, Anschlussbahnen).

Die Sicherheitsziele die von der Europäischen Kommission erlassen wurden beinhalten folgende drei Sicherheitsniveaus die erreicht werden müssen.

- für den Bau und Betrieb von Haupt- und vernetzten Nebenbahnen.
- für den Betrieb von Schienenfahrzeugen auf solchen Eisenbahnen.
- für den Verkehr auf solchen Eisenbahnen.

Der Stand der Technik, der hierfür vorgeschrieben ist, ist gemäß §9b EisbG:

„[...] der auf den einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende Entwicklungsstand fortschrittlicher technologischer Verfahren, Einrichtungen, Bau- und Betriebsweisen, deren Funktionstüchtigkeit erwiesen und erprobt ist. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen, Bau- oder Betriebsweisen heranzuziehen und die Verhältnismäßigkeit zwischen dem Aufwand für die nach der vorgesehenen Betriebsform erforderlichen technischen Maßnahmen und dem dadurch bewirkten Nutzen für die jeweils zu schützenden Interessen zu berücksichtigen.“ (EisbG 1957, §9b.).

Der hinsichtlich der Sicherheitsfaktoren relevante Teil innerhalb des Eisenbahngesetzes von 1975 findet sich im 2. Hauptstück zum Thema Interoperabilität des Eisenbahnsystems. Der Zweck dieser Bestimmung ist eine Sicherstellung der Interoperabilität der vom Gesetzteil betroffenen Eisenbahnen und Schienenfahrzeuge (EisbG 1975, §87). Als Interoperabilität wird hierbei die Eignung eines Eisenbahnsystems für den sicheren und durchgehenden

Zugverkehrs der die erforderlichen Leistungskennwerte aufweist bezeichnet (EisbG 1957, §88).

Die hierzu gehörigen technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) werden wie folgt definiert:

„[...] versteht man die Spezifikationen, die für jedes Teilsystem oder Teile davon in Hinblick auf die Erfüllung der grundlegenden Anforderungen gelten und die die Interoperabilität des Eisenbahnsystems gewährleisten“ (EisbG 1957, §89).

Hierbei gibt es einen Verweis in Bezug auf die grundlegenden Anforderungen zum Anhang III der Richtlinie 2008/57/EG die besagt, dass es Allgemeine Anforderungen und Besondere Anforderungen hinsichtlich der Interoperabilität gibt. Diese beiden werden wie in den folgenden Kapiteln auszugsweise für das Thema der vorliegenden Arbeit dargelegt:

6.1. Allgemeine Anforderungen

6.1.1. Sicherheit

Sowohl die Planung als auch der Bau und die Herstellung aber auch die Instandhaltung und die Überwachung der sicherheitsrelevanten Bauteile müssen die Sicherheit auch unter bestimmten Grenzbedingungen auf dem für das jeweilige Netz festgelegtem Niveau halten. Weiters müssen die spezifischen Kennwerte für das Rad-Schiene-System die Kriterien der Laufstabilität erfüllen um zu gewährleisten, dass bei den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten eine sichere Fahrt möglich ist und ein Anhalten innerhalb des festgelegten Bremsweges durchgeführt werden kann. Die verwendeten Bauteile müssen während ihrer gesamten Betriebsdauer sowohl den gewöhnlichen als auch den Grenzbeanspruchungen standhalten. Es ist sicherzustellen, dass durch ein geeignetes Mittel die Sicherheitsauswirkungen eines unvorhergesehenen Versagens in Grenzen gehalten werden. Dies betrifft auch eine etwaige Brandentwicklung. Die Sicherheitsbetätigungen für die Fahrgäste müssen so konzipiert sein, dass es bei einer eventuellen Verwendung die Gesundheit und Sicherheit der Personen nicht beeinträchtigt wird. (Richtlinie 2008/57/EG)

6.1.2. Zuverlässigkeit und Betriebsbereitschaft

Die Planung, Durchführung und Häufigkeit der Überwachung und Instandhaltung der festen und beweglichen Teile, die Einfluss auf den Zugverkehr ausüben, müssen deren Funktionsfähigkeit stets gewährleisten. (Richtlinie 2008/57/EG)

6.1.3. Gesundheit

Es dürfen keine Werkstoffe verwendet werden, die einen Einfluss auf die Gesundheit von Personen haben(Richtlinie 2008/57/EG).

6.1.4. Umweltschutz

Mögliche Umweltauswirkungen des Baus und Betriebs eines Eisenbahnnetzes sind bei der Planung zu berücksichtigen. Dies betrifft auch die verwendeten Werkstoffe die in Zügen und Infrastruktureinrichtungen verwendet werden. Diese dürfen im Falle eines Brandes keine umweltschädliche oder gefährdende Rauch- und Gasentwicklung erzeugen. (Richtlinie 2004/49/EG)

6.1.5. Technische Kompatibilität

Die technischen Merkmale der Infrastrukturen und ortsfesten Anlagen müssen untereinander und in Kombination mit den Zügen kompatibel sein. (Richtlinie 2008/57/EG)

6.2. Besondere Anforderungen an jedes Teilsystem

6.2.1. Infrastrukturen

Es müssen Vorkehrungen geschaffen werden, die den Zugang zu Anlagen für unbefugte Personen verhindern und die Gefahren für Personen insbesondere bei der Durchfahrt von Zügen in Bahnhöfen in Grenzen halten. (Richtlinie 2008/57/EG)

6.2.2. Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung:

Die Anlagen und Verfahren der Zugsteuerung, der Zugsicherung und der Signalgebung müssen den Sicherheitsvorgaben entsprechen. Sie sollen den sicheren Verkehr von Zügen ermöglichen sofern eine Weiterfahrt unter Einschränkungen gestattet ist. Weiters ist vorgesehen, dass alle neu gebauten Tfz und neu gebauten Infrastruktureinrichtungen die nach der Festlegung kompatibler Zugsteuerungs-, Zugsicherungs- und Signalgebungssysteme gebaut oder entwickelt werden, sich für die Verwendung dieser eignen müssen. Der flüssige Betrieb des Eisenbahnsystems muss durch die installierten Einrichtungen gewährleistet werden. (Richtlinie 2008/57/EG)

6.2.3. Fahrzeuge:

Die Fahrzeuge müssen derartig gebaut sein, dass bei einem etwaigen Zwischenfall, sei dies durch eine Kollision oder eine Entgleisung, die Fahrgäste bestmöglich geschützt sind. Weiters dürfen elektrische Anlagen die Betriebssicherheit der Sicherheitssysteme nicht beeinträchtigen. Für Fahrgäste

muss eine Möglichkeit geschaffen werden um bei einer etwaigen Gefahr dem Tzf eine Meldung geben zu können. Für sicherheitstechnische Bedingungen in Tunneln sind geeignete Maßnahmen zu treffen.

Die technische Kompatibilität schreibt eine elektrische Ausrüstung vor, die mit dem Betrieb von Sicherheitssysteme kompatibel sein muss. Zur Nachvollziehbarkeit von etwaigen Ereignissen, muss jedes Tzf mit Geräten ausgestattet sein, die es erlauben die Daten auslesen zu können (Anhang III Richtlinie 2008/57/EG).

Durch diese oben genannten Anforderungen wird recht deutlich ersichtlich, dass ein bestreben seitens der Europäischen Union und seitens der nationalen Behörden besteht, die Sicherheit des Bahnverkehrs innerhalb der Mitgliedstaaten durch eine Standardisierung zu erhöhen. Die jeweilige Einhaltung dieser Vorgaben für die Infrastrukturbetreiber wird derzeit seitens der nationalen Behörden regelmäßig überprüft und kontrolliert. Zum Einsatz auf dem Eisenbahnsystem dürfen nur von den oben genannten Stellen, zertifizierte Technologien und Materialien verwendet werden.

Unabhängig von diesen Vorschriften für die Interoperabilität gibt es von Seiten der European Railway Agency durch die Europäischen Richtlinie 378 eigens eingerichtete unabhängige Stellen für die Aufarbeitung von Unfällen mit dem Ziel, weder Schuld noch Haftung zu klären, sondern mit der Aufgabe, Strategien zu entwickeln um künftig das System Eisenbahn sicherer zu machen.

7 Human Factors

Bevor der Begriff der „human factors“ an dieser Stelle explizit dargelegt wird, bedarf es der grundsätzlichen Frage, was Fehler überhaupt sind?

J. Reason (2013) definiert den Begriff des Fehlers wie folgt:

„It is generally accepted that errors entail some kind of deviation of human performance from an intended.“ (zit. Reason, 2013, S.7).

Solche abweichenden Handlungen des Menschen haben zwar negative Auswirkungen, diese können jedoch inkonsequent beziehungsweise aber auch einen gutartigen Charakter aufweisen. Primär sind Fehler nach Reason, von Natur aus nicht immer als schlecht zu bezeichnen, obwohl ihre Folgen sowie die dadurch entstandenen Bedingungen häufig eher unerwünscht sind. Es sind im Wesentlichen nicht die psychologischen Prozesse, die das Ereignis beeinflussen, sondern vielmehr die Umstände ihres Auftretens, die die Folgen eines Fehlers definieren. Die meisten menschlichen Handlungen laufen nach einem korrekten Muster ab, das drei Grundelemente beinhaltet:

- Pläne
- Aktionen
- Konsequenzen

Diese Elemente sind nach Reason (2013) der wesentliche Ausgangspunkt für eine Konstruktion der Definition von Fehlern. In einem weitesten Sinne könnte die Behauptung aufgestellt werden, dass Handlungen fehlerhaft sind, wenn das Ziel eines Plans nicht erreicht werden kann. Zum einen ist die physische Fähigkeit, Pläne in die Tat umsetzen zu wollen, begrenzt und zum anderen verfügt der Mensch nur über eine begrenzte geistige Kapazität zur Durchführung von Plänen. Der Begriff Fehler wird hierbei auf alle Anlässe angewendet, bei denen eine geplante Abfolge von geistigen oder körperlichen Aktivitäten nicht das gewünschte Ziel, ohne dass eine zufällige Handlung eingreift, erreicht (Reason, 2013, S. 10).

