



Elektronische Zutrittslösungen bei Lokomotiven

Diplomarbeit
Sommersemester 2019

Stephan Wuttke

Matrikelnummer: bm171823

Fachliche Betreuung: Dipl. Ing. (FH) Thomas Hengstenberg

Formale Betreuung: FH-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Bernhard Rüger

„So eine Arbeit wird eigentlich nie fertig, man muss sie für fertig erklären, wenn man nach Zeit und Umständen das Mögliche getan hat.“

Johann Wolfgang von Goethe

Vorwort

Die Zeit und Umstände, unter denen diese Arbeit entstanden ist, waren in keiner Weise vergleichbar mit meiner Zeit als Bachelorstudent. Ich habe mir bereits zu Beginn gut überlegt, ob ich überhaupt ein berufsbegleitendes Studium noch einmal in Angriff nehmen soll. Aber dann zwei Jahre Pendeln und Lernen neben dem Beruf am eigenen Körper zu erleben, war noch einmal etwas ganz anderes.

Ich bedanke mich an dieser Stelle ausdrücklich bei den Arbeitskollegen, Kundenvertretern und Freunden, die mich beim Schreiben unterstützt haben. Ohne diese Unterstützung wäre diese Arbeit nicht zu dem geworden, was sie heute ist.

Ganz nach dem gewählten Zitat von Goethe kann so eine Arbeit aus der Sicht des Autors nie als fertig erachtet werden. Es gibt noch so viele technische Details und weitere Themenaspekte, die nahtlos an das Thema anschließen könnten. Aus Platz- und Zeitmangel habe ich versucht, die relevantesten Punkte zu behalten, ohne den Blick für das große Ganze zu verlieren.

Ich wünsche mir, dass dem interessierten Publikum das Durchlesen dieser Arbeit nicht zu langweilig wird und wenigstens ein paar Aspekte von dem Thema hängen bleiben, an dem ich insgesamt über ein dreiviertel Jahr gearbeitet habe.

München, den 25.07.2019

Erklärung zur Veröffentlichung

Der Autor dieser Arbeit erklärt sich damit einverstanden, dass die FH St. Pölten die vorliegende Arbeit in geeigneter Weise unter Nennung des Autors bzw. in der vorliegenden Originalform als pdf-Datei oder in gedruckter Form veröffentlichen darf.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Abschlussarbeit selbständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher weder in gleicher noch in ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beleuchtet in einer Machbarkeitsstudie drei Konzepte für ein innovatives Schließsystem für die Türen zum Führerraum von Lokomotiven auf Basis von NFC.

Hierzu werden zwei Forschungsfragen aufgestellt und bearbeitet:

- Inwieweit können neue Arten von Schließsystemen für Lokomotiven die Sicherheit im Bahnbereich verbessern?
- Welche innovativen Konzepte von Schließsystemen für Lokomotiven auf Basis von NFC haben am Markt eine Chance?

Zurzeit ist nicht bekannt, dass am Markt ein vergleichbares Schließsystem angeboten wird, wie es in dieser Arbeit beschrieben wird.

Es müssen eine Vielzahl von Aspekten beachtet werden, damit aus der Idee ein marktreifes Produkt werden kann, das die Anforderungen der Kunden erfüllt. Aufgrund der Tatsache, dass die neuartigen Schließzylinder nur mit einer Spannungsquelle funktionieren, müssen Vorkehrungen getroffen werden, damit ein Ausfall den Betriebsablauf nicht negativ beeinflusst.

Es werden neben den rein technischen Aspekten auch Themen im Bereich der betrieblichen Anforderungen und der Wirtschaftlichkeit beleuchtet. Einen Hauptteil der Arbeit nimmt die technisch-wirtschaftliche Bewertung in Anlehnung an VDI 2225 ein.

Die Bearbeitung der beiden Forschungsfragen hat zu folgendem Ergebnis geführt: Die Entwicklung eines elektronischen Schließsystems sollte auf Basis von Konzept 1 verwirklicht werden.

In einem kommenden Schritt ist es ratsam, einen Prototypen anzufertigen, der im laufenden Betrieb auf einer Lokomotive erprobt werden kann. Die Ergebnisse dieser Testphase können dann genutzt werden, um ein marktreifes Produkt zu entwickeln.

Abstract

This thesis takes a look at three concepts based on NFC for an innovative locking system for the doors of the driver's cab of locomotives.

There is no knowledge about a corresponding locking system on the market, as described in this work. Benchmarking is used to determine how far the state of research in other industries is and what approaches can be adopted for railway operations.

For this purpose, two research questions must be answered:

- To what extent can new types of locking systems for locomotives improve safety in the railway sector?
- Which innovative concepts of locking systems for locomotives based on NFC have a chance on the market?

At present it is not known that the market offers a comparable locking system as described in this paper.

A lot of aspects must be considered so that one of the concepts can become a marketable product that meets the needs of customers. Since the new lock cylinders work with one voltage source only, precautions must be taken to ensure that a failure does not affect daily operation in a negative way.

In addition to the purely technical aspects, topics in the field of operational requirements and cost-effectiveness are examined. A major part of the work is based on the technical and economic evaluation following VDI 2225.

The processing of the two research questions has led to the following result: The development of an electronic locking system should be realized based on Concept 1.

In a coming step, it is advisable to build a prototype that can be tested on a locomotive during daily operation. The results of this test phase can then be used to develop a finished product.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Verwendete Methoden	5
3	Betriebliche Anforderungen	6
3.1	Kundentypen	6
3.1.1	Incumbent	7
3.1.2	Kleines EVU	8
3.1.3	Großabnehmer	9
3.2	Notwendige Eigenschaften	10
3.3	Experteninterviews	11
3.4	Ablauf Vermietung	13
3.5	Zusammenfassung zu betrieblichen Anforderungen	15
4	Konzeptvorstellung	16
4.1	Exkurs: RFID und NFC	16
4.1.1	Vergleich der Anwendungsbereiche	18
4.1.2	Arbeitsweise NFC	18
4.1.3	Sicherheitsaspekte	20
4.2	Benchmarking	23
4.2.1	Benchmark 1: Elektronische Zutrittskontrolle	23
4.2.2	Benchmark 2: Komfortzugang bei PKW	25
4.2.3	Benchmark 3: Schaltbau Bode	27
4.2.4	Carsharing	28
4.3	Konzepte für elektronische Schließsysteme	29
4.3.1	Konzept 1 - Einzellösung	29
4.3.2	Konzept 2 - Netzwerklösung	30
4.3.3	Konzept 3 - Neubau	31
5	Technische Machbarkeit	32
5.1	Produktsicherheit und Qualität	32
5.1.1	Bahntauglichkeit	33
5.1.2	Datensicherheit	35
5.1.3	Persönliche Daten	36
5.1.4	Spannungsausfall	37
5.1.5	Verlust oder Diebstahl	40
5.1.6	Elektromagnetische Verträglichkeit	41
5.1.7	Programmierung und Pflege der Software	41
5.1.8	Nutzungsdauer	43
5.2	Zusammenfassung zur technischen Machbarkeit	44
6	Wirtschaftliche Betrachtung	45

6.1	Monetäre Aspekte	45
6.1.1	Herstellersicht	45
6.1.2	Kundensicht	50
6.2	Nicht-monetäre Aspekte	51
6.2.1	Prestige	51
6.2.2	Anwendersicht	52
6.2.3	Handhabung im Betrieb	52
6.2.4	Pre-Mortem	53
6.2.5	Adaption durch andere Hersteller	56
6.3	Zusammenfassung der wirtschaftlichen Betrachtung	57
7	Technisch-wirtschaftliche Bewertung nach VDI 2225	58
7.1	Bewertung von Konzept 1 - Einzellösung	59
7.2	Bewertung von Konzept 2 - Netzwerklösung	60
7.3	Bewertung von Konzept 3 - Neubau	61
7.4	Bewertung von Kreuzbart	62
8	Evaluierung der Ergebnisse	64
9	Weitere Anwendungsgebiete	67
9.1	Verwendung auf weiteren Fahrzeugtypen	67
9.2	Blockchain für Leasingverträge	68
9.3	Nutzerabhängige Freischaltungen	69
9.3.1	Geschwindigkeitslimit	69
9.3.2	Netzfreeschaltung	69
9.4	Zutritt zum Maschinenraum	69
9.5	Komfortfeatures im Führerraum	70
10	Conclusio	72
10.1	Beantwortung der Forschungsfragen	72
10.2	Bedenken und Lösungsansätze	73
10.3	Beurteilung der Methoden	73
10.4	Handlungsempfehlung	74
10.5	Ausblick	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lokomotive der Vectron-Plattform.....	1
Abbildung 2: Schlüssel vom Typ Kreuzbart.....	2
Abbildung 3: „Postkastenschlüssel“ auf Bedienpult	2
Abbildung 4: Schloss an Außentür der ER20	2
Abbildung 5: Schlüssel der ER20 auf Bedienpult.....	2
Abbildung 6: Ausschnitt der Konzernstruktur der DB AG	8
Abbildung 7: Personenverkehr von Sonneberg nach Nürnberg	10
Abbildung 8: Ergebnis der Auswertung der Experteninterviews	12
Abbildung 9: Ablaufdiagramm einer Anmietung	14
Abbildung 10: Aufbau eines RFID-Tags.....	17
Abbildung 11: Schutzhülle für Chipkarten	22
Abbildung 12: NFC-Anhänger aus PVC	24
Abbildung 13: NFC-Karte bei BMW.....	26
Abbildung 14: Prototyp Schaltbau Bode.....	27
Abbildung 15: Konzept 1 - Einzellösung.....	29
Abbildung 16: Konzept 3 - Neubau mit Nummernpad	31
Abbildung 17: Relevante Rahmenbedingungen	33
Abbildung 18: Mögliche Übertragungswege bei Internetanbindung	36
Abbildung 19: Knauf auf Innenseite	39
Abbildung 20: Aufteilung der Zutrittsrechte	42
Abbildung 21: Grafische Darstellung der „Rule of Ten“.....	49
Abbildung 22: Ergebnis der Pre-Mortem Methode	54
Abbildung 23: Zylinder mit Manschette	55
Abbildung 24: Ergebnis der technischen Betrachtung	64
Abbildung 25: Ergebnis der wirtschaftlichen Betrachtung	64
Abbildung 26: Ergebnisse im s-Diagramm (inkl. Entwicklungslinie).....	65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der Kundentypen.....	6
Tabelle 2: Überblick der standardisierten Typen von NFC-Tags	17
Tabelle 3: Relevante Prüfungen für Prototypen laut EN 50155 Anhang G	34
Tabelle 4: Geschätzte Entwicklungskosten.....	47
Tabelle 5: SWOT-Analyse.....	57
Tabelle 6: Benotung Technik für Konzept 1 - Einzellösung.....	59
Tabelle 7: Benotung Technik für Konzept 2 - Netzwerklösung	60
Tabelle 8: Benotung Technik für Konzept 3 - Neubau	61
Tabelle 9: Benotung Technik für Kreuzbart.....	62
Tabelle 10: Zusammenfassung der Bedenken und Lösungsansätze	73

Abkürzungsverzeichnis

AES	Advanced Encryption Standard
BLE	Bluetooth Low Energy
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung
ECDSA	Elliptic Curve Digital Signature Algorithm
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
ERA	European Union Agency for Railways
EVO	Eisenbahnverkehrsunternehmen
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
JIS	Japanese Industrial Standards
LLCP	Logical Link Control Protocol
NFC	Near Field Communication
RDD	Reference Document Database
RFID	Radio Frequency Identification
TEN	Trans-European Networks
TRA	Threat and Risk Analysis
TSI	Technische Spezifikation für Interoperabilität
VDI	Verband Deutscher Ingenieure

1 Einleitung

Die Abteilung MOR RS LM EN IE 1 der Siemens Mobility GmbH hat den Entschluss gefasst, an einer elektronischen Zutrittslösung auf Basis von NFC für ihre Lokomotiven zu arbeiten.

Für den europäischen Raum werden durch die Siemens Mobility GmbH zur Zeit Fahrzeuge der Vectron-Plattform (siehe Abbildung 1) angeboten. Auf Basis der Plattform werden sowohl elektrische Lokomotiven für verschiedene Spannungssysteme als auch Diesellokomotiven und eine neue Hybridlok angeboten, die sowohl mit Strom aus der Oberleitung als auch Dieselmotor betreiben werden kann.¹



Abbildung 1: Lokomotive der Vectron-Plattform²

In verschiedenen Quellen, wie zum Beispiel der TSI Loc&Pas Abschn. 4.2.9.1.2.1 (9), wird darauf verwiesen, dass der Zugang zu einem Eisenbahnfahrzeug für unbefugte Personen verhindert werden muss.³

Die Lokomotiven der Vectron-Plattform der Siemens Mobility GmbH werden hauptsächlich mit einem Schließsystem an Kunden geliefert, das mit einem sogenannten Kreuzbartschlüssel geöffnet werden kann, wie er in Abbildung 2 zu sehen ist.

¹ Internet [18]: <https://new.siemens.com/global/de/produkte/mobilitaet/schienenverkehr/fahrzeuge/lokomotiven/vectron.html>.

² Quelle: Eigene Fotografie (14.05.2019).

³ Internet [35]: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R1302&from=EN>.

Zurzeit befinden sich damit mehr als 500 Vectron-Lokomotiven auf dem Markt, die alle von derselben Person geöffnet werden können, wenn sie im Besitz des besagten Schlüssels ist. Diese Tatsache stellt ein Sicherheitsrisiko für jeden betroffenen Betreiber dar. Jedoch kann das Fahrzeug erst dann in Bewegung gesetzt werden, wenn der entsprechende kleine „Postkastenschlüssel“ (siehe Abbildung 3) zum Aktivieren des Bedienpults verwendet wird.



Abbildung 2: Schlüssel vom Typ Kreuzbart⁴



Abbildung 3: „Postkastenschlüssel“ auf Bedienpult⁵

Ältere Lokomotiven der Siemens AG wie die dieselelektrische ER20 besitzen zum Beispiel einen Schlüssel mit Bohrmulden, mit dem sowohl die Tür zum Führerstand geöffnet (siehe Abbildung 4) als auch das Bedienpult aktiviert werden kann (siehe Abbildung 5). Wie im Vergleich zum Kreuzbartschlüssel erkenntlich ist, handelt es sich um eine andere Art eines Schlüssels zum Verschließen der Führerstände auf Lokomotiven. Jedoch besteht auch in diesem Fall die Gefahr von Missbrauch durch unbefugte Dritte.



Abbildung 4: Schloss an Außentür der ER20⁶



Abbildung 5: Schlüssel der ER20 auf Bedienpult⁷

⁴ Quelle: Eigene Fotografie (12.06.2019).

⁵ Quelle: Eigene Fotografie (04.09.2018).

⁶ Quelle: Eigene Fotografie (04.09.2018).

⁷ Quelle: Eigene Fotografie (04.09.2018).

Es ist in der Vergangenheit schon wiederholt vorgekommen, dass sich Personen ohne Erlaubnis Zutritt zu abgestellten Lokomotiven verschafft haben. Als Beispiel sei an dieser Stelle auf einen Vorfall aus dem Jahr 2017 aus Emden im Nordwesten von Niedersachsen (Emsland) verwiesen.⁸

Ein Jugendlicher hatte sich mit Freunden Zutritt zu einer abgestellten Lokomotive verschafft. Durch vorher angeeignetes Wissen war es ihm möglich, das Fahrzeug unbemerkt in Bewegung zu setzen.

Nachdem die Jugendlichen von einem Rangierer entdeckt wurden, ließen sie die Lokomotive stehen. Der Fahrdienstleiter wurde danach auf die Situation aufmerksam gemacht und alarmierte die Polizei. Der Jugendliche und seine Begleiter konnten im Anschluss in Gewahrsam genommen werden. Es stellte sich heraus, dass der Jugendliche eine Vielzahl von Schlüsseln besaß, die als Standardschließsystem in der Eisenbahnwelt eine weite Verwendung finden.

Vor dem Hintergrund solcher oder ähnlicher Vorfälle muss darüber nachgedacht werden, wie das bestehende System an die neuen Rahmenbedingungen (hoher Verbreitungsgrad der Schlüssel auch unter unbefugten Personen) angepasst werden kann.

Somit ergibt sich die erste der beiden Forschungsfragen:

Inwieweit können neue Arten von Schließsystemen für Lokomotiven die Sicherheit im Bahnbereich verbessern?

Neben dem Aspekt der Sicherheit kann sich durch innovative Konzepte von Schließsystemen im Bahnbereich auch ein Mehrwert für Hersteller und deren Kunden ergeben. Aus diesem Grund ergibt sich noch eine zweite Forschungsfrage für diese Arbeit:

Welche innovativen Konzepte von Schließsystemen für Lokomotiven auf Basis von NFC haben am Markt eine Chance?

Es sind keine wissenschaftlichen Arbeiten zu diesem Thema bekannt. Deshalb soll mit dieser Arbeit auch versucht werden, den bisherigen Stand des Wissens zusammenzutragen und eine Forschungslücke zu schließen. Es soll Aufmerksamkeit für ein Thema geschaffen werden, das bisher nicht im Fokus der Fachwelt steht.

Diese Arbeit strebt keine Ausarbeitung eines Prototyps an. Es wird keine detaillierte Ausarbeitung der aufgeführten Konzepte geben. Darunter versteht sich zum Beispiel die genaue Dimensionierung von Bauteilen oder das Erstellen von Zeichnungen.

⁸ Internet [4]: <https://www.presseportal.de/blaulicht/pm/70276/3622116>.

Es soll das Verbesserungspotential für Schließsysteme an Lokomotiven der Vectron-Plattform in Form einer Machbarkeitsanalyse ausgelotet werden: Deswegen erfolgt keine detaillierte Betrachtung anderer Lokomotiven oder Fahrzeugtypen.

Die digitale Infrastruktur, die im Hintergrund etabliert sein muss, wird nicht im Detail betrachtet. Es wird zum Zwecke der Bearbeitung davon ausgegangen, dass sie vorhanden ist, den nötigen Anforderungen entspricht und funktionsfähig ist.

2 Verwendete Methoden

Im Kern dieser Arbeit werden die Forschungsfragen vor dem Hintergrund vorhandener Theorien und Modelle mit den gängigen wissenschaftlichen Methoden erörtert und weiter präzisiert. Dafür ist die Arbeit in unterschiedliche Abschnitte unterteilt, die jeweils einen Aspekt der Forschungsfragen bearbeiten sollen.

Die Beantwortung der beiden Forschungsfragen erfolgt durch eine Betrachtung aus betrieblicher, technischer und wirtschaftlicher Sicht, um mögliche Schwachstellen der genannten Konzepte aufzudecken.

Um die Erwartungen der Kundenseite zu erfahren, wurden an Vertretern/innen der Branche sogenannte Experteninterviews per E-Mail geschickt. Diese Interviews haben den Zweck, die selbst aufgestellten notwendigen Eigenschaften zu validieren und bei Bedarf zu konkretisieren. Insgesamt wurden dreizehn Interviews im Rahmen dieser Arbeit ausgewertet.

Der Darstellung der verschiedenen Konzepte ist ein Exkurs zum Thema NFC vorgeschoben. Das liegt darin begründet, dass alle Konzepte auf dieser Technik basieren und auch im weiteren Verlauf der Arbeit oft auf die Eigenschaften von NFC Bezug genommen wird.

Im Anschluss werden in weiteren Kapiteln die allgemein gültigen technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen aufgeführt und einer eigenen Bewertung auf ihre Relevanz unterzogen.

Mit Hilfe einer sogenannten Pre-Mortem Methode wurde eine Umfrage mit zwölf Mitarbeitern/innen der Siemens Mobility GmbH zum Thema elektronische Schließsysteme durchgeführt. Die Antworten aus dieser Umfrage sollen aufzeigen, welche Aspekte und mögliche Hindernisse bisher nicht ausreichend beleuchtet wurden.

Nach der Vorstellung der verschiedenen angedachten Konzepte erfolgt zum Schluss die Bewertung der technischen und wirtschaftlichen Wertigkeit jedes einzelnen Konzepts in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2225 zum technisch-wirtschaftlichen Konstruieren.

3 Betriebliche Anforderungen

Um ein neues Produkt am Markt erfolgsversprechend zu positionieren, ist es hilfreich zu wissen, welche Erwartungen potenzielle Kunden an das Produkt haben.⁹

Es wird zu Beginn dieses Kapitels eine Auflistung von möglichen Kundentypen vorgenommen. Dieser Schritt ist für die weitere Bearbeitung der Forschungsfragen wichtig, weil es viele unterschiedliche Kunden gibt, die jeweils andere Nutzungsverhalten und Anforderungen besitzen.

Im Anschluss wird in einem eigenen Kapitel auf den Prozess bei der Vermietung von Lokomotiven eingegangen.

3.1 Kundentypen

Für die Definition drei verschiedener Kundentypen werden Personas definiert, die sich in ihren Eigenschaften und ihrem Nutzungsverhalten an realen Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) orientieren (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Zusammenfassung der Kundentypen¹⁰

Kundentyp	Lokomotiven	Fokus in der Nutzung	Einsatzgebiet	Service
Incumbent	> 500	Personen / Güter	International	Intern
Kleines EVU	≈ 50	Güter	National / International	Intern / Extern
Großabnehmer	100 - 300	Güter	International	Intern / Extern

⁹ Mit Kunden sind hierbei Eisenbahnverkehrsunternehmen unterschiedlicher Größe gemeint und keine Einzelpersonen.

¹⁰ Quelle: Eigene Darstellung.

Die jeweiligen Spalten aus Tabelle 1 haben für die drei verschiedenen Kundentypen folgende Bedeutung:

- **Anzahl der Lokomotiven**

Je nach Unternehmensgröße werden unterschiedlich viele Fahrzeuge bezogen. Das bedeutet im Endeffekt auch eine unterschiedlich große Anzahl von Schließsystemen, die verbaut, verwaltet und gewartet werden müssen.

- **Fokus in der Nutzung**

Dieser Punkt nimmt Bezug auf den Fokus in der Nutzung der Lokomotive. Es stellt sich die Frage, ob das Fahrzeug hauptsächlich im Personen- oder Güterverkehr eingesetzt wird. Güterlokomotiven sind meistens für längere Zeit zwischen den Verkehrsleistungen abgestellt, wenn die Umläufe nicht dicht getaktet sind. Unbefugtes Betreten ist dort einfacher, wie bereits bei dem Beispiel aus dem Emsland in Kapitel 1 angeführt wird.

- **Einsatzgebiet**

Je nach Einsatzgebiet (national oder international) entstehen unterschiedliche Rahmenbedingungen für den Einsatz eines elektronischen Schließsystems. Bei nationalen Verkehren ist zum Beispiel der nötige schnelle Service im Störfall tendenziell leichter zu stellen, als im flächenmäßig weiter gespannten internationalen Verkehr.

- **Service**

Analog zum Einsatzgebiet muss auch beachtet werden, auf welche Art und Weise beziehungsweise an welchem Ort die Wartung der Fahrzeuge durchgeführt wird. Es muss im Einzelfall betrachtet werden, ob die Aufgabe der Wartung und Instandhaltung eigene Werkstätten oder externe Dienstleister übernehmen.

3.1.1 Incumbent

Ein Incumbent ist ein Eisenbahnunternehmen, das früher als Teil einer Staatsbahn ein Monopol im nationalen Eisenbahnverkehr im Güter- oder Personenverkehr innehatte. So teilt sich zum Beispiel in der DB AG die Erbringung von Transportleistungen im Schienenverkehr in verschiedene eigenständige Aktiengesellschaften in einer Holdingstruktur auf (siehe Abbildung 6).¹¹

¹¹ Zusätzlich gibt es innerhalb der DB AG noch andere Konzernunternehmen, wie zum Beispiel die DB Netz AG, welche aber an dieser Stelle nicht relevant für die Bearbeitung der Forschungsfragen sind und deshalb nicht genannt werden.

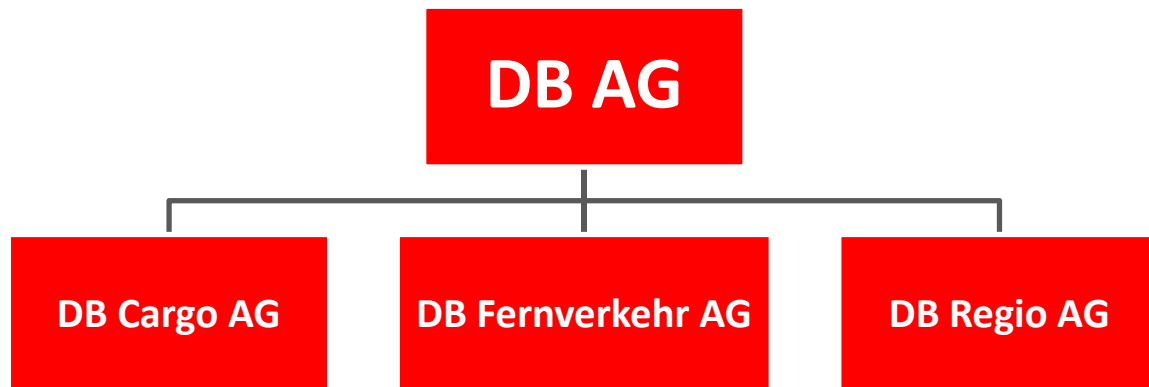


Abbildung 6: Ausschnitt der Konzernstruktur der DB AG¹²

Nach der Liberalisierung durch das erste Eisenbahnpaket wurde deren Position am Markt geschwächt. Durch ihre Größe stellen sie aber noch immer die größten Marktteilnehmer in fast jedem Land der EU dar.¹³

Aufgrund seiner Größe besitzt ein Incumbent eine große Anzahl von Lokomotiven verschiedener Hersteller. Die Bezugsmenge eines Fahrzeugtypen aus der Vectron-Plattform wird im Rahmen dieser Arbeit mit einer Anzahl von mindestens 100 Fahrzeugen angesetzt.

