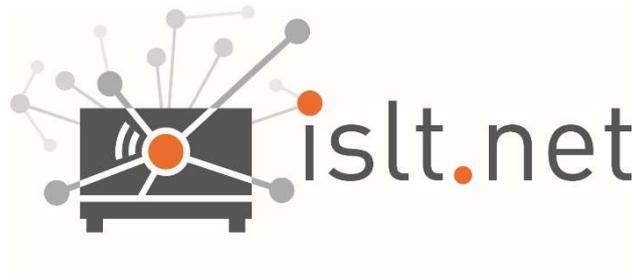


Schlussbericht iSLT.NET

„Netzwerk für intelligente, modulare Sonderladungsträger“



Mit Beiträgen von:

Martin Graßl – Gebhardt Logistic Solutions GmbH

Laura Falter – Gebhardt Logistic Solutions GmbH

Prof. Dr. Andreas Harth – Fraunhofer-Arbeitsgruppe SCS des Fraunhofer IIS

Victor Naumann – Fraunhofer-Arbeitsgruppe SCS des Fraunhofer IIS

Mathias Zink – Fraunhofer-Arbeitsgruppe SCS des Fraunhofer IIS

Prof. Dr. Johannes Fottner – Lehrstuhl für Fördertechnik der TU München

Johannes Zeiler – Lehrstuhl für Fördertechnik der TU München

Prof. Dr. Sebastian Meißner – Hochschule für angewandte Wissenschaften Landshut

Martina Romer – Hochschule für angewandte Wissenschaften Landshut

Stefan Schlittenbauer – BMW AG

Richard Seitz – Draexlmaier Industrial Solutions GmbH

Gregor Voigt – Draexlmaier Industrial Solutions GmbH



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	iv
Tabellenverzeichnis.....	viii
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Motivation	1
1.2 Zielsetzung	1
1.2.1 Gesamtziele.....	1
1.2.2 Wissenschaftliche/technische Arbeitsziele.....	2
1.2.3 Ergebnisziele.....	3
1.3 Lösungsansatz	4
2 Projektorganisation.....	5
2.1 Konsortium im Projekt.....	5
2.1.1 Gebhardt Logistic Solutions GmbH.....	5
2.1.2 BMW AG	5
2.1.3 Dräxlmaier Industrial Solutions GmbH.....	6
2.1.4 Fraunhofer Arbeitsgruppe für Supply Chain Services	6
2.1.5 Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss und Logistik der TU München	7
2.1.6 Hochschule für angewandte Wissenschaften Landshut	8
2.2 Arbeitsplan	9
2.2.1 Darstellung des Arbeitsplans	9
2.2.2 Zeitplan und Meilensteine.....	15
3 Stand der Forschung im Kontext industrieller Ladungsträger	17
3.1 Modularer Ladungsträger.....	17
3.2 Intelligente Ladungsträger und deren Managementprozesse.....	17
4 Ausgangssituation im iSLT-Kontext.....	21
4.1 Ist-Prozesse.....	21
4.2 Schwachstellen in den logistischen Prozessen	24
4.2.1 Schwachstellen in der Entwicklungs- und Herstellungsphase	24
4.2.2 Schwachstellen in der Einsatzphase.....	25
5 Lösungsansätze aus dem Projekt.....	28
5.1 Modularisierung des Sonderladungsträgers.....	28
5.1.1 Qualitative Faktoren.....	30
5.1.2 Variantenbaum	31
5.1.3 Physisches Modulares Konzept.....	33
5.1.4 Ansätze zur Weiterentwicklung des modularen Baukastens	37

5.2	Intelligenz am Sonderladungsträger.....	39
5.2.1	Anforderungen an IoT-Device (Hardware) und Software	39
5.2.2	Software-Architektur	41
5.2.3	LoRa-Server	42
5.2.4	Cloudplattform	43
5.2.5	Sicherheitskonzept	43
6	Dienstleistungen und Soll-Prozesse für intelligente modulare Sonderladungsträger.....	45
6.1	Konzeption von Dienstleistungen.....	45
6.1.1	Ladungsträgerbasierte Dienstleistungen.....	45
6.1.2	Datenbasierte Dienstleistungen	48
6.2	Soll-Prozesse	53
7	Technisches Gesamtsystem - Fünf-Schichten-IoT-Architektur	55
7.1	Theoretischer Aufbau der Fünf-Schichten-IoT-Architektur	55
7.1.1	Schicht 1: Intelligente Objekte	55
7.1.2	Schicht 2: Kommunikation	56
7.1.3	Schicht 3: Cloud und Applikation	57
7.1.4	Schicht 4: Client.....	58
7.1.5	Schicht 5: Kunde	59
7.2	Technische Umsetzung der Fünf-Schichten-Systemarchitektur	59
8	Aufbau des entwickelten iSLT.NET Referenzsystems	62
8.1	Aufbau an den Forschungsinstituten.....	62
8.2	Aufbau bei den Industriepartnern.....	63
9	Versuchsdurchführung und Evaluierung des implementierten iSLT.NET Systems	63
9.1	Versuchsreihen zur Überprüfung des implementierten technischen Gesamtsystem bei den Forschungspartner	63
9.1.1	Überprüfung und Bewertung des physischen modularen SLT	63
9.1.2	Versuche und Ergebnisse zur eingesetzten Funktechnologie LoRaWAN	66
9.1.3	Überprüfung und Bewertung der eingesetzten IoT-Devices	69
9.2	Technische Umsetzung datenbasierter Dienstleitungen.....	72
10	Geschäftsmodell und Ökosystem im iSLT.NET Projekt	81
10.1	IoT-Ökosystem und Datenflussmodell	81
10.1.1	Zentrales Teilökosystem.....	81
10.1.2	Applikations-Teilökosystem	82
10.1.3	Smart Produkt-Teilökosystem.....	83
10.1.4	Produktbasiertes Teilökosystem	83
10.2	Qualitative Bewertung der Geschäftsmodelle	85
10.3	Ausgestaltung von Miet- und Kaufmodell für iSLT.....	86
10.4	Wirtschaftlicher Vergleich von Kauf, Miete und Pay-Per Use Modellen.....	88

11	Evaluation der Projektergebnisse	94
11.1	Allgemeine Evaluation	94
11.2	Kosten-Nutzen Bewertung der iSLT.NET-Projektergebnisse	94
11.2.1	Integrierter Ansatz zur Bewertung der Kosten und Nutzen.....	94
11.2.2	Approximation der Gesamtkosten auf Basis der Projektaktivität	98
11.2.3	Qualitative Nutzen der Intelligenz und Modularität am iSLT	99
11.2.4	Quantitative Nutzen der Modularität.....	102
11.2.5	Quantitative Nutzen der Intelligenz am iSLT	106
12	Technische Ergebnisse im Projekt iSLT.NET	111
12.1	Modularen SLT mit virtuellem 3D Modell	111
12.2	Fraunhofer Server.....	111
12.3	iSLT Plattform mit App.....	113
12.4	Online-Konfigurator.....	113
12.5	R-Shiny Dashboard zur Visualisierung der Lebenszykluskosten.....	114
12.6	Demonstratoren.....	117
12.7	Ladungsträger im Live Einsatz.....	119
13	Zusammenfassung der Erkenntnisse	120
14	Literaturverzeichnis	121

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Grundlogik des geplanten Netzwerkes für intelligente Sonderladungsträger	4
Abbildung 2-1:	Zeitplan des Projekts	15
Abbildung 4-1:	Ist-Prozesslandkarte eines Sonderladungsträgers (Romer und Huber, 2020)	22
Abbildung 5-1:	Komponenten "Innensteg des Fußes" (Quelle: Gebhardt).....	28
Abbildung 5-2:	Baugruppe "kompletter Fuß" (Quelle: Gebhardt).....	29
Abbildung 5-3:	Modul "Grundrahmen" (Quelle: Gebhardt)	29
Abbildung 5-4:	Ladungsträger geklappt, 3-fach gestapelt (Quelle: Gebhardt).....	30
Abbildung 5-5:	Ladungsträger nicht geklappt (Quelle: Gebhardt).....	30
Abbildung 5-6:	Darstellung von gestapelten Ladungsträgern in verschiedenen Ausführungen (Quelle: Gebhardt)	31
Abbildung 5-7:	Variantenbaum iSLT (Quelle: Hochschule Landshut, in Anlehnung an Meißner & Romer 2018, S. 56)	32
Abbildung 5-8:	Grundrahmen [1680 mm x 1200 mm] (Quelle: Gebhardt)	35
Abbildung 5-9:	Bsp. Verkleidung mit Zetteltasche lange Seite	36
Abbildung 5-10:	Bsp. Verkleidung mit Zetteltasche kurze Seite	36
Abbildung 5-11:	Bsp. Bodenblech.....	36
Abbildung 5-12:	Bsp. Gitter als Boden.....	36
Abbildung 5-13:	Prozessdarstellung Weiterentwicklung Modulbaukasten (Quelle: Hochschule Landshut, Darstellung exemplarisch, Soll-Prozesse Produktkonfigurator)	37
Abbildung 5-14:	Anforderung an die IoT Technologie(n).....	39
Abbildung 5-15:	Anforderungen an das Produkt	40
Abbildung 5-16:	Zustandsdiagramm für die Funktion "Aktuellen Standort der iSLTs darstellen"	41
Abbildung 5-17:	Prototypische Software Architektur auf Azure Basis.....	42
Abbildung 6-1:	Dienstleistung für intelligente, modulare Sonderladungsträger (in Anlehnung an Romer & Meißner 2018, S. 13-16 und Meißner & Romer 2018, S. 58-61)	45
Abbildung 6-2:	Soll-Prozesskarte für einen iSLT (Romer & Huber, 2020)	53
Abbildung 7-1:	Schematische Darstellung der Fünf-Schichten-IoT-Architektur für das Service-System mit intelligenten, modularen Ladungsträgern (Zeiler und Fottner, 2019)	55
Abbildung 7-2:	Datenübermittlung und -vorverarbeitung innerhalb der ersten und zweiten Schichten (Zeiler und Fottner, 2019).....	57

Abbildung 7-3:	Darstellung von Datenfluss und -verarbeitung auf der Cloud-Plattform (Zeiler & Fottner, 2019).....	58
Abbildung 7-4:	Technische Umsetzung der unteren drei Schichten (Zeiler & Fottner, 2020).....	60
Abbildung 7-5:	Datenworkflow in den oberen Schichten (Zeiler & Fottner, 2020).....	61
Abbildung 8-1:	Demonstrator-Supply-Chain bei den Forschungspartnern des Projekts iSLT.NET	62
Abbildung 9-1:	Versuch zur montagegerechten Gestaltung	64
Abbildung 9-2:	Belastung auf den Behälter bei einer Notbremsung	65
Abbildung 9-3:	Versuch zur Kopfsteinpflasterüberfahrt mit dem Gabelstapler.....	65
Abbildung 9-4:	Vergleich zweier Anbringungsorte (Zeiler et. al., 2019).....	68
Abbildung 9-5:	Anbringungspositionen des IoT-Device von links nach rechts: U-Profil (Rand), hinter dem Behälterfuß, integriert im Behälterfuß, Unterboden (mittig)	69
Abbildung 9-6:	Temperaturmessung: a) IoT-Devices mit und ohne Gehäuse, b) Referenzmessung mit optischem Infrarotthermometer	70
Abbildung 9-7:	Temperaturverlauf der IoT-Devices bei Ein- bzw. Auslagerung aus einem Kühlschrank, Starttemperatur 20°C	70
Abbildung 9-8:	Versuchsaufbau für die Beschleunigungsmessungen	71
Abbildung 9-9:	Standorte von intelligenten Ladungsträgern im Kartensystem.....	73
Abbildung 9-10:	Standorte von intelligenten Ladungsträgern in Tabellenform.....	73
Abbildung 9-11:	Pareto-Diagramm über die Abweichungen von GPS-Koordinaten (Romer et. al, 2020 S. 290).....	74
Abbildung 9-12:	Rückverfolgung von Standorten von intelligenten Ladungsträgern in Kartenform	74
Abbildung 9-13:	Rückverfolgung von Standorten von intelligenten Ladungsträgern in Tabellenform	75
Abbildung 9-14:	Warnmeldung bei Überschreitung der Standzeit	75
Abbildung 9-15:	Warnmeldung bei Temperaturunterschreitung (Romer et al., 2020 S. 289).....	77
Abbildung 9-16:	Temperaturverlauf von hawl_1.....	77
Abbildung 9-17:	Warnmeldung bei Erschütterungen.....	78
Abbildung 9-18:	Nachricht bei Eintritt in ein Geofence	78
Abbildung 9-19:	Nachricht bei Austritt aus Geofence	78
Abbildung 9-20:	Bestände bei den Anwendungspartnern	79
Abbildung 9-21:	Erfassung des Schadens eines defekten Ladungsträgers in der App.....	80
Abbildung 9-22:	Erfasste Schäden in Tabellenform	80

Abbildung 10-1:	iSLT.NET Ökosystem	81
Abbildung 10-2:	Daten und Leistungsflussmodell für iSLT.NET	84
Abbildung 10-3:	Darstellung der Bewertung der möglichen Geschäftsmodelle des iSLTs	85
Abbildung 10-4:	Geschäftsmodellszenario des Kaufmodells.....	86
Abbildung 10-5:	Geschäftsmodellszenario des Mietmodells	87
Abbildung 10-6:	Exemplarische prozentuale Verlaufskurven für monatliche iSLT Bedarfe bei vier Derivaten.....	89
Abbildung 10-7:	Formel zur Ermittlung des nutzungsunabhängigen Mietpreises	90
Abbildung 10-8:	Formel zur Ermittlung des Pay-per Use Mietpreises	90
Abbildung 10-9:	Kostenvergleiche für Referenzeinsatz-iSLT über zwei Lebenszyklen.....	91
Abbildung 10-10:	Exemplarische kumulierte Kosten der Geschäftsmodellvergleiche (Barwertbetrachtung)	92
Abbildung 10-11:	Übersicht Herausforderungen zur Umsetzung von Mietmodelle für iSLT	93
Abbildung 11-1:	PSS Klassifizierung in Anlehnung an Tukker 2004	94
Abbildung 11-2:	Integriertes Kosten-Nutzen Modell im Projekt iSLT.NET	96
Abbildung 11-3:	Schematische Darstellung der Kosten und Lebenszyklusbetrachtung	97
Abbildung 11-4:	Gesamtkosten je iSLT im Referenzeinsatzszenario	99
Abbildung 11-5:	Bewertung qualitativer Nutzen der iSLT.NET Lösung für Modularität und IoT	100
Abbildung 11-6:	Tabelle Top 10 qualitative Nutzen.....	101
Abbildung 11-7:	Kostenvergleiche je Reparatur für Fuß und Steher	103
Abbildung 11-8:	Vergleich der Anschaffungskosten der Außenbehälter im zweiten Lebenszyklus	104
Abbildung 11-9:	Exemplarische quantitative Nutzen der IoT-Lösung eines der Akteure im Automotive Umfeld.....	106
Abbildung 11-10:	Kostenstrukturplan IoT-bezogener Lebenszykluskosten smarterer Produkte (Quelle: Naumann, Pflaum 2018, S.83)	108
Abbildung 11-11:	Wesentliche IoT-bezogene Lebenszykluskosten.....	109
Abbildung 11-12:	Szenarien der IoT-bezogenen Lebenszykluskosten bei unterschiedlicher Skalierung	110
Abbildung 12-1:	Ladungsträger in Argumented Reality.....	111
Abbildung 12-2:	Systematische Darstellung der Gesamtarchitektur.....	112
Abbildung 12-3:	Anzeige der Postition des Behälters	113

Abbildung 12-4:	Aufnahmen des Schadens über die App	113
Abbildung 12-5:	Auszug aus dem iSLT Produktkonfigurator	114
Abbildung 12-6:	Darstellung Programmieroberfläche R-Shiny	115
Abbildung 12-7:	Darstellung einer Dashboardansicht zur Analyse der Lebenszykluskosten.....	115
Abbildung 12-8:	Demonstrator am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München	117
Abbildung 12-9:	Demonstrator am HAWL, TZ Puls.....	118
Abbildung 12-10:	iSLT im Automobilwerk	119

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Projektübersicht zum Stand der Forschung zu intelligenten Ladungsträgern.....	18
Tabelle 5-1:	Module und Varianten des Außenbehälters (Quelle: Gebhardt)	34
Tabelle 5-2:	Kennzeichnung der Module / Modultypen	38
Tabelle 9-1:	Auszug aus den Messungen (Zeiler et. al., 2019)	67
Tabelle 9-2:	Umsetzungsreihenfolge von Dienstleistungen.....	72
Tabelle 9-3:	Versuchsdaten bei fallenden Temperaturen (Romer et al., 2020 S.289).....	76
Tabelle 9-4:	Versuchsdaten bei steigenden Temperaturen (Romer et al., 2020 S.289).....	76
Tabelle 10-1:	Verglichene Geschäftsmodelle	88
Tabelle 10-2:	Parameter und Annahmen im Vergleich der Geschäftsmodelle	90
Tabelle 12-1:	Auszüge der Evaluation der r-shiny Applikation	116

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Motivation

Die Entwicklung und der Einsatz von bauteilindividuellen Sonderladungsträgern ist bei kurzen Ladungsträgernutzungszyklen mit hohen Kosten für die beteiligten Unternehmen verbunden. Diese Herausforderung trifft vor allem die Automobilbranche mit ihren kurzzyklischen Produkterneuerungen. Sonderladungsträger werden aufgrund ihrer Bauweise aktuell nur durch wenige Unternehmen für mehr als einen Produktlebenszyklus genutzt, sondern meist nach Nutzungsende verschrottet. Dazu kommt, dass nur sehr wenige Prozesse der Ladungsträgerentwicklung und -verwaltung bereits automatisiert sind. Eine geringe Transparenz bezüglich der Bestände, Zustände, Bedarfe und Standorte der Ladungsträger in der Supply Chain führen häufig zu Störungen und Ausfällen. Bei vielen Unternehmen besteht aber eine hohe technologische und prozessuale Hürde für die Nutzung von Sensoren an Ladungsträgern, um diesen Problemen entgegenzuwirken. Ladungsträgerhersteller stehen zudem unter hohem Wettbewerbsdruck, so dass deren Kernwertschöpfung zunehmend in Länder mit niedrigen Lohnkosten abwandert. Die Chancen, die sich einerseits aus einer modularen Ladungsträgergestaltung und andererseits durch die Nutzung von Basistechnologien des „Internet of Things“ (IoT) für datenbasierte Dienste in einem unternehmensübergreifenden Netzwerk (vgl. Porter & Heppelmann, 2014) ergeben, verbleiben heute weitestgehend ungenutzt.

Zwar wurden einzelne Aspekte des Themas im Laufe der letzten Jahre in unterschiedlichen Forschungsprojekten behandelt, es gab jedoch bislang kein Projekt, das aus technologischer wie auch betriebswirtschaftlicher Perspektive ein tragfähiges Gesamtsystem realisieren konnte. Genau an diesem Punkt setzte das hier beschriebene Projekt an. Es erforschte einerseits technologische Lösungen für die Gestaltung von intelligenten, modularen Sonderladungsträgern (iSLT), untersuchte darüber hinaus die Potentiale von ladungsträger- und datenbasierten Dienstleistungen und machte diese im Sinne eines Service Systems (Böhm et al., 2014) schließlich über eine Cloud-Plattform unternehmensübergreifend für alle Akteure der Supply Chain nutzbar. Ergebnis des Vorhabens war die prototypische Umsetzung eines Netzwerks für intelligente, modulare Sonderladungsträger inklusive der damit verbundenen Hardware (Ladungsträger, IoT-Technologien), Cloud-Plattform, Dienste und Geschäftsmodell. Ladungsträgerherstellern wird auf diese Weise ermöglicht, ihr Geschäftsmodell auf Grundlage der digitalen Transformation gezielt, um produktnahe Dienstleistungen zu erweitern. Anwender können von einer effizienten Ladungsträgernutzung ohne hohe Erstinvestitionen und Einstiegsbarrieren profitieren. Das Projekt trug damit deutlich zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen bei.

1.2 Zielsetzung

1.2.1 Gesamtziele

Zielsetzung von iSLT.NET war die Konzeption sowie prototypische Realisierung und Prüfung eines Netzwerks für intelligente, modulare Sonderladungsträger (iSLT). Im Rahmen des Projektvorhabens sollte einerseits die technische Machbarkeit eines iSLT demonstriert und durch die Konzeption und Umsetzung begleitender Dienstleistungen wie auch eines Geschäftsmodells der Nachweis der Wirtschaftlichkeit erbracht werden. Im Hinblick auf den Technologiewettbewerb „Digitale Technologien für die Wirtschaft (PAiCE)“ verzahnte das Projektvorhaben die Technologiefelder „Unternehmensübergreifende, autonom agierende und

dezentral organisierte Logistiklösungen“ und „Sichere, robuste, echtzeitfähige und taktile Kommunikationslösungen für die Industrie“.

Daneben fügte sich das Vorhaben in die „Hightech-Strategie“ und die „Digitale Agenda“ der Bundesregierung ein und adressierte dabei explizit das Handlungsfeld „Digitale Wirtschaft und digitales Arbeiten“. In dessen Rahmen sollten durch die vernetzte Produktion (Industrie 4.0) Wertschöpfungsketten grundlegend neugestaltet und Geschäftsmodelle angepasst werden. Daraus ergaben sich insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen große Potenziale, um ihre Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit aufrecht zu erhalten. Genau an diesem Punkt setzte das vorliegende Projektvorhaben am Beispiel Ladungsträgermanagement in der Automobilindustrie an.

1.2.2 Wissenschaftliche/technische Arbeitsziele

Das Projekt verfolgte das Ziel, ein Rollenmodell für die digitale Transformation der deutschen Wirtschaft im Bereich des Ladungsträgermanagements am Beispiel der Automobilbranche zu liefern. Dafür erforschte das Konsortium den Aufbau von modularen Sonderladungsträgern, die Anwendung von IoT-Technologien am Ladungsträger für die Wertschöpfungskette, die Potentiale von produkt- und datenbasierten Dienstleistungen sowie deren Bereitstellung über eine Cloud-Plattform und schließlich Geschäftsmodelle als unternehmensübergreifende Betreiberkonzepte.

Um das Netzwerk realisieren zu können, mussten modulare Sonderladungsträger mit IoT-Basistechnologien ausgestattet werden. Hierzu galt es nicht nur, geeignete IuK-Technologien hinsichtlich deren Eignung zu bewerten, sondern diese auch in den Ladungsträger zu integrieren. Zusätzlich musste ein modulbasierter Baukasten für den Sonderladungsträger entwickelt werden, der die Potentiale von modularen Strukturen heben sollte.

Bei der Konzeption und Realisierung neuer produkt- und datenbasierter Dienstleistungen und deren zugehörigen Geschäftsmodelle stand die Erweiterung am Markt verfügbarer Leistungen im Vordergrund. Informationsdienstleistungen sollten in mehreren Iterationsschritten konzipiert und anschließend in ein Geschäftsmodell übertragen werden. Auch die Kosten-Nutzen-Analyse und die Übertragung auf Anwendungsfälle stand als Zielstellung fest. Zusätzlich wurde die Entwicklung eines Produktkonfigurators angestrebt. Die hierfür auszuwählenden IuK-Technologien hatte zum Ziel, funkbasiert Daten an die Cloud-Plattform zu übertragen. Auch die Kommunikation der Unternehmen sollte bei Bedarf über die Cloud stattfinden und den Betreiber des iSLT-Pools direkt mit einbinden. Für die Bereitstellung der konzipierten Dienste musste eine geeignete Kommunikationsinfrastruktur aufgebaut werden. Hierfür galt es zu analysieren, welche Prozessschritte welche Daten benötigen bzw. generieren und welcher Dienst die Daten dem Nutzer bereitstellt.

Das Netzwerk für iSLT ermöglichte durch eine konsequente Modularisierung von Hardware, Dienstleistungen und flexible Verrechnungsmodelle eine hohe Skalierbarkeit von Nutzungsdauer und Anzahl der Ladungsträger im Produktkreislauf. Ziel war es somit iSLT.NET so zu konzipieren, dass es auch auf andere Branchen übertragbar ist und durch das Projekt eine erste Pilotanwendung für den Automobilbereich getestet werden konnte.

1.2.3 Ergebnisziele

Im Rahmen des Projektvorhabens wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Erforschung, Konzeption und Konstruktion eines standardisierten Baukastensystems für iSLT zur branchenweiten Rekonfiguration und Wiederverwendung der Einzelmodule.
- Identifikation prozessrelevanter Einflussgrößen im Kontext des Ladungsträgermanagements (z. B. Ort, Beladungszustand, Temperatur, Erschütterung, Defekte) für eine gesteigerte Transparenz.
- Auswahl und Integration von IoT-Technologien in modulare Sonderladungsträger zur dezentralen Erfassung prozessrelevanter Einflussgrößen und Daten.
- Erforschung und Konzeption von Soll-Prozessen und Dienstleistungen auf Basis der Daten des iSLT für unterschiedliche Ladungsträger-Lebenszyklusphasen.
- Entwurf eines cloud-basierten Service-Systems unter Beachtung der digitalen Sicherheitsaspekte für das Management der iSLT entlang des gesamten Lebenszyklus.
- Erforschung und Konzeption eines Geschäftsmodells auf Basis der iSLT und der Dienstleistungen, das sowohl Anbietern als auch Nutzern einen Mehrwert liefern
- Aufbau eines Referenzsystems des Netzwerks für iSLT im Rahmen einer Demonstrator-Supply-Chain zwischen den Modellfabriken der beteiligten Forschungspartner zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft.
- Prototypische Umsetzung und Praxis-Erprobung des Gesamtsystems bei den Anwendungspartnern zur Demonstration der technischen Machbarkeit und zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit
- Evaluierung des Gesamtsystems auf Basis der prototypischen Implementierung sowie abgeleitete und dokumentierte Handlungsempfehlungen für die weitere Umsetzung
- Wissenstransfer der Ergebnisse in Wissenschaft und Lehre zur Ausbildung von wissenschaftlichem Nachwuchs

1.3 Lösungsansatz

Ausgangsbasis des Vorhabens war die klassische Prozesskette eines Sonderladungsträgers von der Herstellung bis zum Recycling. Mit Hilfe der Modularisierung der Sonderladungsträger im Rahmen eines branchenübergreifenden Baukastensystems wurde auf Grund der unternehmensübergreifenden Rekonfiguration und Wiederverwertung der iSLT-Module die Ressourcenverschwendung durch Ladungsträgerverschrottung minimiert. Durch Integration von IoT-Basistechnologien sollten die Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette bei der Ladungsträgerentstehung und -nutzung unterstützt und verbessert werden. Insbesondere standen dabei eine höhere Transparenz der Behälterflüsse als Basis für die Verbesserung der Ladungsträgerplanung sowie die Mengen- und Kostenreduktion im Vordergrund. Daneben wurden aus der Wertschöpfungskette generierte Daten in eine Cloud-Plattform abgelegt. Hierbei wurden generische Software-Services mit problemspezifisch entwickelten Software-Services verknüpft und zu verteilten Applikationen („Apps“) orchestriert. Transfer, Konfiguration als auch bedarfsorientierte Aktualisierung der Apps fanden sowohl auf den mobilen Endgeräten (z. B. Laptops oder „Smartphones“) als auch auf der iSLT.NET-Plattform statt. Die Prozess- und Zustandsdaten wurden auf einer IT-Infrastruktur in der Cloud gesammelt und standen dort für Auswertungen für die umfassende Prozessoptimierung zur Verfügung. Dieses Gesamtsystem stellte ein Netzwerk mit allen Akteuren (Ladungsträgerhersteller, Softwareanbieter, Zulieferern und OEMs) am Beispiel der Automobilindustrie dar. Die folgende Abbildung 1-1 verdeutlicht das Konzept.

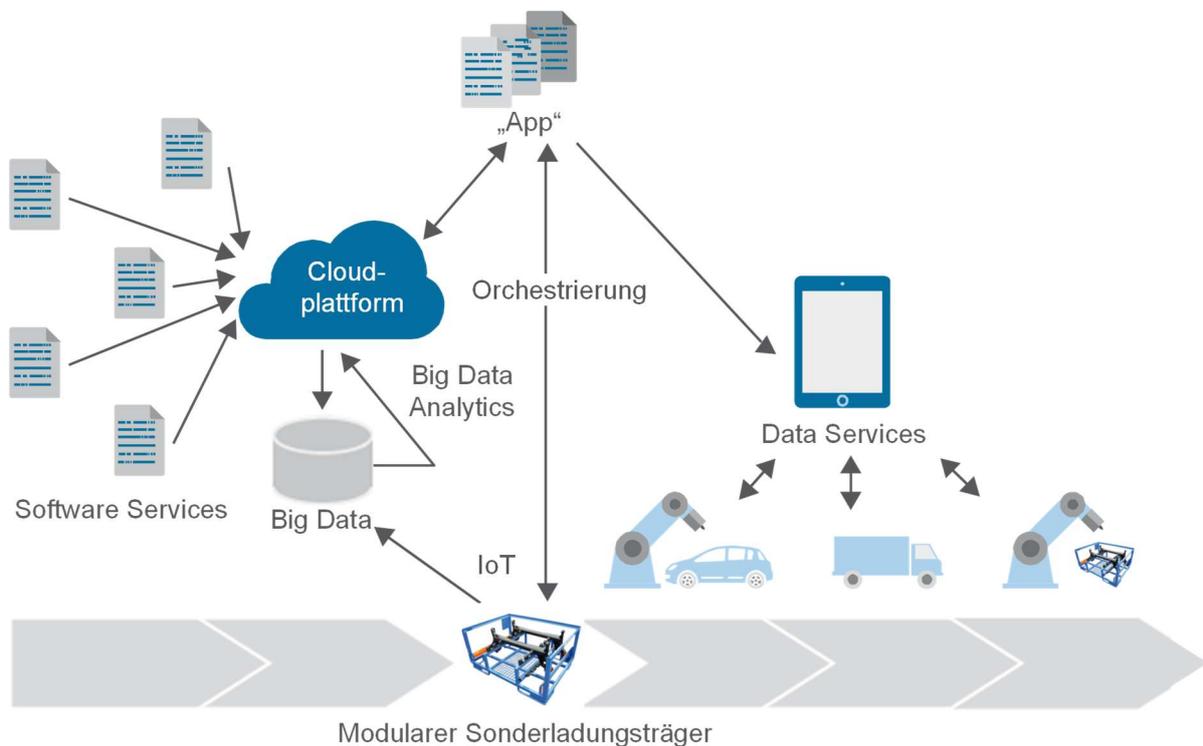


Abbildung 1-1: Grundlogik des geplanten Netzwerkes für intelligente Sonderladungsträger

2 Projektorganisation

2.1 Konsortium im Projekt

2.1.1 Gebhardt Logistic Solutions GmbH

Firmenname:	Gebhardt Logistic Solutions GmbH (GLS)	
Branche:	Logistik	
Adresse:	Frühlingstraße 2-3 93413 Cham	
Unternehmen:	Gebhardt entwickelt und fertigt seit 190 Jahren effiziente Logistiklösungen für Handel und Industrie. Das Unternehmen, mit Hauptsitz in Cham, wird bereits in der 6. Generation als Familienunternehmen geführt. Heute generiert Gebhardt mit knapp 400 Mitarbeitern an fünf Produktionsstandorten weltweit einen Umsatz von ca. 75 Millionen Euro.	
Aufgaben im Projekt	<ul style="list-style-type: none"> - Projektleitung - Konzeption und Realisierung der iSLTs - Konzeption und Realisierung des Produktkonfigurators - Entwicklung von „Container-as-a-Service“-Konzept aus der Perspektive des Lösungsanbieters 	

2.1.2 BMW AG

Firmenname	BMW AG (BMW)	
Branche	Automobilindustrie	
Adresse	Petuelring 130 80333 München	
Unternehmensvorstellung	BMW ist ein weltweit operierender, börsennotierter Automobil- und Motorradhersteller mit Sitz in München, der unter dem Markennamen BMW Group auftritt. Die Produktpalette umfasst die Automobil- und Motorrad-Marke BMW, die Automarken Mini und Rolls-Royce sowie die BMW-Submarken BMW M und BMW i. Der Jahresumsatz betrug im Geschäftsjahr ca. 100 Milliarden Euro, wobei das Unternehmen ca. 133 Tausend Mitarbeiter auf der ganzen Welt beschäftigte. (Stand 2019)	
Aufgaben im Projekt	<ul style="list-style-type: none"> - Mitarbeit bei der Konzeption und der Realisierung des intelligenten Sonderladungsträgers - Entwicklung von „Container-as-a-Service“-Konzept aus der Perspektive des Anwenders (OEM) - Zur Verfügung stellen eines realen Versuchsumfeldes im Rahmen von Serienbehältern für die Versorgung von Bauteilen in ein Fahrzeugwerk 	

2.1.3 Dräxlmaier Industrial Solutions GmbH

Name:	Draexlmaier Industrial Solutions GmbH (DIS)	
Branche:	Automobilzulieferer	
Adresse:	Landshuter Straße 100 84137 Vilsbiburg	
Unternehmen:	Das 1958 gegründete Familienunternehmen hat sich auf die Produktion von Bordnetzen, Elektrik- und Elektronikkomponenten, Interieur sowie Speichersysteme für Premiumfahrzeuge spezialisiert. Heute macht das Unternehmen einen Umsatz von circa 4,9 Milliarden Euro im Jahr und beschäftigt 75.000 Mitarbeiter weltweit.	
Aufgaben im Projekt:	<ul style="list-style-type: none"> - Entwicklung von „Container-as-a-Service“-Konzept aus der Perspektive des Anwenders (Zulieferer) - Integration der Lösung in die eigene Cloud-Infrastruktur 	

2.1.4 Fraunhofer Arbeitsgruppe für Supply Chain Services

Firmenname:	Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Supply Chain Services des Fraunhofer IIS	
Branche:	Angewandte Forschung	
Adresse:	Nordostpark 84 90411 Nürnberg	
Unternehmen:	Die Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Supply Chain Services des Fraunhofer IIS optimiert durch Daten Prozesse, Organisationen und Geschäftsmodelle, indem sie wirtschaftswissenschaftliche Methoden und technologische Lösungen mit mathematischen Verfahren und Modellen verbindet: An ihren Standorten in Nürnberg und Bamberg gestaltet die Arbeitsgruppe Datenräume für vernetzte Gesamtsysteme und schnell einsetzbare IoT-Prototypen, entwickelt modernste Data Analytics-Methoden in konkreten Anwendungen und unterstützt bei der organisationalen und strategischen Realisierung der digitalen Transformation. Als Arbeitsgruppe des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS, der größten Einrichtung der Fraunhofer-Gesellschaft, können die Mitarbeitenden nicht nur auf die eigenen wirtschaftswissenschaftlichen Kompetenzen und Analytics-Expertisen zurückgreifen, sondern auch auf das technologische Know-how der anderen Forschungsbereiche des Instituts im Bereich »kognitiver Sensorik« mit seinen Forschungen bzgl. Sensorik, Datenübertragungstechnik, Datenanalysemethoden sowie Datenverwertung.	
Aufgaben im Projekt:	<ul style="list-style-type: none"> - Entwicklung Hard- & Software für eingebettete Systeme sowie Anwendungssoftware - Bereitstellung Middleware - Methoden-Coaching für Service- & Geschäftsmodellentwicklung - Entwicklung Ökosystem und Datenflussmodell - Kosten-Nutzen-Evaluation IoT-Lösung und Geschäftsmodell - Test und Demonstration in der L.I.N.K-Halle 	

2.1.5 Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss und Logistik der TU München

Firmenname	Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik Technische Universität München	
Branche	Bildungseinrichtung, Forschung	
Adresse	Boltzmannstraße 15 85748 Garching	
Unternehmensvorstellung	Der Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) gehört zum Fachbereich Maschinenbau der Technischen Universität München (TUM). Neben Aspekten der technischen Logistik sind die Steuerung und Optimierung von Informations- und Materialflussprozessen durch innovative Technologien, die Weiterentwicklung der Logistikplanung auf der Basis digitaler Werkzeuge und die sich wandelnde Rolle des Menschen in der Logistik wesentliche Forschungsgebiete des Lehrstuhls.	
Aufgaben im Projekt	<ul style="list-style-type: none"> - Umfassende Erfassung und Analyse der Ist-Situation im Bereich des Behälterwesens - Erstellung eines validen Konzepts für das technische Gesamtsystem - Aufbau eines Datenmodells und Festlegung von Rechten und Rollen - Umsetzung einzelner Systemkomponenten und Absicherung deren Zusammenwirkens - Konzeption und Realisierung des iSLT-Netzwerks (insbesondere der benötigten Funktionen) - Unterstützung bei Entwicklung, Test und Demonstration des Gesamtsystems in der Versuchshalle des Lehrstuhls 	

2.1.6 Hochschule für angewandte Wissenschaften Landshut

Firmenname	Hochschule für angewandte Wissenschaften Landshut (HAWL)  HOCHSCHULE LANDSHUT HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
Branche	Bildungseinrichtung, Forschung
Adresse	Am Lurzenhof 1 84036 Landshut
Unternehmensvorstellung	Am Technologiezentrum für Produktions- und Logistiksysteme (TZ PULS) bündelt die Hochschule Landshut alle fachspezifischen Kompetenzen im Bereich Industrie 4.0 und intelligente Logistiksysteme. Herzstück des TZ PULS ist eine 900 m ² große Lern- und Musterfabrik. Das TZ PULS hat sich zum Ziel gesetzt, die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie der Region durch intensive kooperative Forschungsaktivitäten und darauf aufbauenden Technologietransfer insbesondere durch entsprechende Aktivitäten in der Lern- und Musterfabrik am TZ PULS zu stärken.
Aufgaben im Projekt	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse und Dokumentation der Ist-Prozesse und Schwachstellen im Behältermanagement bei den Anwendungspartnern - Definition von Anwendungsszenarien - Unterstützung bei der Entwicklung des iSLT (insbesondere bei der modularen Baukastenstruktur) - Ableitung und Definition von Anforderungen an die Dienstleistungen - Konzeption von Dienstleistungen, Modellierung von Soll-Prozessen und Bewertung der Dienstleistungen - Aufbau des Referenzsystems - Test und Demonstration des Gesamtsystems in der Musterfabrik des TZ PULS

2.2 Arbeitsplan

In den folgenden Unterkapiteln werden die Arbeitspaket, Ergebnisse und Meilensteine dargestellt. Hierzu erfolgt eine detaillierte Beschreibung der Arbeitspakete (AP) und eine übersichtliche Darstellung der erreichten Ergebnisse. Die Meilensteine mit Bezug auf die zugehörigen Arbeitspakete werden in Kapitel 2.2.3 dargestellt.

2.2.1 Darstellung des Arbeitsplans

Der Arbeitsplan bestand aus folgenden Arbeitspaketen: (1) Analyse und Anforderungsdefinition, (2) Konzeption der Komponenten, (3) Realisierung der Komponenten, (4) Prototypische Umsetzung und Evaluierung, (5) Dokumentation und Ergebnistransfer, (6) Projektkoordination.

Nachfolgend sind die Arbeitspakete detailliert beschrieben.

Arbeitspaketbeschreibung

AP 1: Analyse und Anforderungsdefinition

Das Arbeitspaket startete im Februar 2017 und endete im Oktober 2017. Ziel des AP war die Analyse und Erhebung von Anforderungen an die unterschiedlichen Komponenten des Gesamtsystems, welche die Basis für die Bearbeitung der weiteren APs darstellten

AP 1.1: Analyse Ist-Prozesse, Anforderungskatalog Dienstleistungen und Definition Anwendungsszenarien

In diesem AP erfolgte die Aufnahme und Analyse der Ist-Ladungsträgerprozesse bei den Anwendungspartnern, die Definition von Referenzszenarien bei den Anwendungspartnern sowie die Erhebung und Aufbereitung der Anforderungen für die Dienstleistungen.

AP 1.2: Anforderungskatalog für den iSLT

Vorraussetzung für die Supply-Chain-übergreifende Rekonfigurierbarkeit war eine modulare Standardisierung, die zum einen Flexibilität für die unterschiedlichen Referenzszenarien ermöglichen, zum anderen die Komponenten des iSLT weitestgehend vereinheitlichen, um netzwerkübergreifende Skaleneffekte zu erzielen. In diesem AP wurden die Anforderungen an die iSLT aus Produkt- wie auch Prozesssicht unternehmensübergreifend bestimmt.

AP 1.3: Anforderungskatalog IoT-Basistechnologien (intelligente Sensorik sowie Kommunikations- und Identifikationstechnologie)

Für die Bereitstellung von Daten waren Sensor- und Kommunikationstechnologien notwendig. Der modulare Sonderladungsträger musste durch eine geeignete Sensorik zu einem smarten Produkt transformiert werden. Für die Datenerfassung in physischen Prozessen waren Identifikationstechnologien notwendig. Anschließend mussten die Daten übertragen werden, um von einer Recheneinheit analysiert zu werden. Das Arbeitspaket erfasste und dokumentierte die notwendigen Anforderungen. Diese wurden anschließend in einen morphologischen Kasten zur Technologieauswahl übertragen.

AP 1.4: Anforderungskatalog Software-Architektur, Cloud-Plattform und Sicherheitskonzept

Die gewünschten IT-Dienste wurden gemeinsam mit den Anwendungspartnern in Kreativworkshops erhoben. Folglich wurden die Anforderungen mittels Requirements Engineering aus den identifizierten IT-Diensten abgeleitet. Darüber hinaus wurden die Anforderungen an die Cloud-Plattform aus den Anwendungsszenarien und den IT-Diensten ermittelt.

AP 1.5: Analyse Geschäftsmodelle und unternehmensübergreifendes Kosten-Nutzen-Modell

Aus der Kombination der Ergebnisse aus Ist-Prozessen und Anforderungen wurde das Geschäftsmodell des Ladungsträgerherstellers sowie die derzeitigen Services analysiert. Mit Hilfe von Leitfragen zu jedem Geschäftsmodellelement erfolgte eine systematische Erfassung der einzelnen Ausprägungen. Die Aggregation sämtlicher Anforderungen diente ebenfalls als Grundlage zur Ermittlung der anfallenden Gesamtkosten des Behältermanagementsystems. Für die Darstellung der Ertragsmechanik wurden die Nutzenpotenziale zusammengestellt. Anschließend wurde das Grundgerüst für ein Kosten-Nutzen-Modell konzipiert.

Im Arbeitspaket 1 wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Anforderungsliste und morphologischer Kasten für IoT-Technologien
- Anforderungskatalog für die System-Architektur, Cloud-Plattform und das Sicherheitskonzept
- Ist-Geschäftsmodell und Grundgerüst eines Kosten-Nutzen-Modells

AP 2: Konzeption der Komponenten

Das Arbeitspaket startete im August 2017 und endete im Juli 2018. Ziel des AP war die eng verzahnte Konzeption aller Einzelkomponenten des Netzwerks für iSLT. Die Voraussetzung dabei war der Abschluss von AP 1.

AP 2.1: Konzeption Soll-Prozesse und Dienstleistungen

Auf Grundlage des Anforderungskatalogs (AP 1.2, 1.3) wurden die technologischen Rahmenbedingungen für den iSLT und seine Einzelkomponenten festgelegt. Der iSLT folgte dabei einer Baukastenstruktur. Grundlage dafür war die Auswahl, die Konzeption und der Test geeigneter Technologievarianten mittels eines morphologischen Kastens. Um eine unternehmensunabhängige Konfigurierbarkeit zu gewährleisten, kamen unterschiedliche Technologien zum Einsatz. Eine Grundvoraussetzung für die Rekonfiguration des iSLT war die Identifizierbarkeit aller Komponenten zu jedem Zeitpunkt mit der Dokumentation der unterschiedlichen Entwicklungs- und Wartungsstände.

AP 2.2: Konzeption des technischen Gesamtsystems

In diesem Arbeitspaket wurde ein valides Gesamtkonzept für das technische System erstellt, welches das Zusammenwirken aller Teilkomponenten berücksichtigt. Damit wurde die Grundlage für die technische Ausgestaltung der verschiedenen Teilsysteme geschaffen. Darüber hinaus wurde ein Ansatz für die Modularisierung der Gesamtfunktionalität entwickelt.

AP 2.3: Konzeption konfigurierbares Produktmodell des iSLT

In diesem AP erfolgte die Konzeption eines konfigurierbaren Produktmodells im Baukastensystem für den iSLT. Durch eine modulare Standardisierung konnten netzwerkübergreifende Skaleneffekte erzielt werden, die zum einen Flexibilität für die unterschiedlichen Referenzszenarien ermöglichten, zum anderen die Komponenten des iSLT weitestgehend anwenderübergreifend vereinheitlichten und eine einfache und schnelle Rekonfiguration für verschiedene Anwendungsfälle gewährleisteten.

AP 2.4: Konstruktion der Einzelmodule des iSLT

In diesem AP erfolgte die Konzeption und Konstruktion der iSLT-Module zur unternehmensübergreifenden Nutzung im iSLT-Netzwerk. Hierzu wurde ein Pflichtenheft für alle Produktmodule und Modulschnittstellen erstellt und ein Vorgehensmodell zur netzwerkweiten Produktentwicklung konzipiert. Darauf aufbauend wurden die iSLT-Module erarbeitet und durch die Netzwerkpartner in einem definierten Abnahmeprozess freigegeben.

AP 2.5: Bewertung und Auswahl IoT-Basistechnologien (intelligente Sensorik sowie Kommunikations- und Identifikationstechnologie)

Auf Basis der Anforderungsliste aus AP 1.3 erfolgte eine strukturierte Literaturrecherche nach geeigneten Technologien. Die Auswahl der Sensorik für den modularen Sonderladungsträger erfolgte durch den morphologischen Kasten. Anforderungen und Leistungsportfolio wurden miteinander verglichen, sodass am Ende gezielt Technologien benannt und für das Projekt ausgewählt werden konnten. Für die ausgewählte Sensorik war eine geeignete Identifikations- und Kommunikationstechnologie auszuwählen. Dies erfolgte ebenfalls durch eine strukturierte Literaturrecherche. Bei der Auswahl und Bewertung sind Muss-Kriterien, welche sich aus der Prozessanalyse ergaben, zu berücksichtigen.

AP 2.6: Konzeption Software-Architektur, Cloud-Plattform und Sicherheitskonzept

Aufbauend auf dem Anforderungskatalog aus AP 1.4 wurde eine Software-Plattform konzipiert und Software-Module definiert, welche die IT-Dienste realisieren konnten. Für eine anwendungsorientierte Entwicklung kamen User-Stories zum Einsatz. Damit ließen sich die Bedürfnisse der Anwender erfassen und priorisieren. Zur Visualisierung der Software-Module werden aus den User-Stories Mockups erstellt. Für das technische Konzept der System-Architektur wurden, basierend auf den Anforderungen aus AP 1.4 mögliche Technologien zur Umsetzung der Softwareplattform evaluiert und ausgewählt. Für die geeignete Auswahl mussten Erfolgskriterien an eine Plattform definiert werden. Dabei wurden insbesondere detailliert Datensicherheitsrisiken betrachtet, welche die praxistaugliche Verwertung der angestrebten Ergebnisse gefährden könnten.

AP 2.7: Konzeption Datenmodell und Definition Rechte und Rollen

In diesem AP wurde ein Datenmodell erstellt, das alle Daten für die bereitzustellenden Software-Services enthält und strukturiert. Darüber hinaus wurden die Rechte und Rollen definiert, welche den Zugriff auf Daten bzw. die Nutzung von Software-Services regeln, und eine Grundlage für das Aufsetzen der Datenbank und das Anbieten von Software-Services schufen.

AP 2.8: Konzeption und Bewertung Geschäftsmodell

Unter Berücksichtigung der ermittelten Anforderungen aus AP 1 wurden mit dem wissenschaftlich etablierten Vorgehensmodell NSEB® die CPS-basierten Services im Sinne des Service-Engineering Ansatzes entwickelt. Durch den iterativen Aufbau des Vorgehensmodells konnte auf die Entwicklung neuer Services und Geschäftsmodelle zielgerichtet hingearbeitet werden. Zusätzlich wurden Methoden kollektiver Intelligenz wie Crowd Sourcing oder Social Forecasting angewendet, um die relevantesten Services zu ermitteln und zu bewerten. Gleichzeitig wurden die technologische Machbarkeit, das Marktpotenzial und die ökonomische Amortisation der entwickelten Konzepte überprüft. Ein Ökosystem für die neu entstandene Plattform, welches Verantwortlichkeiten Aufgaben und Rechte der jeweiligen Akteure definierte, unterstützte die leistungsabhängige Zuteilung der Kosten und Nutzen.

Im Arbeitspaket 2 wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Auswahl und Benennung von IoT-Basistechnologien für den modularen Sonderladungsträger und die Prozesskette
- Priorisierte User-Stories und Mockups für die Software-Module
- UML Abbildungen des technischen Konzepts der Softwarearchitektur
- Bewertungskriterien zur Auswahl der relevantesten Dienstleistungen
- Ausgearbeitetes und bewertetes Geschäftsmodells mit den dazugehörigen Dienstleistungsmodulen
- Darstellung eines Ökosystems mit allen relevanten Rollen für den iSLT.NET

AP 3: Realisierung der Komponenten

Das Arbeitspaket startete im Mai 2018 und endete im November 2019. Ziel des AP war die Realisierung der Einzelkomponenten und erste Tests der Prototypen. Die Voraussetzung dabei war der Abschluss von AP 2.

AP 3.1: Realisierung und Test iSLT

Die Komponenten des iSLT (Ladungsträger, IoT-Technologien) wurden in Baukastenstruktur realisiert und die Werkzeuge zur Ladungsträgerkonfiguration sowie das Produktdatenmodell in Software umgesetzt. Funktions- und Integrationstests stellten die Anwendbarkeit sicher. Aus den Komponenten entstanden zu Testzwecken für die Anwendungsszenarien (AP 1.1), Pilot-Ladungsträger.

AP 3.2: Realisierung und Test Produktkonfigurator

In diesem AP wurde ein Prototyp des Produktkonfigurators zur unternehmensübergreifenden iSLT-Nutzung erstellt. Hierzu erfolgte zunächst eine Detaillierung des Konzepts für das Werkzeug zur Ladungsträgerkonfiguration sowie für das iSLT-Produktdatenmodell sowie die Umsetzung beider in einen Software-Prototyp.

AP 3.3: Realisierung und Test Datenbank und Software Service

Die Cloud-Plattform und Software-Module wurden technisch umgesetzt. Dabei kamen agile Methoden zum Einsatz. Es wurden überschaubare, logisch abgrenzbare Funktionalitäten umgesetzt und getestet. Dabei wurden zuerst die wichtigsten Funktionalitäten umgesetzt, um nach jeder Iteration den Status eines Potentially Shippable Products zu erreichen. Ziel war es, dass das System schon während der Entwicklung in frühen Entwicklungsständen getestet werden konnte. Dies sorgte auch dafür, dass Fehlentwicklungen frühzeitig erkannt und ausgemerzt wurden. Dadurch entstand iterativ die vollständige Software-Komponente. Funktionstests gemäß erstellter Testpläne dienten zur Überprüfung der funktionalen Anforderungen.

AP 3.4: Realisierung und Test Schnittstellen und Benutzeroberfläche

Auf Basis der MockUps aus AP 2.5 wurde die Benutzeroberfläche mittels agiler Methoden realisiert und getestet. Relevant für die Realisierung war das Feedback der Anwender. Die Rückmeldungen wurden iterativ in die Entwicklung mit einbezogen. Für die Praxistauglichkeit der Lösung und zur Vermeidung doppelter Datenerhebung bzw. Datenhaltung wurden Schnittstellen zu vorhanden ERP-Systemen hinsichtlich der Praxispartner bereitgestellt.

AP 3.5: Realisierung und Test Kommunikations- und Identifikationsinfrastruktur

Die benötigten Schnittstellen und Übertragungsprotokolle wurden konkret ausgestaltet, um die Bereitstellung der Dienste auf Prozessebene zu ermöglichen. Zudem wurden Identifikationsgeräte ausgewählt und deren Eignung für die Umsetzung der konzipierten Soll-Prozesse getestet. Dabei wurde sichergestellt, dass diese eine zuverlässige Erfassung der Daten im realen Umfeld ermöglichen. Zur Überprüfung der Funktionalitäten wurden Testpläne erstellt.

AP 3.6: Integrationstest und Weiterentwicklung Usability

Ziel des AP war die funktionale Zusammenführung der einzelnen technischen Systemkomponenten. Darüber hinaus wurde das Zusammenwirken integrierter Systemkomponenten hinsichtlich der Funktionalität des Gesamtsystems erprobt und Optimierungsmaßnahmen abgeleitet und umgesetzt.

Im Arbeitspaket 3 wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Getestete Datenbank und Software-Services
- Testpläne und Auswertungen hinsichtlich der Praxistauglichkeit von Identifikations- und Kommunikationstechnologie
- Anwenderorientierte Benutzeroberfläche

AP 4: Prototypische Umsetzung und Evaluierung

Das Arbeitspaket startete im November 2018 und endete im Januar 2020. Ziel des AP war die Evaluierung des Gesamtsystems hinsichtlich seiner Funktionalität, Wirtschaftlichkeit, Akzeptanz und Marktaussichten als Grundlage für die Verwertung im Anschluss an das Projektvorhaben. Die Voraussetzung für den AP 4 war der Abschluss von AP 3.

AP 4.1: Aufbau Referenzsystem

Die einzelnen Komponenten wurden zu einem Referenzsystem integriert (M 7), dessen Funktionalität in einer Laborumgebung getestet wurde. Die Forschungspartner bauten eine Demonstrator-Supply-Chain zwischen ihren Modellfabriken in Nürnberg (Fraunhofer SCS), München (fml) und Dingolfing (HAWL) auf, um zum einen das Gesamtsystem aus Hardware und Dienstleistungen zu evaluieren und zum anderen die Prozesse und Technologien des Projekts weiteren Unternehmen praxisnah demonstrieren zu können.

AP 4.2: Implementierung prototypisches Gesamtsystem

Der Prototyp des Gesamtsystems (M 7) wurde in laufenden Prozessen der Anwendungspartner umgesetzt und getestet. Dies erforderte eine umfassende technische und organisatorische Vorbereitung der Integration in bestehende Unternehmensstrukturen (z. B. Anbindung an IT-Infrastruktur, Auswahl geeigneter Prozesse und Probanden). Infolgedessen wurden die iSLT in einem geschlossenen Kreislauf zwischen den Anwendungspartnern transportiert. Über die Cloud-Plattform wurden die entwickelten Dienstleistungen von den Anwendungspartnern in Anspruch genommen.