Steigt die Komplexität eines Systems, so sind auch die Fehler weitaus schwieriger zu erkennen. Im Falle von nicht geplanten Aktionen, gibt es eine bewusste Aufzeichnung von dem, was grundsätzlich beabsichtigt war und dies kann in weiterer Folge zu einer Diskrepanz führen. Jedoch ist es nicht immer offensichtlich, welcher Plan zur Zielerreichung der Ideale gewesen wäre. Fehler können grundsätzlich lange unentdeckt bleiben und müssen nicht immer gravierende Auswirkungen haben (Reason, 2013, S.12).

Die Betrachtung von Human Faktoren wurde erstmals im November 1975 bei der 20th Technical Conference der IATA² in Istanbul berücksichtigt. Hinsichtlich der aktuellen Bedeutung des Themas, kann dieser Prozess als Meilenstein in der Geschichte der Forschung dieses Themas betrachtet werden. Die zwei bedeutenden Botschaften, die auf dieser Konferenz im Mittelpunkt standen waren zum einen, dass etwas in Bezug auf die Rolle und die Leistung des Menschen in Bezug auf die zivile Luftfahrt nicht in Ordnung war und zum anderen, dass der grundlegende menschliche Faktor aus vielen Bildungslücken bestand. Diese beiden Aussagen forderten im Zuge der weiteren Forschung jedoch einen dringenden Handlungsbedarf.

Grundsätzlich kann also die These aufgestellt werden, dass die „human factors“ Forschung eine interdisziplinäre Wissenschaft darstellt, die die Rolle des Menschen in komplexen Systemen als Hauptobjekt im Fokus hat. Verkehrsunfälle aber auch Störfälle in Kraftwerken, sind gemäß Sidney Dekker (2014) zu 70 Prozent auf „human factors“ zurückzuführen (Dekker, 2014, Kap1). Wie in Abbildung 6 ersichtlich, ist der Forschungsgegenstand der „human factors“ Forschung interdisziplinär und umfasst rechtliche, sozialwissenschaftliche und technische Fachdisziplinen.

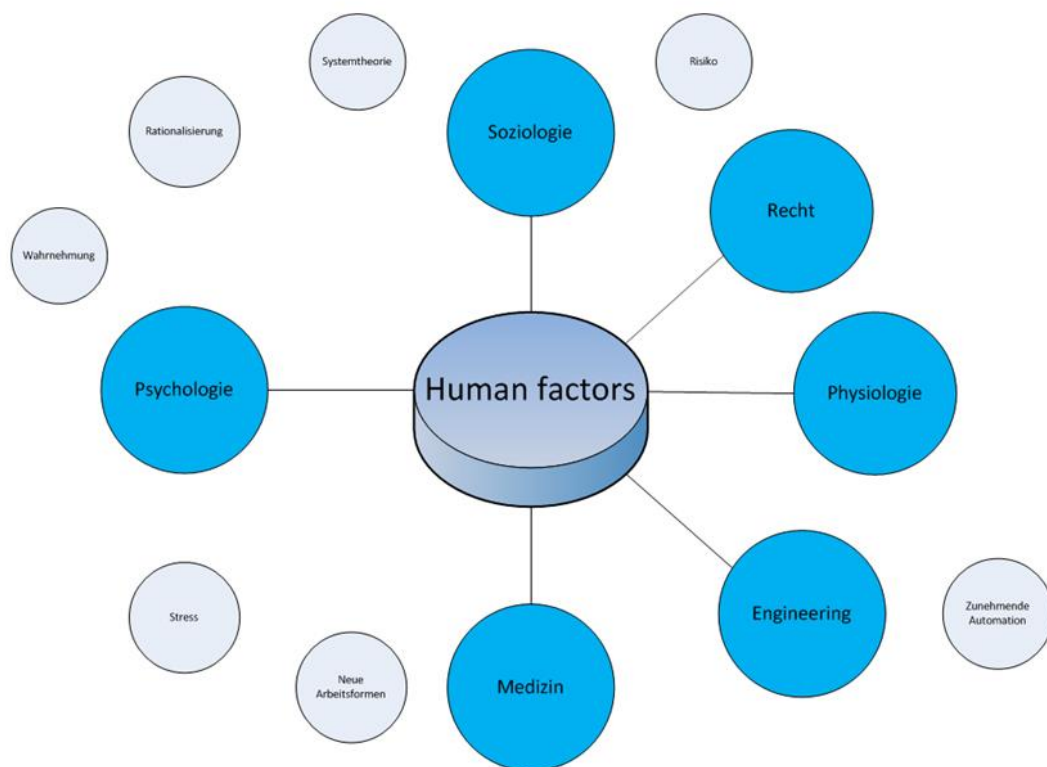


Abbildung 6: Gesamtübersicht Human Factors (eigene Darstellung)

² International Air Transport Association

Einer der bedeutendsten Vertreter der „human factor“ Forschung ist H. Hawkins dessen Definition wie folgt lautet:

„Human factors is about people. It is about people in their working and living environments. It is about their relationships with machines and equipment, with procedures and with the environment about them. And it is also about their relationship with other people.“(zit. Hawkins, 1987, S.20).

Um den Umfang der Faktoren, die einen Einfluss auf den Faktor Mensch ausüben, zu bestimmen, wurde von Hawkins ein einfaches Modell konstruiert, welches in weiterer Folge als SHELL Konzept bezeichnet wird. Die vier Buchstaben, stehen hierbei für die Bereiche Software, Hardware, Environment und Liveware. Alle Bereiche haben einen gegenseitigen und wechselseitigen Einfluss auf das zentrale System Liveware (vgl. Abb 7).

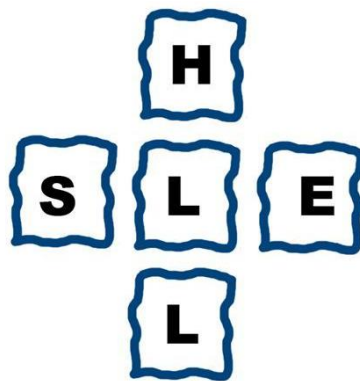


Abbildung 7: Komponenten des SHELL Modells (Hawkins, 1987)

Nachfolgenden werden die einzelnen Verbindungen, wie aus Abbildung 7 ersichtlich, theoretisch und anhand von Beispielen dargelegt.

7.1. S-H-E-L-L Model zur Analyse von Unfälle

Um Unfälle analysieren zu können gibt es grundsätzlich zwei unterschiedliche Systeme. Zum einen HFACS-Modell nach Wiegmann und Shappel³ und zum anderen das SHELL Modell nach Hawkins 1987. Da sich innerhalb der ICAO jedoch das Modell von Hawkins etabliert hat, wird im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit dieses herangezogen. Es dient im Wesentlichen dazu, das Zusammenwirken von Menschen und technischen Systemen innerhalb eines bestimmten Arbeitsumfeldes zu analysieren. Grundsätzlich liegt dieses Analyse Modell für die Betrachtung von Flugunfällen zugrunde, jedoch wird in der vorliegenden Arbeit versucht einen Kontext der Analysemöglichkeiten auf den Bereich des Eisenbahnwesens herzustellen (Hawkins, 1987, S.34).

³ Human Factors Analysis and Classification System

Wie Anhand der Erläuterung des SHELL Modells dargelegt, ist es vor allem die Interaktion zwischen Liveware und Hardware, also zwischen Menschen und Maschinen, innerhalb derer es zu Fehlern im System kommen kann (Hawkins, 1987, S.37). Dementsprechend kann die Behauptung getroffen werden, dass Menschen Dinge:

- übersehen;
- missinterpretierten;
- übereilt falsche Entscheidungen treffen;
- Risiken falsch betrachten.

Innerhalb der „human factors“ Forschung geht es um Handlungen und das Entscheidungsverhalten von Menschen, Gruppen und Organisationen.

7.2. Liveware

Im Zentrum des Modelles steht hierbei nach Hawkins die Liveware, also der Mensch. Dieser Teil des Systems ist zum einen der wertvollste und zum anderen auch die flexibelste Komponente im gesamten System. Der Mensch benötigt um funktionieren zu können eine Vielzahl an Anforderungen wie beispielsweise Essen, Wasser und Sauerstoff. Ein Defizit aus einem dieser drei Komponenten kann einen Einfluss auf seine Leistungseigenschaften haben.

Der Mensch verfügt über ein großes System welches dazu dient, Information über ihn aus der ganzen Welt zu sammeln. Er hat dementsprechend Mittel und Möglichkeiten um Licht wahrzunehmen, zu hören, zu schmecken und um zu fühlen. All diese Informationen werden von ihm benötigt um auf externe Ereignisse reagieren und entsprechend handeln zu können. Während der Gefühlsapparat des Menschen sehr schnell reagieren kann, sind hingegen die Informationsverarbeitungsfähigkeiten eingeschränkt (Hawkins, 1987, S. 23).

So ergibt es relativ wenig Sinn, wenn ein Tzfz zum Beispiel Informationen vom Bildschirm bekommt ohne zu wissen, wie diese effektiv verarbeitet werden können. Einfache Anzeigen und Kontrollsysteme wurden erst durch einen Entwicklungsprozess, aufgrund von Erfahrungen von Fehlverhalten von Menschen, soweit vereinfacht wie sie heute sind. Dies ist ein omnipräsenter Entwicklungsprozess. Hierbei geht es darum, sowohl das Kurz- als auch Langzeitgedächtnis des Menschen miteinzubeziehen, jedoch auch andere Faktoren, wie Stress oder Motivation, nicht außer Acht zu lassen. Menschen, sind ähnlich wie Maschinen, dazu getrimmt, dass sie nur in einem relativ engen und kleinen Bereich von Umweltbedingungen wirksam funktionieren können. So könne etwa Temperatur, Luftdruck, Tageszeit, Geräusche usw. einen Einfluss auf dieses Funktionieren ausüben (Hawkins, 1987, S24).