Lokomotiven eines Incumbent werden sowohl im Personenverkehr bei lokbespannten Zügen oder auch als Triebfahrzeug im Güterverkehr eingesetzt.

Das angenommene Einsatzgebiet kann als international angesehen werden, mit vielen grenzüberschreitenden Verkehren auf den TEN-Netzen.¹⁴

Aufgrund seiner Größe und seiner historischen Entwicklung wird ein Incumbent die meisten Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten in eigenen Werkstätten verrichten.

3.1.2 Kleines EVU

Für die weitere Bearbeitung wird davon ausgegangen, dass nur eine geringe Anzahl von ungefähr 50 Lokomotiven eines Typs gekauft wurden, um Verkehre von Kunden bedienen zu können.

¹² Darstellung in Anlehnung an Internet [31].

¹³ Beispiele für ein Incumbent im Eisenbahnsektor ist für Deutschland die DB oder die ÖBB für Österreich.

¹⁴ Beim Trans-European Network (TEN) handelt es sich um transeuropäische Verkehrskorridore für den Personen- und Güterverkehr auf der Schiene.

Der Fokus in der Nutzung liegt im Erbringen von Verkehrsleistungen im Güterverkehr für verschiedene Kunden. Der Transport von Personen wird meistens durch den Incumbent des jeweiligen Landes abgewickelt.

In Bezug auf das Einsatzgebiet der Lokomotiven eines kleinen EVU wird sowohl von nationalen als auch internationalen Verkehren ausgegangen.¹⁵

Hierbei können sich auch Situationen ergeben, dass kleine EVU Leistungen von Incumbents übernehmen, so wie aktuell am Beispiel der DB Cargo in Deutschland zu lesen ist: Aufgrund von fehlenden Betriebsmitteln können bestimmte international verkehrende Güterzüge nicht mehr bedient werden. Deshalb werden kleine EVU als Subunternehmer bestellt, um die Verkehre im Namen der DB Cargo durchführen zu können.¹⁶

Die Arbeiten für Wartung und Instandhaltung von eingesetzten Fahrzeugen werden je nach Geschäftskonzept von eigenen oder externen Werkstätten durchgeführt.¹⁷

3.1.3 Großabnehmer

Ein Großabnehmer kann sich zum einen aus einem kleinen EVU entwickelt haben, das mit der Zeit immer mehr gewachsen ist und dementsprechend auch einen immer größeren Fuhrpark an Lokomotiven aufgebaut hat.

Zum anderen kann es sich auch um eine Leasinggesellschaft handeln, die Fahrzeuge nur an Dritte vermietet und selbst keine Verkehre bedient.¹⁸ Als eine realistische Zahl kann in beiden Fällen von 100 bis 200 Lokomotiven ausgegangen werden.

Die Personalstärke eines Kunden vom Typus eines Großabnehmers ist aufgrund der unterschiedlichen Geschäftsmodelle in diesem Bereich schwer einzuschätzen. Bei einer Leasinggesellschaft werden ungefähr 40 Personen beschäftigt sein.¹⁹ Die Personalstärke in diesem Bereich kann für einen Großabnehmer, der selbst Güterverkehre durchführt, zwischen einem kleinem EVU und einem Incumbent angesetzt werden.

Genau wie beim kleinen EVU wird auch beim Großabnehmer ein Fokus bei den durchgeführten Verkehren auf den Transport von Gütern (sowohl im Einzelwagenladungsverkehr als auch im Transport von Ganzzügen) angenommen.²⁰ Es gibt auch Fahrzeuge, die von einem Großabnehmer im Personenverkehr eingesetzt werden können, aber die große Mehrheit wird im Güterverkehr eingesetzt (siehe Abbildung 7).

¹⁵ Internet [25]: <https://www.captrain.de/impressum.html>.

¹⁶ Vgl. Eisenbahn-Kurier, Ausgabe 6/2019, S. 8.

¹⁷ Internet [25]: <https://www.captrain.de/impressum.html>.

¹⁸ Internet [26]: <https://www.ell.co.at/de/lokomotiven/>.

¹⁹ Internet [27]: <https://www.ell.co.at/de/leidenschaft/>.

²⁰ Internet [34]: <https://www.eg-potsdam.de/de/wagenverkehre.html>.



Abbildung 7: Personenverkehr von Sonneberg nach Nürnberg²¹

Das Einsatzgebiet der Fahrzeuge ist wiederum ähnlich zu einem Incumbent: Bestimmte Varianten der Vectron-Plattform (und auch anderer Hersteller) sind Mehrsystemlokomotiven, die durch ihre Zulassung und technische Ausrüstung nicht nur in einem Land eingesetzt werden können.

Je nach Entstehungsgeschichte kann ein Kunde vom Typus des Großabnehmers entweder mehr auf eigenes Personal bei Wartung und Instandhaltung setzen oder sich auf die Dienstleitungen externer Partner in Form von sogenannten „Full Service-Konzepten“ verlassen. Auch Mischformen sind je nach Tätigkeit oder Einsatzregion der Fahrzeuge möglich.²²

3.2 Notwendige Eigenschaften

In diesem Kapitel werden Anforderungen an die Eigenschaften eines elektronischen Schließsystems auf Basis von NFC definiert. Es wird davon ausgegangen, dass diese Eigenschaften zwingend notwendig sind, um das fertige Produkt später erfolgreich am Markt verkaufen zu können.

²¹ Quelle: Ausschnitt aus <https://www.flickr.com/photos/134997500@N03/26394182998> (21.07.2019).

²² Internet [28]: <http://www.mrce.eu/de/service/>.

Aufgrund der Kundenakzeptanz müssen die so definierten notwendigen Eigenschaften von jeder möglichen technischen Lösung erfüllt werden. Wird an einer Entwicklung gearbeitet, die diese Punkte nicht abdecken kann, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass der Kunde das Produkt nicht kauft, weil es seine Bedürfnisse nicht erfüllt.

Die als *Festforderung* bezeichnete Eigenschaft an ein elektronisches Schließsystem besteht in der Fähigkeit, die Tür, in der das System eingebaut ist, sicher zu verschließen.²³ Dieser Punkt wird in der weiteren Betrachtung nicht weiter aufgeführt werden, weil es für alle potenziellen Systeme verständlich sein sollte, dass diese Festforderung erfüllt wird.

Um die weiteren Anforderungen an die Eigenschaften eines elektronischen Schließsystems besser strukturieren zu können, werden im Folgenden mögliche Wünsche des Kunden und technische Eigenschaften auf Basis eigener Überlegungen als Bewertungsmerkmale aufgeführt:²⁴

Bewertungsmerkmale

- Geringer Anschaffungspreis
- Einfache Handhabung
- Hohe Zuverlässigkeit
- Langer Vorhalt von Ersatzteilen (> 30 Jahre)
- Kompakte Bauweise
- Robustheit gegen Hackerangriffe
- Leichte Wartbarkeit
- Geringe Lebenszykluskosten
- Stoßfestigkeit
- Verzicht auf proprietäre Schnittstellen zum Fahrzeug
- Hohe Sicherheit gegen Einbrüche/Vandalismus
- Lange Lebensdauer
- Robustheit gegen „Fehlbedienung“ durch Personal

3.3 Experteninterviews

Das Führen von Experteninterviews im Anschluss an die Auflistung der eigenen Definition der nötigen Eigenschaften dient dazu, aus der Fülle der genannten Punkte diejenigen herauszufinden, welche die höchste Bedeutung für die weitere Entwicklung eines elektronischen Schließsystems haben.

²³ Vgl. Verein Deutscher Ingenieure, 1998, S. 2.

²⁴ Die Reihenfolge, in der die genannten Punkte aufgelistet werden, bezieht sich nicht auf die Wertigkeit der Punkte.

Damit dienen die Experteninterviews zum einen als Mittel zur Validierung der selbst aufgestellten Ideen. Zum anderen werden die Merkmale bestimmt, die bei der technischen Bewertung in Anlehnung an VDI 2225 den größten Einfluss haben.

Bei den gewählten Experten/innen handelt es sich um Vertreter/innen der Eisenbahnbranche, die in verschiedenen EVU tätig sind. Sie sollen einen Blick auf das Thema aus Sicht der drei verschiedenen Kundentypen bieten.

Die Auswertung der Fragebögen hat ergeben, dass die Mehrheit der befragten Experten und Expertinnen ein Schließsystem auf Basis eines weit verbreiteten Schlüssels (wie dem Kreuzbartschlüssel) als nicht sicher erachten. Damit decken sich die Ansichten von Kundenseite mit der Einschätzung seitens der Herstellerseite.

Abbildung 8 fasst das Ergebnis der Auswertung grafisch zusammen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Aufzählung der relevanten Punkte nach Kundentypen gruppiert ist.

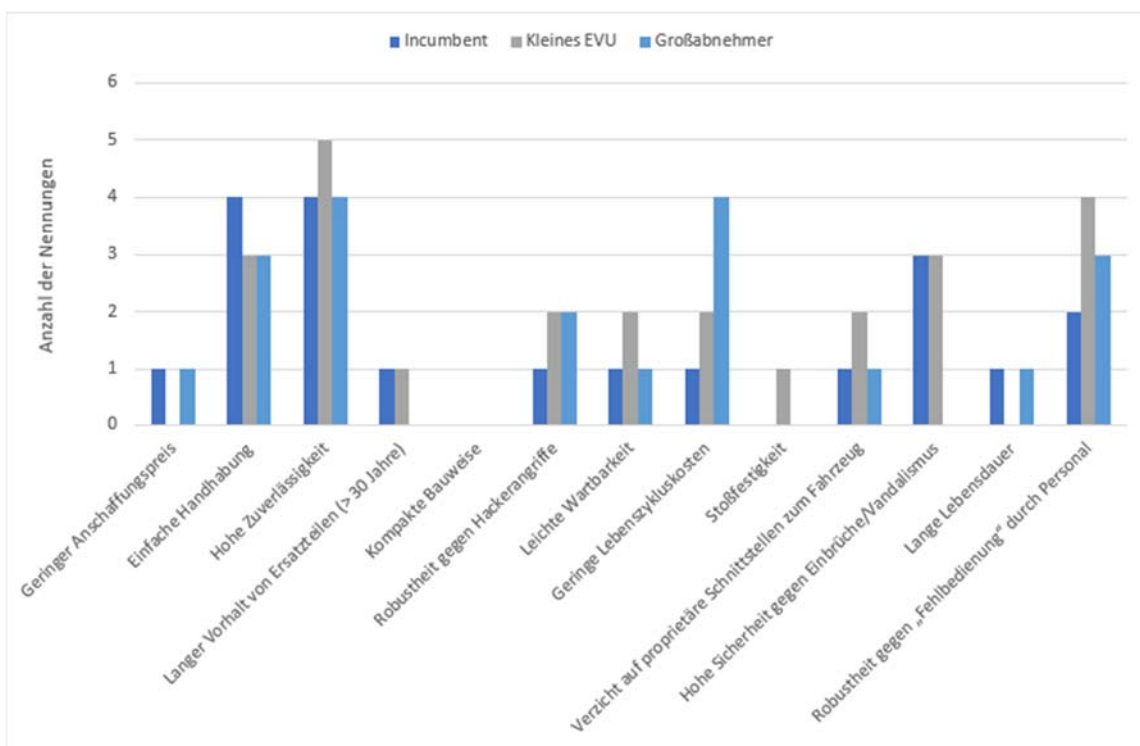


Abbildung 8: Ergebnis der Auswertung der Experteninterviews²⁵

Somit wird zum Beispiel erkenntlich, dass Punkte wie ein geringer Anschaffungspreis oder eine kompakte Bauweise als nicht relevant eingestuft werden. Im Gegensatz dazu wird eine einfache Handhabung oder eine hohe Zuverlässigkeit von den befragten Experten/innen als besonders wichtig erachtet.

²⁵ Quelle: Eigene Darstellung.

3.4 Ablauf Vermietung

Der Betriebsablauf eines Großabnehmers, der Lokomotiven angeschafft hat, um sie an andere EVU zu vermieten, ist in zwei Phasen aufgeteilt. Zuerst erfolgt eine Planungsphase, der eine Betriebsphase nachgelagert ist.

Zu Beginn der Planungsphase steht die Anfrage eines EVU, ob eine Lokomotive verfügbar ist (siehe Abbildung 9). Hierbei sind für die Verfügbarkeit folgende Punkte von Bedeutung:

- **Mietdauer**

In der Branche ist eine Mietdauer zwischen Großabnehmer und EVU von bis zu fünf Jahren üblich. Dabei handelt es sich dann um sogenannte Fixkunden mit Lokbindung. Daneben gibt es noch Fahrzeuge, die für einen kürzeren Zeitraum von ein paar Monaten angemietet werden, um zum Beispiel den Ausfall einer eigenen Lokomotive zu kompensieren. Für die weitere Betrachtung wird davon ausgegangen, dass 90 % der Lokomotiven eines Großabnehmers an Fixkunden mit Lokbindung gehen.

- **Fahrzeugart und -menge**

Ausschlaggebend für die Wahl des Fahrzeugs ist das geplante Einsatzgebiet. Wird in nur einem nationalen Netz (wie zum Beispiel dem 15 kV Wechselstromnetz in Deutschland) gefahren, benötigt das EVU nur eine AC-Variante mit deutscher Netzkennung. Werden stattdessen internationale Verkehre durchgeführt, werden Mehrsystemlokomotiven benötigt, die in jedem betroffenen Land verkehren dürfen.

- **Beginn der Anmietung**

Je nachdem, aus welchem Grund eine Anmietung durch ein EVU in Erwägung gezogen wird, kann der anvisierte Beginn der Anmietung einige Monate aber auch nur einige Tage in der Zukunft liegen.

Nach erfolgreichem Abschluss der Prüfung auf Verfügbarkeit erfolgt die Regelung der Vertragsmodalitäten. Während Bestandskunden diesen Schritt relativ kurzfristig abschließen können, kann es bei Neukunden viel länger dauern, bis der Mietvertrag unterschrieben ist.²⁶

Je nach Mietvertrag kann es dem EVU auch erlaubt sein, die gemietete Lokomotive(n) während des Mietzeitraums an andere EVU unterzuvermieten. Das gibt dem anmietenden EVU eine höhere wirtschaftliche Flexibilität. Dies dazu, dass mehr Personen Zugang zum Fahrzeug benötigen.

²⁶ Neben den Kosten der Anmietung wird zum Beispiel auch geklärt, wo die Lokomotive für das EVU abgestellt wird. Wird ein Fahrzeug für eine Transportleistung in Italien angefragt, aber das Fahrzeug steht noch in Österreich nach Ende einer anderen Anmietung, muss geklärt werden, wer sich um die Überführung der Lokomotive an ihren Bestimmungsort kümmert. Das kann entweder direkt durch das EVU erfolgen oder es werden Subunternehmer angestellt, die auf Kosten des EVU eigenständig die Überführung erledigen.

Je nach Kunde und Anfrage kann eine solche Planungsphase bis zum unterschriebenen Vertrag weniger als eine halbe Stunde oder bis zu mehreren Monaten dauern.

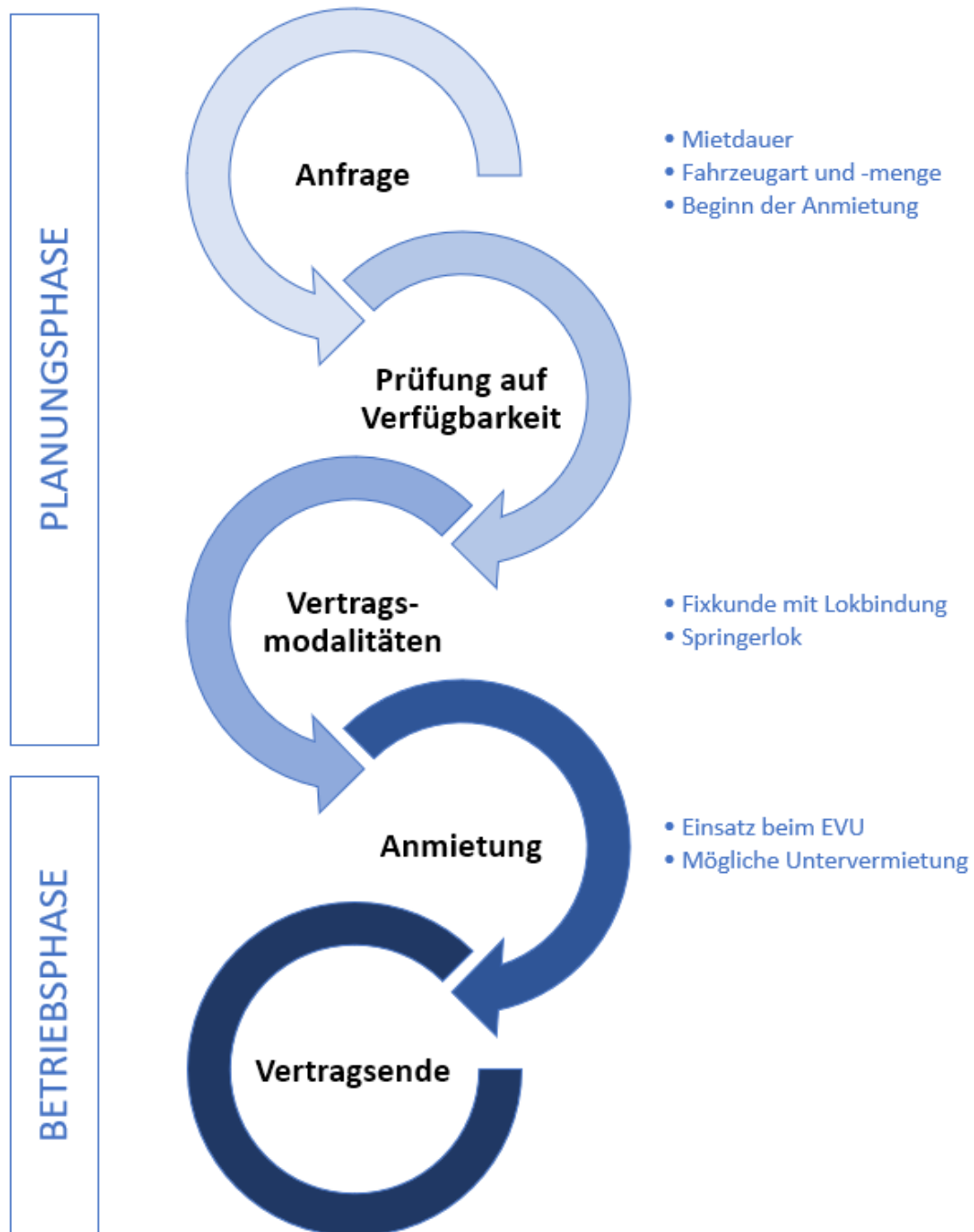


Abbildung 9: Ablaufdiagramm einer Anmietung²⁷

²⁷ Quelle: Eigene Darstellung.

Neufahrzeuge werden erst dann durch den Großkunden beim Hersteller in Auftrag gegeben, wenn die Vertragsmodalitäten mit dem EVU für die Anmietung geregelt sind. Hierzu werden Optionen aus Rahmenverträgen abgerufen. In dieser Phase der Bestellung durch den Großkunden wird dann auch definiert, welches Schließsystem in die Lok verbaut wird.

In der Praxis hat sich durchgesetzt, dass der Großabnehmer seinen Kunden die gewünschte Anzahl an Schlüsseln für die Betriebsphase zur Verfügung stellt (siehe Abbildung 9). Es steht jedem EVU frei, die entsprechenden Schlüssel direkt bei einem Hersteller zu kaufen.

Sind Mietverträge mit einem EVU ausgelaufen und wurden nicht verlängert, gehen die Lokomotiven als verfügbare Fahrzeuge zurück in den Fahrzeugpool des Großabnehmers. Die Schlüssel verbleiben in der Regel beim EVU, weil es sich um den gängigen Kreuzbartschlüssel handelt, der eine weite Verbreitung auf vielen Fahrzeugen unterschiedlicher Hersteller hat.

3.5 Zusammenfassung zu betrieblichen Anforderungen

Es gibt nicht nur eine allgemeine Kundengruppe, die als potenzieller Käufer für ein elektronisches Schließsystem auf Basis von NFC in Frage kommt. Es wurden drei Kundentypen definiert, die unter anderem unterschiedliche viele Fahrzeuge und Einsatzgebiete besitzen.

Die Auswertung der Experteninterviews hat gezeigt, dass es eine große Übereinstimmung in den gewünschten technischen Eigenschaften an ein Schließsystem gibt, die unabhängig vom Kundentyp Relevanz besitzen.

Viele Interviews haben gezeigt, dass es ein grundsätzliches Interesse von Kundenseite an einem elektronischen Schließsystem auf Basis von NFC gibt.

4 Konzeptvorstellung

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden drei Konzepte vorgestellt, die für die Anwendung als elektronisches Schließsystem auf Basis von NFC im Bahnbereich für Lokomotiven Anwendung finden könnten.

Darüber hinaus wird mittels Benchmarking dargestellt, welche vergleichbaren Anwendungen in anderen Wirtschaftszweigen schon ihre Anwendung finden und welche Eigenschaften auch auf den Eisenbahnbetrieb übertragen werden können.

4.1 Exkurs: RFID und NFC

NFC wurde von NXP Semiconductors (ehemals Philips Semiconductors) und Sony auf Basis ihrer eigenen auf RFID (Radio Frequency Identification) und Smartcard basierenden Technologien entwickelt.²⁸ Abbildung 10 zeigt ein sogenanntes RFID-Tag.

Internationale Normen für die Spezifikation der Kommunikation mittels NFC sind aktuell ISO/IEC 18092, ISO/IEC 21481 und ISO/IEC 14443 Teile 1 bis 4.²⁹

Bei allen Themen, die über die reine Standardisierung hinausgehen, ist das NFC Forum der zentrale Ansprechpartner.³⁰ Dabei handelt es sich um einen Verband aus Herstellern, Entwicklern, Unternehmen aus der Finanzindustrie und gemeinnützige Organisationen. Ursprünglich wurde das NFC Forum von NXP Semiconductors, Sony und Nokia gegründet.³¹

Lesegeräte erzeugen ein Magnetfeld, welches eine Spannung in der Spule des Tags induziert und somit den Chip mit Energie versorgt. Der Chip nutzt wiederum die Spule als eine Antenne, um dem Lesegerät Informationen zurückzuschicken (siehe Abbildung 10). Damit handelt es sich bei Tags um passive Komponenten, die ohne externe Energiezufuhr durch ein Lesegerät nicht arbeiten können.

²⁸ Vgl. [5]: Roland, 2015, S. 19.

²⁹ Vgl. [21]: Sabella/Mueller, 2016, S. 38ff.

³⁰ Vgl. [5]: Roland, 2015, S. 20.

³¹ Vgl. [5]: Roland, 2015, S. 20.

Über RFID können Daten grundsätzlich immer nur von passiven Tags zu aktiven Lesegeräten übertragen werden und nicht etwa zwischen zwei passiven Tags oder zwei aktiven Geräten. Die Bauweise einzelner RFID-Tags unterscheidet sich auch stark voneinander: So kommunizieren nicht alle Modelle über die gleiche Funkfrequenz, so dass sich die Reichweite der Datenübertragung je nach Typ unterscheiden kann.³²

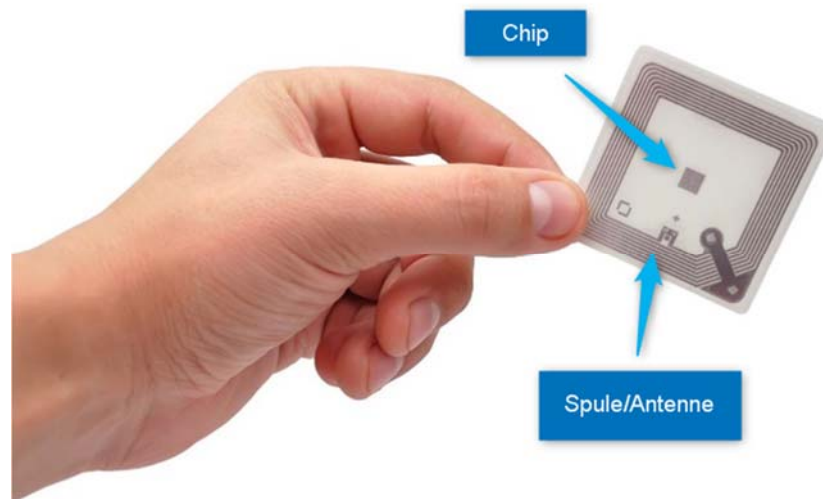


Abbildung 10: Aufbau eines RFID-Tags³³

Wie in Tabelle 2 zu sehen ist, hat das NFC-Forum insgesamt fünf verschiedene Arten (Type 1 bis Type 5) von NFC-Tags definiert. Diese unterscheiden sich unter anderem in ihrer Speicherkapazität oder der möglichen Zugriffsart. So können NFC-Tags vom Type 2 bis 4 in zwei verschiedenen Konfigurationen gekauft werden: Einmal mit Lese- und Schreibrechten und einmal nur mit Leserechten.