AP 4.3: Operationalisierung und Skalierung des Geschäftsmodells

Das in AP 2.8 ausgearbeitete Geschäftsmodell wurde unter Berücksichtigung der durchgeführten Tests weiter detailliert. Hierzu gehörte neben dem Kosten-Nutzen-Modell auch die Weiterentwicklung des Ökosystems um weitere Rollen wie dem Logistikdienstleister oder Technologielieferanten. In Interviews wurde die Akzeptanz der neuen Dienstleistungsmodule auch für andere Branchen überprüft. Zusätzlich wurden Lastenhefte zur Beschreibung von bspw. Aufgabenspezifikationen oder Haftungsregelungen entworfen, sodass eine Grundlage für wichtige Anforderungen beim operativen Rollout geschaffen wurde.

AP 4.4: Evaluierung Gesamtsystem

Das Gesamtsystem wird durch die Forschungspartner evaluiert. Kriterien für die Bewertung des Gesamtsystems sind einerseits dessen Funktionalität, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz, aber auch die zu erwartenden Marktaussichten. Hierzu wird im Rahmen von Workshops mit Nutzern und Anwendern die Erreichung smarter (spezifisch, messbar, akzeptiert, realistisch und terminiert) Ziele überprüft und mit Methoden wie Best-of-Breed und Benchmarking untermauert.

Im Arbeitspaket 4 wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Detailliertes Geschäftsmodell inkl. Kosten-Nutzen-Modell und Ökosystem
- Evaluierung mit Anwendern

2.2.2 Zeitplan und Meilensteine

In der folgenden Abbildung ist der Zeitplan des Projekts dargestellt.

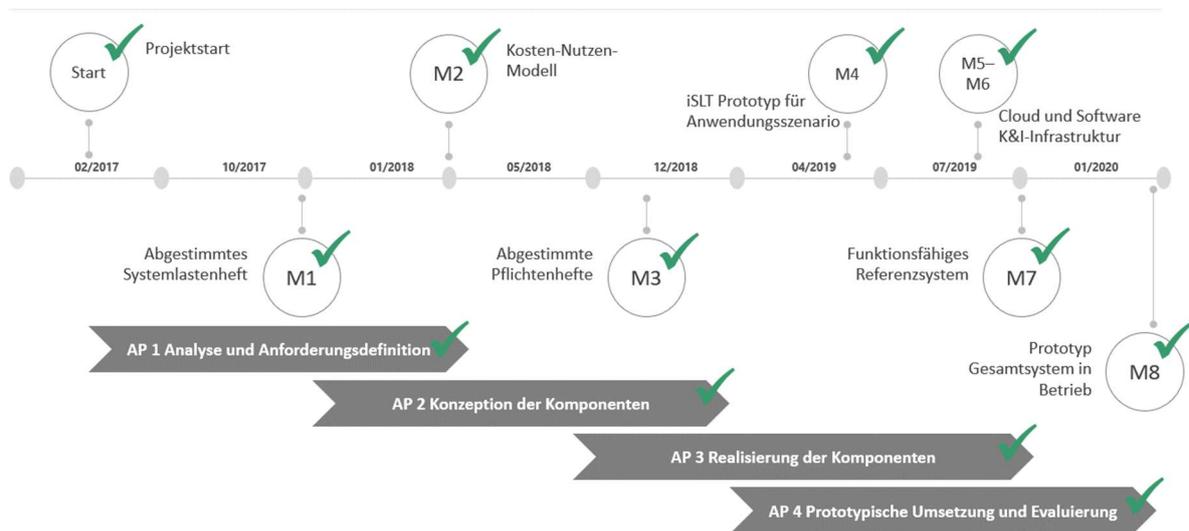


Abbildung 2-1: Zeitplan des Projekts

Nachfolgend werden die Meilensteine des Forschungsvorhabens iSLT.NET beschrieben. Die Meilensteine M3 und M7 wurden als kritische Meilensteine definiert, anhand derer der Zwischenstand des Projekts evaluiert und ggf. Änderungen am Arbeitsplan vorgenommen wurden.

M1: Abgestimmtes Systemlastenheft

Das Gesamtsystem wurde durch die Forschungspartner evaluiert. Kriterien für die Bewertung des Gesamtsystems sind einerseits dessen Funktionalität, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz, aber auch die zu erwartenden Marktaussichten. Hierzu wurde im Rahmen von Workshops mit Nutzern und Anwendern die Erreichung smarterer (spezifisch, messbar, akzeptiert, realistisch und terminiert) Ziele überprüft und mit Methoden wie Best-of-Breed und Benchmarking untermauert. Dieser Meilenstein wurde in AP 1 erreicht.

M2: Kosten-Nutzenmodell

Es lag ein Grundgerüst eines Kosten-Nutzen-Modells vor, das als Grundlage für Investitionsentscheidungen diene. Dieser Meilenstein wurde in AP 1 erreicht.

M3: Abgestimmte Pflichtenhefte

Als Ergebnis lagen die folgenden abgestimmten Pflichtenhefte vor:

- Pflichtenheft iSLT inklusive des konfigurierbaren Produktmodells,
- Pflichtenheft IoT Basistechnologien,
- Pflichtenheft Software-Architektur, Cloud-Plattform und Sicherheitskonzepts,
- Pflichtenheft Datenmodell inklusive der Rechte und Rollen
- Pflichtenheft Geschäftsmodell

Hätten sich die Pflichtenhefte nicht untereinander abstimmen lassen, hätte eine erneute Bearbeitung in einem stärker vernetzen Team, ggf. unter Einbeziehung von externen Experten, stattfinden müssen. Dieser Meilenstein wurde in AP 2 erreicht.

M4: iSLT-Prototyp für Anwendungs-szenarien

Der Prototyp des iSLT für die Pilotanwendung im Rahmen der Referenzeinsatzszenarien und dessen Dokumentation wurde erstellt und erfüllte die definierten Anforderungen. Dieser Meilenstein wurde in AP 3 erreicht.

M5: Prototyp der Cloud-Plattform und Software-Services

Inhaltlich wurden die Software-Services auf Basis der Anforderungen umgesetzt. Über eine Webseite konnte auf die Cloud-Plattform zugegriffen werden. Die Nutzer konnten auf der Cloud-Plattform die unterschiedlichen Software-Services bedienen. Dieser Meilenstein wurde in AP 3 erreicht.

M6: Prototyp für Kommunikations-Infrastruktur

Als Ergebnis lag eine prototypische Realisierung der im Pflichtenheft festgelegten Kommunikations- und Identifikationstechnologie vor. Diese wurde zuvor auf Funktionalität und Anforderungserfüllung geprüft. Dieser Meilenstein wurde in AP 3 erreicht.

M7: Funktionsfähiger Prototyp Gesamtsystem

Es war ein funktionsfähiger Prototyp des Gesamtsystems umgesetzt, welcher aus den realisierten Komponenten aus AP 3 aufgebaut ist. Dieser Prototyp war als Referenzsystem zwischen den Forschungsinstituten implementiert.

Konnte die Funktionsfähigkeit des prototypischen Gesamtsystems bei der Testimplementierung mithilfe des Referenzsystems nicht verifiziert werden, musste eine oder mehrere Iterationsschleifen, unter intensiver Einbindung aller Beteiligten, stattfinden. Erst nach erfolgreichem Abschluss dieser Iterationsschleifen war eine prototypische Implementierung bei den Industriepartnern möglich. Dieser Meilenstein wurde in AP 4 erreicht.

M8: Prototyp Gesamtsystem in Betrieb

Die pilothafte Umsetzung des Gesamtsystems in einer realen Supply Chain der Anwenderunternehmen war erfolgreich und erfüllt die definierten Anforderungen. Dieser Meilenstein wurde im AP 4 erreicht.

3 Stand der Forschung im Kontext industrieller Ladungsträger

Ladungsträger werden aktuell nur von wenigen Unternehmen für mehrere Produktlebenszyklen genutzt. Zudem erfolgte die Entwicklung und -investition durch einzelne Unternehmen, was unter anderem daran liegt, dass in der Ladungsträgerentwicklung und -verwaltung wenige Prozesse automatisiert sind. Eine geringe Transparenz bezüglich der Bestände, Zustände, Bedarfe und Standorte der Ladungsträger in der Supply Chain, führen außerdem zu hoher Störanfälligkeit. Diese wird des Weiteren begünstigt durch eine hohe technologische und prozessuale Hürde für die Nutzung von Sensoren an Ladungsträgern. Da Unternehmen in Ladungsträgern, keinen effizienten Nutzen im internen Netzwerk sehen, werden sie nach Nutzungsende meist verschrottet. Deshalb entstehen hohe Investitionskosten für Ladungsträger, auf Seiten der Anwender. Viele Prozesse der Supply Chain finden aktuelle in geschlossenen Kreisläufen statt, was eine hohe Einstiegshürde für KMU darstellt.

3.1 Modularer Ladungsträger

Herkömmliche Sonderladungsträger werden während des Produktentwicklungsprozesses für die jeweiligen Bauteile neu entwickelt und sind üblicherweise mit Schweißverbindungen konstruiert, die einen Umbau zur Wiederverwendung schwierig bis unmöglich machen. Bauteilspezifische Sonderladungsträger werden daher häufig bereits nach drei bis vier Jahren Nutzungszeit verschrottet (Huber, 2013). Deshalb wurden in den letzten Jahren hybride Konzepte entwickelt, sog. modulare Sonderladungsträger (MLT), die eine Demontage zum Nutzungsende und damit die Rekonfigurierbarkeit und Wiederverwendbarkeit der einzelnen Module für den nächsten Nutzungszyklus erlauben (Kampker, B.; et. al., 2011). Beispielsweise untersuchte Attig (2011), inwieweit eine Modularisierung von Ladungsträgern sinnvoll ist und welche Potentiale sich hierbei ergeben. Die MAN Truck & Bus AG hat darüber hinaus eine Baukastenstruktur für MLT als proprietäres System entwickelt und eingeführt (Huber, 2013), (Meißner, 2015). Die Integration von IoT-Technologien wurde in diesem Vorhaben nicht erforscht. Sowohl bisher entwickelte MLT als auch deren Behältermanagementsysteme sind nach dem Stand der Technik nicht für einen unternehmens- und branchenübergreifenden Einsatz geeignet.

3.2 Intelligente Ladungsträger und deren Managementprozesse

Im Laufe der vergangenen Jahre gab es eine Reihe von Forschungsprojekten, die sich mit intelligenten Ladungsträgern beschäftigt haben. Ein paar ausgewählte Forschungsprojekte (siehe Tabelle 3-1) und deren Forschungsschwerpunkte werden im Folgenden detailliert beschrieben.

Tabelle 3-1: Projektübersicht zum Stand der Forschung zu intelligenten Ladungsträgern

Projekt	Ladungs- träger- Technologie	IoT- Technologie	IT-Dienste	Geschäfts- modell
ReBox-Pool (Kampker et al., 2011)	X			X
ForFood (Prives et al., 2012)	X	X		
Inbin (Emmerich et al., 2012)		X		
ProKon (BfBuF- Bundesminist erium für Bildung und Forschung, 2010)		X		
CairGoLution (Münch, 2016)		X	X	
SmaRTI (Fraunhofer IML, 2014)		X	X	
Dyconet (Fiedler, 2016)		X	X	
SOFiA (BfBuF- Bundesminist erium für Bildung und Forschung, 2016)		X	X	
RAN (Reinhart, 2013)		X	X	
VW (Pelich, 2006)		X	X	X
SOBS (Lamme rs et al., 2013)		X	X	X
iSLT.NET	X	X	X	X

Im Hinblick auf **intelligente Ladungsträger und deren Managementprozesse** entwickelten nur die Projekte „SOBS“, „ReBox-Pool“ und „VW“ explizit ein Geschäftsmodell. Im Forschungsprojekt „SOBS“ wurde ein Managementsystem für Universalladungsträger für Gefahrgut entwickelt, welches durch die Integration von Sensorsystemen in die Behälter z. B. die Überwachung von Identifikationsorten oder Temperatur ermöglicht (Lammers et al., 2013). Bei „SOBS“ standen unternehmensbezogene Universalladungsträger (d. h. Ladungsträger

ohne modulare Struktur) im Fokus, deshalb lassen sich die Ergebnisse nicht auf die Anwendung für MLT übertragen, da das Nutzungskonzept, der modulare Aufbau und die Rekonfigurierbarkeit über mehrere Nutzungszyklen hinweg neue Anforderungen stellen. Zum Beispiel sind die Herausforderungen des Verrechnungsprozesses, der De- und Remontage, der Bestandsführung und der Nachverfolgbarkeit einzelner MLT-Komponenten mit herkömmlichen Lösungsansätzen (z. B. lieferscheinbasierte Kontoführung, manuelle Eingabe beim Verrechnungsprozess, manuelle Inventuren und Bestandsführung) nicht zu lösen. Im Forschungsprojekt „ReBox-Pool“ wurde ein grobes Rahmenwerk für ein auf einem Leasingkonzept für Behälter basierendes Dienstleistungsmodell definiert (Kampker, B., Wesch-Potente, & Brokelmann, 2011). Jedoch fehlt neben der Konzeption eines entsprechenden Unternehmensnetzwerks auch hier die Betrachtung von Möglichkeiten (und technischen Herausforderungen) des Einsatzes von IoT-Technologien, so dass die Übertragung der Lösungsansätze nur eingeschränkt möglich ist. Auch die Volkswagen AG hat die Potentiale von Sonderladungsträgern für Pressteile, welche mit passiven RFID-Tags ausgestattet wurden, untersucht (Pelich, 2006). Hierbei wurden RFID-Gates in den einzelnen Werken installiert, um die Sonderladungsträger lokalisieren zu können. Dadurch wurde die Prozesstransparenz erhöht und ein „live“ Tracking ermöglicht. Der Modularisierungs- und Wiederverwendungsgedanke wurde dabei nicht aufgegriffen. Der Kreislauf der Sonderladungsträger wurde in diesem Projekt nur zwischen den VW-Werken betrachtet, womit der Ansatz unabhängiger Poolbetreiber nicht Gegenstand des Projekts war.

Der unternehmensübergreifende Einsatz von Ladungsträgern kann durch ein **Cloud-basiertes Service-System**, welches die Informationsflüsse der IoT-Technologien bündelt, IT-Dienste bereitstellt und Unternehmen vernetzt, vereinfacht werden. In den Projekten zu intelligenten Ladungsträgern werden teilweise Cloud-Plattformen umgesetzt, so dass Nutzer Objekte und Ladungsträgerprozesse nachverfolgen, analysieren und optimieren können. Das Projekt „CairGoLution“ bietet z. B. einen IT-Dienst über ein Web-Portal an, bei dem Personen informiert werden, falls der Luftfrachtcontainer unautorisiert geöffnet wurde (Münch, 2016). Bisher wurde keine Cloud-Plattform mit IT-Diensten für den Betrieb eines MLT-Pools entwickelt. Die Akzeptanz der Cloud-Plattform bei Unternehmen steigt, wenn Informationen und Schnittstellen standardisiert sind. Im Rahmen des Projekts „ToolCloud“ wurde eine Systemarchitektur für den unternehmensübergreifenden Austausch von Werkzeug-Lebenszyklusdaten entwickelt, welches ein effizienteres, transparentes und kollaboratives Werkzeugmanagement ermöglicht (Röschinger, 2019). Die Architektur baut auf dem EPCIS Standard auf und ermöglicht die durchgängige Erfassung und Bereitstellung konsistenter und digitaler Daten durch angepasste Web-Services, welche zur Automatisierung der Prozesse entlang der Werkzeug Supply Chain genutzt werden. Dieser Standard wurde bereits in mehreren Projekten, wie zum Beispiel der Rückverfolgung einer Fisch-Supply-Chain (Gunnlaugsson et al., 2011) eingesetzt. Hierbei wurde die automatische Datenübertragung entlang der Supply Chain mit-hilfe von EPCIS-Events realisiert und somit eine lückenlose Rückverfolgung von der Produktion über die Verarbeitung bis hin zum Transport der Ware gewährleistet. Folglich kann zwar von der Eignung des EPCIS Standards für den effizienten Informationsaustausch in Supply Chains ausgegangen werden. Allerdings ist bisher weder in der Industrie noch in der Forschung ein Konzept für den Einsatz von EPCIS für das Management von iSLT entwickelt oder umgesetzt worden. Im Rahmen des Projekts iSLT.NET soll die Systemarchitektur an das Cloud-basierte Service-System für das Management von iSLT angepasst werden. Abschließend sei das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) erwähnt (Adolphs et al., 2015). Eine flächendeckende Umsetzung von Industrie 4.0 Anwendungen erfordert einheitliche Kommunikationsstrukturen. RAMI 4.0 ist eine dreidimensionale Landkarte, die darauf abzielt, ein einheitliches Verständnis für die Akteure in einem Industrie 4.0 Ökosystem zu schaffen. Das Modell gibt einen Rahmen für die Architektur, den Produktlebenszyklus und die Fabrikhierarchie vor. RAMI 4.0 soll auch im Projekt

iSLT.NET Projekt Anwendung finden, wofür eine Reihe von Fragen zu klären sind: Wie kann auf Architekturebene der MLT technisch in die Business-Ebene integriert werden? Welche Daten fallen über den Produktlebenszyklus an und welcher Bedarf an Daten besteht? Welchen Beitrag leistet der iSLT in einer smarten Fabrik bzw. in einer vernetzten Welt?

Die **Integration von IoT-Technologien in Ladungsträger** sowie die Konzeption darauf aufbauender IT-Dienste wurde in einigen Projekten realisiert und die Projektergebnisse bieten eine gute Basis für das Projektvorhaben. Im Forschungsvorhaben „CairGoLution“ wird ein technisches System bestehend aus Telematikmodul und Smart Seal zur Datengewinnung und -übertragung verwendet. Das Telematikmodul verwandelt den Behälter in ein intelligentes, vernetztes Objekt, indem Positions- und Umweltdaten erfasst und sicher an das Backend übertragen werden. Das Datenpaket beinhaltet darüber hinaus die Information des Smart Seals. Das Smart Seal überwacht elektronisch den Öffnungszustand des Behälters durch einen Reed-Schalter und überträgt die Information an das Telematikmodul. Die Datenübertragung erfolgt über ein drahtloses Sensornetz. Im Gegensatz zum iSLT.NET Vorhaben ist in „CairGoLution“ keine Identifikationstechnologie entlang der Prozesskette notwendig. Das eingesetzte Telematikmodul überträgt die Datenpakete via UMTS. In iSLT.NET wird aufgrund der Kostenstruktur eine gesonderte Datenerfassung und -übertragung notwendig sein (Münch, 2016). Im Forschungsprojekt „RAN“ soll durch die Abbildung RFID basierter Behälterbestände unternehmensübergreifend die Transparenz von Behälterflüssen gesteigert werden. Behälterbewegungen werden durch an den Behältern angebrachte RFID-Transponder (Omnild Flex UHF Transponder) bei der RFID-Gate-Durchfahrt als Ereignis erfasst. Mittels der RFID Informationen sollen unterschiedliche Assistenzsystemfunktionalitäten, wie z. B. Track & Trace, Reporting, Monitoring, Prozessinformationen, Trigger und Entscheidungsunterstützung entstehen. Eine schnelle und fehlerfreie Informationsübertragung wird durch den Einsatz von RAN Prozessstandards und einer RAN Infrastruktur ermöglicht. Im Praxistest wurden die Funktionalitäten Track & Trace und teilweise Reporting umgesetzt. Für das iSLT.NET sind die Vorarbeiten zur Auswahl des RFID-Tags und zu den eingesetzten EPCIS Events relevant (Reinhart, 2013). In „RAN“ wurde jedoch nicht die Erfassung und Auswertung von Sensordaten behandelt. Darüber hinaus wurde keine gemeinsame Plattform zur Dateneinsicht und Datenkommunikation umgesetzt, welche für ein Netzwerk an Unternehmen erforderlich ist. Im Bayerischen Forschungsverbund „FORFood“ wurde ein intelligenter Thermo-Behälter für Lebensmittel entwickelt, der eine effiziente Rückverfolgung über die gesamte Logistikkette ermöglicht sowie die Einhaltung der Kühlkette überwacht. Hierzu wurden IuK-Technologien in den Behälter integriert, welche die Erfassung relevanter Daten (z. B. Innen- und Außentemperaturen, Vibrationen) sowie deren automatische Weitergabe an IT-Systeme und andere Prozesselemente (z. B. Behälter, Anlagen) erlauben. Diese Systeme integrieren jeweils nur einzelne Sensoren und ermöglichen daher abgegrenzte Dienste (Prives, 2016). Bei einem MLT müssen die Hauptkomponente und die modularen Bauteile mit IuK-Technologien ausgestattet werden. Neben der Identifikation sind vor allem Umgebungsparameter für die Prozessüberwachung von Interesse. Diese Funktionen sind für MLT noch nicht erforscht. Die Anbindung der IuK-Technologien an Ladungsträger und an die Cloud steht, ebenso wie die Entwicklung entsprechender Dienstleistungen, weiterhin aus.

4 Ausgangssituation im iSLT-Kontext

4.1 Ist-Prozesse

Die Ist-Sonderladungsträgerprozesse bilden die Basis für die Konzeption der Dienstleistungen und damit für die Modellierung von Soll-Prozessen. Sie geben Auskunft darüber, in welche Prozesse entlang der Supply Chain der zukünftige intelligente Sonderladungsträger integriert werden soll. Für die Aufnahme der Ist-Ladungsträgerprozesse wurde der gesamte Lebenszyklus von Sonderladungsträgern analysiert. Beginnend bei der Entwicklung wurden alle Prozesse für die Herstellung, das Management, den Einsatz bis hin zur Entsorgung von Sonderladungsträgern analysiert und modelliert. Die Aufnahme der Ist-Ladungsträgerprozesse fand im Rahmen von Workshops bei den nachstehenden Anwendungspartnern statt:

- Ladungsträgerhersteller
- Bauteillieferant (Automobilzulieferer)
- und OEM (Automobilhersteller)

Der Fokus bei der Aufnahme der Prozesse lag auf einer detaillierten Analyse von Informations- und Materialflüssen innerhalb des jeweiligen Unternehmens sowie zwischen den Anwendungspartnern. Neben diesen wurden auch externe Dienstleister identifiziert, die am Prozess beteiligt sind. Zu jedem Prozess wurden folgende Daten analysiert: Input, Tätigkeiten, Output, IT-Systeme und Schwachstellen.

Im Ergebnis entstand die in Abbildung 4-1 dargestellte unternehmensübergreifende und standardisierte Prozesslandkarte für den gesamten Ladungsträgerlebenszyklus. Die Hauptprozesse der Anwenderunternehmen gliedern sich in Entwicklungs-, Herstellungs-, Einsatz- und Managementprozesse und werden folglich knapp erläutert. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Managementprozesse prozessübergreifend, neben den Prozessen der Entwicklung, Herstellung und dem Einsatz von Sonderladungsträgern, ablaufen und sich wechselseitig beeinflussen.

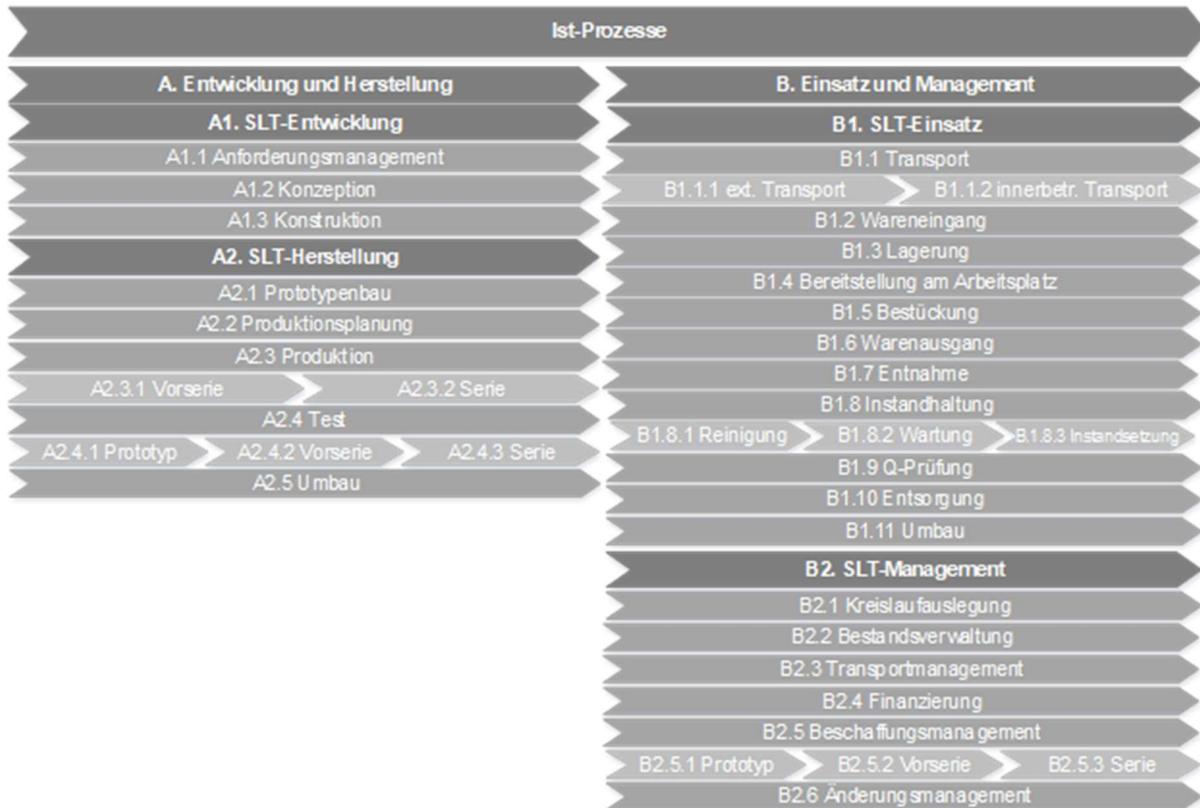


Abbildung 4-1: Ist-Prozesslandkarte eines Sonderladungsträgers (Romer und Huber, 2020)

In der Entwicklungsphase verantworten unterschiedliche Fachbereiche beim OEM und Lieferanten die Analyse der Anforderungen an den Sonderladungsträger (A1.1). Sonderladungsträger werden in der Regel vom OEM beschafft (B2.4) und im Kreislauf zwischen OEM und Bauteillieferanten bereitgestellt. Aus den Anforderungen werden erste Grobkonzepte abgeleitet und in Form eines abgestimmten Lastenheftes zur Ausschreibung an den Einkauf weitergeleitet (A1.2). Der Einkauf schreibt die Konstruktion und die Herstellung von Ladungsträger-Prototypen aus, führt Preisverhandlungen und nominiert einen Ladungsträgerhersteller (B2.5.1). Der Ladungsträgerhersteller erstellt ein Pflichtenheft, das vom OEM abgenommen werden muss und setzt anschließend mit der Konstruktion eines 3D-Modells und der Erstellung von CAD-Daten fort (A1.3). Werden diese vom OEM genehmigt startet der Ladungsträgerhersteller mit der Produktion von Ladungsträger-Prototypen (A2.1). Andernfalls sind Änderungen in der Konstruktion notwendig (B2.6). Der Prototyp wird vom Ladungsträgerhersteller an den Kunden zur Abnahme ausgeliefert (B2.3). Dabei werden neben Sichtprüfungen, Beladungs- und Entnahmeversuche auch Transporttests durchgeführt und über die Abnahme der Prototypen abgestimmt (A2.4). Bei Bedarf müssen Änderungen an den Prototypen vorgenommen werden. Die Verabschiedung der finalen Ladungsträger-Prototypen werden auf einem sogenannten Abnahmeprotokoll dokumentiert (B2.6). Anschließend nimmt der Einkauf die Ausschreibung für die Serienproduktion von Ladungsträgern vor (B2.5.3). Diese umfasst in der Regel zugleich die Produktion von Ladungsträger für die Vorserie (B2.5.2). Zum Zeitpunkt der Ausschreibung muss bereits feststehen, wie viel Ladungsträger zu welchem Termin benötigt werden. Diese Informationen liefert die Kreislaufauslegung (B2.1). Die Kreislaufauslegung ist eine Berechnung, mit der die Umlauftage für den Nutzungszyklus des Ladungsträgers und die Anzahl der benötigten Ladungsträger rechnerisch ermittelt werden. Nach Nominierung des Ladungsträgerhersteller für die Serie erstellt dieser Stücklisten und Arbeitspläne, ermittelt den Materialbedarf und beschafft die dafür notwendigen Rohstoffe, Komponenten und Werkzeuge. Zudem plant und terminiert der Behälterhersteller maschinelle und personelle Kapazitäten in der Produktion

(A2.2). In der Produktion werden Rohmaterialien und Komponenten zu einem Sonderladungsträger verarbeitet. Zunächst finden Produktions-Probelaufe statt, um entstehende Produktfehler am Ladungsträger durch die geplanten Produktionsprozesse, Maschinen, Werkzeuge und Arbeitsplätze zu erkennen und Optimierungspotentiale auszuschöpfen (A2.3.1). Der Ladungsträgerhersteller übersendet während der Vorserienproduktion dem Auftraggeber mehrere gefertigte Sonderladungsträger, sogenannte Serienausfallmuster, zur Überprüfung und Freigabe der Serienproduktion (A2.4.2). Nach fehlerfreien Testläufen erfolgt die Produktion der Ladungsträger gemäß den Produktionsplänen (A2.3.2). Eine weitere planmäßige Abnahme findet in der Serie nicht statt, außer diese wird explizit vom Auftraggeber gewünscht. In der Regel erfolgen während der Serienproduktion stichprobenartige Qualitätskontrollen durch den Produktionsmitarbeiter des Behälterherstellers (A2.4.3). Neben der Konstruktion und der Herstellung der Ladungsträger, ist es auch Teil des Kerngeschäftes eines Behälterherstellers, Umbaumaßnahmen an bestehenden Ladungsträgern vorzunehmen. Falls beispielsweise die Innenleben der Ladungsträger unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten getauscht werden können, ist eine Wiederverwendung des Außengestells und damit ein Umbau möglich (A2.5).

Die Auslieferung der Ladungsträger vom Ladungsträgerhersteller erfolgt in der Regel auf Basis eines festen Lieferplans (B2.3). Die Ladungsträger werden meist mit einem vom Ladungsträgerhersteller beauftragten Spediteur an das Empfängerwerk des Bauteillieferanten transportiert (B1.1.1). Bei Ankunft im Wareneingang am Zielort beginnen der reguläre Nutzungszyklus und damit der Einsatz für die Ladungsträger.

Im Wareneingang (B1.2) werden die Ladungsträger beim OEM und beim Bauteillieferanten aus dem LKW entladen und stichprobenartig auf ihre Qualität sichtgeprüft (B1.9). Beschädigte Ladungsträger werden gekennzeichnet und für eine Qualitätsprüfung aus dem Kreislauf entnommen. Im Wareneingang findet zudem eine Mengenidentitätsprüfung statt. Hierbei wird geprüft, ob die angelieferte Menge und die Art der Ladungsträger mit dem Lieferschein übereinstimmen. Festgestellte Differenzen werden auf dem Lieferschein vermerkt, die bei den Wareneingangsbuchungen berücksichtigt werden müssen. Der interne Transport vom Wareneingang bis zum Lager erfolgt mittels eines Staplers oder Routenzug (B1.1.2). Sowohl beim Bauteillieferanten als auch beim OEM existieren im Werk Lager, in denen Voll- und Leergut kurzfristig eingelagert werden kann. Zudem gibt es im Lager Bereiche, auf denen beschädigte Ladungsträger abgestellt werden (B1.3). Zudem müssen die Ladungsträger sowohl beim Bauteillieferanten als auch beim OEM am Produktionsband bereitgestellt werden (B1.4). Beim Bauteillieferanten wird das Leergut an das Montageband zur Bestückung mit Bauteilen geliefert (B1.5). Beim OEM wird das Vollgut am Montageband zur Entnahme der Bauteile bereitgestellt (B1.7). Dabei kann sowohl die Entnahme oder Bestückung manuell oder automatisiert erfolgen. Nach der Entnahme bzw. Bestückung werden die Ladungsträger ins Leer- bzw. Vollgutlager oder direkt in den Warenausgang transportiert. Im Warenausgang werden die Ladungsträger in den LKW verladen, Lieferpapiere ausgestellt, Warenausgangsbuchungen durchgeführt und die Ladungsträger an den Bauteillieferanten bzw. OEM geliefert.

Werden bei Qualitätsprüfungen im Wareneingang oder im Umlauf Beschädigungen oder Verunreinigungen am Ladungsträger festgestellt, sind entsprechende Maßnahmen durch Sonderprozesse einzuleiten. Für die Durchführung von Reparatur-, Reinigungs- oder Wartungsmaßnahmen an Sonderladungsträgern werden in der Regel externe Dienstleister beauftragt (B1.8). Insbesondere bei starken Beschädigungen am Ladungsträger ist die Wirtschaftlichkeit einer Reparatur zu prüfen und möglicherweise eine Entsorgung zu empfehlen (B1.10).

Das Produktionsende der Fahrzeugreihe oder ein Überbestand an Sonderladungsträgern im Nutzungszyklus bedeuten in der Regel das Nutzungsende für den Sonderladungsträger.

Zunächst wird unternehmensintern der Ladungsträger auf Weiterverwendung geprüft. Bestenfalls können bestehenden Ladungsträger für andere Bauteile weiter genutzt werden. Besteht keine Verwendungsmöglichkeit sind im Rahmen der Wiederverwendung Umbaumaßnahmen oder ein Verkauf der Ladungsträger anzustreben. Ist ein Umbau wirtschaftlich sinnvoll, so sind die Anforderungen an den Ladungsträger analog zu dem Entwicklungsprozess erneut aufzunehmen (B1.11). Analog zur Ladungsträgerentwicklung ist auch für Umbaumaßnahmen ein Ladungsträgerhersteller zu nominieren, der die Konzeption, Konstruktion und den Umbau durchführt. Ist weder eine Weiter- noch Wiederverwendung oder ein Verkauf möglich, werden die Sonderladungsträger entsorgt.

Die Mitarbeiter der Bestandsverwaltung (B2.2) des jeweiligen Anwendungspartners verantworten insbesondere die Pflege von Ladungsträgerstammdaten. Zudem nimmt die Bestandsverwaltung des OEMs die monatliche Abstimmung der Ladungsträgerkonten mit ihren Bauteillieferanten vor. Das bedeutet, dass der Kontostand des Bauteillieferanten mit dem Bestand, den der Bauteillieferant in seinen Systemen verbucht hat, miteinander verglichen und Differenzen entsprechend ausgebucht werden. Unterbestände an Ladungsträgern innerhalb eines Werkes, sollten durch Überbestände anderer Werke ausgeglichen werden. Ist beispielsweise das Leergut beim Bauteillieferanten nicht ausreichend, ist auf Basis einer Bedarfsanforderung beim OEM eine zusätzliche Leergutlieferung auszulösen. Kann der Ladungsträgerbedarf kurzfristig vom OEM nicht gedeckt werden, muss der Bauteillieferant vorübergehend Ausweichverpackungen verwenden. Bei dauerhaften Überbeständen im gesamten Kreislauf müssen die Ladungsträger auf Weiter- und Wiederverwendung geprüft werden, um unnötige Lagerkosten zu vermeiden. Des Weiteren werden jährliche Inventuren durchgeführt, in denen zu einem Stichtag die Ladungsträger in den Werken manuell gezählt werden müssen.

4.2 Schwachstellen in den logistischen Prozessen

Im Rahmen der Prozessanalyse wurde eine Vielzahl von Schwachstellen identifiziert, die sich über die Entwicklungs- und Herstellungsphase sowie über die Einsatzphase der Ladungsträger erstrecken. (Romer, 2018a)

4.2.1 Schwachstellen in der Entwicklungs- und Herstellungsphase

S1: Langatmige Abstimmungs- und Abnahmeprozesse

Beim Bauteillieferanten und beim OEM wirkt eine Vielzahl von Mitarbeitern aus unterschiedlichen Abteilungen bei der Analyse der Anforderungen an einen Sonderladungsträger und der Abnahme des Lastenheftes mit. Darum müssen unterschiedliche Perspektiven, Erwartungen und Anforderungen untereinander abgestimmt und kommuniziert werden. Dies führt intern zu aufwendigen Abstimmungsprozessen.

S2: Änderungen in der Konzeption und Konstruktion

In der Praxis wird bereits häufig ein Sonderladungsträger konzipiert und konstruiert, für dessen Ladegüter weder der Design-Freeze stattgefunden hat noch ein physisches Muster vorhanden ist. Dies bedeutet, dass spätere Änderungen am Konzept noch sehr wahrscheinlich sind. Bedingt durch den späten Design-Freeze am Bauteil müssen oftmals Änderungen am Bauteil berücksichtigt und das Konzept bzw. die Konstruktion des Ladungsträgers entsprechend angepasst werden. Für Änderungen kalkulieren die Projektpartner typischerweise bis zu drei Änderungsschleifen in der Entwicklungsphase.

S3: Aufwendige Kundenabstimmung

Bis die Anforderungen zwischen dem Konstrukteur und dem Kunden in der Entwicklung von Sonderladungsträgern klar definiert sind, bedarf es häufigen Abstimmungen. Beispielsweise müssen verwendete Materialien oder die exakte Positionierung der Innenleben im Ladungsträger im Lasten- und Pflichtenheft spezifiziert werden.

S4: Änderungen an Ladungsträger-Prototypen

Beim Prototypentest werden die Ladungsträger auf ihre Funktionen und ihrer Kompatibilität mit dem zu transportierenden Bauteil geprüft. Durch den Test kann festgestellt werden, ob die Ladegüter zu eng aneinander liegen und bei der Bestückung oder der Entnahme ein anderes Bauteil beschädigen würden. Gegebenenfalls müssen insbesondere die Abstände der Aufnahmen am Ladungsträger erweitert werden. Bei gleichbleibenden Abmaßen des Außengestells des Ladungsträgers würde sich dadurch dessen Füllgrad reduzieren. Demzufolge kann eine Änderung des Füllgrades zu einer Erhöhung der notwendigen Stückzahl an Ladungsträger führen und höhere Investitionen in der Beschaffung von Ladungsträgern verursachen.

S5: Kurze Reaktionszeit für die Angebotserstellung und -abgabe

Das erste Angebot für einen Serienauftrag für die Entwicklung und Herstellung von Sonderladungsträgern muss bereits nach 5-7 Tagen eingereicht werden.

S6: Intransparente Ladungsträgerentwicklung und -herstellung

Bisher hat der Auftraggeber keine Möglichkeit den aktuellen Status bei der Entwicklung und Herstellung von Ladungsträgern einzusehen. Um den aktuellen Produktionsstatus der Sonderladungsträger abzurufen, erkundigt sich der Auftraggeber in unregelmäßigen Abständen in der Regel telefonisch nach dem Projektfortschritt. Je näher der SOP des Auftraggebers rückt, desto häufiger werden Statusanfragen an den Entwicklungs- und Herstellungsstatus der Sonderladungsträger gestellt, um Auskunft über die produzierte Stückzahl und die geplante Auslieferung zu erhalten. Für den Ladungsträgerhersteller bedeutet jede Statusanfrage Zusatzaufwand, denn Produktionsmitarbeiter müssen beispielsweise die produzierte Stückzahl manuell ermitteln.

4.2.2 Schwachstellen in der Einsatzphase

S7: Fehleranfällige manuelle Buchungsvorgänge

Manuelle Buchungen für Ladungsträger im Wareneingang und Wareneingang können hinsichtlich der Menge oder der Art fehlerhaft sein. Dabei können beispielsweise das Verzählen oder eine falsche Eingabe durch den Mitarbeiter ursächlich sein.

S8: Fehlende Transparenz in den Prozessen

Bis dato fehlt jegliche Transparenz über Ladungsträger im Materialfluss. Der Stand heute kann beispielsweise keine Auskunft darüber gegeben werden, wie viele und welche Ladungsträger sich beispielsweise in einem Werk oder im Wareneingang befinden. Lediglich eine werksübergreifende Bestandsverwaltung und die Lagerverwaltungsprogramme erlauben es, auf Basis manuell durchgeführter Buchungen die Anzahl und Art der Ladungsträger auf Konten nachzuvollziehen.

S9: Beschädigte Ladungsträger

Bei den Wareneingangskontrollen werden beschädigte Ladungsträger identifiziert, die über Sonderprozesse intakt gesetzt oder entsorgt werden müssen. Beschädigungen können unter anderem durch Erschütterungen auf dem Transportweg oder durch unachtsamen Umgang mit einem Gabelstapler verursacht werden.

S10: Verunreinigte Ladungsträger

Durch falsche Lagerbedingungen z.B. bei schlechter Witterung und bei Außenlagerung sowie durch den Produktionsstaub in der Fertigungshallen beim OEM und Bauteillieferanten können Ladungsträger verschmutzt werden, die wiederum Auswirkungen auf die zu transportierenden Bauteile haben können.

S11: Falschlieferungen

Bei einer Falschlieferung werden Ladungsträger an einen falschen Empfänger gesendet. Ursachen hierfür können fehlerhaft erstellte Lieferscheine oder das Verladen falscher Ladungsträger in einen LKW sein. Die Falschlieferung wird meistens erst bei Ankunft beim Empfänger festgestellt. Für eine Rückführung sind Sondertransporte notwendig, die mit hohen Zusatzkosten verbunden sind.

S12: Fehlende Wieder- und Weiterverwendung

Nach Ende eines Nutzungszyklus sind die Ladungsträger auf interne Wieder- und Weiterverwendung zu prüfen. Falls keine Möglichkeit gegeben ist, die Ladungsträger durch Umbaumaßnahmen in den Kreislauf für den Transport anderer Bauteil zurückzuführen wird der komplette Ladungsträger entsorgt. In der Regel ist ein Umbau der Ladungsträger nicht wirtschaftlich oder aufgrund ihrer Fertigungsweise nicht möglich.

S13: Abweichende Ladungsträgerbestände

Um die Anzahl der benötigten Ladungsträger im Kreislauf zu gewährleisten werden in regelmäßigen monatlichen Bestandskontrollen die Bestände zwischen den Beteiligten abgeglichen. Die Systembuchungen erfolgen dabei innerhalb der Unternehmen manuell. Festgestellte Differenzen hat der Bauteillieferant zu verantworten und entgeltlich anteilig in einem Verhältnis von 50:50 zu ersetzen.

S14: Schwund von Ladungsträgern

Die Anzahl der Ladungsträger reduziert sich unbemerkt im Kreislauf zwischen Automobilzulieferer und OEM durch beispielsweise Zweckentfremdung und Diebstahl.

S15: Unterbestand an Ladungsträgern

Meldet der OEM einen ungeplanten erhöhten Bedarf an Bauteilen erst sehr spät, ist der Bauteillieferant oftmals nicht mehr in der Lage kurzfristig eine höhere Stückzahl an Ladungsträgern beim OEM anzufordern. Durch Umlagerung aus anderen Werken oder durch den Einsatz von Ausweichverpackung wird versucht, den Engpass im Werk zu überbrücken. Sind allgemein zu wenig Ladungsträger im Kreislauf, müssen Ladungsträger nachbeschafft werden.

S16: Überbestand an Ladungsträgern

Sind aufgrund von Prozessumstellungen oder bedarfsbedingt vorübergehend zu viele Ladungsträger im Nutzungszyklus, als aktuell tatsächlich benötigt werden, werden diese im eingelagert. Teilweise müssen dafür externe Lagerflächen angemietet werden, die für die Unternehmen zu zusätzlichen Mehrkosten führen.

S17: Manuelle Bestandsaufnahmen

Um bis dato Transparenz über die physischen Bestände auf Leergutplätzen zu erhalten, müssen die Bestände täglich von Mitarbeitern manuell gezählt werden. Oftmals werden hierfür auch nur Schätzungen dokumentiert.

Um diesen Schwachstellen entgegenzuwirken wurden im Rahmen von Workshops eine Vielzahl von Anforderungen an intelligente, modulare Sonderladungsträger gesammelt, die zur Optimierung von den Schwachstellen beitragen sollen. Die relevanten Anforderungen wurden anschließend zu Dienstleistungen weiterentwickelt.

5 Lösungsansätze aus dem Projekt

Um u.a. die Schwachstellen wie langatmige Abstimmungs- und Abnahmeprozesse, aufwendige Kundenabstimmung, kurze Reaktionszeit für die Angebotserstellung und -abgabe, fehlende Wieder- und Weiterverwendung sowie defekte Ladungsträger zu optimieren wurde im Projekt iSLT.NET ein modulares Konzept für Sonderladungsträger entwickelt.

5.1 Modularisierung des Sonderladungsträgers

Der modulare Sonderladungsträger ist speziell für den unternehmensübergreifenden Einsatz in der Automobilindustrie konzipiert. Besonderes Augenmerk bei der Konstruktion des MLT (Modularer Ladungsträger) lag darin, dass dieser kompatibel zu dem standardisierten Poolgitterboxfuß, sowie zu Stapeldornsystemen ist. Das modulare Konzept des Außenbehälters besteht aus einer starren Bodengruppe, die es in vier LKW optimierten Baugrößen gibt. Der Unterschied bei den Baugrößen prägt sich jedoch nur in fünf größenveränderbaren Bauteilen aus. Der Rest besteht aus Gleichteilen, die über alle Baugrößen verwendet werden können. Bei der Bodengruppe liegt besonderes Augenmerk auf der Eliminierung der reparaturanfälligen Stellen und der Gestaltung eines reparaturfreundlichen Behälters. Der MLT ist kompatibel zu Staplern und kann auch mit Hubwagen transportiert werden. Die Steher des modularen Konzepts sind in unterschiedlichen Größen und Ausführungen verfügbar. Der Steher ist starr, kann aber zu einer klappbaren Variante modifiziert werden. Die Steher sind zu jeder Bodengruppe kompatibel. Abhängig von der Funktion jedes einzelnen Moduls reicht die Konstruktion von sehr einfach bis komplex. Dadurch wird ein günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis angestrebt.

Definition Begriffe

Im Folgenden werden die Begriffe des modularen Baukastens definiert

Definition Komponente: einzelnes Bauteil, dass nicht eigenständig eingesetzt werden kann. Beispielsweise der Innensteg des Fußes (siehe Abbildung 5-1).

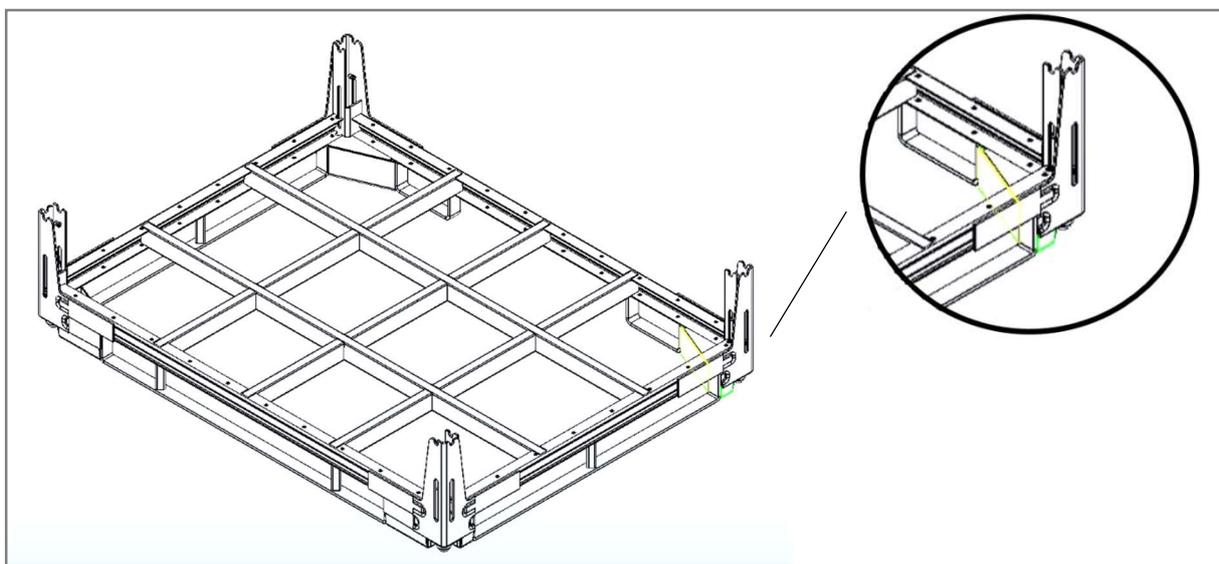


Abbildung 5-1: Komponenten "Innensteg des Fußes" (Quelle: Gebhardt)

Definition Baugruppe: mehrere fest verbundene Komponenten, welche jedoch nicht im Rahmen des Baukastens ausgetauscht werden können. Beispielsweise der komplette Fuß des Grundrahmens (siehe Abbildung 5-2).

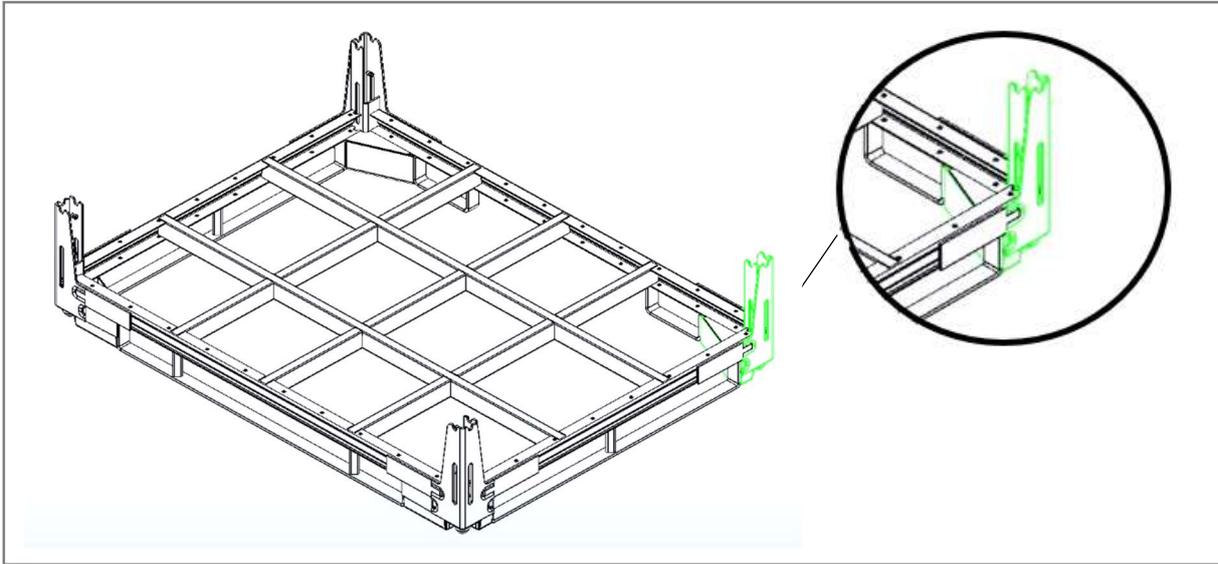


Abbildung 5-2: Baugruppe "kompletter Fuß" (Quelle: Gebhardt)

Definition Modul: fest verbundene Komponenten/Baugruppen, welche nur als Ganzes im Rahmen des Baukastens ausgetauscht werden können, beispielsweise der Grundrahmen (siehe Abbildung 5-3).

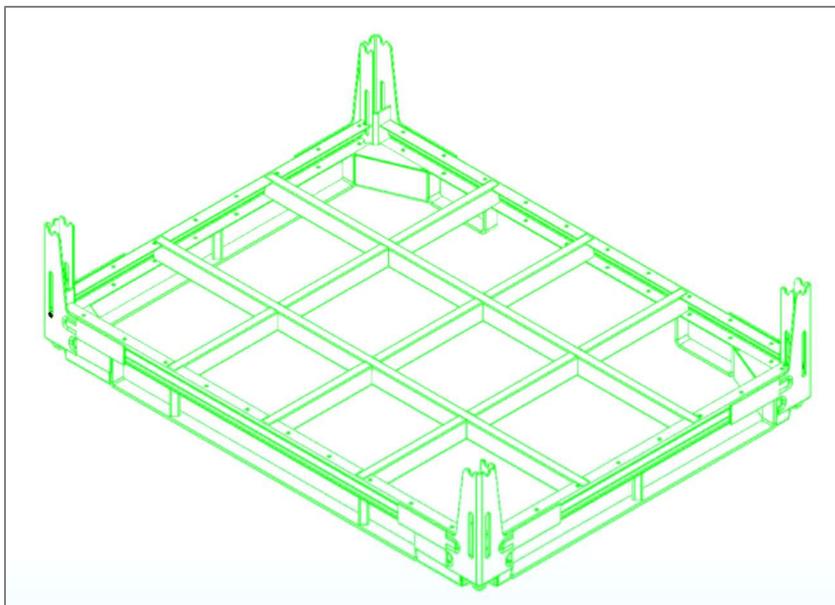


Abbildung 5-3: Modul "Grundrahmen" (Quelle: Gebhardt)

5.1.1 Qualitative Faktoren

Beim modularen Konzept wurden zudem qualitative Faktoren wie die Klappbarkeit, Sicherheit, Stapelung sowie die Reparaturfreundlichkeit berücksichtigt, die im Folgenden konkretisiert werden.

Klappbarkeit

Eine Anforderung an das MLT-Konzept war es, einen „Verdichteter Transport von Leergut“ umzusetzen. Das Verhältnis „geklappt“ zu „nicht geklappt“ liegt beispielsweise bei einem Ladungsträger mit 1000 mm Höhe bei 2,7. Das heißt, dass 2,7 geklappte Ladungsträger die gleiche Höhe haben wie ein nicht geklappter Ladungsträger mit einer Höhe von 1000 mm. Dies wurde mittels klappbarer Steher realisiert. Zudem wurde darauf geachtet, dass die Nutzlast des Konzepts mit einer Dimensionierung von 1000 kg ausreichend ist, um keine Restriktionen aufgrund der Nutzlast eingehen zu müssen. In der untenstehenden Abbildung 5-4 sind SLTs im geklappten Zustand (3-fach gestapelt, Gesamthöhe 1120 mm) und Abbildung 5-5 zeigt einen SLT (1000 mm Gesamthöhe) im nicht geklappten Zustand.