Jedoch können auch psychische Beeinträchtigungen wie Klaustrophobie oder Flugangst bzw. langweilige, monotone Tätigkeiten diese Umweltverträglichkeit bei Menschen stören. All diese Bereiche zeigen deutlich auf, dass es eine Vielzahl von Einflussfaktoren auf den Menschen geben kann, jedoch ist jeder Mensch individuell zu betrachten und es lassen sich keine Verallgemeinerungen treffen. Die Liveware stellt wie bereits erwähnt, den sogenannten Hauptteil des SHELL Modells dar. Alle weiteren Komponenten müssen sich an diesen Punkt anpassen und verbinden.

7.3. Liveware-Software

Liveware verbunden mit Software ist laut Hawkins ein nicht physikalischer Aspekt des Systems, wie zum Beispiel Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Checklisten und Betriebsanweisungen. Hierbei kommt es oftmals zu Problemen wenn beispielsweise Checklisten entweder fehlerhaft oder nicht verwendet werden (Hawkins, 1987, S.18).

7.4. Liveware-Hardware

Die Verbindung zwischen Liveware und Hardware beschreibt Hawkins als eine Interaktion zwischen Menschen und Technik/Maschinen. Betrachtet am gewählten Thema wäre dies die Verbindung zwischen Tzfz und Tzf oder zwischen Verkehrsleitzentrale und Fahrdienstleiter. Innerhalb dieser Kategorie werden vor allem Bereiche wie das Design der technischen Systeme (ergonomische Sitzmöglichkeiten, adäquate Beinfreiheit) aber auch komplexere Probleme wie das Design von Cockpit Displays, Warnsystemen (z.B. Sifa) behandelt (Hawkins, 1987, S23f).

7.5. Liveware-Environment

Eine der ersten Verbindungen die im Zuge der Luftfahrt bemerkt worden sind, ist die Interaktion zwischen Liveware und Environment. Diese Verbindung bezieht sich primär auf eine Verbindung zwischen dem Menschen und seiner physikalischen Umwelt. Das bedeutet, dass vor allem jene Punkte betrachtet werden, die nicht direkt in der Kontrolle des Menschen liegen. Piloten wurden beispielsweise bereits vor langer Zeit mit Helmen ausgestattet, um Geräusche zu reduzieren, Brillen gegen den Wind oder Fluganzüge gegen die Kälte (Hawkins, 1987, S.24f). Es zeigt sich deutlich, dass hier externe Faktoren wie Lärm, Hitze, Umwelteinflüsse oder Blendungen von Bedeutung in der Ursachenforschung sind.

Einsatzbereich für diese Kategorie wären beispielsweise das Arbeitsklima, Wetter, politische Situation, die wirtschaftliche Lage und viele mehr.

Liveware-Liveware Der letzte Bereich, der für die Analyse von „human factors im Zusammenhang mit Unfallereignissen laut Hawkins relevant ist, ist die Verbindung zwischen Liveware und Liveware. Die zentrale These dieses Ansatzes ist, dass Menschen mit anderen Menschen interagieren. Hierzu gehören vor allem die Verbindung mit der Führungsetage, Teamwork und individuelle Interaktionen (Hawkins, 1987, S.27).

Im System Eisenbahn spielen unter anderem Triebfahrzeugführer, Fahrdienstleiter, Leitstelle, Disponenten, Wartungspersonal und Passagiere eine Rolle. Speziell in dieser Verbindung, jener zwischen Menschen und Menschen, wird recht deutlich ersichtlich, dass es sich hierbei vor allem um das Thema Kommunikation handelt.

Schlüsseltechnologien können einen Einfluss auf den Faktor Mensch nach Bearman in folgenden Fällen haben (Bearman, 2016, S. 461):

- Falsches Verständnis des Bedieners
- Designfehler oder falsche Positionierung der Technologie
- Falsche Informationsbereitstellung
- Ablenkung
- Abschwächung hinsichtlich der Bedeutung von Alarmen
- Falsche Handlungen auf Alarme
- Probleme bei Wechsel auf unterschiedliche Systeme

Alle diese erwähnten Punkte sollten primär hinsichtlich einer Evaluierung neuer Systeme berücksichtigt werden.

8 Kulturtheoretischer Ansatz

Eine weitere zentrale Frage, die an dieser Stelle abschließend zu stellen ist, wäre, ob mit Hilfe technischer Systeme gemacht werden sollte was damit möglich wäre und welchen Einfluss dies auf unsere Gesellschaft ausüben kann?

Eine Alternative, die zur systemtechnischen Unterstützung des Menschen im Eisenbahnsystem erwähnenswert ist, ist ein kulturtheoretischer Aspekt der Sicherheitskultur.

Grundsätzlich haben sich im Laufe der Zeit Disziplinen wie die Ethnographie, die Psychologie und auch die Soziologie mit dem Phänomen der Kultur befasst und aus ihrer jeweils spezifischen unterschiedlichen Sicht heraus den Begriff der Kultur im Allgemeinen interpretiert. In der Betriebswirtschaftslehre ist die Auseinandersetzung mit dem Begriff der Unternehmenskultur allerdings erst seit Mitte der 1970er Jahre des 20. Jahrhunderts, unter dem Begriff der „kulturvergleichenden Management Forschung“, entstanden und gewinnt seither auch zunehmend an Bedeutung. (Lattmann, 1990, S.4ff.)

Generell kann der Begriff der Kultur zwischen zwei Konzepten unterschieden werden. Zum einen als deskriptives Konzept - beruht auf empirisch beobachtbaren Artefakten materieller Art - und zum anderen als explikates, kulturelles Konzept. Das Augenmerk liegt hier auf internalisierten Verhaltensnormen, wie den Werten und Einstellungsmustern, die das Handeln in der Gemeinschaft beeinflussen. Der wesentliche Unterschied liegt hierbei lediglich im Schwerpunkt der jeweiligen Forschung. (Lattmann, 1990, S. 9)

Der Begriff der Unternehmenskultur kann deshalb auf unterschiedliche Arten dargestellt werden. Kultur im wissenschaftlichen Sinne hat nichts mit der Premiere in einer Staatsoper gemeinsam, sondern vielmehr mit Organisationen und deren Bedeutung. Kultur besteht aus ineinander greifenden Systemen mit auslegbaren Zeichen, welchen ein Deutungsrahmen für gesellschaftliche Ereignisse, Verhaltensweisen, Institutionen und Prozessen zu Grunde liegt. Die Organisation wird hierbei als ein geradliniges Muster von Kommunikationen und Verhaltensmustern verstanden (Simon, 2005, S.143ff.).

So bildet die Kultur, dass umfassende Deutungssystem, durch das die jeweiligen Verhaltensweisen mit Bedeutungen verknüpft werden. Die Kultur bedient sich also folgender Wirkung: Erstens bietet sie gewisse Unterscheidungskategorien für die Wahrnehmungshinweise, wie den speziellen Bereich der expliziten Frage nach dem wesentlichen Achtungsgrund. Zweitens bietet sie einen Deutungsrahmen für Zeichen und Symbole und deren jeweiliger Bedeutung. Eine dritte Wirkung der Kultur bezieht sich auf die Möglichkeit des Verhaltens, beinhaltend ihre Verbote und Gebote und als vierte Wirkung der Kultur

bezeichnet man die erhöhte Wahrscheinlichkeit bestimmter Verhaltensweisen und explizit derer Vorschriften (Simon, 2005, S.145.).

Wie speziell die Kultur in einem Unternehmen wirklich ist, zeigt im Wesentlichen erst der Unterschied zu anderen Unternehmen, da für Betriebe die eigene Unternehmenskultur in den meisten Fällen als selbstverständlich betrachtet wird. Im Grunde ist die Kultur in einem Unternehmen recht leicht zu zerstören, aber es stellt sich als schwierig dar, sie wieder etwas positiver zu machen und aus der Krise zu holen. Allerdings kann die Unterlassung des wahrscheinlich Schädlichen für ein Unternehmen, einen Leitfaden zur Orientierung erzeugen, wenn man Einfluss auf die wesentliche Unternehmenskultur haben möchte. Prinzipiell gibt es keine optimale Form von Kultur in Bezug auf ein Unternehmen, aber es gibt sogenannte dysfunktionale Muster die Probleme verursachen können. So können mit Hilfe von Beobachtungen, welche im Grunde genommen immer idealisieren und schematisieren, zwar bedeutsame Erkenntnis in Bezug auf die Unternehmenskultur gewonnen werden, aber es besteht dabei durchaus die Gefahr, dass Differenzierungen und relevante Einzelheiten verloren gehen (Simon, 2005, S.148).

Lebende System müssen, wie bereits erwähnt, um zu überleben, gegensätzliche Tendenzen ausbalancieren und diesbezüglich entstandene Widersprüche organisieren. Dabei bewahren sie die Identität durch die Veränderungen und setzen ihre Stabilität in Bewegung. Dabei entsteht die Frage, in wie weit der Wechsel und das Gleichgewicht zwischen Ordnung und Chaos innerhalb einer gewissen Dimension - zum Beispiel der Zeit - in einer Organisation strukturiert sind? Diese Frage bildet die wesentliche Leitlinie zur Beschreibung einer Unternehmenskultur. Jede Form von Organisation setzt sich grundsätzlich aus Kommunikationen zusammen. Dies bedeutet, dass man jeweils immer mindestens zwei Teilnehmer benötigt, um eine Kommunikation zu erstellen. Zum einen sind dies jene, die etwas mitteilen und zum anderen jene die etwas verstehen. Prinzipiell ist dies ein Empfänger-Sender-System. Durch die jeweilige Betrachtung des Einzelnen, kann man Verhalten bzw. Fehlverhalten eines gegebenen Prozesses analysieren.