Tabelle 2: Überblick der standardisierten Typen von NFC-Tags³⁴

	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5
Speicher	454 Byte	48 - 1904 Byte	1 - 9 KByte	2 – 106 KByte	32 – 256 Byte
Preis	Gering	Gering	Hoch	Normal / Hoch	Gering / Normal
Zugriffsart	Read/Write	Read/Write oder Read-only	Read/Write oder Read-only	Read/Write oder Read-only	Read/Write
Standard	ISO/IEC 14443	ISO/IEC 14443	JIS 6319-4	ISO/IEC 14443	ISO/IEC 14443

³² Vgl. [21]: Sabella/Mueller, 2016, S. 64.

³³ Quelle: In Anlehnung an <https://pixfeeds.com/images/5/277854/1200-133759230-rfid-tag-in-hand.jpg> (02.07.2019).

³⁴ Quelle [21]: Modifiziert übernommen aus Sabella/Mueller, 2016, S. 46.

Die verschiedenen Arten von NFC-Tags aus Tabelle 2 verwenden nicht alle denselben Kommunikationsstandard ISO/IEC 14443. Bei Type 3 handelt es sich um eine spezielle Art des NFC-Tags, die von Sony für das elektronische Bezahlen entwickelt worden sind und eine große Verbreitung in Japan besitzen.³⁵ Aus diesem Grund kann diese Art von NFC-Tags für die weitere Entwicklung außer Acht gelassen werden.

4.1.1 Vergleich der Anwendungsbereiche

In Chipkarten eingebettete RFID-Chips finden heutzutage ihre Anwendung unter anderem im Bereich des bargeldlosen Bezahls im öffentlichen Nahverkehr (zum Beispiel als Oyster Card in London oder OV-chipkaart in den Niederlanden) oder zur Regelung von Zutrittsrechten auf Parkplätze oder Bürogebäude.

Die laut eigenen Aussagen weltweit am meisten genutzte Chipkartentechnik auf Basis von RFID ist die Produktfamilie MIFARE von NXP Semiconductors.³⁶

NFC besitzt aufgrund seiner Architektur noch weitere Anwendungsmöglichkeiten im Vergleich zu RFID, weil der ansonsten passive Empfänger auch eigenständig als Sender arbeiten kann:³⁷

- NFC-fähige Handys können bei Autos den Zündschlüssel ersetzen und Komfortfeatures können personenbezogen abgespeichert werden
- Einfaches Pairing verschiedener Teilnehmer für eine Bluetooth-Verbindung (zum Beispiel zwischen Tablet und Bluetooth-Lautsprecher)
- NFC-fähige Handys können als „Digital Wallet“ zum kontaktlosen Zahlen in Supermärkten Anwendung finden

4.1.2 Arbeitsweise NFC

Während bei RFID nur Daten vom Empfänger ausgelesen werden können, bietet NFC auch die Möglichkeit, dass beide Kommunikationsteilnehmer Daten senden und empfangen können. Insgesamt gibt es drei verschiedene Arbeitsweisen (operating modes)³⁸, die an dieser Stelle kurz vorgestellt werden sollen:

³⁵ Vgl. [21]: Sabella/Mueller, 2016, S. 47.

³⁶ Internet [16]: <https://www.mifare.net/en/>.

³⁷ Vgl. [5]: Roland, 2015, S. 19ff.

³⁸ Vgl. [21]: Sabella/Mueller, 2016, S. 64ff.

■ peer-to-peer mode

NFC-spezifischer Kommunikationsmodus, der zwei NFC-fähigen Geräten erlaubt, miteinander zu kommunizieren. Das dabei grundlegende verwendete Kommunikationsprotokoll basiert auf der Norm ISO/IEC 18092.³⁹ Durch die Arbeit des NFC Forums wurden weitere komplexere Protokolle spezifiziert, wie zum Beispiel das LLCP (Logical Link Control Protocol).⁴⁰

■ reader/writer mode

In diesem Modus können NFC-Geräte mit passiven NFC-Empfängern interagieren. Passiv bedeutet dabei, dass der Empfänger nicht von sich aus mit anderen Geräten in der Nähe kommunizieren kann. Darüber hinaus können in diesem Modus auch Daten mit bestimmten RFID-Transpondern und Smartcards ausgetauscht werden, wenn sie nach ISO/IEC 14443 [Part 1-4] and JIS 6319-4 [von 2005] konzipiert sind.⁴¹ Diese Möglichkeit steigert die Interoperabilität von NFC mit bereits vorhandenen Techniken.

■ card emulation mode

Das NFC-Gerät kann in diesem Modus auf verschiedene Weisen eine kontaktlos arbeitende Smartcard nachbilden. Hierbei dient NFC aber nur als Übertragungsmittel der Daten. Die Verarbeitung der sicherheitsrelevanten Daten erfolgt über einen eigenen Chip im NFC-Gerät, dem sogenannten *Secure Element*. Das Konzept der Smartcard basiert auch auf RFID und somit können NFC-Geräte in diesem Modus auch mit entsprechend ausgerüsteten RFID-Lesern interagieren.⁴²

Ein aktives Gerät kann zur Datenübertragung wie bei RFID ein moduliertes Radiosignal von 13,56 MHz aussenden.⁴³ Nur aktive Geräte können eine Kommunikation zwischen einem oder mehreren Empfängern initiieren.

Je nach verwendeter Baudrate⁴⁴ wird entweder von einer Miller-Kodierung (106 KBd) oder einer Manchester-Kodierung (> 106 KBd) gesprochen. Beide Formen der Kodierungen verwenden unterschiedliche Modulationen des Radiosignals, was wiederum einen Einfluss auf die Übertragungssicherheit hat.⁴⁵

³⁹ Vgl. [5]: Roland, 2015, S. 20.

⁴⁰ Vgl. [5]: Roland, 2015, S. 20.

⁴¹ Vgl. [21]: Sabella/Mueller, 2016, S. 65.

⁴² Vgl. [21]: Sabella/Mueller, 2016, S. 41.

⁴³ Vgl. [21]: Sabella/Mueller, 2016, S. 70.

⁴⁴ Bei der Baudrate handelt es sich um eine Angabe, wie oft ein Signal in einem Kommunikationskanal den Zustand ändert kann (Baud = Bd). Sie ist nicht identisch mit der bekannteren Datenübertragungsrate (Bit pro Sekunde = bps), auch wenn es Fälle gibt, in denen beide Werte identisch sein können: Zum Beispiel bedeutet eine Baudrate von 9600 Bd, dass der Kanal seinen Signalzustand (von Null zu Eins oder Eins zu Null) bis zu 9600 Mal pro Sekunde ändern kann. Die Baudrate ist hier der Bitrate identisch, die in diesem Beispiel 9600 bps betragen würde. Werden pro Baud mehr als ein Bit übertragen, vergrößert sich dementsprechend auch die Datenübertragungsrate im selbes Verhältnis gegenüber der Baudrate.

⁴⁵ Vgl. [11]: Haselsteiner/Breitfuß, S. 2.

Geräte im passiven Modus übertragen ihre Daten immer in der Manchester-Kodierung, bei der eine Modulation von 10 % verwendet wird. Das bedeutet, dass in Übertragungspausen die Stärke des Radiosignals nur auf etwa 82 % absinkt. Bei der Miller-Kodierung wird eine Modulation von 100 % angewendet. Dabei wird in Übertragungspausen kein Signal übertragen.⁴⁶

4.1.3 Sicherheitsaspekte

Wie jede Technologie bietet NFC aufgrund seiner Architektur Angriffspunkte, die von Unbefugten ausgenutzt werden können, um sich zum Beispiel Zugang zur Steuerungssoftware zu verschaffen und Daten zu manipulieren.

Das Datenprotokoll, das die Kommunikation der Teilnehmer einer NFC-Verbindung festlegt, ist nicht verschlüsselt. Entwickler/innen von Anwendungen, die NFC beinhalten, müssen dieser Tatsache Rechnung tragen, indem sie die zu übertragenden Daten selbst verschlüsseln und somit für Außenstehende unlesbar machen.

In den folgenden Abschnitten sollen einige Punkte beleuchtet werden, die bei der Verwendung von NFC in einem elektronischen Schließsystem nicht außer Acht gelassen werden sollten.

4.1.3.1 Lauschangriff

Die Kommunikation zwischen Sender und Empfänger bei der Verwendung von RFID kann bis zu 25 m betragen.⁴⁷ Im Gegensatz dazu beträgt die Distanz zwischen Sender und Empfänger bei der Kommunikation mit Hilfe von NFC zwischen vier und maximal zehn Zentimetern.⁴⁸ Dies ist ein erheblicher Faktor, der zur Sicherheit von Datenkommunikation mittels NFC gegenüber RFID beiträgt.

Der Versuch, eine Kommunikation zu belauschen, muss aus einer geringen Entfernung geschehen, die jedem autorisierten Nutzer schnell auffallen sollte. Außerdem wird darauf hingewiesen, dass es aufgrund von weiteren Faktoren technisch fast unmöglich ist, ein Abhören einer NFC-Verbindung erfolgreich durchzuführen.⁴⁹

⁴⁶ Vgl. [11]: Haselsteiner/Breitfuß, S. 6.

⁴⁷ Vgl. [21]: Sabella/Mueller, 2016, S. 26.

⁴⁸ Vgl. [11]: Haselsteiner/Breitfuß, S. 1.

⁴⁹ Vgl. [11]: Haselsteiner/Breitfuß, S. 4f.

Bei einem aktiven Sender kann ein Lauschangriff noch auf Entfernungen bis 10 m erfolgreich verlaufen.⁵⁰ Ändert sich das Übertragungsverhalten aber in einen passiven Sender, dann reduziert sich diese Entfernung auf nur noch 1 m. Somit ist ein Lauschangriff mit der geeigneten Ausrüstung auf größere Entfernungen möglich, als die Kommunikation zwischen NFC-Geräten normalerweise beträgt.

Es ist also nicht zu verhindern, dass unbefugte Personen eine Kommunikation auf Basis von NFC belauschen können. Wird jedoch eine Verschlüsselung bei der Kommunikation angewendet, kann dieser Gefahr mit geringem Aufwand begegnet werden.

4.1.3.2 Störsender

Es besteht aber noch immer die Möglichkeit, dass ein weiter entfernter Störsender die verwendeten Frequenzen aktiv stört und damit eine Kommunikation der Teilnehmer in einer NFC-Verbindung unterbricht. Ein solches Verhalten bringt der angreifenden Person aber keinen Gewinn oder Zugang zur Lokomotive. Deswegen wird dieser Punkt für die weitere Betrachtung als nicht kritisch angesehen.

4.1.3.3 Man-in-the-Middle-Attack

Bei einer Man-in-the-Middle-Attack schaltet sich eine dritte Partei unbemerkt in die Kommunikation zwischen zwei Teilnehmern ein. Damit wäre es theoretisch möglich, gesendete Daten zu manipulieren, bevor sie beim Empfänger ankommen.

Eine Attacke im *reader/writer mode* ist praktisch unmöglich durchzuführen:⁵¹ Entweder bemerkt der Sender die Manipulation seiner Datenverbindung, oder das zweite Radiosignal der dritten Partei überlagert die Datenübertragung des Senders und macht die Kommunikation mit dem Empfänger fast unmöglich.

Bezogen auf eine Kommunikation im *peer-to-peer mode* gibt es auch Hindernisse, die eine solche Attacke praktisch unmöglich machen:⁵² Der erste Teil der Kommunikation kann genauso beeinflusst werden, wie im Beispiel mit *reader/writer mode* und einem passiven Empfänger. In diesem Fall schaltet der Sender aber nach der Übertragung der Daten selbst auf Empfang von Daten um. In diesem Fall würden von der dritten Partei aber erst die manipulierten Daten ausgesendet werden, die dann aber beide Teilnehmer erhalten würden.

⁵⁰ Vgl. [11]: Haselsteiner/Breitfuß, S. 5.

⁵¹ Vgl. [11]: Haselsteiner/Breitfuß, S. 6f.

⁵² Vgl. [11]: Haselsteiner/Breitfuß, S. 7.

4.1.3.4 Auslesen und Klonen

Sind NFC-Chips auf einem Handy verbaut, sind sie so ausgelegt, dass kein Zugriff auf die Daten des Handys möglich ist.⁵³ Somit ist es nicht möglich, dass ein gehackter NFC-Chip Daten des Handys auslesen und versenden kann.

Als zusätzlicher Sicherheitsaspekt ist die NFC-Funktion deaktiviert, wenn das Handy nicht entsperrt ist.⁵⁴

Es ist jedoch möglich, dass ein infiziertes Handy sich unerlaubten Zugriff auf den verbauten NFC-Chip verschafft und dort gespeicherte Daten ausliest.⁵⁵

Es zeigt sich somit, dass die Systemschwachstelle in der verwendeten Software und nicht in der Technik von NFC steckt. Bei der Entwicklung der entsprechenden Verwaltungssoftware für ein elektronisches Schließsystem ist deshalb auf diesen Punkt besonders zu achten.



Abbildung 11: Schutzhülle für Chipkarten⁵⁶

Werden hingegen Chipkarten verwendet, kann das unerlaubte Auslesen von Daten verhindert werden, indem Schutzhüllen wie in Abbildung 11 verwendet werden. Steckt eine Karte in ihrer Schutzhülle, werden die Radiowellen zur Datenübertragung abgeblockt.

Wird keine Schutzhülle verwendet, können die (verschlüsselten) Daten auf der Karte unbemerkt ausgelesen werden, wenn ein entsprechendes Lesegerät in Reichweite ist oder die Karte widerrechtlich entwendet wurde. Die ausgelesenen Daten können dann auf eine neue Karte geschrieben werden. Es entsteht ein Klon der ursprünglichen Karte.

⁵³ Internet [20]: <https://www.nfc-tag-shop.de/info/nfc-vergleich/rfid-vs-nfc.html>.

⁵⁴ Internet [20]: <https://www.nfc-tag-shop.de/info/nfc-vergleich/rfid-vs-nfc.html>.

⁵⁵ Internet [20]: <https://www.nfc-tag-shop.de/info/nfc-vergleich/rfid-vs-nfc.html>.

⁵⁶ Quelle: Eigene Fotografie (16.06.2019).

Handelt es sich bei dem Lesegerät um ein NFC-fähiges Handy, können die im *reader/writer mode* ausgelesenen Daten vom selben Gerät im *card emulation mode* benutzt werden, um die geklonte Chipkarte nachzuahmen.

Um das Klonen von Karten zu verhindern, müssen starke Verschlüsselungen bei der Kommunikation angewendet werden, die einen Missbrauch zu verhindern.⁵⁷

4.2 Benchmarking

Vor Beginn der Vorstellung der drei verschiedenen Konzepte lohnt es sich, eine Recherche nach vergleichbaren Systemen aus anderen Branchen durchzuführen und diese gegenüber den Anforderungen des Bahnbereichs zu adaptieren.

Es kann somit auf die Erfahrung im Umgang mit diesen Systemen zurückgegriffen werden, um am Ende eine bessere Entscheidung treffen zu können, welche Konzepte die geforderten Eigenschaften aus Kapitel 3.2 erfüllen können.

Es werden beispielhaft vier Systeme ausgewählt, die den Stand der Technik widerspiegeln und deren Eigenschaften genauer auf ihre Anwendbarkeit für ein elektronisches Schließsystem untersucht werden.

4.2.1 Benchmark 1: Elektronische Zutrittskontrolle

Verschiedene Firmen bieten schon heute elektronische Schließsysteme an, die zum Beispiel in Hotels oder Forschungseinrichtungen benutzt werden können. Zwei Anbieter dieser Technologie sind die Firmen WILKA Schliesstechnik mit ihrem eLink-System⁵⁸ und EVVA Sicherheitstechnologie GmbH mit ihrem AirKey-System.⁵⁹

Bei beiden Systemen können die Türen mit dem entsprechenden Schließzylinder mit sogenannten Identmedien geöffnet werden. Identmedien können dabei Schlüssel mit integriertem Transponder, Schlüsselanhänger, NFC-fähige Smartphones, Transponderkarten oder Armbänder sein (siehe Abbildung 12).

⁵⁷ Vgl. [5]: Roland, 2015, S. 37f.

⁵⁸ Internet [6]: <https://www.wilka.de/loesungen/elektronische-schliesssysteme/forschungszentrum-essen>.

⁵⁹ Internet [8]: <https://www.evva.com/de-de/produkte/elektronische-schliesssysteme-zutrittskontrolle/airkey/>.



Abbildung 12: NFC-Anhänger aus PVC⁶⁰

Alle verwendbaren Transponder des eLink-Systems arbeiten mit einem Standard namens MIFARE Classic 1K auf Basis der RFID-Technologie.⁶¹ Der Transponder erhält seine Energie über Magnetfelder mit einer Frequenz von 13,56 MHz, die von entsprechenden Lese- bzw. Schreibgeräten ausgestrahlt werden.

Währenddessen verwendet das AirKey-System NFC und Bluetooth Low Energy (BLE) zur Übertragung von Daten zwischen Identmedium und Türzylinder. Alle vorgestellten Identmedien auf Basis von NFC verwenden ein *Secure Element* (auf diesen Chip wurde in Abschnitt 4.1.2 zur Arbeitsweise von NFC eingegangen).⁶²

Zugriffsberechtigungen werden bei beiden Systemen über eine Verwaltungssoftware zentral vergeben. Das eLink-System von WILKA ist dabei so aufgebaut, dass alle Nutzerdaten der Software an einem oder mehreren Rechnern vor Ort gespeichert werden.

Im Gegensatz dazu werden alle Nutzerdaten bei EVVA zentral auf einem Server der Firma gespeichert. Zugang zur Verwaltungssoftware erfolgt nur über ein Internetportal. EVVA begründet diesen Schritt mit einer höheren Sicherheit der Nutzdaten, weil die Firma allein für die Verschlüsselung der Daten zuständig ist.

Beim eLink-System können Benutzer/innen ihr Identmedium an frei zugänglichen Lesegeräten mit den aktuellen Zugangsberechtigungen laden. Für ein hohes Maß an Sicherheit kann das System auch so eingestellt werden, dass alle Besitzer/innen einer Karte diese zwingend einmal täglich an einem Lesegerät benutzen muss.

⁶⁰ Quelle: <https://www.nfc-tag-shop.de/media/image/66/fd/92/NFC-Anhaenger-Key-PVC-schwarz-5-1.jpg> (10.07.2019).

⁶¹ Internet [7]: <https://www.wilka.de/elektronische-systeme/identmedien/e894-identkarte>.

⁶² Internet [8]: <https://www.evva.com/de-de/produkte/elektronische-schliesssysteme-zutrittskontrolle/airkey/>.

Die Zylinder erhalten beim eLink-System einen aktuellen Datensatz nur dann, wenn jemand mit einer Karte die Tür öffnen will. Somit dienen die Benutzer/innen des Systems zur Übertragung der aktuellsten Zugangsrechte aus der Verwaltungssoftware, wenn sie ihre Zugangsberechtigungen regelmäßig an einem Lesegerät aktualisieren müssen.

Das AirKey-System von EVVA bezieht seine Daten direkt vom Server bzw. von Zugangsdaten, die über die Verwaltungssoftware an ein kompatibles Smartphone gesendet wurden. Andere Identmedien sind solange freigeschaltet, bis in der Verwaltungssoftware die Freigabe entzogen wird.

Der Hersteller betont, dass beim AirKey-System die Liste der freigeschalteten Identmedien an einem Zylinder jederzeit mit einem Smartphone aktualisiert werden kann. Dafür muss der Türzylinder nicht abgesperrt werden. Diese Funktion kommt besonders dann zum Tragen, falls ein Identmedium verloren gegangen ist und die entsprechende Freischaltung nicht mehr gültig sein soll.

Die Schließzylinder der Türen sind bei beiden gefundenen System nicht miteinander vernetzt und beziehen ihre Spannungsversorgung von handelsüblichen Lithium-Batterien. EVVA gibt an, dass bei ihrem System die verbaute Batterie eine Lebensdauer von maximal 30.000 Sperrzyklen (Öffnen und nachfolgendes Schließen des Schlosses) besitzt⁶³.

Bei Bedarf können die Interaktionen eines Nutzers mit den Türen beim eLink-System auf seiner Karte gespeichert werden. Bei erneuter Nutzung eines Lesegeräts werden dann die gespeicherten Daten an die zentrale Verwaltungssoftware zurückgespielt.⁶⁴

4.2.2 Benchmark 2: Komfortzugang bei PKW

Viele Automobilhersteller bieten bei ihren Neuwagen mittlerweile eine Sonderausstattung an, bei der ein sogenannter schlüsselloser *Komfortzugang* verbaut wird [1]:⁶⁵

Dieser Komfortzugang erlaubt das Öffnen, Starten und Schließen des Fahrzeugs in einem Radius von 1,5 Metern, ohne dass der Schlüssel betätigt werden muss. Es muss lediglich die Fernbedienung beispielsweise in der Jackentasche mitgeführt werden.

Bei Berühren der Außengriffe von Fahrer-/Beifahrertür oder Heckklappe wird zwischen Fahrzeug und Fernbedienung die Identifikation abgefragt. Ist diese erfolgreich, entriegelt die Zentralverriegelung und lässt die Tür beziehungsweise Heckklappe öffnen.

⁶³ Diese Zahl ist abhängig von den Umgebungsbedingungen und sollte im Zweifelsfall als geringer angesehen werden.

⁶⁴ Internet [6]: <https://www.wilka.de/loesungen/elektronische-schliesssysteme/forschungszentrum-essen>.

⁶⁵ Internet [1]: <https://www.bmwofffreeport.com/blogs/827/how-bmw-comfort-access-system-work/>.

Wird die Fernbedienung von einer der Antennen im Innenraum des Fahrzeugs erkannt, lässt sich der Motor (ebenfalls ohne Schlüssel) mittels START/STOP-Knopf starten.

Es besteht auch die Möglichkeit bis zu elf Benutzerprofile auf dem Schlüssel zu speichern. Beim Betreten des Fahrzeugs kann ein hinterlegtes Profil ausgewählt werden, um zum Beispiel die personalisierte Einstellung des Fahrersitzes oder der Rückspiegel automatisch einzustellen.

In Zusammenarbeit mit dem Angebot ConnectedDrive bietet BMW auch die Möglichkeit, aus der Ferne den Status der Zentralverriegelung zu überprüfen. Bei Bedarf kann über die Servicehotline das Fahrzeug verriegelt oder geöffnet werden.

In einem weiteren Entwicklungsschritt setzt BMW nun in der neuesten Fahrzeuggeneration auch auf NFC-Karten, mit deren Hilfe das Auto geöffnet und gestartet werden kann (siehe Abbildung 13). Dieses Konzept ist zurzeit eine zusätzliche Option, die zum bestehenden Schlüssel geordert werden kann.



Abbildung 13: NFC-Karte bei BMW⁶⁶

⁶⁶ Quelle: Eigene Fotografie (19.06.2019).

4.2.3 Benchmark 3: Schaltbau Bode

Auf der InnoTrans 2018 in Berlin hat Schaltbau Bode einen Prototyp auf seinem Messestand vorgestellt. Es handelt sich um eine Außentür für Eisenbahnfahrzeuge mit einem integrierten schwarzen Kartenleser samt Nummernfeld (siehe Abbildung 14).

Leider gibt es zu dieser Entwicklung noch keine offiziellen Unterlagen der Firma Schaltbau Bode: Weder auf dem Messestand noch auf der Homepage der Firma⁶⁷ gibt es offizielle Informationen zu finden.



Abbildung 14: Prototyp Schaltbau Bode⁶⁸

Ein Gespräch auf der Messe hat ergeben, dass an dieser Art der Zutrittslösung weiterhin intensiv geforscht werde, um ein serienreifes Produkt zeitnah anbieten zu können.

Zudem soll es möglich sein, die Türe sowohl per Identmedium als auch per Zahlencode öffnen zu können. Weiterhin ist in Abbildung 14 zu sehen, dass die Türe keinen Schließzylinder mehr besitzt, der von außen zugänglich ist.

⁶⁷ Internet [9]: <https://www.schaltbau-bode.com/de/>.

⁶⁸ Quelle: Eigene Fotografie (19.09.2018).

4.2.4 Carsharing

Beim Carsharing werden Straßenfahrzeuge von einem Unternehmen öffentlich zur Miete angeboten. Bekannte Anbieter sind zum Beispiel die deutschen Unternehmen Flinkster⁶⁹ oder SIXT share⁷⁰.