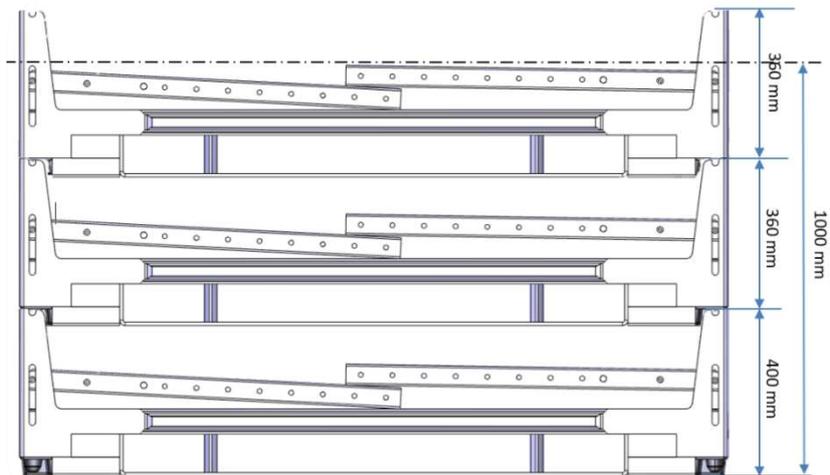


Abbildung 5-4: Ladungsträger geklappt, 3-fach gestapelt (Quelle: Gebhardt)

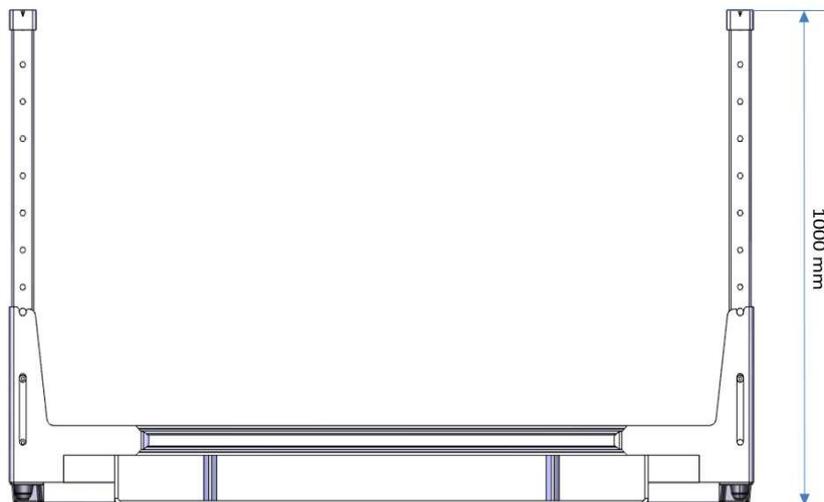


Abbildung 5-5: Ladungsträger nicht geklappt (Quelle: Gebhardt)

Schutz vor Beschädigung des Innenlebens

Beim Grundrahmen wurde die Einwirkungen von Flurförderzeugen (z.B. Stapler, Hubwagen) auf den Sonderladungsträger analysiert. Der Grundrahmen ist so gestaltet, dass ein Abrutschen des Gabelzinkens nach oben in Richtung Innenleben weitestgehend vermieden werden kann.

Stapelung

Das Konzept ist in zwei Varianten zueinander stapelbar. Die Stapelung kann zum einen über die Funktion Poolgitterboxfuß mit Aufsatzwinkel erfolgen. Zum anderen kann diese auch über die Funktion des Stapeldorns realisiert werden (siehe Abbildung 5-6).

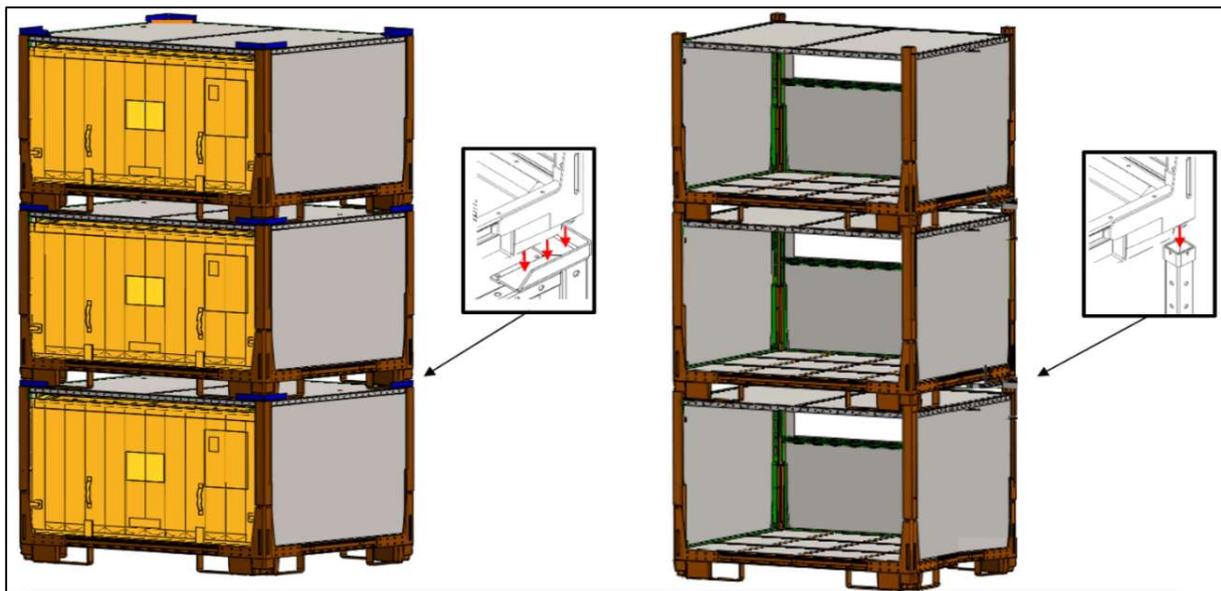


Abbildung 5-6: Darstellung von gestapelten Ladungsträgern in verschiedenen Ausführungen (Quelle: Gebhardt)

Reparaturfreundlichkeit

Durch die auftretenden Ladungsträgerbeschädigungen wurde darauf geachtet, dass der Ladungsträger an beschädigungsanfälligen Stellen, wie z.B. den Füßen massiver gestaltet ist, um Beschädigungen vorzubeugen. Dort, wo eine Verstärkung der Konstruktion nicht möglich ist, wie z.B. bei den Unterzügen, wurde die Reparaturfreundlichkeit berücksichtigt. Die Reparaturfreundlichkeit verfolgt zwei Lösungsansätze. Im ersten Lösungsansatz können beschädigten Einzelmodule durch Demontage und Montage ausgetauscht werden. Der zweite Lösungsansatz beschäftigt sich mit dem Austausch von Reparatursätzen. Hierfür gibt es spezielle Reparatursätze.

5.1.2 Variantenbaum

Der Variantenbaum in Abbildung 5-7 stellt den Baukasten mit den unterschiedlichen Komponenten und Module für modulare Ladungsträger dar. Der Variantenbaum gliedert sich in Pflichtmodule und in optionale Ausstattungsvarianten. Die Pflichtmodule sind in grau hervorgehoben. Hierzu zählen Grundrahmen oder Steher, die benötigt werden um die

Grundfunktion des Ladungsträgers zu gewährleisten. Der Modul-Baukasten ist skalierbar und kann jederzeit um weitere Module ergänzt oder reduziert werden. Reichen die Standardmodule aus dem Baukasten nicht aus, um den Ladungsträger den Kundenanforderungen entsprechend zu konfigurieren, besteht die Möglichkeit über definierte Anbindungspunkte am Ladungsträger Spezialmodule direkt für den jeweiligen Anwendungsfall zu konzipieren. Diese Spezialmodule werden für Spezialanforderungen, wie z.B. Steher, die eine abweichende Höhe zu den Stehern im Baukasten aufweisen, außerhalb des Baukastens entwickelt. Dadurch ist der modulare Ladungsträger flexibler einsetzbar.

Untenstehende Grafik „Variantenbaum iSLT“ (siehe Abbildung 5-7) soll einen Überblick über die Module und Komponenten innerhalb des modularen Baukastens geben. Die einzelnen Module werden im Kapitel 5 „Modulares Konzept“ spezifiziert.

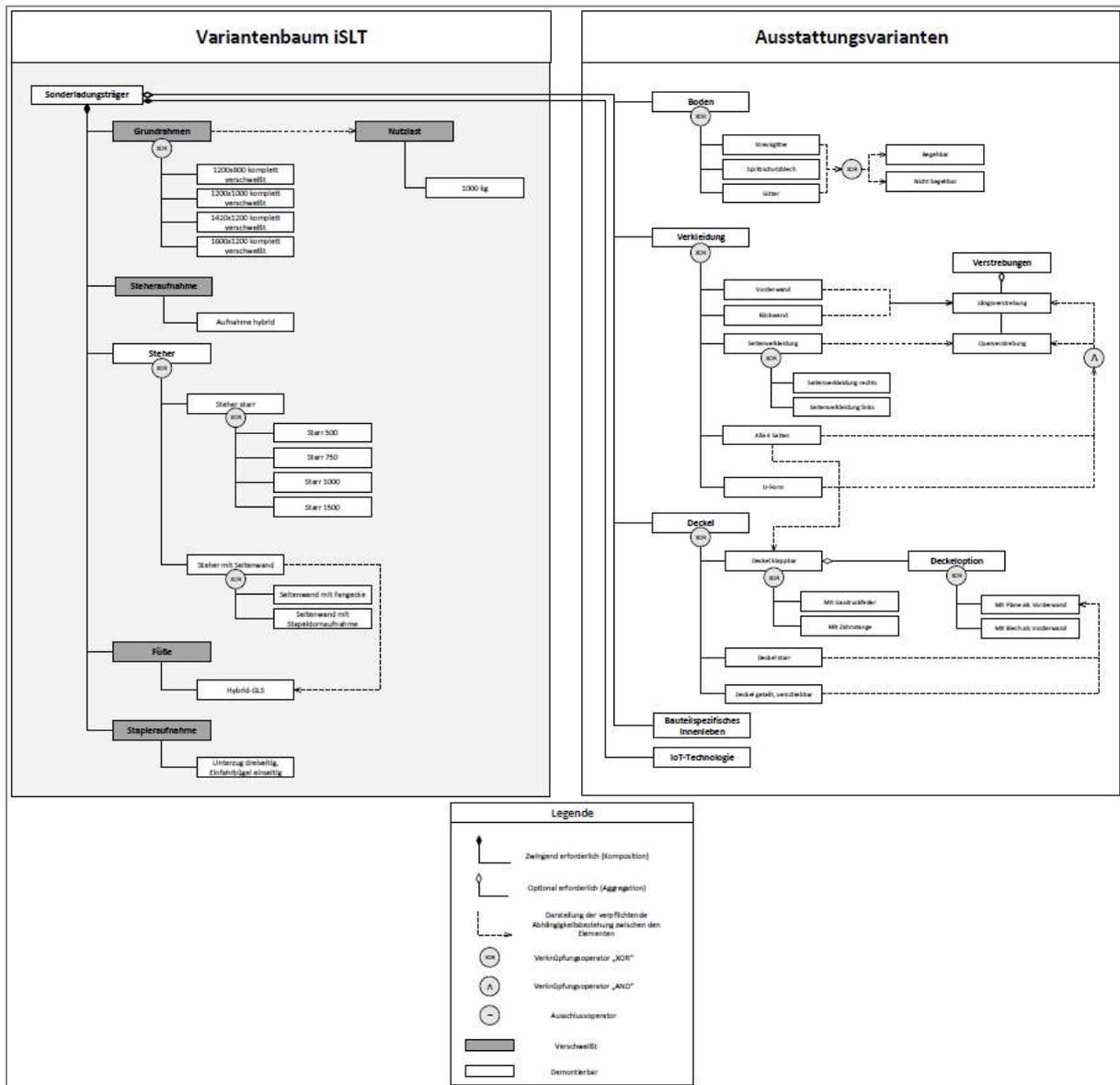


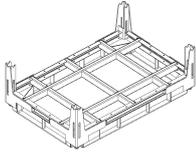
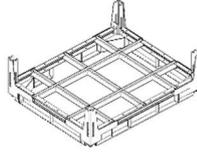
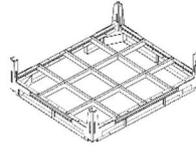
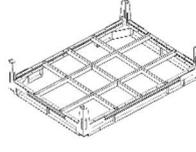
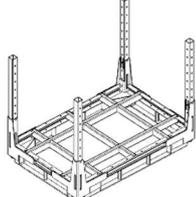
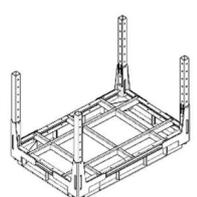
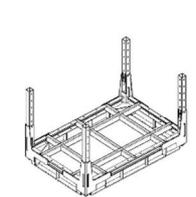
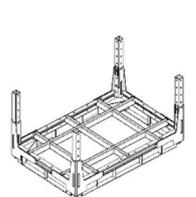
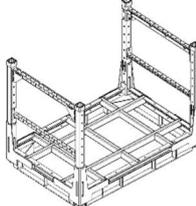
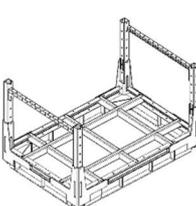
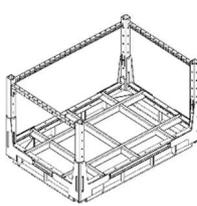
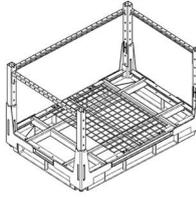
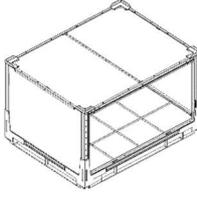
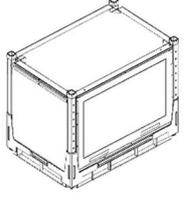
Abbildung 5-7: Variantenbaum iSLT (Quelle: Hochschule Landshut, in Anlehnung an Meißner & Romer 2018, S. 56)

5.1.3 Physisches Modulares Konzept

Aufgrund der Bewertung des Variantenbaums ist ein modulares Konzept mit zwei unterschiedlichen Grundmodulen entstanden. Bei diesen zwei Grundmodulen handelt es sich um die Module „Grundrahmen“ und „Steher“. Weitere Module und deren Varianten, sowie Modulbestandteile werden in den Kapiteln 5.1 bis 5.9 näher erläutert.

Zusammenfassend sind die Module des Außenbehälters nachstehend (siehe Tabelle 5.1) dargestellt.

Tabelle 5-1: Module und Varianten des Außenbehälters (Quelle: Gebhardt)

Variante/ Ausbaustufe	Größe: 800 x 1200 mm	Größe: 1000 x 1200 mm	Größe: 1420 x 1200 mm	Größe: 1680 x 1200 mm
Grundrahmen				
Behälterhöhe				
<i>Hinweis: Nachfolgende Ausstattungsvarianten werden aufgrund der Vielfalt an Möglichkeiten zur Kombination nur beispielhaft dargestellt</i>				
Querstreben Längsstreben & (beispielhafte Darstellung)	    Beispiel 1 Beispiel 2 Beispiel 3			
Boden <ul style="list-style-type: none"> • Gitter • Blech 	  Boden als Gitter Boden als Blech			
Verkleidung Deckel & <ul style="list-style-type: none"> • Seitenverkleidung • Deckel starr • Deckel klappbar 	  Seitenverkleidung starr Deckel starr Seitenverkleidung starr Deckel klappbar mit Sichtfenster			

Grundmodul „Grundrahmen“

Der **Grundrahmen** (siehe Abbildung 5-8) besteht aus der Steheraufnahme, der Stapleraufnahme und dem Hybridfuß GLS (Deutsches Gebrauchsmuster Nr. 20 2018 102 189)

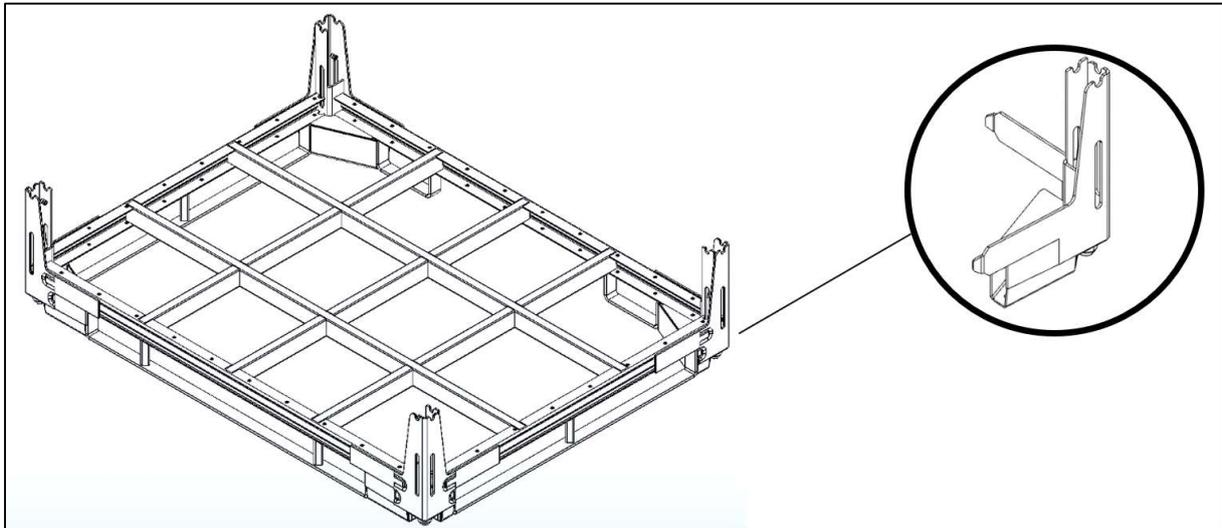


Abbildung 5-8: Grundrahmen [1680 mm x 1200 mm] (Quelle: Gebhardt)

Das Grundmodul „Grundrahmen“ gibt es in vier LKW-optimierten Größen (siehe Tabelle).

Grundmodul „Steher“

Das Modul „**Steher**“ ist in verschiedenen Varianten verfügbar. Die wesentlichen Unterscheidungen der Steher liegen darin, dass es zum einen verschiedene Höhen gibt, zum anderen gibt es auch Ausführungen, die platzsparender als herkömmliche Steher sind.

Module „Längsverstrebung und Querverstrebung“

“Die Module „Längsverstrebung und Querverstrebung, sind als C-Profil mit Lochung ausgeführt. Dadurch kann über das C-Profil eine kraftschlüssige Verbindung zum Anbringen diverser Module hergestellt werden. Über die Lochung ist es zusätzlich möglich auch einen Formschluss zur besseren Positionierung von Modulen herzustellen.

Modul „Verkleidungen“

An den Längs- und Querverstrebungen können verschiedene Verkleidungen aus Blech angebracht werden. Diese Verkleidungen sind in allen Behältermaßen verfügbar. An den Verkleidungen sind jeweils rechtsliegend Standard Zetteltaschen angebracht. Folgende zwei Varianten der Verkleidungen sind in der Abbildung 5-9 bzw. Abbildung 5-10 dargestellt.

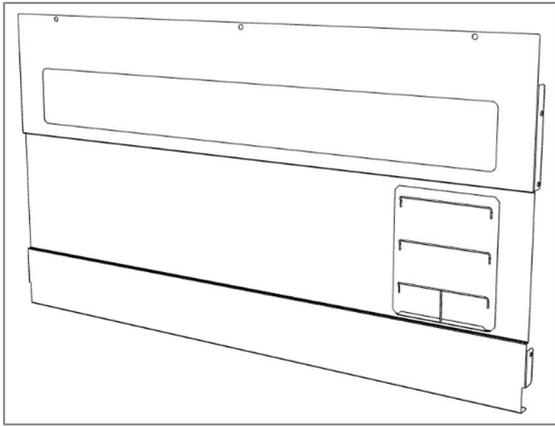


Abbildung 5-9: Bsp. Verkleidung mit Zetteltasche lange Seite

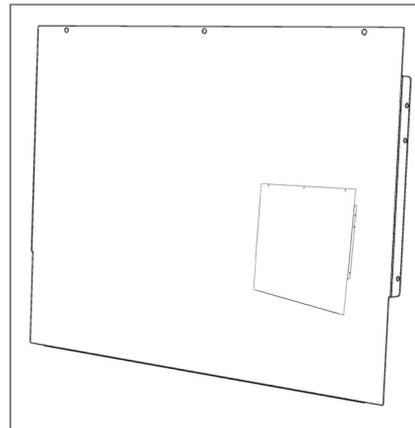


Abbildung 5-10: Bsp. Verkleidung mit Zetteltasche kurze Seite

Modul „Deckel“

Der Deckel besteht aus drei Teilen (Rahmen mit Wasserablaufblech, Deckel und Frontplane). Der Deckel ist in allen Behältermaßen verfügbar.

Modul „Boden“

Die Grundrahmen können mit Blech oder Gitterböden ausgestattet werden. Diese Böden sind in allen Behältermaßen (Länge x Breite) verfügbar.

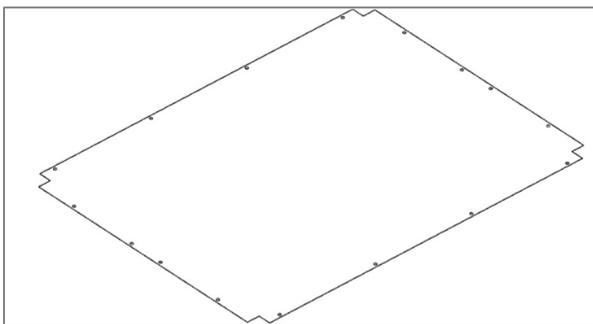


Abbildung 5-11: Bsp. Bodenblech

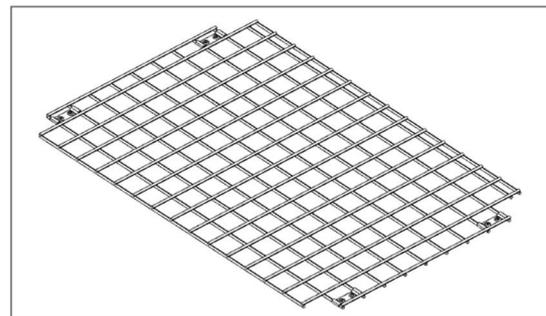


Abbildung 5-12: Bsp. Gitter als Boden

Sonstige Bauteile – Halter und Anschraubblaschen

Um auch ein bauteilspezifisches Innenleben im Ladungsträger anzubringen, sind Halter und Anschraubblaschen notwendig. Da diese keine Module im Sinne des modularen Baukastens und abhängig von bauteilspezifischen Innenleben bzw. vom Transportgut sind, können diese nicht explizit vom Kunden ausgewählt werden.

5.1.4 Ansätze zur Weiterentwicklung des modularen Baukastens

Aktuelle Themen wie z.B. E-Mobilität bringen neue Anforderungen an Ladungsträger mit sich und haben direkten Einfluss auf die Attraktivität des Baukastens. Die Weiterentwicklung des modularen Baukastens ist deshalb ein wesentlicher Bestandteil des Gesamtkonzepts. Hier legt man besonderen Wert darauf, dass nicht die Anforderungen einzelner Kunden in den Vordergrund gerückt werden, sondern die besten Ideen aller Kunden der Branche zur Weiterentwicklung herangezogen werden.

Bei dem Innovationszyklus des Baukastens wird folgendermaßen vorgegangen. Die Anforderungen, Verbesserungsvorschläge und Wünsche aller Kunden und des Marktes werden während des Jahres gesammelt. In festgelegten Zyklen werden in einem Gremium die Vorschläge bewertet. Aufgrund dieser Bewertung wird überprüft, ob die Implementierung der Top Ideen eine Veränderung einer Komponente/Baugruppe/Modul im Baukasten mit sich zieht oder ob ein neues Modul zum Baukasten hinzugefügt werden muss. Die Einhaltung dieser Zyklen ist für die Kompatibilität der Versionen zueinander von wesentlicher Bedeutung. Die einzige zulässige Abweichung von diesem Prozess ist, wenn eine Komponente/Baugruppe/Modul sicherheitsrelevante Mängel aufweist, die bis zur Behebung nicht warten können, bis der Innovationszyklus abgeschlossen ist. (siehe Abbildung 5-13).

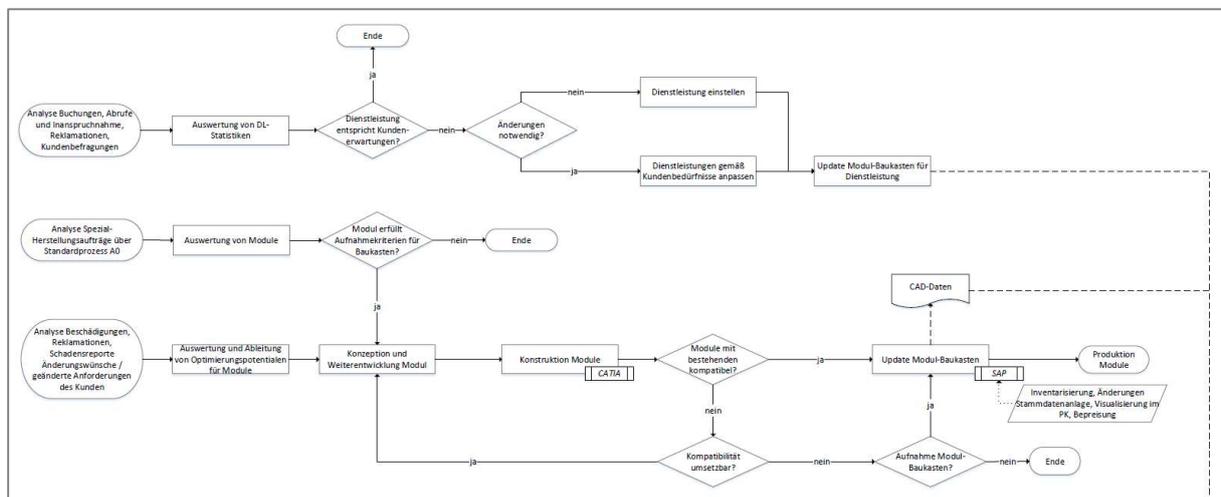


Abbildung 5-13: Prozessdarstellung Weiterentwicklung Modulbaukasten (Quelle: Hochschule Landshut, Darstellung exemplarisch, Soll-Prozesse Produktconfigurator)

Sofern besondere Kundenwünsche in den Baukasten mit einbezogen werden müssen, damit das Konzept beim jeweiligen Kunden anwendbar ist, besteht die Möglichkeit diese Wünsche als Spezialmodule (universelle Modulentwicklung für den Kunden) umzusetzen und mit den Standardkomponenten des Baukastens zu kombinieren.

Kennzeichnung der Bauteile

Um die Module des modularen Konzepts zu identifizieren müssen diese gekennzeichnet sein. Hier wird zwischen eindeutiger Kennzeichnung (z.B. mittels Typenschildaufkleber) mit laufender Nummer und typenbezogener Kennzeichnung unterschieden.

In nachfolgender Tabelle wird die Kennzeichnung der einzelnen Module und Betriebsmittel in „eindeutig“ und „typenbezogen“ eingeteilt (siehe Tabelle).

Tabelle 5-2: Kennzeichnung der Module / Modultypen

Module	Kennzeichnung	
	eindeutig	typenbezogen
I-Modul „IoT Device“	X	
Grundmodul „Grundrahmen“	X	
Grundmodul „Steher“		X
Längs- und Querverstrebungen, leichte Ausführung		X
Längs- und Querverstrebungen, schwere Ausführung		X
Verkleidungen		X
Deckel		X
Boden		X
Halter und Anschraubtaschen		X
sonstige Spezialmodule		X

5.2 Intelligenz am Sonderladungsträger

5.2.1 Anforderungen an IoT-Device (Hardware) und Software

Bei der Anforderungsanalyse wurde im Allgemeinen zwischen Anforderungen des iSLT an die IoT-Technologie (Identifikation und Sensorik) sowie Kommunikationsanforderungen an die IoT-Technologie unterschieden. Diese Anforderungen wurden mittels eines Fragebogens jeweils von den Anwendungspartnern erhoben. Anschließend wurde ein paarweiser Vergleich der jeweiligen Anforderungen durchgeführt und somit je nach Priorität unterschiedlich gewichtet. Die Anforderungen wurden in mehreren Iterationen während des Projektes mit den Anwendungspartnern überarbeitet und vor der Auswahl eines bzw. mehrerer Produkte finalisiert. Dabei reichten die Anforderungen von einer Kommunikationsreichweite von mehreren Kilometern bis zur Lokalisierung auf einige Meter Genauigkeit und vielen weitere Anforderungen. Die erhobenen Anforderungen werden detailliert in Abbildung 5-14 und Abbildung 5-15 aufgelistet.

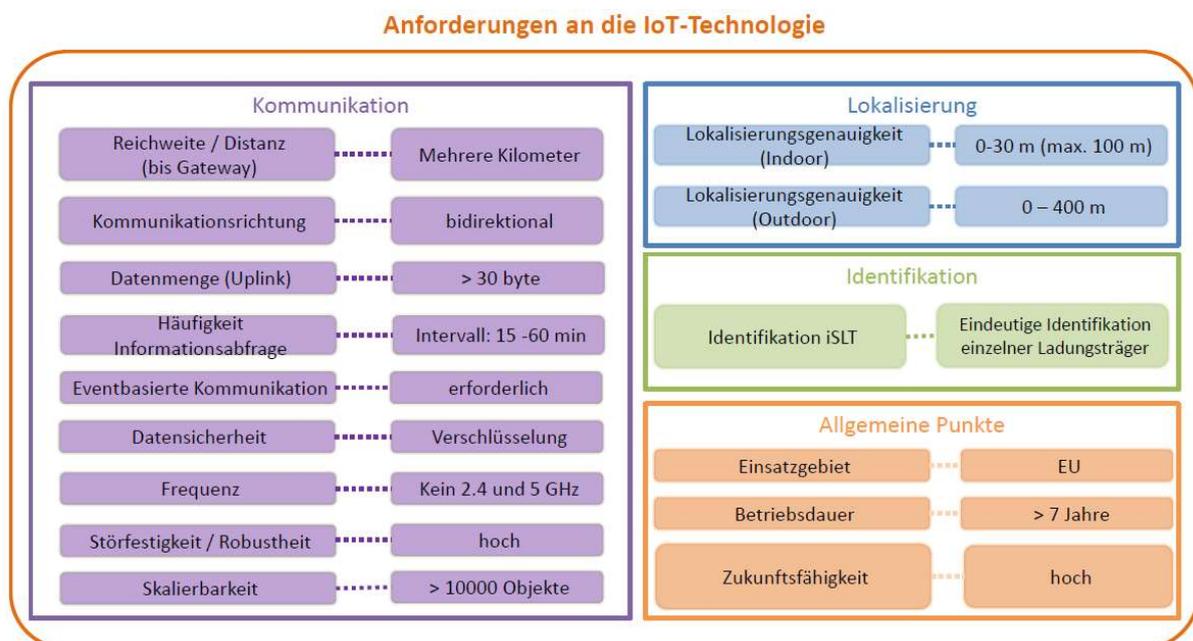


Abbildung 5-14: Anforderung an die IoT Technologie(n)

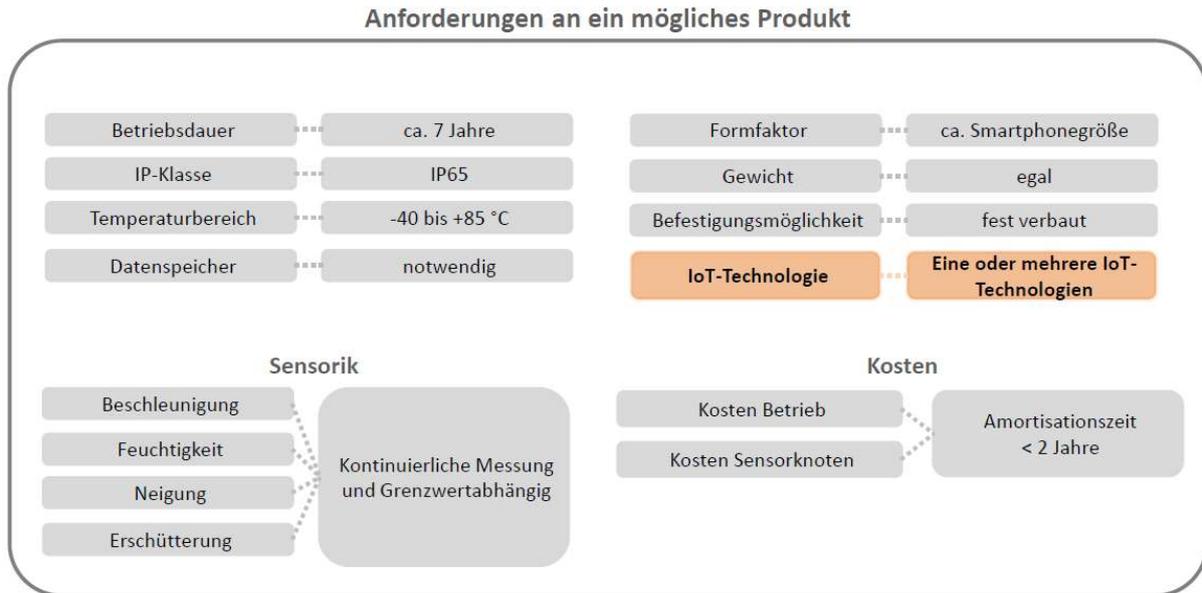


Abbildung 5-15: Anforderungen an das Produkt

Für die Auswahl der konkreten IoT-Technologien wurde anschließend als erster Schritt eine Literatur- und Marktrecherche durchgeführt, in welchen die Spezifikationen der einzelnen Basistechnologien untersucht wurden. Parallel wurden die identifizierten Basistechnologien auf Einsatzmöglichkeiten in der Praxis untersucht. Als Ergebnis zeigte sich schnell, dass einige Basistechnologien bereits grundlegend ausgeschlossen werden mussten, da sich diese in einer realen Umgebung nur schwierig einsetzen ließen oder die Anforderungen in einem weit unzureichenden Maß erfüllt hätten. Beim Abgleich der möglichen Technologien mit den Anforderungen wurde festgestellt, dass mit einer einzelnen Basistechnologie nicht alle Anforderungen abgedeckt werden konnten. Daher wurde sich dazu entschlossen nach einer auf dem Markt verfügbaren Komplettlösung zu suchen, welche verschiedene Basistechnologien in einer einzigen Einheit bzw. Produkt integriert, um den Integrationsaufwand in das iSLT-Ökosystem möglichst gering zu halten. Dafür wurde ein Anfragetemplate entworfen, welches an die jeweiligen Produkthanbieter versendet wurde, um so die Produktspezifikationen mit den Anforderungen an die Technologie abzugleichen. Aufbauend auf den erhobenen Anforderungen wurden verschiedene IoT Technologien untersucht, welche die gewünschten Funktionalitäten laut Datenblatt abdecken konnten. Dazu wurde zunächst eine ausführliche Sammlung der aktuell vorhandenen Kommunikations-, Identifikations- und Lokalisationstechnologien angefertigt und diese mit den Anforderungen und Einschränkungen abgestimmt. Die verbleibenden Technologien wurden daraufhin den Projektpartnern im Rahmen eines Workshops vorgestellt und darauf aufbauend eine gemeinsame Vorauswahl getroffen. Die ausgewählten Technologiebündel sollten dabei immer einen Barcode zur physischen Identifikation und GPS zur Outdoorlokalisierung umfassen. Zusätzlich wurde sich auf verschiedene LPWAN Kommunikationstechnologien (LoRa, Nb-IoT und Mioty) geeinigt, welche weiter beobachtet werden sollen. Als primäre Kommunikationstechnologie wurde LoRa ausgewählt, da hier die größte Marktverfügbarkeit identifiziert wurde. Daraufhin wurden passende Komplettlösungen bzw. IoT Devices mit der geforderten Sensorik und Technologieauswahl, identifiziert und vorgestellt. In Absprache mit den Projektpartnern wurden aus dieser Liste drei vielversprechende Produkte ausgewählt und die Bestellung durchgeführt und begleitet. Aufgrund technischer Mängel wurde allerdings eines der Produkte wieder ausgeschlossen.

Die Anforderungen für die Software-Architektur bzw. die Cloud-Plattform wurden gemeinsam im Rahmen eines Kreativworkshops erarbeitet. Dabei wurde zwischen den Bausteinen, Datenkollektor, Service-Backend, Service-Frontend und Datenbank unterschieden. Zudem wurden allgemeine Anforderungen an das IT-System erhoben.

Bei der Evaluierung der Anforderungen wurde zwischen funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen unterschieden. Anschließend wurden die gesammelten Anforderungen nach der „muss-kann-soll“ Methodik priorisiert. Als Ergebnis wurden dabei überwiegend Muss-Anforderungen definiert. Für das Sicherheitskonzept wurde sich an einem Anforderungskatalog des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik (BIS) für Cloudsysteme orientiert. Dafür wurde das Dokument „Anforderungskatalog Cloud-Computing (C5) – Kriterien zur Beurteilung der Informationssicherheit von Cloud-Diensten“ als Hilfestellung verwendet und einzelne Anforderungen mit dem konkreten Anwendungsfall abgeglichen und identifiziert.

5.2.2 Software-Architektur

Bei der Konzeption der Software-Architektur wurden zunächst Use-Cases erstellt, um die Anforderungen genauer zu definieren. Diese wurden entsprechend an die bereits konzeptionierten Dienstleistungen angelehnt, aber auch zur Vertiefung dieser genutzt. Insbesondere das Zusammenspiel der Soll-Prozesse, den Use Cases und der Datenmodellierung hat sich als sehr hilfreich bei der Ausgestaltung der Dienstleistung erwiesen. Infolgedessen wurden Use-Case spezifische und allgemeine Funktionen definiert, die benötigt werden, um die einzelnen Dienstleistungen abbilden zu können. Diese Funktionen wurden wiederum durch Zustandsdiagramme beschrieben, um die spätere Umsetzung zu unterstützen. Im Folgenden wird so ein Diagramm exemplarisch für die Funktion „Aktuelle Standorte der iSLTs darstellen“ aus der Dienstleistung „Tracking“ visualisiert:

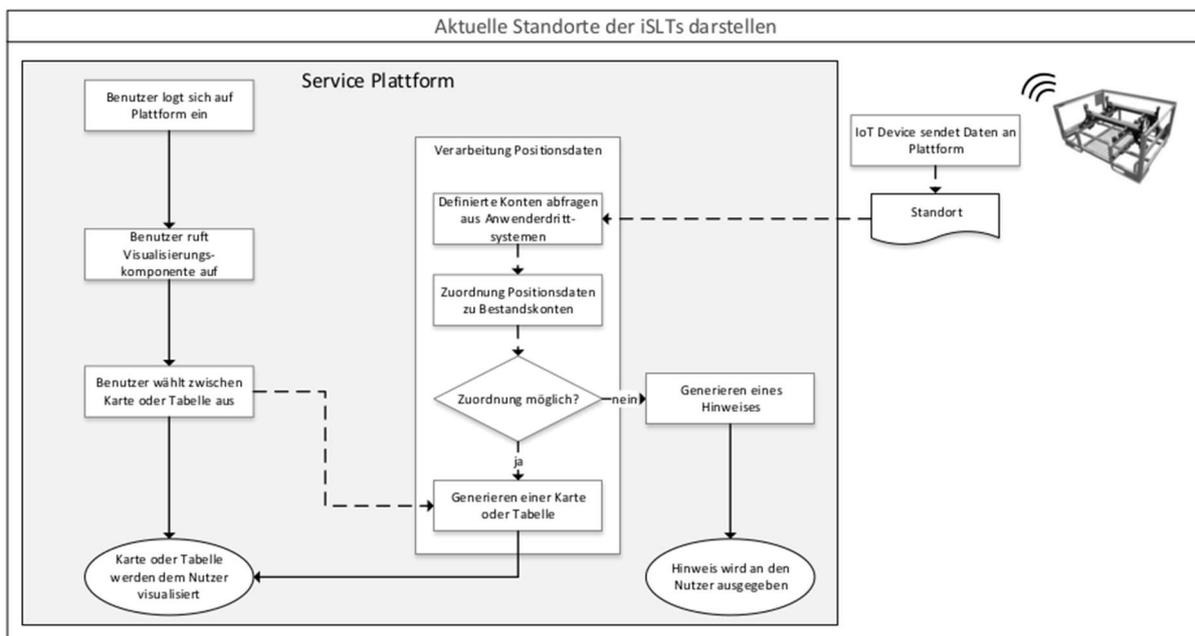


Abbildung 5-16: Zustandsdiagramm für die Funktion "Aktuellen Standort der iSLTs darstellen"

Die Softwarearchitektur wurde daraufhin prototypisch, zunächst auf Basis von Microsoft Azure Komponenten in einer Weise geplant, dass alle definierten Funktionen durch die Software abgebildet werden können (siehe Abbildung 5-17). Trotz der späteren Entscheidung gegen einen Clouddienstleister wie Azure oder AWS wurde diese Architektur als Grundlage für die iSLT.NET-Cloudplattform herangezogen.

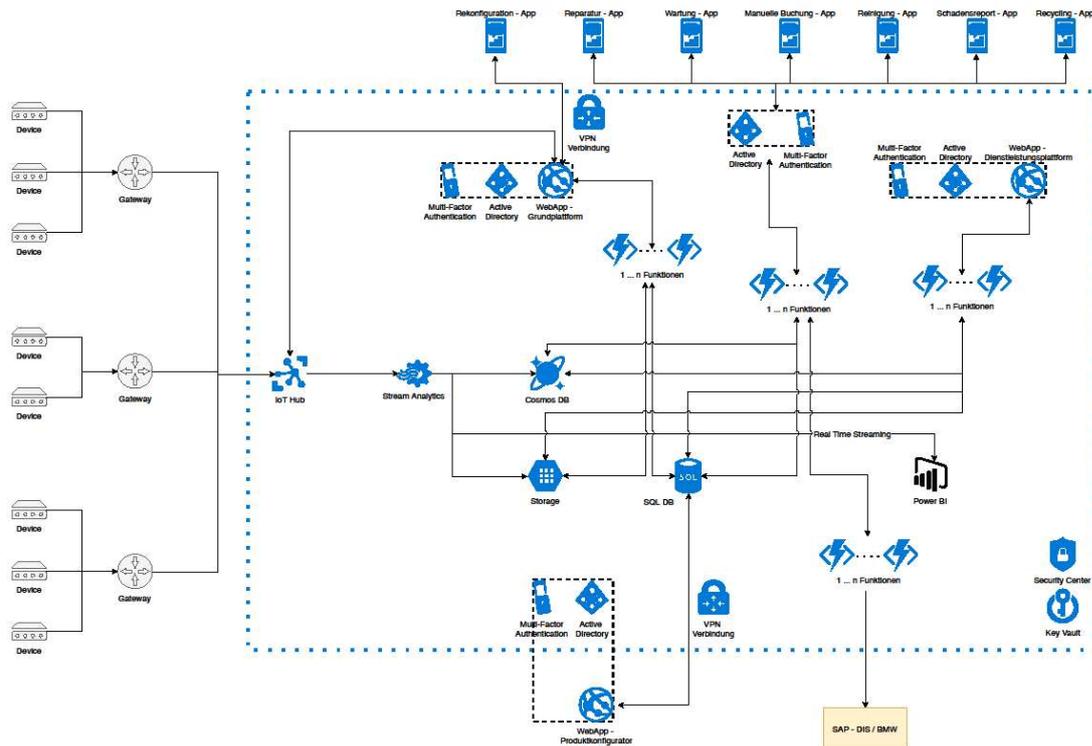


Abbildung 5-17: Prototypische Software Architektur auf Azure Basis

5.2.3 LoRa-Server

Ohne den in der Software Architektur dargestellten IoT-Hub fehlte aber auch die notwendige Schnittstelle zwischen Gateway und den verschiedenen Clouddiensten. Als Alternative hierfür wurde ein Open-Source LoRaWAN Netzwerkserverschicht identifiziert und umgesetzt. Dieser besteht im groben aus einem Netzwerk- und einem Anwendungsserver. Das LoRa-Gateway leitet die empfangenen Daten an den LoRaWAN-Netzwerkserverschicht weiter. Die Software, die auf dem LoRa-Gateway läuft und für das Empfangen und Senden zuständig ist, wird als Packet Forwarder bezeichnet. Hier erfolgt die Umwandlung des LoRa Payloads in ein vom Netzwerkserverschicht verständliches Datenformat und die namensgebende Weiterleitung der Datenpakete an diesen. Im iSLT.NET Projekt wurde der LoRa-Payload an dieser Stelle in einen MQTT-Payload übersetzt.

Der Netzwerkserverschicht selbst ist für die Verwaltung des gesamten Netzwerks verantwortlich. Er verfügt über Kenntnisse über alle Geräteaktivierungen im Netzwerk und ist in der Lage, Verbindungsanfragen zu bearbeiten, wenn neue Geräte dem Netzwerk beitreten wollen. Des Weiteren ist der Netzwerkserverschicht dazu in der Lage Datensätze, die von mehreren Gateways empfangen wurden, zusammenfassen und sie als einen einzigen Payload an den übergeordneten Anwendungsserver weiterzuleiten. Dieser bietet wiederum eine Web-Schnittstelle und APIs für die Verwaltung von Benutzern, Organisationen, Anwendungen, Gateways und Geräten. Er fungiert somit als die notwendige Schnittstelle zwischen LoRa Gateways und der Cloudplattform.

5.2.4 Cloudplattform

Mit Hilfe der gesammelten Anforderungen wurde 2018 im Rahmen einer Ausschreibung nach einer bestehenden Plattform gesucht, auf deren Basis die iSLT Cloud Plattform umgesetzt werden konnte. Der Einsatz einer bereits bestehenden Plattform hat den Vorteil, dass die durch die Dienstleistungen definierten Use-Case spezifischen Funktionalitäten deutlich leichter umzusetzen sind. Diese hätten bei freieren Lösungen, wie Azure oder AWS, erst eigenständig implementiert werden müssen. Bei einer Plattformlösung können diese mittels entsprechender Konfigurationen und Anpassungen deutlich kostengünstiger umgesetzt werden, sodass im Vergleich insgesamt ein höherer Funktionsumfang erzielt werden kann.

Bei der Ausschreibung wurde darauf Wert gelegt, dass die Beauftragung die Realisierung der definierten Anwendungen „Live Position/Tracking“, „Tracing“, „Zustandsüberwachung“ und „Schadensbericht“ auf jeden Fall beinhaltet, zusätzliche Funktionalitäten konnten optional angeboten werden. Die Plattform für die Forschungsumgebung soll in der Cloud (z.B. AmazonCloud) gehostet werden. Die Plattform sollte hauptsächlich mit IoT-Geräten über LoRa kommunizieren.

Die Lora Daten der IoT Devices sollten über eine Schnittstelle an den vom Fraunhofer-Institut zur Verfügung gestellten Lora-Server angebunden werden. Diese Anbindung soll den zukünftigen Datenaustausch sicherstellen.

Insgesamt wurden die Anforderungen mittels eines Lastenhefts an vier Plattformanbieter übergeben. Zudem wurden sechs Softwareanbieter angeschrieben, die Individuallösungen hätten umsetzen können. Vier der Anbieter wurden im Anschluss detailliert betrachtet und bewertet, da deren angebotene Kosten im Projektbudget lagen

Jeder der Anbieter wurde anschließend nach den folgenden Kriterien bewertet:

- Wirtschaftlichkeit: Entwicklungskosten und Lizenzkosten für die Laufzeit des Projekts
- Erweiterbarkeit: Offenheit der Lösung für Anpassungen
- Bedienbarkeit: Grafische Oberfläche und Bedienkomfort
- Funktionsumfang: Anzahl der Dienstleistungen und Umsetzungstiefe

Im Jahr 2019 fanden die Entwicklungsarbeiten an der Cloud-Lösung statt. Ausgehend von den Use-Cases und den Anforderungen an die Anwendung wurde ein Gesamtkonzept entworfen und fehlende Use-Case spezifische Funktionen wurden vom Konsortium auf Basis der Plattform einer Partnerfirma umgesetzt.

Die nachfolgende Darstellung zeigt das Zusammenspiel der Plattform mit den IoT Devices, Gateways und dem Lora Server.

5.2.5 Sicherheitskonzept

Zusätzlich wurde ein Sicherheitskonzept entwickelt, sodass das iSLT-System bei den Anwendungspartnern aufgebaut und getestet werden konnte. Zunächst wurden alle Fragen des BSI Leitfadens "IT-Sicherheit" auf deren Relevanz für eine prototypische Umsetzung hin bewertet. Anschließend wurden alle relevanten Fragen vom Projektkonsortium beantwortet. Beispielsweise wurden die in den Dienstleistungen anfallenden Daten nach ihrer Kritikalität bewertet und das iSLT-System in ein Sicherheitslevel eingestuft, um anschließend Maßnahmen ableiten zu können.

Da im Forschungsprojekt die Umsetzung von Sicherheitsmaßnahmen nicht im Vordergrund steht, wurden auch Konzepte entwickelt, um das Sicherheitslevel herabzusetzen. Die unmittelbaren Maßnahmen zur Minimierung des Sicherheitslevels sind:

- Keine eigenen Systeme der Anwendungspartner werden an die Plattform angebunden
- Die Anwendungspartner setzen für das Projekt zusätzliche Kommunikationsinfrastrukturen (wie z.B. WLAN) auf, damit die Geräte nicht ins Firmennetzwerk kommen
- Nur die Sensor- und Positionsdaten sind in der Plattform real, die Kunden- oder Auftragsdaten sind frei erfunden

Weiterhin wurden aber die Anforderungen, welche auch bei niedrigerem Sicherheitslevel umgesetzt werden müssen, in die Umsetzung der Cloud Anwendung aufgenommen und berücksichtigt. Dabei konnte aber auf die aktuell verbreiteten Web-Security Maßnahmen zurückgegriffen werden.

6 Dienstleistungen und Soll-Prozesse für intelligente modulare Sonderladungsträger

6.1 Konzeption von Dienstleistungen

Aus den Schwachstellen und Potentialen wurden Anforderungen für Dienstleistungskonzepte für die Ladungsträgerentwicklung und das Behältermanagement abgeleitet und in einem Anforderungskatalog definiert. Im Ergebnis wurden 16 Dienstleistungen konzipiert, die weit über die klassischen Dienstleistungen der Ladungsträgerbranche wie Reparatur, Wartung und Reinigung hinausgehen. Abbildung 6-1 fasst die Dienstleistungen für modulare und intelligente Sonderladungsträger zusammen, die sich in finanzbasierte, ladungsträgerbasierte und datenbasierte Dienstleistungen gliedern. Für alle Dienstleistungen wurden Lasten- und Pflichtenhefte erstellt. Während im Lastenheft die Anforderungen für die jeweilige Dienstleistung definiert wurden, beschreibt das Pflichtenheft u.a. die Ziele der jeweiligen Dienstleistung und beinhaltet modellierte Soll-Prozesse (vgl. Romer & Meißner 2019a und Romer & Meißner 2019b) für den Ablauf im Cloud-basierten Service-System und im logistischen Prozess. Die Finanzierungsdienstleistungen werden in Kapitel 10 konkretisiert. Die ladungsträger- und datenbasierten Dienstleistungen werden in den folgenden Abschnitten analog zu (Romer & Meißner 2018, S. 13-16) und (Meißner & Romer 2018, S. 58-61) in den nachfolgenden Kapitel 6.1.1 und 6.1.2 erläutert.

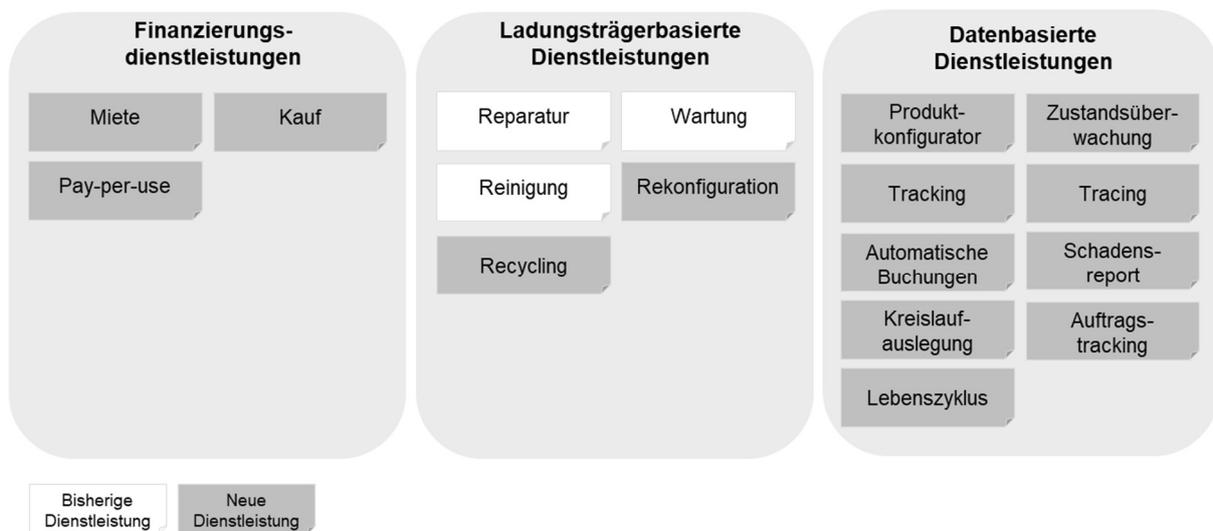


Abbildung 6-1: Dienstleistung für intelligente, modulare Sonderladungsträger (in Anlehnung an Romer & Meißner 2018, S. 13-16 und Meißner & Romer 2018, S. 58-61)

6.1.1 Ladungsträgerbasierte Dienstleistungen

Reparatur

Der Service „Reparatur“ wird bei defekten iSLT vom Kunden eventbasiert gebucht und dient der Wiederherstellung der Einsatzfähigkeit von iSLT (Romer & Meißner 2018, S. 13-16). Das bedeutet, erst wenn eine Beschädigung am Ladungsträger festgestellt wurde, werden reaktiv Maßnahmen eingeleitet. Beschädigungen sollen insbesondere im Wareneingang bei den Sichtprüfungen identifiziert werden. Des Weiteren ist der Ladungsträger bei regelmäßigen Wartungsprozessen auf Beschädigungen zu prüfen. Defekte Ladungsträger müssen aus dem Kreislauf entnommen und vorläufig gesperrt werden, bis die Reparatur am Ladungsträger durchgeführt wird. Der modulare Aufbau des Ladungsträgers soll dem Reparateur einen schnelleren und einfacheren Austausch von Modulen und Komponenten ermöglichen. Die

Reparaturen werden vom Ladungsträgerhersteller selbst oder von einem beauftragten externen Reparaturdienstleister innerhalb des iSLT-Netzwerkes vorgenommen. Zudem soll es den Unternehmen möglich sein, Ersatzteile des modularen Ladungsträgers selbst zu beschaffen, um kleine Reparaturen intern vorzunehmen oder naheliegende Reparaturdienstleister außerhalb des Netzwerkes zu beauftragen. Die Erfassung des Schadens erfolgt dabei durch den Service „Schadensreport“. Die Schadensaufnahme ist durch den OEM oder Lieferanten möglich, kann aber auch durch den Reparateur durchgeführt werden. Die Dienstleistung „Reparatur“ ändert sich für den Reparaturdienstleister durch den modularen Aufbau des iSLT. Künftig werden einzelne defekte Module des Ladungsträgers durch Schraubverbindungen demontiert und intakte Module montiert. Die durchgeführten Reparaturmaßnahmen sowie der Reparateur und der Zeitpunkt der Instandsetzung ist für jeden Ladungsträger über mobile Endgeräte zu protokollieren. Die Daten sollen genutzt werden, die Module des Ladungsträgers qualitativ zu verbessern. Die Dienstleistung „Reparatur“ ist abgeschlossen, sobald der defekte iSLT repariert und geprüft wurde und zurück in den Kreislauf gegeben wurde.