Gesamtwirtschaftliche Rahmenbedingungen nehmen einen bedeutsamen Einfluss auf die Unternehmenskultur. Die unbestrittene Fragestellung lautet demnach: Ob betriebswirtschaftliche externe Faktoren, wie Umweltfaktoren das Verhalten des Menschen beeinflussen? Gesamtwirtschaftliche Rahmenbedingungen sind speziell in diesem Zusammenhang zum Beispiel die allgemeine wirtschaftliche Lage, der Einfluss des Staates als wirtschaftlicher Faktor und die jeweiligen spezifischen Faktoren bzgl. des Arbeitgebers. Beschreibende Merkmale für die allgemeine wirtschaftliche Lage wären unter anderem das Wohlstandsniveau, die Konjunktur, die Inflation aber auch die Arbeitslosenquote. Wiederum gelten für den Staat, als Wirtschaftsfaktor

Merkmale wie die Verschuldung, die Steuern, etwaige Privatisierungsvorgänge von Betrieben und Subventionen als wesentlich. Der Einfluss des Arbeitgebers beschränkt sich hingegen auf die Bereiche Arbeitszeit, Pensionsalter und Mitbestimmung im Unternehmen. All diese wirtschaftlichen Faktoren zeigen deutlich auf, dass das Umfeld eines Unternehmens von einer Vielzahl von Faktoren geprägt wird, und unterschiedliche Auswirkungen auf die Unternehmenskultur und somit auch auf den Menschen haben können.

Als Merkmale der Unternehmenskultur kann man aufzeigen, dass jedes einzelne Unternehmen seine individuelle Kultur innehat. Sei sie nun bewusst gestaltet oder auch ungeplant entstanden (Lattmann, 1990, S. 69).

Dies zeigt recht deutlich auf, dass es eventuell mit Hilfe eines Begriffes, wie jenem der Sicherheitskultur, wesentlich effizienter sein könnte, die Sicherheit im Eisenbahnsystem zu erhöhen. Das Bewusstsein und die Wahrnehmung des Menschen hin zu einem besseren Verständnis von Risiko könnte eines der zentralen Themen der Zukunft werden, sofern sich die Tendenz nicht in eine Richtung der Vollautomatisierung von Eisenbahnen richtet.

9 Eisenbahnunfälle

Im folgenden Kapitel werden die unterschiedlichen Aspekte, die Hinsichtlich einer Untersuchung von Eisenbahnunfällen relevant sind punktuell dargestellt. Zu Beginn wird kurz die Rolle der European Railway Agency erläutert sowie kurz auf die Sicherheitsuntersuchung eingegangen.

9.1. European Railway Agency

Die European Railway Agency (ERA) hat sich zur Aufgabe gemacht, dass Eisenbahnsystem für die Gesellschaft zu verbessern. Sie ist eine europäische Agentur mit dem Ziel, in technischer Hinsicht die Rechtsvorschriften der Europäischen Union umzusetzen und die Wettbewerbsposition des Eisenbahnsystems zu verbessern. Hierfür soll dadurch die Interoperabilität des Systems verbessert, ein gemeinsames europäisches Sicherheitskonzept erstellt und ein einheitlich hohes grenzüberschreitendes Sicherheitsniveau geschaffen werden. Künftig soll die ERA auch den Status einer Behörde bekommen um dadurch neue Aufgaben zur Erreichung ihrer Ziele übernehmen. So sollen künftig für Eisenbahnunternehmen EU weite Sicherheitsbescheinigungen ausgestellt und Fahrzeuggenehmigungen EU weit erstellt werden (ERA).

Die European Railway Agency bezeichnet das Eisenbahnsystem als soziotechnisches System und nimmt sich als Ziel, systematisch die „human factors“ in den europäischen Eisenbahnbetrieb miteinzubeziehen beziehungsweise diesen auch zu fördern.

9.2. Sicherheitsuntersuchungen

Das wesentliche Ziel einer Sicherheitsuntersuchung ist es, aufgrund von Unfalluntersuchungen, die jeweiligen Gründe und Ursachen von Unfällen und schweren Unfällen zu untersuchen. sowie hieraus Empfehlungen für die jeweiligen Unternehmen zu generieren, um zu vermeiden, dass künftig ähnlich gelagerte Unfälle passieren können. Die Organisationen die für diese Art der Untersuchungen zuständig sind, sind seitens der European Railway Agency durch die Richtlinie 2004/49/EG „Richtlinie über die Eisenbahnsicherheit“ hinsichtlich ihrer Befugnisse deutlich definiert. Die Europäische Union sieht weiters vor, dass jedes Mitgliedsland der Union, per Gesetz, über eine solche Untersuchungsstelle für den Bereich Eisenbahn verfügen muss. Diese Stellen müssen unabhängig und weisungsfrei ihre Arbeit durchführen können.

In der Republik Österreich wird diese Aufgabe durch die Sicherheitsuntersuchungsstelle des Bundes (SUB), eine nachgeordnete Dienststelle des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, erledigt. Innerhalb dieser Organisation werden weiters auch Untersuchungen im Bereich Zivilluftfahrt, Schifffahrt und Seilbahn durchgeführt. Die Ergebnisse

dieser Untersuchungen werden in anonymisierten Berichten veröffentlicht, mit dem Ziel, weder Schuld noch Haftungsfragen im Zuge ihrer Ergebnisse zu beurteilen. Im Bereich Eisenbahn werden alle Haupt-, Neben- und Anschlussbahnen sowie auch Untergrundbahnen bei Unfällen oder schweren Unfälle untersucht (UUG 2005). Die rechtliche Grundlage bildet das Unfalluntersuchungsgesetz 2005.

§2 des UUG sieht vor, dass eine unabhängige Sicherheitsuntersuchungsstelle für die Bereiche Schiene, Schifffahrt, Seilbahn und Zivilluftfahrt, die sowohl strukturell als auch organisatorisch unabhängig von allen Behörden und Parteien, allen öffentlichen und privaten Stellen, welche in einem Interessenskonflikt stehen könnten, eingerichtet werden muss.

Die Grundlage für die Entscheidung, ob und in welchem Umfang eine Sicherheitsuntersuchung seitens einer Untersuchungsstelle durchgeführt wird, bilden die rechtlichen Grundlagen, die entgegengenommene Meldung sowie die für die Entscheidungsfindung erforderlichen Zusatzinformationen, die seitens der Betreiber angefordert werden.

Meldungen werden auf Grundlage der Bestimmungen der Meldeverordnung unverzüglich, entweder fernmündlich oder schriftlich, übermittelt und müssen gegebenenfalls den Ort, den Zeitpunkt, der Unfallhergang sowie sofern abschätzbar die zu erwartenden folgen beinhalten (MeldeVo, 2006). Mit Hilfe dieser Verordnung kann sichergestellt werden, dass alle Vorfälle die sich Ereignen auch seitens der Untersuchungsstellen erfasst und wahrgenommen werden können.

9.2.1. Definitionen

Gemäß Unfalluntersuchungsgesetz §5 Abs.(2) wird als Unfall im Bereich Schiene jedes Ereignis als Unfall gewertet, dass „[...] *unerwünscht oder unbeabsichtigte plötzliche Ereignis oder besondere Verkettung derartiger Ereignisse, die schädliche Folgen habe...*“ (UUG, 2005, §5(2)).

Unfälle werden weiters in folgende Kategorien eingeteilt:

- Kollisionen
- Entgleisungen
- Unfälle auf Bahnübergängen
- Unfälle mit Personenschaden (von Schienenfahrzeugen verursacht)
- Brände und sonstige Unfälle

Als schwerer Unfall werden hierbei Ereignisse definiert, bei denen im Zuge einer Kollision oder Entgleisung mindestens eine Person getötet, mindestens fünf

Personen schwer verletzt oder ein Schaden an Infrastruktur, Fahrzeugen und/oder Umwelt von mehr als zwei Millionen Euro Gesamtschaden entstanden ist (UUG, 2005, §5(3)).

9.2.2. Ziel der Untersuchung

Unfälle sowie schwere Unfälle sind gemäß UUG(2005) § 9 untersuchungspflichtig und werden hinsichtlich einer möglichen Fehlerursache, die zum Ereignis geführt hat, untersucht. Hierbei werden sowohl technische als auch menschliche Aspekte analysiert. Die nachfolgende Tabelle 3 soll aufzeigen wie viele Untersuchungen innerhalb der letzten Jahre in Österreich, im Verhältnis zu den stattgefunden Gesamtunfällen, durchgeführt wurden (Parlament.gv.at).

Tabelle 3: Anzahl der Unfälle in Österreich von 2010-2016

Jahr	Unfälle mit Untersuchung	Unfälle gesamt
2010	26	958
2011	43	1012
2012	49	1002
2013	27	1060
2014	15	931
2015	15	1179
2016	7	1191

Betrachtet man die Tabelle 3 so ist ersichtlich, dass es eine leichte Tendenz zu einem Anstieg der Gesamtunfälle gibt, jedoch zeigt sich auch eine fallende Tendenz hinsichtlich der Schwere der Ereignisse im Vergleichszeitraum von 2010 bis 2016. Auf europäischer Ebene betrachtet ergibt sich für einen Beobachtungszeitraum von 2010 bis 2015 eine Anzahl an schweren Unfällen wie aus Tabelle 4 ersichtlich.

Tabelle 4: Signifikante Unfälle in Europa von 2010-2015 (Quelle: ERAIL)

Jahr	Signifikante Unfälle
2010	2292
2011	2224
2012	2069
2013	1980
2014	2076
2015	1808

Auch auf dieser Ebene lässt sich eine leicht fallende Tendenz erkennen.

Inwiefern die Anzahl der signifikanten Unfälle in Europa bzw. in Österreich sich auf „human factors“ unterscheiden lassen, kann aufgrund der vorliegenden Werte

nicht unterschieden werden. Hierzu wird im folgenden Kapitel eine deskriptive Auswertung der in Österreich stattgefundenen Unfälle vorgenommen (ERAIL).

Anhand der nachfolgenden Tabelle 5 soll dargestellt werden, welche Akteure und Rollen sich im Zuge der Analyse des Eisenbahnsystems in den jeweiligen Systemen erhoben werden konnten.