Hierbei haben sich auch über die Jahre Geschäftsmodelle entwickelt, die speziell auf gewerbliche Kunden zugeschnitten sind: Die Anmietung erfolgt über eine einmalig zu Beginn geschlossene Rahmenvereinbarung zwischen dem Carsharing-Anbieter und dem jeweiligen Unternehmen. Nach dem Abschluss können alle berechtigten Mitarbeiter/innen des Unternehmens die Fahrzeuge jederzeit selbständig buchen, abholen und zurückgeben. Es wird keine Kontaktaufnahme zum eigenen Unternehmen oder dem Anbieter benötigt.

Ist die Buchung über die Buchungsplattform des Carsharing-Anbieters erfolgt, kann das reservierte Fahrzeug per Chipkarte oder App auf dem Handy geöffnet werden. Am Ende der Miete wird das Fahrzeug abgestellt und auf dieselbe Art verschlossen.

Die Kombination von Registrierung auf der Buchungsplattform und Authentifizierung durch eine persönliche Chipkarte oder das Handy kann in seinen Grundzügen auch für ein elektronisches Schließsystem auf Basis von NFC genutzt werden.

⁶⁹ Internet [29]: <https://www.bahn.de/p/view/service/mobile/flinkster.shtml>.

⁷⁰ Internet [30]: <https://www.sixt.de/share/>.

4.3 Konzepte für elektronische Schließsysteme

In den folgenden drei Unterkapiteln werden nun die Konzepte im Detail vorgestellt, die sich als neuartiges elektronisches Schließsystem für den Bahnbereich eignen können.

4.3.1 Konzept 1 - Einzellösung

Das erste Konzept namens „Einzellösung“ besteht aus einem neuartigen Schließzylinder, der keine physischen Schlüssel mehr zum Öffnen benötigt. Das Schloss lässt sich nur digital mittels Datenübertragung per NFC öffnen. Abbildung 15 zeigt einen solchen Schließzylinder, wie er an jeder Tür zum Führerstand verbaut werden kann.

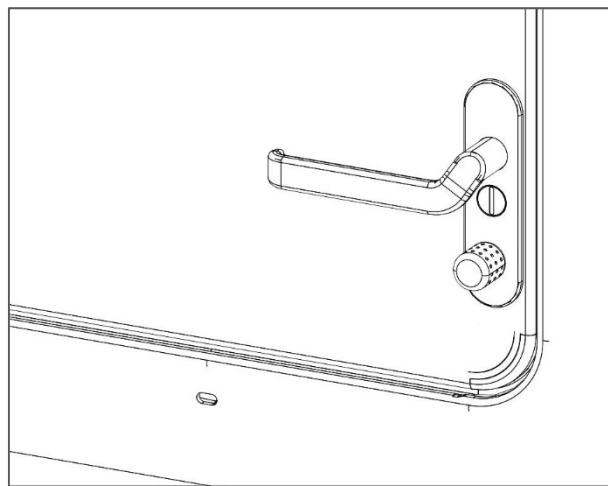


Abbildung 15: Konzept 1 - Einzellösung⁷¹

Aufgrund der Tatsache, dass der neuartige Zylinder für seine Funktion eine Spannungsversorgung benötigt, ist eine Batterie im Zylinder verbaut.

Die Maße des neuen Schließzylinders sind identisch mit der bestehenden analogen Version (zum Beispiel für einen Kreuzbartschlüssel), die zurzeit auf Lokomotiven der Vectron-Plattform verbaut sind. Dies hat den Vorteil, dass keine große Änderung beim Tausch an den Türen des Fahrzeugs vorgenommen werden muss.

Dieses Konzept eignet sich generell für alle drei genannten Kundentypen aus Kapitel 3.1. Unterschiedliche Abnahmemengen je Kundentyp nach Anzahl an Fahrzeugen kann sehr einfach entsprochen werden.

⁷¹ Quelle: Eigene Darstellung.

4.3.2 Konzept 2 - Netzwerklösung

Das zweite Konzept mit dem Namen „Netzwerklösung“ basiert in seinen Grundzügen auf den Komponenten aus dem ersten Konzept aus Kapitel 4.3.1. Auch hier sollen die neuartigen NFC-Schließzylinder ihre Anwendung finden, die an allen Türen der Lokomotive verbaut werden sollen.

Der Unterschied besteht zum einen in der Vernetzung aller Schließzylinder auf dem Fahrzeug untereinander und deren Anbindung an das Internet. Auf diese Weise können Funktionen wie eine Zentralverriegelung oder eine Ferndiagnose bei Problemen mit der Zutrittskarte realisiert werden. Diese Funktionen sind mit dem ersten Konzept nicht realisierbar.

Zum anderen kann bei der Spannungsversorgung auf Batterien in jedem Zylinder verzichtet werden. Die Versorgung kann in diesem Fall über die Batteriespannung der Lokomotive erfolgen⁷². Hierbei muss aber im Hinterkopf behalten werden, dass eine Verbindung zum Bordnetz nur durch einen Übergang erfolgen kann, der zwischen Rahmen und Tür vorzusehen ist. Die Konstruktion eines solchen Übergangs ist mit einem größeren Aufwand bei Konzeption, Material und Montage verbunden.

Dieses Konzept eignet sich nur bedingt für alle Kundentypen aus Kapitel 3.1 gleichermaßen: Für ein kleines EVU stellt sich die Frage, ob es sich lohnt, schon gekaufte Fahrzeuge mit dem neuen System auszurüsten.

Neben den höheren (Anschaffungs-)Kosten, die aufgrund der erweiterten Funktionalität des Konzepts entstehen, sind auch die Ausfallzeiten des umzurüstenden Fahrzeugs höher als beim Konzept aus Kapitel 4.3.1. Im Gegensatz zu größeren Mitbewerbern hat ein kleines EVU nicht so große Kapazitäten an Ersatzfahrzeugen, die während des Werkstattaufenthalts einer Lokomotive deren Leistung übernehmen können. Dieser Punkt entfällt, wenn es sich hingegen um eine Neuanschaffung eines Fahrzeugs handelt, das mit dem elektronischen Schließsystem als Option ausgestattet werden soll.

Großabnehmer und Incumbent haben aufgrund ihrer Unternehmensgröße einen entsprechend größeren Fuhrpark, der viel mehr Reserven besitzt als ein kleines EVU vorhalten kann. Diesen beiden Kundentypen fällt es vergleichsweise leichter, ein paar Tage auf eine Lokomotive zu verzichten, die für einen Umbau in der Werkstatt steht.

⁷² Dieser Schritt ist nicht zwingend notwendig, damit die Funktion der Technik im Konzept gewährleistet ist. Aber da ohnehin eine Datenverbindung der Schlösser zur Lokomotive vorgesehen ist, kann auf diesem Weg auch zusätzlich eine Spannungsversorgung verlegt werden.

4.3.3 Konzept 3 - Neubau

Anstatt das klassische Design einer Tür für den Führerstand einer Lokomotive zu behalten und die neue Zutrittslösung zu integrieren, wird in Konzept 3 mit dem Namen „Neubau“ das komplette System neu entworfen.

Es wird auf ein vernetztes System gesetzt, in dem alle Schlösser auf dem Fahrzeug miteinander kommunizieren können und zusätzlich eine Anbindung ans Internet besitzen, wobei der komplette Schließmechanismus nicht mehr in die Tür, sondern in den Rahmen der Lokomotive integriert. Wie in Abbildung 16 zu sehen ist, tauschen Schloss und Aufnahme des Schließriegels ihren Platz. Ein Lesegerät mit integriertem Nummernpad dient analog zum System von Schaltbau Bode aus Kapitel 0 zur Zutrittsregelung mittels Identmedium oder Zahlencode.

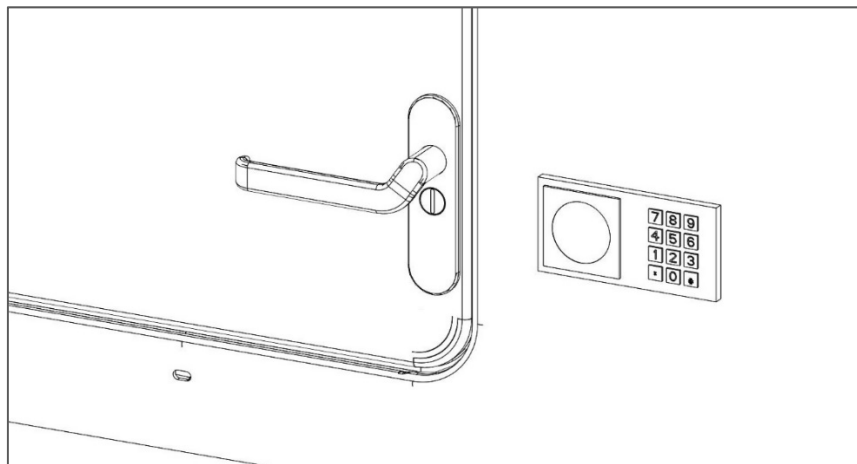


Abbildung 16: Konzept 3 - Neubau mit Nummernpad⁷³

Auch bei diesem Konzept kann analog zum Beispiel von Konzept 2, welches auf einer Netzwerklösung basiert, eine zentrale Spannungsversorgung verwendet werden. Im Gegensatz zu Konzept 2 ergibt sich ein bedeutender Vorteil bei diesem Schritt durch die Position der aktiven Komponenten des Schließsystems im Rahmen der Lokomotive: Es müssen keine Übergänge von der Tür zum Rahmen geschaffen werden, die einen höheren technischen Aufwand bedeuten.

Dieses Konzept eignet sich für alle drei genannten Kundentypen aus Kapitel 3.1 unter der Voraussetzung, dass ein neues Fahrzeug beschafft werden soll. Eine Nachrüstung in bestehende Fahrzeuge der Vectron-Plattform wird aufgrund der hohen zu erwartenden Kosten und technischer Hindernisse nicht weiterverfolgt.

⁷³ Quelle: Eigene Darstellung.

5 Technische Machbarkeit

Die Umsetzbarkeit eines Projektes hängt nicht nur von rein technischen Aspekten ab, wie der Festigkeit einer Schraubverbindung oder der Kapazität eines Akkus. Aus diesem Grund fließen in diesem Kapitel neben technischen Gesichtspunkten unter anderem auch rechtliche und betriebliche Aspekte bei der Bewertung der drei vorgestellten Konzepte aus Kapitel 4.3 mit ein.

Vor dem Hintergrund dieser Aspekte erfolgt nach ihrer Darstellung eine technisch-wirtschaftliche Betrachtung verschiedener Konzepte in Anlehnung an VDI 2225.

Am Ende dieses Abschnittes werden die Ergebnisse noch einmal zusammengefasst, um einen Überblick der gewonnenen Erkenntnisse zum Thema technischer Machbarkeit liefern zu können.

5.1 Produktsicherheit und Qualität

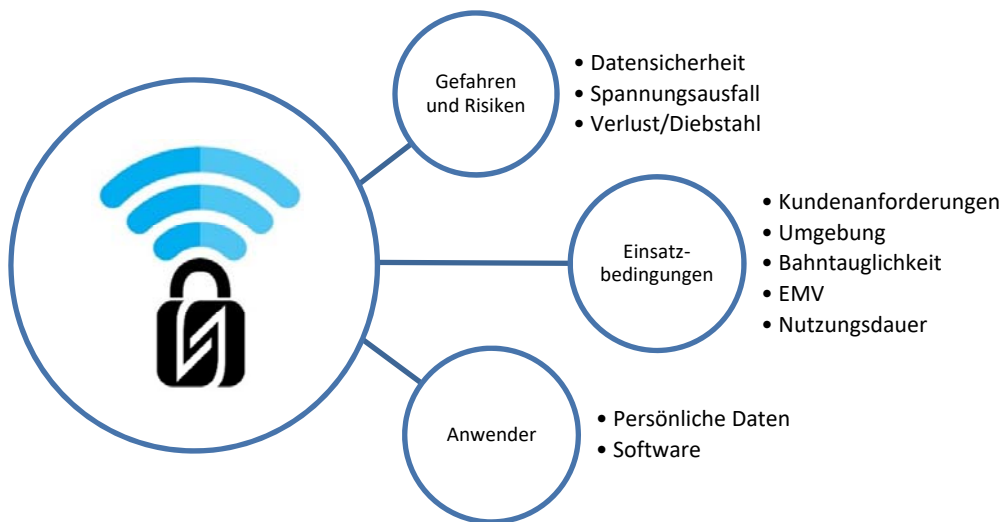
Bevor mit der Bewertung der verschiedenen Konzepte begonnen werden kann, die als ein neues System eingesetzt werden können, muss eine Betrachtung der geltenden Rahmenbedingungen erfolgen, die für das Inverkehrbringen eines elektronischen Schließsystems für den Hersteller relevant sind.

Abbildung 17 gibt dazu einen Überblick zu den Themen, die in den folgenden Abschnitten im Detail angesprochen werden sollen.

Somit kann ausgeschlossen werden, dass Konzepte weiterverfolgt werden, die den Rahmenbedingungen in Bezug auf Produktsicherheit und angestrebter Qualität widersprechen und aus diesem Grund keine Anwendung beim Kunden finden können.

Produktsicherheit betrifft in diesem Zusammenhang die Aufgaben und notwendigen Maßnahmen, die von einem Hersteller eines Produktes wahrgenommen werden müssen.

Dabei spielt es keine Rolle, ob zum Beispiel das elektronische Schließsystem komplett oder nur zum Teil als Komponente von Zulieferern eingekauft wird. Sobald ein Produkt unter dem Namen der Siemens Mobility GmbH auf dem Markt verkauft wird, haftet sie für alle Ansprüche im Schadensfall, der durch ein unsicheres Produkt hervorgerufen wurde.

Abbildung 17: Relevante Rahmenbedingungen⁷⁴

5.1.1 Bahntauglichkeit

An technische Systeme im Bahnbereich sind besondere Anforderungen zu stellen. Das liegt zum Beispiel in der Tatsache begründet, dass Lokomotiven in der Regel eine Nutzungsdauer von mindestens 30 Jahren aufweisen. Dementsprechend sollten auch die einzelnen verbauten Komponenten eine möglichst lange Lebensdauer aufweisen.

Es erscheint deshalb für ein neues Schließsystem als zweckdienlich, eine Bahntauglichkeit nach EN 50155 Anhang G⁷⁵ anzustreben. Das Einhalten von technischen Anforderungen aus dieser Norm kann helfen, das System für eine lange Lebensdauern zu konzipieren.

Es ist jedoch für keine Firma verpflichtend, ihre Produkte nach den Vorgaben dieser Norm auszulegen: In einer Referenzdatenbank⁷⁶ (reference document database = RDD) der ERA (European Union Agency For Railways) finden sich im Internet Angaben der nationalen Sicherheitsbehörden, welche Spezifikationen und Normen zusätzlich zu den Angaben in den TSI eingehalten werden müssen⁷⁷.

⁷⁴ Quelle: Eigene Darstellung.

⁷⁵ Anhang G zur Norm 50155 über „Elektronische Einrichtungen auf Schienenfahrzeugen“ befasst sich mit nicht-bahnspezifisch ausgelegten elektronischen Betriebsmitteln.

⁷⁶ Internet [22]: <https://rdd.era.europa.eu/rdd/>.

⁷⁷ In Mitgliedsstaaten wie Deutschland oder Österreich wird die Norm EN 50155 im Zusammenhang mit Türen zum Beispiel nicht herangezogen.

Folgende sechs Punkte müssen sichergestellt werden:⁷⁸

- Generell soll die Anzahl von nicht bahnspezifisch ausgelegten Betriebsmitteln innerhalb der Gesamtausrüstung auf ein „angemessenes geringes Niveau“ gehalten werden
- Es müssen eine Reihe von Typprüfungen positiv abgeschlossen werden, die in Tabelle 3 aufgelistet sind
- Lieferant oder Inverkehrbringer sollen einen Nachweis über die Betriebszuverlässigkeit vorlegen können
- Es ist eine Isolationskoordination nach EN 50214-1 oder einer gleichwertigen Norm wie EN 60950 durchzuführen
- Besitzen einzelne Komponenten eine geringere Brauchbarkeitsdauer als das gesamte System, sind vorbeugende Maßnahmen vorzusehen
- Eine Schnittstellenspezifikation ist zu erstellen, damit ein Betriebsmittel im Bedarfsfall durch ein Betriebsmittel eines anderen Herstellers ersetzt werden kann

Tabelle 3: Relevante Prüfungen für Prototypen laut EN 50155 Anhang G⁷⁹

Prüfung	Kommentar
Prüfung der Stromversorgung	Beinhaltet u. a. eine Prüfung des Verhaltens bei Schwankungen in der Spannungsversorgung
Prüfung für Anlauf bei niedrigen Temperaturen	Betriebsmittel muss auch bei niedrigen Temperaturen funktionsfähig bleiben
Prüfung mit trockener Wärme	Betriebsmittel muss auch bei hohen Temperaturen funktionsfähig bleiben
Prüfung auf elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	Prüfung hat nach EN 50121-3-2 zu erfolgen
Schwing- und Schockprüfung	Prüfung hat nach EN 61373 zu erfolgen
Auswahlprüfverfahren durch Beanspruchung des Betriebsmittels	Test kann vom Anwender gefordert werden, um verdeckte Herstellungs- oder Bauelementfehler aufzudecken

Es sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, dass diese Prüfungen nicht zwangsläufig alle in ihrem vollen Umfang erfolgen müssen. Aber die Auflistung der relevanten Punkte zeigt deutlich, welche Aspekte alle in Betracht gezogen werden sollten.

⁷⁸ Vgl. Deutsches Institut für Normung e. V., 2018.

⁷⁹ Quelle: In Anlehnung an Deutsches Institut für Normung e. V., 2018.

5.1.2 Datensicherheit

Beim Thema Datensicherheit muss zwischen zwei Aspekten unterschieden werden. Zum einen geht es um die Übertragungssicherheit bei der Nutzung von NFC und zum anderen um die Datensicherheit bei der Kommunikation der Verwaltungssoftware mit der Lokomotive bei einer Anbindung ans Internet.

5.1.2.1 Übertragungssicherheit

Aufgrund der geringen Übertragungsreichweite bei NFC von wenigen Zentimetern ist es von vornherein für Unbefugte schwer, den Datenaustausch zwischen elektronischem Schloss und Identmedium unbemerkt abzufangen, wenn diese Art der Datenübertragung verwendet wird.

Die übertragenden Daten müssen verschlüsselt werden, da die Übertragungsmethode per NFC selbst keine Verschlüsselung bietet. Das System von EVVA verwendet zum Beispiel die Verschlüsselungsverfahren ECDSA (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm) und AES (Advanced Encryption Standard).⁸⁰

Im Vergleich dazu ist die Verwendung von MIFARE Classic 1K bei dem vorgestellten System von WILKA Schliesstechnik aus demselben Kapitel als bedenklich anzusehen. Der Verschlüsselungsalgorithmus CRYPTO 1 wurde schon im Jahre 2008 erfolgreich mittels Reverse Engineering in Zusammenarbeit zwischen dem Chaos Computer Club in Berlin und der University of Virginia rekonstruiert.⁸¹

Auch auf der Herstellerseite wird empfohlen, die Produkte auf Basis von MIFARE Classic nicht mehr in sicherheitsrelevanten Anwendungen zu verwenden.⁸² Stattdessen wurden zwei neue Typen entwickelt, die nicht mehr die Schwachstellen des Vorgängers aufweisen⁸³.

5.1.2.2 Internetanbindung der Lokomotive

Bisher sind auf den Lokomotiven der Vectron-Plattform schon sogenannte RDAs (Remote Data Access) verbaut, die es erlauben, Betriebsdaten des Fahrzeugs über eine Internetverbindung auszulesen.

⁸⁰ Internet [8]: <https://www.evva.com/de-de/produkte/elektronische-schliesssysteme-zutrittskontrolle/airkey/>.

⁸¹ Vgl. Plötz/Krissler/Nohl, 2008, S. 80ff.

⁸² Internet [16]: <https://www.mifare.net/en/>.

⁸³ Hierbei handelt es sich um die Produktfamilien MIFARE PLUS und MIFARE DESFire.

Auch wenn es schon seit Beginn technisch möglich war, wurde aus Sicherheitsgründen darauf verzichtet, Daten per Internet auf die Lokomotive zu übertragen. Wird ein vernetztes System auf Basis der Konzepte 2 und 3 angestrebt, müsste diese Funktion aktiviert werden. Der entsprechende Pfad ist als Nummer 1 in Abbildung 18 dargestellt. Damit würde sich eine zusätzliche Angriffsfläche bei einer bidirektionalen Kommunikation ergeben, die auch andere Funktionen des Fahrzeugs betreffen kann.

Eine Alternative wäre dadurch gegeben, eine Anbindung über die RDA vollkommen außer Acht zu lassen und eine eigene Datenverbindung mit dem Server für die Verwaltung der Nutzdaten aufzubauen. Dieser Pfad wird durch Nummer 2 in Abbildung 18 dargestellt. In diesem Fall wäre aber eine weitere Antenne auf dem Fahrzeug für die Kommunikation nötig.

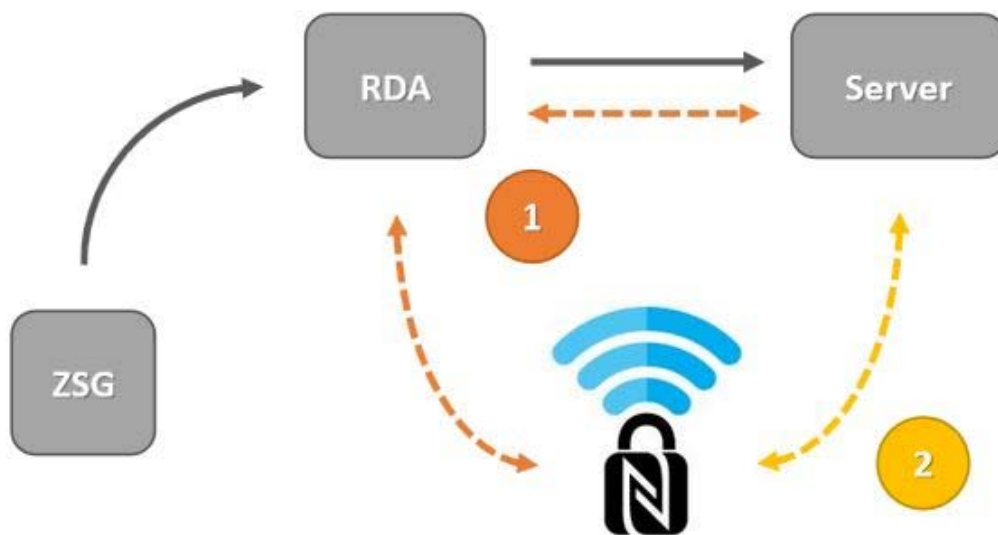


Abbildung 18: Mögliche Übertragungswege bei Internetanbindung⁸⁴

5.1.3 Persönliche Daten

Mit dem neuartigen System können theoretisch während der Nutzung personenbezogene Daten erhoben werden. Es handelt sich also um ein rechtliches Thema, dem große Bedeutung beigemessen werden muss.

Wenn Daten über die Benutzung von Schlüssel in einem Ereignisspeicher für eine spätere Auswertung vorhanden sind, ist es im Nachgang immer möglich nachzuvollziehen, welche/r Nutzer/in zu welcher Zeit und an welchem Ort sich Zutritt zum Fahrzeug verschafft hat⁸⁵.

⁸⁴ Quelle: Eigene Darstellung.

⁸⁵ Im betrieblichen Zusammenhang ist diese Tatsache sogar wünschenswert, da nachvollzogen werden kann, wer zuletzt auf der Lokomotive war, oder ob das Fahrzeug am Ende der Schicht wirklich abgeschlossen wurde.

Genauso kann sich das Personal gegen den Einsatz der neuen Technik wehren, weil es Befürchtungen gibt, dass aufgrund der erzeugten Datenmengen Bewegungsprofile erstellt werden können. Diesen Bedenken muss Rechnung getragen werden: Es sollte im weiteren Entwicklungsprozess eine Lösung erarbeitet werden, wie ein Missbrauch der Daten verhindert werden kann.

Seit dem 25. Mai 2018 gilt die neue EU-Datenschutzgrundverordnung (EU) 2016/679 (DSGVO), an die sich auch die Siemens Mobility GmbH als Anbieter einer digitalen Verwaltungssoftware halten muss. Das von EVVA in Abschnitt 4.2.1 vorgestellte Verwaltungssystem erfüllt laut eigenen Aussagen⁸⁶ schon alle Anforderungen der neuen Verordnung.