Wartung

Der Service „Wartung“ dient zur Verlängerung der Einsatzzeit der Sonderladungsträger in dessen Lebenszyklus. Der Service „Wartung“ wird für iSLT von Kunden gebucht und eventbasiert oder in definierten Zeitintervallen durchgeführt (Romer & Meißner 2018, S. 13-16). Bei letzterem werden die iSLT in bestimmten Zeitabständen insbesondere auf ihre Qualität und Einsatzfähigkeit präventiv geprüft. Dabei sollen entsprechende Aufbereitungsmaßnahmen, wie beispielsweise der Austausch oder das Schmieren von Scharnieren zum Klappen des Ladungsträgers oder ein Batteriewechsel am IoT-Device vorgenommen werden. Die Regelmäßigkeit der wiederkehrenden Überprüfung hängt von vielen Faktoren wie beispielsweise dem Nutzungsgrad ab. Dafür wäre denkbar, dass zum jeweiligen Monatsultimo dem operativen Behältermanagement über das cloud-basierte Service-System eine Wartungsliste automatisiert zur Verfügung gestellt wird, die die Daten zu den eingesetzten iSLT (ID, Typ) und dessen Wartungsintervallen beinhaltet. Das Wartungsintervall definiert für den iSLT einen Zeitrahmen von beispielsweise 3 Monaten, in denen die Wartung durchgeführt werden sollte. Auf Basis der Wartungsliste können Mitarbeiter im operativen Behältermanagement die Bereitstellung der iSLT für die Wartung planen. Ein Stichtag für die Wartungsmaßnahmen wäre in der praktischen Umsetzung schwierig. Für die Wartung muss der leere Ladungsträger aus dem Kreislauf ausgeschleust werden. Die Versorgung mit ausreichend Ladungsträgern im Nutzungszyklus ist dennoch zu gewährleisten. Die Wartung wird vom Poolingbetreiber selbst oder von einem beauftragten, externen Wartungsdienstleister innerhalb des iSLT-Netzwerkes vorgenommen. Ein Wartungsplan gibt dabei die am Ladungsträger durchzuführenden Tätigkeiten vor. Werden im Wartungsprozess Beschädigungen oder Verunreinigungen am Ladungsträger festgestellt, sind entsprechende Reparatur- und Reinigungsmaßnahmen zu veranlassen. Bei jeder Wartung ist vom Wartungsdienstleister digital zu erfassen, wer, wann und welche Wartungsarbeiten an welchem Ladungsträger durchgeführt hat. Nach den Wartungsarbeiten muss für den Nutzungszyklus ein funktionsfähiger QS-geprüfter Ladungsträger zur Verfügung stehen. Beispielsweise kann eine nach der Wartung am Ladungsträger angebrachte Prüfplakette über dessen geprüften Zustand und den nächsten Wartungszeitpunkt informieren.

Die Wartung kann mit der Dienstleistung „Reparatur“ eventbasiert kombiniert werden. Dies setzt voraus, dass vom Kunden sowohl die Dienstleistungen „Reparatur“ und „Wartung“ gebucht wurden.

Reinigung

Der Service „Reinigung“ wird für iSLT von Kunden gebucht und kann eventbasiert oder in definierten Zeitintervallen durchgeführt werden (Romer & Meißner 2018, S. 13-16). Bei letzterem werden die iSLT in bestimmten Zeitabständen insbesondere die Innenleben gereinigt, um die Qualität der zu transportierenden Bauteile nicht zu beeinträchtigen. Die Reinigung wird vom Poolingbetreiber selbst oder von einem beauftragten, externen Reinigungsdienstleister innerhalb oder außerhalb des iSLT-Netzwerkes vorgenommen. Im Zuge der Sichtkontrolle im Wareneingang beim Bauteillieferant müssen die Ladungsträger auf Verunreinigungen geprüft werden. Darüber hinaus sind die Ladungsträger vor der Bereitstellung am Montageband zur Befüllung auf Verschmutzung zu untersuchen. Bei der eventbasierten Reinigung werden iSLT erst dann gereinigt, wenn Verschmutzungen bei Sichtprüfungen im Einsatz erkannt wurden. Die Dienstleistung „Reinigung“ kann sowohl beim Kunden als auch extern durchgeführt werden. Für die Durchführung der Reinigungsmaßnahmen muss der Ladungsträger aus dem Kreislauf ausgeschleust werden.

Workshops mit den Anwendungspartner haben gezeigt, dass die Inanspruchnahme der Dienstleistung „Reinigung“ zunächst bei Bedarf anstatt in regelmäßigen Intervallen gewünscht ist. Jeder getätigte Reinigungsvorgang soll im Cloud-basierten Service-System erfasst werden. Dabei ist zu dokumentieren, wer, wann und welche Reinigungstätigen an Ladungsträgern vorgenommen hat. Anschließend sollen durch die Reinigungsdaten Intervalle für regelmäßige Reinigungszyklen abgeleitet werden. Die Dienstleistung „Reinigung“ ist abgeschlossen, sobald der iSLT gereinigt und zurück in den Kreislauf eingeschleust wurde.

Rekonfiguration

Durch den neu entwickelten Modulbaukasten können mit dem Service „Rekonfiguration“ modulare Ladungsträger demontiert und gemäß den geänderten Kundenanforderungen zu einem anderen Ladungsträger zusammengefügt werden. Der Service eignet sich insbesondere bei fehlender Weiterverwendung nach Nutzungsende, bei Modellwechsel oder Modellpflege (Facelift) des Transportgutes. Die Dienstleistung beinhaltet die Rekonfiguration von iSLT die bereits im Einsatz sind und die erstmalige Konfiguration von Ladungsträgern bei Neubestellung. Der Service ist unabhängig vom Finanzierungsmodell der Ladungsträger und dient dazu, einen modularen Ladungsträger nach Ende seines Nutzungszyklus durch Demontage und anderweitige bedarfsgerechte Montage von Modulen zurück in einen neuen Kreislauf zu integrieren. Die einzelnen Module sollen dabei mehrere Nutzungszyklen durchlaufen. Insbesondere soll mit der Rekonfiguration die Wiederverwendung von Modulen erheblich erhöht werden und dadurch die Nachhaltigkeit gesteigert werden (Romer & Meißner 2018, S. 13-16).

Die Kunden fordern häufig eine schnelle Abwicklung von Neu- und Umbaufträgen. Über den Poolingbetreiber sollen Kunden deshalb von der kurzfristigen Verfügbarkeit von Sonderladungsträgern profitieren. Kurzfristige Bedarfe von Außengestellen sollen beispielsweise innerhalb von 72 h bereitgestellt werden können. Bauteilspezifische Innenleben sind hierbei von dem Kunden selbst einzubringen und an die Montagelinie des Ladungsträgerherstellers zu liefern. Aufträge zur Produktion von Ladungsträgern inklusive des bauteilindividuellen Innenlebens sollen innerhalb von zwei Wochen hergestellt und an den Kunden ausgeliefert werden können. Um dies zu gewährleisten, sind vorrätige standardisierte Module und Komponenten im Modul-Pool notwendig. Der Poolingbetreiber verwaltet die Bestände von Modulen und Komponenten, um Kundenanfragen schnell umsetzen zu können. Zudem muss der Poolingbetreiber über Transparenz seiner freien Montagekapazitäten verfügen, um im vorgegebenen Zeitraum die Ladungsträger herstellen und ausliefern zu können. Des Weiteren steuert und verwaltet der Poolingbetreiber federführend die vom Kunden gebuchten ladungsträger- und datenbasierten Dienstleistungen. Der Poolingbetreiber

verteilt die Aufträge entsprechend an die Dienstleister im iSLT-Netzwerk und überwacht die Umsetzung. Besteht im Nutzungszyklus vorübergehender Überbestand an Ladungsträgern, soll der Poolingbetreiber die Einlagerung von Ladungsträgern für die Kunden übernehmen. Hierfür sind ausreichende Lagerkapazitäten zur Verfügung zu stellen (Romer & Meißner 2018, S. 13-16).

Recycling

Der Service „Recycling“ wird bei defekten iSLT und Modulen von Kunden eventbasiert gebucht, bei denen sich die Reparatur als unwirtschaftlich darstellt oder die iSLT nicht mehr benötigen werden. Für das Recycling wird ein externer Dienstleister innerhalb des iSLT-Netzwerkes beauftragt. Dieser führt die Abschaltung des IoT-Devices, sowie die Trennung und Verwertung der unterschiedlichen Materialien von Ladungsträgern durch und stellt die bei dem Vorgang entstandenen CO₂-Daten der Dienstleistung „Lebenszyklus“ zur Verfügung. Diese werden vom Poolingbetreiber zur Berechnung der CO₂-Bilanz für die gesamte Supply Chain von iSLT benötigt. Mit dem Recyceln endet die Supply Chain von iSLT.

6.1.2 Datenbasierte Dienstleistungen

Produktkonfigurator

Der Service „Produktkonfigurator“ bietet webbasiert die Konfiguration eines intelligenten Sonderladungsträgers an und soll insbesondere die Entwicklungsprozesse optimieren (Romer & Meißner 2018, S. 13-16). Der Produktkonfigurator wurde prototypisch umgesetzt und soll sowohl von Kunden (OEM und Bauteillieferant) als auch dem Ladungsträgerhersteller verwendet werden. Der Produktkonfigurator erlaubt webbasiert die Konfiguration von intelligenten, modularen Sonderladungsträgern auf Basis des standardisierten Modulbaukastens. Die Konfiguration wird im Produktkonfigurator in 3D abgebildet und soll künftig im Anschluss als CAD, Worlds-Datei (WRL) und Portable Document Format (PDF) exportiert werden können. Ebenso soll ein Produktdatenblatt zum Download stehen, welches den Anwendern, neben Maßen und Gewicht, über Traglast, Stapelfaktor, dynamische Belastungsgrenzen und die Tara informiert. Konfigurierte iSLT können im Produktkonfigurator zwischengespeichert und durch Austauschen von Modulen jederzeit an geänderte Anforderungen angepasst werden. Der Nutzer erhält während der Konfiguration Auskunft über die Lieferzeit und kann somit prüfen, ob der Auftrag fristgerecht fertiggestellt werden könnte. Bei Rückfragen, während der Konfiguration stehen Ansprechpartner des Poolingbetreibers zur Verfügung. Sind spezifische Module z.B. bauteilspezifische Innenleben nicht im Baukasten hinterlegt, können diese über den Standard-Ist-Prozess vom Poolingbetreiber in Abstimmung mit dem Kunden entwickelt und anschließend im Produktkonfigurator in die Konfiguration eingebettet und visualisiert werden. Zudem kann über den Produktkonfigurator ein unverbindliches Angebot über die Konfiguration angefordert werden. Die Angebotserstellung setzt dabei eine Prüfung der benötigten Anzahl an Ladungsträgern zum benötigten Zeitpunkt voraus. Abschließend können über den Produktkonfigurator die iSLT auf Basis des Angebotes bestellt werden. Der Produktkonfigurator ist plattformunabhängig und mit unterschiedlichen Betriebssystemen kompatibel und beispielsweise über Computer, Tablet oder Smart Phone von Nutzern bedienbar.

Mit dem Einsatz des Produktkonfigurators wird der Behälterplaner des OEM und Lieferanten mehr in den Entwicklungsprozess eingebunden. Dadurch sollen Änderungsschleifen sowie Abstimmungsproblemen zwischen Behälterhersteller und Kunden verringert und die Entwicklungszeit von iSLT deutlich verkürzt werden. Zudem sollen beim Behälterhersteller manuelle Aufwände bei der Erstellung von Angeboten reduziert werden.

Auftragstracking

Die Dienstleistung „Auftragstracking“ bietet dem Kunden die Verfolgung des aktuellen Auftragsstatus von der Anfrage bis zur Auslieferung der Ladungsträger an (Romer & Meißner 2018, S. 13-16). Der Kunde kann dann seinen Auftragsstatus online selbst aufrufen. Eine webbasierte Plattform soll hierbei als Kommunikationsschnittstelle zwischen Kunde und dem Poolingbetreiber fungieren. Der Service informiert den Kunden darüber, ob die bestellten Ladungsträger zum vereinbarten Lieferzeitpunkt bereitgestellt werden können. Kunden erhalten durch die Abfrage im Cloud-basierten Service-System den aktuellen Status über ihren Auftrag und beinhaltet folgende Informationen:

- Der Status „Auftrag in Bearbeitung“ wird angezeigt, sobald der Kunde die Auftragsbestätigung vom Poolingbetreiber erhalten hat.
- Der Status „Rohmaterial beschafft“ wird angezeigt, sobald der Poolingbetreiber die Rohstoffe für die standardisierten Module und die bauteilindividuellen Innenleben beschafft hat.
- Der Status „Produktion gestartet“ wird angezeigt, sobald der erste iSLT gefertigt wurde und die Anzeige „x/x iSLT fertiggestellt bzw. x%/100% fertiggestellt“ laufend aktualisiert.

Die Einhaltung des Lieferplans soll mit Hilfe eines Ampelsystems aufgezeigt werden. Anhand dieser kann der Kunde prüfen, ob der Auftrag wie vereinbart fertiggestellt wird. Sobald Abweichungen vom Lieferplan auftreten, werden Kunden proaktiv informiert (grün: i.O. Liefertermin kann wie geplant eingehalten werden; gelb: prognostizierter Verzug und Anzeige geplantes Lieferdatum; rot: eingetretener Verzug und Anzeige geplantes Lieferdatum).

Tracking

Mit dem Service „Tracking“ können Ladungsträger innerhalb ihrer Einsatzphase im Kreislauf lokalisiert werden und die Transparenz von den Standorten von Ladungsträgern folglich gesteigert werden (Romer & Meißner 2018, S. 13-16). Die Supply Chain umfasst sämtliche Transportwege, Werksgelände sowie Werkshallen von OEM, Bauteillieferanten und Dienstleistern. Kunden sollen durch die Abfrage über das cloud-basierte Service-System die Position der zuletzt gesendeten Standortdaten von iSLT erhalten. Der Poolingbetreiber möchte durch die Dienstleistung „Tracking“ unternehmensübergreifend feststellen können, wo, wie viele und bei wem sich seine vermieteten Ladungsträger befinden.

Tracing

Das „Tracing“ ist ein Reporting für Standortdaten und baut auf der Dienstleistung „Tracking“ auf. Mit der Dienstleistung „Tracing“ können Ladungsträger rückverfolgt werden (Romer & Meißner 2018, S. 13-16). Dabei sollen Standortdaten der Ladungsträger auf dem Transportweg, Werksgelände sowie Werkshallen gesammelt und dem Kunden zur Verfügung gestellt werden. Die Daten sollen über mobile Endgeräte ausgegeben werden. Mit den Standortdaten werden bisherige Aufenthaltsorte von Ladungsträgern transparent. Mittels der Standortdaten können verschwundene Ladungsträger innerhalb der Supply Chain zurückverfolgt werden. Des Weiteren soll über die aufgezeichneten Standortdaten ermittelt werden, wie viele Kreisläufe der Ladungsträger im Einsatz bereits durchlaufen hat. Basierend auf den Standortdaten können zudem Auswertungen über individuellen Standzeiten von Ladungsträgern durchgeführt sowie Standzeiten überwacht werden. Folglich können Rückschlüsse über deren Auslastung gezogen werden. Eine Meldung bei Überschreitung einer von den Unternehmen individuell definierter Standzeit kann hierbei Aufschluss darüber geben, ob sich zu viele Ladungsträger im Umlauf befinden oder Standzeiten nicht eingehalten werden.

Zustandsüberwachung

Mit dem Service „Zustandsüberwachung“ werden alle durch die IoT-Devices erfassten Sensordaten im cloud-basierten Service-System gespeichert und ausgewertet (Romer & Meißner 2018, S. 13-16). Abhängig von der Sensorik am Ladungsträger können Daten wie beispielsweise Temperatur, Luftfeuchte und Erschütterung gemessen werden. In Kombination mit der Dienstleistung „Tracking“ kann zusätzlich analysiert werden, an welchem Standort die Sensordaten erfasst wurden. Mit den Zustandsdaten wird die Umgebung von Ladungsträgern transparent und können zudem in Form von Protokollen den Nutzern über Abfragen im cloud-basierten Service-System zur Verfügung gestellt werden.

Bei Grenzwertabweichung sollen Warnmeldungen an den Nutzer ausgelöst werden. Beispielsweise soll bei Unterschreitung von der individuell festgelegten Temperaturuntergrenze eine Meldung an den Nutzer über ein mobiles Endgerät ausgegeben werden. So soll sichergestellt werden, dass potentielle Beschädigungen am Ladungsträger oder am Ladegut erkannt werden. Die Meldung soll neben der Art der Abweichung, den Sensorwert, den Standort und den Zeitpunkt der Grenzwertabweichung übertragen. Damit soll die Ursache der Grenzwertabweichung erforscht und Prozesse nachhaltig verbessert werden. (Romer, 2018, S. 166-173).

Automatisierte Buchungen

Mit dem Service „automatisierte Buchungen“ sollen manuelle Buchungen im Wareneingang und Warenausgang bei beteiligten Akteuren in der Supply Chain ersetzt werden (Romer & Meißner 2018, S. 13-16). Dabei sollen im Wareneingang und Warenausgang automatisch die Mengenidentitätsprüfungen durchgeführt und die Ladungsträger auf die entsprechenden Empfänger- und Absender-Konten verbucht werden. Bei Soll-Ist-Abweichungen werden Mitarbeiter im Wareneingang bzw. Warenausgang benachrichtigt werden. Alle durchgeführten Buchungen sollen in einer manipulationsgeschützten Buchungsliste festgehalten werden, die zusätzliche Daten zur weiteren Analyse liefert. Die automatisierten Buchungen sollen als Grundlage für den regelmäßigen Kontenabgleich zwischen den Anwenderunternehmen dienen und automatisch die Bestände in den entsprechenden Konten erfassen. Die Eingangs- und Ausgangsbuchungen sollen zeitnah in die Systeme erfolgen und protokolliert werden. Die Buchungsdaten mit der Anzahl und Ladungsträgerart sollen, während dem Buchungsprozess im Wareneingang und -ausgang dem Mitarbeiter über mobile Endgeräte angezeigt werden. Die Buchungsprotokolle sollen den Anwenderunternehmen für weitere Auswertungen zur Verfügung gestellt werden.

Um eine Umstellung von manuell auf automatisierte Buchungen schrittweise zu gestalten, soll im Prozess den Mitarbeitern im Wareneingang und -ausgang zunächst ein Vorschlag für die Buchung über ein mobiles Endgerät unterbreitet werden. Die angezeigte Anzahl und die Ladungsträgerart sollen anfangs manuell mit dem physischen Bestand abgeglichen werden, um die Buchungen zu validieren. Zur Ausführung des Buchungsvorganges soll der Mitarbeiter der Buchung explizit zustimmen. Bei gegebenenfalls festgestellten Differenzen muss der Buchungsvorschlag abgewiesen und manuell korrigiert werden. Aufgetreten fehlerhafte Buchungsvorschläge sind zu analysieren, um nach Überarbeitungsschleifen ein verlässliches Buchungssystem zu generieren. Im nächsten Schritt sollen die Bestandsbuchungen automatisch vorgenommen werden. Die manuellen Überprüfungen des physischen Bestandes mit der Buchung sollen dabei nur noch stichprobenartig erfolgen. Bei Abweichungen zwischen den Lieferdaten, die über EDI übertragen werden, und den tatsächlich eingegangenen Ladungsträgern soll der Nutzer über eine Meldung informiert werden.

Grundlage zur Durchführung von automatisierten Buchungen ist die Zuordnung von Ladungsträgern zu bestimmten Bereichen. Dadurch kann die aktuelle Anzahl an intelligenten Ladungsträgern beispielsweise in der Ent- und Beladezone, Wareneingang und Warenausgang festgestellt werden.

Zudem wäre die Abgrenzung der unterschiedlichen Werksbereiche wie beispielsweise Produktion, Lager, Wareneingänge und -ausgänge wünschenswert. Dadurch erhalten die Unternehmen Transparenz über die realen Bestände und manuelle Bestandszählungen können künftig entfallen.

Schadensreport

Mit dem Service „Schadensreport“ können festgestellte Beschädigungen am iSLT von Nutzern erfasst werden (Romer & Meißner 2018, S. 13-16). Die Dokumentation soll über einen QR-Code am Ladungsträger und eine App erfolgen können. In der App sollen die Beschädigungen von defekten Ladungsträgern durch die Auswahl der Module oder via Fotodokumentation hinterlegt. Sämtliche erfasste Beschädigungen sollen zur weiteren Analyse als Report zur Verfügung gestellt werden. Die erfassten Schadensreporte können beispielsweise von einem Reparaturdienstleister eingesehen werden und erleichtern dessen Reparaturvorbereitung und Ersatzteilebeschaffung. Die Qualität der Auswertung hängt stark von der Qualität der manuell erfassten Schadensreporte ab.

Lebenszyklus

Der Service „Lebenszyklus“ enthält sämtliche Daten über Ladungsträger, die für den jeweiligen iSLT erfasst und ausgewertet wurden. Hierzu zählen beispielsweise Standort-, Temperatur-, Erschütterungs- und Instandhaltungsdaten (Romer & Meißner 2018, S. 13-16). Diese können durch Dienstleistungen, wie z.B. Tracking, Zustandsüberwachung, Schadensreport, Reparatur bereitgestellt werden. Zudem ist die Dienstleistung „Lebenszyklus“ die Datenbasis für die Erstellung und Berechnung der CO2 Bilanz (CO2 Footprint), welche Daten zu Herstellung, Einsatz (insb. Transport) und Recycling von Ladungsträgern liefert.

Kreislaufauslegung

Mit dem Konzept der Dienstleistung „Kreislaufauslegung“ sollen umlaufende Ladungsträgerbestände ermittelt und mit den aktuellen Bedarfen abgeglichen werden. Bei Abweichungen zwischen den aktuellen Beständen und benötigten Bedarfen wird automatisiert eine Warnmeldung ausgegeben. Dabei müssen eingehende Datensätzen zunächst auf ihre Vollständigkeit überprüft werden. Während dem Einsatz senden die iSLT ihre Datensätze standortbezogen oder in regelmäßigen Zeitintervallen an die iSLT Plattform (Romer & Meißner, 2019, S. 2098-2103). Fehlen Datensätze von iSLT oder sind Datensätze unvollständig, löst die iSLT Plattform automatisch unterschiedliche Warnmeldungen aus, um es den Mitarbeitern im logistischen Prozess zu ermöglichen, Gegensteuerungsmaßnahmen zu ergreifen. In einem nächsten Schritt müssen Über- und Unterbestände innerhalb der logistischen Prozesse identifiziert werden. Dabei muss ein Vergleich zwischen den tatsächlichen (Ist) und geplanten (Soll)-Umlauftagen und Beständen durchgeführt werden. Die Soll-Daten sollen dabei über eine automatisierte Behälterbedarfsrechnung innerhalb der IoT-Plattform ermittelt werden. In diese müssen rollierenden Produktionsplanungsdaten aus ERP-Systemen sowie Daten aus der Behälterbedarfsrechnung aus der Planungsphase (u.a. Transportzeit, Mindestbestände, Umlaufzeit beim OEM und Bauteillieferanten) einfließen. Die Ist-Daten sollen auf Basis, der im Kreislauf befindlichen iSLT über die IoT-Devices ermittelt werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass defekte iSLT in die Berechnung von tatsächlichen Beständen nicht einfließen dürfen, da diese für den Kreislauf vorübergehend bis zur Reparatur nicht verfügbar sind. Nachdem die Ist-Daten der umlaufenden iSLT ermittelt wurden, sollen diese mit den Soll-Daten abgeglichen werden. Im nächsten Schritt wird geprüft, ob eine Soll-Ist-Abweichung außerhalb von festgelegten Toleranzgrenzen vorliegt. Trifft dies zu, werden beispielsweise bei kurzfristigen Bedarfen Warnmeldungen an Prozessmitarbeiter gesendet und Transportaufträge automatisch ausgelöst (Romer & Meißner, 2019b, S. 9-12).

6.2 Soll-Prozesse

Durch den Einsatz von intelligenten, modularen Ladungsträgern und der iSLT Plattform verändern sich die Prozesse von Unternehmen. In iterativen Workshops wurden für das Netzwerk für intelligente, modulare Sonderladungsträger Soll-Prozesse entwickelt, die analog zu den Ist-Prozessen von der Entwicklung bis zum Recycling reichen.

Während sich bei den Einsatzprozessen die Transparenz über den Materialfluss von Ladungsträgern steigert und Prozesse digitalisiert und automatisiert werden, finden auch beim Behälterhersteller Prozessveränderungen statt. Dabei wird das herkömmliche Geschäftsmodell des Behälterherstellers zu einem Serviceanbieter transformiert. Der sogenannte Poolingbetreiber bietet neuartige und innovative Dienstleistungen für modulare und intelligente Sonderladungsträger an. Mit dieser Transformation gehen eine Vielzahl von neuen Prozessschritten einher. Diese werden fortfolgend knapp erläutert.

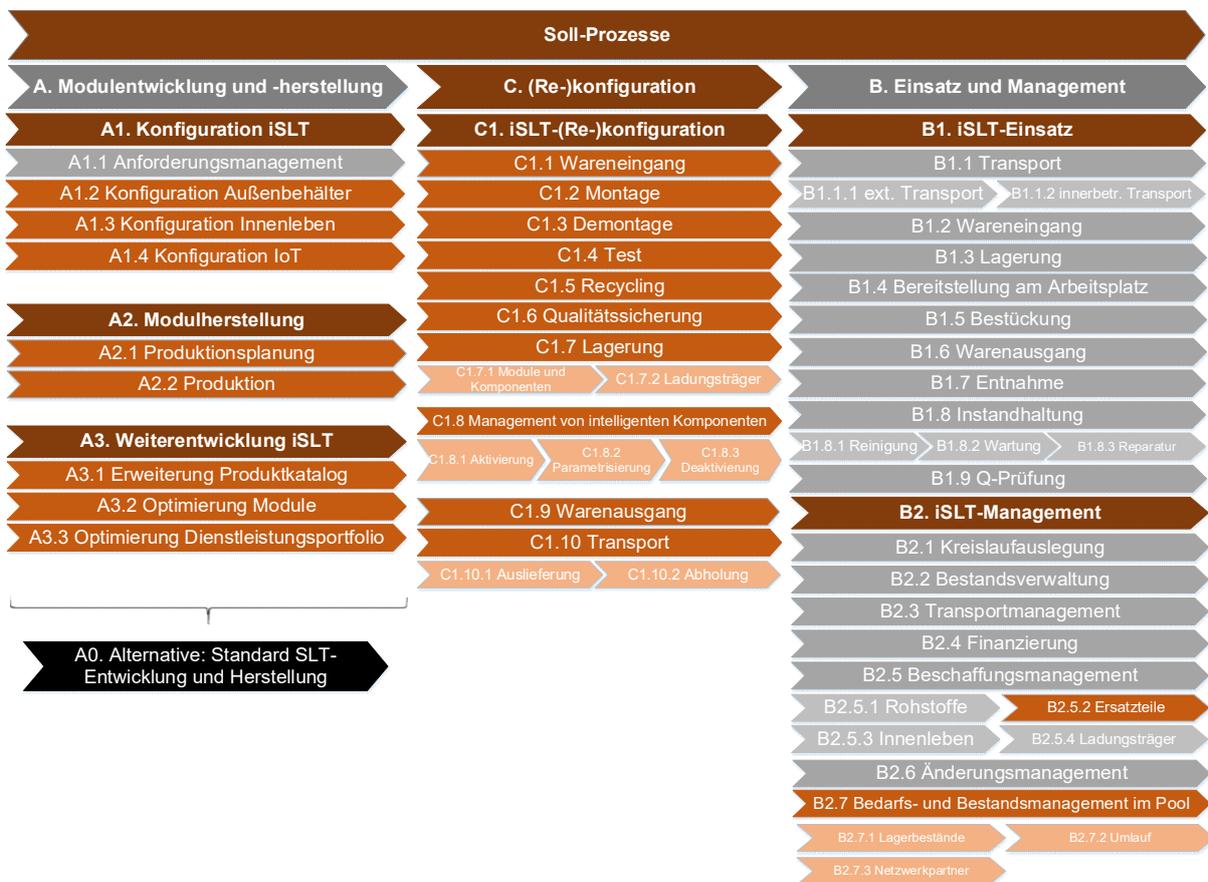


Abbildung 6-2: Soll-Prozesskarte für einen iSLT (Romer & Huber, 2020)

Durch den Produktkonfigurator und den Modulbaukasten wird die Konfiguration von intelligenten, modularen Ladungsträgern deutlich vereinfacht. Der Außenbehälter kann vom Behälterhersteller oder vom Kunden webbasiert konfiguriert werden (A1.2). Zudem können IoT-Technologien und Dienstleistungen zum Ladungsträger über den Produktkonfigurator hinzugefügt werden (A.1.4). Ziel ist es, die Abstimmungstermine zwischen Behälterhersteller und Kunden insbesondere auf die Konfiguration des bauteilspezifischen Innenlebens (A1.3) zu begrenzen. Der Poolingbetreiber produziert künftig seine standardisierten Module gemäß dem Modulbaukasten und die bauteilspezifischen Innenleben (A2). Ist kein modularer Ladungsträger gewünscht, ist der Poolingbetreiber trotzdem in der Lage, auf Kundenwunsch nach den herkömmlichen Entwicklungs- und Herstellungsprozessen gemäß den Ist-Prozessen vorzugehen (A0). Für den modularen Ladungsträger müssen in regelmäßigen Zyklen der

angebotene Produktkatalog überarbeitet und gegebenenfalls erweitert werden (A3.1). Dabei ist die Aufnahme zusätzliche standardisierter Module und Ausstattungsvarianten denkbar. Eine zukünftige Aufgabe des Poolingbetreibers wird es sein, die Daten aus den Schadensreporten und Reparaturinformationen zu analysieren. Aus den Daten sollen Module identifiziert werden, häufig defekt sind. Diese gilt es, qualitativ zu verbessern (A3.2), sodass künftig weniger Reparaturen und der Tausch von Modulen möglich sind. Zudem ist kontinuierlich zu überwachen, welche Dienstleistungen von Kunden in Anspruch genommen werden (A3.3). Das Portfolio kann gemäß den Kundenanforderungen angepasst und um weitere Dienstleistungen ergänzt werden. Bei Dienstleistungen, die kaum gebucht werden, sind Ursachen zu analysieren und gegebenenfalls die Dienstleistungen zu überarbeiten oder aus dem Portfolio zu nehmen.

Durch die Modularität und der Rekonfigurierbarkeit des Ladungsträgers ist der Prozess der „Rekonfiguration“ notwendig. Dieser beschäftigt sich hauptsächlich mit der Handhabung der Module und der Ladungsträger beim Poolingbetreiber. Dieser umfasst die Vereinnahmung von rückläufigen intelligenten, modularen Sonderladungsträgern nach Ablauf des Mietzeitraums im Wareneingang (C1.1). Dabei können die Ladungsträger vom Kunden angeliefert werden oder der Poolingbetreiber bietet eine Abholung an (C1.10.2). Bei Ankunft beim Poolingbetreiber werden die IoT-Devices zunächst deaktiviert (C1.8.3) und sind damit für den Kunden nicht mehr sichtbar. Mittels dem Bedarfs- und Bestandsmanagement müssen eingehende Kundenaufträge, Lagerbestände und im Umlauf befindliche Ladungsträger kontinuierlich geprüft werden, um gegebenenfalls Rückläufer gemäß neuen passenden Kundenaufträgen umzubauen, bevor Ladungsträger komplett zerlegt und eingelagert werden (B2.7). Beim Umbau werden den Ladungsträgern dann nur die Module demontiert, die defekt sind und die, die für den nachfolgenden Kundenauftrag nicht benötigt werden. Anschließend erfolgt die Montage intakter Module bzw. des Innenlebens gemäß dem neuen Kundenauftrag (C1.2). Gibt es für die Charge an rückläufigen Ladungsträgern keinen passenden Folgeauftrag, werden diese in ihre Einzelmodule zerlegt (C1.3), auf ihre Qualität (C.1.6) geprüft und bis zum nächsten passenden Kundenauftrag eingelagert (C1.7). Defekte Module, die nicht repariert werden können, müssen recycelt (C1.5) werden. Bei einem neuen Kundenauftrag wird geprüft, ob die notwendigen Module im Lager ausreichend vorhanden sind, ansonsten müssen Module neu hergestellt werden (A2). Sind alle Module für den Auftrag vorhanden, erfolgt die Montage gemäß dem Kundenauftrag. Im letzten Montageschritt wird das IoT-Device am Ladungsträger angebracht und gemäß den gebuchten Dienstleistungen parametrisiert. Dabei werden die Zeitintervalle für beispielsweise GPS-Koordinaten und Temperaturübertragung sowie Grenzwerte bei Erschütterung am IoT-Device hinterlegt (C1.8.2) und anschließend aktiviert (C1.8.1). Zudem wird dem Kunden der Zugang zur iSLT Plattform freigeschaltet. Dadurch kann der Kunde u.a. über das Auftragstracking die produzierte Stückzahl einsehen. Sind die Ladungsträger bereits vor Ausliefertermin fertiggestellt, werden sie im Warenausgangslager zwischengelagert (C1.7.2). Die Auslieferung an den Kunden erfolgt mittels LKW-Transport (C1.10). Im Einsatz erfüllen die IoT-Devices am Ladungsträger gemäß ihren gebuchten Dienstleistungen (vgl. Kapitel 6.2) ihren Zweck. Dabei wurde festgestellt, dass manuelle Tätigkeiten wie beispielsweise manuelle Buchungen oder Barcode-Scans durch das System für intelligente, modulare Ladungsträger eliminiert werden können und auf Falschlieferungen und Erschütterungen frühzeitig reagiert werden kann. Für Reparaturmaßnahmen muss der Poolingbetreiber eine ausreichende Menge an Ersatzmodulen vorrätig halten und deren Bestellungen von Reparaturdienstleistern und Kunden verwalten (B2.5.2). Darüber hinaus arbeitet der Poolingbetreiber mit seinen Netzwerkpartnern (z.B. IoT-Hardware-Anbieter, Reparaturdienstleister, IoT-Plattform-Anbieter) zusammen, die er zu verwalten hat (Meißner & Romer 2018, S.61-62).

7 Technisches Gesamtsystem - Fünf-Schichten-IoT-Architektur

7.1 Theoretischer Aufbau der Fünf-Schichten-IoT-Architektur

In Abbildung 7-1 ist die Fünf-Schichten-IoT-Architektur für intelligente, modulare Sonderladungsträger, welche für die Umsetzung der innovativen datenbasierten, ladungsträgerbasierten und finanzbasierten Dienstleistungen entworfen wurde, schematisch dargestellt. Durch intelligente Objekte werden entlang der Supply-Chain Daten gesammelt und in den einzelnen Schichten bis hin zum Kunden analysiert und verarbeitet. Der genaue Aufbau und entsprechende Daten-Workflow je Schicht werden in den folgenden Abschnitten analog zu (Zeiler & Fottner, 2020) und (Zeiler & Fottner, 2019) ausführlicher erläutert.

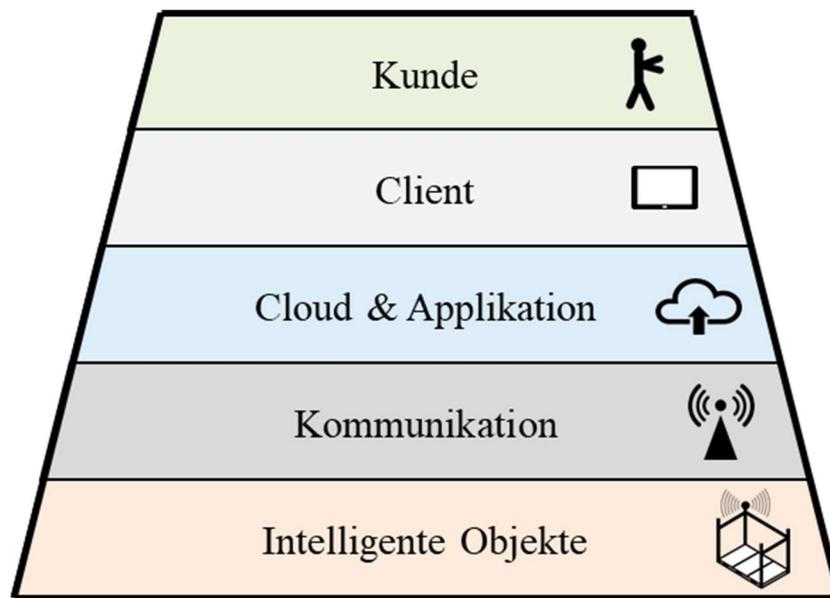


Abbildung 7-1: Schematische Darstellung der Fünf-Schichten-IoT-Architektur für das Service-System mit intelligenten, modularen Ladungsträgern (Zeiler und Fottner, 2019)

7.1.1 Schicht 1: Intelligente Objekte

Intelligenten und vernetzten Sonderladungsträgern einschließlich ihrer Hardware-Infrastruktur (z. B. Gateways) zur Identifikation und Kommunikation bilden die unterste Schicht. Dem intelligenten, modularen Sonderladungsträger selbst ist eine eindeutige ID zugeordnet, als Data-Matrix-Code am Behälter angebracht und für das System zur Datenverarbeitung hinterlegt. So kann der Montage- und Reparaturprozess vereinfacht werden, da eine einfache, digitale Dokumentation anhand der eindeutigen ID möglich ist. Alle intelligente, modulare Sonderladungsträger sind mit einem Low-Power-Wide-Area-Network-Modul (LPWAN), für die intervallbasierten Kommunikation und Datenübertragung, ausgerüstet. Aufgrund seines geringen Stromverbrauchs pro gesendeter Nachricht ermöglicht LPWAN lange Batterielaufzeiten bei großen Reichweiten (Raza et. al., 2017) und kann somit sehr lange (mehrere Jahre) ohne Batteriewechsel eingesetzt werden. Zusätzlich zu dem LPWAN-Modul ist ein GPS-Modul integriert, wodurch eine genaue und eine funkzellenbasierte Lokalisierung des Sonderladungsträgers ermöglicht wird. Die integrierten Sensoren für Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Beschleunigung und Neigung erfassen kontinuierlich Daten bezüglich der Umgebungsbedingungen, Transportvibrationen und Aufprallereignisse des Sonderladungsträgers. Das IoT (Internet-of-Things)-Device, bestehend aus LPWAN-Modul,

GPS-Chip und Sensoren, überträgt die gesammelten Daten und die zugewiesenen eindeutigen ID des Sonderladungsträgers intervallbasiert an das Backend. (Zeiler & Fottner, 2020).

Die LPWAN-Gateways, welche an wichtigen Punkten des Behälterkreislaufs zwischen den Unternehmen installiert sind, leiten neben ihrer eigenen Position die übertragenen Daten des IoT-Devices an die Cloud-Plattform weiter. Dank der großen Reichweiten von LPWAN (einige Kilometer in offenem Gelände) und der guten Gebäudedurchdringung reduziert sich die Anzahl an Gateways, die für die Abdeckung eines Werksgeländes erforderlich sind (Zeiler et. al., 2019). Alle weiteren innerhalb des Service-System genutzten Barcode-Scanner (z. B. bei der Montage, Reparatur) sind ebenfalls mit der iSLT Plattform verbunden. (Zeiler & Fottner, 2020).

7.1.2 Schicht 2: Kommunikation

Die Kommunikationsabläufe in der zweiten Schicht, vereinfacht dargestellt in Abbildung 7-2, basiert auf der EPCIS-Architektur (GS1, 2015). Dabei wurde darauf geachtet einen standardisierten Systemaufbau, Übermittlungsprotokoll und Vokabular für das Service-System zu nutzen, damit ein unternehmensübergreifendes Verständnis der gesammelten Daten sichergestellt ist und die Verarbeitung dieser Daten und Integration von weiteren intelligenten Objekten und Kommunikationstechnologien sich einfacher gestalten. Im Folgenden wird kurz auf den Kommunikationsablauf zwischen den intelligenten Objekten und der iSLT Plattform eingegangen. Auf dem Shopfloor werden durch die intelligenten, modularen Sonderladungsträger Daten über ihre Umgebung und Position kontinuierlich gesammelt. Das LPWAN-Modul des Behälters sendet diesen Payload (Nutzdaten) sowohl intervallbasiert als auch eventbasiert über die Luftschnittstelle an das LPWAN-Gateway (Uplink). Dabei werden die gesendeten Informationen von der Leser-/Antennenschnittstelle empfangen und an die „Data Capture Application“ übergeben. Dort finden eine Filterung und Aggregation der Daten statt. Der innerhalb des „Data-Capture-Workflow“ implementierte Algorithmus akkumuliert anschließend die gesendeten Payloads und fügt zusätzliche Informationen, z. B. die Position des Gateways, hinzu. Anschließend wird mithilfe des „EPCIS Capture-Interface“ eine dem EPCIS-Standard angepasste JSON-Datei erstellt. Hier ist die Idee, dass unabhängig von der verwendeten Kommunikationstechnologie, dem Standort oder dem Anbieter eine standardisierte JSON-Datei generiert werden kann, welche in der iSLT Plattform einfach zu interpretieren ist. Die dabei verwendete Struktur und das Vokabular sind an den GS1 Standard angelehnt (GS1, 2016) (Zeiler & Fottner, 2020).

Wenn ein Update des IoT-Devices erforderlich ist, z. B. die Veränderung des Sendeintervalls des LPWAN-Moduls, wird eine JSON-Datei mit den benötigten Informationen für die Aktualisierung von der Cloud an das „Application specific interface“ übermittelt. Anschließend wandet der „Update-Workflow“ die empfangenen Daten in eine passende LPWAN-Downlink-Nachricht um. Der Payload wird über die Antennenschnittstelle während des nächsten Downlinks an das LPWAN-Modul des Zielbehälters übertragen. (Zeiler & Fottner, 2020)

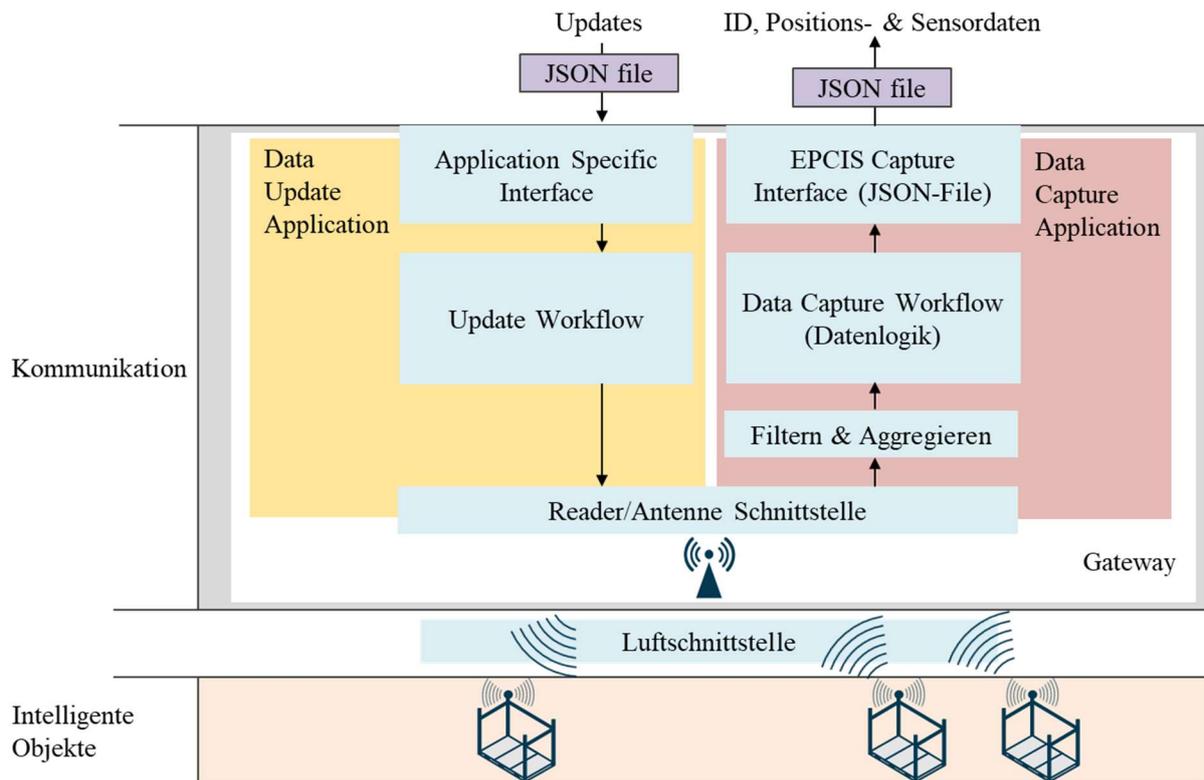


Abbildung 7-2: Datenübermittlung und -vorverarbeitung innerhalb der ersten und zweiten Schichten (Zeiler und Fottner, 2019)

7.1.3 Schicht 3: Cloud und Applikation

Für den Betrieb des Service-Systems wurde ein Cloud-Platformaufbau ausgewählt, obwohl alle Komponenten der Cloud- und Applikationsschicht auch lokal gehostet werden könnten. Begründe ist dies dadurch, dass die klassischen Vorteile, wie z. B. einfache Skalierbarkeit, eine unternehmensübergreifende Nutzung und Erreichbarkeit des Service-Systems trotz fehlender Expertise bei den Partnern durch eine Cloud-Plattform einfach realisierbar sind. Abbildung 7-3 ist die Datenverarbeitung für die Realisierung des Service-Systems, welche innerhalb der iSLT Plattform abläuft, vereinfacht dargestellt. Jeder Datenverkehr, der von der Cloud empfangen wird, wird von einem Datenpaketfilter überprüft und gefiltert. Dies stellt sicher, dass nur Daten von vertrauenswürdigen Quellen akzeptiert werden. Nach der Filterung wird eine Kopie der vom Gateway übermittelten JSON-Dateien direkt in einem EPCIS-Repository gespeichert. Parallel hierzu werden ID, Positions- und Sensordaten der Datenanalyse übergeben und dort von verschiedenen Softwarediensten verarbeitet und analysiert (z. B. Sortierung, Überwachung von Grenzwerten, Push-Benachrichtigungen). Die analysierten Daten werden im Anschluss in Datenbanken gespeichert. Wenn ein eingehender Datensatz einen Grenzwert überschreitet, wird ein Alarm ausgelöst und der Nutzer via Push-Benachrichtigung oder direkt über den Web- oder Anwendungsserver benachrichtigt. (Zeiler & Fottner, 2020)

Unabhängig von der Benachrichtigung kann der Benutzer über den Web- oder Anwendungsserver Daten anfordern. Die Datenabfrage durch den Nutzer wird von mehreren Softwarediensten verarbeitet, die die angeforderten Daten aus der Datenbank extrahieren, konvertieren, verarbeiten und diese mithilfe des Web- oder Anwendungsservers benutzerfreundlich aufbereiten und darstellen. Diese Prozesslogiken und Verarbeitungsalgorithmen sind in der Business-Process-Engine hinterlegt. So können dem Nutzer die in den vorherigen Kapiteln vorgestellten datenbasierten und durch Daten

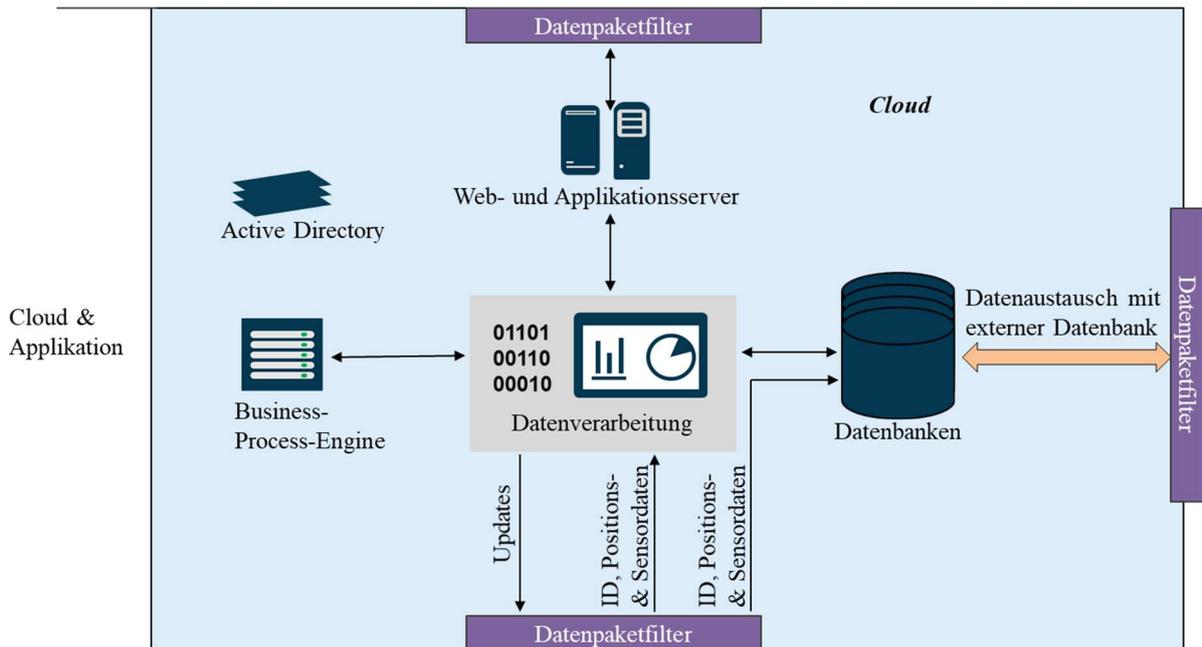


Abbildung 7-3: Darstellung von Datenfluss und -verarbeitung auf der Cloud-Plattform (Zeiler & Fottner, 2019)

unterstützten physischen Dienstleistungen angeboten werden. Die iSLT Plattform bietet zusätzlich Schnittstellen, über die Daten mit Datenbanken außerhalb des Service-Systems ausgetauscht werden können. Auf diese Weise können die Teilnehmer des Service-Systems die gesammelten Daten nicht nur in ihre eigenen Datenbanken kopieren, sondern auch dem Service-System zusätzlich benötigte Daten zur Verfügung stellen. Der Datenzugriff wird dabei von einem Active Directory verwaltet. (Zeiler & Fottner, 2020)

7.1.4 Schicht 4: Client

Durch die Client-Schicht ist der Kunden mit der Cloud- und Applikationsschicht verbunden. Ein Bestandteil dieser Schicht ist der Applikationsserver. Dieser ermöglicht dem Kunden über lokale Softwareanwendungen, wie beispielsweise über sein ERP-System, Zugriff auf Daten des Service-Systems zu erlangen. Für jede Softwareanwendung die eine Verbindung mit der Cloud herstellen soll muss hier eine spezifische Schnittstelle implementiert werden. Das hat den Vorteil, dass der Kunde in seiner gewohnten Softwareumgebung arbeiten kann. Auch für automatisierte Systeme (z. B. Signalleuchten, automatisierte Schranken, Förderer) müssen Schnittstellen spezifiziert werden, damit diese auf relevante Daten aus dem Service-System zugreifen können. Die in den Unternehmen verwendeten Softwarestrukturen sind meist sehr individuell, wodurch für die Implementierung von unternehmenseigenen Schnittstellen mit einem erheblichen Aufwand zu rechnen ist. (Zeiler & Fottner, 2020)

Eine weiter, Aufwands ärmere Möglichkeit auf die Daten des Service-Systems zuzugreifen ist eine Webanwendung. Nach dem erfolgreichen Login auf einer Webseite können so dem Kunden die Daten und Dienstleistungen des Service-Systems auf jedem internetfähigen Gerät zur Verfügung gestellt werden. So kann die kostenintensive Implementierung einer Softwareanwendungsschnittstelle, beispielsweise für einen Reparaturdienstleister, umgangen werden. In diesem Beispiel würden die benötigten Informationen über ein mobiles Endgerät abgerufen und der Reparaturbericht direkt über die Webanwendung eingetragen werden. Durch eine Webanwendung wird auch für kleinere Dienstleister und Teilnehmer des Behälterkreislaufs der Zugang zum Service-System wirtschaftlich attraktiver. (Zeiler & Fottner, 2020)

7.1.5 Schicht 5: Kunde

Die fünfte Schicht spaltet sich in Rollen und Akteure. Dabei ist eine Rolle eine unternehmensneutrale Formulierung eines Pakets an zu erfüllenden Aufgaben innerhalb des Service-Systems. Ein Teilnehmer, der diese Rolle einnimmt muss, um die Funktionalität des Service-Systems zu gewährleisten, das Aufgabenpaket entsprechend übernehmen. Für jede angebotene Dienstleistung gibt es eine Nutzer- und in der Regel eine Anbieterrolle, beispielsweise der Nutzer der Wartungsdienstleistung und der Wartungsanbieter. Besonders bei ladungsträgerbasierten Dienstleistungen, welche eine physische Leistung beinhalten, wird jeweils eine Anbieterrolle benötigt, um diese Dienste vollumfänglich anzubieten. Darüber hinaus definierte Rollen, wie z. B. der Systemadministrator, müssen entsprechend vollumfänglich besetzt werden, um ein funktionierendes Service-System zu gewährleisten (Zeiler & Fottner, 2020).