Tabelle 5: Stellenbeschreibungen nach Kategorie im Schienenverkehr(ERA, 2012)

Kategorie	Stellenbeschreibung
Train	Tfzf, Vorbereiter, Kontrolleure, Crew, Manager, Leiter, ERTMS
Energieversorgung	Elektriker, Pantografen
Signal	Disponent, Verschub, Supervisor, Zug Kontrolleur
Control	Routen Planer, Traffic Manager, Infrastruktur Manager, Kontrolleur
Bahnhof/ Haltestelle	Bahnhofsmanager, Stationsdisponent
Instandhaltung Infrastruktur	Schienen Arbeiter, Techniker, Supervisoren
Instandhaltung Fahrzeuge	Zugtechniker, Instandhaltungsfahrzeuge, Servicemitarbeiter, Inspektoren
Verschub	Mitarbeiter
Eisenbahnkreuzungen	Bediener

All diese dargelegten Akteure können innerhalb des Gesamtsystems Eisenbahn unmittelbar aufeinander einen Einfluss ausüben beziehungsweise sind diese für den Betrieb als notwendige Individuen relevant.

9.3. Unfälle in Österreich

Im Jahr 2016 kam es in Österreich zu insgesamt 51 veröffentlichten untersuchten Unfällen (Stand August 2018) die sich in die Kategorie schwere Unfälle, Kollision oder Entgleisung, einreihen lassen. Diese Unfälle wurden für die nachfolgende Auswertung herangezogen. Diese verteilen sich wie folgt auf die Kategorien Kollision und Entgleisung. Im Beobachtungszeitraum zwischen 2010 und 2017 gab es 26 Entgleisungen und 25 Kollisionen.

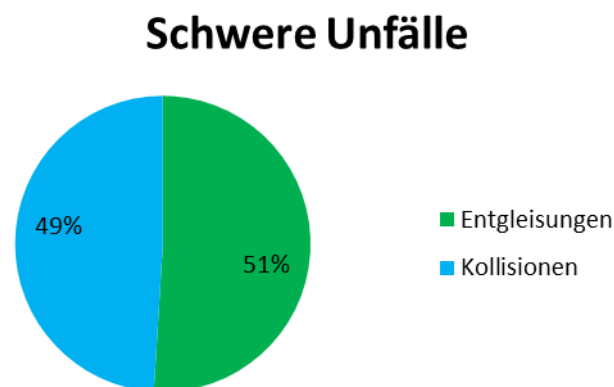


Abbildung 8: Verhältnis zwischen Entgleisungen und Kollisionen in Österreich (eigene Darstellung)

Wie in der nachfolgenden Tabelle 6 ersichtlich, gibt es eine Verteilung nach den SHELL Kategorien in Bezug auf schwere Unfälle, vor allem in Bezug auf die Liveware. Dies zeigt recht deutlich, dass es bei den ausgewählten Unfällen in Österreich, zwischen 2010 und 2016, oftmals menschliche Komponenten gab, die einen wesentlichen Einfluss auf die Ereignisse genommen haben.

Speziell die Hauptkategorie Liveware konnte in gesamt 32 Fällen als ein wesentlicher Faktor, der zum Ereignis geführt hat, betrachtet werden. Vor allem in Bezug auf die 22 „Findings“ bei Kollisionen lässt sich erklären, dass der Mensch oftmals im Zentrum des Systems steht. Wie bereits oben erläutert, benötigt die Komponenten Mensch viele Anforderungen um optimal funktionieren zu können. Die Rolle des Triebfahrzeugführers ist oftmals mit vielen zusätzlichen Aufgaben innerhalb des Systems betraut. All diese können einen nicht unerheblichen negativen Einfluss auf den Output des Tfzf haben. Die exakten Umstände um eine exaktere Darstellung des Systems Liveware zu gewinnen, konnte aus dem verwendeten Datenmaterial nicht gewonnen werden.

Tabelle 6: Häufigkeitsverteilung der SHELL Kategorien in Bezug auf schwere Unfälle

Shell Kategorien	Entgleisung	Kollision	Gesamt
Liveware	10	22	32
Software	2	0	2
Hardware	12	2	14
Environment	2	1	3
Liveware-Software	7	11	18
Liveware-Hardware	11	3	14
Liveware-Environment	4	9	13
Liveware-Liveware	1	2	3

Des Weiteren zeigt sich in Tabelle 6 recht eindeutig, dass es innerhalb des Systems vor allem zwischen dem technischen und dem sozialen System zu Vorfällen gekommen ist. Wird die SHELL Kategorien Liveware-Hardware betrachtet, also die Verbindung zwischen Menschen und der Technik, so konnte im verwendeten Datenmaterial 14-mal ein Bezug auf ein Problem innerhalb der Kommunikation zwischen Mensch und Maschine dargelegt werden.

Exemplarisch kann an dieser Stelle ein Fall angeführt werden, bei dem das Zugsicherungssystem PZB nach einer unerlaubten Signalüberfahung eine Schnellbremsung einleitete. Nach dem das Tfz zum Stillstand gekommen ist, dachte der Tfzf, dass es sich hierbei um eine Störung des Systems handelte, bestätigte die Wachsamkeitstaste und beschleunigte das Tfz wieder. Kurz darauf

kam es zu einer Kollision mit einem entgegenkommenden Zug. (SUB) Nach der Überprüfung der Variablen „Liveware“ und „Unfall“ gibt es einen signifikanten Zusammenhang zwischen diesen beiden Variablen ($\chi^2 = .000$; $p < 0,05$), d.h. es ist anzunehmen, dass ein Zusammenhang zwischen Liveware und Unfall besteht. Dieses Ergebnis zeigt auch geringe Korrelation zwischen den beiden Variablen ($r = ,512$ p -Wert $< 0,05$), was bedeutet, dass auch hier ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Variablen „Liveware“ und „Unfall“ besteht.

Auch die Verbindung zwischen der Liveware und der Software hat anhand der durchgeführten Analyse in 18 Fällen einen wesentlichen Einfluss auf das Ereignis ausgeübt. Bei genauerer Betrachtung der einzelnen Fälle zeigte sich, dass es hierbei vor allem aufgrund von Nichteinhaltungen von vorgegebenen Prozeduren und Checklisten zu Fehlern im Ablauf gekommen ist, was in weiterer Folge als verantwortlicher Fehler in der Unfallursache definiert werden kann.

Betrachtet man die untersuchten Unfälle in Bezug auf die Jahreszeiten so zeigt sich, wie in Tabelle 7 ersichtlich, dass vor allem in den Monaten zwischen Jänner und Juni (34 Ereignisse) verstärkt Ereignisse stattgefunden haben. Dies lässt sich eventuell darauf zurückführen, dass es im Übergang von Winter auf den Frühling zu vermehrten zusätzlichen Aufgaben für Tzfz, sowohl privat als auch in einem beruflichen Kontext, kommen kann, was einen nicht unwesentlichen Einfluss auf Konzentrationsfähigkeit für den Tzfz haben kann. Des Weiteren zeigt sich vor allem im Zeitraum zwischen April und Juni (20 Ereignisse) eine vermehrte Anzahl von schweren Unfällen. Hierbei könnten in Bezug auf die SHELL Kategorie Liveware bezogen, äußere Einflussfaktoren, wie die Umwelt einen Einfluss ausüben.

Tabelle 7: Häufigkeitsverteilung nach Jahreszeiten in Bezug auf schwere Unfälle

Jahreszeit	Entgleisung	Kollision	Gesamt
Jänner-März	5	9	14
April-Juni	12	8	20
Juli-September	6	4	10
Oktober-Dezember	3	4	7

In Bezug auf die Tageszeit, als Kriterium wurde hierfür die Normalarbeitszeit zwischen 06:00Uhr und 20:00Uhr sowie die Nachtarbeit zwischen 20:00 und 06:00Uhr gewählt, zeigt sich in Tabelle 8, dass Unfälle eher in der Zeit zwischen 06:00Uhr und 20:00Uhr im ausgewählten Zeitraum stattgefunden haben. Dies lässt sich eventuell darauf zurückführen, dass der Verkehr tagsüber wesentlich höher als in der Nacht ist.

In den Nachtstunden ist das Zugintervall im Bereich Personenbeförderung bei weitem nicht so dicht wie Tagsüber. Dies zeigt sich auch in Bezug auf eine Unterscheidung zwischen Tageslicht und Dunkelheit. Die Kriterien hierfür wurden nach der exakten Uhrzeit der Ereignisse in Bezug auf die Jahreszeit gewählt, da sich keine Vereinheitlichung für den Sonnenauf- bzw. Untergang über das gesamte Jahr ziehen lässt. Auch hier zeigt sich, dass 31 der insgesamt 51 Vorfälle bei Tageslicht stattgefunden haben. Dies lässt sich auf eine ähnliche Weise wie die Erläuterung in Bezug auf die Uhrzeit zurückführen. Hinsichtlich einer Ermüdungserscheinung die aufgrund der Nachtarbeit hervorgerufen werden kann, lässt sich Anhand dieser Auswertung nichts ableiten.

Tabelle 8: Häufigkeitsverteilung nach Tageszeiten in Bezug auf schwere Unfälle

Tageszeit	Entgleisung	Kollision	Gesamt
06-20	14	18	32
20-06	12	7	19
Tageslicht	14	17	31
Dunkelheit	12	8	20

Wird die Kategorie Liveware exakter in Bezug auf die Jahreszeit bei Entgleisungen und Kollisionen betrachtet, so zeigt sich, dass der Einfluss der Liveware auch hierbei definitiv häufiger in den Monaten von Jänner bis Juni vorgefunden werden kann. In sieben Fällen konnte ein Zusammenhang zwischen der Kategorie Liveware in Bezug auf die Entgleisungen und 14-mal in Bezug auf die Kollisionen, im ausgewählten Zeitraum, gefunden werden.

Gemäß eines χ^2 Tests und einer Berechnung der Korrelation der Variablen ($\chi^2=.963$; $r=.007$; $p=.963$) kann nicht dargelegt werden, dass es einen Zusammenhang zwischen den beiden Variablen „Liveware“ und „Tageszeit“ gibt. Ebenso gibt es auch keinen Zusammenhang zwischen den Variablen „Liveware“ und „Jahreszeit“ ($\chi^2=.628$; $r=.01$; $p=.938$).