Folgende Punkte sind besonders in Bezug auf eine Verwaltungssoftware für ein elektronisches Schließsystem interessant:⁸⁷

- Grundsätzlich sollen keine personenbezogenen Daten⁸⁸ erhoben oder verarbeitet werden. Ausnahmen sind möglich, müssen aber streng reguliert werden
- Gesammelte Daten müssen dem/der Betroffenen oder an Dritte in einem portablen aber dennoch sicheren Format ausgehändigt werden können
- Es muss eine regelmäßige Risikobewertung (Datenfolgenabschätzung) durchgeführt werden
- Im Falle eines Verstoßes gegen die Grundsätze der DSGVO werden Geldbußen in Höhe von bis zu 20 Mio. € oder 4 % des weltweiten Umsatzes des Unternehmens (der höhere Wert entscheidet) verhängt

Da nicht nur der Kunde, sondern auch Personal der Siemens Mobility GmbH als Anbieter der Software während der Nutzungsdauer Zugang zu den Daten erhalten können, muss sich im Verlauf des weiteren Entwicklungsprozess auch Gedanken über den Umgang mit personenbezogenen Daten vor dem Hintergrund der DSGVO gemacht werden.

5.1.4 Spannungsausfall

Bei einem Spannungsausfall handelt es sich um einen Aspekt, der direkt unter das Thema der Bahntauglichkeit eines Systems fällt.

⁸⁶ Internet [8]: <https://www.evva.com/de-de/produkte/elektronische-schliesssysteme-zutrittskontrolle/airkey/>.

⁸⁷ Internet [17]: <https://www.datenschutz.org/eu-datenschutzgrundverordnung/>.

⁸⁸ Bei personenbezogenen Daten kann es sich u. a. um Name, Alter, Kontonummer, Standortdaten, Geschlecht oder Anschrift handeln. Es zeigt sich also, dass der Begriff eine sehr große Menge an Punkten abdeckt.

Es ergeben sich schwerwiegende Probleme für den Betrieb, wenn sich die Türen einer Lokomotive nicht mehr öffnen lassen, weil es keine Spannung zum Versorgen der Schließzylinder gibt. Gerade in Bezug auf das Thema Produktsicherheit und damit verbundener Haftung kann die Siemens Mobility GmbH in einem solchen Fehlerfall mit Ansprüchen auf Schadensersatz durch Produktionsausfall konfrontiert werden.

Genauso verhängnisvoll ist der hypothetische Fall, dass Personen das Fahrzeug nicht mehr verlassen können, wenn das Schließsystem durch einen Spannungsausfall ausgefallen ist oder sich die Türen nicht mehr öffnen lassen, weil durch einen Brand Teile des Systems beschädigt worden sind.

Beim vorgestellten Konzept aus Kapitel 4.3.1 erfolgt die Spannungsversorgung dezentral über Batterien, die im Schließzylinder integriert sind. Es ist eine Überwachung der Spannung der Batterien notwendig, die einen optischen oder akustischen Alarm auslöst, wenn ein vorher definierter Schwellenwert unterschritten wird⁸⁹.

Das in Kapitel 4.2.1 vorgestellte AirKey-System der Firma EVVA zeigt einen niedrigen Batteriestand optisch am Zylinder an. Bei der Verwendung eines Smartphones als Identmedium wird der Status sofort an die Verwaltungssoftware übertragen, die daraus einen Wartungsauftrag generiert.⁹⁰ Ein solches Vorgehen kann auch für das Schließsystem an Lokomotiven übernommen werden.

Bei den beiden anderen Konzepten aus den Kapiteln 4.3.2 und 4.3.3 besteht die Möglichkeit, auf eine Spannungsversorgung durch das Bordnetz der Lokomotive zu wechseln. Ein kompletter Ausfall der Spannungsversorgung ist jedoch in diesem Fall auch nicht komplett auszuschließen. Jedoch kann eine entleerte Fahrzeugbatterie über die Fremdeinspeisung der Lokomotive wieder geladen werden. Danach sind alle angeschlossenen Systeme wieder mit Spannung versorgt und können ihre Funktion wieder aufnehmen.

⁸⁹ Dieser Wert sollte im Idealfall so hoch angesetzt sein, dass zum Beispiel noch 50 Betätigungen vorgenommen werden können, bevor das Schloss seine Funktion verliert.

⁹⁰ Internet [8]: <https://www.evva.com/de-de/produkte/elektronische-schliesssysteme-zutrittskontrolle/airkey/>.



Abbildung 19: Knauf auf Innenseite⁹¹

Es bleibt jedoch zu bedenken, dass auch in diesem Fall niemand Zugriff zur Lokomotive hat, solange die Fahrzeugbatterie entladen ist: Aus diesem Grund ist eine Pufferbatterie im System vorzusehen, die auch beim Ausfall der Bordspannung ein Betätigen der Türen ermöglicht. Die Pufferbatterie kann so ans Bordnetz angeschlossen sein, dass sie im Betrieb des Fahrzeugs immer wieder aufgeladen wird.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass es hinter der Verkleidung des Schließzylinders ein normales Schloss mit einem „Notfallschlüssel“ gibt, welches im Fall eines defekten elektronischen Teils der Anlage dennoch Zugang zum Fahrzeug über mindestens eine Tür erlaubt.

Für den Fall, dass sich noch Personen im Fahrzeug befinden, wenn alle elektronischen Schließsysteme ausgefallen sind, muss ein Knauf an der Innenseite der Zylinder vorgesehen werden. Dieser Knauf kann im Notfall benutzt werden, um die Verriegelung der Türe aufzuheben. In den Fahrzeugen der Vectron-Plattform ist dieser Knauf schon vorhanden (siehe Abbildung 19) und kann weiterhin verwendet werden.

⁹¹ Quelle: Eigene Fotografie (06.07.2019).

5.1.5 Verlust oder Diebstahl

Es kann jederzeit passieren, dass ein Identmedium verloren oder widerrechtlich entwendet wird. Damit unterscheidet sich kein vorgestelltes elektronisches Schließsystem von den klassischen Schließsystemen, die aktuell verwendet werden.

Während bisher entwendete Schlüssel jedoch noch immer benutzt werden können, ist es bei entwendeten Identmedien anders: Die entsprechenden Identmedien können nach Verlustmeldung gesperrt oder gänzlich aus dem System entfernt werden. Damit ähnelt sich der Ablauf dem Sperren einer Kreditkarte, die verlorengegangen ist oder gestohlen wurde.

Elektronische Schlösser, die wie in Konzept 1 „Einzellösung“ aus Kapitel 4.3.1 keine Anbindung ans Internet haben, müssen vor Ort mit einem aktualisierten Datensatz der gültigen Schlüssel aktualisiert werden⁹². Bei den anderen beiden Konzepten kann hingegen eine Aktualisierung über die vorgesehene Internetverbindung erfolgen.

Auch die Beschaffung von Ersatz gestaltet sich unkompliziert: Das Identmedium ist nur noch der Träger für den Zugangscode, der digital darauf abgelegt ist. Somit kann jedes kompatible Identmedium im Notfall als neuer Schlüssel verwendet werden⁹³.

Darüber hinaus kann bei den Konzepten 2 und 3 über die Internetverbindung eine Fernfreischaltung einer Tür des Fahrzeugs durchgeführt werden. Hierzu ist nur zu bedenken, dass das Fahrzeug auch in einem Bereich stehen muss, in dem die Anbindung ans Internet gegeben ist.

Wie in Abbildung 16 im Kapitel 4.3.3 zu Konzept 3 für einen Neubau zu sehen, ist neben dem Kartenleser im Rahmen der Lok auch ein Nummernpad vorgesehen. Falls eine Fernfreischaltung über das Internet aufgrund von mangelnder Netzabdeckung nicht gelingt, kann die Tür auch über einen mehrstelligen Code geöffnet werden. Es wäre möglich eine vordefinierte Liste mit Codes zu generieren, die sich jeden Monat automatisch ändert.

⁹² Dies kann je nach Dringlichkeit durch geschultes Personal im Betrieb erfolgen oder bei der nächsten planmäßigen Wartung im Depot durch die Werkstatt durchgeführt werden. Die Entscheidung für das genaue Vorgehen im Einzelfall bleibt dem jeweiligen Betreiber überlassen.

⁹³ Am besten wäre in diesem Fall ein Diensthandy als Rückfallebene, das auch mit NFC ausgerüstet ist. Über eine App (von der schon in Abschnitt 5.1.7 und 6.2.3 gesprochen wurde) kann ein Schlüssel heruntergeladen werden, um die Funktion des verlorenen Identmediums zu übernehmen.

5.1.6 Elektromagnetische Verträglichkeit

Für die Bewertung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) muss zwischen zwei Arten unterschieden werden, auf die sich die elektromagnetische Verträglichkeit beziehen kann: Zum einen kann das neuartige System Einfluss auf andere Komponenten der Lokomotive und seiner Umgebung nehmen. Zum anderen kann das System selbst durch äußere Einflüsse in seiner Funktion beeinträchtigt werden.

Aufgrund der geringen Reichweite von NFC ist eine Beeinflussung anderer Komponenten des Fahrzeugs fast auszuschließen. Deswegen wird in diesem Kapitel nur auf die äußeren Einflüsse eingegangen, die das System selbst beeinflussen könnten.

Dennoch ist es während der weiteren Entwicklung nicht zulässig, auf eine EMV-Prüfung zu verzichten, bevor das Produkt auf den Markt gebracht wird. Wie schon im Abschnitt 5.1.1 zum Thema Bahntauglichkeit aufgelistet wurde, muss eine EMV-Prüfung nach EN 50121-3-2 durchgeführt werden.

Aufgrund der Tatsache, dass die Kommunikation zwischen Zylinder und Identmedium über hochfrequente Radiowellen stattfindet, gibt es keine Möglichkeit, diese Übertragungsweise durch äußere Störquellen zu schützen. Dieser Punkt kann von Dritten ausgenutzt werden, um ein Öffnen der Türen durch Störsender zu verhindern.

5.1.7 Programmierung und Pflege der Software

Neben Überlegungen zur Datensicherheit müssen sich auch Gedanken zur Programmierung und Pflege der verwendeten Software gemacht werden. Neben der reinen Verwaltungssoftware soll es auch die Möglichkeit geben, eine App auf dem NFC-fähigen Diensthandy zu verwenden. Somit könnte das Diensthandy auch als Schlüssel verwendet werden, wie dies zum Beispiel beim Carsharing möglich ist.

Hersteller wie WILKA Schliesstechnik oder EVVA haben eigene Software entwickelt, die für die Verwaltung der Zutrittsrechte eingesetzt werden. Für die geänderten Einsatzbedingungen im Schienenverkehr müssten Anpassungen vorgenommen werden.

Da es aktuell nicht ersichtlich ist, wie groß der Änderungsumfang sein wird, beziehungsweise ob der Hersteller diese Änderungen auch durchführen will, ist es angebracht, die Entwicklung und Pflege der Software direkt durch die Siemens Mobility GmbH erfolgen zu lassen.

Insbesondere zu Beginn der Vermarktung kann es von Vorteil sein, dass die Entwicklung direkt bei der Siemens Mobility GmbH verbleibt: Bei auftretenden Problemen oder dringenden Änderungswünschen seitens der Kunden kann viel schneller reagiert werden, weil die Schnittstellen zu einem anderen Hersteller fehlen.

Darüber hinaus bleibt das Wissen um den Innovationsgewinn und die Wertschöpfung im Unternehmen. Anhängigkeiten von externen Zulieferern werden damit klein gehalten.

5.1.7.1 Verwaltung der Zutrittsrechte

In der Verwaltungssoftware solle es die Möglichkeit geben, verschiedene Nutzergruppen anzulegen. Je nach Gruppenzugehörigkeit können nur bestimmte Fahrzeuge geöffnet werden oder auch eine Art *Generalschlüssel* angelegt werden. Personal der Siemens Mobility GmbH sollten immer die Möglichkeit haben, auf alle verkauften Fahrzeuge gelangen zu können, während Kunden nur auf ihre eigenen Fahrzeuge Zutritt haben (siehe Abbildung 20).

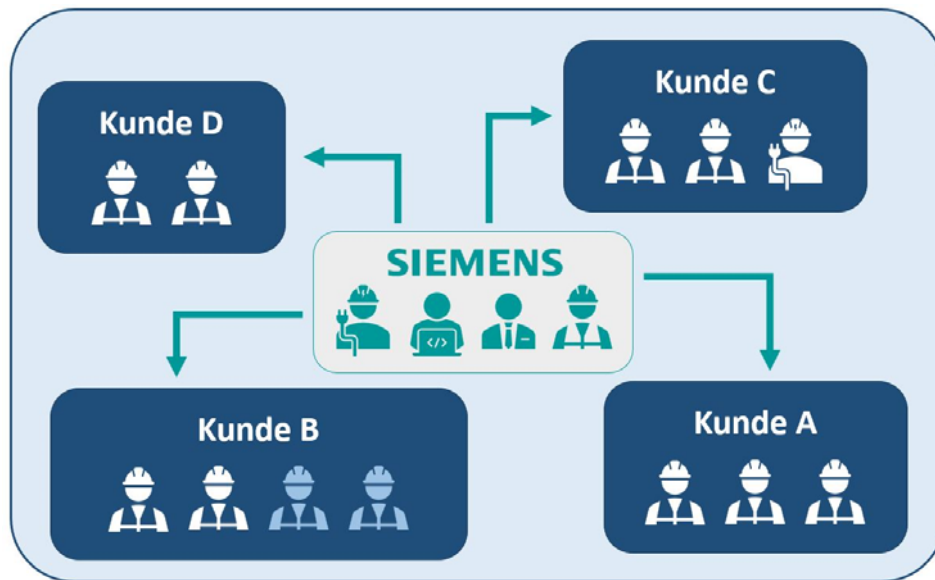


Abbildung 20: Aufteilung der Zutrittsrechte⁹⁴

Es muss zusätzlich überlegt werden, welche weiteren Personenkreise ebenfalls einen Zugang zu allen ausgerüsteten Fahrzeugen benötigen. Hierzu zählt unter anderem Personal von (externen) Werkstätten oder Notfallmanager/innen.

Jeder Kunde kann seine Gruppe verwalten und selbstständig Schlüssel hinzufügen oder sperren: So kann Kunde B aus Abbildung 20 zum Beispiel für das externe Personal (blau eingefärbt) selbstständig über die Verwaltungssoftware Schlüsselkarten für seine Fahrzeuge generieren.

⁹⁴ Quelle: Eigene Darstellung.

Darüber hinaus können in jeder Gruppe Nutzerprofile bearbeitet werden, die zusätzliche Funktionen bieten: Je nach freigeschaltetem Profil können bei Bedarf unterschiedliche Funktionen freigeschalten oder permanent gesperrt bleiben. Personal der Gewährleistung braucht zum Beispiel unbedingt Zugriff auf die digitalen Fahrzeugdaten des Zentralrechners über die Service-Schnittstelle im Führerstand. Wird die Lokomotive über einen nicht dafür befugten Schlüssel geöffnet, wird die Schnittstelle nicht aktiviert und der Zugriff ist blockiert. Diese selektiven Freischaltungen für zusätzliche Funktionen erhöhen die Sicherheit des Gesamtsystems, da alle Benutzer/innen nur auf die Bereiche Zugriff haben, die zum Erledigen der Aufgaben wirklich gebraucht werden.

5.1.8 Nutzungsdauer

Das verbaute System soll wie andere Komponenten einer Lok eine möglichst lange Lebensdauer besitzen. Stromrichter sollten zum Beispiel nicht schon nach einigen Jahren im Einsatz getauscht werden müssen, weil sie ihre technische Nutzungsdauer ausgeschöpft haben.

Jedoch stellt sich bei elektronischen Bauteilen oft das Problem, dass Ersatzteile nicht über die gesamte anvisierte Nutzungsdauer zur Verfügung stehen und obsolet werden.

Entweder muss von Seiten des Herstellers bei der Bestellung darauf geachtet werden, dass die Vorhaltung von Ersatzteilen durch den Zulieferer auf lange Sicht zugesagt wird. Oder das System ist so modular aufzubauen, dass aufgekündigte Komponenten durch andere Teile ohne großen konstruktiven Aufwand ersetzt werden können.

Werden die nötigen Nachweise laut EN 50155 Anhang G beachtet, wird ohnehin gefordert, dass eine Schnittstellenspezifikation zu erstellen ist. Damit kann im Bedarfsfall auf einen anderen Lieferanten gewechselt werden, ohne das komplette System neu auslegen zu müssen.

5.2 Zusammenfassung zur technischen Machbarkeit

Die Überlegungen zum Thema technische Machbarkeit zeigen deutlich, dass die Anforderungen und Abhängigkeiten an ein elektronisches Schließsystem vielschichtig sind.

Gerade dem Thema Spannungsausfall aus Kapitel 5.1.4 ist besondere Aufmerksamkeit bei der technischen Machbarkeit zukommen zu lassen, da keines der vorgestellten Konzepte seine Funktion erfüllen kann, wenn es nicht mit externer Energie versorgt wird.

Aus Sicht der Produktsicherheit und angestrebten Qualität, sollte auch bei einem elektronischen Schließsystem darauf geachtet werden, dass keine unsicheren Produkte verkauft werden.

Der Stand der Technik sollte auf jeden Fall beachtet werden. Um diesen Stand festzustellen dienen unter anderem auch Mittel wie das in Abschnitt 4.2 verwendete Benchmarking.

Es ist angebracht, im weiteren Verlauf der Entwicklung eine vollwertige Risikoanalyse durchzuführen, die sich zum Teil auch auf Erkenntnisse dieser Arbeit stützen kann. Hierbei sollte sowohl der bestimmungsmäßige Gebrauch als auch die Fehlbedienung durch den Anwender betrachtet werden.

6 Wirtschaftliche Betrachtung

Die Einführung eines neuen technischen Systems ist im Regelfall mit hohen Investitionskosten verbunden. Je nach Umfang der Veränderung gegenüber dem Status Quo unterscheiden sich die Höhe der Kosten und die Bereiche, in denen sie auftreten.

In diesem Kapitel wird der Frage nachgegangen, in welchen Bereichen mit welchen Kosten zu rechnen ist. Das gilt sowohl für spätere Endnutzer/innen als auch für den Hersteller des Systems. Es stellt sich die Frage, wo Risiken für die beteiligten Gruppen stecken, die gegen die Anwendung eines neuartigen Schließsystems sprechen.

Neben den anfallenden Kosten sind auch die zu erwartenden positiven Effekte zu betrachten: Für Hersteller sind Gewinne zu erwarten, wenn das neue System am Markt wirtschaftlichen Erfolg hat. Kunden erhoffen sich Einsparungen aus der Nutzung der neuen Technik. Es muss betrachtet werden, welche Gesichtspunkte für den Wechsel auf das neue System sprechen.

Für beide Fragen wird auf monetäre und nicht-monetäre Aspekte eingegangen, die sowohl für als auch gegen das neue System in seinen verschiedenen Konzepten sprechen.

6.1 Monetäre Aspekte

Mit Bezug auf die zweite Forschungsfrage wird in diesem Kapitel untersucht, welche monetären Vor- und Nachteile sich aus der Sicht von Herstellern (in diesem Fall der Siemens Mobility GmbH) und dessen potenzielle Kunden ergeben können.

Die entsprechenden Überlegungen werden der Übersicht halber getrennt nach Hersteller- und Kundensicht aufgeführt.

6.1.1 Herstellersicht

Aus Sicht der Siemens Mobility GmbH entstehen bis zur Marktreife eines elektronischen Schließsystems auf Basis von NFC Kosten für die Entwicklung und Produktionsplanung. Diese Kosten fallen umso höher aus, je aufwändiger das für die spätere Umsetzung gewählte Konzept aus Kapitel 4.3 ist. Da es sich um eine komplette Neuentwicklung für den Bahnbereich handelt, kann in keinem Fall auf ein bestehendes System zurückgegriffen werden.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird in der weiteren Ausarbeitung davon ausgegangen, dass nur eines der Konzepte umgesetzt wird.

6.1.1.1 Vorteile für die Hersteller

Egal welches Konzept weiterverfolgt wird, ergeben sich neue Angebotsmöglichkeiten für den Customer Service der Siemens Mobility GmbH.

Werden Konzept 1 oder 2 aus Abschnitt 4.3 zur Marktreife gebracht, müssen Nachrüstpakete unterschiedlichen Umfangs für bestehende Fahrzeuge eingebaut und in Betrieb genommen werden. Diese Kompetenz sollte nicht an Dritte vergeben werden, um durchgehend für die Qualität der Umsetzung sorgen zu können. Der Neubau nach Konzept 3 wurde von Beginn an so definiert, dass es nur ab Werk bei der Montage des Fahrzeugs verbaut werden kann.

Bei den anderen beiden Konzepten aus den Abschnitten 4.3.2 und 4.3.3 kommt noch die Tatsache hinzu, dass dem Kunden eine Fernfreischaltung seiner Lokomotiven angeboten werden kann, falls kein Identmedium zur Hand ist: Wie schon in Kapitel 5.1.5 dargelegt, kann diese Fernfreischaltung nur durchgeführt werden, wenn eine Verbindung zum Internet besteht. Ob diese Service jedoch als ein im Kaufpreis inkludiertes Pauschalangebot oder eine kostenpflichtige Zusatzleistung angeboten wird, muss an einer anderen Stelle entschieden werden.

Ein weiteres Angebot ergibt sich durch den Fall, dass die Spannungsversorgung der vier Schließzylinder aus Konzept 1 - Einzellösung einer Lokomotive nicht mehr gewährleistet ist. Die Batterien der Schließzylinder kann dann vor Ort getauscht werden, um einen Zugang zum Fahrzeug wieder zu gewährleisten. Bei den anderen beiden Konzepten entfällt diese Option, da die Schließzylinder mit der Spannungsversorgung des Fahrzeugs verbunden sind.

6.1.1.2 Nachteile für die Hersteller

Wie schon in der Einleitung zu diesem Abschnitt angesprochen, sind für die Entwicklung jedes einzelnen Konzeptes mit Entwicklungskosten in unterschiedlicher Höhe zu rechnen:

- Konzept 1 mit der Einzellösung hat die geringsten zu erwartenden Kosten:
Am Fahrzeug müssen nur geringe Änderungen vorgenommen werden (Austausch der Schließzylinder) und die Bereitstellung der nötigen Software für die Verwaltung erfordert keinen hohen Aufwand
- Konzept 2 mit einer Netzwerklösung verursacht im Vergleich zu Konzept 1 höhere Kosten:
Durch die Anbindung an die Elektronik des Fahrzeugs gibt es viel mehr Schnittstellen, die berücksichtigt und angefasst werden müssen

- Die mit Abstand höchsten Entwicklungskosten fallen für Konzept 3 bei einem Neubau an:
Hierbei handelt es sich um ein vollkommen neuartiges Konzept, dass bei einer neuen Generation von Lokomotive verbaut werden kann

In Tabelle 4 findet sich eine Auflistung der zu erwartenden Kosten. Zu diesem Zeitpunkt ist es für einige Punkte schwierig, konkrete und belastbare Werte zu definieren. Deswegen werden manche Punkte in der Auflistung mit Tendenzen (▼ = niedrig, ► = mittel und ▲ = hoch) versehen, um eine bessere Übersicht zu haben.

Aus diesem Grund ergibt sich am Ende eine zu erwartbare Höhe an Entwicklungskosten für die einzelnen Konzepte, zu denen dann noch ein unbestimmbarer Anteil X addiert werden muss.

Tabelle 4: Geschätzte Entwicklungskosten⁹⁵

	Konzept 1 Einzellösung	Konzept 2 Netzwerklösung	Konzept 3 Neubau
Entwicklungsaufwand [h]	250	400	600
Verkabelung [h]	---	200	150
Stundensatz Ingenieur [€/h]	110		
Erstellung der Software	▼	►	►
Materialkosten	▼	►	►
Entwicklungskosten	27.500 + X	66.000 + X	82.500 + X

Die Stundenlöhne für Entwicklungsingenieure/innen oder Stückkosten für elektronische Komponenten können sich ändern, bevor in der Realität mit der Entwicklung eines Schließsystems begonnen wird. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Stundensatz von 110 € angesetzt. Dieser Stundensatz orientiert sich an den Stundensätzen für Freelancer im Ingenieurwesen, deren durchschnittlicher Verdienst mit 102,09 € etwas niedriger ist.⁹⁶

Die Materialkosten bei Konzept 1 sind als niedrig zu bewerten: Es werden nur die Schließzylinder an den Türen getauscht und es müssen Identmedien angeschafft werden, die an die Belegschaft verteilt werden.

⁹⁵ Quelle: Eigene Darstellung.

⁹⁶ Internet [23]: <https://www.ingenieur.de/karriere/gehalt/stundensatz-selbststaendiger-ingenieure-und-it-freelancer/>.

Bei den Konzepten 2 und 3 kommen noch Materialkosten in Form von Leitungen und anderen Komponenten hinzu, die auf dem Fahrzeug verbaut werden müssen⁹⁷. Im Vergleich zum Konzept 1 wird der Unterschied als nicht so groß angesehen, so dass in der Tendenz eine mittlere Belastung angesetzt wird.

Mit Blick auf die Erstellung der Software ergeben sich auch Unterschiede in den zu erwartenden Kosten. Bei Konzept 1 mit einer Einzellösung wird mit den im Vergleich niedrigsten Kosten gerechnet, da hier nur die Programmierung der Verwaltungssoftware berücksichtigt werden muss. Bei den anderen beiden Konzepten werden die zu erwartenden Kosten als hoch angesehen. Das liegt darin begründet, dass es aufgrund der geplanten Internetanbindung zusätzliche Schnittstellen gibt, die zuerst geplant und später noch zugelassen werden müssen.