Akteure in unserem Netzwerk sind Unternehmen oder Mitglieder von Organisationen, denen Rollen zugeordnet werden können. Durch die Zuordnung einer Rolle wird der Akteur verpflichtet den in der Rollenbeschreibung definierten Aufgaben nachzukommen. Dabei können Akteure eine oder mehrere Rollen innehaben. Zusätzlich kann eine Rolle gleichzeitig von verschiedenen Akteuren wahrgenommen werden. Beispielsweise kann die Rolle des Reparaturanbieters durch mehrere kleine, lokale Dienstleister besetzt werden. So kann ein Netzwerk von Dienstleistern, welche in der Lage sind, den intelligenten, modularen Sonderladungsträger zu reparieren, etabliert werden. Bei einem Reparaturfall kann der Kunde dann je nach Bedarf zwischen den verschiedenen Anbietern auswählen. Die Trennung von Rollen und Akteure gewährleistet eine große Flexibilität und Unabhängigkeit von einzelnen Unternehmen und Dienstleistern, da diese, dank des klar definierten Aufgabenumfangs einer Rolle, einfach ausgetauscht werden können (Zeiler & Fottner, 2020).

7.2 Technische Umsetzung der Fünf-Schichten-Systemarchitektur

Die im Projekt realisierte technische Umsetzung der Fünf-Schichten-Systemarchitektur wird je Schicht in den folgenden Abschnitten analog zum vorhergehenden Kapitel und analog (Zeiler & Fottner, 2020) erläutert.

In der untersten Schicht, der *Intelligente Objekte*-Schicht, befinden sich die entwickelten intelligenten, modularen Sonderladungsträger (iSLT). Dabei ist der Außenbehälter aus standardisierten Modulen montiert. Dieser Außenbehälter ist mit einer speziell entwickelten Produktaufnahme und einem IoT-Modul ausgestattet. In den aktiven Behälterkreislauf zwischen OEM und Zulieferer wurden 43 dieser intelligenten, modularen Sonderladungsträger eingeschleust. Weiter drei befinden sich in einer Demonstrator-Supply-Chain zwischen den drei Forschungsinstituten. Das eingesetzte IoT-Device besteht, neben einem LoRa-Funkmodul (Long Range-Funkmodul), aus einem GPS-Chip und mehreren Sensoren, unter anderem für Beschleunigung (x, y und z-Richtung) und Temperatur. Innerhalb des Projekts wurde die Funktechnologie LoRa ausgewählt, da diese einen geringen Energieverbrauch bei hohen Reichweiten ermöglicht. Durch den Einsatz von LoRa-basierten IoT-Devices konnten so die prozessbedingten Anforderungen nach einer langen Batterielaufzeit und geringen Infrastrukturaufwänden erfüllt werden (Zeiler, Scherer, & Fottner, 2019). Die IoT-Devices wurden in die Seitenverkleidung und in den Unterboden integriert, um auch bei intensivem Handling eine Beschädigung zu vermeiden. So ist es mithilfe der intelligenten, modularen Sonderladungsträger möglich während des Einsatzes im aktiven Behälterkreislauf Temperaturdaten, Beschleunigungen und GPS-Koordinaten auf Shopfloor-Ebene zu sammeln. Zusätzlich zu diesen Sensordaten werden die aktuelle Batteriespannung und die ID des Devices als LoRa-Payload an das LoRa-Gateway und somit an die

Kommunikationsschicht übermittelt (siehe Abbildung 7-4). Dabei kann die Nachrichtenübertragung sowohl zeitintervallbasiert als auch eventbasiert erfolgen. Alle übermittelten Payloads sind dabei AES-128 verschlüsselt. Um einen möglichst großen und prozessrelevanten Bereich abdecken zu können wurden die LoRa-Gateways durch das Projektteam an zentralen Positionen, z. B. am Wareneingang, angebracht. Die Gateways sind über eine LAN-Schnittstelle mit dem Internet verbunden. Sobald ein Datensatz vom IoT-Device am Gateway ankommt, wird dieser um den Standort des Gateways, den Zeitstempel und die Signalempfangsstärke der Nachricht ergänzt. Dieses Datenpaket wird vom Gateway an den LoRa-Server bzw. die *Cloud- und Applikationsschicht* übermittelt. Hier kommt das Netzwerkprotokoll MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) mit dem Sicherheitsstandard TLS (Transport Layer Security) zum Einsatz. (Zeiler & Fottner, 2020)

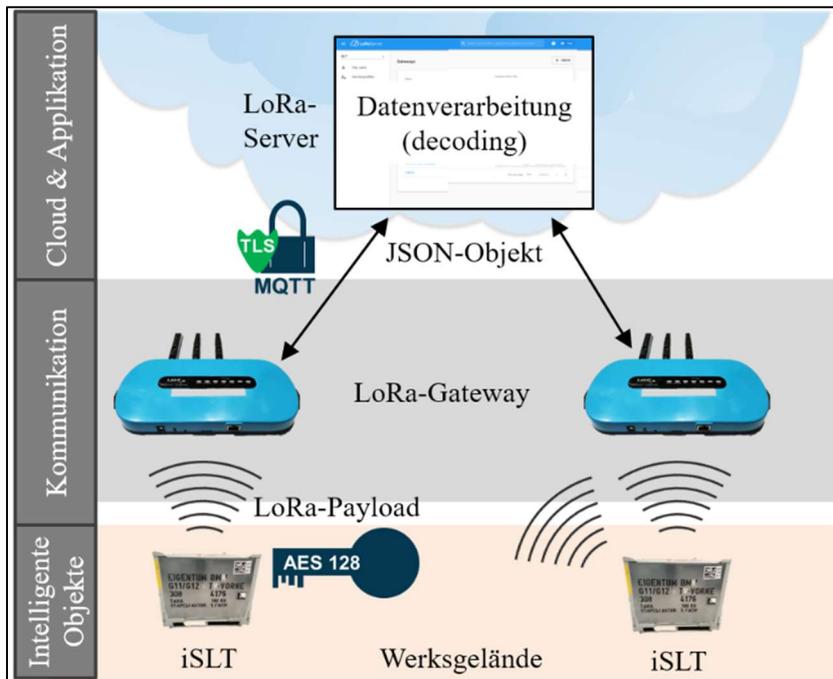


Abbildung 7-4: Technische Umsetzung der unteren drei Schichten (Zeiler & Fottner, 2020)

Durch den LoRa-Server werden innerhalb der *Cloud- und Applikationsschicht* die empfangenen Datenpakete decodiert, konsolidiert und ein standardisiertes JSON-Objekt aus den Daten erstellt. Dieses JSON-Objekt wird an das Back-End der iSLT.NET Plattform übertragen (siehe Abbildung 7-5) und dort direkt dupliziert. Die erste Instanz wird in einer Datenbank gespeichert, um die Originalnachricht jederzeit abrufen zu können. Die zweite Instanz wird von diversen Softwareservices analog zu den vorher beschriebenen Dienstleistungen verarbeitet und in den zugewiesenen Datenbanken abgelegt. Hier stehen die aufbereiteten Daten für den Datenabruf durch den Nutzer bereit. Das webbasiertes Front-End, mit dessen Hilfe der Nutzer auf die beschriebenen Dienstleistungen und aufbereiteten Daten zugreifen kann, befindet sich innerhalb der *Clientschicht*. Das Front-End ist als Dashboard aufgebaut, welches zusätzlich Funktionalitäten für Push-, E-Mail- oder SMS-Benachrichtigen bereithält. Für das Projekt wurde außerdem eine Funktion zum Export der verfügbaren Daten und Auswertungen in Tabellenform realisiert. So kann der Nutzer von der *Anwenderschicht* aus, nach erfolgreichem Login, die Daten, Auswertungen und Dienstleistungen des Service-Systems auf jedem internetfähigen Gerät nutzen. Der Datenverkehr wird dabei über das Kommunikationsprotokoll Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS) mit dem Sicherheitsstandard TLS abgewickelt. Zielstellung für die Web-Anwendung war, Kerninformation der jeweiligen Dienstleistungen direkt und einfach ersichtlich zu gestalten. Beispielsweise wurde für die Dienstleistung Zustandsüberwachung eine zusätzliche Ansicht

eingrichtet, welche es dem Nutzer auf einen Blick erlaubt Ladungsträger, die im Freien gelagert werden, zu erkennen. Auf zusätzliche Schnittstellen zu spezifischen Softwareanwendungen wurde aufgrund des Projektumfangs innerhalb der technischen Umsetzung verzichtet. (Zeiler & Fottner, 2020)

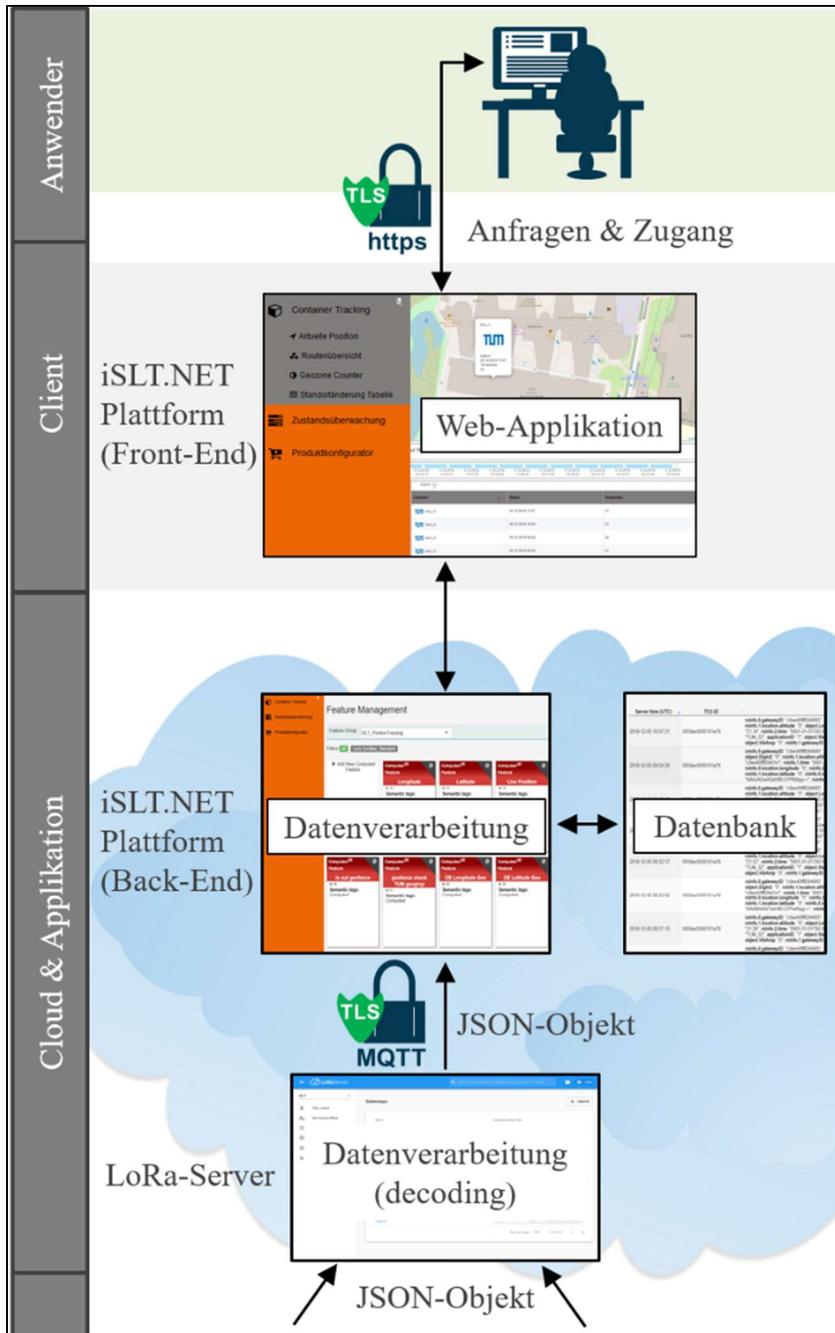


Abbildung 7-5: Datenworkflow in den oberen Schichten (Zeiler & Fottner, 2020)

8 Aufbau des entwickelten iSLT.NET Referenzsystems

8.1 Aufbau an den Forschungsinstituten

Bei den Forschungspartnern des Projekts iSLT.NET wurde ein Supply-Chain-Demonstrator installiert, um die erarbeiteten Konzepte und Ergebnisse darstellen und testen zu können. Hierfür wurden in eine repräsentative Demonstrator-Supply-Chain entwickelt, welche die Anwenderprozesse eines voll funktionsfähigen iSLT-Netzwerks zwischen OEM, Zulieferer und Poolingbetreiber nachbildet. Anschließend wurden LoRa-Gateways und IoT-Devices entsprechend des vorher erstellen Feinkonzepts installiert und eingerichtet. Nach der physischen Integration der IoT-Devices an den modularen Sonderladungsträger wurden diese in das LoRa-Netzwerk an den Forschungsinstituten eingebunden. Das so entstandene übergreifende Referenzsystem in den Modellfabriken in Nürnberg (SCS), Garching (TUM) und Dingolfing (HAWL) bestand aus den intelligenten, modularen Sonderladungsträgern mit integriertem IoT-Device (den iSLT), den LoRa-Gateways, dem LoRa-Server und der iSLT.NET-Plattform (Back-End, webbasiertes Front-End und Datenbanken). Die iSLT.NET Plattform wurde, neben der Verarbeitung und Speicherung der vom IoT-Device gesammelten Daten, für die Visualisierung und Auswertung der umgesetzten Software-Services genutzt. Das aufgebaute Referenzsystem wurde auf seine Funktionsfähigkeit und Bildstreue der Anwenderprozesse getestet und iterativ verbessert. Dabei stand eine praxisnahe Überprüfung und Demonstration der Prozesse und Technologien des Projekts mit dem Ziel der Überführung der Erkenntnisse in das bei den Industriepartnern zu installierenden Prototypensystem im Vordergrund. Mithilfe des aufgebauten Referenzsystems wurden anschließend strukturierte Versuchsläufe zur Evaluierung der Projektergebnisse durchgeführt (siehe Kapitel 9).

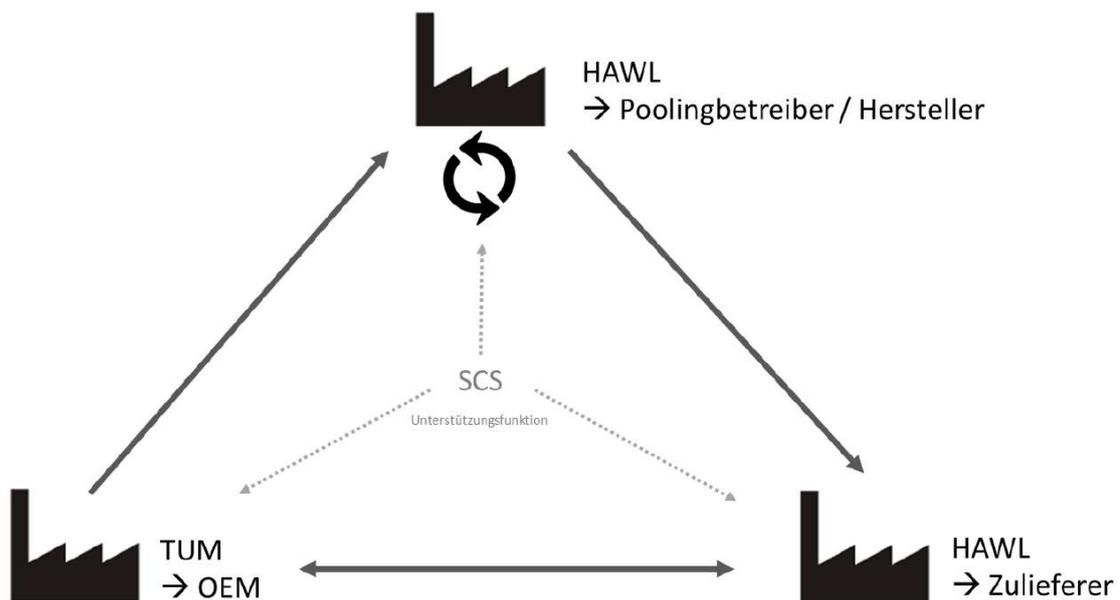


Abbildung 8-1: Demonstrator-Supply-Chain bei den Forschungspartnern des Projekts iSLT.NET

8.2 Aufbau bei den Industriepartnern

Bei den Industriepartnern des Projekts iSLT.NET wurde ebenfalls eine Infrastruktur aufgebaut, um die erarbeiteten Konzepte und Ergebnisse darstellen und testen zu können. Der Aufbau enthielt neben den modularen Ladungsträgern ausgestattet mit intelligenten Devices, die im Live-Einsatz zwischen BMW und DIS getestet wurden, auch eine komplette LoRa-Infrastruktur in den Werken der Anwender. Zudem wurden Anwender für die Plattform geschult, damit diese auch Live getestet werden konnte. Mittels Intervalltests hat man die Einsatztauglichkeit des prototypischen Systems ermittelt.

9 Versuchsdurchführung und Evaluierung des implementierten iSLT.NET Systems

9.1 Versuchsreihen zur Überprüfung des implementierten technischen Gesamtsystem bei den Forschungspartner

Die innerhalb des Projekts durchgeführten Versuche zielt darauf ab die Möglichkeiten und Einschränkungen des implementierten Gesamtsystems und der realisierten Dienstleistungen für den beschriebenen Einsatzfall zu ermitteln. Zusätzlich sollte die derzeitige Leistungsfähigkeit der eingesetzten Technologien abgeschätzt werden. Bei den durchgeführten Versuchen an den Forschungsinstituten wurde der praxisnahe Einsatz des Service-Systems und des intelligenten, modularen Sonderladungsträger überprüft. Im Folgenden werden die Ergebnisse, die am Forschungscampus der TUM in Garching erzielt wurden, genauer beschrieben.

9.1.1 Überprüfung und Bewertung des physischen modularen SLT

Anforderungen bzgl. der Förderung und der Lagerung des Sonderladungsträgers, der Transportsicherheit und der Montage wurden anhand von erarbeiteten Kriterien getestet und bewertet. Die durchgeführten Versuche waren:

1. Probandenstudie zur Montageergonomie und montagegerechten Gestaltung (siehe Abbildung 9-1)
2. Einseitige Falltest
3. Aufnehmen und Ablegen des Sonderladungsträgers mit dem Gabelstapler
4. Fahrt über ein Kopfsteinpflaster (siehe Abbildung 9-2)
5. Fahrt über ein Hindernis
6. Schieben des Sonderladungsträgers entlang des Bodens
7. Untersuchung des Rutschverhaltens vom Sonderladungsträger bei einer Notbremsung (siehe Abbildung 9-3)
8. Stapelprüfung
9. Crash-Versuch

Bei den Versuchen wurden grundsätzlich die Beanspruchungen auf Mensch und Ladungsträger betrachtet.

Mit Blick auf die Montageergonomie (Versuch 1) lässt sich aussagen, dass beim Zusammenbau des Rahmens für den Sonderladungsträger keine erhöhten Beanspruchungen auf den Menschen wirken, wenn kleine Änderungen am Ladungsträger und eine leichte Erhöhung des bodennahen Arbeitsplatzes vorgenommen werden. So sollte das Grundgestell angehoben werden, damit sich der Monteur weniger bücken und vorbeugen muss, um die Bauteile zu montieren. Empfohlen wird zudem eine neue Auslegung der Fügestelle zwischen Seitenrahmen und Steherrohren, sodass die Bohrungen mit einfachen Werkzeugen erreichbar sind.

Untersuchung der montagegerechten Gestaltung und Montageergonomie

- Aufbau des iSLTs aus dem demontierten/zusammengeklappten Zustand durch Probanden.
- Aufnahme der Montageschritte mittels Videokamera.
- Auswertung über MTM- (methods-time measurement), LMM-Analyse (Leitmerkmalmethode) und Feedbackbogen der Probanden.

Ergebnisse

- Montagezeiten unterscheiden sich deutlich zwischen Probanden und MTM-Analyse. Vermuteter Grund: unsaubere Fertigung und nicht montagegerechte Gestaltung einiger Bauteile.
- Keine großen ergonomischen Belastungen bei der Montage.

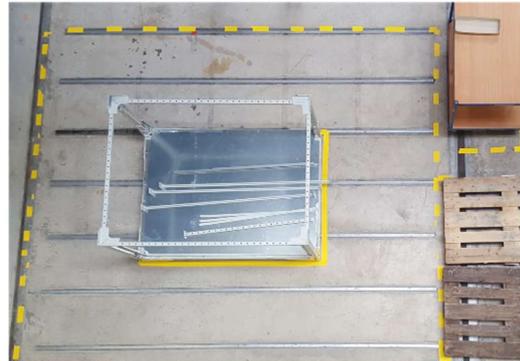


Abbildung 9-1: Versuch zur montagegerechten Gestaltung

Untersuchung des Gleitverhaltens des iSLTs bei einer Notbremsung

- Der Gabelstapler mit aufgeladenem iSLT wird auf definierte Geschwindigkeiten beschleunigt.
- Bei der vollständigen Notbremsung des Staplers wird der zurückgelegte Weg des iSLTs und die Schwingungen (Bild 4a,b) der Ladung beim Gleiten des iSLTs auf den Zinken aufgenommen.

Ergebnisse

- Nicht bei jeder Notbremsung wurde die Haftreibung überschritten (Bild 4b).
- Ab ca. 7 km/h Abrutschen (Bild 4a) und Herunterfallen des iSLTs (27 m/s^2).

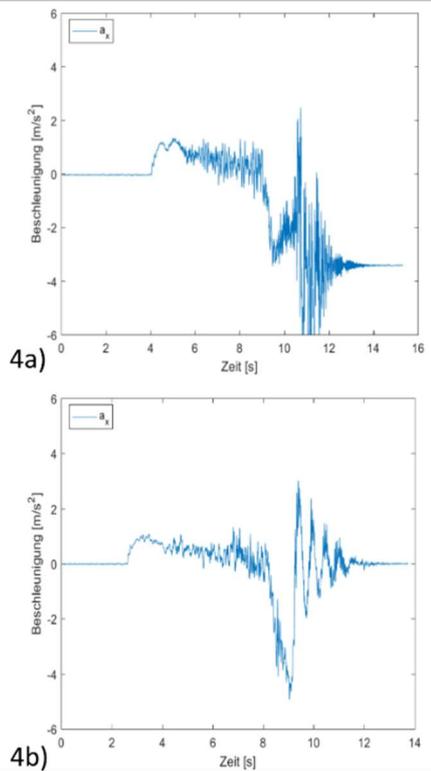


Abbildung 9-2: Belastung auf den Behälter bei einer Notbremsung

Gabelstaplerfahrt über Kopfsteinpflaster

- Der iSLT samt Ladung wird über eine Strecke mit Kopfsteinpflasterboden bei verschiedenen Geschwindigkeiten (3-10 km/h) und im vollbeladenen (247 kg)/unbeladenen Zustand transportiert.
- Messung der Schwingungen und Stöße an der Ladung.

Ergebnisse

- Stochastische Folge von Transportstößen (Bild 3a) mit max. 21 m/s^2 .
- Hohe Amplituden der Schwingungsfrequenz im unteren Herzbereich gemessen (Bild 3b).
- Lockerung der nicht verklebten Verschraubungen.

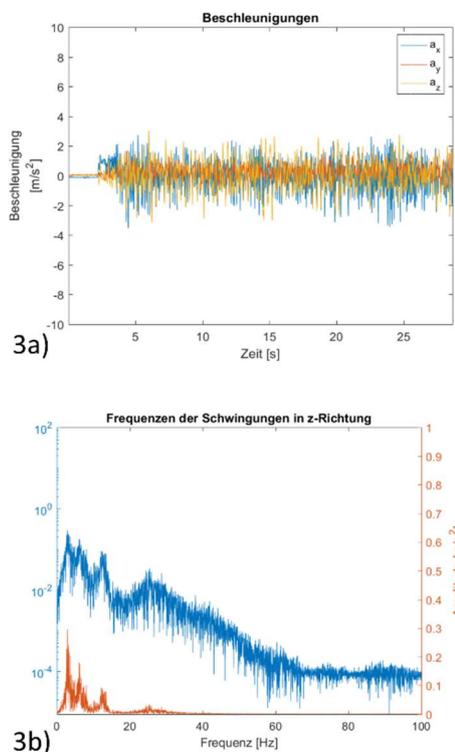


Abbildung 9-3: Versuch zur Kopfsteinpflasterüberfahrt mit dem Gabelstapler

Zusammenfassend zeigen die Versuchsergebnisse der Versuche 2 bis 9, dass der Messsensor und damit auch der Ladungsträger bei den Versuchen, wie erwartet, hauptsächlich Stößen und Schwingungen ausgesetzt ist, besonders wenn der Behälter falsch gehandhabt wird.

Betrachtet man die Beschleunigungswerte und Beschleunigungsverläufe der Versuche, so ist zu erkennen, dass eine Ladung die größte dynamisch Belastung erfährt, wenn es zu einem Aufprall des Ladungsträgers auf den Boden kommt. Dies ist an den erhöhten Beschleunigungswerten am Sensor zu erkennen. So erfuhr der Sensor im „einseitigen Falltest“ die höchste Beschleunigung in seine z-Richtung $43,87 \text{ m/s}^2$ als der Ladungsträger mit 61 kg Last auf eine Unterlage aus Paletten fiel. Den kleinsten Wert für die maximale Beschleunigung erfuhr der Sensor beim Versuch „Schieben des Sonderladungsträgers entlang des Bodens“. Hier wurde nur ein maximaler Wert von $11,1 \text{ m/s}^2$ gemessen. Vergleicht man die massenabhängigen Werte dieser Versuche, so erreicht man dieselbe Schlussfolgerung, dass Stöße einen größeren Einfluss auf die Belastungen haben als nur Schwingungen.

Welche Auswirkung die gemessenen Beschleunigungswerte auf die zu transportierenden Bauteile haben, kann bauteilunabhängig nicht vorausgesagt werden. Jede Bauteilart ist für andere Belastungsgrößen und Belastungsarten ausgelegt und reagiert dementsprechend anders auf diese. Auch welche Auswirkungen die auftretenden Schwingungen auf die Bauteile haben, lässt sich aus demselben Grund nur sehr schwer voraussagen. Jedes Bauteil hat eine andere Resonanzfrequenz, bei der es für längere Zeit schwingen muss, damit es zu Schäden kommt. Diese ist von der Geometrie und vom Material des Bauteils abhängig. Jedoch erlauben die gemessenen Beschleunigungswerte erste Anhaltspunkte für die Grenzwertbestimmung der Dienstleitung Zustandsüberwachung von Erschütterungen. Hier können Push-Benachrichtigungen bei einer Überschreitung des Grenzwertes, bspw. bei unsachgemäßer Handhabung, ausgelöst werden.

9.1.2 Versuche und Ergebnisse zur eingesetzten Funktechnologie LoRaWAN

Die Kommunikationsinfrastruktur für vernetzte Sonderladungsträger wurde an den Forschungsinstituten durch ein LoRaWA-Netzwerk realisiert. Diese Infrastruktur wurde mit praxisnahen Versuchsreihen in werksähnliche Gebäudestrukturen genauer untersucht. Dabei wurden die Netzwerkabdeckung und die Reichweite des installierten LoRaWA-Netzwerks ermittelt. Ziel der Untersuchungen war es denn zuverlässigen Arbeitsbereich des installierten LoRaWA-Netzwerks unter Realbedingungen zu quantifizieren. Während den Messungen wurde die Anzahl an erfolgreichen Übertragungen (Erfolgsrate), der Received Signal Strength Indicator (RSSI) und die Signal-to-Noise Ratio (SNR) erfasst. So konnten Erkenntnisse über die Stärke und Klarheit des empfangenen Signals errungen werden. Die gewählten Messpunkte befanden sich sowohl außerhalb als auch innerhalb von Gebäuden auf den Forschungsgeländern der Forschungspartner. Hier wurde zusätzlich die Gebäudedurchdringung der elektromagnetischen Strahlen anhand der Signalstärke und -qualität abgeschätzt. (Zeiler et. al., 2019)

Ein Auszug aus den Versuchsreihen ist in Tabelle 9-1 dargestellt, dabei handelt es sich um Messreihen, die Gateway 1, montiert in einem Turm (Höhe 16 m), mit dem baugleichen Gateway 2, angebracht an einem freistehende Kranarm (Höhe 18 m), vergleicht (Zeiler, Scherer, & Fottner, 2019). In der Tabelle wird je Messpunkt der prozentuale Anteil an erfolgreich übermittelten Signalen aufgelistet. Anhand dieses kurzen Auszugs aus den Messreihen kann bereits erkannt werden, dass bei einer Entfernung von 370 m das im Turm angebrachte Gateway nicht mehr alle gesendeten Datenpakete empfängt, wohingegen beim außen angebrachten Gateway noch alle Nachrichten ankommen. Die lässt sich aller

Voraussicht nach auf die Gebäudedurchdringung als Störgröße zurückführen, die die Sendeleistung des Signals maßgeblich verringert. Befinden sich sehr viele zu durchdringenden Objekten bzw. Gebäuden zwischen Sender und Empfänger ist keine 100% Datenübertragung mehr möglich. (Zeiler et. al., 2019)

Tabelle 9-1: Auszug aus den Messungen (Zeiler et. al., 2019)

Nr.	Messpunkt	Entfernung zum Gateway	Gateway im Turm	Gateway an Kranarm
			empfangen/gesendet	empfangen/gesendet
1	innen	50 m	100 %	100 %
2	außen	50 m	100 %	100 %
3	innen	250 m	100 %	100 %
4	außen	250 m	100 %	100 %
5	innen	300 m	100 %	100 %
6	außen	300 m	100 %	100 %
7	innen	370 m	80%	100 %
8	außen	370 m	100 %	100 %
9	außen	600 m	100 %	100 %
10	außen	900 m	40 %	100 %

Wird das Gateway hingegen außen an einem freistehenden Kranarm montierte, zeigten die Versuchsreihen, dass alle Nachrichten, versendet sowohl innerhalb als auch außerhalb von Gebäuden, bei einer Entfernung von unter 400 m zum Gateway, empfangen wurden. Für die gleichen Messpunkte konnte das innen angebrachte Gateway nur 90 % der gesendeten Nachrichten empfangen, 10 % der Nachrichten ging folglich verloren (siehe Abbildung 9-4). Bei über 400 m und Messpunkten innerhalb von Gebäuden lieferten aufgrund der vermehrten Gebäudedurchdringung beide Gateways keine guten Ergebnisse mehr. Bei Messpunkten die sich nur außerhalb von Gebäuden befanden, konnten sogar innerhalb eines Radius von 900 m um das außen angebrachte Gateway 96 % der Nachrichten empfangen werden. Zum Vergleich: beim innen angebrachten Gateway waren dies nur 78 %. Messungen bis 4 km zeigten, dass das außen installierten Gateway nur noch 80 % der gesendeten Nachrichten empfangen konnte. Wurde die Entfernung auf über 4 km erhöht, konnten bei weiteren sporadischen Messungen keine Nachrichten mehr beim innen angebrachten Gateway empfangen werden. Auch beim außen montierten Gateway konnten nur noch knapp 40 % der gesendeten Nachrichten empfangen werden. (Zeiler et. al., 2019)

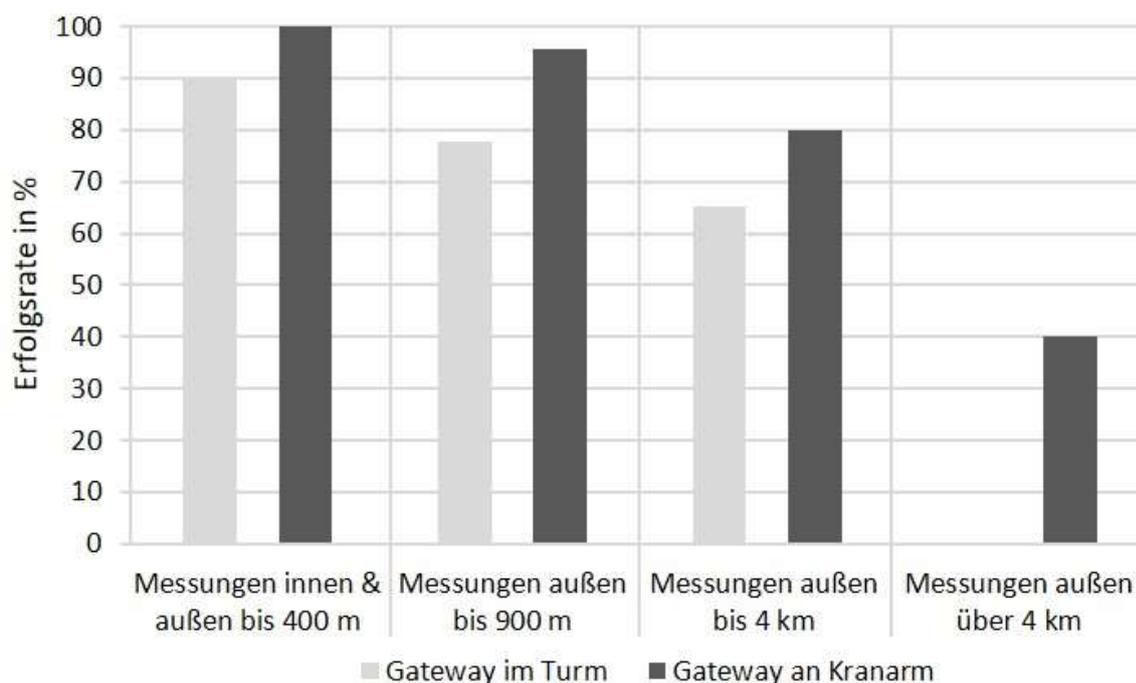


Abbildung 9-4: Vergleich zweier Anbringungsorte (Zeiler et. al., 2019)

Die durchgeführten Versuchsreihen zeigten, dass die theoretischen Angaben zur Reichweite von LoRa beim praxisnahen Aufbau an den Forschungsinstituten nicht erreicht wurden. Da eine Übertragungsrate kleiner als 100% im Projekt nicht akzeptabel ist, musste die Infrastruktur entsprechend der Versuchsergebnisse angepasst werden. Die Versuchsreihen zeigten aber, dass sich LoRaWAN für den Einsatz als Kommunikationstechnologie im Projekt generell eignet, da sich mit nur wenigen Gateways große Bereiche abdecken lassen. Bei einer ausreichenden Überlappung der Randbereiche der einzelnen LoRa-Gateways konnte eine zuverlässige Netzabdeckung auf dem Werksgelände erzielt werden. (Zeiler et. al., 2019)

9.1.3 Überprüfung und Bewertung der eingesetzten IoT-Devices

Anbringungsposition

Bevor die IoT-Device an den iSLT angebracht werden konnten, mussten geeignete Anbringungspositionen identifiziert, getestet und ausgewählt werden. Das metallische Gerüst des iSLT wirkt dabei abschirmend und beeinflusst daher die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen. In Vorversuchen wurde daher das Abschirmungsverhalten von diversen Materialien getestet, unter anderem von Metall und Blech in der gleichen Stärke wie es auch bei dem iSLT verwendet wurde. Dadurch konnte beispielsweise eine Einbringung in den Hohlraum des Behälterfußes des iSLT ausgeschlossen werden (Vollumschließung durch Metall).

In mehreren darauf aufbauenden Versuchsreihen wurden die identifizierten Anbringungspositionen (siehe Abbildung 9-5) auf deren Sendeleistung getestet. Um praxisnahe Versuche simulieren zu können, wurde eine Versuchsreihe am Boden, eine Versuchsreihe mit gestapelten Gitterboxen sowie bei der Lagerung im Regal durchgeführt. Zusätzlich wurde die Sendeleistung des iSLTs in Abhängigkeit der Ausrichtung (Verdrehung um je 45° Schritte) zum Gateway gemessen. Bei diesen Versuchen lagen die gewichteten Mittelwerte der Signalstärken von drei der vier Anbringungspositionen relativ nahe zusammen (um die -81,5 dBm), nur bei der Integration des IoT-Devices in den Behälterfuß wurden deutlich schwächere Signalstärken gemessen (-88,2 dBm). Darauf aufbauend wurde bei einer weiteren Versuchsreihe mithilfe eines Staplers der iSLT auf einer vorgegebenen Route transportiert. Während der Fahrt wurde die Signalstärke der angebrachten IoT-Devices gemessen. Hier zeigten sich für die Anbringungsposition am U-Profil die besten Werte für die Signalstärke. Auf Basis der für die Auswahl der Anbringungsposition durchgeführten Versuchsreihen konnte gezeigt werden, dass sich eine Anbringung am U-Profil des Querträgers (Unterboden) am besten eignet (siehe Abbildung 9-5 erstes Bild von links). Für diese Anbringungsposition sprechen neben der Sendeleistung auch noch die einfache Anbringung am den iSLT, die Erreichbarkeit im Falle einer Wartung sowie der Schutz vor Fremdeinwirkung (Gabelstaplerzinken, Handhubwagen) (Zeiler & Fottner, 2020a).



Abbildung 9-5: Anbringungspositionen des IoT-Device von links nach rechts: U-Profil (Rand), hinter dem Behälterfuß, integriert im Behälterfuß, Unterboden (mittig)

Temperatursensoren

Zur Bewertung der Güte der in den IoT-Devices eingebauten Temperatursensoren wurden mehrere Versuche durchgeführt. Dabei wurde die Temperaturänderung von in den Kühlschränken eingelagerten LoRa-Devices (Übertragung via LoRa) kontinuierlich gemessen und übertragen. Parallel dazu wurden Referenzmessungen (Start- und Zieltemperatur) mit einem Infrarotthermometer durchgeführt (siehe Abbildung 9-6). Versuche wurden für Geräte

von mehreren Herstellern, jeweils mit und ohne Gehäuse und für verschiedene Verweildauern im Kühlschrank, durchgeführt.



Abbildung 9-6: Temperaturmessung: a) IoT-Devices mit und ohne Gehäuse, b) Referenzmessung mit optischem Infrarotthermometer

Als Beispiel dient Abbildung 9-7, welche vier Messungen über eine Messdauer von ca. 190 Minuten zusammenfasst. Die durchgezogenen Linien entsprechen dabei den Devices mit Gehäuse, die gestrichelten Linien den Devices ohne Gehäuse. Das Diagramm ist in zwei Bereiche unterteilt. Der hellgraue Bereich stellt die Zeitspanne dar, in der sich die Devices im Kühlschrank befanden, der dunkelgraue Bereich die Zeitspanne bei Raumtemperatur.

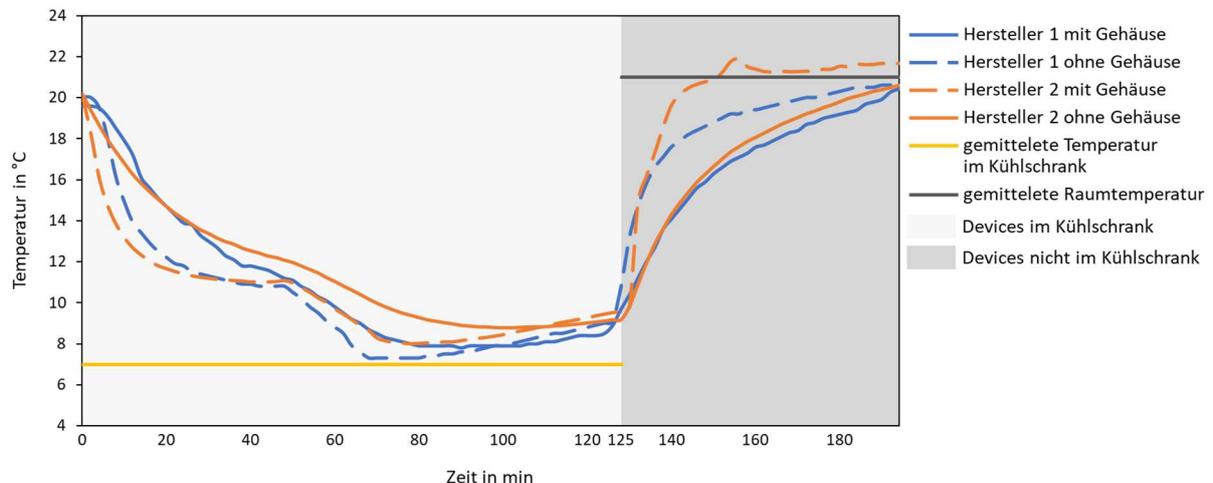


Abbildung 9-7: Temperaturverlauf der IoT-Devices bei Ein- bzw. Auslagerung aus einem Kühlschrank, Starttemperatur 20°C

Es ist gut zu erkennen, dass direkt zu Beginn der Messungen der Verlauf der Temperaturkurve bei den Devices ohne Gehäuse stärker abfällt als bei denen mit Gehäuse. Diese Verzögerung kann auf das Gehäuse zurückgeführt werden, welches zusätzlich isolierend wirkt. Dieser Effekt ist auch im dunkelgrauen Bereich zu erkennen. Alle Devices passen sich ca. 60 min nachdem diese aus dem Kühlschrank entnommen wurden (Minute 125 bis 185), wieder der Raumtemperatur von 21 °C an.

Die durchgeführten Versuche zeigten, dass alle in den IoT-Devices verbauten Temperatursensoren vergleichbar träge auf Temperaturveränderung reagieren. Somit sind diese für die Erfassung eines kurzzeitigen Temperaturwechsels ungeeignet. Für unseren Einsatzfall, die Temperaturüberwachung des iSLT bzw. der zu transportierenden Bauteile,

eignen sich diese trägen Temperatursensoren gut, da sowohl der Behälter als auch die Bauteile nur langsam auf einen Temperaturwechsel reagieren.

Beschleunigungssensoren

Ziel der Versuchsreihen zu den Beschleunigungssensoren war es, die Güte der von den IoT-Devices gemessenen Beschleunigungswerten zu ermitteln. Dabei wurden verschiedene IoT-Devices untersucht und mit einem Referenzgerät verglichen. Durch die Versuche sollte ein Verständnis dafür geschaffen werden, wie die IoT-Devices die Beschleunigung messen (Mittelwerte, Peak-Messung, ...) und wie die jeweiligen XYZ-Koordinatenachsen ausgerichtet sind. Dafür wurden die IoT-Devices und das Referenzgerät (rosa) auf einer verschiebbaren Platte angebracht (siehe Abbildung 9-8). Diese Platte wurde für die Versuche mit einem gleichmäßigen Impuls in positive und negative x-Richtung beschleunigt. Dabei wurden die Beschleunigungen durch das Referenzgerät und die IoT-Devices gemessen.



Abbildung 9-8: Versuchsaufbau für die Beschleunigungsmessungen

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich die Ergebnisse zwischen den Herstellern stark unterscheiden. Die gemessenen Beschleunigungswerte der Devices beispielsweise schwanken um ca. ± 1 g in Bezug auf den tatsächlichen Wert (Referenzgerät). Auch eine eindeutige Zuordnung zu den Raumachsen ist nicht immer gegeben. Grundsätzlich ist allerdings eine Erfassung von spontanen Beschleunigungen mit diesem IoT-Device möglich (mit bis zu 200 Hz). Zusätzlich können diese so gemessenen Werte direkt als „ShockEvent“ via LoRa übermittelt werden. Die Sensoren des Herstellers 1 hingegen bieten genauere und stabilere Messwerte ($\pm 0,4$ g in Bezug zum Referenzgerät) mit eindeutiger Zuordnung der Beschleunigungen zu den Raumachsen. Leider werden bei den Devices des Herstellers 1 die Beschleunigungen über eine randomisierte Single-Shot-Messung erfasst, welche einmal innerhalb des Senderintervalls durchgeführt wird. Der so ermittelte Beschleunigungswert wird über die intervallbasierte LoRa-Nachricht übermittelt. Somit sind die Sensoren des Herstellers 1 für den Einsatzfall ungeeignet, da keine spontanen Stöße oder Schläge auf den

Behälter erfasst werden können. Da die Erfassung von unsachgemäßem Handling über die Überwachung der Beschleunigungswerte abgebildet werden muss, wird das IoT-Device der des Herstellers 1 von der weiteren Umsetzung ausgeschlossen. Auch die restlichen Devices konnten zum Zeitpunkt der Versuchsreihen ihre gemessenen Beschleunigungswerte nicht via LoRa übermitteln. Die Werte konnten nur über Bluetooth abgerufen werden. Da diese allerdings ein baldiges Firmware-Update erhalten, welches die Übermittlung von Beschleunigungen via LoRa ermöglicht, wurden diese IoT-Devices in der weiteren Umsetzung berücksichtigt.

9.2 Technische Umsetzung datenbasierter Dienstleistungen

Für die Entscheidung, welche ladungsträger- und datenbasierte Dienstleistungen im Rahmen des Projektbudgets in der IoT-Plattform prototypisch umgesetzt werden sollen wurde im ersten Schritt die gesetzten Ziele aus dem Projektantrag aufgegriffen. Dieser setzt die Realisierung der Dienstleistungen Rekonfiguration und Produktkonfigurator voraus. Anschließend wurden die Dienstleistungskonzepte analysiert und sogenannte Basisdienstleistungen identifiziert, die zur Umsetzung weiterer Dienstleistung zwingend erforderlich sind. Dabei sind die Dienstleistungen Tracking und Zustandsüberwachung notwendig, um Daten von iSLT während dem Einsatz zu generieren und in weiteren Dienstleistungen zu verarbeiten. Für die Reihenfolge der restlichen Dienstleistungen wurden diese mittels der Nutzwertanalyse bewertet. Im Ergebnis ergab sich die in Tabelle 9-2 aufgezeigte Umsetzungsreihenfolge. Bis einschließlich dem Schadensreport wurden die Dienstleistungen prototypisch umgesetzt.

Tabelle 9-2: Umsetzungsreihenfolge von Dienstleistungen

	Dienstleistung	Reihenfolge
Notwendige Dienstleistungen	Rekonfiguration	notwendig
	Produktkonfigurator	notwendig
	Tracking	notwendig
	Zustandsüberwachung	notwendig
Bewertung der Dienstleistungen durch Nutzwertanalyse	Tracing	1
	Automatische Buchungen	2
	Schadensreport	3
	Kreislaufauslegung	4
	Reparatur	5
	Auftragstracking	6
	Lebenszyklus	7
	Wartung	8
	Recycling	9
	Reinigung	10

Tracking

Im Forschungsprojekt iSLT.NET wurden die Dienstleistung „Tracking“ konzipiert und prototypisch umgesetzt. Die Koordinaten werden durch den GPS-Sensor im IoT-Device erfasst und an die iSLT.NET Plattform übertragen. Die Devices übertragen in der Regel ihre Daten in definierten Zeitintervallen. Durch ihren Erschütterungssensor nehmen die Devices eines Anbieters Bewegungen wahr und übertragen ihre Koordinaten zusätzlich zu ihrem Regelintervall. In der iSLT.NET Plattform werden die aktuellen Positionen der letzten gesendeten Standortdaten in einer Karte graphisch dargestellt (vgl. Abbildung 9-9) und mit Zeitstempel in Tabellenform (vgl. Abbildung 9-10) ausgegeben. Die Standortdaten in der Tabelle können als xls-Datei heruntergeladen werden.

Am Beispiel der sechs eingesetzten IoT-Devices der HAWL werden diese als blaues Symbol auf der Karte abgebildet. Durch die Auswahl eines intelligenten Ladungsträgers auf der Karte werden der Name des intelligenten Ladungsträgers sowie der zuletzt gesendete Standort angezeigt. Die iSLT können über eine Filterfunktion nach Unternehmenszugehörigkeit selektiert und einzelne iSLT-IDs ausgewählt werden.

Am Beispiel der sechs eingesetzten IoT-Devices der HAWL werden diese als blaues Symbol auf der Karte abgebildet. Durch die Auswahl eines intelligenten Ladungsträgers auf der Karte werden der Name des intelligenten Ladungsträgers sowie der zuletzt gesendete Standort angezeigt. Die iSLT können über eine Filterfunktion nach Unternehmenszugehörigkeit selektiert und einzelne iSLT-IDs ausgewählt werden.

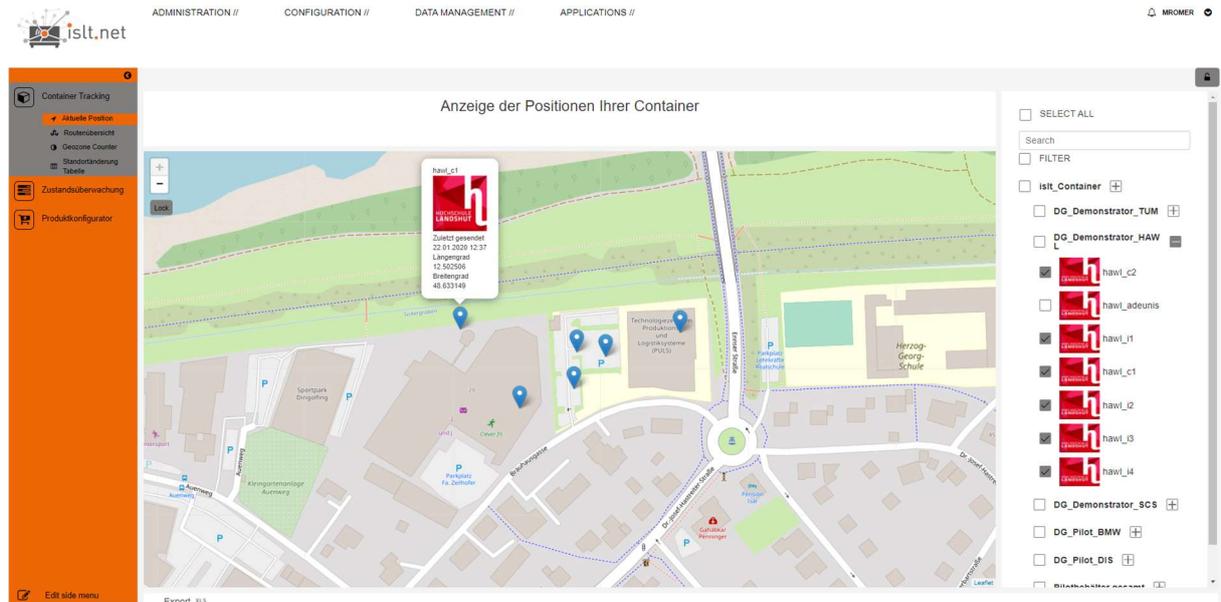


Abbildung 9-9: Standorte von intelligenten Ladungsträgern im Kartensystem

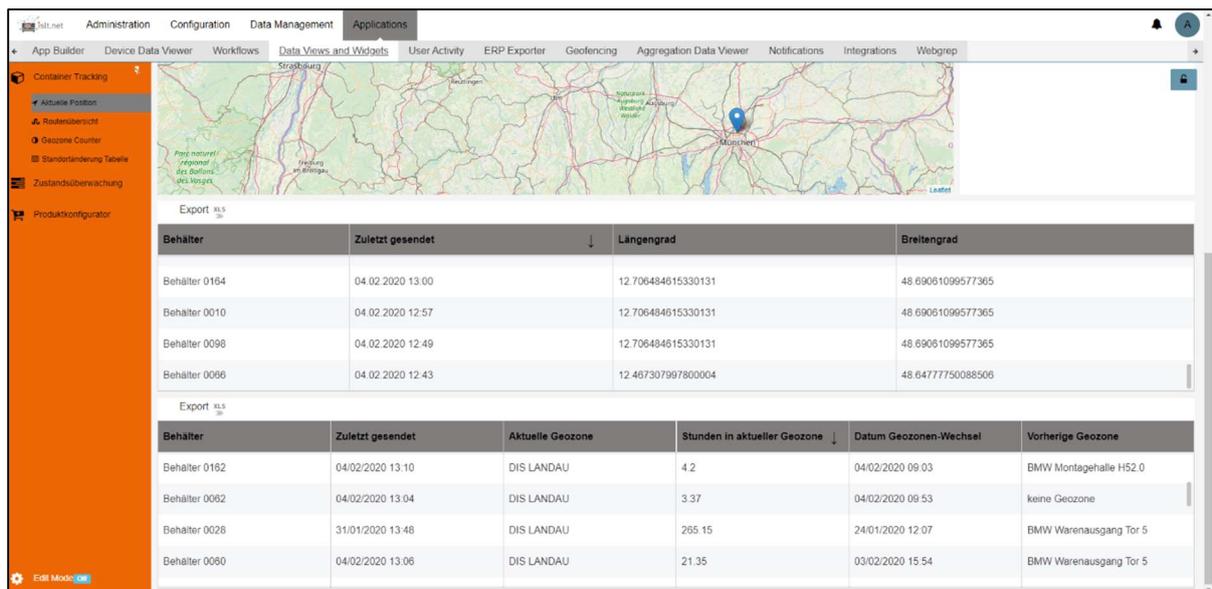


Abbildung 9-10: Standorte von intelligenten Ladungsträgern in Tabellenform

Während den Versuchen wurden am TZ PULS der HAWL insgesamt 290 GPS-Koordinaten und deren Entfernung zu einem Referenzpunkt gemessen. Die Entfernung wurde in unterschiedliche Intervalle geteilt (vgl. Abbildung 9-11 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Dabei konnte festgestellt werden, dass 109 von 290 Koordinaten eine Entfernung von den Referenzkoordinaten von <10m erreichten. 85% aller Koordinaten liegen im Bereich <30m von den Referenzkoordinaten entfernt (Romer et al., 2020 S.289-290).

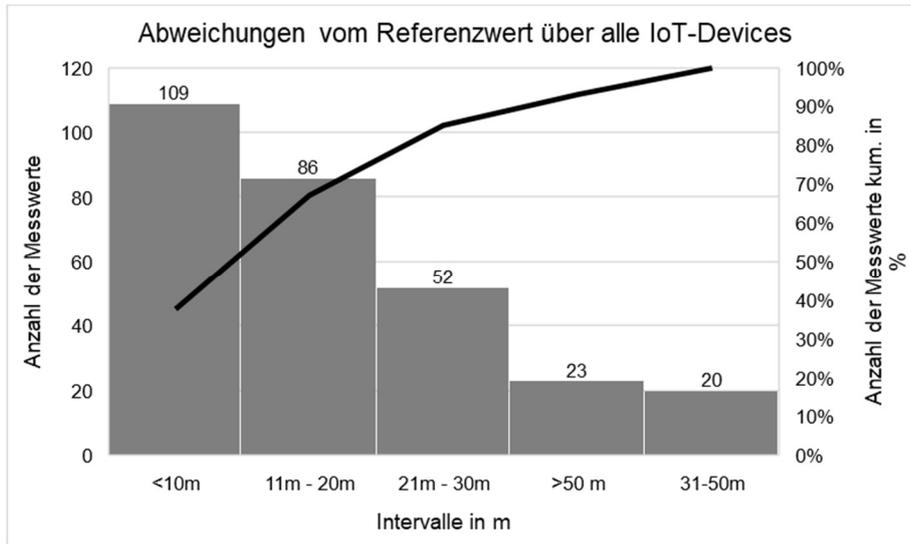


Abbildung 9-11: Pareto-Diagramm über die Abweichungen von GPS-Koordinaten (Romer et. al, 2020 S. 290).