Bei den 51 untersuchten Vorfällen in Österreich ist es bei 14 Vorfällen zu einem Personenschaden (Verletzung) gekommen, sowie in drei Fällen zu Verletzungen mit Todesfolge-siehe hierzu Tabelle 9)

Tabelle 9: Häufigkeitsverteilung in Bezug auf Verletzte und Tote in Bezug auf schwere Unfälle

	Entgleisung	Kollision	Gesamt
Verletzte	1	13	14
Todesfälle	1	2	3

Tabelle 10: Häufigkeitsverteilung nach Hauptkategorien in Bezug auf schwere Unfälle

	Entgleisung	Kollision	Gesamt
Technik	11	2	13
Technik + HF	10	7	17
Human Factor	5	16	21

Wie in Tabelle 10 dargelegt, gab es in Hinblick auf die Ursache der gewählten Vorfälle eine Tendenz zu einem Zusammenhang von einer Human-Faktor-Komponente und den schweren Unfällen. In insgesamt 38 der 51 untersuchten Vorfälle war der Mensch entweder alleine oder in Kombination mit der technischen Komponente an der Ursache der Ereignisses direkt oder indirekt beteiligt. Hinsichtlich einer Überprüfung zwischen den einzelnen Variablen mit Hilfe eines χ^2 Tests kann keine Assoziation zwischen den Faktoren der SHELL Analyse nachgewiesen werden. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Anzahl der Stichprobe im untersuchten Zeitraum zu klein ist.

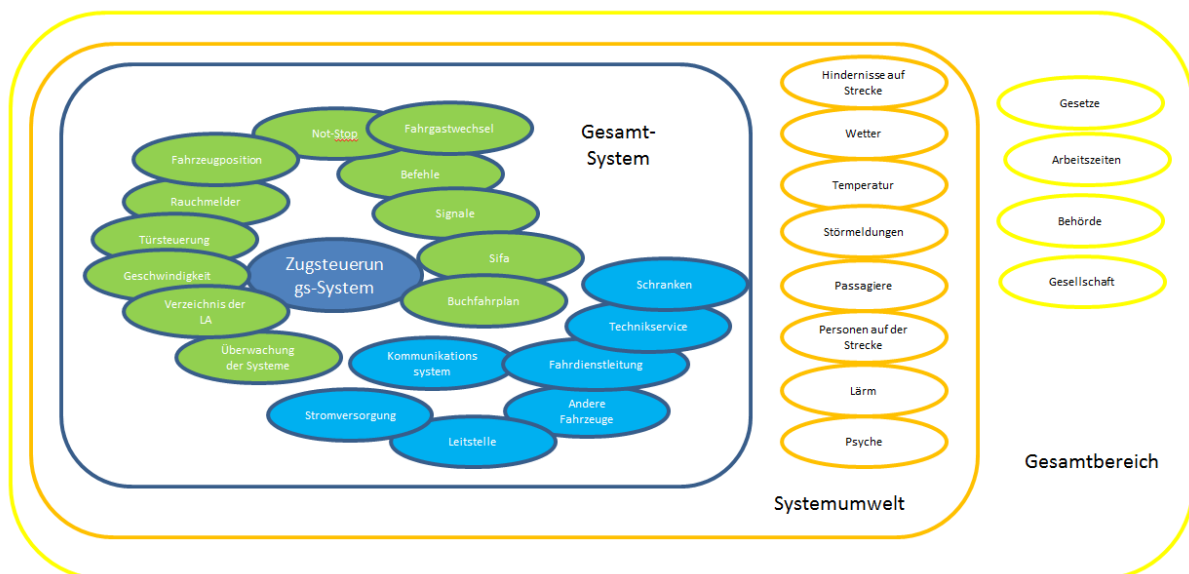


Abbildung 9: System-Umwelt Analyse nach dem SHELL-Modell (eigene Darstellung)

Wie in Abbildung 9 ersichtlich, gibt es eine Vielzahl an Teilsystemen/Komponenten die in einem direkten Verhältnis zueinander stehen. Im Hinblick auf das Zugsteuerungssystem gibt es demnach Faktoren, die das System direkt beeinflussen, wie beispielsweise Signale, die Sicherheitsfahrschaltung, der Buchfahrplan und viele mehr. Das Kommunikationssystem, im Beispiel direkt mit dem Zugsicherungssystem verbunden, hat jedoch eine zentrale Rolle. Hierunter fallen sämtliche, für eine Kommunikation mit der Umwelt, notwendigen Komponenten um die Sicherheit des Eisenbahnsystems gewährleisten zu können.

Des Weiteren legt die Abbildung dar, welche externen Systeme in der Umwelt des Zugsteuerungssystem liegen.

Kommt es innerhalb dieses Systems zu einem Ausfall von einer Komponente, wie zum Beispiel zum Ausfall der Funkverbindung oder einem Ausfall der Kommunikationsmöglichkeit mit den Passagieren, oder kommt es außerhalb des Systems zum Ausfall einer externen Stromversorgung, kann dies unter Umständen zu einem Zusammenprall auf einem Kreuzungsbereich oder zu einer Kollision mit einem anderen Verkehrsteilnehmer führen. Aus diesem Grund, gibt es hinsichtlich der Zugsicherungssysteme, wie in Kapitel 4 angeführt, eine verpflichtende Überprüfung dieser Systeme vor Fahrtbeginn. Dies gibt zwar keine hundertprozentigen Sicherheiten geben, da das System auch während der Fahrt ausfallen kann, jedoch reduziert sich die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls des Systems. Sollte das System (zum Beispiel Sifa), zu Fahrtbeginn, nicht funktionstüchtig sein, so gibt es hierfür einige Vorschriften, die zu beachten sind. Bemerkt der Tzfz vor Fahrtbeginn, dass die Sicherheitsfahrschaltung nicht funktioniert, so gibt es die Vorschrift, dass das Tzfz entweder mit einem zweiten Tzfz, nach dem Vier-Augen-Prinzip, oder in Ausnahmefällen, auch mit einer zweiten eingeschulten Person, am Führerstand, besetzt sein muss.

Sollte es hingegen zu Problemen mit der PZB bei der Überprüfung kommen, so sind Fahrten grundsätzlich nur mehr in begründeten Ausnahmefällen und nur unter bestimmten Einschränkungen, wie zum Beispiel mit Geschwindigkeitsbeschränkungen, erlaubt. Hinter all diesen technischen Systemen steht jedoch letztendlich immer eine Person, die im Fall der Fälle Entscheidungen treffen muss.

Eine Aufteilung des Themas Eisenbahnfahrt, auf eine Vielzahl von menschlichen Aktionen, kann als These nicht aufrecht gehalten werden. Zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang die Frage, wer oder was zu einer Eisenbahnfahrt einen Beitrag leistet? Hierbei gibt es technische Artefakte die aktiv einen Einfluss auf das Fahren ausüben. Über weite Strecken hinweg steuert ein Software-Programm die Maschine. Hierbei sind automatische Geschwindigkeits- und Navigationssysteme an der Bestimmung der Fahrtrichtung und der einzelnen Fahrtmanöver beteiligt. Das Fahren eines Zuges wird nicht alleine von Menschen aber auch nicht alleine vom Tzfz bzw. den Instanzen die für die Bewegung des technischen Systems beitragen bewerkstelligt. Das Zugfahren, als Technik, findet in einer Konstellation aus Maschine, Menschen und Programmen statt, wobei hierbei unterschiedliche und situativ wechselnde Grade von Handlungsträgerschaft („agency“) unterschiedlichen Graden von Technisierung („technological fix“) zukommen (Rammert, 2016, S.115f.).

Grundsätzlich werden technische und soziale Systeme streng getrennt, jedoch ergibt dies zweifelsohne Probleme in Hinblick auf die jeweilige Koppelung. Zum

einen bezieht sich die soziologische Systemtheorie auf das rein abstrakte Theorem der strukturellen Kopplung, während hingegen unterschiedlichen Fachdisziplinen wie beispielsweise Ergonomie, Arbeitswissenschaft und Ingenieure eine konkretere Kopplung als Problem der Schnittstelle zwischen dem Menschen-Maschinen-System oder auch „Human Computer Interaktion“ definieren (Rammert, 2016, S. 116).

Günter Ropohl entwickelte hierzu 1979 ein formales Konzept für soziotechnische Systeme, welches besagt, dass *„... personale bzw. soziale Systeme einerseits und Sachsysteme andererseits [...] eine integrierte Handlungseinheit eingehen“* (zit. Ropohl, 1979, S.181f.).

Das Konzept von Ropohl basiert auf der Grundlage einer allgemeinen kybernetischen Systemtheorie, jedoch stützt es sich auf eine Aggregation von Teilsystemen. Hierbei wäre es nach Rammert geeigneter, wenn der Fokus auf einer Interaktion liegen würde (Rammert, 2016, S.116).

10 Resümee

Zusammenfassend kann an dieser Stelle gesagt werden, dass relativ deutlich aufgezeigt werden kann, dass mit Hilfe eines systemtheoretischen Ansatzes die Ursachenforschung bei Eisenbahnunfällen aus einem anderen Blickwinkel, als einem rein technischen, betrachtet werden kann. Geht es nach Niklas Luhmann, so kann grundsätzlich jedes Themengebiet systemtheoretisch betrachtet werden. Der wesentliche Grundgedanke ist es der Frage nachzugehen, ob es Systeme überhaupt gibt und ob es innerhalb dieser eine gewisse Art von Eigenlogik gibt. Sollten nach Luhmann solche Systeme tatsächlich existieren, so könnte die These aufgestellt werden, dass solange man sich innerhalb des Systems befindet, alles sichtbar wird, was im Rahmen der Logik des Systems bleibt. Hingegen wird alles, was nicht dazu gehört, auch nicht betrachtet. Dieser Ansatz ist vor allem in systemischen Analysen vertreten. Die Idee dahinter ist es, dass alle Probleme die entstehen können, immer aus einem gewissen Kontext, also aus einer Konstellation von Umständen heraus, entstehen. Hier gibt es auch den wesentlichen Unterschied zwischen Luhmann und Parsons. Parsons geht davon aus, dass analytische Konstruktionen betrachtet werden, die primär keinen realen Gegenwert haben, während hingegen Luhmann stets von realen Systemen, dessen gegebene Regeln auf die jeweiligen Probleme des Systems angewandt werden, spricht.