Kosten für die Konzept 2 und 3 sind im Vergleich zu Konzept 1 höher anzusetzen. Das liegt darin begründet, dass für diese beiden Konzepte zusätzliche Aufwände bei der Anpassung der Schaltungstechnik und der Software entstehen. Die Aufwände bei der Schaltungstechnik entfallen bei Konzept 1 vollkommen, weil dort keine Anbindung an die Elektronik zum Fahrzeug geplant ist.

Die Kosten für eine Netzwerklösung nach Konzept 2 werden höher angesehen als bei einem Neubau nach Konzept 3. Es ist viel komplexer Änderungen an einem schon bestehenden Fahrzeug vorzunehmen, als ein vergleichbares System auf Basis eines Neubaus nach Konzept 3 in eine neue Generation von Lokomotive zu integrieren.

Wie zu Beginn schon vermutet steigen die angesetzten Entwicklungskosten mit steigender Komplexität des Konzeptes an.

Zusätzlich fallen bei allen Konzepten Kosten auf Seiten des Herstellers im Betrieb an. Hierunter fallen zum Beispiel die Kosten für den Unterhalt der digitalen Infrastruktur, damit die Verwaltungssoftware funktionieren kann.

Im Betrieb fallen Kosten für die digitale Infrastruktur an. Es gibt Anbieter, die ein Komplettpaket verkaufen, in dem alle Betriebskosten für Server und Software gebündelt sind. Die Preise richten sich nach Umfang der Dienstleistung und werden monatlich pro Nutzer/in angegeben. Hierbei ergeben sich für ein entsprechendes Komplettpaket Preise um die 5 bis 8 €/Nutzer/in.⁹⁸ Werden 100 Beschäftigte für eine Verwaltung der Zugriffsrechte vorgesehen, ergeben sich somit Kosten in Höhe von 6000 bis 9600 € im Jahr.

⁹⁷ Aus Kostengründen sollte das Nummernpad maximal einmal an jedem Führerstand vorhanden sein. So kann selbst im Falle eines Unfalls sichergestellt werden, dass Zugang zur Lokomotive gewährleistet ist.

⁹⁸ Internet [33]: <https://azure.microsoft.com/de-de/pricing/details/active-directory/>.

Testen und Prüfen der Konzepte während der Entwicklungsphase kostet generell Zeit und Geld. Es sollte jedoch so früh wie möglich mit dem Testen begonnen werden, um frühzeitig Fehler einfacher und damit kostengünstiger beheben zu können. Je später vorhandene Fehler im Entwicklungs- oder Produktionsprozess auftreten, desto teurer wird ihre Behebung. In der Fachliteratur wird dieser Zusammenhang „Rule of Ten“ genannt: Mit jedem Entwicklungsschritt erhöhen sich die Kosten um das Zehnfache für eine Korrektur aus Fehlern, die in einer vorherigen Stufe gemacht und nicht behoben wurden (siehe Abbildung 21).

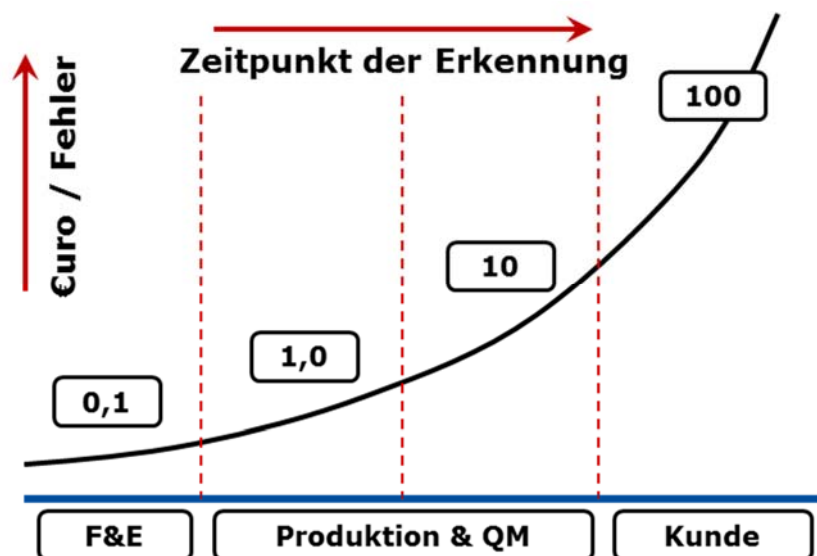


Abbildung 21: Grafische Darstellung der „Rule of Ten“⁹⁹

Wird die Option aus Abschnitt 5.1.4 in Betracht gezogen, dass es hinter der Verkleidung des Schließzylinders ein normales Schloss mit einem „Notfallschlüssel“ gibt, würden sich für jedes Konzept noch einmal die Gesamtkosten für die Entwicklung erhöhen. Eine solche Hybridform gibt es zurzeit nicht am Markt zu kaufen und muss erst noch entwickelt werden. Aus diesem Grund ist es an dieser Stelle auch schwierig, eine seriöse Schätzung über die anfallenden Zusatzkosten zu machen. Für die weitere Betrachtung wird auf eine Nennung dieser Option verzichtet.

⁹⁹ Quelle: <https://www.cad4u.de/wp-content/uploads/2017/08/rule-of-ten.png> (08.07.19).

6.1.2 Kundensicht

Aus Sicht jedes potenziellen Kunden stellt sich zum einen die Frage, ob das später angebotene System seinen Preis und die damit verbundenen sonstigen Aufwendungen rechtfertigt. Zum anderen muss im Falle eines Kaufs überlegt werden, wann sich die getätigte Investition amortisieren können.

Je nachdem zu welcher Kategorie aus Abschnitt 3.1 der Kunde zählt, werden sich unterschiedliche Vor- und Nachteile herausstellen.

6.1.2.1 Vorteile Kunde

Wird auf ein neues Schließsystem auf Basis von NFC gewechselt, ergeben sich für den Kunden Vorteile, wenn neue Schlüssel beschafft werden müssen. Dieser Punkt wurde auch in einem der Experteninterviews aus Kapitel 3.3 von Herrn Manuel Prahl (Betriebsleiter der EGP am Standort Wittenberge) ausdrücklich erwähnt: *„Die Anschaffung eines neuen Kreuzbartschlüssels kostet ca. 50 €. Somit könnten Kosten gespart werden.“*

Die Anschaffung eines neues Identmediums kostet dagegen weniger: Für weniger als 2 € können (ab einer Mindestbestellmenge) zum Beispiel neue Chipkarten bestellt werden.¹⁰⁰ Wird eine Nutzungsdauer von 30 Jahren angesetzt, dann ergeben sich Kostenvorteile im Betrieb.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Zutrittskontrolle auf eigenen Fahrzeugen verbessert wird: Es können nur noch jene Personen auf die Lokomotive gelangen, die im Vorfeld durch den Kunden freigeschalten worden sind.

Beim Ablauf einer Anmietung bei einem Großabnehmer (siehe Kapitel 0) können sich sowohl für den Halter als auch den Mieter Vorteile durch die Anwendung eines neuen Schließsystems ergeben.

Wird im Vertrag zum Beispiel die Möglichkeit einer Untervermietung eingeräumt, kann der Halter zusätzliche Schlüssel bereitstellen, die dann nur für die Zeit der Untervermietung des Subunternehmers gültig sind. Der Halter ist somit immer im Bilde, wer während der Vermietung Zugriff auf bestimmte Fahrzeuge hat.

¹⁰⁰ Internet [24]: <https://www.shopnfc.com/en/9-pvc-nfc-cards>.

6.1.2.2 Nachteile für die Kunde

Neben den Vorteilen bei der Nutzung des elektronischen Schließsystems sei an dieser Stelle auch auf mögliche Einschränkungen hingewiesen:

- Abgestellte Fahrzeuge eines anderen EVU können nicht kurz verschoben werden, um den Weg für ein anderes Fahrzeug frei zu machen
- Nachfolgenden Triebfahrzeugführern/innen kann nicht der Schlüssel für die Türen der Lok überlassen werden, weil er/sie den eigenen vergessen hat

Es zeigt sich somit, dass ein höheres Maß an Kontrolle und Sicherheit durch ein neuartiges Schließsystem auf Basis von NFC zu Einbußen bei der Flexibilität führt, die bisher als gegeben angesehen worden sind.

6.2 Nicht-monetäre Aspekte

Neben rein monetären Aspekten wird in diesem Kapitel auch auf Punkte eingegangen, die sich nicht direkt mit einem Geldbetrag beziffern lassen. Dazu zählen unter anderem die Handhabung im Betrieb oder die Auswertung einer durchgeführten Pre-Mortem Analyse.

6.2.1 Prestige

Wird eine innovative Lösung wie ein elektronisches Schließsystem auf Basis von NFC am Markt als erstes angeboten, hat das neben den vorher aufgezählten monetären Aspekten auch einen Zuwachs an Prestige für die beteiligten Hersteller als Treiber von Innovationen im Eisenbahnbereich zur Folge.

Dieser Prestigegewinn kann sich nicht in mehr verkauften Lokomotiven messen lassen, jedoch wird das Unternehmen von Kunden und Konkurrenten als innovationsreich und zukunftsorientiert wahrgenommen.

Diese Tatsache kann als Werbung angesehen werden, die indirekt einen positiven Einfluss auf das Ansehen der Siemens Mobility GmbH am Markt hat.

6.2.2 Anwendersicht

Es ist zu bedenken, dass bei einem solchen Schließsystem der Kunde nicht mit dem/der Anwender/in gleichgesetzt werden kann: Während für den Käufer die Rentabilität seiner Investition in ein System im Vordergrund steht, liegt das Hauptaugenmerk der späteren Anwender/innen auf anderen Gesichtspunkten wie einer zuverlässigen und einfachen Bedienbarkeit im Betrieb.

Selbst wenn sich ein System finanziell auch im schlechtesten Fall für den Kunden lohnen würde, kann es dennoch geschehen, dass die Belegschaft sich dem neuen System verwehrt.

Die Gründe dafür können unterschiedlich sein: Vielen Triebfahrzeugführern/innen war das alte Schließsystem gut genug und sie sehen keine Notwendigkeit, sich in ihrem Arbeitsalltag auf neue Abläufe einstellen zu müssen.

Auch das Wort „Technikskepsis“ kann in diesem Zusammenhang genannt werden. Denn viele Kollegen/innen wollen möglichst wenig technische „Spielereien“ verwenden müssen, um ihre Arbeit erledigen zu können.

Es ist deshalb von großer Bedeutung, auch die Anwender/innen gegenüber der Veränderung positiv zu stimmen und deren Bedenken und Wünsche in der Entwicklung mit zu berücksichtigen.

6.2.3 Handhabung im Betrieb

Verschiedene bereits vorgestellte Zusatzfunktionen eines elektronischen Schließsystems haben einen positiven Nebeneffekt für die Handhabung im Betrieb.

Funktionen wie die beschriebene Fernfreischaltung bei den Konzepten 2 und 3 oder das integrierte Nummernpad aus Konzept 3 bieten einen zusätzlichen Komfortgewinn bei Verlust des Identmediums.

Kunden können zusätzliche Informationen in einer App (siehe 5.1.7) hinterlegen, falls ein NFC-fähiges Mobiltelefon als Identmedium zum Öffnen der Türen verwendet wird. Zu diesen Informationen können zum Beispiel Kontaktdaten des zuständigen Disponenten oder persönliche Schichtpläne zählen. Auch von Seiten des Herstellers kann zum Beispiel die Nummer einer Hilfe-Hotline hinterlegt werden, so dass im Fehlerfall direkt mit der Gewährleistungsstelle der Siemens Mobility GmbH nach einer Lösung gesucht werden kann.

Wie schon in Abschnitt 5.1.3 angedeutet, kann durch die Authentifizierung der Nutzer/innen genau nachvollzogen werden, wer zu welcher Zeit sich an welchem Ort Zutritt zum Fahrzeug verschafft hat. Im Falle einer später festgestellten Beschädigung am Fahrzeug kann somit leichter vom Halter nachvollzogen werden, wer mutmaßlich für den Schaden verantwortlich zu machen ist.

Wird Personal entlassen, ist es in der Regel von großer Bedeutung, dass alle Schlüssel oder Zutrittskarten dem Arbeitgeber aushändigt werden. Ansonsten besteht die Gefahr, dass sie sich nach Ende ihrer Anstellung unbefugten Zutritt verschaffen können. Mit einem elektronischen Schließsystem, das über eine Datenbank gepflegt wird, kann darauf verzichtet werden: Am Ende des Beschäftigungsverhältnisses kann das entsprechende Profil aus der Datenbank gelöscht werden. Sobald das Update an die Schließzylinder überspielt worden ist, kann der entsprechende Schlüssel nicht mehr für den Zutritt zum Fahrzeug verwendet werden¹⁰¹.

6.2.4 Pre-Mortem

Hierbei handelt es sich um eine Methode, um bisher vernachlässigte oder kleingeredete Risiken eines Projektes aufzudecken. Ohne Anwendung dieser Methode besteht die Gefahr, dass viel Entwicklungsarbeit in ein Konzept gesteckt wird, das später dann gestoppt werden muss, wenn sich die vorher verkannten Risiken im Entwicklungsprozess zeigen. An solchen „non-technical failures“ gehen rund 70 Prozent aller Projekte zugrunde.¹⁰²

Um diesen Umweg zu vermeiden, der nur Kapazitäten an falscher Stelle bündelt und damit Zeit verschwendet, wird für diese Arbeit die Pre-Mortem Methode des US-amerikanischen Psychologen Gary A. Klein angewendet.

Abbildung 22 zeigt das Ergebnis der Auswertung der Pre-Mortem Methode, die mit zehn Mitarbeitern/innen der Siemens Mobility GmbH durchgeführt wurde.

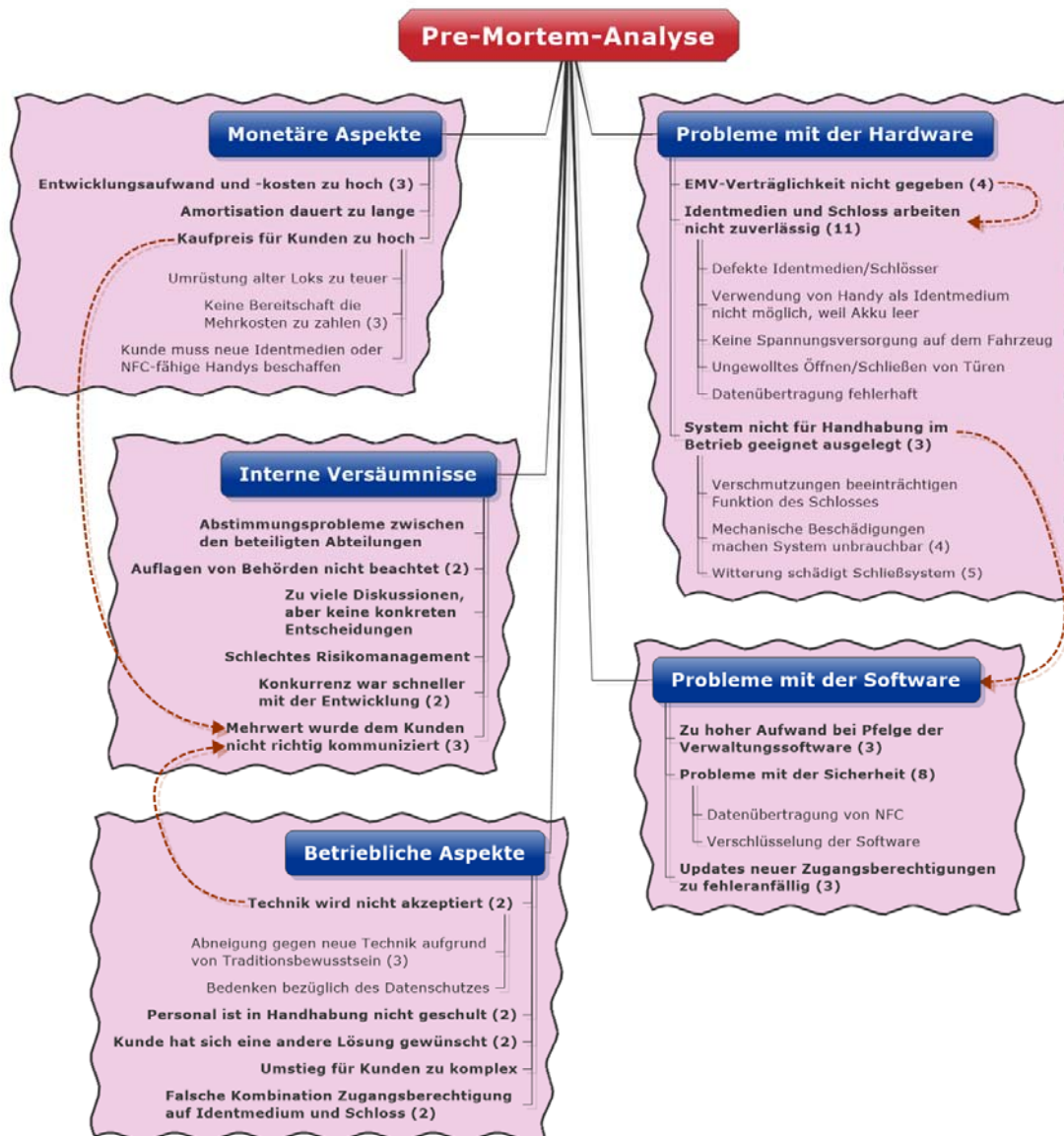
Die gegebenen Antworten wurden nach fünf Kategorien sortiert¹⁰³ und spiegeln grob die Aufteilung nach schon angesprochenen Kapiteln wider:

- Probleme mit der Hardware
- Probleme mit der Software
- Betriebliche Aspekte
- Interne Versäumnisse
- Monetäre Aspekte

¹⁰¹ Bei Konzept 1 würde dieses Update zum Beispiel beim nächsten Aufenthalt in der Werkstatt passieren, da die Schließzylinder nicht „wissen“ können, dass ein bestimmtes Identmedium nicht mehr zutrittsberechtigt ist. Bei den Konzepten 2 und 3 kann diese Aktualisierung per Internetverbindung über die zentrale Verwaltungssoftware erfolgen.

¹⁰² Vgl. Dark Horse Innovation, 2016, S. 236ff.

¹⁰³ Bei Mehrfachnennung eines bestimmten Punktes wurde dieser durch eine Zahl in Klammern in der Abbildung 22 kenntlich gemacht.

Abbildung 22: Ergebnis der Pre-Mortem Methode¹⁰⁴

In jedem Fragebogen wurden Bedenken bezüglich der Funktionsfähigkeit der Hardware geäußert. Genannte Beispiel beziehen sich unter anderem auf die Problematik der Spannungsversorgung der Schließzylinder. Im Konzept 1 mit einer Einzellösung für jede Tür werden Batterien vorgesehen, deren Ladungszustand am Zylinder abgelesen werden kann. Bei Konzept 2 und 3 wird die Energieversorgung über das Bordnetz der Lokomotive sichergestellt.

¹⁰⁴ Quelle: Eigene Darstellung.

Darüber hinaus ging es aber auch um ein ungewolltes Öffnen oder Schließen von Türen oder die mechanische Beschädigung der Schließeinrichtung im Betrieb.

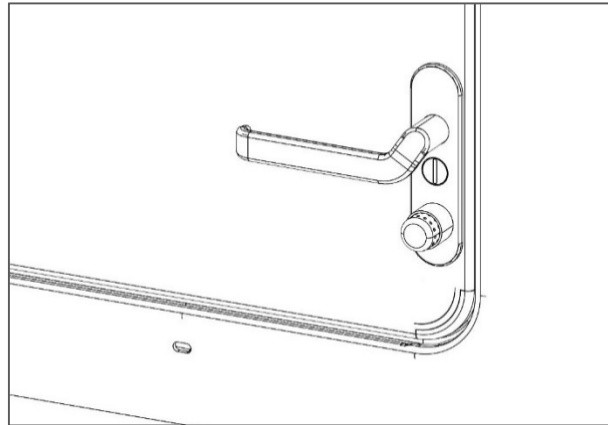


Abbildung 23: Zylinder mit Manschette¹⁰⁵

Mechanische Beschädigungen können niemals komplett ausgeschlossen werden. Es können jedoch konstruktive Maßnahmen getroffen werden, um Beschädigungen unwahrscheinlicher werden zu lassen. In Anlehnung an die schon vorher angesprochene Bahntauglichkeit der verwendeten Komponenten des elektronischen Schließsystems kann um den Schließzylinder eine Manschette aus Metall (siehe Abbildung 23) gelegt werden, damit der von außen sichtbare Teil des Zylinders inklusive Leser besser geschützt wird.

Generell bleibt für die Kategorie „Probleme mit der Hardware“ festzuhalten, dass bei der weiteren Entwicklung darauf geachtet werden muss, dass alle Komponenten (Identmedien und Schlösser) an die anspruchsvolleren Bedingungen im Bahnbetrieb angepasst werden.

In Bezug auf die Kategorie „Probleme mit der Software“ wurden viele Bedenken in Bezug auf die Sicherheit des Systems geäußert: Das bezieht sich sowohl auf die Datenübertragung per NFC als auch die Architektur und Verschlüsselung der Verwaltungssoftware. In diesem Bereich hat die Pre-Mortem Methode keine Punkte hervorgebracht, die nicht schon vorher in den Abschnitten zur Datensicherheit (siehe 4.1.3, 5.1.2 und 5.1.7) angesprochen wurden.

Im Bereich der „Betrieblichen Aspekte“ wurde angemerkt, dass die neue Technik vom Kunden und Anwender/in nicht akzeptiert werden würde, weil sie zum Beispiel aufgrund von Traditionsbewusstsein der Belegschaft nicht akzeptiert werden könnte.

¹⁰⁵ Quelle: Eigene Darstellung.

Diesem Punkt sollte besondere Bedeutung beigemessen werden, auch wenn er nur ein paar Mal genannt wurde. Denn wie schon in Abbildung 22 gezeigt wird, hat dieser Aspekt eine direkte Verbindung zur Kategorie „Interne Versäumnisse“ in der angemerkt wird, dass dem Kunden der Mehrwert des Systems nicht richtig vermittelt worden sei.

In der Kategorie der „Monetären Aspekte“ bleibt nur festzuhalten, dass Kosten für Entwicklung und Umrüstung zu hoch ausfallen könnten und somit wirtschaftlich unattraktiv für den Kunden werden.

In einem nachgelagerten Schritt kann in einer weiteren Arbeit eine Threat and Risk Analysis¹⁰⁶ (TRA) der verschiedenen Konzepte aus Kapitel 4.3 gemacht werden. Bei dieser Methode werden Gedanken darüber aufgeschrieben, welche Gefahren auftreten können, wie sie vermieden werden können und was es kosten würde, falls sie doch eintreten. Gesammelte Informationen aus der Pre-Mortem Methode dieser Arbeit können als Aufzählung für mögliche Gefahren dienen und durch weiterführende Gedanken ergänzt werden.

6.2.5 Adaption durch andere Hersteller

Es besteht die Möglichkeit, dass ein anderer Hersteller zum Beispiel das System aus Kapitel 4.2.3 erwirbt und in sein Fahrzeug integriert. Genauso kann es sein, dass dieselben Konkurrenten ein eigenes System entwickeln und zur Marktreife bringen wollen. Die Möglichkeit einer gleichzeitigen oder sogar früheren Adaption durch einen anderen Hersteller wurde auch schon in der Pre-Mortem Methode angeführt.

Beide Szenarien können grundsätzlich nicht verhindert werden. Viel wichtiger ist es, als erster Anbieter ein serienreifes (auf dem Fahrzeug integriertes) Produkt auf den Markt zu bringen, dass die Anforderungen der Kunden erfüllt und zugleich keine schwerwiegenden Sicherheitsmängel aufweist.

Darüber hinaus sollte bei der Entwicklung darauf geachtet werden, dass nicht nur die Hardware einwandfrei funktioniert. Dem Kunden müssen auch Software und zusätzliche Services angeboten werden, damit er das Produkt optimal nutzen und in seinen Betriebsablauf integrieren kann. Damit kann sich die Siemens Mobility GmbH ein Alleinstellungsmerkmal schaffen, dass sie von anderen Anbietern ähnlicher Lösungen abhebt.

¹⁰⁶ Vgl. Government of Canada, Communications Security Establishment, 1999.

6.3 Zusammenfassung der wirtschaftlichen Betrachtung

Eine SWOT-Analyse aus Tabelle 5 fasst die gewonnen Erkenntnisse aus dem Kapitel zur wirtschaftlichen Betrachtung zusammen.

Tabelle 5: SWOT-Analyse¹⁰⁷

Strengths	Weaknesses
Zuwachs an Sicherheit Hersteller als Treiber von Innovation	Verhalten im spannungslosen Zustand Verlust an Flexibilität im Betrieb
Opportunities	Threats
Neue Absatzmöglichkeiten Beschäftigungssicherung	Adaption durch andere Hersteller Technikskepsis

Ein frühes Prüfen und Testen von vielversprechenden Konzepten ist bei jeder Entwicklung eines innovativen Produktes von sehr großer Bedeutung. So auch bei einem elektronischen Schließsystem für Lokomotiven. Unter der Beachtung der „Rule of Ten“ aus Abschnitt 6.1.1 sollte möglichst früh mit Tests begonnen werden.