Tracing

Für die Dienstleistung „Tracing“ speichert die iSLT.NET-Plattform, die aus der Dienstleistung Tracking entstanden GPS-Daten ab und weist alle historischen Standortdaten mit Zeitstempel in Tabellenform aus und stellt diese in einer Karte in Abbildung 9-12 graphisch dar. In der iSLT.NET-Plattform sind am Beispiel des Behälters 0162 die ermittelten Standorte im Zeitraum von 03.03.20 - 09.03.20 mit der roten Linie miteinander verbunden und zeigen die zurückgelegte Strecke des intelligenten Ladungsträgers inklusive dem Zeitstempel auf.

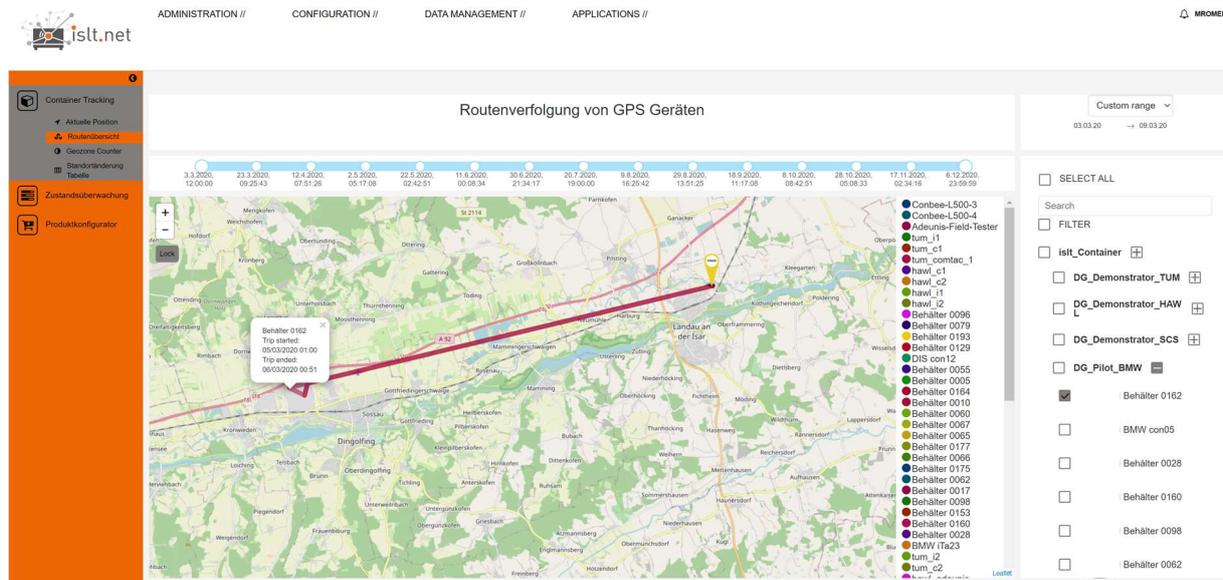


Abbildung 9-12: Rückverfolgung von Standorten von intelligenten Ladungsträgern in Kartenform

Die Tabelle mit den Standortdaten wird in Abbildung 9-13 aufgezeigt und kann als xls-Datei heruntergeladen werden. Die iSLT können über die Filterfunktion nach Unternehmenszugehörigkeit selektiert oder einzelne iSLT-IDs ausgewählt werden. Am Beispiel des Behälters 0162 kann nachvollzogen werden, dass dieser im ausgewählten Zeitraum den Kreislauf einmal durchlaufen hat.

BEHÄLTER	TOU ID	DATUM	LÄNGENRAD	BREITENRAD	ADRESSE
Behälter 0162	0059ac00001529c9	09/03/2020 12:08	48.69061099577365	12.706404015330131	Röntgenstraße, Landau an der Isar
Behälter 0162	d044ab6d19534b5c0	09/03/2020 07:40	48.65250030856610	12.469032195735192	Vierkestraße, Dingolfing
Behälter 0162	0059ac00001529c9	09/03/2020 08:11	48.64777306088506	12.467307997800004	Vierkestraße, Dingolfing
Behälter 0162	d044ab6d19534b5c0	09/03/2020 10:30	48.65089393474227	12.458043964244462	Industriestraße, Dingolfing
Behälter 0162	d044ab6d19534b5c0	09/03/2020 19:00	48.69061099577365	12.706404015330131	Röntgenstraße, Landau an der Isar
Behälter 0162	d044ab6d19534b5c0	09/03/2020 11:20	48.65250030856610	12.469032195735192	Vierkestraße, Dingolfing
Behälter 0162	0059ac00001529c9	09/03/2020 11:43	48.64777306088506	12.467307997800004	Vierkestraße, Dingolfing

Abbildung 9-13: Rückverfolgung von Standorten von intelligenten Ladungsträgern in Tabellenform

Zur Überwachung von Standzeiten von intelligenten Ladungsträgern wurden Geofences festgelegt. Im vorliegenden Beispiel soll eine Warnmeldung bei Überschreitung einer Standzeit von über 6 min im Geofence ausgelöst werden. In der iSLT.NET-Plattform wird der Eintritt und der Austritt des intelligenten Ladungsträgers hawl_i1 über die Geofences verfolgt. Die iSLT.NET-Plattform vergleicht den Zeitstempel und die Koordinaten bzw. die Zugehörigkeit zu dem Geofence von den aufeinanderfolgenden Datensätzen. Überschreitet der intelligente Ladungsträger die festgelegte Standzeit im Geofence löst die iSLT.NET-Plattform die Warnmeldung in Abbildung 9-14 aus.

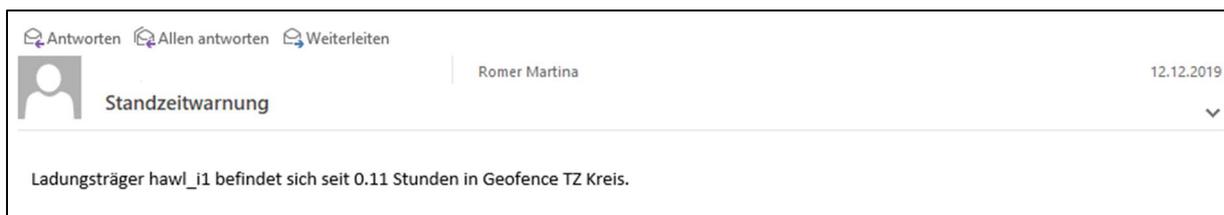


Abbildung 9-14: Warnmeldung bei Überschreitung der Standzeit

Zustandsüberwachung

Die Zustandsdaten Temperatur und Erschütterung werden durch einen Temperatur- bzw. einen 3D-Beschleunigungssensor erfasst, die im IoT-Device verbaut sind. Die IoT-Devices übertragen die gemessenen Temperaturdaten in den vom Anwender definierten Zeitintervallen an die iSLT.NET-Plattform. Erschütterungswerte werden erst dann übertragen, sobald der am IoT-Device parametrisierte Grenzwert (in g-Kraft) für den 3D-Beschleunigungssensor überschritten wurde. Dadurch wird sichergestellt, dass der Ladungsträger bei gewöhnlicher Handhabung in den logistischen Prozessen keine Erschütterungswerte überträgt.

Die Temperaturversuche wurden im Dezember 2019 durchgeführt, um den Ladungsträger mit seinen sechs IoT-Devices hohen Temperaturunterschieden auszusetzen. Auf dem

Testgelände außerhalb des TZ PULS Gebäudes wurden Temperaturen bis zu 2,5°C gemessen. In der Lern- und Musterfabrik herrschte eine konstante Temperatur von ca. 19°C. Ziel der Versuche war es, die Genauigkeit des Temperatursensors der Geräte und seine Reaktionszeit auf eine Temperaturänderung zu ermitteln. Ferner sollte nach Auswertung der Ergebnisse eine Aussage darüber getroffen werden können, wie zuverlässig die Daten von den IoT-Devices in das cloudbasierte Service-System übertragen wurden, wie schnell sich die IoT-Devices innerhalb von 60 min an ihre Umgebungstemperatur anpassen und wie zuverlässig die Warnmeldungen bei gemessenen Temperaturen <5°C gesendet werden (Romer et al., 2020 S.288). Für die Temperaturtests wurden die Sendeintervalle der IoT-Devices auf 1 min eingestellt. Folglich wurden für den Testzeitraum 760 Soll-Datensätze pro IoT-Device erwartet und damit hätten in Summe 4560 Temperaturdatensätze im cloudbasierten Service-System ankommen müssen. Tatsächlich wurden 4507 Datensätze übertragen. Das entspricht einer Zuverlässigkeit von 98,84%. Die Differenz lässt sich zum einen durch eine fehlende Verbindung zum Gateway erklären. Zu anderen wurde festgestellt, dass eine parallele Datenerfassung von GPS-Koordinaten im IoT-Device zu Konflikten in der Datenübertragung führt, da diese in unterschiedlichen Datenpaketen übermittelt werden (Romer et al., 2020 S.288).

Zur Feststellung, wie schnell sich die IoT-Devices an die Umgebungstemperatur anpassen, wurde der intelligente Ladungsträger mit den sechs IoT-Devices in jeweils drei Versuchen von der Lern- und Musterfabrik des TZ PULS nach draußen und umgekehrt transportiert. Tabelle 9-3 und 9-4 stellen jeweils einen Versuch dar und zeigen auf, um wie viel Grad Celsius sich der gemessene Temperaturwert der IoT-Devices nach einer bestimmten Zeit verändert hat. Zudem werden die Starttemperaturen, die von einem Datenlogger als Referenzgerät aufgenommen wurde, sowie die gemessenen Temperaturen nach 60 Minuten ausgewiesen. Dabei wurde festgestellt, dass die Temperatursensoren sehr lange benötigen, um sich den Umgebungstemperaturen anzupassen. Bei der Auswertung der fallenden Temperaturen konnte kein IoT-Device nach 60 min den Referenzwert von 2,8°C erreichen (Tabelle 9-3). Bei steigenden Temperaturen erreichte lediglich das IoT-Device hawl_i1 den Referenzwert von 16,70°C nach 60 min (Tabelle 9-4). Zudem kann festgehalten werden, dass sich die IoT-Devices nach den ersten 10 Minuten bei ansteigenden Temperaturen schneller anpassen als bei sinkenden Temperaturen (Romer et al., 2020 S.288-289).

Tabelle 9-3: Versuchsdaten bei fallenden Temperaturen (Romer et al., 2020 S.289)

IoT-Devices	Temperaturabweichung in min nach						Temperatur nach 60 min
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	
hawl_c1	-1,07°C	-3,01°C	-5,10°C	-6,58°C	-8,26°C	-10,00°C	3,60°C
hawl_c2	-0,71°C	-2,07°C	-4,38°C	-6,12°C	-7,31°C	-8,67°C	5,07°C
hawl_i1	-1,42°C	-4,04°C	-7,16°C	-9,08°C	-10,14°C	-11,33°C	3,62°C
hawl_i2	-1,38°C	-3,18°C	-5,15°C	-6,73°C	-8,22°C	-9,55°C	4,26°C
hawl_i3	-1,60°C	-4,00°C	-5,48°C	-7,13°C	-8,45°C	-9,58°C	5,48°C
hawl_i4	-1,46°C	-3,25°C	-5,00°C	-6,61°C	-8,14°C	-9,04°C	5,13°C
Datenlogger	Starttemperatur: 18,7°C						2,80°C

Tabelle 9-4: Versuchsdaten bei steigenden Temperaturen (Romer et al., 2020 S.289)

IoT-Devices	Temperaturabweichung in min nach						Temperatur nach 60 min
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	
hawl_c1	3,40°C	4,64°C	6,00°C	7,39°C	8,64°C	9,77°C	14,24°C
hawl_c2	4,02°C	5,34°C	6,48°C	8,12°C	9,29°C	10,30°C	14,44°C
hawl_i1	6,01°C	8,15°C	9,82°C	11,19°C	12,34°C	13,28°C	16,76°C
hawl_i2	4,07°C	5,49°C	6,85°C	8,06°C	9,13°C	10,10°C	14,21°C
hawl_i3	6,31°C	6,93°C	7,92°C	8,89°C	9,83°C	10,69°C	14,65°C
hawl_i4	5,11°C	6,51°C	7,7°C	8,79°C	9,76°C	10,65°C	14,47°C
Datenlogger	Starttemperatur 3,5°C						16,70°C

Für die kontinuierliche Überwachung von Kühlketten müssen die ermittelten Temperaturdaten, unter Berücksichtigung der in der DIN EN 13485 definierten Fehlergrenzen, der Umgebung entsprechen. Die für die Versuche verwendeten Sensoren reagieren für diesen Use-Case zu langsam und geben zudem unterschiedliche Werte aus. Um temperaturunempfindlichere Bauteile zu identifizieren, die fälschlicherweise im Freien gelagert werden, ist die Reaktionsfähigkeit der Sensoren womöglich ausreichend (Romer et al., 2020 S. 288-289).

Ein weiterer Versuch für den Test der Dienstleistung „Zustandsüberwachung“ beschäftigte sich mit der Fragestellung, wie zuverlässig die Warnmeldung in der iSLT.NET Plattform via E-Mail bei einer Temperatur <5 Grad sind. Hierfür wurden im TZ PULS der HAWL 1019 Datensätze generiert, die eine Temperatur von unter 5 Grad aufwiesen. Davon wurden von der Plattform 1008 Warnmeldung via E-Mail (vgl. Abbildung 9-15) versendet. Dies entspricht einer Zuverlässigkeit von 98,92%. Die Fehler liegen hierbei in der iSLT.NET-Plattform, deren Leistungsfähigkeit für einen Realbetrieb zu erweitern ist (Romer et al., 2020 S.288-289).

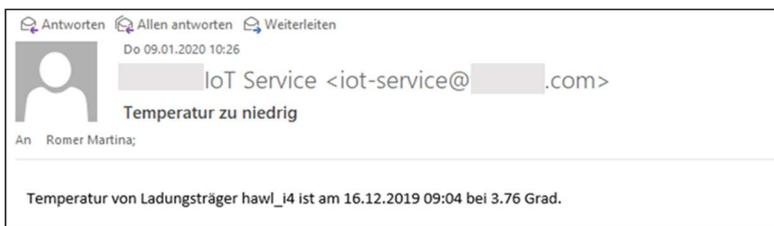


Abbildung 9-15: Warnmeldung bei Temperaturunterschreitung (Romer et al., 2020 S. 289)

In der iSLT.NET-Plattform wurde zur Rückverfolgung der Temperatur- und Erschütterungsdaten ein Dash Board erstellt, in dem der Nutzer einen iSLT auswählen kann. Abbildung 9-16 zeigt den Temperaturverlauf dar, der von dem IoT-Device hawl_1 am 16.12.19 gemessen wurde.

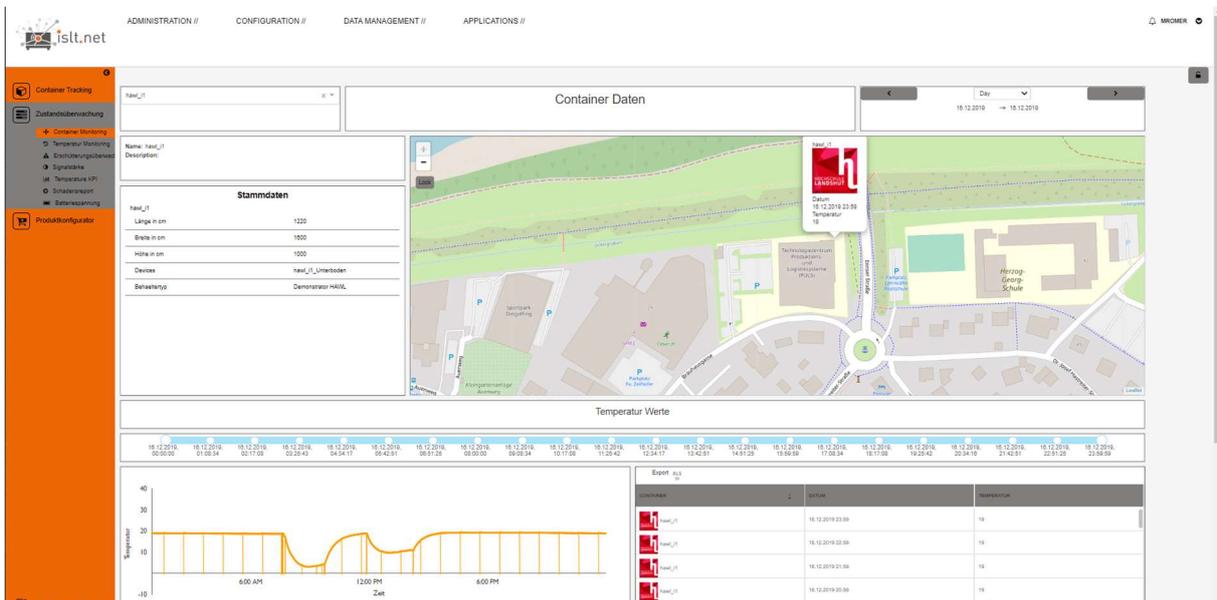


Abbildung 9-16: Temperaturverlauf von hawl_1

Durch Anheben und Absetzen des intelligenten Ladungsträgers sowie durch Fahrten über Kopfsteinpflaster mit einem Hubwagen wurden Erschütterungsdaten durch die IoT-Devices erzeugt und an die Plattform übertragen. Folglich wurden Warnmeldungen (Abbildung 9-17) ausgelöst.



Abbildung 9-17: Warnmeldung bei Erschütterungen

Automatisierte Buchungen

Grundlage zur Durchführung von automatisierten Buchungen ist die Zuordnung von Ladungsträgern zu bestimmten Bereichen. Dadurch kann die aktuelle Anzahl an intelligenten Ladungsträgern beispielsweise in der Ent- und Beladezone, Wareneingang und Warenausgang festgestellt werden. Zudem wäre die Abgrenzung der unterschiedlichen Werksbereiche wie beispielsweise Produktion, Lager, Wareneingänge und -ausgänge wünschenswert. Dadurch erhalten die Unternehmen Transparenz über die realen Bestände und manuelle Bestandszählungen können künftig entfallen.

Zur Ausführung benötigt die Dienstleistung „automatisierte Buchungen“ die GPS-Koordinaten der Dienstleistung „Tracking“. Ziel war es, Ladungsträger innerhalb von bestimmten Bereichen zu erfassen und bei Ein- und Austritt eine Nachricht zu versenden. In der Plattform wurden folglich Events für die HAWL-Geofences angelegt, sodass bei Eintritt (Abbildung 6-18) (bei erstmaliger Erfassung der GPS-Koordinate eines iSLT im Geofence) und bei Austritt (Abbildung 6-19) (erstmaliges Erfassen einer GPS-Koordinate eines iSLT außerhalb des vorher zugeordneten Geofences) eine Nachricht ausgelöst wird. Verbleibt ein iSLT über längerem Zeitraum im Geofence und geniert GPS-Daten, werden diese als gegenstandslos betrachtet. Dadurch wird gewährleistet, dass der Ladungsträger nur einmal innerhalb eines Geofences erfasst wird.



Abbildung 9-18: Nachricht bei Eintritt in ein Geofence



Abbildung 9-19: Nachricht bei Austritt aus Geofence

Bei einem Geofence mit einem Radius von 25m wurden alle Ein- und Austritte der IoT-Devices richtig erkannt. Alle IoT-Devices konnten unter Berücksichtigung einer zeitlichen Verzögerung <5 min dem Geofence zugeordnet werden. Auch der Austritt aus dem Geofence wurde korrekt verarbeitet. Geofences mit kleineren Radien führten dazu, dass nicht alle Devices im Geofence

erkannt wurden oder das Geofence zu früh verlassen haben. Das bedeutet, obwohl sich das IoT-Device noch innerhalb des Geofence bewegt hatte, wurde eine E-Mail über einen Austritt veranlasst (Romer et al., 2020 S.286-291).

Um gemäß der Mengenidentitätsprüfung im Wareneingang in Erfahrung zu bringen, wie viele Ladungsträger sich innerhalb eines bestimmten Bereiches befinden, wurden bei den Anwendungspartnern verschiedene Geofences angelegt. Abbildung 9-20 zeigt auf, dass am 12.02.20 15 Ladungsträger in der Montagehalle bei BMW **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** waren. Durch die Auswahl des Geofences werden die Ladungsträger-IDs aufgezeigt, die sich zu dem Zeitpunkt im Geofence befunden haben.

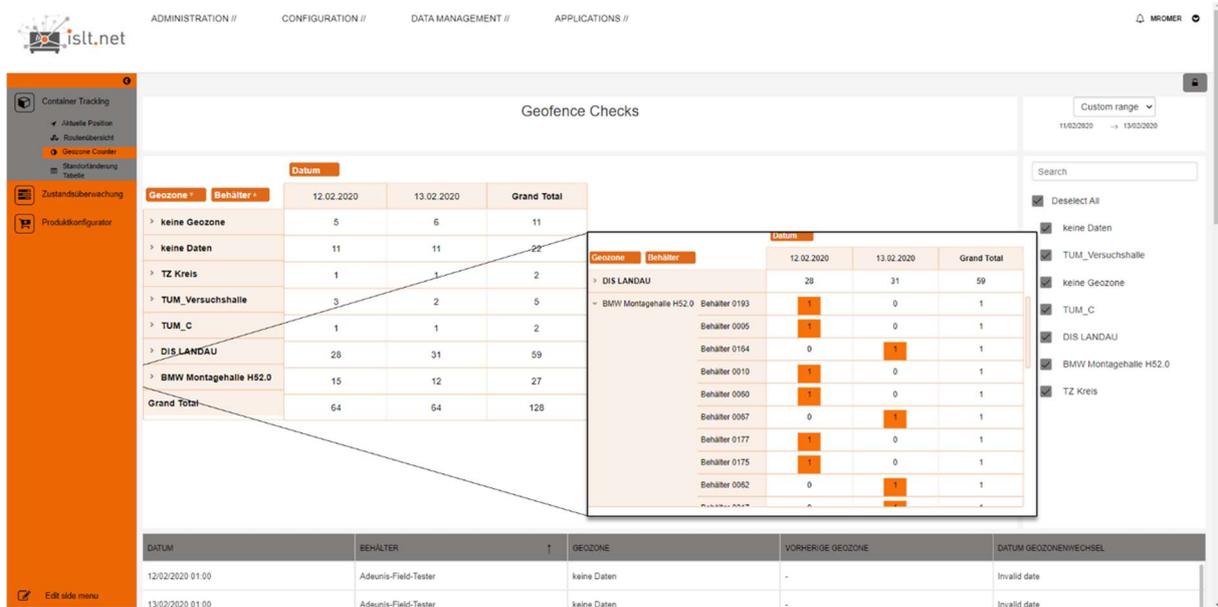


Abbildung 9-20: Bestände bei den Anwendungspartnern

Schadensreport

Mit der Dienstleistung „Schadensreport“ können in der App entweder der defekte iSLT ausgewählt oder ein am Ladungsträger angebrachter QR-Code mit dem Smart Phone oder Tablet abgelesen werden. In der App (Abbildung 9-21) selbst können die defekten Module des Ladungsträgers ausgewählt und an die iSLT.NET Plattform abgesendet werden. Hierfür wurden exemplarisch fünf unterschiedliche Beschädigungen angelegt, die ausgewählt werden können.

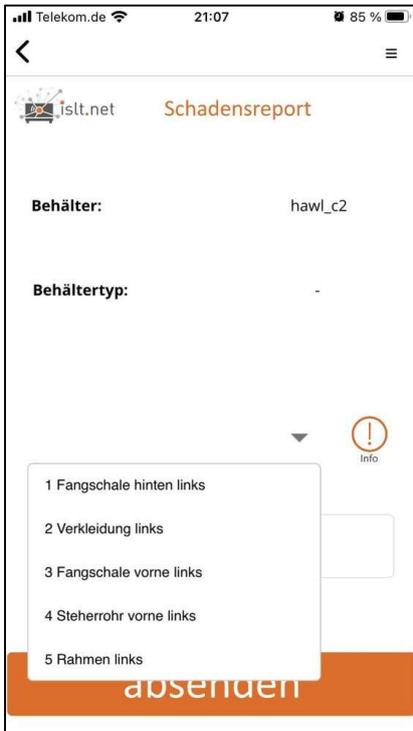


Abbildung 9-21: Erfassung des Schadens eines defekten Ladungsträgers in der App

Nach der Erfassung einer Beschädigung den Ladungsträger hawl_c2 wird der Eintrag in der iSLT.NET Plattform in Tabellenform aufgezeigt (Abbildung 9-22). Zudem ist der Zeitpunkt des Anlegens und der Nutzer namentlich erwähnt, der den Schaden erfasst hat.

The screenshot shows the iSLT.NET web platform interface. The top navigation bar includes 'ADMINISTRATION //', 'CONFIGURATION //', 'DATA MANAGEMENT //', and 'APPLICATIONS //'. The left sidebar contains menu items like 'Container Tracking', 'Zustandsüberwachung', and 'Produktkonfigurator'. The main content area displays a 'Damage Report' table with columns for container, date, reporter, damage type, and comment. A right-hand panel offers filtering options for containers.

BEHÄLTER	DATUM	GEMELDET VON	SCHADENSTYP	KOMMENTAR
hawl_c2	20/11/2019	Super Admin	3 Fangschale vorne links, 4 Steherrohr vorne links	Test 4
hawl_c2	20/11/2019	Super Admin	3 Fangschale vorne links, 4 Steherrohr vorne links	Test 4
hawl_c2	20/11/2019	Super Admin	3 Fangschale vorne links, 4 Steherrohr vorne links	Test 4
hawl_i1	04/11/2019	Super Admin	1 Fangschale hinten links	Test iOS
hawl_i1	04/11/2019	Super Admin	1 Fangschale hinten links	Test iOS

Abbildung 9-22: Erfasste Schäden in Tabellenform

10 Geschäftsmodell und Ökosystem im iSLT.NET Projekt

10.1 IoT-Ökosystem und Datenflussmodell

Da die iSLT durch die integrierte Mikroelektronik und die dadurch verfügbaren Funktionen als Cyber-Physisches Systeme betrachtet werden können, wurde auf Basis wissenschaftlicher Vorarbeiten zur Entwicklung eines Ökosystems im Internet der Dinge (Vgl. Papert, 2017) ein iSLT.NET Ökosystem erarbeitet. In diesem Ökosystem sind alle Rollen enthalten, welche zur Realisierung der iSLT.NET Lösung benötigt werden. Die untenstehende Abbildung zeigt die Rollen eingeteilt in die jeweiligen Teilökosysteme.

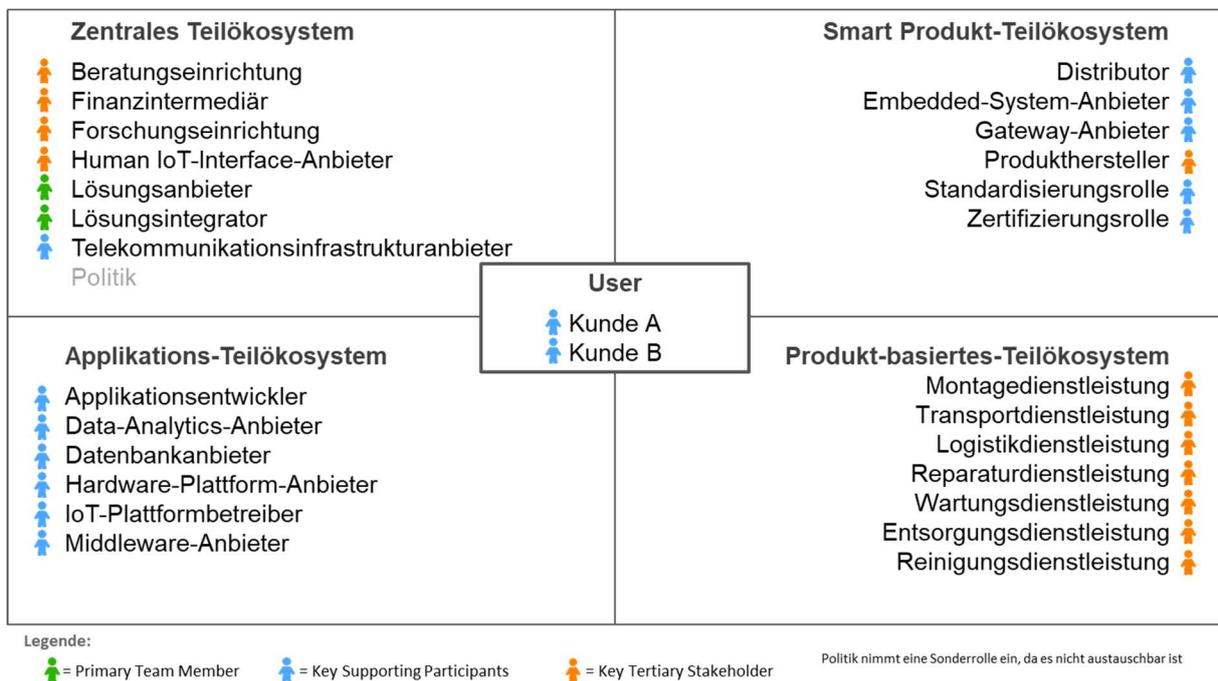


Abbildung 10-1: iSLT.NET Ökosystem

Die unterschiedlichen Gruppen in den einzelnen Teilökosystem werden in Primary Team Members, Key Supporting Participants und Key Tertiary Stakeholders unterteilt. Die Zusammengehörigkeit dieser mit den einzelnen Rollen im iSLT.NET Ökosystem wird im folgenden erläutert. Im Zentrum des Modells befindet sich **der User** (siehe Abbildung 10-1). Der User gehört zur Gruppe der Key Supporting Participants und fasst direkte Kunden aus dem Behälterkreislauf und weiter Kunden aus dem gleichen Behälterkreislauf unter dem Überbegriff zusammen. Die **Key Supporting Participants** haben Einfluss auf das Ökosystem und sind schwer austauschbar, da er sehr viele Ressourcen in sich bindet. Dies könnte z. B. Kapital, Know-How oder ähnliches sein. Sie haben Einfluss auf die Performance des Ökosystems, sind jedoch nicht Hauptträger der Verantwortung.

10.1.1 Zentrales Teilökosystem

Die **Primary Team Members** als Akteure haben einen großen Einfluss auf das Ökosystem und besitzen eine hohe Verantwortung. Sie sind nicht austauschbar und tragen wesentlich zur Performance des gesamte Ökosystems bei. Im Zentralen Teilökosystem zählt der **Lösungsanbieter** zu dieser Gruppe, da er für den Ver- und Betrieb der Lösungen zuständig

ist. Die Aufgabe die Lösung zu entwickeln und zu implementieren übernimmt der **Lösungsintegrator**, weshalb dieser auch als Primary Team Member eingeordnet wird. Die bereits erläuterten Key Supporting Participants werden im Zentralen Teilökosystem von den **Telekommunikationsinfrastrukturanbietern** vertreten. Sie gewährleisten die Verbindung zum Internet um zum Beispiel Daten an Plattformen, IT-Systeme oder Nutzer zu übermitteln.

Die dritte Gruppe wird als **Key Tertiary Stakeholder** bezeichnet und sind innerhalb des Ökosystems leicht austauschbar. Bis auf vertragliche Bedingungen, gibt es keine Beeinträchtigung der Austauschbarkeit, da sie keine oder kaum Ressourcen in das Ökosystem einbringen. Die **Beratungseinrichtungen** stellen einen Vertreter dieser Gruppe da. Sie werden vom Lösungsanbieter beauftragt die Machbarkeit einer Lösung zu untersuchen und zu beurteilen. Dabei nehmen Sie mit ihrer Beratungsleistung eine Unterstützungsfunktion ein. Um die Lösungsimplementierung zu finanzieren, benötigt das Zentrale Teilökosystem einen **Finanzintermediär**. Dieser Key Tertiary Stakeholder dient in seiner Rolle dazu das Geschäftsmodell mit Geldmitteln zu fördern und nimmt dadurch auch eine Unterstützungsfunktion ein. Eine weitere unterstützende Rolle in dieser Gruppe nehmen die **Forschungseinrichtungen** ein. Diese führen in Zusammenarbeit mit dem Lösungsanbieter und dem Lösungsintegrator wissenschaftliche Untersuchungen und Entwicklungen durch. Der **Human IoT-Interface-Anbieter** im Zentralen Teilökosystem als Key Tertiary Stakeholder erlaubt durch seine Produkte die Kommunikation und die Darstellung von Informationen für den User.

Eine **Sonderrolle** im Teilökosystem nimmt die **Politik** ein, da diese mit ihren Entscheidungen bezüglich des Umgangs mit Daten klare Linien vorgibt. Zudem kann sie dazu beitragen die Werte einer IoT-Lösung zu kommunizieren und diese zu standardisieren.

10.1.2 Applikations-Teilökosystem

Der **IoT-Plattformbetreiber** übernimmt im Applikations-Teilökosystem die Rolle des Primary Team Members. Er stellt für den Lösungsintegrator die Plattform zur Verfügung und managet die generierten Daten. Für die Entwicklung der Software-App ist der **Applikationsentwickler** zuständig und somit ist er als Key Supporting Participant im Teilökosystem aufzuführen. Aufgrund ihrer Expertise werden sie vom Lösungsintegrator angefragt. Eine weitere Rolle im Applikations-Teilökosystem und als Key Supporting Participant spielt der **Data-Analytics-Anbieter**, er unterstützt bei der Ausarbeitung von Informationen und Daten, die von den smarten Produkten stammen. Häufig findet ein Data-Analytics-Anbieter Anwendung, wenn es um die Analyse schwieriger und komplexer Daten geht. Die **Datenbankanbieter** entwickeln und stellen Datenbanklösungen für sichere und performante Datenhaltung bereit. Sie führen Geschäftsbeziehung mit IoT-Plattformbetreibern, um diesen eine verlässliche Datenhaltung zu ermöglichen. Deshalb sind sie als Key Supporting Participants aufgeführt. Der **Hardware-Plattform-Anbieter** stellt dem Teilökosystem und insbesondere dem IoT-Plattformbetreiber als Key Supporting Participant Hardware-Plattformen wie Server, Rechenzentrums-IT-Infrastruktur und aktuell am Markt verfügbare Computerprodukte bereit. Unternehmen in der Rolle des **Middleware-Anbieters** entwickeln eine Lösung, welche die Integration von unterschiedlichen, smarten Produkten in Informationssysteme erlaubt. Zudem soll eine Middleware-Lösung das Management von smarten Produkten, wie Kontrollfunktion oder Softwarekonfiguration, erlauben. Auch der Middleware-Anbieter ist im Applikations-Teilökosystem ein Key Supporting Participant.

10.1.3 Smart Produkt-Teilökosystem

Im Smart Produkt-Teilökosystem sind als Primary Team Members der Distributor, der Produkthersteller, die Standardisierungsrolle und die Zertifizierungsrolle vertreten. Der **Distributor** übernimmt die Versorgung des Lösungsanbieters und -integrators mit Hardwarekomponenten. Dem Lösungsintegrator wird durch den **Produkthersteller** das gewünschte physische Produkt bereitgestellt, zum Beispiel Innen- oder Außenbehälter. Weiterhin ist im Smart Produkt-Teilökosystem eine **Standardisierungsrolle** zu identifizieren. Institutionen wie die Internationale Organisation für Standardisierung (ISO) verkörpern diese Rolle. Solche Institutionen definieren generische Architekturen sowie Richtlinien für Technologien und Schnittstellen, um Technologieimplementierungen zu vereinfachen und zu vereinheitlichen. Die **Zertifizierungsrolle** stellt Zertifikate für das Gesamtprodukt aus, die auf domänenspezifischen Anforderungen für Smart-Object-Technologien wie Applikationen, Router oder Antennen basieren. Im Smart Produkt-Teilökosystem sind noch zwei weitere **Key Supporting Participants** zu nennen, die Embedded-System-Anbieter und die Gateway-Anbieter. Die **Embedded-System-Anbieter** sind die Entwickler von Mikroelektronik, welche in physische Produkte eingebunden werden und dem Distributor und dem Lösungsintegrator bereitgestellt werden. Zudem sind die **Gateway-Anbieter** Hersteller von Gateway-Produkte, die beispielsweise Kommunikationsschnittstellen umfassen, für kontinuierlichen Datenaustausch zwischen smarten Produkten und Informationssystemen. Der Gateway-Anbieter stellt eine Netzwerkschnittstelle bzw. ein entsprechendes Modul zur Verfügung.

10.1.4 Produktbasiertes Teilökosystem

Das produktbasierte Teilökosystem vereint unter sich mehrere Tertiary Stakeholder. Die **Montagedienstleistung** beschäftigt sich dabei allein mit der Montage des modularen Behälters, die **Transportdienstleistung** ist für den Transport der einzelnen Behälter zuständig. Des Weiteren übernimmt die Lagerung und Sortierung der Behälter die **Logistikdienstleistung**. Diese ist auch für die Lagerung, Bereitstellung und Auslieferung der Module zuständig. TÜV-Abnahmen und Zertifizierung gehören der **Qualitätsdienstleistungskomponente** an, die **Reparaturdienstleistung** umfasst die Reparaturen des Ladungsträgers, die **Wartungsdienstleistung** ist für die Wartung dieser zuständig, die **Entsorgungsdienstleistung** organisiert die Verschrottung der einzelnen Module oder des gesamten Ladungsträgers und die **Reinigungsdienstleistung** pflegt wieder verwendbare Komponenten

Es ist ersichtlich, dass das iSLT.NET Ökosystem einen deutlich größeren Umfang an Rollen enthält, als es das traditionelle SLT-Ökosystem tat. Das traditionelle SLT-Ökosystem ist aber trotzdem im iSLT.NET Ökosystem aufgeführt, wird dort aber als produktbasiertes Teilökosystem bezeichnet (vgl. Kapitel 10.2.4) und ist nur ein Teil des iSLT.NET Ökosystems. Die Vielzahl an Akteuren, ihre Interessen und Aufgaben mussten bei der Ausarbeitung der iSLT-Lösung berücksichtigt werden. Anwender, die eine Lösung wie in iSLT.Net entwickelt, nutzen wollen, müssten zur Umsetzung einer solchen Lösung mit allen aufgeführten Akteuren interagieren. Daher wurde eine Variante ausgewählt, nach der Kunden mit dem Lösungsanbieter in Kontakt stehen, welcher die Orchestrierung der anderen Kontakte übernimmt.

In der Ausarbeitung der Geschäftsmodelle wurde deutlich, dass die Fragestellung der Datennutzungsrechte der einzelnen an der iSLT.NET Lösung beteiligten Akteure konkret zu bestimmen ist. Nur mit der Bestimmung der Rechte und detaillierten Datenflüsse kann eine

Ausgestaltung der Vertragswesen und der Rechte und Rollenkonzepte für die Plattform erfolgen.

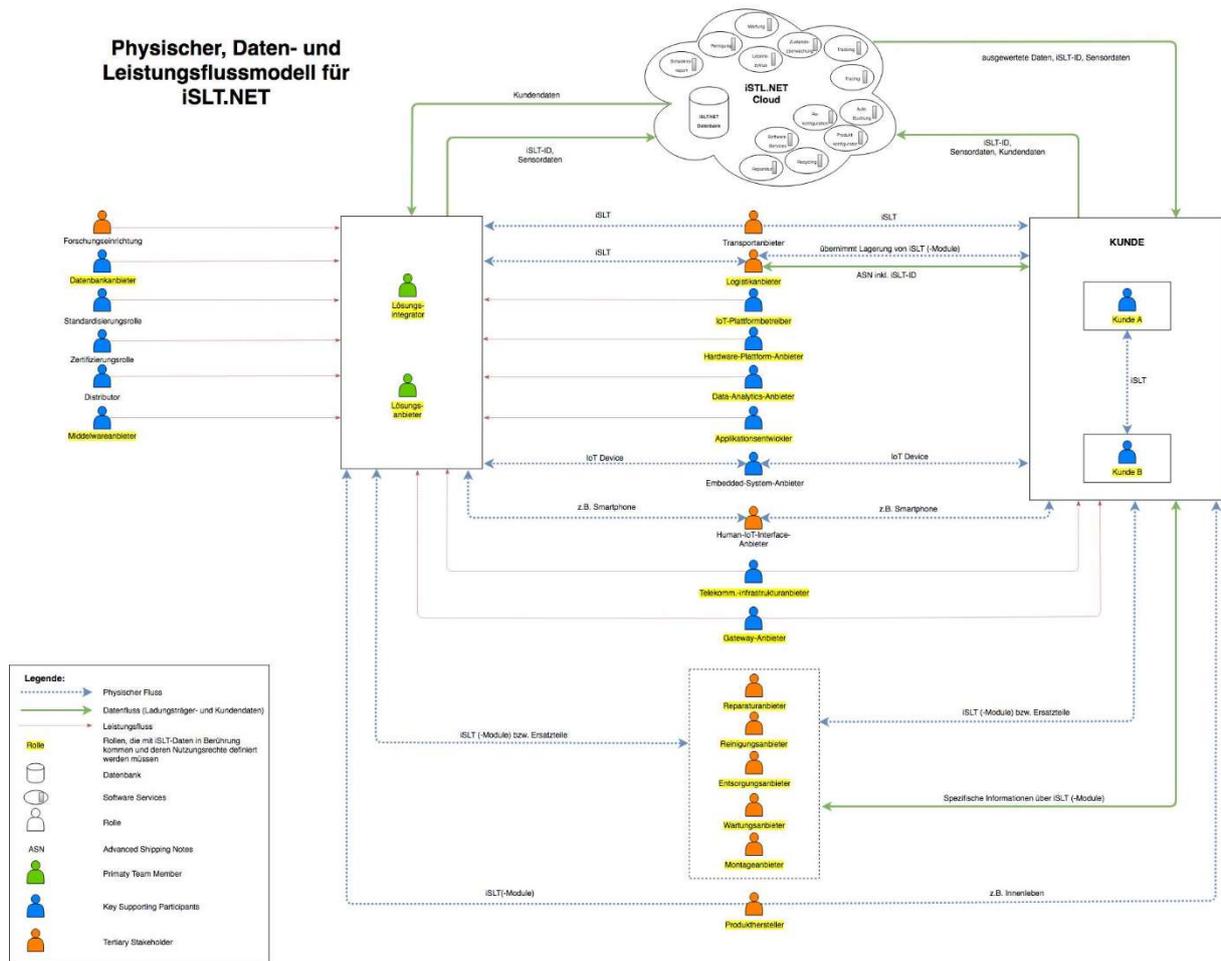


Abbildung 10-2: Daten und Leistungsflussmodell für iSLT.NET

Diese Darstellung verdeutlicht die Komplexität des Ökosystems für die entwickelte iSLT.NET Lösung. Im Realen Kontext war diese Detailebene erforderlich, da eine höhere Betrachtungsebene nicht ausreichend war, um die Umsetzbarkeit der Geschäftsmodelle zu bewerten.

10.2 Qualitative Bewertung der Geschäftsmodelle

Geschäftsmodellwert



Abbildung 10-3: Darstellung der Bewertung der möglichen Geschäftsmodelle des iSLTs

Zur Entwicklung von Ansätzen zur Ausprägung der Geschäftsmodelle für iSLT wurde auf Muster für Geschäftsmodelle im Industrie 4.0 Zeitalter aufgebaut. Die 74 im Gemini 4.0 Projekt entwickelten Geschäftsmodellmuster wurden hinsichtlich ihrer Geeignetheit für iSLT untersucht. 28 Muster wurden als potenziell geeignet angesehen und hinsichtlich ihrer Marktattraktivität und ihres Implementierungsaufwands und Nutzens bewertet. Die Bewertung erfolgte durch eine Umfrage. Die Muster wurden zudem in Bezahlmodell, Absatzmodell, Organisationsmodell und die Kategorie Sonstige unterteilt. Die am attraktivsten eingeschätzten Modellen sahen eine iSLT-Bereitstellung im Push statt Pull Prinzip vor, sowie das Cross-Selling Physischer Ladungsträger mit Daten basierten Services und individuellen Angeboten. Den Mustern des Agierens als Solution Provider und des Angebots vorn Flatrates wurde eine hohe Marktattraktivität zugesprochen. Über alle Modelle hinweg ist der Implementierungsaufwand verhältnismäßig hoch eingeschätzt worden

10.3 Ausgestaltung von Miet- und Kaufmodell für iSLT

Im Anschluss an die Bewertung der Geschäftsmodelle wurden verschiedene Geschäftsmodellszenarien für den iSLT erarbeitet. Unterschieden wird zwischen Kaufmodell und Mietmodell. Das Mietmodell beinhaltet unter anderem auch flexible Abrechnungsmodelle sowie Bereitstellungsmodelle. Im Projekt konnten nicht alle relevanten Aspekte für die Geschäftsmodelle erarbeitet werden. Dies lag daran, dass auf Basis der prototypischen Umsetzung nicht alle Dienstleistungen, die Einfluss auf das Geschäftsmodell haben, umgesetzt werden konnten. Grundsätzlich sind verschiedene Szenarien je nach Ausgestaltung der Bestandteile von iSLT.NET möglich. Das in Abbildung 10-4 gezeigte Szenario bezieht sich auf das Kaufmodell, welches unter Kapitel 10.4 im wirtschaftlichen Vergleich wiederfindet.

Geschäftsmodellszenario - Kaufmodell				
Frage	Ausprägungen			
Was wird gekauft?	Außenbehälter	Innenbehälter	Dienstleistungen	IoT Device
Was wird gemietet bzw. geleast?	Außenbehälter	Innenbehälter	IoT Device	
Was zeichnet das Wertversprechen aus?	Hardware	Dienstleistungen	Verfügbarkeit	Finanzierungsvorteile
Wer ist für den Zustand verantwortlich?	Anbieter	Dienstleister	Kunde	
Wer haftet im Falle eines Schadens?	Anbieter	Dienstleister	Kunde	
Wer ist Besitzer?	Anbieter	Leasing Bank	Dienstleister	Kunde
Wer ist für die Herstellung der Behälter zuständig?	Anbieter	Dienstleister	Kunde	
Wer darf das Produkt nutzen?	Ein Kunde		Mehrere Kunden	
Wie lang ist die Vertragslaufzeit?	Kurz	Mittel	Lang	
Gibt es ein Kündigungsrecht für Kunden ?	Nein/ Feste Laufzeit	Ja, mit Vertragsstrafe	Immer kündbar	Sonderkündigungsrecht
Gibt es eine Kündigungsfrist für den Kunden?	Ja		Nein	
Wie erfolgt die Abrechnung?	Festpreis	Pay Per Use	Pay Per Availability	
Welche Optionen hat der Kunde nach der Miete bzw. Leasing?	Verlängerung	Rückgabe	Kauf SLT & Kauf i	
 Ausprägung relevant Keine Berücksichtigung Ausprägung nicht relevant				

Abbildung 10-4: Geschäftsmodellszenario des Kaufmodells

Die Besonderheit am Kaufmodell ist, dass der modulare Sonderladungsträger sowie das IoT Device in den Besitz des Kunden übergehen. Nur Die Dienstleistungen werden mittels Pay per Use- Modell abgerechnet.

Beim Mietmodell verschiebt sich die Rolle des Besitzers in Richtung des Anbieters. Zudem wird zu Beginn der Miete eine Vertragslaufzeit festgelegt. Der Kunde bezahlt mittels Pay per Use Modell und kauft im eigentlichen Sinne nicht den Ladungsträger mit Intelligenz, sondern die Verfügbarkeit des Ladungsträgers für einen Prozess. Im Mietmodell werden alle Bestandteile des iSLT in Form von einer Dienstleistung bezogen. Am Ende der vertraglich vereinbarten Dauer hat der Kunde die Möglichkeit eine Rückgabe zu veranlassen oder die Dienstleistung entsprechend zu verlängern

Geschäftsmodellszenario - Mietmodell				
Frage	Ausprägungen			
Was wird gekauft?	Außenbehälter	Innenbehälter	Dienstleistungen	IoT Device
Was wird gemietet bzw. geleast?	Außenbehälter	Innenbehälter	IoT Device	
Was zeichnet das Wertversprechen aus?	Hardware	Dienstleistungen	Verfügbarkeit	Finanzierungsvorteile
Wer ist für die Zustand verantwortlich?	Anbieter	Dienstleister	Kunde	
Wer haftet im Falle eines Schadens?	Anbieter	Dienstleister	Kunde	
Wer ist Besitzer?	Anbieter	Leasing Bank	Dienstleister	Kunde
Wer ist für die Herstellung der Behälter zuständig?	Anbieter	Dienstleister	Kunde	
Wer darf das Produkt nutzen?	Ein Kunde		Mehrere Kunden	
Wie lang ist die Vertragslaufzeit?	Kurz	Mittel	Lang	
Gibt es ein Kündigungsrecht für Kunden ?	Nein/ Feste Laufzeit	Ja, mit Vertragsstrafe	Immer kündbar	
Gibt es eine Kündigungsfrist für den Kunden?	Ja		Nein	
Wie erfolgt die Abrechnung?	Feste Rate (Kauf)	Pay Per Use	Pay Per Availability	
Welche Optionen hat der Kunde nach der Miete bzw. Leasing?	Verlängerung	Rückgabe	Kauf SLT & Kauf i	

Ausprägung relevant
 Keine Berücksichtigung
 Ausprägung nicht relevant

Abbildung 10-5: Geschäftsmodellszenario des Mietmodells

Die im Projekt entstandenen Morphologischen Kästen erlauben den Aufbau von verschiedenen Geschäftsmodellszenarien angepasst an die jeweiligen Gegebenheiten. Zudem ist es möglich die hier entstandenen Erkenntnisse in Teilen auf andere Branchen zu übertragen.

10.4 Wirtschaftlicher Vergleich von Kauf, Miete und Pay-Per Use Modellen

Aus der Herausarbeitung der Geschäftsmodelle ergaben sich eine Fokussierung auf die Geschäftsmodellarten des Kaufs, einer nutzungsunabhängigen Miete und eines Pay-per Use Miet-Modells für iSLT. Für die Mietmodelle wurden im Projekt verschiedene Motivationen bestimmt:

- **Kostensenkung:** Durch die Ersparnis der initialen Investitionskosten für SLT und die Miete von iSLT in Abhängigkeit der Bedarfe sollen die Gesamtkosten für die Bereitstellung gesenkt werden.
- **Reduktion Kapitalbindung:** Durch die Veränderung der Kosten für iSLT von Investitionskosten in laufende Budgetkosten können die initialen Kosten für ein Derivat gesenkt und Aufwände in Perioden mit tatsächlichen Bedarfen in die Zukunft verlagert werden.
- **Kostensenkung durch Poolingeffekte:** Die Nachfrage nach standardisierten iSLT ermöglicht den Aufbau eines Mietpools, aus welchem flexibel unter Verwendung gebrauchter Komponenten iSLT günstiger werden können, im Vergleich zur Anschaffung neuer iSLT bzw. Mindermengen bei zusätzlichen Bedarfen
- **Risikoteilung:** Das Risiko der Marktnachfrage und der damit zusammenhängenden Mietbedarfe wird zwischen Vermieter und Mieter geteilt.

Auf Basis der Ausarbeitungen der Geschäftsmodelle wurden die folgenden Geschäftsmodelle miteinander in den nachstehend dargelegten Szenarien verglichen:

Tabelle 10-1: Vergleichene Geschäftsmodelle

Kauf –SLT	Kauf iSLT	Miete Pay per Use	Miete - nutzungsunabhängig
<ul style="list-style-type: none"> • Eigentum OEM • Invest zu Beginn des Derivats 	<ul style="list-style-type: none"> • Eigentum OEM • Invest zu Beginn des Derivats • Verrechnung der modularen i.O. Teile in zweitem Lebenszyklus 	<ul style="list-style-type: none"> • Eigentum iSLT-Hersteller • Vermietung an OEM • Unterscheidung Mietpreis p.M. für Nutzung und Mietpreis p.M. für Nichtnutzung (10%) • Berechnung auf Basis tatsächlicher (Nicht)Nutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Eigentum iSLT-Hersteller • Vermietung an OEM • Fix vereinbarter Mietpreis p.M. • Berechnung für Dauer der Vermietung unabhängig von tatsächlicher (Nicht-)Nutzung

Im Kauf-SLT Szenario wurde die zur Generierung einer Vergleichsbasis auf Basis der im Projekt angesetzten Preise ein Kauf eines traditionellen, nicht modularen Sonderladungsträger ohne intelligente Komponente betrachtet. In diesem Geschäftsmodell geht der SLT vor Produktionsbeginn in das Eigentum des OEMs über und wird für die Produktionsdauer eines Derivats eingesetzt. Die Anschaffungskosten sind für den OEM Investitionskosten zu Beginn des Derivats. Für ein Folgederivat werden neue SLT erworben, für die ebenfalls vor Beginn der Produktion des Folgederivats eine Investition getätigt wird.

Das Szenario Kauf-iSLT ähnelt dem ersten Szenario, indem iSLT vor Beginn der Produktion eines Derivats als Investition durch den OEM angeschafft werden. Im zweiten Lebenszyklus werden in diesem Szenario für die iSLT des Folgederivats Komponenten der iSLT des ersten Derivats weiterverwendet. In den Szenarien wurde für jede Komponente eine i.O.-Quote für das Ende des ersten iSLT-Lebenszyklus hinterlegt, die den Anteil der weiterverwendbaren Komponenten bestimmt hat. Für den Anteil der n.i.O.-Komponenten, wurden Ersatzkosten einberechnet. In die Anschaffungskosten der iSLT für das zweite Derivat wurden zudem

prozessuale Kosten für die Rekonfiguration berücksichtigt. Zwar reduziert die Wiederverwendbarkeit der i.O.-Komponenten die Materialkosten, doch prozessual ist für die Wiederverwendung mit Kosten für Transport gebrauchter iSLT, Demontage und Remontage der iSLT verbunden.