So gibt es eine Vielzahl von Faktoren die einen nicht unwesentlichen Einfluss auf Unfallgeschehnisse ausüben können. Wird das System Eisenbahn aus einer Perspektive wie sie etwa von Niklas Luhmann dargelegt wurde betrachtet, so zeigt sich, dass es eine Vielzahl von externen komplexen aber auch komplizierten Faktoren gibt, die entweder aus dem System selbst, aus dessen Umfeld oder aus dessen Umwelt direkt oder aber auch indirekt einwirken können.

Aufgrund der aktuellen Thematik des gewählten Themas, dass sich die Gesellschaft immer mehr in Richtung autonomen Fahrens bewegt, wie es zum Beispiel aus der aktuellen Debatte der Automobilindustrie wahrgenommen werden kann, oder, dass in Großstädten die U-Bahnen teilweise bereits ohne Fahrer und vollautomatisiert zum Einsatz kommen, konnte anhand der Überlegungen und bereits existierenden Konzepte aufgezeigt werden, dass diese Konzepte immer präsenter werden, sich jedoch nach dem derzeitigen Stand der Technik noch nicht in einem ausgereiften Status befinden. Mithilfe des systemtheoretischen Ansatzes sollte aufgezeigt werden, welche unterschiedlichen Formen und Möglichkeiten sich dadurch bilden lassen und in wie weit diese voneinander abhängig, beziehungsweise aufeinander angewiesen sind. Der Mensch als Individuum reagiert auf eine gewisse Art und Weise. Wird sein Umfeld, oder besser gesagt seine Umwelt größer und steigert sich die Komplexität dieser, so kann der Mensch teilweise an seine Grenzen stoßen.

Hierbei genügen teilweise schon kleine Einflussfaktoren um einen nicht unwesentlichen Einfluss auf seine Handlungen auszuüben.

Unfälle entstehen in diesem Zusammenhang nicht, weil der Mensch nach wie vor die letzte Entscheidung trägt und ihm gegebenenfalls Fehleinschätzungen zu Fehlern zwingen können. Fehler passieren vielmehr aufgrund der Tatsache, dass die Komplexität eines Systems, also je technischer ein System wird oder je mehr Aufgaben auf einen Menschen zukommen, sei dies nun durch externe Einflüsse der Umwelt, Arbeitssituationen, monotone Tätigkeiten oder einfach nur durch einen Konstruktionsfehler im Design eines Kontrollpultes, sich steigert. Anhand dieser Ergebnisse kann die Hypothese H2, „innerhalb von komplexen Systemen reagieren Menschen affektiver“, bestätigt werden. In den Ergebnissen zeigte sich recht deutlich, dass es externe Faktoren gibt, die aktiv auf den menschlichen Handlungs- und Entscheidungsprozess eingreifen. Zusätzlich zeigt sich, dass die Komplexität des Systems eines der Hauptprobleme im Zusammenhang mit der Sicherheit im Eisenbahnsystem darstellt.

Auch wenn Systeme oftmals Defekt sind, also wenn ein Vertrauensverlust in diese entsteht, können Überforderungserscheinungen des Menschen teilweise bzw. in manchen Fällen, zum Vorschein kommen. Bezugnehmend auf die aufgestellten Hypothesen H1, ob technische Systeme im Eisenbahnsystem die Sicherheit erhöhen, kann anhand der empirisch erhobenen Daten diese These bestätigt werden, da sich beinahe alle ereigneten Unfälle im Zeitraum zwischen 2010 und 2017 in Österreich auf eine „human factor“ bedingte Ursache schließen lassen. Demnach wirken sich technische Systeme positiv auf die Sicherheit aus.

Da innerhalb des verwendeten Datenmaterials die Stichprobe (N=51) sehr klein war, konnte hinsichtlich eines Zusammenhanges keine Auswertung als signifikant bestätigt werden. Hierzu würde ein länderübergreifender Vergleich möglicherweise die Stichprobe erhöhen, jedoch kann in Anbetracht der durchgeführten Untersuchung mithilfe des Datenmaterials keine standardisierte Untersuchungsweise nachvollzogen werden. Jene Bereiche, die innerhalb der Europäischen Union einem einheitlichen Klassifizierungsmuster entsprechen, konnten für die gewählte Untersuchung als nicht signifikant bezeichnet werden.

Das größte Fehlerpotential, welches sich durch die Analyse aufzeigen lässt, war die Kombination zwischen der „Liveware“ und der „Software“. Ein Nicht-Einhalten von Vorschriften und festgelegten Abläufen wurde als die häufigste Ursache, die zu Unfällen führte, ausgewertet. Im Hinblick auf die Unterscheidung ob ein Unfall auf menschliches, technisches oder auf ein Versagen der Schnittstelle zwischen beiden zurückzuführen ist wurde deutlich, dass die Schnittstelle zwischen Mensch und Technik als größte Fehlerquelle zu betrachten ist. Hierbei kann das theoretische Konzept des soziotechnischen Systems als das System mit der höchsten Komplexität deutlich als wesentlicher Problembereich betrachtet

werden. Aus den erhobenen Daten kann die aufgestellte Hypothese H2 an dieser Stelle bestätigt werden.

11 Ausblick

Die Anwendung eines systemtheoretischen Ansatzes für die Ausarbeitung und Identifikation von „human factors“ bei Eisenbahnunfällen sollte den zuständigen Stellen eine neue Sichtweise näher bringen. Wie bereits oben beschrieben, gibt es eine Vielzahl von technischen Ansätzen die künftig die Wahrscheinlichkeit eines Unfalles vermeiden sollen. Doch trotz aller, bisher umgesetzter, technischen Maßnahmen passieren nach wie vor Unfälle mit gravierenden Folgen.

Ein alternativer Ansatz in der Prävention von Unfällen wäre, wie bereits oben angeführt, der kulturtheoretische Ansatz. Ein Bewusstsein für etwaige Risiken im gewählten Thema bei den MitarbeiterInnen könnte effizientere Ergebnisse liefern als die Umsetzung von rein technischen Maßnahmen. Das Thema „Safety Culture“ wurde auch im Rahmen des European Rail Safety Summits erstmals den Infrastrukturbetreibern aus dem Eisenbahnsystem in Europa präsentiert. Ziel hierbei ist es, eine europaweite Deklaration zum Thema Sicherheitskultur einzuführen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sollten in einem weiteren Schritt auf einer europäischen Ebene betrachtet und analysiert werden. Des Weiteren wäre als Alternative auch der Bereich der Sicherheitskultur in die Analyse miteinzubeziehen um ein gesamteuropäisch vergleichbares Modell hieraus gewinnen zu können.

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse dieser Arbeit, kann auch eine Handlungsempfehlung für die Betreiber von Eisenbahnsystemen abgeleitet werden. Das Thema „Safety Culture“ sollte ein wesentlicher Bestandteil in der Aus- und Weiterbildung von Personal in Eisenbahnsystemen sein. Alleine die Bewusstseins-schaffung und Sensibilisierung der Personen zu diesem Thema könnte im Hinblick auf das bessere Zusammenspiel der technischen Systeme und „human factor“ eine positive Auswirkung haben.

Die abschließende Frage die sich noch stellt ist, kann durch eine komplette Automatisierung von Fahrsystemen im Bereich der Eisenbahnsysteme wirklich jedwedes Risiko komplett ausgeschaltet werden oder wird das System in einer Welt wo „Cybercrime“ und „Hackerangriffe“ immer öfter an der Tagesordnung stehen vielleicht doch ein Stück weit unberechenbarer?

12 Literaturverzeichnis

Badke-Schaub, P., Hofinger, G., & Lauche, K. (2008): *Human Factors: Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag.

Bearmann, Ch., Naweed, A., Dorrian, J., Rose, J., Dawson, D. (2016): *Evaluation of Rail Technology. A practical Human Factors Guide*. London/New York. Routledge

Beck, U. (1986): *Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.

Bertalanffy, L. (1940): *The organism considered as a physical system*, New York.

Brosius, F.(2018):SPSS. *Umfassendes Handbuch zu Statistik und Datenanalyse*. 8.Auflage.mitp Verlags GmbH & Co KG; FrechenLiteraturverzeichnis

Bühl A., Zöfel P. (2000): *SPSS Version 10. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows*.Addison-Wesley. München

Child, J. (1972): *Organizational structure, environment and performance. The role of strategic choice* In: *Sociology* Vol 06(1972), 01, S. 1-22.

Burns, T., Stakler G. (1971): *Mechanistische und organische Systeme des Management* In: Maynitz R (Hrsg) *Bürokratische Organisation*, 2.Aufl. Köln/Bern 1971. S. 147-154.

Collins, H.M., Kush, M. (1998): *The shape of Actions. What Humans and Maschines Can Do*, Cambridge MA. The MIT Press

Conklin, T. (2018): *Pre-Accident Investigation. Better Questions. An applied approach to operational learning*.CRC Press.Florida.

Czichos H. Habig K.H.(Hrsg.) (2015): *Tribologie-Handbuch*. 4.Aufl. Springer Verlag. Wiesbaden.

Dekker, S. (2014): *The Field Guide to Understanding „Human Error“*, 3.Aufl. Griffith University, Australia.

Deutsche Bahn (2014): European Train Control System (ETCS) bei der DB Netz AG. Frankfurt am Main. DB Netz AG.

EisBBV (2008): Verordnung über den Bau und Betrieb von Eisenbahnen (Eisenbahnbau- und –betriebsverordnung-EisBBV) BGBl II Nr. 398/2008.

EisbG (1975): Bundesgesetz über Eisenbahnen, Schienenfahrzeuge auf Eisenbahnen und den Verkehr auf Eisenbahnen (Eisenbahngesetz 1957); BGBl Nr. 60/1957.