Derjenige Hersteller, der sein Produkt zuerst am Markt anbietet, hat sich einen Vorsprung gegenüber seiner Konkurrenz erarbeitet. Es zahlt sich also aus, möglichst früh den Markteintritt zu wagen, statt schon am Anfang die perfekte Umsetzung mit allen nur erdenklichen Funktionen parat zu haben.

Besonders vor dem Hintergrund des beim Benchmarking gefundenen Systems von Schaltbau Bode darf nicht außer Acht gelassen werden, dass auch andere Anbieter am Markt vergleichbare Produkte entwickeln.

Gerade die Überlegungen aus Kapitel 0 in Bezug auf die mögliche Technikskepsis der Belegschaft haben deutlich gemacht, dass ein elektronisches Schließsystem nicht nur mit Blick auf den Kunden als Geldgeber sondern auch die Anwender der technischen Lösung entwickelt werden muss.

Es gibt nicht nur Kosten für die Hardware (Schließzylinder und Identmedien), die beachtet werden müssen. Kosten für die Entwicklung, Softwarelizenzen und Pflege der Verwaltungssoftware spielen auch eine wichtige Rolle bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines jeden Konzeptes.

¹⁰⁷ Darstellung in Anlehnung an [36]: Meffert/Burmann/Kirchgeorg, S. 236f.

7 Technisch-wirtschaftliche Bewertung nach VDI 2225

Bei der technisch-wirtschaftlichen Betrachtung nach VDI 2225 handelt es sich um eine Bewertungsmethode, die einen objektiven Vergleich unterschiedlicher Lösungsansätze eines technischen Problems erlaubt.

In diesem Fall werden in Anlehnung an diese Methode die drei vorgestellten Konzepte aus Kapitel 4.3 miteinander verglichen. Darüber hinaus wird auch der Kreuzbartschlüssel als schon auf dem Markt befindliches System derselben Bewertung unterzogen¹⁰⁸.

Die Methode teilt sich in eine Bestimmung der technischen und wirtschaftlichen Eignung eines Entwurfs auf. Hierzu werden jeweils Wertigkeiten bestimmt, die am Ende eine Aussage dazu erlauben, welches Konzept am ehesten einer idealen Lösung entsprechen. Diese ideale Lösung hätte für die technische Wertigkeit x und die wirtschaftliche Wertigkeit y jeweils einen Wert von 1.¹⁰⁹

Die Liste der möglichen relevanten technischen Eigenschaften aus Abschnitt 3.2 ist mit insgesamt 13 Merkmalen zu umfangreich, um sie alle bei der technischen Bewertung heranzuziehen.

Aus diesem Grund werden nur folgende fünf Bewertungsmerkmale berücksichtigt, die auch durch die Auswertung der Experteninterviews aus Abschnitt 3.3 am häufigsten genannt worden sind:

<i>Bewertungsmerkmale</i>	■ Einfache Handhabung
	■ Hohe Zuverlässigkeit
	■ Geringe Lebenszykluskosten
	■ Hohe Sicherheit gegen Einbrüche/Vandalismus
	■ Robustheit gegen „Fehlbedienung“ durch Personal

Jede Eigenschaft wird für jedes Konzept bewertet. Je höher die Zahl, desto besser der Erfüllungsgrad des jeweiligen Konzeptes für die entsprechende Eigenschaft.

Da für die wirtschaftliche Bewertung der Konzepte zur Zeit der Bearbeitung noch keine belastbaren Werte zu Material- oder Herstellungskosten verfügbar sind, wird auf Ersatzwerte zurückgegriffen.

¹⁰⁸ Daraus lassen sich nach Abschluss der Bewertung nicht nur Aussagen dazu treffen, welches neue Konzept die höchste Wertung erreicht hat, sondern auch wie gut das beste Konzept gegen ein schon etabliertes System abschneidet.

¹⁰⁹ Vgl. Verein Deutscher Ingenieure, 1998, S. 6.

7.1 Bewertung von Konzept 1 - Einzellösung

Tabelle 6 zeigt die vergebenen Punkte für die einzelnen Bewertungsmerkmale.

Tabelle 6: Benotung Technik für Konzept 1 - Einzellösung¹¹⁰

Eigenschaft	Punkte	Eigenschaft	Punkte
Handhabung	3	Sicherheit	4
Zuverlässigkeit	2	Robustheit	3
LCC	3		

Aufgrund der Punkteverteilung ergibt sich eine technische Wertigkeit von 0,75. Diese teilt sich nach den folgenden Gesichtspunkten auf:

- **Einfache Handhabung**
Anstatt einen Schlüssel aus Metall in ein Schloss zu stecken, wird ein Identmedium vor den Leser gehalten. Jedoch ist es nicht klar, wie sich das neue System bei verschiedenen Umgebungsbedingungen verhalten wird. Aus diesem Grund wird eine Punktzahl von 3 vergeben.
- **Hohe Zuverlässigkeit**
Die Zuverlässigkeit leidet unter der Tatsache, dass im Falle eines Spannungsausfalls das System funktionslos ist. Jedoch lassen sich die Batterien im Zylinder wechseln. Deswegen wird eine Punktzahl von 2 vergeben.
- **Geringe Lebenszykluskosten**
Während des Betriebs fallen keine nennenswerten Mehrkosten an, weshalb eine Punktzahl von 3 vergeben wird.
- **Hohe Sicherheit gegen Einbruch/Vandalismus**
In Bezug auf die Sicherheit erreicht das Konzept die volle Punktzahl von 4, da nur solche Personen Zugang zum Fahrzeug erlangen, die dafür berechtigt sind.
- **Robustheit gegen „Fehlbedienung“ durch Personal**
Bei der Robustheit gegen Fehlbedienung wird eine Punktzahl von 3 erreicht. Das System besitzt nicht viele Komponenten, die unabsichtlich beschädigt werden können, wenn sie entsprechend ausgelegt worden sind.

Bei der wirtschaftlichen Wertigkeit wird ein Wert von 0,8 angesetzt. Dieser ergibt sich aus den vorher angestellten Überlegungen aus Kapitel 6 zur wirtschaftlichen Betrachtung.

¹¹⁰ Quelle: Eigene Darstellung.

7.2 Bewertung von Konzept 2 - Netzwerklösung

Tabelle 7 zeigt die vergebenen Punkte für die einzelnen Bewertungsmerkmale.

Tabelle 7: Benotung Technik für Konzept 2 - Netzwerklösung¹¹¹

Eigenschaft	Punkte	Eigenschaft	Punkte
Handhabung	3	Sicherheit	4
Zuverlässigkeit	2	Robustheit	3
LCC	2		

Aufgrund der Punkteverteilung ergibt sich eine technische Wertigkeit von 0,70. Diese teilt sich nach den folgenden Gesichtspunkten auf:

- **Einfache Handhabung**
Anstatt einen Schlüssel aus Metall in ein Schloss zu stecken, wird ein Identmedium vor den Leser gehalten. Jedoch ist es nicht klar, wie sich das neue System bei verschiedenen Umgebungsbedingungen verhalten wird. Aus diesem Grund wird eine Punktzahl von 3 vergeben.
- **Hohe Zuverlässigkeit**
Die Zuverlässigkeit leidet unter der Tatsache, dass im Falle eines Spannungsausfalls das System funktionslos ist. Jedoch lassen sich die Batterien im Zylinder wechseln. Deswegen wird eine Punktzahl von 2 vergeben.
- **Geringe Lebenszykluskosten**
Während des Betriebs fallen Mehrkosten für die Wartung und Pflege der Server an, die für die Funktionen wie Fernfreischaltung und Nutzerverwaltung benutzt werden, weshalb eine Punktzahl von 2 vergeben wird.
- **Hohe Sicherheit gegen Einbruch/Vandalismus**
In Bezug auf die Sicherheit erreicht das Konzept die volle Punktzahl von 4, da nur solche Personen Zugang zum Fahrzeug erlangen, die dafür berechtigt sind.
- **Robustheit gegen „Fehlbedienung“ durch Personal**
Bei der Robustheit gegen Fehlbedienung wird eine Punktzahl von 3 erreicht. Das System besitzt nicht viele Komponenten, die unabsichtlich beschädigt werden können, wenn sie entsprechend ausgelegt worden sind.

Bei der wirtschaftlichen Wertigkeit wird ein Wert von 0,6 angesetzt. Dieser ergibt sich aus den vorher angestellten Überlegungen aus Kapitel 6 zur wirtschaftlichen Betrachtung, da der generelle Aufwand für die Integration in ein schon bestehendes Fahrzeug viel höher ist, als der Austausch von Schließzylindern wie in Konzept 1.

¹¹¹ Quelle: Eigene Darstellung.

7.3 Bewertung von Konzept 3 - Neubau

Tabelle 8 zeigt die vergebenen Punkte für die einzelnen Bewertungsmerkmale.

Tabelle 8: Benotung Technik für Konzept 3 - Neubau¹¹²

Eigenschaft	Punkte	Eigenschaft	Punkte
Handhabung	3	Sicherheit	4
Zuverlässigkeit	3	Robustheit	3
LCC	2		

Aufgrund der Punkteverteilung ergibt sich eine technische Wertigkeit von 0,75. Diese teilt sich nach den folgenden Gesichtspunkten auf:

- **Einfache Handhabung**
Anstatt einen Schlüssel aus Metall in ein Schloss zu stecken, wird ein Identmedium vor den Leser gehalten. Jedoch ist es nicht klar, wie sich das neue System bei verschiedenen Umgebungsbedingungen verhalten wird. Aus diesem Grund wird eine Punktzahl von 3 vergeben.
- **Hohe Zuverlässigkeit**
Die Zuverlässigkeit leidet unter der Tatsache, dass im Falle eines Spannungsausfalls das System funktionslos ist. Jedoch lassen sich die Batterien im Zylinder wechseln. Deswegen wird eine Punktzahl von 2 vergeben.
- **Geringe Lebenszykluskosten**
Während des Betriebs fallen Mehrkosten für die Wartung und Pflege der Server an, die für die Funktionen wie Fernfreischaltung und Nutzerverwaltung benutzt werden, weshalb eine Punktzahl von 2 vergeben wird.
- **Hohe Sicherheit gegen Einbruch/Vandalismus**
In Bezug auf die Sicherheit erreicht das Konzept die volle Punktzahl von 4, da nur solche Personen Zugang zum Fahrzeug erlangen, die dafür berechtigt sind.
- **Robustheit gegen „Fehlbedienung“ durch Personal**
Bei der Robustheit gegen Fehlbedienung wird eine Punktzahl von 3 erreicht. Das System besitzt nicht viele Komponenten, die unabsichtlich beschädigt werden können, wenn sie entsprechend ausgelegt worden sind.

¹¹² Quelle: Eigene Darstellung.

Bei der wirtschaftlichen Wertigkeit wird ein Wert von 0,6 angesetzt und entspricht damit der Wertigkeit von Konzept 2. Auch wenn der schon jetzt bestimmbare Anteil der Entwicklungskosten höher ausgefallen ist, sorgen die Einsparungen bei einer Neuentwicklung im Vergleich zur Integration in ein bestehendes Fahrzeug dazu, dass eine identische Wertigkeit angesetzt werden kann.

7.4 Bewertung von Kreuzbart

Tabelle 9 zeigt die vergebenen Punkte für die einzelnen Bewertungsmerkmale.

Tabelle 9: Benotung Technik für Kreuzbart¹¹³

Eigenschaft	Punkte	Eigenschaft	Punkte
Handhabung	4	Sicherheit	1
Zuverlässigkeit	4	Robustheit	4
LCC	3		

Aufgrund der Punkteverteilung ergibt sich eine technische Wertigkeit von 0,80. Diese teilt sich nach den folgenden Gesichtspunkten auf:

- **Einfache Handhabung**
Bei dem System handelt es sich um eine über Jahrzehnte erprobte Technik. Die Handhabung wird deshalb mit einer Punktzahl von 4 bewertet.
- **Hohe Zuverlässigkeit**
Die Zuverlässigkeit kann als sehr hoch angesehen werden, da die Mechanik auf den langfristigen Betrieb im Bahnbereich ausgelegt ist. Deswegen wird eine Punktzahl von 4 vergeben.
- **Geringe Lebenszykluskosten**
Während des Betriebs fallen keine nennenswerten Mehrkosten an, weshalb eine Punktzahl von 3 vergeben wird.
- **Hohe Sicherheit gegen Einbruch/Vandalismus**
In Bezug auf die Sicherheit eine Punktzahl von 1 erreicht, da die Kreuzbartschlüssel eine weite Verbreitung auch unter nicht befugten Personen besitzen.
- **Robustheit gegen „Fehlbedienung“ durch Personal**
Bei der Robustheit gegen Fehlbedienung wird eine Punktzahl von 4 erreicht. Das System besitzt wenige mechanische Komponenten.

¹¹³ Quelle: Eigene Darstellung.

Bei der wirtschaftlichen Wertigkeit wird ein Wert von 0,9 angesetzt. Das Schließsystem ist so ausgereift, dass sich am Markt im Vergleich der verschiedenen Anbieter keine großen Unterschiede mehr auf tun können.

8 Evaluierung der Ergebnisse

Werden die Wertigkeiten aus der technischen und wirtschaftlichen Auswertung in Anlehnung an VDI 2225 aus Kapitel 7 miteinander verglichen, ergibt sich folgendes Bild:

- Bei der Handhabung, Zuverlässigkeit und Robustheit erreicht ein Schließsystem mit einem Kreuzbartschlüssel die höchsten Punktzahlen
- In puncto Sicherheit liegen alle Konzepte auf Basis von NFC mit Abstand vor dem Kreuzbartschlüssel

Diese Begebenheiten lassen sich auch im Verlauf der Linien in Abbildung 24 nachvollziehen.

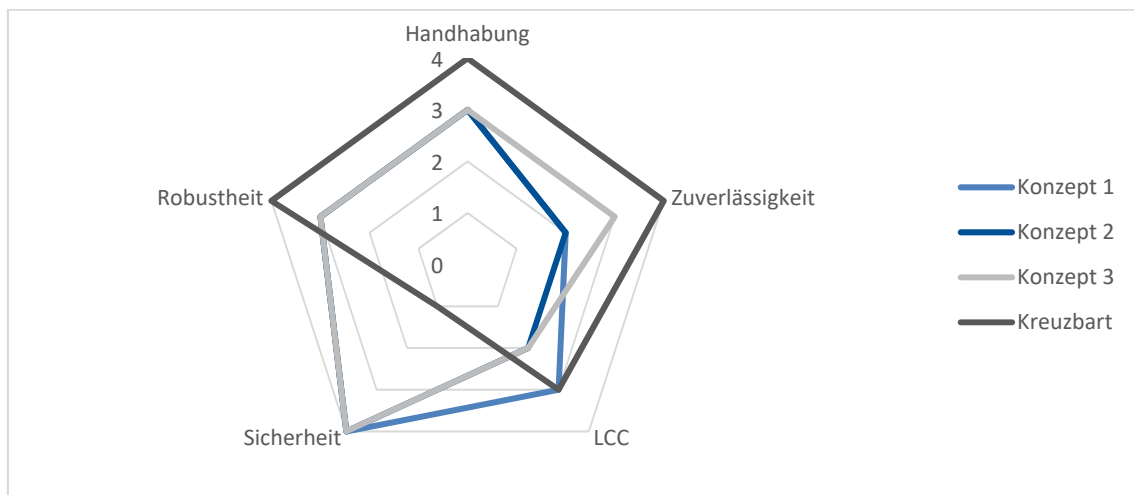


Abbildung 24: Ergebnis der technischen Betrachtung¹¹⁴

Bei der wirtschaftlichen Betrachtung erreicht der Kreuzbartschlüssel die höchste Wertigkeit (siehe Abbildung 25).

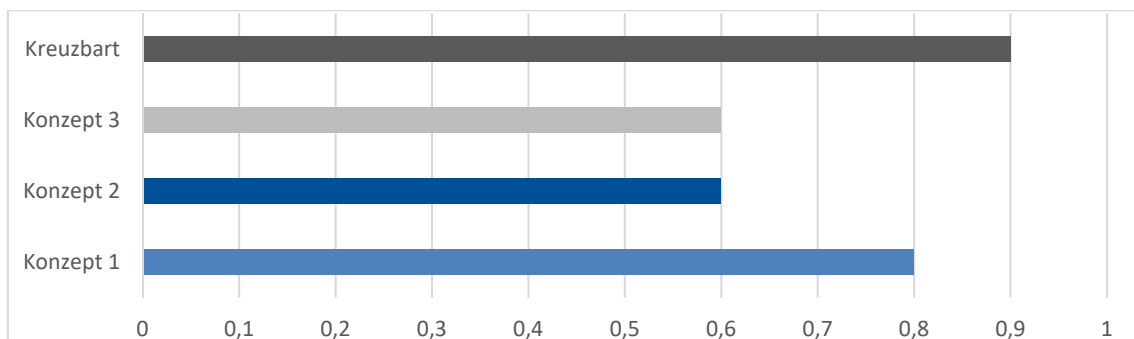


Abbildung 25: Ergebnis der wirtschaftlichen Betrachtung¹¹⁵

¹¹⁴ Quelle: Eigene Darstellung.

¹¹⁵ Quelle: Eigene Darstellung.

Werden für jedes Konzept (inkl. Kreuzbart) die Wertigkeiten in ein Koordinatensystem wie in Abbildung 26 eingetragen, ergibt sich die „Stärke“ s einer konstruktiven Lösung.¹¹⁶ Das entsprechende Diagramm wird deshalb auch s -Diagramm genannt.

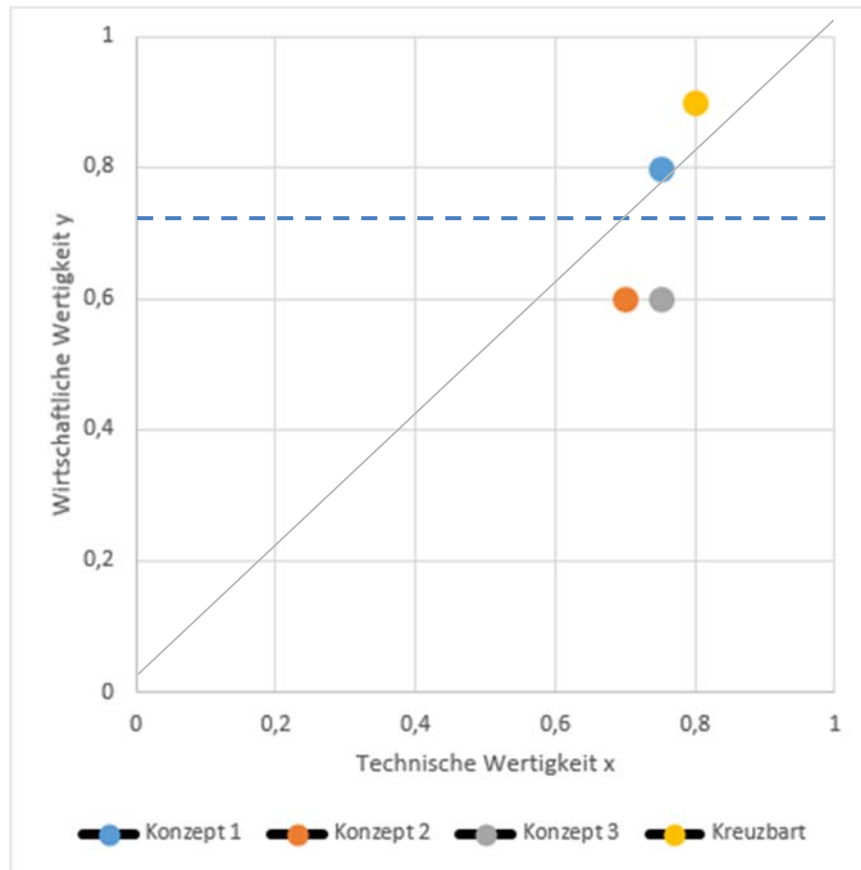


Abbildung 26: Ergebnisse im s -Diagramm (inkl. Entwicklungslinie)¹¹⁷

Die durchgezogene Linie wird als Entwicklungslinie bezeichnet und entspricht allen Punkten, gleicher technischer und wirtschaftlicher Wertigkeit. Lösungsvorschläge, deren Punkte nicht zu weit von dieser Linie liegen, sind (in Kombination mit niedrigen Herstellkosten) als technisch gut anzusehen¹¹⁸.

Das System mit Kreuzbartschlüssel liegt am nächsten am Punkt s_i der hypothetisch idealen Lösung ($x = 1,0 / y = 1,0$). Aufgrund der am häufigsten genannten Bewertungsmerkmale aus den Experteninterviews konnten hohe Punktzahlen in der technischen Bewertung erreicht werden, weil diese Merkmale für alle Schließsysteme unabhängig von der technischen Lösung angewendet werden können.

¹¹⁶ Vgl. Verein Deutscher Ingenieure, 1998, S. 6.

¹¹⁷ Quelle: In Anlehnung an Verein Deutscher Ingenieure, 1998, S. 5.

¹¹⁸ Ergeben sich auf einem der beiden Achsen eine zu hohe Abweichung von der Entwicklungslinie ist das ein Hinweis darauf, dass an dieser Stelle noch einmal nachzubessern ist, oder der Lösungsvorschlag nicht weiterverfolgt werden sollte.

Konzept 1 mit der Einzellösung schneidet im Vergleich mit dem schon in Verwendung befindlichen ähnlich ab und hat im internen Vergleich zwischen den drei Konzepten die beste Bewertung erhalten. Es bietet das beste Kosten/Nutzen-Verhältnis der drei vorgestellten Konzepte.

Obwohl die technische Bewertung von Konzept 1 identisch mit Konzept 3 ist, wurde die wirtschaftliche Betrachtung für Konzept 1 positiver wahrgenommen. Die gestrichelte Linie bezieht sich auf die wirtschaftliche Wertigkeit von 0,7 was als „gutes Ergebnis“ angesehen werden kann.¹¹⁹

¹¹⁹ Vgl. Verein Deutscher Ingenieure, 1998, S. 5.

9 Weitere Anwendungsgebiete

In diesem Abschnitt wird ein Einblick gegeben, in welchen anderen Bereichen mit Schnittstelle zum Fahrzeug die Funktionen eines elektronischen Schließsystems ihre Anwendung finden können. Auf Basis von Erkenntnissen der vorherigen Überlegungen steht am Ende eine Verwertung für einen zusätzlichen Nutzen.

Ein Hauptaugenmerk liegt auf dem Vorteil, dass mit einem elektronischen Schlüssel weitere Informationen personenbezogen abgespeichert werden können, die mit einem bestehenden analogen System so nicht durchführbar sind.

Viele gesammelte Ideen klingen am Anfang vielversprechend. Jedoch kann es bei der weiteren Ausarbeitung klar werden, dass bestimmte Verbindungen zu anderen Systemen oder Richtlinien des Eisenbahnbetriebs es nicht erlauben, die entsprechende Zusatzfunktion umzusetzen. Deshalb soll dieser Abschnitt auch dazu dienen, Stolpersteine aufzuzeigen, damit sie bei der weiteren Entwicklung bedacht werden.

Die aufgeführten Funktionen dieses Abschnittes können nur sinnvoll angewendet werden, wenn die Grundfunktion des elektronischen Schließsystems reibungslos in allen Anwendungsfällen funktioniert. Auf dieser Basis kann in Zukunft an weiteren Anwendungsmöglichkeiten gearbeitet werden, die das System immer interessanter für potenzielle Kunden machen kann. Das elektronische Schließsystem dient damit sozusagen als Dreh- und Angelpunkt für alle weiteren Entwicklungen.

9.1 Verwendung auf weiteren Fahrzeugtypen

Das System eignet sich in jeder seiner bisher dargestellten Formen auch zur Verwendung in anderen Fahrzeugtypen. Das schließt sowohl Vollbahnen wie Highspeed- und Regionalzüge als auch U-Bahnen oder Straßenbahnen mit ein. Ein System auf Basis von Konzept 1 mit einer Einzellösung für jede Zutrittsstür kann ohne große Änderungen adaptiert werden.

Falls auch bei anderen Abteilungen im Konzern ein Interesse an der Anwendung eines elektronischen Schließsystems besteht, sollte daran gedacht werden, diese Kollegen/innen vom aktuellen Entwicklungsstand regelmäßig zu informieren.

Es macht aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten keinen Sinn, wenn an mehreren Stellen in einem Unternehmen an derselben grundlegenden Idee gearbeitet wird, ohne dass es zu einem Austausch zwischen den einzelnen Teams kommt. Ansonsten besteht die Gefahr, dass entsprechende Entwicklungsfehler mehrfach gemacht werden, was wiederum die Zeit bis zum Markteintritt verlängert, als auch die Kosten für die Entwicklung erhöht.

9.2 Blockchain für Leasingverträge

Im Zusammenhang mit der sogenannten Blockchain können Synergieeffekte generiert werden.