Im dritten Szenario Miete – Pay per Use wird das Geschäftsmodell betrachtet, in welchem der iSLT-Hersteller über ein nutzungsabhängiges Mietmodell die benötigten iSLT-Kapazitäten bereitstellt. Eine nutzungsabhängige Miete setzt für iSLT, die innerhalb eines Monats im Einsatz waren einen höheren Mietpreis an als für iSLT, die nicht genutzt wurden. Die Verrechnung der Miete erfolgt in Abhängigkeit der monatlichen Nutzung. Dabei wird angenommen, dass die iSLT prozessual im Handling in zu nutzende und nicht zu nutzende iSLT in der jeweiligen Betrachtungsperiode differenziert werden können. Zur Vermeidung von Transportkosten und der Sicherstellung kurzfristiger Kapazitätsbedarfe verbleiben die nicht genutzten iSLT im Behälterkreislauf. Die reduzierte Miete für nicht genutzte, im Kreislauf vorgehaltene iSLT wurde im Projekt auf 10 % der Miete für genutzte iSLT festgelegt. Die Informationen, ob ein iSLT genutzt wurde oder nicht, werden durch die Erfassung der iSLT-Bewegungen durch die IoT-Lösung generiert. Sofern absehbar ist, dass iSLT aufgrund abnehmender Produktionszahlen zum Ende des Produktionszeitraums eines Derivats nicht mehr benötigt werden, können diese vorzeitig an den Hersteller zurückgegeben werden. Das Eigentum am iSLT verbleibt in Pay per Use Mietszenario beim Hersteller der iSLT. Das Risiko für die Weiterverwendung der Komponenten am Ende des ersten iSLT-Lebenszyklus für ein Folgenderivat trägt ebenfalls der Hersteller.

Das vierte Szenario betrachtet eine nutzungsunabhängige Miete. In diesem Szenario wird zwischen Hersteller und Mieter ein fester Zeitraum für die Miete, der für ein Derivat benötigten iSLT vereinbart. Über den vereinbarten Mietzeitraum ist eine monatliche, im jeweiligen Lebenszyklus gleichbleibende Miete zu entrichten, unabhängig von einer tatsächlichen Nutzung im Behälterkreislauf. Das Eigentum am iSLT und das Risiko der Weiterverwendbarkeit von modularen Komponenten für ein zweites Derivat, obliegt in diesem Szenario ebenfalls dem Hersteller.

Die folgende Grafik veranschaulicht exemplarische Verläufe monatlicher Produktionsauslastungen für vier verschiedene Derivate, wie sie vor Start of Production (SOP) eines Derivats geplant werden. Eine Produktionsauslastung von 100 % entspricht dabei der maximalen Anzahl an in einem Monat produzierten Fahrzeugen des Derivats und somit dem maximalen Bedarf an iSLT als Transportkapazitäten für Fahrzeugkomponenten.

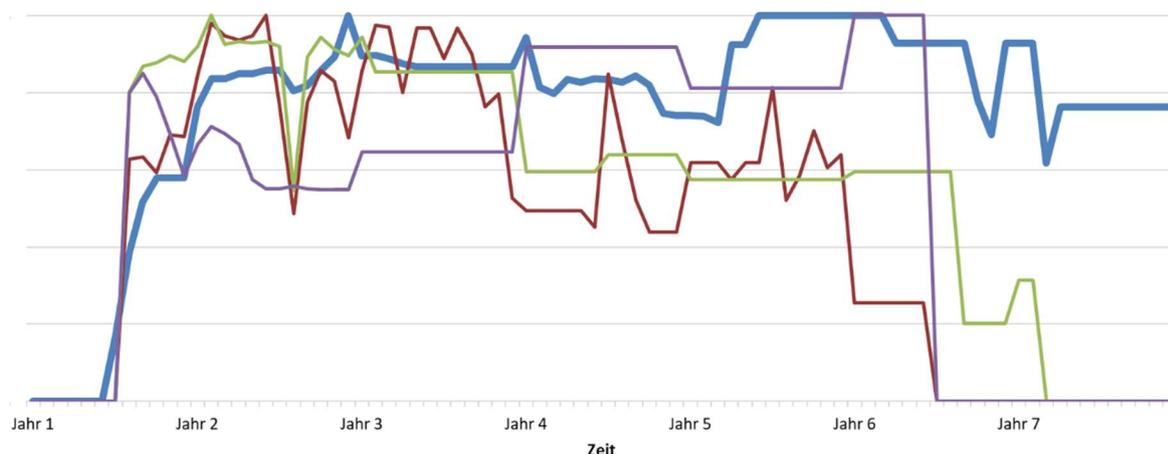


Abbildung 10-6: Exemplarische prozentuale Verlaufskurven für monatliche iSLT Bedarfe bei vier Derivaten

Für die Betrachtung der oben aufgeführten Szenarien wurde eine solche Bedarfsverlaufskurve eines Derivats zu Grunde gelegt. Im Projekt wurde die Annahme getroffen, dass zwei Generationen eines Derivats, die nacheinander produziert werden, die identischen iSLT und die identische Stückzahl benötigen. Zudem wurden die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Berechnungsparameter für die Szenarien festgelegt:

Tabelle 10-2: Parameter und Annahmen im Vergleich der Geschäftsmodelle

Parameter Szenario	Referenzeinsatzszenario
Prozentuale Produktionsauslastung	Initiale Produktionsauslastung Derivat – angenommen für Lebenszyklus 1 und Lebenszyklus 2
Anzahl und Typ Ladungsträger	31 verschiedene Spezial-SLT (Stahl), insg. 5.074 Stück, identische Bedarfe in beiden Lebenszyklen, ab Start of Production
Materialkosten/Teilepreise Außenbehälter	Projektkostentabelle (VK-Listenpreis)
Preis Innenleben	Keine Innenleben berücksichtigt – Fokus auf Außenbehälter
Nutzungszeitraum	2 Nutzungszyklen (je ~ sieben Jahre) mit identischer Produktionsauslastung
Kalkulationszinssatz	8% (iSLT-Projektzins)
Gemeinkostenquote Vermieter	5% (iSLT Projektkostenquote)
Durchschnittliche Mietdauer „Nutzung“ je iSLT	11,5 Jahre (82%)
Mietkosten bei Nicht-Nutzung	10%, Annahme: keine Rückgabe während Laufzeit für Verfügbarkeit, Nutzung wird über IoT-Device erfasst
Reparaturkosten	Reparaturkosten trägt Mieter während der Mietdauer
Dynamisierung Kosten	+ 20 % von Lebenszyklus 1 zu 2

Für die Berechnungen der Mietszenarien wurden 31 Spezial-SLT Außenbehälter eines Derivats analysiert, welche unterschiedliche Spezifikationen aufweisen. Für die Kosten der iSLT wurden im Projekt entwickelte Kostentabellen der Verkaufs-Listenpreise angesetzt. Eine Berücksichtigung der Innenleben erfolgte aufgrund deren Individualität und nicht möglicher Zweitverwendung nicht. Um die Effekte der Modularität in Mietszenarien gegenüber Kauf-Szenarien veranschaulichen zu können, wurde eine Betrachtungsperiode von zwei iSLT-Lebenszyklen gewählt, was zwei aufeinanderfolgenden Fahrzeugderivaten entspricht. Die Zahlungen der Zukunft wurden mit einem im Projekt gewählten Zins i.H.v. 8% verbarwertet, um die Vor- oder Nachteiligkeit des einen oder anderen Szenarios in t0 beurteilen zu können. Da der Mieter wie der Käufer Kosten für die Reparatur von iSLT während der Laufzeit trägt und im Projekt keine Erfahrungswerte für die modularen Bauteile vorlagen, wurden keine Reparaturkosten berücksichtigt. Auf Basis der Entwicklung von Herstellungskosten für SLT in den letzten zehn Jahren wurde eine pauschale Kostenerhöhung von Lebenszyklus 1 zu Lebenszyklus 2 i. H. v. 10 Prozent auf Material, Transport und Personalkosten (z. B. Demontage/Remontage) einberechnet.

Zur Veranschaulichung zeigt die folgende Formel die jeweilige Berechnung der in den Mietmodellen ermittelten Mietpreisen.

$$n \left(K_{\text{iSLT}_LZ1} \times (1 + g) + \frac{K_{\text{iSLT}_LZ2} \times (1 + g)}{(1 + i)^{\frac{84}{12}}} \right) = \sum_{t=1}^{168} \frac{m \times n}{(1 + i)^{\frac{t}{12}}}$$

Abbildung 10-7: Formel zur Ermittlung des nutzungsunabhängigen Mietpreises

$$n \left(K_{\text{iSLT}_LZ1} \times (1 + g) + \frac{K_{\text{iSLT}_LZ2} \times (1 + g)}{(1 + i)^{\frac{84}{12}}} \right) = \sum_{t=1}^{168} \frac{m (nv_t)}{(1 + i)^{\frac{t}{12}}}$$

Abbildung 10-8: Formel zur Ermittlung des Pay-per Use Mietpreises

Legende:

n Anzahl iSLT im Szenario,
g Gemeinkostenaufschlag Hersteller iSLT
K Kosten für Außenbehälter
LZ Lebenszyklus

m monatlicher Mietpreis
v durchschnittliche Quote genutzter iSLT im Szenario
i Projektzins für Barwert

Die nachfolgende Abbildung zeigt die kumulierten Kostenvergleiche über zwei iSLT-Lebenszyklen der verschiedenen Szenarien für 166 iSLT des Referenzeinsatzbehälters.

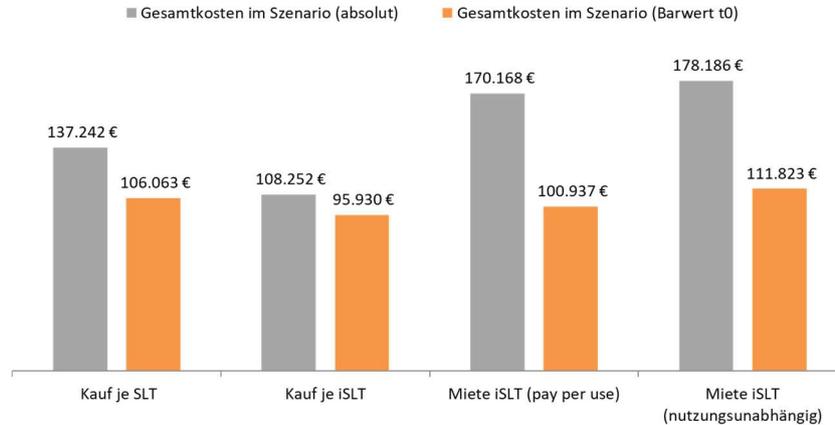


Abbildung 10-9: Kostenvergleiche für Referenzeinsatz-iSLT über zwei Lebenszyklen

Deutlich wird, dass in den Kauf-Szenarien die modularen iSLT gegenüber den SLT über zwei Lebenszyklen durch die Modularität und die Wiederverwendung von Komponenten günstiger sind. Aufgrund der zu Grunde gelegten Nutzungsquoten (v) der iSLT über die beiden Lebenszyklen, unterscheiden sich die Gesamtkosten der beiden Mietszenarien (Pay per Use und nutzungsunabhängig) nur geringfügig. In der ausgewiesenen Barwertbetrachtung der beiden Mietszenarien ist der Unterschied größer. Dies ist zurückzuführen auf den in der Regel zum Ende eines Produktionszeitraums eines Derivats abnehmenden Bedarfs an iSLT Kapazitäten, welcher im Pay per Use Modell zu geringeren Kosten in späteren Perioden und somit einem niedrigeren Barwert führt.

Die Reduktion der Kapitalbindung wird in der Gegenüberstellung der kumulierten Kostenverlaufskurven (Barwertbetrachtung) deutlich. Während die Kauf-Szenarien mit der initialen Investition der iSLT Anschaffung in t_0 und t_7 verbunden sind, fallen die Kosten für die iSLT in den Mietmodellen sukzessive an. In den Kauf-Szenarien ist im Projekt die Annahme unterstellt, dass im ersten iSLT-Lebenszyklus keine gebrauchten Komponenten genutzt werden können, da der Bestand an modularen iSLT neu aufgebaut wird. Die kumulierten Kostenverlaufskurven zeigen, dass sowohl iSLT-Kauf und Miete Pay per Use unter den im Projekt gemachten Annahmen günstiger sind als der Kauf traditioneller SLT.

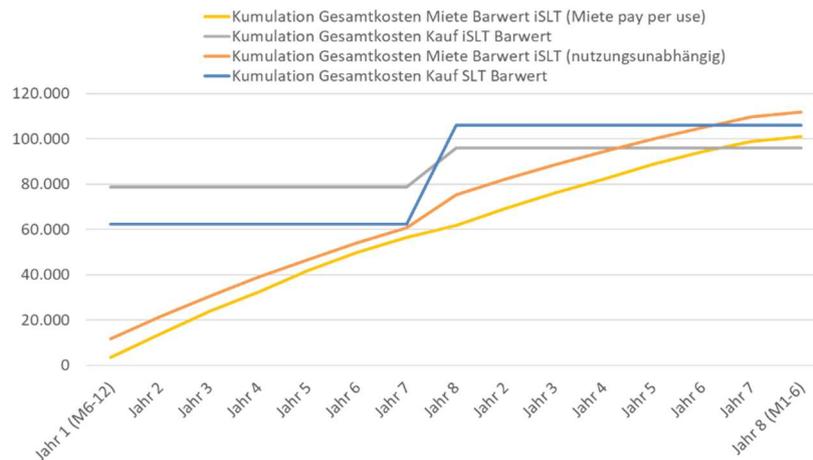


Abbildung 10-10: Exemplarische kumulierte Kosten der Geschäftsmodellvergleiche (Barwertbetrachtung)

Die dargestellten Ergebnisse sind im Projekt generierte repräsentative Analysen, welche eine hohe Sensitivität gegenüber den gemachten Annahmen aufweisen. Die wesentlichsten Einflussfaktoren sind die Volatilität und Belastbarkeit der angenommenen Bedarfe für iSLT in den einzelnen Monaten entlang der betrachteten Lebenszyklen. Zudem haben die i.O. /n.i.O. Quoten am Ende eines iSLT-Lebenszyklus einen wesentlichen Einfluss auf die die Kalkulation der Mietkosten. Auch der Projektzins zur Abzinsung der Mietzahlungen wirkt sich sehr sensibel auf die Vergleiche aus. In einer realen Umgebung sollte dieser Zins sich an internen Renditeanforderungen an Investitionsprojekte orientieren, weshalb er insbesondere bei kapitalmarktorientierten Unternehmen höher liegen kann. Ein höherer Zins würde die Vorteilhaftigkeit der Mietmodelle ceteris paribus weiter erhöhen.

Bei der wirtschaftlichen Bewertung der Mietmodelle entstanden verschiedene qualitative Herausforderungen, die bei der Realisierung von Mietmodellen für Sonderladungsträger zwischen Anbieter und Kunde gelöst werden müssen und nur zum Teil im Projekt abgebildet werden konnten.

Die Annahme des Verbleibs eines iSLT im Behälterkreislauf in Perioden der Nicht-Nutzung trägt der hohen Anforderung an iSLT-Verfügbarkeiten im durch iSLT abgewickelten Just-In-Sequence Prozess im Projekt iSLT Rechnung. Die initialen Planungen für die Produktionsauslastungen eines Derivats werden zu verschiedenen Zeitpunkten z.B. aufgrund von Nachfrageveränderungen oder Lieferverzögerungen von Fahrzeugteilen adaptiert. Mit einer Rücksendung und Wiederbereitstellung von iSLT-Kapazitäten sind prozessuale Kosten und Vorlaufzeiten verbunden, die eine vor Ort Bereitstellung auch nicht genutzter Kapazitäten sinnvoll erscheinen lässt. Eben diese Anpassungen der Produktionsplanungen und somit der Behälterbedarfe sind nur in geringem Maße plan- und prognostizierbar, da bei OEMs eine integrierte Steuerung der verschiedenen gleichzeitig produzierten Derivate erfolgt. Die damit verbundene Unsicherheit erschwert die Kalkulation von Mietmodellen, insbesondere Pay per Use Modellen, was zu höheren Risikoaufschlägen z.B. in Gemeinkosten oder Mietpreisen führt. Die im Modell angenommene differenzierte Handhabung von in einem Monat zu nutzenden und nicht zu nutzenden iSLT im Pay per Use Modell ist in der Realität aufgrund von häufig im Pulk erfolgenden Bereitstellungen leerer iSLT schwer vorstellbar. Über die am iSLT angebrachte IoT-Lösung könnte ein Hinweis zur Sperrung eines iSLT erfolgen, dennoch wären prozessuale Anpassungen im iSLT-Handling bei Zulieferer und OEM erforderlich. Im Mietszenario Pay per Use ist das Ziel, die Kosten der iSLT-Verfügbarkeit für den OEM zu reduzieren. Unter der Gegebenheit der Standorte der am Mietmodell beteiligten Akteure war eine direkt proportionale Zunahme der Prozesskosten für Transport, Demontage und Remontage zur Flexibilisierung der Zahlungen erkennbar. Diese Erkenntnis führte zur

Ausgestaltung des Modells mit einem Verbleib überschüssiger iSLT-Kapazitäten im Behälterkreislauf mit einer reduzierten Miete für Perioden der Nicht-Nutzung. Während die Reduktion von Kapitalkosten durch Verschiebung der Kosten von Investitionsbudget in laufende Budgets vorteilhaft gesehen wird, sind hiermit Veränderungen in traditionellen Einkaufs- und Budgetierungsprozessen erforderlich. Gleichwohl initiale Investitionskosten konkret quantifizierbar sind, ist die Abschätzung der Höhe und des Zeitpunkts laufender Mietzahlungen in Pay per Use Modellen vor dem Hintergrund der oben ausgeführten Unsicherheit in der Produktionsplanung eines Derivats herausfordernd. Im industriellen Umfeld gibt es für standardisierte Ladungsträger, wie z. B. für Reifengestelle, bereits Mietmodelle, in denen nutzungsunabhängige Modelle realisiert sind. Die Individualität von Sonderladungsträgern, die Heterogenität zwischen Bedarfen unterschiedlicher OEM und die Unsicherheit der iSLT-Bedarfe ließen keine Mietmodelle für ähnliche komplexe Güter erkennen, weshalb die Mietmodelle im Projekt auf Annahmen, z. B. bei i. O. und n. i. O. Quoten, basieren. So wurde im Projekt die Annahme getroffen, dass die Mietobjekte iSLT am Ende ihres Lebenszyklus als i. O. Objekte an den Vermieter retourniert werden. Bei der Beschaffung von iSLT über ein Mietmodell kann eine Anpassung der Einkaufsrichtlinien in Unternehmen erforderlich sein, um bspw. Single-Sourcing Beschränkungen aufzugeben. Die im Projekt kalkulierten Preismodelle haben einen exemplarischen Charakter, um die Wirtschaftlichkeit vor dem Hintergrund der Modularität und der oben beschriebenen Komplexität zu betrachten. Es sind verschiedene Adaptionen der Preismodelle, z. B. mit festgelegten Mindestnutzungen je Periode, degressiv verlaufende Mietraten zum Ende von Derivatslaufzeiten oder auch saisonale Mieten vorstellbar. Zur Kalkulation und Auswahl ist eine Analyse, der im Derivat erwarteten, Bedarfe für iSLT Kapazitäten erforderlich. Eine Abrechnung der Mietmodelle ist auf Basis der Daten aus der IoT-Lösung vorstellbar.

<p>Sicherheit/ Verfügbarkeit</p> <p>Hohe Anforderung an iSLT-Verfügbarkeit im JIS-Prozess</p>	<p>Prognose</p> <p>Zuverlässigkeit/ Genauigkeit Produktionsplanung → Planbarkeit/ Prognose Mietbedarfe herausfordernd</p>	<p>Handling</p> <p>Gemietete und Eigentums-Behälter müssen prozessual gleich gehandhabt werden</p>	<p>Prozesskosten</p> <p>Prozessuale Kosten für Anmietung und Rückgabe direkt proportional zu Flexibilität</p>
<p>Budgetierung</p> <p>Verschiebung iSLT Kosten im Lebenszyklus von Invest in Budget des Derivats</p>	<p>Erfahrung</p> <p>Keine Erfahrungen für SLT-Miete identifizierbar, Recherche nach Analogien (z.B. Gerüstbau), Annahmen erforderlich</p>	<p>Lieferantenmanagement</p> <p>Vermeidung von Single-Sourcing im Einkauf – Koordination von Mieten mit zusätzlichem Aufwand</p>	<p>Kosten</p> <p>Vielfältige Preismodelle für Mieten vorstellbar, Veränderungen in den Prozessen erforderlich – TargetCosting möglich</p>

Abbildung 10-11: Übersicht Herausforderungen zur Umsetzung von Mietmodelle für iSLT

Analog dem ausgewiesenen Beispiel wurden die Szenarien für weitere Ladungsträger verglichen. Dabei konnte erkannt werden, dass iSLT, mit geringen Wiederverwendungsquoten für Komponenten im zweiten Lebenszyklus, z. B. aufgrund eines hohen Anteils an kundenspezifischen Sonderteilen, in den Mietmodellen nicht immer wirtschaftlich sind.

Die im Projekt erfolgten Berechnungen weisen aufgrund von Geheimhaltungsvereinbarungen die tatsächlichen Kosten, wie z. B. Gemeinkostenquoten für Komponenten, Prozesskosten Demontage und Remontage nicht aus. Die dargestellten Werte entsprechen in Relation den realen ermittelten Werten.

11 Evaluation der Projektergebnisse

11.1 Allgemeine Evaluation

Zum Abschluss des Projekts wurde im letzten Arbeitspaket eine Evaluation aller Ergebnisse durchgeführt. Mit dieser Evaluation hat man einerseits das beantragte, andererseits die Einschätzung der Projektpartner mit den Ergebnissen abgefragt. Im Focus der Einschätzung standen mehrere Kriterien. Hier wurde unterschieden zwischen Haupt- und spezifischen Kriterien. Zu den Hauptkriterien zählten die Funktionalität, Wirtschaftlichkeit, Akzeptanz und zukünftige Marktaussichten zur Weiterentwicklung der Lösung. Die spezifischen Kriterien waren jeweils bezogen auf den Evaluationsfocus. Kernaussage der Evaluation war, dass die Funktionalität des Gesamtsystems überzeugt und die Machbarkeit bewiesen wurde. Es sind viele Anforderungen erfüllt worden obwohl zu Beginn des Projekts mehr Erwartungen an die IoT Technologien gestellt wurden. Mit der Evaluierung konnte jedoch nur die Spitze des Eisbergs betrachtet werden, da die Projektergebnisse sehr umfangreich sind. Schlussendlich konnte mit dem Projekt die Grundlage und der Beweis für die Funktionalität eines iSLT.NET – Netzwerk für intelligente Sonderladungsträger erbracht werden.

11.2 Kosten-Nutzen Bewertung der iSLT.NET-Projektergebnisse

11.2.1 Integrierter Ansatz zur Bewertung der Kosten und Nutzen

Im Projekt iSLT.NET wurden vor dem Hintergrund der Projektziele und der zu entwickelnden Produkt-Service Systeme (PSS) verschiedene Ziele für die Bewertung von Kosten und Nutzen betrachtet. Produkt-Service Systeme sind Systeme, die aus materiellen Produkten und immateriellen Dienstleistungen bestehen, die so gestaltet und kombiniert werden, dass sie gemeinsam in der Lage sind, spezifische Kundenbedürfnisse zu erfüllen (Tukker, 2004, S. 246). Dabei können die im Projekt realisierten Dienstleistungen und Geschäftsmodelle den drei Arten an PSS zugeordnet werden:

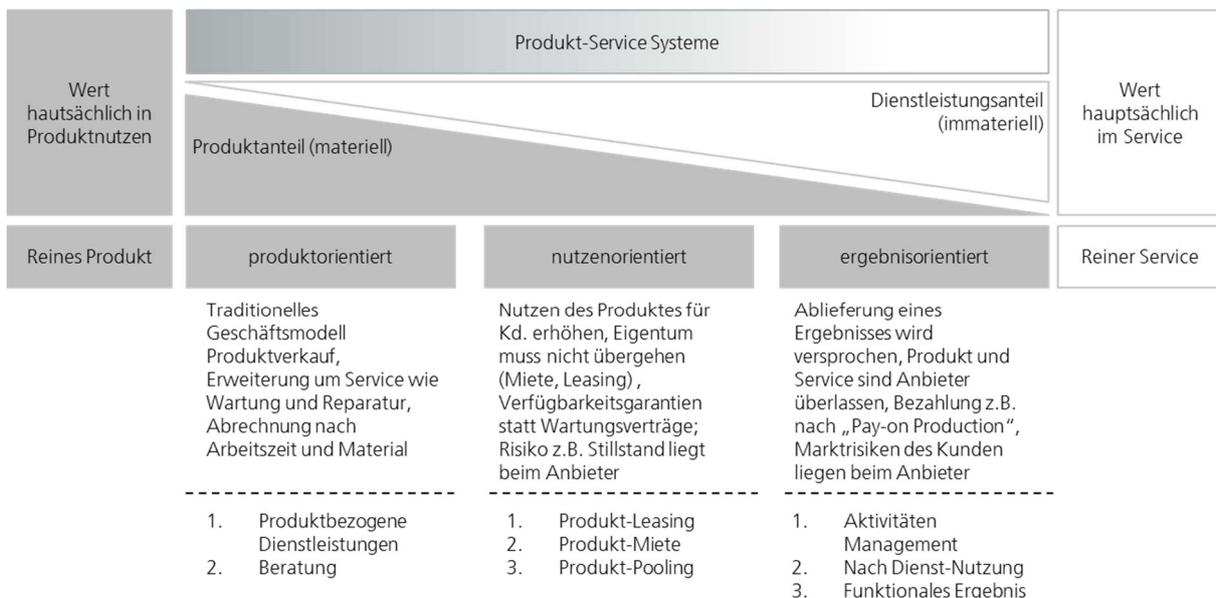


Abbildung 11-1: PSS Klassifizierung in Anlehnung an Tukker 2004

Die bisher verbreiteten Motivationen PSS anzubieten, beziehen sich auf die Möglichkeit der gleichzeitigen Kostenminimierung und Umweltschonung durch Kreislaufwirtschaften, sowie

der Generierung zusätzlicher Einnahmen durch Servicegebühren (Meier, 2010, S. 612 f.) Mit einer zunehmenden Orientierung vom Verkauf von Produkten hin zum Produkt-ergebnisorientierten Service-System (PSS) gehen Kosten vom Kunden zum Anbieter über. (Kambanou & Lindahl, 2016, S. 186). Diese Verantwortung des Anbieters für das Produkt und seine Lebenszykluskosten ist ein Anreiz, Produkte hinsichtlich ihrer Effizienz weiterzuentwickeln (Tukker, 2004, S. 255), (Kambanou & Lindahl, 2016, S. 186). Sofern Anbieter von PSS ein tiefgehendes Verständnis der tatsächlichen Kosten eines Service haben, können sie diesen optimieren und potentiell höhere Gewinne erzielen (Meier, 2010, S. 614). Zudem liefert die Kenntnis der Lebenszykluskosten eines PSS Transparenz darüber, wer von möglichen Kostenvorteilen entlang des Lebenszyklus profitiert (Kambanou & Lindahl, 2016, S. 188).

(Sehn, Erkoyuncu, Roy, & Wu, 2017) stellen in einer Untersuchung der vorhandenen Literatur fest, dass Lebenszykluskostenanalysen für die Evaluation von PSS verbreitet sind. In einer tiefergehenden Analyse der berücksichtigten Kosten in den existierenden Modellen ist jedoch nicht ersichtlich, dass IoT-bezogene Kosten, wie z.B. für Technologien, Vernetzung oder Datenbanken, berücksichtigt sind. (Sehn, Erkoyuncu, Roy, & Wu, 2017, S. 4 und 8) Unter Berücksichtigung der Potentiale durch Integration von intelligenten Komponenten traditionelle Produkte zu smarten Produkten weiterzuentwickeln und auf Basis der generierten Daten neue Services anzubieten, müssen die IoT- bezogenen Lebenszykluskosten als Grundlage von PSS ermittelt werden. Zudem müssen die Ansätze, wie z.B. Modularität von Produkten, welche in PSS umweltorientierte Mehrwerte hinsichtlich nutzungsorientierter PSS und Kreislaufwirtschaften erzielen sollen, bewertet werden. Aus Sicht der Anbieter ist das Angebot neuer Geschäftsmodelle mit zusätzlichen Kosten verbunden, die z.B. durch neue Prozesse, der Übernahme von Aktivitäten oder dem Einsatz von Technologien entstehen können. Für Nutzer ist bei neuen Geschäftsmodellen, ähnlich einer Make/Buy Entscheidung relevant, wie sich die eigenen Kosten über den Lebenszyklus verändern.

Vor dem Hintergrund dieser Aspekte rund um die Wirtschaftlichkeit von PSS und der im Projekt formulierten Bestrebungen wurden konkrete Ziele für die Bewertung von Kosten und Nutzen bestimmt:

- 1) Intelligenz und Modularität: durch eine explizite Betrachtung der Kosten und Nutzen der Intelligenz und der Modularität am iSLT soll eine Bestimmung der Mehrwerte beider Aspekte möglich sein.
- 2) Lebenszyklus iSLT: Mit dem Ziel die Kosten für die beteiligten Akteure ganzheitlich zu analysieren zu können und eine Entscheidungsgrundlage für die kostenorientierte Auswahl von PSS zu ermöglichen, soll eine Bewertung der Lebenszykluskosten über mindestens zwei Lebenszyklen von iSLT erfolgen.
- 3) Bewertung der Geschäftsmodelle: Unterschiedliche PSS sind mit unterschiedlichem quantitativem und qualitativem Nutzen und Kosten für die einzelnen Akteure verbunden. Die konkrete Bewertung soll ein Mietmodell modularer iSLT über zwei Lebenszyklen ermöglichen.

Zur Erreichung dieser Ziele wurde im Projekt ein integrierender, lebenszyklusorientierter Ansatz zur Bewertung von Kosten und Nutzen für ein Referenzeinsatzszenario eines Derivats verfolgt.

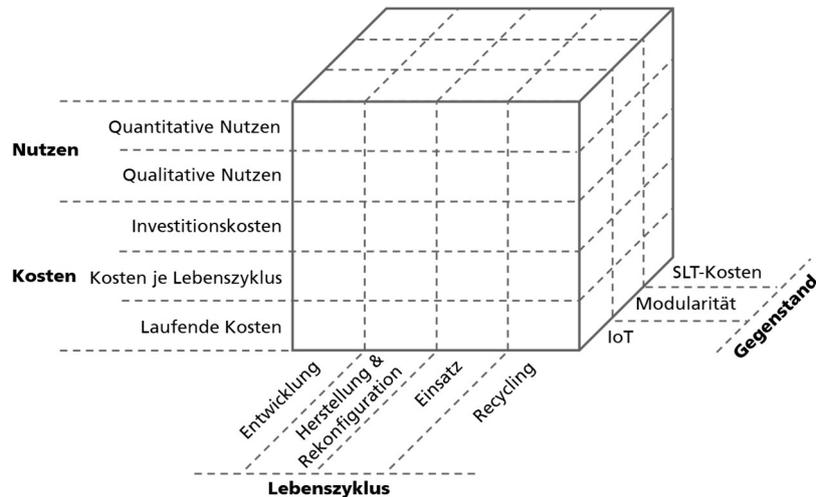


Abbildung 11-2: Integriertes Kosten-Nutzen Modell im Projekt iSLT.NET

Grundlage des Ansatzes stellt ein Lebenszyklusmodell über die vier Phasen Erstellung, Herstellung und Rekonfiguration, Einsatz und Recycling dar (x-Achse). Die Betrachtung des Lebenszyklus ist für die Entwicklung smarter PSS erforderlich, da das Angebot von Services entlang des Lebenszyklus, die Umsetzung von Geschäftsmodellen wie Miete oder Pay per Use sich auf den Lebenszyklus des physischen Produkts im smarten PSS beziehen. Eine lebenszyklusorientierte Analyse der Kosten kann zudem die Grundlage für Verhandlungen, Ausgestaltungen und die Bestimmung der Mehrwerte von smarten PSS für alle Beteiligten sein (Kambanou & Lindahl, 2016)

In der Entwicklungsphase werden die Entwicklung von physischen Komponenten des iSLT, wie z.B. der modularen Bauteile und der Hardware der Intelligenz betrachtet für das im Projekt bearbeitete Szenario betrachtet. Zudem sind die Aktivitäten zum Aufbau von Softwarebestandteilen, wie z.B. Cloud Anwendungen Inhalt der Entwicklungsphase. Die zweite Phase des Lebenszyklus fokussiert die Herstellung der iSLT aus einem modularen Baukasten plus zusätzlicher Sonderteile sowie die Verbindung mit der Intelligenz und deren Inbetriebnahme. Die Bezeichnung Rekonfiguration bezieht sich auf die angestrebte Betrachtung von mindestens zwei Lebenszyklen und der Annahme, dass im zweiten Lebenszyklus für einen bestimmten iSLT keine Entwicklungsarbeiten, sondern lediglich eine Rekonfiguration erforderlich sind. In der Einsatzphase werden alle mit der Verwendung von iSLT verbundenen Kosten und Nutzen betrachtet. Für eine Vergleichbarkeit von Kosten, insbesondere im Hinblick auf die Modularität, wurde die Phase Recycling am Ende des Lebenszyklus integriert.

Die zweite Dimension (y-Achse) im Modell veranschaulicht die betrachteten Charakteristika der Kosten und Nutzen. Bei den Kosten wird zwischen einmaligen Investitionskosten zur Realisierung der iSLT-Lösung, Kosten die je Lebenszyklus anfallen und laufenden Kosten unterschieden. Insgesamt wurden 96 mögliche Kostenpositionen im Modell berücksichtigt. Die Bewertung der Nutzen erfolgt differenzierend nach quantitativem und qualitativem Nutzen. Quantitative Nutzen stehen für einen in EUR messbaren Mehrwert, der aus vorhandenen Daten, Analysen oder Erfahrungswerten hergeleitet werden kann. Qualitative Nutzen können nicht in EUR gemessen, jedoch durch Experten eingeschätzt werden.

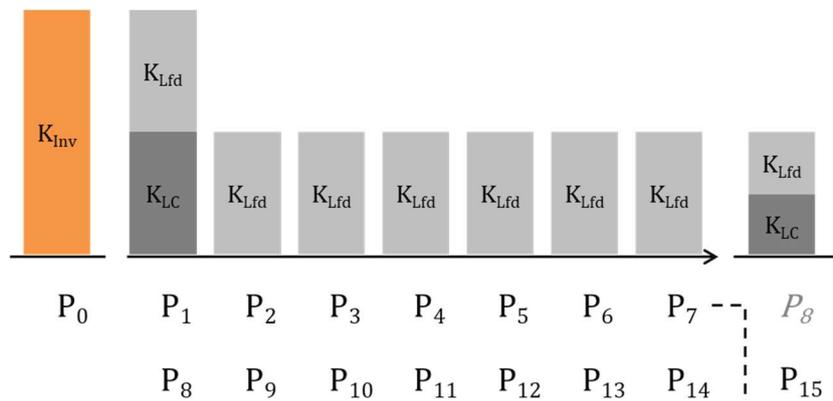


Abbildung 11-3: Schematische Darstellung der Kosten und Lebenszyklusbetrachtung

Annahme: iSLT Rekonfiguration nach 7 Jahren, Nutzung iSLT über zwei Lebenszyklen

K_{Inv} = Einmalige Investitionskosten für IoT und Modularität

K_{LC} = Einmalige Kosten je iSLT-Lebenszyklus

K_{Lfd} = Laufende Kosten, abhängig von iSLT Nutzung

In der dritten Dimension des Kosten-Nutzen Modells (z-Achse), werden die verschiedenen Betrachtungsgegenstände des Projekts differenziert. Neben der Modularität und Intelligenz, werden zudem iSLT bezogene Kosten, wie z.B. das Handling und Transportkosten berücksichtigt. Nachfolgend werden die betrachteten Kostenpositionen näher dargelegt.

Im lebenszyklusorientierten Modell wurden in der **Entwicklungsphase** SLT-Kosten für die Entwicklung der iSLT Außenbehälter, das Personal zur Planung der iSLT (exkl. der Verpackungsplanungen) Herstellungskosten für Muster iSLT und Vorserien-iSLT betrachtet. Zudem wurden die Kosten für die Vor-Ort Abstimmungs- und Abnahmetermine, die Transportkosten für die Anlieferung und die Kosten für Qualitätstests berücksichtigt. Für die Modularität enthält das Modell die Kostenpositionen der Kosten für die Produktentwicklung der Spezialmodule und der Innenleben der iSLT, für die Entwicklung von Sonderwerkzeugen, für Abstimmungen und Beratung über Modularitätsvarianten sowie die Planung und Konstruktion modularer Bauteile. Zudem sind Kosten für regelmäßige Abstimmungen von Modularitätsvarianten, Belastungs- und Einsatztests einzelner Bauteile vor Aufnahme in den Modularitätsbaukasten und die Implementierung neuer Bauteile in iSLT enthalten.

In der **Herstellungsphase** wurden SLT-Kosten für die Herstellung bzw. Anschaffung von Spezial Innenleben, iSLT-spezifische Qualitätstests und die Verpackung und Transportkosten erfasst. Für die Modularität sind Kosten zur Herstellung bzw. Anschaffung der Standard-Module für den Modulbaukasten des Außenbehälters und der Herstellung bzw. Anschaffung der Standard-Module für einen Modulbaukasten der Innenleben. Beide Positionen enthalten jeweils die erforderlichen Sicherheitsbestände. Zudem wurden Kosten für die Montage der iSLT, die Herstellung bzw. Anschaffung von Spezialmodulen für den Außenbehälter sowie das Handling der modularen Bauteile bei Demontage und Remontage, Regeneration oder Einlagerung der Teile betrachtet.

Für die Kosten in der **Einsatzphase** wurden für SLT-Kosten die Kosten der Lagerung, Kosten in Verbindung mit iSLT-Reklamationen und Reparaturkosten am physischen Außenbehälter

bewertet. Zudem wurden Kosten des intralogistischen iSLT-Handlings, des iSLT-Transports und einer möglichen Reinigung im Behälterkreislauf berücksichtigt. Die Kosten für den Ersatz verschwundener oder den Ersatz defekter bzw. verschrotteter iSLT und damit verbundener Kosten der Beschaffungsorganisation wurden ebenfalls betrachtet. Auch die Kosten für iSLT-Sicherheitsbestände und laufendes Behältermanagement sind erfasst worden. Für die Modularität wurden die mit zusätzlichen Sicherheitsbeständen für Ersatzteile für Reparaturen beim OEM, den Lagerungen der Modularitätsbauteile, der Lagerung der Innenleben und die Transportkosten der Modularitätsbauteile zu Montageorten verbundenen Kosten als Positionen im Bewertungsansatz aufgenommen. Daneben wurden als Kostenpositionen die Kosten in Verbindung mit einer Reparatur hochwertiger Modularitätsbauteile, Ersatzkosten für Modularitätsbauteile aufgrund von Schwund, mögliche Transportkosten von Modularitätsbauteilen zwischen Montagehubs und die Kosten der Koordination der Modularität bedacht.

Für die **Recyclingphase** wurden die SLT-Kosten der Entsorgung und Recycling des Innenlebens sowie für die Modularität die Entsorgungskosten für irreparable Außenbehälter und Modularitätsbauteile berücksichtigt.

Diese Kostenpositionen geben dem Modell einen umfassenden Betrachtungsrahmen, welcher die Kosten-Nutzen Betrachtung unterschiedlicher iSLT-Arten und Szenarien ermöglicht und auch für andere Ladungsträgerarten adaptierbar ist. Auch wenn im Referenzeinsatzszenario nicht alle Positionen relevant waren, hat diese umfassende Betrachtung der rund um iSLT entstehenden Kosten das Bewusstsein zur Frage der Wirtschaftlichkeit gestärkt und Entscheidungen im Forschungsprojekt gefördert.

11.2.2 Approximation der Gesamtkosten auf Basis der Projektaktivität

Für ein Verständnis der entlang des Lebenszyklus wurden die Lebenszykluskosten klassischer (Nicht modular, nicht intelligent) SLT durch die Akteure Projekt vorgenommen. In diese Betrachtung erfolgte die Erfassung der Kosten im traditionellen KAUF-Geschäftsmodell, in welchem der OEM Ladungsträger zu Beginn eines Derivats erwirbt und dem Wertschöpfungsnetzwerk als Transportkapazität zur Verfügung stellt. Auf Basis der IST-Prozesserhebung wurden die SLT-bezogenen Kosten für einen Lebenszyklus geschätzt. Für eine einfache Approximation erfolgte eine lineare Hochrechnung jährlicher Kosten auf die im Projekt angenommene Dauer eines SLT-Lebenszyklus von sieben Jahren. Für das betrachtete Referenzeinsatzszenario ergaben sich auf Basis von 166 SLT einer Spezifikation unter Inklusion der Innenleben je SLT Lebenszykluskosten i.H.v. 6.937 EUR über sieben Jahre. Die größten Kostenpositionen waren dabei die Kosten für internes Handling (41,0%), Transportkosten im Behälterkreislauf (28,8%), Herstellkosten eines Serien-SLT (15,6%), Lagerkosten (3,3%) und Kosten für Reparaturen (2,6%). Somit wurden die Lebenszykluskosten des SLT auf ein 5,6 faches der Entwicklungs- und Herstellungskosten geschätzt (Annahme Entwicklungs- und Herstellungskosten Außenbehälter und Innenleben = 1.253 EUR).

Für die Kosten-Nutzenbewertung wurde das unter Kapitel 11.2.1 beschriebene integrative Modell mit einer Ergänzung von Kosten in Verbindung der Modularität und der IoT-Lösung erweitert. Zur präziseren Bewertung wurden die Verteilung der Kosten über die Lebensdauer auf Basis einer geplanten Auslastung und entsprechenden Nutzung von iSLT dynamisiert. Monatliche Produktionsplanungen wurden z.B. für die Berechnung der Transportkosten, der Kosten für internes Handling, Reparaturen und Buchungen zu Grunde gelegt. Die Gesamtkosten je iSLT für SLT-Kosten, Modularität und IoT-bezogene Lebenszykluskosten

belaufen sich im Szenario auf 14.111 EUR je iSLT, wovon 7.430 EUR auf den ersten Lebenszyklus Jahr 1-7 entfallen. Hierdurch ergibt sich im Projekt zwischen den Anschaffungskosten eines iSLT und den Lebenszykluskosten für den ersten Lebenszyklus ein Faktor 6,5 und von 12,2 für beide betrachteten Lebenszyklen.

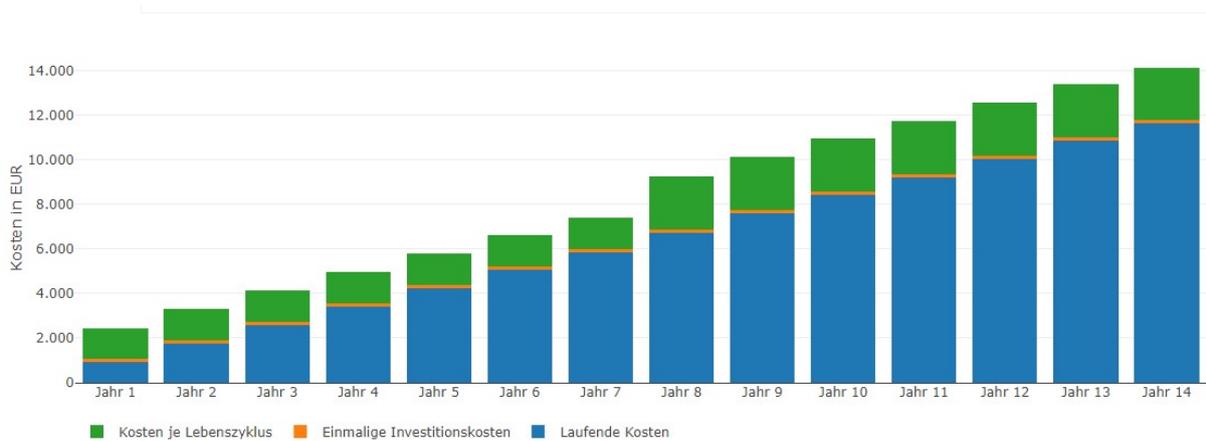


Abbildung 11-4: Gesamtkosten je iSLT im Referenzeinsatzszenario

11.2.3 Qualitative Nutzen der Intelligenz und Modularität am iSLT

Für die Beurteilung des Mehrwerts der iSLT.NET Ziele wurde eine Betrachtung der Nutzen durchgeführt. Unter Nutzen wurden dabei quantifizierbare Mehrwerte wie z.B. Reduktionen in Materialkosten, Prozesskosten oder Personalkosten verstanden. Im Projekt wurden für die Bestimmung der Nutzen verschiedene Quellen berücksichtigt.

- Schwachstellenanalyse: die existierenden Prozesse des Behältermanagements bei den am iSLT-Kreislauf beteiligten Akteuren wurden in Hinblick auf Ihre Schwachstellen untersucht. Für diese Schwachstellen wurden potentielle durch die Projektergebnisse entstehende Mehrwerte gesammelt.
- Wissenschaftliche Erkenntnisse: Die Vision intelligenter Behälter und modularer Behälter ist ein in der Literatur verbreitet untersuchtes Themenfeld. Durch die Analyse von Publikationen (vgl. Klötz & Pflaum, 2015) und der Berücksichtigung von durch Forschungspartner gemachte Projekterfahrungen berücksichtigt.
- Expertenschätzungen: Um die Einschätzungen der am Projekt beteiligten Experten zu berücksichtigen, wurden nach der Konzeptionsphase der iSLT-Lösung über die Anwendung der 6-3-5 Methode weitere Nutzenpotentiale bestimmt.

Die identifizierten Nutzen wurden mit Experten der beteiligten Akteure diskutiert. Es wurde deutlich, dass die Quantifizierbarkeit der Kosten auf Basis, der im Laufe des Projekts erreichbaren Informationslage nicht vollständig vorgenommen werden kann. Zur ganzheitlichen Betrachtung der Nutzen wurden Nutzen daher in eine qualitative Bewertung übernommen. Somit waren insgesamt 30 qualitative Nutzen, 20 für IoT und 10 für die Modularität bestimmt. Für die Bewertung des qualitativen Nutzens durch die Experten wurden zwei Leitfragen formuliert:

- 1.) Wie hoch schätzen Sie nach den bisherigen Erfahrungen den qualitativen Nutzen durch den Einsatz von iSLTs ein?
(Antwortmöglichkeiten 1 = gering, 2 = eher wenig, 3 = teil/teils, 4 = eher hoch, 5 = hoch)

- 2.) Inwiefern würde der qualitative Nutzen eine Realisierung des iSLT-Konzeptes rechtfertigen, auch wenn der BusinessCase negativ ist?
 (Antwortmöglichkeiten 1 = auf keinen Fall, 2 = eher nicht, 3 = Vielleicht, 4 = eher rechtfertigen, 5 = auf jeden Fall rechtfertigen)

Eine Kategorisierung zeigt ein differenziertes Bild der Nutzen. Im 2. Quadranten sind die Nutzenpotentiale abgebildet, denen ein qualitativer Nutzen in einer Höhe zugesprochen wird, dass der qualitative Nutzen auch einen negativen Business Case rechtfertigen würde. Diese Nutzenpotentialen sind zum Beispiel eine Transparenz durch die Daten der IoT-Lösung zur Erkennung von Fehlerbildern und Störungen aus dem Feldeinsatz der iSLT für Produkt- und Prozessverbesserungen (1). Die Möglichkeit des automatisierten Auslösens von Events in Abhängigkeit von Toleranzen bei der Zustandsüberwachung wurde ebenfalls positiv bewertet (2). Bei Schäden wird der Mehrwert einer Transparenz zur Rückverfolgbarkeit und Identifikation von auftretenden Schäden z.B. zum sofortigen Auslösen von Gegenmaßnahmen oder der Klärung von Haftungsfragen hoch eingeschätzt (3). Ein automatisiertes Reporting über iSLT-Informationen wie z.B. Umlauftage, Nutzungsgrad u. ä. wurde ebenfalls in den 2. Quadranten bewertet (5). Durch die Daten rund um den iSLT wird auch eine bessere Entscheidungsgrundlage für Planungen und bei Störungen oder für Notfallmaßnahmen in Behälterprozessen als vorteilhaft beurteilt (19). Grundsätzlich wird der Automatisierung von Analysen auf der iSLT.NET Plattform und der Bereitstellung von Daten ein Nutzen zugesprochen (8).

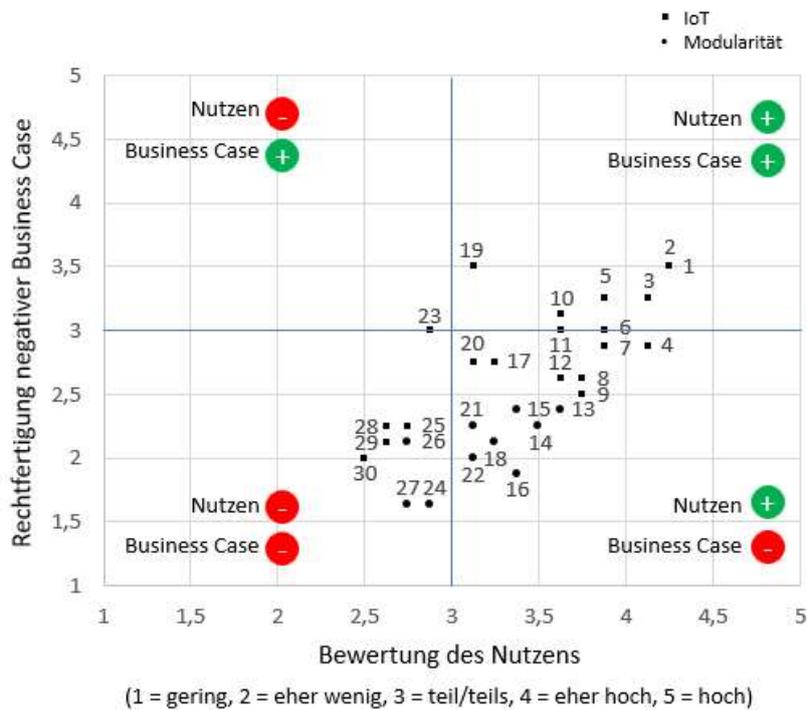


Abbildung 11-5: Bewertung qualitativer Nutzen der iSLT.NET Lösung für Modularität und IoT

Top 10 (4,25 – 3,6 Punkte)

iSLT-Entwicklung	IoT	Transparenz über Fehlerbild/ Störungen aus Feldeinsatz für Produkt- und Prozessverbesserungen
iSLT-Einsatz	IoT	Automatisiertes Auslösen von Events in Abhängigkeit von Toleranzen bei der Zustandsüberwachung
iSLT-Einsatz	IoT	Transparenz zur Rückverfolgung und Identifikation des Schadens (z.B. Neubestellung bei Überschreitung Toleranzbereichs, Klärung von Haftungen)
iSLT-Entwicklung	IoT	Aufbau Erfahrungen zur Realisierung von IoT-Lösungen (Software und Hardwareaufbau)
iSLT-Einsatz	IoT	Transparenz über die iSLT-Informationen durch automatisiertes Reporting (z.B. Umlaufzeit, Nutzungsgrad usw.)
iSLT-Einsatz	IoT	Imageverbesserung für Unternehmen durch innovative Öffentlichkeitswirkung (und Leuchtturmwirkung à positives Ansehen auch intern von andere Abteilungen)
iSLT-Einsatz	IoT	Intensivierung Kundenbindung durch technische Anbindung und Nutzung von datenbasierten Dienstleistungen
iSLT-Einsatz	IoT	Automatisierung von Analysen auf der Plattform und Bereitstellung von Informationen für beteiligte Akteure
iSLT-Einsatz	IoT	Transparenz über indiv. iSLT zum Reparaturdienstleister verbessert Reparaturprozess und Kostenkontrolle über Reparaturen
iSLT-Einsatz	IoT	Prozessoptimierungen nach verschiedenen Zielgrößen (z.B. Durchlaufzeiten, Auslastungen usw.)

Abbildung 11-6: Tabelle Top 10 qualitative Nutzen

Als ein weiterer qualitativer Nutzen wird der Aufbau von Erfahrungen zur Realisation von IoT-Lösungen bei Mitarbeitern und der Organisation gesehen (4). Auch der fortlaufende Betrieb der IoT-Lösungen liefert wertvolle Erfahrungen (11). Das Image der beteiligten Unternehmen an einer innovativen Lösung kann durch positives Ansehen intern und durch externe Akteure verbessert werden (6). Die technische Anbindung und Nutzung von datenbasierten Dienstleistungen entlang des iSLT-Lebenszyklus führt zu einer intensiveren Kundenbindung zwischen iSLT-Hersteller und OEM (7). Der Reparaturprozess für iSLT kann durch eine Transparenz z.B. der Erschütterungen und Geo-Daten mit einem Reparaturdienstleister verbessert werden und die eindeutige Identifikation der iSLT ermöglicht eine präzise Kostenkontrolle im Reparaturprozess (9). Durch die Vielfalt an prozessualen Daten, die auf der Plattform bereitgestellt werden, entstehen mit der Zeit Datengrundlage, durch die Prozessoptimierungen nach verschiedenen Zielgrößen, wie z.B. Durchlaufzeiten, Auslastungen, Kreislaufauslegungen u.ä. möglich werden (10). Eine Selbststeuerung von Prozessen, wie z.B. Wartung des iSLT oder Instandhaltung des IoT-Device werden ebenfalls als Potentiale angesehen (20). OEMs und Zulieferer können sich gegenüber ihren Kunden durch den Einsatz smarter Produkte in ihrer Wertschöpfung differenzieren (12). Zudem wird erwartet, dass die benötigten Sicherheitsbestände an iSLT durch die Transparenz und flexible Bereitstellung reduziert werden können (17). Insgesamt werden stabilere Prozesse durch die durch iSLT gewonnene Informationsverfügbarkeit als Vorteil gesehen (23).

Die Modularität wird ebenfalls mit Nutzen verbunden, die jedoch keinen negativen Business Case begründen. So wird die Reduktion von Kosten für Werkzeuge in der Fertigung der modularen Bauteile durch größere Serien als Nutzen eingeschätzt (13). Auch wird in Reduktion des Personalaufwands zur Ersatzbeschaffung defekter iSLT ein möglicher Nutzen gesehen, da der Abstimmungsaufwand aufgrund der standardisierten modularen Komponenten abnimmt (14). Bei zusätzlichen Bedarfen für iSLT Kapazitäten wird eine flexible

Bereitstellung und schnellere Lieferungen erwartet (15). Das digitale Abbilden von Ladungsträgern und ihren modularen Varianten in einem Produktkonfigurator verbessert die Akquisitionsmöglichkeiten (16). Ein weiterer Vorteil wird in der Reduktion des Planungsaufwands gesehen, der durch den standardisierten Baukasten sinkt (18). So können Angebote für Kunden flexibilisiert und Behälter schneller beschafft werden (21). Die Weiterverwendung von Komponenten kann die Entsorgungskosten von Stahl-Ladungsträgern reduzieren (22).