ERA (2012): *Study report* [online] abgerufen unter: http://www.era.europa.eu/DocumentRegister/Documents/ERA_2012_SAF_NP_02_studyreport.pdf abgerufen am 20.07.2018

ERA (2018): European railway Agency [online] abgerufen unter <https://www.era.europa.eu/The-Agency/About-us/Pages/Home.aspx> abgerufen am 18.Aug. 2018.

ERA (2017): Railway Safety in the European Union. Safety overview 2017 [online] <https://erail.era.europa.eu/documents/SPR.pdf> abgerufen am 8.August 2018

ERAIL (2018): Datenbank der Europäischen Eisenbahnagentur [online] abgerufen unter: <https://erail.era.europa.eu/documents/SPR.pdf> abgerufen am 8.August 2018

Eurostat (2016): Knapp über 26000 Verkehrstote 2015 in der EU. [online] abgerufen unter: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/7734703/7-18112016-BP-DE.pdf/171f7421-7f03-4449-a511-553534b06f2f> abgerufen am 18 Aug. 2018.

Fuchs W., Lautmann R., Rammstedt O., Wienold H (Hrsg)(1995): *Lexikon zur Soziologie*, 3. Auflage, Opladen

Geser, H. (1989): Der PC als Interaktionspartner In: Zeitschrift für Soziologie Jg18 H.3 S. 230-243.

Giesa, H.G.; Timpe, K.P. (2000): *Technisches Versagen und menschliche Zuverlässigkeit: Bewertung der Verlässlichkeit in Mensch-Maschine-Systemen*. Düsseldorf. Symposium Verlag.

Gigerenzer, G. (2014): *Risiko. Wie man richtige Entscheidungen trifft.* München: btb Verlag.

Hawkins, H. (1987): *Human factors in flight.* Hampshire: Gower Technical Press.

Hollnagel E. (2001): *Cognition as control: a pragmatic approach to the modeling of joint cognitive systems. Special issue of IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics. Systems and Humans.*

Hollnagl (2004): *Barriers and accident prevention.* Aldershot. Ashgate.

Hossenfelder, M. (2000): *Der Wille zum Recht und das Streben nach Glück: Grundlegung einer Ethik des Wollens und Begründung der Menschenrechte.* München: C.H.Beck.

Hill W., Fehlbaum R. Ulrich P. (1992): *Organisationslehre 2: Theoretische Ansätze und praktische Methoden der Organisation sozialer Systeme.* 4.Aufl. Bern.

IAEA, International Atomic Energy Agency (1991): *Safety culture.* International Safety Advisory Group, Safety Series 75-INSAG-4. Vienna:IAEA.

Kneer G, Nassehi A (2000): *Niklas Luhmanns Theorie sozialer Systeme.* 4.Auflage. München

Kruse, V., & Barrelmeyer, U. (2012): *Max Weber: Eine Einführung.* München: UTB.

Lattmann, C., Greipel, P. (1990): *Die Unternehmenskultur: Ihre Grundlagen und ihre Bedeutung für die Führung der Unternehmen,* Heidelberg, Physica Verlag.

Lichtenegger, G. (2009): *The role of self-Organization in Disaster Relief Operations. Theory and Simulation.* Dissertation

Lodde, A. P. (2010): *Markenerosion. Eine systemtheoretische Ursache-Wirkungs-Analyse.* Gabler Verlag

Luhmann, N. (1997): *Die Gesellschaft der Gesellschaft.* Suhrkamp. Frankfurt am Main.

Luhmann, N.(2003): *Soziologie des Risikos.* Berlin. De Gruyter Studienbuch

Luhmann, N. (2004): *Einführung in die Systemtheorie.* Carl-Auer-Systeme. Heidelberg.

Luhmann, N. (2008): *Einführung in die Systemtheorie*. 4. Auflage. Carl Auer Verlag. Heidelberg.

Luhmann, N. (2017). *Systemtheorie der Gesellschaft*. Suhrkamp Verlag. Berlin.

Maturana, H. R. (1985): *Erkennen: Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit*. Wiesbaden: Vieweg, 1985

Mayring, Ph. (2010): *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. 11.Auflage, Weinheim und Basel

Münch, R. (2004): *Soziologische Theorie: Gesellschaftstheorie*, Frankfurt am Main /New York, Campus Verlag, 2004

Müller, K. (1996): *Allgemeine Systemtheorie-Geschichte, Methodologie und sozialwissenschaftliche Heuristik eines Wissenschaftsprogramms*. Opladen.

Nerdinger F.W., Blickle G und Schaper N (2011): *Arbeits- und Organisationspsychologie*. Berlin. Heidelberg: Auer.

Ogburn, W.F. (1937): *Technological Trends and National Policy*. Washington.

ÖBB Infra (2014): *ETCS- Ausbau mit Übersichtskarte* [online] abgerufen unter <https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/schienennetz/dokumente-und-daten/etcs-zugbeeinflussung/etcs-ausbau-karte.pdf> abgerufen am 20.08.2018

Pachl, J. (2018): *Systemtechnik des Schienenverkehrs*. [E-Book] 8.Aufl. Springer Verlag. Wiesbaden.

Passoth, J.H. (2008): *Technik und Gesellschaft. Sozialwissenschaftliche Techniktheorien und die Transformationen der Moderne*. VS Verlag für Sozialwissenschaften. Wiesbaden.

Perrow, Ch. (1999): *Normal accidents. Living with High-Risk-Technologies*. Princeton University Press

Pfister, H.-R., Jungermann, H., & Fischer, K. (2017): *Die Psychologie der Entscheidung. Eine Einführung*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Pleier, N. (2008): *Performance-Measurment-Systeme und der Faktor Mensch. Leistungssteuerung effektiver gestalten*. Wiesbaden: Gabler Edition Wissenschaft.

Popitz, H. (1995): *Der Aufbruch zur Artifiziiellen Gesellschaft*. Tübingen. Mohr.

Rail Accident Investigation Branch (2007): *Signal T172 Passed at Danger at Purley Station, Surrey. 18. August 2006*. Rail Accident Investigation Branch. London.

Rammert, W. (2016): *Technik-Handeln-Wissen. Zu einer pragmatistischen Technik- und Sozialtheorie*. 2.Aufl. Springer Verlag. Wiesbaden.

Reason, J. (1997): *Managing the risk of organizational accidents*. Aldershot: Ashgate.

Reason J. Human (2000): Human error: Models and management. *BMJ : British Medical Journal*. 2000;320(7237):768. <https://search-proquest-com.uaccess.univie.ac.at/docview/1777598181?accountid=14682>. doi: <http://dx-doi-org.uaccess.univie.ac.at/10.1136/bmj.320.7237.768>

Reason, J. (2008): Human error: models and management.

Reason, J. (2013): *A life in error. From little Slips to big disasters*. CRC Press. Surrey UK.

Renn O. & Klinke A. (2004): *Systemic risks: A new challenge for risk management*. EMBO reports 5: S.41-S.46.

Renn, O. (2014): *Das Risikoparadox. Warum wir uns vor dem Falschen fürchten*. Herausgegeben von Klaus Wiegandt und Ortwin Renn, Fischer Verlag.

Richtlinie 2004/49/EG (2004): Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Eisenbahnsicherheit in der Gemeinschaft.

Richtlinie 2008/57/EG (2008): Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates vom 17.Juni 2008 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Gemeinschaft.

Ritzer G, Stepnisky J. (2011): *Major Social Theorists*. Wiley-Blackwell. UK.

Rosa, H (2005): *Beschleunigung. Die Veränderung der Zeitstruktur in der Moderne*. Frankfurt/M. Suhrkamp

Rossberg, R. (2016): Der Faktor Mensch. VDI Nr.07, 11.

Salvendy, G. (2006): *Handbook of human factors and ergonomics*. New York: Wiley & Sons.

Schroer, M. (2006): *Räume, Orte, Grenzen. Auf dem Weg zu einer Soziologie des Raums.* Frankfurt /M. Suhrkamp.

Schuldt, Ch. (2017): *Systemtheorie. Theorie für die vernetzte Gesellschaft.* CEP. Hamburg.

Schulz-Schaeffer (1999): *Technik und die Dualität von Ressourcen und Routinen* In: Zeitschrift für Soziologie 28(6), S. 409-428.

SUB: Sicherheitsuntersuchungsstelle des Bundes. Untersuchungsberichte Schiene [online] abgerufen unter <https://www.bmvit.gv.at/verkehr/sub/schiene/berichte/index.html> abgerufen am 25.08.2018.

Simon, F.B. (2005): *Radikale Marktwirtschaft: Grundlagen des systemischen Management,* Heidelberg, Carl-Auer Verlag.

Stahl J. und Kipman U. (2012): *Schwerpunkt Empirische Forschung. Ein Leitfaden für Studierende.* Herausgeber: Österreichisches Zentrum für Begabtenförderung und Begabungsforschung (ÖZBF). Salzburg.

Staubmann, H. (1989): *Sozialsysteme als selbstreferentielle Systeme:* Niklas Luhmann. In J. e. morelius, *Soziologische Theorie: Abriss der Ansätze ihrer Hauptvertreter.*

Staehle, W. (1999): *Management: eine verhaltenswissenschaftliche Perspektive.* 8.Auflage, München.

Thye, I. (2013): *Kommunikation und Gesellschaft-systemtheoretisch beobachtet.* Springer Verlag. Wiesbaden.

Ulich, E. (2005): *Arbeitspsychologie,* 6. Ed., vdf Hochschulverlag AG, Zürich.

Ulrich, H., Probst, G. (1988): *Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln: Ein Brevier für Führungskräfte,* Bern/Stuttgart.

Universität Stuttgart: *Induktive Zugsicherung* [Online] abgerufen unter: http://www.uni-stuttgart.de/iev/sites/default/files/onlinekurse/lupse/kap_42.htm abgerufen am 19.07.2018

UUG (2005): Bundesgesetz über die unabhängige Sicherheitsuntersuchung von Unfällen und Störungen (Unfalluntersuchungsgesetz) BGBl. I Nr.123/2005.

Willke, H.(1991): *Systemtheorie: eine Einführung in die Grundprobleme der Theorie sozialer Systeme*. 3.Aufl. Stuttgart/New York.