Dabei handelt es sich um eine digitale Technologie, die unter anderem zur lückenlosen und fälschungssicheren Dokumentation von Transaktionen genutzt werden kann. Es werden Informationen in mehreren Blöcken gespeichert, die in eine (Daten-)Kette gegliedert werden.

Damit lässt sich zum Beispiel die Lieferkette eines T-Shirts verfolgen: Der Weg beginnt bei der Bauwollfarm, die als erster Block in die Kette geschrieben wird. In den nächsten Schritten folgt die Produktion in einer Fabrik, der Transport und schließlich der Verkauf im Laden. Am Ende ist für den/die Konsumenten/in oder Produzenten genau ersichtlich welche Handlungen wann und wo von wem an dem Produkt durchgeführt worden sind.

Analog zu diesem Beispiel mit dem T-Shirt kann auch die Anmietung einer Lokomotive von einem Großabnehmer erfolgen: Wird ein Fahrzeug benötigt, weil das für die Transportleistung eingeplante Fahrzeug einen technischen Defekt hat, kann über eine Plattform beim Großabnehmer angefragt werden, ob eine Lokomotive im Umkreis zur Verfügung steht. Ist dies der Fall, kann mittels Blockchain eine Anmietung des freien Fahrzeugs gestartet werden. Im Gegenzug wird dem entsprechenden Personal der digitale Schlüssel auf ein Endgerät (mit NFC-Technologie) geschickt, mit dessen Hilfe die Lokomotive geöffnet werden kann. Die Abrechnung über Distanz und Energieverbrauch erfolgt mit Daten der auf dem Fahrzeug verbauten RDA.

Das besondere an Blockchain ist in beiden Fällen, dass es keine kontrollierende Zwischeninstanz gibt, die einen Schritt (oder eine Transaktion) autorisiert. Diese Verkettung von Informationen wird gleichzeitig und automatisch von sehr vielen Teilnehmern/innen im entsprechenden Netzwerk kontrolliert.

Bevor ein neuer Block in die Kette geschrieben wird, muss die Verbindung von jedem aktiven Teilnehmer bestätigt werden. Dadurch ist die Blockchain zugleich transparent und fälschungssicher. Jeder Teilnehmer weiß zu jeder Zeit, welche Transaktionen getätigt werden und Betrüger/innen müssten die Transaktionsinformation auf allen beteiligten Geräten austauschen, um einen falschen Datensatz ins System schmuggeln zu können.

9.3 Nutzerabhängige Freischaltungen

Die Freischaltung unterschiedlicher Funktionen in Abhängigkeit des Nutzerprofils bietet verschiedene Möglichkeiten: Neben dem Beispiel der erweiterten Zugriffsrechte auf Diagnosefunktionen der Lokomotive durch Personal der Gewährleistung sollen an dieser Stelle noch zwei weitere Ideen vorgestellt werden.

9.3.1 Geschwindigkeitslimit

Fahrzeuge der verschiedenen Kundentypen werden auch von externen Werkstätten gewartet.

So kann zum Beispiel ein Großabnehmer das anmietende EVU über bevorstehende Wartungsmaßnahmen informieren¹²⁰. Am Ende einer Fahrt kann das Fahrzeug vom Personal an geeigneter Stelle abgestellt werden, damit es dort von der Werkstatt abgeholt werden kann.

In diesem Fall wäre es möglich, spezielle Kennungen auf dem Identmedium bei der Aktivierung des Führerstandes zu nutzen, um die Geschwindigkeit bei der Zuführung zur Werkstatt auf einen Wert von 20 km/h zu reduzieren.

9.3.2 Netzfreeschaltung

Je nach Länderzulassung, können die Mehrsystemlokomotiven der Vectron-Familie in mehreren Ländern fahren. Das bedeutet aber nicht, dass auch alle bei einem EVU beschäftigten Triebfahrzeugführern/innen in diesen Ländern eine gültige Fahrerlaubnis besitzen.

Aufgrund dieser Differenz zwischen den durch die Technik anwählbaren und von Vorschriften erlaubten Netzen sollte es durch eine zusätzliche Kodierung auf dem Identmedium für das Personal möglich sein, nur diejenigen Netzkennungen auszuwählen, die er/sie auch tatsächlich fahren dürfen. Damit wird eine fälschliche Bedienung ausgeschlossen und die Sicherheit des Gesamtsystems weiter erhöht.

9.4 Zutritt zum Maschinenraum

Wenn die Außentüren der Lokomotive mit elektronischen Schließzylindern versehen sind, stellt sich die Frage, ob die Türe(n) zum Maschinenraum mit der gleichen Technik ausgerüstet werden sollen.

¹²⁰ Der Großabnehmer ist als Fahrzeughalter für die Wartung und Instandhaltung seiner Lokomotiven zuständig. Diese Pflicht geht im Falle der Vermietung nicht an ein anmietendes EVU über.

Analog zu dem Beispiel einer freigeschalteten Serviceschnittstelle für Personal der Gewährleistung, oder einer Beschränkung bei der anwählbaren Netzkennungen bei Mehrsystemlokomotiven, können Reinigungskräfte mit ihrem Nutzprofil nur die Außentüren öffnen, aber nicht in den Maschinenraum eintreten. Dies soll sowohl der persönlichen Sicherheit der Reinigungskräfte vor elektrischen Gefahren als auch dem Schutz der dort verbauten Technik dienen.

Es muss dabei bedacht werden, dass es in einem Notfall (zum Beispiel einer drohenden Kollision) dem Personal möglich sein muss, den Führerstand schnell über den Maschinenraum zu verlassen, um sich in Sicherheit zu begeben.

Bisher werden diese Türen gar nicht verschlossen und sind mit einem großen Bügel zum schnellen Öffnen versehen. Ein Schloss jeglicher Art stellt ein Hindernis und eine mögliche Schwachstelle dar, die im Notfall Menschenleben kosten kann.

Durch technische Anpassungen kann dafür gesorgt werden, dass zum Beispiel eine bevorstehende Kollision erkannt wird oder die Verriegelung automatisch aufgehoben wird, wenn ein Notaus auf dem Führerstand betätigt wird. Es kann jedoch nie ausgeschlossen werden, dass eine automatische Entriegelung nicht durchgeführt wird.

Dieses Restrisiko im Betrieb kann nicht gegen den kleinen Gewinn an Sicherheit durch Zutrittskontrolle im Stillstand bei Reinigungsarbeiten gerechtfertigt werden. An dieser Stelle ist es deshalb ratsamer, das eingesetzte Personal für die Reinigung besser zu schulen und auf die möglichen Gefahren auf einer Lokomotive hinzuweisen.

9.5 Komfortfeatures im Führerraum

Wenn Funktionen in Abhängigkeit vom Nutzerprofil ihre Anwendung finden, kann im selben Zug auch an (personalisierte) Komfortfeatures im Führerraum gedacht werden.

Personalisierte Komfortfeatures beginnen bei gespeicherten Sitzpositionen für den Lokführersitz¹²¹, über die Einstellungen der Klimaanlage bis hin zur Systemsprache auf dem Display. Diese Funktionen wären identisch mit Systemen, die schon in modernen Straßenfahrzeugen Einzug gehalten haben.

Es bleibt an dieser Stelle aber fragwürdig, in welchem Umfang sich die Entwicklung solcher Funktionen für den Hersteller rechnet, da bestimmt viele Kunden nicht bereit sind, zusätzliche Kosten in Kauf zu nehmen, da sie nicht direkt profitieren.

¹²¹ Die Nutzung eines solchen Features führt dazu, dass zuerst Zusatzaufwendungen für einen automatisierten Sitz getätigt werden müssen.

Neben reinen Komfortfeatures, die allein dem Wohlbefinden des Personals dienen, können jedoch auch andere Funktionalitäten programmiert werden, die auch eine Verbesserung für den Betriebsablauf versprechen.

An dieser Stelle sei auf die Anwendung einer teilautomatisierten Zugdateneingabe verweisen. Im Kern der Idee soll es durch auf dem Identmedium abgespeicherte Datensätze möglich sein, gewisse Informationen bei der Zugdateneingabe für die Zugsicherung durch das System ausfüllen zu lassen.

Dieser Ansatz ist für Lokomotiven im Güter- oder Personenverkehr nicht von großer Bedeutung, weil sich die Zugdaten von Fall zu Fall stark unterscheiden können. Nur die Zeit für die Eingabe der Triebfahrzeugführernummer kann eingespart werden.

Mit Verweis auf die Anwendung des elektronischen Schließsystems auf andere Fahrzeugtypen kann sich jedoch ein Vorteil ergeben: S-Bahnen bestehen aus vordefinierten Einheiten, deren Konfigurationen sich während des Betriebs nicht ändern. Muss am Ende einer Linie die Fahrtrichtung (und somit der Führerstand) gewechselt werden, muss bisher das Personal immer die Zugdaten erneut eingeben, obwohl sich nichts an der Konfiguration des Zuges geändert hat.

Werden die benötigten Daten, wie zum Beispiel die Fahrzeuglänge, schon vorausgefüllt, muss am Ende nur noch durch das Personal eine Kontrolle durchgeführt werden, bevor die Daten an die Zugsicherung überspielt werden.

Bei einem einzelnen Führerstandswechsel erscheint diese Zeitersparnis als nicht relevant. Über einen kompletten Tag addieren sich jedoch diese Wechsel. In Summe können damit Reserven geschaffen werden, um Verspätungen zu reduzieren.

10 Conclusio

An dieser Stelle erfolgt eine Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse dieser Arbeit. Es werden sowohl die Forschungsfragen beantwortet als auch die verwendeten Methoden einer Beurteilung unterzogen. Aus den gewonnenen Ergebnissen wird eine Handlungsempfehlung abgeleitet. Zum Schluss dieses Abschnittes wird ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen und mögliche weiterführende Untersuchungen gegeben.

10.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Inwieweit können neue Arten von Schließsystemen für Lokomotiven die Sicherheit im Bahnbereich verbessern?

Die theoretischen Überlegungen dieser Arbeit haben gezeigt, dass neue Arten von Schließsystemen die Sicherheit im Bahnbereich verbessern können: Mit personalisierten Schlüsseln auf Basis von NFC können die Zugangsrechte auf Lokomotiven zeitnah kontrolliert und verwaltet werden, was mit einem konventionellen Schließsystem (wie zum Beispiel dem System Kreuzbart) nicht möglich ist.

Es muss bei der Entwicklung darauf geachtet werden, dass bestimmte Aspekte der neuen Technik berücksichtigt werden, die bisher bei einem konventionellen Schließsystem nicht von Bedeutung sind¹²².

Welche innovativen Konzepte von Schließsystemen für Lokomotiven auf Basis von NFC haben am Markt eine Chance?

Bei dem Konzept mit den größten Chancen am Markt handelt es sich um Konzept 1 mit einer Einzellösung für jede Türe am Fahrzeug. Diese Aussage stützt sich auf die gewonnenen Erkenntnisse aus dieser Arbeit.

Sowohl in Bezug auf die technischen als auch die wirtschaftliche Wertigkeit hat Konzept 1 im Vergleich zu den anderen beiden Konzepten die höchsten Werte erreicht.

Wenn von Seiten der Kunden aus den Experteninterviews direkt ein favorisiertes Konzept angesprochen wurde, handelte es sich immer um Konzept 1. Diese Wahl wurde zum Beispiel damit begründet, dass die geschätzten Kosten im besten Verhältnis zum Nutzen zwischen den drei vorgestellten Konzepten stehen.

¹²² Als Beispiel sei an dieser Stelle auf die Datensicherheit der Datenübertragung oder das Verhalten beim Spannungsausfall der elektronischen Schließzylinder verwiesen.

10.2 Bedenken und Lösungsansätze

Die Bearbeitung der Forschungsfragen hat gezeigt, dass es eine Vielzahl von möglichen technischen Problemen und Bedenken gibt, die im Zusammenhang mit der Einführung eines elektronischen Schließsystems einhergehen.

Tabelle 10 führt die am häufigsten genannten Punkte noch einmal auf und stellt ihnen jeweils einen geeigneten Lösungsansatz gegenüber. In der letzten Spalte findet sich das entsprechende Kapitel, in dem genauer auf einen Lösungsansatz eingegangen wird.

Tabelle 10: Zusammenfassung der Bedenken und Lösungsansätze¹²³

Bedenken	Lösungsansatz	Kapitel
NFC nicht sicher genug	(Verschlüsselte) Datenübertragung per NFC kann für den gewünschten Anwendungsfall als unbedenklich angesehen werden.	4.1.3
Spannungsausfall	Von außen wechselbare Batterien im Schließzylinder verbauen. Pufferbatterie bei Anbindung an das Bordnetz, falls Fahrzeugbatterie entleert. Mögliche Verwendung eines „Notfallschlüssels“.	5.1.4
Zu hohe Investitionskosten	Markteinführung eines Schließsystems sollte sich auf Konzept 1 - Einzellösung stützen, da in diesem Fall das beste Kosten/Nutzen-Verhältnis für potenzielle Kunden besteht.	8

10.3 Beurteilung der Methoden

Bei der Bestimmung der relevanten Bewertungsmerkmale für den technischen Teil der Bewertung nach VDI 2225 hat es sich als vorteilhaft gezeigt, die eigenen Überlegungen durch Experteninterviews zu validieren. Auf diese Weise konnten zum einen die fünf relevantesten Merkmale identifiziert werden. Zum anderen konnte aufgezeigt werden, welche Kundentypen welchen Merkmalen besondere Bedeutung zukommen lassen.

Die Bewertungsmethode konnte in ihrer Gesamtheit nur eingeschränkt verwendet werden, weil bestimmte Kennwerte für den wirtschaftlichen Teil noch nicht verfügbar waren. Die Verwendung von Schätzwerten hat dazu geführt, dass die Methode eine weitere Komponente erhalten hat, die sich auf subjektive Werte stützt. Aus diesem Grund sollten die Ergebnisse nicht als einziges Entscheidungskriterium für die weitere Entwicklung herangezogen werden.

¹²³ Quelle: Eigene Darstellung.

Die Durchführung eines Benchmarking, um relevante technische Entwicklungen in anderen Branchen zu identifizieren, kann positiv bewertet werden: In den Beispielen haben sich Aspekte gefunden, die sich für ein elektronisches Schließsystem auf Basis von NFC im Bahnbereich adaptieren lassen. Genauso wichtig ist die Erkenntnis über Aspekte, die aus verschiedenen Gründen auf keinen Fall übernommen werden sollen.

Mit Hilfe der Pre-Mortem Methode wurden zum Teil zusätzliche Punkte aufgezeigt, die bei der weiteren Entwicklung eines Schließsystems auf Basis von NFC berücksichtigt werden sollen. Diese Ergebnisse ergänzen somit die Erkenntnisse, die im Vorfeld schon durch die Experteninterviews gesammelt werden konnten.

10.4 Handlungsempfehlung

Die Idee eines elektronischen Schließsystems auf Basis von NFC für Lokomotiven einzusetzen klingt auf den ersten Blick sehr interessant und vielversprechend. Es müssen aber eine Vielzahl von Punkten beachtet werden, damit aus dieser Idee ein marktreifes Produkt werden kann, das die Anforderungen der Kunden erfüllt.

Um im nächsten Schritt weitere Erfahrungen sammeln zu können und den rein theoretischen Teil zu verlassen, sollte ein Prototyp auf Basis von Konzept 1 mit einer Einzellösung weiterverfolgt werden. Der Hauptgrund für die Entscheidung liegt in der einfachen Installation in Türen von schon im Betrieb befindlichen Fahrzeugen. Entweder wird eine Versuchslok oder die Lokomotive eines interessierten Kunden umgebaut.

Der Vorteil bei der Wahl einer Kundenlok liegt in den realen Betriebsbedingungen, unter denen das System getestet werden kann. Hierbei empfiehlt es sich auch, den Prototypen dem Kunden kostenlos zur Verfügung zu stellen, um einen weiteren Anreiz zur Kooperation zu geben.

Egal in welcher Form eine technische Evaluierung eines Prototypen stattfindet, sollten die daraus gewonnenen Erkenntnisse genau dokumentiert werden:

- An welcher Stelle gab es Probleme mit der Technik in puncto Handhabung oder Datensicherheit?
- Sind bestimmte vorher getroffene Annahmen in der Realität gar nicht eingetroffen?
- Diese Erkenntnisse können im Nachgang genutzt werden, um weitere Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen, an die in dieser Arbeit vielleicht noch nicht gedacht worden sind.

Wird an einem Schließsystem auf Basis von Konzept 1 gearbeitet, sollte bei der weiteren Entwicklung daran gedacht werden, dass solch ein System unabhängig vom Hersteller des Fahrzeugs verbaut werden kann. Auf diese Weise ergeben sich für den Hersteller noch mehr Absatzmöglichkeiten für das entsprechende System.

10.5 Ausblick

Für den Ausblick am Ende dieser Arbeit stellen sich drei Fragen:

- Wie soll sich die Bahnbranche in Zukunft entwickeln? Wollen die Hersteller Trends aus anderen Branchen hinterherlaufen oder selbst die Richtung der Entwicklung vorgeben?
- Welches Potential steckt in einem elektronischen Schließsystem, um ein erfolgreiches Produkt zu werden?
- Wie sehen die nächsten Schritte in der Entwicklung aus?

Die Bahnbranche soll sich in Zukunft so entwickeln, dass sie weiterhin konkurrenzfähig gegenüber den anderen Verkehrsträgern wie LKW oder Flugzeug bleibt. Es ist klar, dass in diesem großen Zusammenhang ein noch so innovatives elektronisches Schließsystem für Lokomotiven keinen Wettbewerbsvorteil bieten kann. Jedoch sollte aus diesem Grund nicht darauf verzichtet werden, auch Neuerungen einzuführen, die es in dieser Form in anderen Branchen schon gibt.

Die zweite Frage ist mit vielen „Wenn“ und „Aber“ versehen. Das elektronische Schließsystem ist eine innovative Technologie, die es im Bahnbereich bisher noch nicht gab. Es besteht die Gefahr, dass die Entwicklung am Anfang zu schnell vorangetrieben wird, um möglichst schnell zur Marktreife zu gelangen. Wird dieser Weg so begangen, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass Risiken übersehen werden und das Projekt in einer frühen Phase zum Scheitern verurteilt. Werden hingegen relevante Punkte aus dieser Arbeit bei der Entwicklung beachtet, ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass sich ein geeignetes System am Ende auch am Markt etabliert.

Es ist auf jeden Fall wichtig, dass auch nach Veröffentlichung dieser Arbeit weitere Grundlagenforschung in Bezug auf die technischen Details und die Einflüsse auf die betriebliche Seite durchgeführt wird.

Hierzu zählen zum Beispiel eine Risikoanalyse, um mögliche Schwachstellen des ausgewählten Konzepts aufzudecken und entsprechende Gegenmaßnahmen zu definieren.

Sobald ein Prototyp zum Einsatz kommt, kann die vorhandene Risikoanalyse um weitere Erkenntnisse aus der Beobachtung des Produkts unter realen Bedingungen erweitert werden.

Literaturquellen

- [2] Dark Horse Innovation, Digital Innovation Playbook, Murmann Publishers GmbH, 2016.
- [3] J. Langer und M. Roland, Anwendungen und Technik von Near Field Communication (NFC), Springer, 2010.
- [5] M. Roland, Security Issues in Mobile NFC Devices, Schweiz: Springer International Publishing, 2015.
- [10] Verein Deutscher Ingenieure, VDI 2225, Düsseldorf: Beuth Verlag GmbH, 1998.
- [11] E. Haselsteiner und K. Breitfuß, „Security in Near Field Communication (NFC),“ Philips Semiconductors, Gratkorn.
- [12] Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 50155: Bahnanwendungen - Elektronische Einrichtungen auf Schienenfahrzeugen, Berlin: VDE Verlag GmbH, 2018.
- [13] ISO, ISO/IEC 18092: Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Near Field Communication - Interface and Protocol (NFCIP-1), Schweiz, 2013.
- [14] ISO, ISO/IEC 21481: Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Near Field Communication Interface and Protocol -2 (NFCIP-2), Schweiz, 2012.
- [15] H. Plötz, J. Krissler und K. Nohl, „Chiptease - Verschlüsselung eines führenden Bezahlkartensystems geknackt,“ *c't*, pp. 80-85, 2008.
- [19] Government of Canada, Communications Security Establishment, Threat and Risk Assessment Working Guide, Ottawa, 1999.
- [21] R. P. Sabella und J. P. Mueller, NFC For Dummies, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2016.
- [32] EK-Verlag GmbH, „DB Cargo - Immer tiefer in der Krise,“ *Eisenbahn-Kurier*, p. S. 8, Juni 2019.
- [36] H. Meffert, C. Burmann und M. Kirchgeorg, Marketing - Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung, Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, 2008.

Internetquellen

- [1] BMW of Freeport, [Online]. Available: <https://www.bmwoffreeport.com/blogs/827/how-bmw-comfort-access-system-work/>. [Zugriff am 08. März 2019].
- [4] R. Löning, Bundespolizeiinspektion Bad Bentheim, 27. April 2017. [Online]. Available: <https://www.presseportal.de/blaulicht/pm/70276/3622116>. [Zugriff am 20. Februar 2019].
- [6] WILKA Schliesstechnik, [Online]. Available: <https://www.wilka.de/loesungen/elektronische-schliesssysteme/forschungszentrum-essen>. [Zugriff am 08. März 2019].
- [7] WILKA Schliesstechnik, [Online]. Available: <https://www.wilka.de/elektronische-systeme/identmedien/e894-identkarte>. [Zugriff am 08. März 2019].
- [8] EVVA Sicherheitstechnik GmbH, [Online]. Available: <https://www.evva.com/de-de/produkte/elektronische-schliesssysteme-zutrittskontrolle/airkey/>. [Zugriff am 10. März 2019].
- [9] Gebr. Bode GmbH & Co. KG, 2019. [Online]. Available: <https://www.schaltbau-bode.com/de/>. [Zugriff am 27. April 2019].
- [16] NXP Semiconductors Austria GmbH, 2019. [Online]. Available: <https://www.mifare.net/en/>. [Zugriff am 09. Juni 2019].
- [17] „Datenschutz.org,“ VFR Verlag für Rechtsjournalismus GmbH, 2019. [Online]. Available: <https://www.datenschutz.org/eu-datenschutzgrundverordnung/>. [Zugriff am 10. Juni 2019].
- [18] Siemens Mobility GmbH, 2018. [Online]. Available: <https://new.siemens.com/global/de/produkte/mobilitaet/schienenverkehr/fahrzeuge/lokomotiven/vectron.html>. [Zugriff am 20. Juni 2019].
- [20] NFC21 GmbH, [Online]. Available: <https://www.nfc-tag-shop.de/info/nfc-vergleich/rfid-vs-nfc.html>. [Zugriff am 22. Juni 2019].
- [22] European Union Agency For Railways, [Online]. Available: <https://rdd.era.europa.eu/rdd/>. [Zugriff am 28. Juni 2019].
- [23] VDI Verlag GmbH, [Online]. Available: <https://www.ingenieur.de/karriere/gehalt/stundensatz-selbststaendiger-ingenieure-und-it-freelancer/>. [Zugriff am 01. Juli 2019].
- [24] Shop NFC, 2019. [Online]. Available: <https://www.shopnfc.com/en/9-pvc-nfc-cards>. [Zugriff am 01. Juli 2019].
- [25] Captrain Deutschland GmbH, [Online]. Available: <https://www.captrain.de/unternehmen/standorte/itl-eisenbahngesellschaft.html?>. [Zugriff am 08. Juli 2019].
- [26] ELL Austria GmbH, [Online]. Available: <https://www.ell.co.at/de/lokomotiven/>. [Zugriff am 08. Juli 2019].

- [27] ELL Austria GmbH, [Online]. Available: <https://www.ell.co.at/de/leidenschaft/>. [Zugriff am 08. Juli 2019].
- [28] Mitsui Rail Capital Europe GmbH (MRCE), 2019. [Online]. Available: <http://www.mrce.eu/de/service/>. [Zugriff am 08. Juli 2019].
- [29] DB Vertrieb GmbH, [Online]. Available: <https://www.bahn.de/p/view/service/mobile/flinkster.shtml>. [Zugriff am 10. Juli 2019].
- [30] Sixt GmbH & Co. Autovermietung KG, [Online]. Available: <https://www.sixt.de/share/>. [Zugriff am 10. Juli 2019].
- [31] Deutsche Bahn AG, 2019. [Online]. Available: <https://www.deutschebahn.com/de/konzern/konzernprofil/Konzernunternehmen>. [Zugriff am 13. Juli 2019].
- [33] Microsoft Corporation, „Azure Active Directory – Preise,“ 2019. [Online]. Available: <https://azure.microsoft.com/de-de/pricing/details/active-directory/>. [Zugriff am 13. Juli 2019].
- [34] Eisenbahngesellschaft Potsdam mbH, „Wagenladungsverkehre in ganz Deutschland,“ [Online]. Available: <https://www.eg-potsdam.de/de/wagenverkehre.html>. [Zugriff am 21. Juli 2019].
- [35] Europäische Union, „VERORDNUNG (EU) Nr. 1302/2014,“ [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R1302&from=EN>. [Zugriff am 21. Juli 2019].