Keine positiven Bewertungen bekamen auf Basis der durch die prototypische im Projekt gemachten Erfahrungen und Erkenntnisse die initial angestrebten Nutzenpotentiale einer Reduktion der Abstimmung in der iSLT-Entwicklung für ein Derivat (24). Auch das Nutzenpotential automatisierter Dokumentationen von betriebsrelevanten Informationen (z.B. für Wartungen oder gesetzliche Prüfungen) wurde nicht positiv eingeschätzt (25). Ebenso liess sich an den Referenz-iSLT keine Optimierung von SLT-Packdichten durch Beratungsleistungen für das modulare iSLT Konzept erkennen (26). Auch die anwenderübergreifende Entwicklungsarbeit von standardisierten Innenleben wird nicht als Potential gesehen (27). Ebenso wird eine initial erwartete Steigerung der Motivation von Mitarbeitern durch den Einsatz der Plattform u.a. aufgrund geringerer Anlernphasen und Reduzierung des Stresses für Mitarbeiter nicht als Nutzen beurteilt (28). Eher keine Erhöhung wird in der Geschwindigkeit der Serienbetreuung erwartet, ebenso wie keine Reduktion der Anzahl der Eskalationen erwartet wird (29). Die Ausarbeitungen im Projekt, ließen auch die Möglichkeit einer automatisierten Ermittlung des CO2 Footprints am Ende des Lebenszyklus z.B. über Einsatzzeiten, nicht als Potential einschätzen (30).

Fazit: Über das gesamte Management von Sonderladungsträgern bestehen umfangreiche Potentiale, die auf Ebene der einzelnen intelligenten Sonderladungsträger variieren können. Die für die iSLT.NET Lösung initial identifizierten Nutzenpotentiale wurden auf Basis der Erfahrungen und Erkenntnisse aus der prototypischen Umsetzung im Projekt bewertet. Es wurde deutlich, dass eine Vielzahl qualitativer Nutzenpotentiale identifiziert und im Projekt positiv eingeschätzt wurde. Die begrenzte Umsetzung im Projekt ließ einige Nutzenpotentiale sogar so positiv erscheinen, dass sie einen negativen Business Case durch ihren qualitativen Mehrwert rechtfertigen würden.

11.2.4 Quantitative Nutzen der Modularität

Ein wesentlicher Bestandteil der wirtschaftlichen Evaluation der iSLT-Lösung bestand in der Analyse der Nutzen der Modularität. Die wirtschaftliche Evaluation von modularen Ladungsträgern ist in der Wissenschaft bereits untersucht worden (vgl. Rosenthal A., 2016), so dass auf diesen Vorerkenntnissen aufgebaut werden konnte. Im Projekt iSLT.NET wurden modulare Sonderladungsträger entwickelt, die sich von standardisierten modularen Ladungsträgerkonzepten durch einen höheren Preis, je Anwendungsszenario individuelle Spezifikationen vorweisen, in geringen Stückzahlen produziert werden und je Spezifikation eine begrenzte Lebensdauer haben. Als Ziel der Modularität wurde für iSLT die Vereinheitlichung der Zusammensetzung von Sonderladungsträgern mit einer Verwendung von Komponenten über verschiedene Lebenszyklen festgelegt. Entsprechend wurde das unter Kapitel 5.1 beschriebene Modularitätskonzept entwickelt. Für die Bewertung der Modularität wurde der Fokus auf den Außenbehälter der iSLT gelegt, da die Entwicklung einer Modularisierung und Standardisierung von Innenleben nicht Gegenstand des Projektes war. Zum einen wurde die Betrachtung des Mehrwerts der Modularität auf die laufende Instandhaltung betrachtet und zum anderen wurden die lebenszyklusübergreifende Verwendung von Komponenten untersucht.

Abhängigkeit der Spezifikation als geringe, mittlere oder hohe Aufwände und entsprechende Kosten einberechnet.

Für acht iSLT-Spezifikationen konnten, durch vorliegende Angebotspreise aus der Vergangenheit, die Kosten der iSLT über zwei Lebenszyklen mit den Anschaffungskosten klassischer, nicht modularer SLT verglichen werden. Exemplarisch sind für einen iSLT-Typ die Anschaffungskosten unter Verwendung der Modularität über zwei Lebenszyklen in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Es werden die Anschaffungskosten eines gebrauchten iSLT, eines iSLT aus Neuteilen und eines SLT für einen weiteren iSLT-Lebenszyklus verglichen. Die unterschiedlichen i.O.-Quoten veranschaulichen die angenommene Wiederverwendungsfähigkeit der Bauteilgruppen am Ende des ersten Lebenszyklus, ausgedrückt in prozentualen i.O. Quoten. Für die Zusammensetzung von iSLT für einen zweiten Lebenszyklus, können die i.O. Bauteile unter Annahme der gleichen Stücklisten für den zweiten Lebenszyklus verwendet werden.

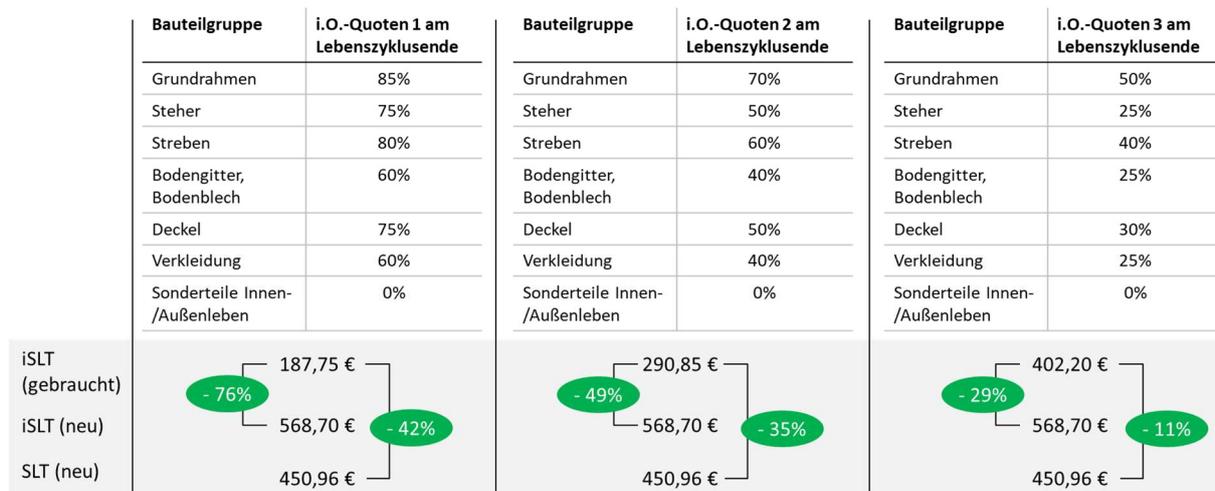


Abbildung 11-8: Vergleich der Anschaffungskosten der Außenbehälter im zweiten Lebenszyklus

Im Ergebnis liegen die iSLT, in welchem gebrauchte, modulare Komponenten verbaut werden, bei dieser exemplarische iSLT-Spezifikation zwischen 11% und 42% unter den Anschaffungskosten nicht modularer SLT. Die initiale Anschaffung von iSLT, welche auf einem modularen Konzept basieren, ist teurer als die Anschaffung von nicht modularen iSLT. Das Verhältnis an Kosten eines modularen iSLT zu den Kosten eines nicht modularen SLT liegt dabei mit 126% in einem ähnlichen Rahmen, wie im Forschungsprojekt ReBox (Schuh, 2012).

Durch die Analyse von Szenarien mit einem in Szenariorechner (Microsoft Excel) wurden auf Basis der im Projekt angesetzten Kosten weitere Erkenntnisse generiert. Die Abschätzung der i.O. in den verschiedenen Szenarien zeigt die hohe Auswirkung auf die Kosten der iSLT im zweiten Lebenszyklus. Die Dauer eines iSLT-Lebenszyklus von sieben Jahren verhinderte eine belastbare Bestimmung realistischer Erfahrungswerte für die i.O. Quoten am Ende des ersten iSLT-Lebenszyklus. Zwar können die Wiederverwendung Bauteilen und die Rekonfiguration von iSLT deren Anschaffungskosten in einem zweiten iSLT-Lebenszyklus reduzieren, doch müssen prozessuale Kosten in die Betrachtung einfließen. Für die Zusammenführung gebrauchter Komponenten für einen zweiten Lebenszyklus können Transportkosten anfallen. Zudem sind, je nach Komplexität die Kosten für die Demontage und Remontage eines iSLT nicht unerheblich. In einer summierenden Betrachtung dieser Kosten, variiert die Wirtschaftlichkeit von Szenario zu Szenario und je nach Komplexität der iSLT-Spezifikation deutlich.

Die in diesem Projekt fokussierte Betrachtung des Außenbehälters darf die Bedeutung des Innenlebens für die Gesamtanschaffungskosten nicht außer Acht gelassen werden. Unter den

betrachteten 32 iSLT-Spezifikationen können die Kosten für ein Innenleben bis zu 65% der Anschaffungskosten eines neuen, iSLT ausmachen. Bei iSLT mit entsprechenden Innenleben relativiert sich der Mehrwert der Modularität eines Außenbehälters bei der Betrachtung von Gesamtanschaffungskosten. Ebenso haben individuelle Sonderteile, die nicht Teil des Modularitätskonzeptes sind, relativierende Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der Modularität von iSLT Außenbehältern. Trotz der begrenzten Betrachtungen im Rahmen des Projekts kann der Modularität ein quantifizierbarer wirtschaftlicher Mehrwert zugesprochen werden. Die Erkenntnisse aus den untersuchten Szenarien zeigen, dass an der iSLT-Beschaffung beteiligte Akteure eine tiefergehende Differenzierung der iSLT-Spezifikationen vornehmen und im iSLT-Segment separate Strategien formulieren sollten. So können Kosteneinsparpotentiale identifiziert und genutzt werden.

Die entwickelten Modularitätskonzepte können auf Basis der Bewertungen als ein vielversprechender Ansatz angesehen werden, um die Individualität von iSLT und um die Anschaffungskosten durch die Verwendung von Komponenten über einen iSLT-Lebenszyklus hinaus zu reduzieren.

11.2.5 Quantitative Nutzen der Intelligenz am iSLT

Quantitative Nutzen durch die Intelligenz

Für die Bewertung der iSLT.NET Lösung sind neben den unter 11.2.3 aufgeführten qualitativen Faktoren auch quantitative Nutzen zu betrachten. Für die Quantifizierung von Nutzen wurden im Projektteam durch Workshops und Interviews mit Experten und Expertinnen des Behältermanagements die folgenden Nutzenpotentiale bestimmt und abgeschätzt. Die Potentiale beziehen sich dabei auf die Behälterversorgung im Automotivebereich und Erfahrungen der am Projekt beteiligten Experten.

Nutzenpotentiale Behältermanagement	Anmerkung	Potential p.a.	Potential 14 Jahre
Reduktion von Buchungen	Ca. 1 Mio. Buchungen pro Monat à 2 Min	20.800.000 €	291.200.000 €
Reduktion von Schwund	2015-2018: Nachbeschaffungskosten 4,6 Mio. EUR	1.090.562 €	15.268.013 €
Reduktion von Reklamationen	Reklamation = Falschbuchungen ca 1,1% aller WE-Buchungen	801.000 €	5.607.000 €
Reduktion von Suchzeiten/Inventur	2019: 4.571h Inventur inkl. Suche und Validierung	228.550 €	3.199.700 €
Reduktion von Sonderfahrten aufgrund fehlendem Leergut	Sonderfahrten wg/ Leergut an Sonderfahrten	14.848 €	207.879 €
Reduktion von Ausweichverpackungen	563 Ausweichverpackungen in Nov. 19	2.027 €	28.375 €

Abbildung 11-9: Exemplarische quantitative Nutzen der IoT-Lösung eines der Akteure im Automotive Umfeld

Kostenbetrachtung der Intelligenz am Ladungsträger

Wie in Kapitel 11.2.4 beschrieben, haben die Lebenszykluskosten eine hohe Bedeutung für die Gestaltung von PSS. Die Analyse von Lebenszykluskosten ist ein im Controlling und Kostenmanagement verbreitetes Vorgehen zur Fundierung von Entscheidungen. Ursprünglich im US Department of Defense zu Entscheidung von Beschaffungen angewendet (Vgl. White, Ostwald 1976, S. 39), steht die Methode für eine ganzheitliche, systematisierende Betrachtung aller anfallenden Kosten (Vgl. Riezler, 1996, S. 128f.). Diese Art der Analyse kann informatische Grundlagen für Entscheidungen bei Entwurf, Entwicklung und Entsorgung eines Produktes liefern, die Kosten und Zeitpunkt ihres Anfalls zusammenführen (Vgl. Deutsches Institut für Normung e.V. 2005, S. 5). Trotz der Vielzahl an Beispielen für Lebenszykluskostenmodellen ist die Beschaffung qualitativ hochwertiger Daten zur Befüllung des Modells eine Herausforderung (Vgl. Kambanou, Lindahl 2016, S. 189). Nicht alle benötigten Daten werden in der Realität erfasst und Hersteller haben häufig begrenzte Einblicke in die im Rahmen der Nutzung von Produkten anfallenden Kosten. Die im Projekt vorhandene Beteiligung dreier am Behälterkreislauf beteiligter Akteure motiviert eine Lebenszykluskostenanalyse für die im Projekt entwickelten innovativen Intelligenz durchzuführen. Für die Ausgestaltung der PSS, wie z.B. der Preisgestaltung der Services sind die entlang des Lebenszyklus bei den jeweiligen Akteuren anfallenden Kosten zu bestimmen. Diese können Nutzen gegenübergestellt und somit als Entscheidungsgrundlage für bspw. Technologieauswahl oder Kostenübernahme sein. Nachdem in bisherigen Lebenszykluskostenmodellen für industrielle Güter keine Erfassung der IoT-bezogenen Lebenszykluskosten gab, wurde im Projekt eine lebenszykluskostenorientierte Kostenstruktur

bestimmt. Damit erfüllt die Vorgehensweise das Ziel, dass Lebenszykluskostenmodelle stets für einen konkreten Verwendungszweck und dessen Anforderungen entwickelt sein muss (Vgl. Asiedu, 1998, S. 883). Maßgeblich für die Bestimmung der relevanten Kosten war somit die konzeptionelle Entwicklung der IoT-Lösung für den iSLT, bestehend aus Software und Hardwarekomponenten. Zu Beginn des Projektes wurden durch wissenschaftliche Recherchen, Experteninterviews und Workshops mögliche relevante Kostenpositionen bestimmt. Der Anspruch dieser Aktivitäten war es, dass die IoT-bezogenen Kosten mit dem Lebenszykluskostenmodell nicht nur für die iSLT-Projektergebnisse, sondern auch für ähnliche smarte Produkte die der Vision des Internets der Dinge entsprechen ermittelt werden können.

Dem im Projekt integrierten Kosten/Nutzen Bewertungsansatz folgend, wurden für die IoT-bezogenen Lebenszykluskosten K_{LCCIOT} die IoT-bezogenen Kosten der Entwicklungsphase (K_{Ew}), der Herstellungsphase (K_{He}), der Einsatzphase (K_{Ei}) und der Recyclingphase (K_{Re}) zusammen betrachtet:

$$K_{LCCIOT} = K_{Ew} + K_{He} + K_{Ei} + K_{Re}$$

Der nachfolgende Kostenstrukturplan (Vgl. Naumann, Pflaum 2018, S. 82f.) zeigt die in den einzelnen berücksichtigten Kostenpositionen auf. Die mit 45 Kostenpositionen als umfassend zu bezeichnende Zusammenstellung schaffte einen wissenschaftlichen Mehrwert, indem das bisher vorwiegend aus einer technologischen oder prozessualen Gestaltungsperspektive behandelte Themenfeld der smarten Produkte am Beispiel des iSLT konkretisiert und die wirtschaftlichen Aspekte betrachtet wurden. Für die Praxis wurde durch den Kostenstrukturplan ein Bewertungsrahmen definiert, der Unternehmen über die Anwendung im Kontext des Behältermanagements hinaus Orientierung bei der Evaluation von Digitalisierungsmaßnahmen geben kann.

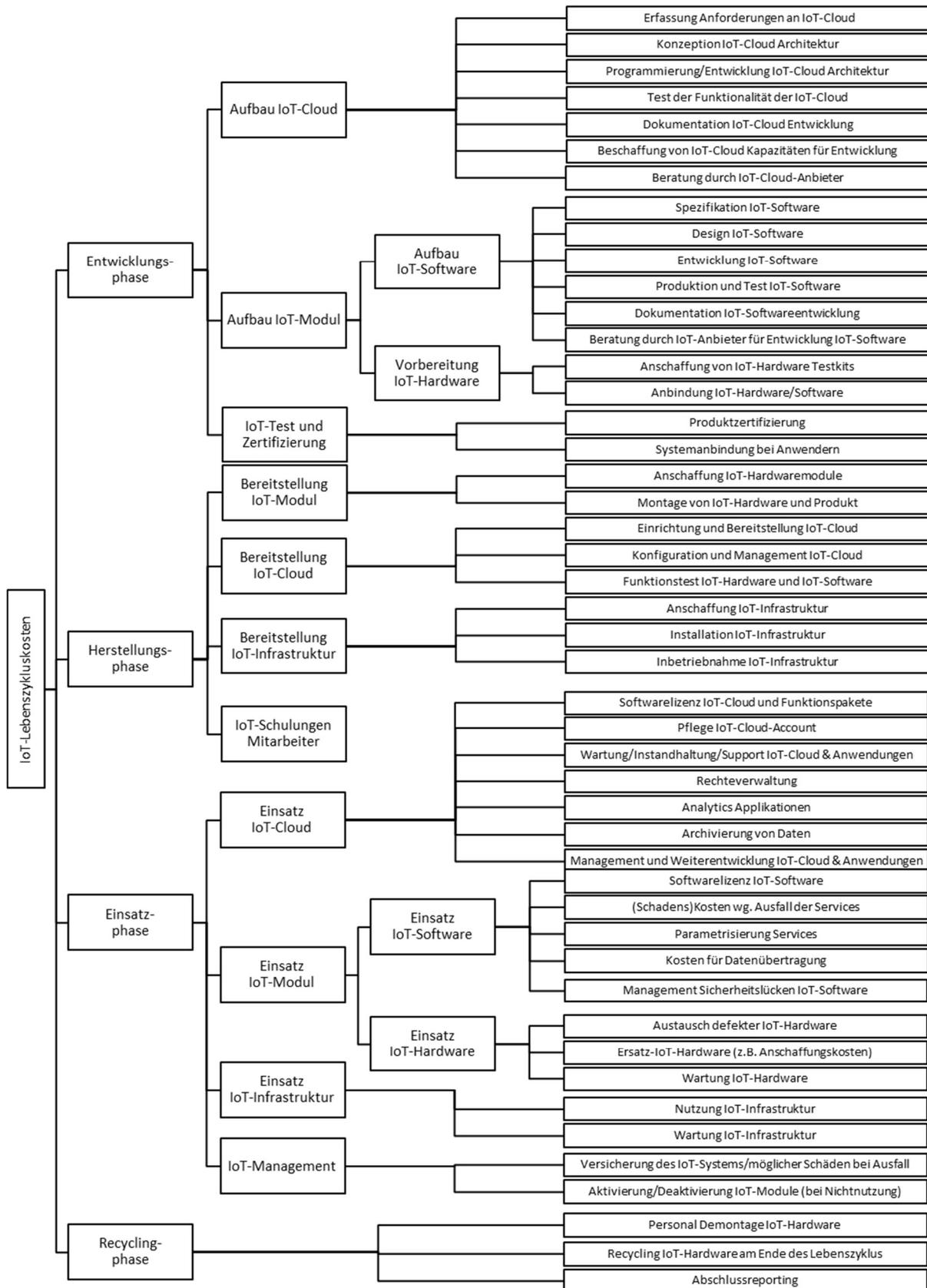


Abbildung 11-10: Kostenstrukturplan IoT-bezogener Lebenszykluskosten smarter Produkte (Quelle: Naumann, Pflaum 2018, S.83)

In der Entwicklungsphase der IoT-Lösung müssen sowohl Software als auch Hardwarebestandteile entwickelt werden. Hierbei entstehen Kosten für den Aufbau der IoT-Cloud und den Aufbau des IoT-Moduls bestehend aus Hardware zur Anbringung der ausgewählten Technologie an den iSLT und dazugehöriger Software zur Anbindung an die IoT-Architektur. Zudem fallen Kosten für die CE-Zertifizierung und den Test, z.B. der Systemanbindung bei Anbietern an.

In der Herstellungsphase der physischen iSLT wird die entwickelte IoT-Lösung in Anzahl der produzierten physischen iSLT aufgebaut. Hierbei fallen Kosten für die entsprechende Anzahl an IoT-Modulen an. Zudem entstehen Kosten zur Bereitstellung von IoT-Infrastruktur, wie z.B. dem Aufbau von Gateways und deren Inbetriebnahme. Für die IoT-Cloud fallen je nach Anbieter und Anwendungsszenario unterschiedliche Kosten an. Weitere Kosten entstehen in der Herstellungsphase mit der Einrichtung von bspw. Rollen und Rechten in der IoT-Cloud und der Schulung von, die IoT-Lösung anwendenden Mitarbeitern.

In der Phase des Einsatzes entstehen Kosten für die Bereitstellung, Wartung und Weiterentwicklung der IoT-Cloud. Sofern Analytics Applikationen, wie z.B. entsprechende Pakete genutzt werden, sind diese mit weiteren Kosten verbunden. Je nach Architektur und Technologie können auch laufende Kosten für die Lizenzierung der Software am IoT-Modul, dem Management von Sicherheitslücken oder durch Schäden und Ausfälle der Services anfallen. Ebenso kann die Übertragung der Daten zu Datenübertragungskosten führen. Die IoT-Infrastruktur verursacht Wartungskosten und kann ebenfalls in ihrer Nutzung kostenpflichtig sein. Für die Gefahr eines potentiellen Ausfalls der gesamten IoT-Lösung und Auswirkungen auf bspw. kritische Prozesse werden zudem Versicherungskosten erwartet. Die Deaktivierung und Reaktivierung von IoT-Modulen, z.B. aufgrund vorübergehender Nicht-Nutzung kann ebenfalls mit Kosten verbunden sein.

In der Recyclingphase entstehen Kosten für die Demontage und die Entsorgung der IoT-Hardware sowie ggf. für die Erstellung und Auswertung von Abschlussreportings.

Im iSLT.NET Projekt wurden auf Basis der prototypischen Umsetzung der IoT-Lösung die oben aufgeführten Kostenpositionen bewertet und verschiedene Szenarien durchgespielt. Die IoT-bezogenen Lebenszykluskosten belaufen sich danach für 166 Referenz-iSLT bei einer angenommenen Gesamtanzahl von 5.000 iSLT auf der iSLT.NET Plattform auf Kosten zwischen 10 EUR je iSLT bis zu 139 EUR Kosten je iSLT (siehe nachstehende Abbildung).

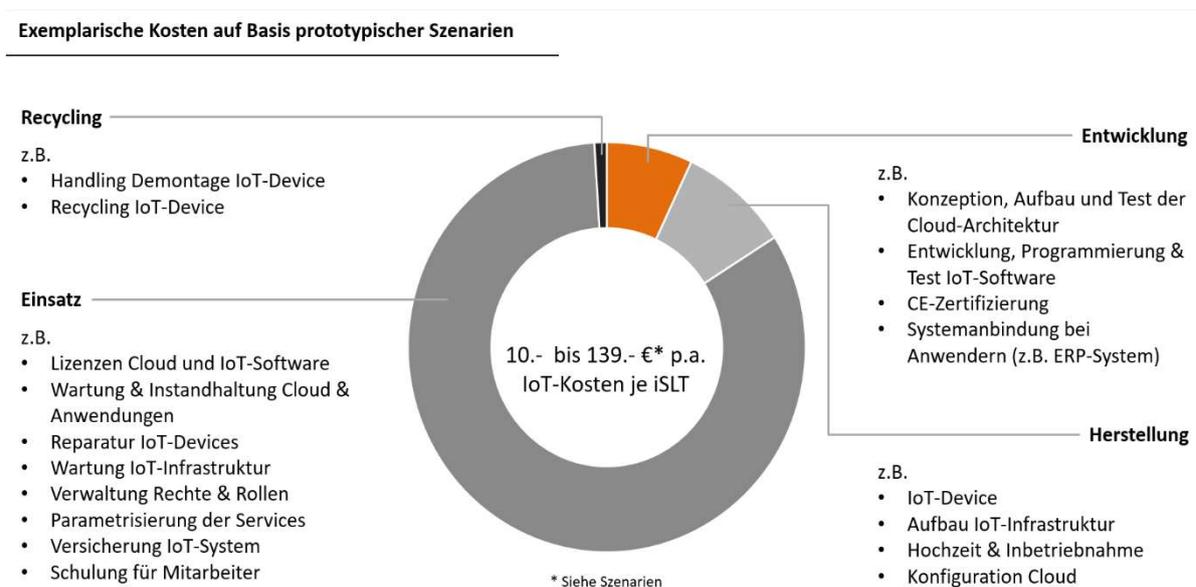


Abbildung 11-11: Wesentliche IoT-bezogene Lebenszykluskosten

Exemplarische Szenarien, verdeutlichen die Sensitivität der IoT-bezogenen Lebenszykluskosten über die Dauer von zwei iSLT-Lebenszyklen mit insgesamt 14 Jahren:



Abbildung 11-12: Szenarien der IoT-bezogenen Lebenszykluskosten bei unterschiedlicher Skalierung

Auf Basis der prototypischen Umsetzung und des hohen Innovationsgrads lagen für verschiedene Kostenpositionen keine Erfahrungswerte vor. Unter den Erkenntnissen aus dem Aufbau der Lösung und den in Abbildung 11-12 ausgewiesenen, angenommener Skalierung ist eine Wirtschaftlichkeit der IoT-Lösung möglich. Kostentechnische Stellhebel, sind die notwendigen Entwicklungskosten die am Markt verfügbaren IoT-Lösungen gegenüberstehen. Zudem sind die Kosten der IoT-Module – in Abhängigkeit der Technologie und deren Innovationsgrad – hoch, wobei hier mit technologischem Fortschritt und Wachstum des Anbietermarktes eine Vergünstigung erwartet wird. Den Charakter einer Innovation der IoT-Lösung zeigt, dass im Laufe des Projektes zwei Anbieter mit günstigeren Angeboten insolvent gegangen sind. Auch die IoT-Cloud, kann einen erheblichen Kostenanteil ausmachen, da die Angebote häufig mit gestaffelten Preisen je nach Anzahl angebundener smarterer Objekte variieren. Die Reduktion der IoT-Modul Stückkosten, der Aufbau einer kostengünstigen IoT-Cloud und die Skalierung der smarten Objekte, wie die iSLT, sind wichtige Stellhebel für eine kosteneffiziente Gestaltung der IoT-bezogenen Lebenszykluskosten. Es ist vorstellbar, IoT-Investitionskosten, wie z.B. für IoT-Module und Infrastruktur durch die Nutzung von Miet- und Leasingoptionen zu variabilisieren. Diese Option wurde für die im Projekt gewählten IoT-Technologien jedoch nicht weiter betrachtet. Für anderen Technologien sind solche Varianten bereits am Markt verfügbar oder werden durch die Hersteller der smarten Produkte angeboten.

12 Technische Ergebnisse im Projekt iSLT.NET

12.1 Modularen SLT mit virtuellem 3D Modell

Zusätzlich zum prototypisch realisierten Produktkonfigurator wurde eine Anwendung zur Visualisierung des iSLT mittels Argumented Reality geschaffen. Die Anwendung dient dazu, dass eine vereinfachte Konzeptabnahme für modulare Sonderladungsträger ermöglicht wird. Zudem ist die Anwendung für Demonstrationszwecke auf Messen und Kongressen im Einsatz. Dadurch hat man im Projekt die Möglichkeit geschaffen, den relativ großen Demonstrator Ladungsträger mittels innovativer Technologien in verkleinerter und digitaler Form mitzunehmen.



Abbildung 12-1: Ladungsträger in Argumented Reality

12.2 Fraunhofer Server

Der in Abschnitt 5.2.3 beschriebene LoRa Server stellt die Schnittstelle zwischen den LoRa Gateways und der iSLT Plattform dar und kann somit als das Server-Backend (bestehend aus Netzwerk- & Anwendungsserver) bezeichnet werden. Hier sind alle statischen Informationen wie Geräte und Gateway Ids, aber auch die Verschlüsselungsschlüssel zum Übersetzen der Payloads hinterlegt. Am Server kommen also, wie in Abbildung 12-2 dargestellt, verschlüsselte Datensätze an, werden mit den hinterlegten Schlüsseln geprüft und falls es sich um gültige Daten (bekannter Sender, erwarteter Inhalt) handelt für die Weiterverarbeitung abgelegt. Parallel werden alle Datensätze mit Meta-Informationen (Zeitstempel, Übertragungsinformationen, etc.) angereichert. Nachrichten die gleichzeitig von mehreren

Gateways empfangen werden, werden gebündelt und als einzige Nachricht in die Datenbank gespeichert.

Durch die integrierte Nutzer- und Geräteverwaltung dient der Server somit gleichzeitig als Verwaltungsschicht, als auch als Sicherheits- und Entschlüsselungsinstanz bevor die Daten zur Visualisierung an die Cloudplattform weitergegeben werden.

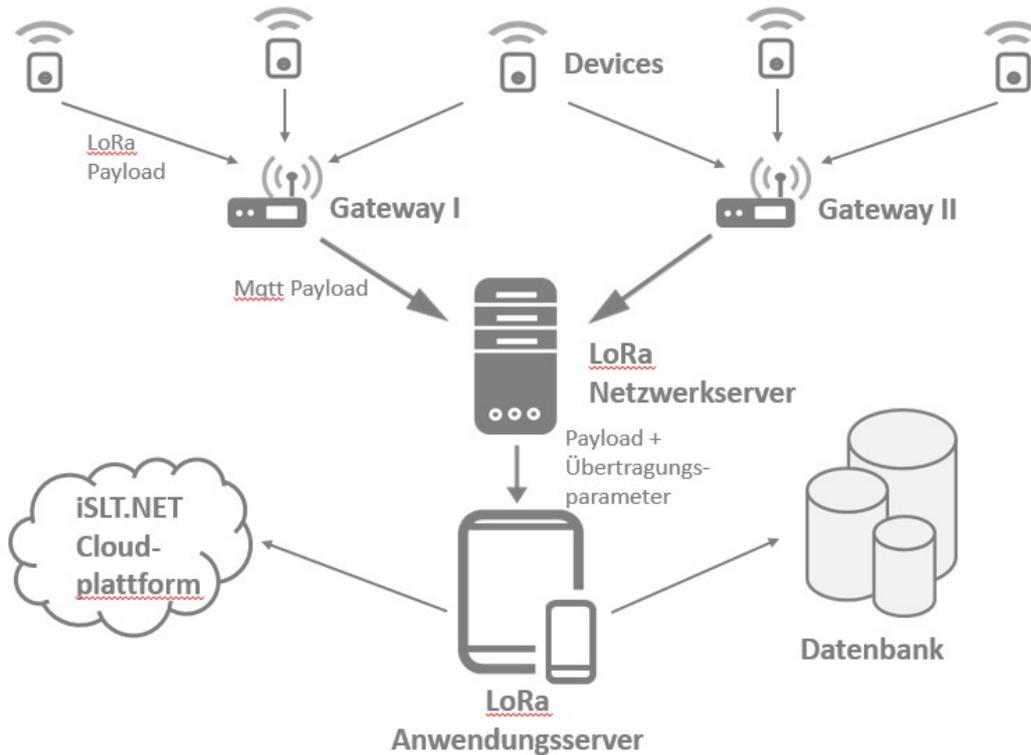


Abbildung 12-2: Systematische Darstellung der Gesamtarchitektur

12.3 iSLT Plattform mit App

Die iSLT Plattform visualisiert die Daten der Zustandsüberwachung, des Tracking und Tracing und des Schadensreportes. Dabei stellt sie eine Datendrehscheibe, als Schnittstelle zwischen Daten und Nutzer, zur Vernetzung physischer und virtueller Gegenstände da. Auf der Plattform einzusehen sind Meldungen über Erschütterungen und Standort des Behälters. Durch die Möglichkeit des Tracing, können dadurch Rückschlüsse auf den Ort der Erschütterung gezogen werden und zusätzlich der entstandene Schaden in der Plattform aufgenommen werden.



Abbildung 12-3: Anzeige der Position des Behälters



Abbildung 12-4: Aufnahmen des Schadens über die App

12.4 Online-Konfigurator

Der Online-Konfigurator wurde drauf abgestimmte, einen auf die Kundenbedürfnisse angepassten modularen Sonderladungsträger zu konfigurieren.

Es lässt sich zwischen voreingestellten Maßen, Stapelungsfaktoren, Verkleidung und Deckel die gewünschte Option auswählen. Zudem steht die Möglichkeit zur Verfügung, das vorgesehene Ladeteil genau zu beschreiben und das gewünschte Innenleben auszuwählen und zu erläutern. Der Konfigurator konstruiert einen ersten Entwurf. Dieser wird als vorläufiges 3D-Modell direkt auf der Seite angezeigt. Der konfigurierte MLT kann dann zum Warenkorb

hinzugefügt werden und über diesen direkt beim Hersteller bestellt. Zudem kann der Ladungsträger vorübergehend auf dem Merkzettel fixiert werden und für einen späteren Zeitpunkt gespeichert werden.

The screenshot displays the iSLT.NET product configurator for a 'Modularer Ladungsträger'. The interface includes a navigation bar with 'MODULARER LADUNGSTRÄGER', 'IOT - HARDWARE', and 'DIENSTLEISTUNGEN'. A search bar and a shopping cart icon are also visible. The main content area is divided into a description section on the left and a configuration section on the right. The description section contains several paragraphs detailing the product's features and compatibility. The configuration section includes dropdown menus for 'Grundrahmen', 'Behälterhöhe', 'Art der Stapelung', 'Verkleidung', and 'Deckel'. Below the configuration panel is a 3D CAD model of the load carrier. At the bottom of the configuration panel, there are radio buttons for 'Boden' (Gitterboden, Blechboden, ohne) and 'Längsstrebe' (ohne, 1 Strebe).

Abbildung 12-5: Auszug aus dem iSLT Produktkonfigurator

12.5 R-Shiny Dashboard zur Visualisierung der Lebenszykluskosten

Zur gesamtheitlichen Analyse der oben aufgeführten Ziele der Bewertung der Gesamten Lebenszyklen und der IoT-bezogenen Kosten wurde mit der Statistiksoftware R-Shiny ein webbasiertes Dashboard prototypisch aufgebaut. Hierzu wurden die unter 11.2.5 aufgeführten Kostenpositionen in einem Dashboard visualisiert.

Dieses Dashboard ermöglicht die flexible Analyse von über ein XLS Template erfassten Zahlen indem:

- Gesamtkosten (iSLT, Modularität und IoT) des Referenzeinsatzszenarios für das

- Szenario und je SLT jeweils absolut und kumulierend
- IoT-bezogene Lebenszykluskosten im Referenzeinsatzszenario für das Szenario und je SLT jeweils absolut und kumulierend
- Informationsfelder mit wichtigen Kennzahlen
- Kreisdiagramme mit relativen Gewichtungen der einzelnen Lebenszyklusphasen zueinander
- Tabelle der Top Kostenpositionen die einzelnen Betrachtungsebenen
- Darstellung der Betrachtungen über zwei Lebenszyklen und für jeden Lebenszyklus einzeln

visualisiert betrachtet werden können.

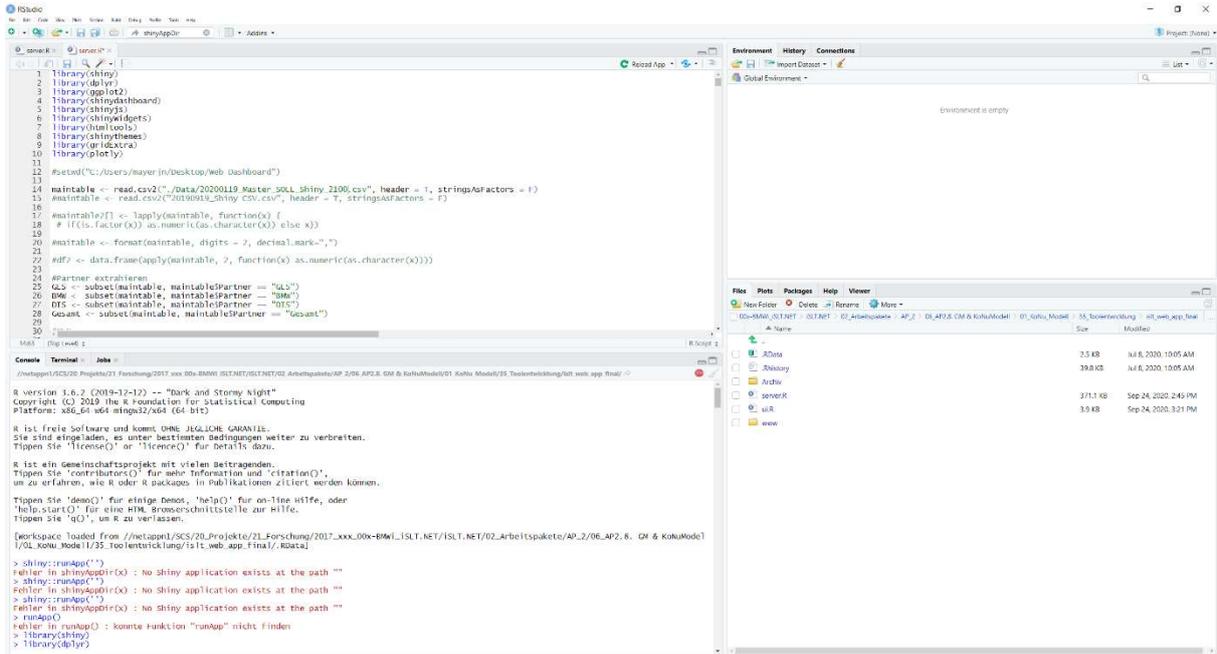


Abbildung 12-6: Darstellung Programmieroberfläche R-Shiny

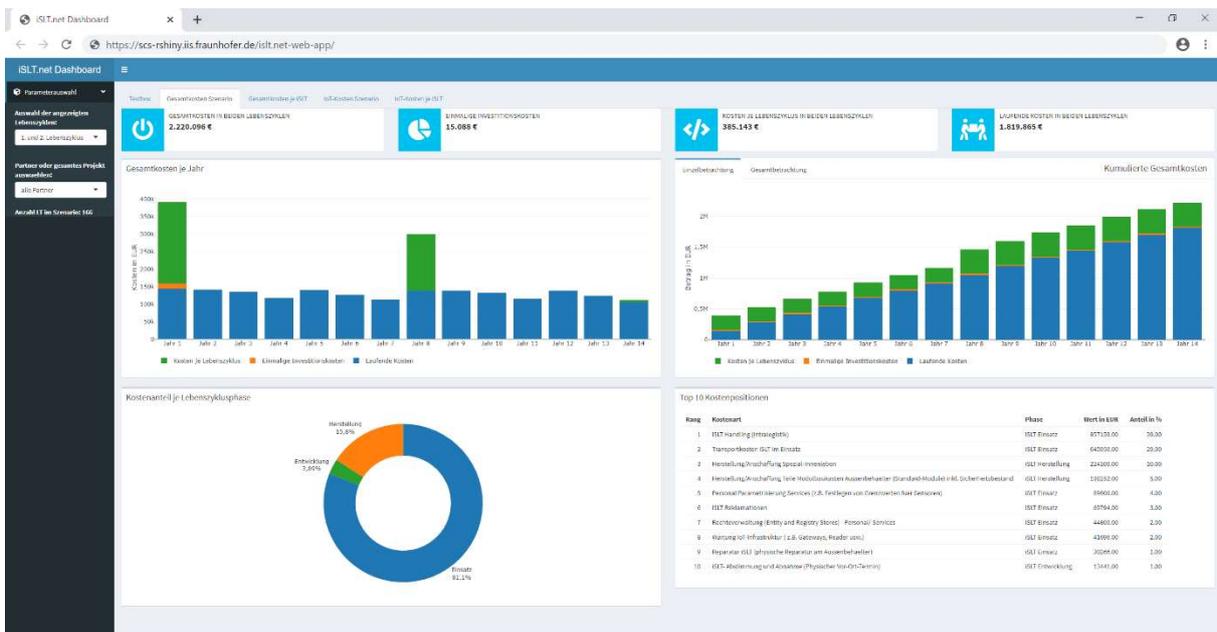


Abbildung 12-7: Darstellung einer Dashboardansicht zur Analyse der Lebenszykluskosten

Insgesamt umfasst die Dashboardapplikation, welche ihre Werte aus einer in Microsoft Excel dargestellten Tabelle enthält 7.045 Zeilen Code, um die 48 Dashboardansichten ((3 Partner + 1 Alle Partner) x (1. Bzw. 2. Bzw. 1+2. Lebenszyklus) x (Gesamtkosten Szenario, IoT-Kosten Szenario, Gesamtkosten je iSLT, IoT-Kosten je iSLT) abzubilden. Für die Erstellung dieser Analysemöglichkeit wurden rd. 7 Personenmonate eingesetzt

Für die Umsetzung des Dashboards mit der Statistiksoftware R-Shiny sprechen nach Analyse unterschiedlicher Dashboard Applikationen und der prototypischen Umsetzung verschiedene Aspekte:

Tabelle 12-1: Auszüge der Evaluation der r-shiny Applikation

Vorteile	Nachteile
+ Datenerfassung über XLS-Template	- umfassende Programmierarbeiten mit spezieller Sprache
+ Verschiedene Auswertungsmöglichkeiten je Akteur und Szenario	- komplexe Struktur der Applikation
+ Adaptierbare Darstellungsformen je nach	- Anpassungen von Visualisierungsdetails und Auswertungen teilweise aufwändig
+ Keine zusätzlichen Datenbanken zu XLS Template erforderlich	- Umfangreiche Angaben, z.B. zur Struktur des Lebenszyklus, Anzahl Akteuren usw. erforderlich
+ Schneller Überblick über die Kosten und ihre Struktur entlang der iSLT-Lebenszyklen	

12.6 Demonstratoren

Bei den Forschungspartnern wurden Demonstratoren in die Lern- und Musterfabrik des TZ PULS der HAWL und in die Versuchshalle des Lehrstuhls Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München implementiert. Die Demonstratoren dienen als Referenz dazu, die Projektergebnisse für Interessenten anschaulich und greifbar zu präsentieren.

Die Demonstratoren bieten jeweils einen Prototyp eines intelligenten, modularen Sonderladungsträger, unterschiedliche LPWAN-fähige IoT-Devices zum Anfassen und eine Vorstellung der IoT-Plattform mit ihren unterschiedlichsten Dienstleistungen. Durch den Aufbau der Informations- und Kommunikationsinfrastruktur bei den Anwendungs- und Forschungspartnern können unternehmensübergreifend die aktuellen Standort- und Temperaturdaten aller eingesetzten iSLT bei der BMW AG, DRÄXLMAIER Group, Fraunhofer SCS, TUM und der HAWL in der IoT-Plattform aufbereitet eingesehen und live mitverfolgt werden. Einzelne Dienstleistungen wie beispielsweise eine Konfiguration eines iSLT im webbasierten Produktkonfigurator können dabei von Interessenten selbstständig über ein Tablet durchgeführt werden. Um auch die Herstellungs- und Rekonfigurationsprozesse entsprechend demonstrieren zu können, ist ein Video entstanden, welches die Fertigungs- und Montageschritte des intelligenten, modularen Sonderladungsträgers zeigt.

Zudem ist es vor Ort möglich, Daten in Echtzeit zu generieren und eine Datenverarbeitung in der IoT-Plattform auszulösen. Dabei wird mit dem Prototyp des intelligenten, modularen Sonderladungsträger durch Anheben und Absetzen mit einem Gabelstapler eine Erschütterung erzeugt, die zu einer Echtzeitbenachrichtigung per E-Mail führt.



Abbildung 12-8: Demonstrator am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München



Abbildung 12-9: Demonstrator am HAWL, TZ Puls

12.7 Ladungsträger im Live Einsatz

Neben den Demonstratoren wurden auch 43 Prototypen des modulare Sonderladungsträger zur Praxiserprobung im Realeinsatz getestet. Die iSLT wurden mit intelligenten Devices ausgestattet und sind in der Supply Chain zwischen BMW Dingolfing und Dräxlmaier Landau an der Isar für den Transport von Türinnenverkleidungen unterwegs. Neben den iSLT sind noch weitere SLT im gleichen Szenario im Einsatz. Dies zeigt, dass der iSLT problemlos im gleichen Logistikkreislauf mit normalen SLT betreiben werden kann. Auch sind in dem iSLT keine neuen Innenleben verbaut. Diese wurden von den normalen SLT übernommen.



Abbildung 12-10: iSLT im Automobilwerk

13 Zusammenfassung der Erkenntnisse

Die aktuellen Trends der Automobilindustrie in Bezug auf immer kürzere Derivats Lebenszyklen bei gleichzeitig zunehmenden Varianten sowie der E-Mobilität führen zu einem Anstieg der Kosten in den logistischen Bereichen. Insbesondere Komponenten und Baugruppen die besonders empfindlich sind müssen in Sonderladungsträgern transportiert werden. Die Lebenszyklen der SLT sind maßgeblich abhängig von der Verwendungsdauer der zu transportierenden Bauteile. Auch die damit verbundenen Logistikketten werden stets komplexer wie die Analyse der IST-Prozesse aus Kapitel 4 zeigt.

Das entstandene Netzwerk „iSLT.NET Netzwerk für intelligente modulare Sonderladungsträger“ befasst sich genau mit dieser Problemstellung.

Das modulare Sonderladungsträgerkonzept ermöglicht einen branchenweiten Einsatz, der zudem anwenderübergreifend funktioniert. Somit wurde aus technologischer Sicht ein Ladungsträgerdesign entworfen und getestet, welches über mindestens zwei Lebenszyklen eingesetzt werden kann. Zusätzlich kann es den prozess- und bauteilspezifischen Anforderungen angepasst werden. Durch diesen Ansatz entstehen auch langfristig wirtschaftliche Vorteile gegenüber herkömmlichen Sonderladungsträgern wie das umfangreiche Kosten-Nutzen-Modell belegt.

Aber nicht nur ein modulares Konzept ist Teil des entstandenen iSLT.NET Netzwerks. Auch durch die intelligente Komponente entstehen zukünftige Potentiale. Mittels des realisierten LoRa Netzwerks bei Forschungs- und Anwendungspartnern wurde die technische Machbarkeit bewiesen. Hierbei ergaben sich einige Limitationen auf Basis der eingesetzten Technologie. Dies wurde in Kapitel 7 näher ausgeführt. Bei einer Weiterentwicklung der Intelligenz am Ladungsträger sind diese Limitationen zu berücksichtigen.

Da ein intelligentes Device am Ladungsträger noch keine Mehrwerte liefert, ist es wichtig die hier entstandenen Daten mittels intelligenter Dienstleistungen anwenderspezifisch aufzubereiten. Deshalb wurde im Projekt der Ansatz von Produkt-Service-Systemen gewählt. Die Services rund um den modularen Sonderladungsträger befassen sich mit finanz-, ladungsträger- und datenbasierten Dienstleistungen. Durch die Integration dieser Dienstleistungen in das iSLT.NET Netzwerk entstehen zusätzliche Mehrwerte. Diese Mehrwerte ergeben sowohl qualitative als auch quantitative Nutzenpotentiale, welche in Kapitel 11 in Form eines Kosten-Nutzen-Modells näher beschrieben sind.

Während der prototypischen Umsetzung von iSLT.NET wurde klar, dass für die Gesamtlösung ein großes Ökosystem benötigt wird. Dieses Ökosystem umfasst neben den aktuell bestehenden Akteuren wie Reparaturdienstleister, Ladungsträgerhersteller oder Logistikdienstleister eine große Anzahl an neuen Akteuren, die Teilbereiche der intelligenten Lösung bedienen. Um die damit entstehende Komplexität beherrschbar zu machen, ist es nötig, einen Hauptakteur, den Lösungsanbieter/ Lösungsintegrator zu etablieren, der die gesamte Orchestrierung des entstandenen Ökosystems übernimmt.

Das iSLT.NET Projekt hat sowohl konzeptionell als auch prototypisch gezeigt, dass ein Netzwerk für intelligente Sonderladungsträger in der Automobilindustrie technisch machbar ist. Die umfangreiche Betrachtung des Geschäftsmodells inklusive der Kosten-Nutzen-Analyse hat bewiesen, dass unter der Voraussetzung einer ausreichenden Skalierung ein positiver Business Case entsteht. Daher können sämtliche Erkenntnisse aus dem Projekt als Wegweiser und Grundlage für die weitere Forschung und Entwicklung an intelligenten Ladungsträgerkonzepten im Bereich der automobilen Supply Chain gesehen werden.

14 Literaturverzeichnis

- Adolphs, P., Epple, U., Bedenbender, H., Dirzus, D., Ehlich, M., Hankel, M., . . . Wollschlaeger, M. (April 2015). Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0). Statusreport.
- Asiedu, Y., & Gu, P. (1998). Product life cycle cost analysis. State of the art review. *International Journal of Production Research* 36 (4), S. 883-908.
- Attig, P. (2011). *Komplexitätsreduktion in der Logistik durch modulare Sonderladungsträger. Dissertation RWTH Aachen*. Aachen: Apprimus Verlag.
- BfBuF- Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2010). Einsatz innovativer IuK-Technologie zur Prozess-Kontrolle im Ladungs- und Ladungsträgermanagement von Seehäfen. ProKon.
- BfBuF- Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2016). *Prozessinnovation in Planung und Steuerung von Wertschöpfungsnetzwerken durch Integration von Smart Objects und Smart Finance Ansätzen: Projektcurvostellung SOFIA*. Von <http://www.sofia-projekt.de> abgerufen
- Böhmman, T., Leimeister, J. M., & Möslein, K. (2014). Service Systems Engineering. A Field for Future Information Systems Research. *Business & Information Systems Engineering* 2, S. 73-79.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (2005). *Zuverlässigkeitsmanagement - Teil 3-3: Anwendungsleitfaden - Lebenszykluskosten*. Berlin: Beuth Verlag.
- Drews, G., & Hillebrand, N. (2007). Lexikon der Projektmanagement-Methode. München: Haufe Verlag.
- Emmerich, J. S., Roidl, M., Bich, T., & Hompel, M. (kein Datum). Entwicklung von energieautarken, intelligenten Ladehilfsmitteln am Beispiel des inBin. *Logistics Journal Proceedings*. Advance online publication. Von https://dio.org/10.2195/lj_Proc_emmerich_de_201210_01 abgerufen
- Fiedler, M. (2016). *Lückenlos vernetzt: DyCoNet-Intelligente Container in der Luftfracht*.
- Fraunhofer IML. (30. April 2014). *Abschlussbericht zum Verbundprojekt smaRTI-Smart Reusable Transport Items*. Dortmund.
- GS1. (18. April 2015). The GS1 EPCglobal Architecture Framework. *GS1 Version 1.7*.
- GS1. (30. April 2016). EPC Information Services (EPCIS) Standard. *Online verfügbar unter <https://www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/EPCIS-Standard-1.2-r-2016-09-29.pdf>*.
- Gunlaugsson, V. N., Thakur, M., Foras, E., Ringsberg, H., Gran-Larsen, Ø., & Margeirsson, S. (2011). EPICS standard used for improved traceability in the redfish value chain. *NTNU Engineering Series: Vol. 1. Proceedings of The 13th International MITIP Conference The Modern Information Technology in the Innovation Processes of the Industrial Enterprises*. Fagbokforlaget. Von <http://www.matis.is/media/utgafa/krokur/MITIP-eTracePaper-Icelandic.pdf> abgerufen
- Huber, A. (2013). *Erhöhung der Logistikeffizienz durch die Einführung eines modularen Sonderladungsträgers in der LKW-Produktion der MAN Truck & Bus AG*. München: Forum Automobillogistik.

- Kambanou, M., & Lindahl, M. (2016). A literature review of life cycle costing in the product service system context. In *Procedia Cirp (Vol. 47)* (S. 186-191). Elsevier.
- Kampker, A., B., F., Wesch-Potente, C., & Brokelmann, I. (2011). ReBoxx-Pool - Innovative logistic concept based on a modular loading carrier concept. *17th International Conference on Concurrent Enterprising (ICE)*. Aachen.
- Klötz, C., & Pflaum, A. (2015). 5th Conference on the Internet of Things (IoT). *Cyber-Physical-Systems as the technical foundation for problem solutions in manufacturing, logistics and Supply Chain Management*, (S. 12-19).
- Kurikalow, A. (2018). *Beschreibung eines IoT-Ökosystems für das Forschungsprojekt iSLT.NET - Netzwerk für intelligente Sonderladungsträger am Beispiel der Automobilindustrie*. Bamberg.
- Lammers, W., Thiele, B., & Pelka, M. (2013). *Schlussbericht: Service-orientiertes Logistikkonzept für ein multifunktionales Behältersystem*. TU Dortmund - Fakultät Maschinenbau - Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen.
- Meier, H. (2010). Industrial Product-Service Systems-IPS 2. *CIRP Annals* 59 (2), S. 607-627. doi:10.1016/j.cirp.2010.05.004
- Meißner, S. (2015). Adaptive Materialflusstechnik: Modulare Transportwagen und Sonderladungsträger für die Materialbereitstellung. *24. Deutscher Materialfluss-Kongress*. Düsseldorf.
- Meißner, S., & Romer, M. (2018). Neue Geschäftsmodelle durch intelligente Ladungsträger und datenbasierte Dienstleistung. In T. Barton, C. Müller, & C. Seel, *Digitalisierung in Unternehmen. Von den theoretischen Ansätzen zur praktischen Umsetzung* (S. 49-64). Wiesbaden: Springer Vieweg (Angewandte Wirtschaftsinformatik).
- Münch, U. (2016). *CairGoLution: Echtzeittransparenz von Luftfracht-Frachtströmen durch den Einsatz eingebetteter Sensorik zur Überwachung einzelner Sendungselemente - Teilvorhaben: Einbettung von innovativen Technologien und Design einer Informationsdienstleistung*. Schlussbericht, Laufzeit von 01.07.2013 bis 31.12.2016. Von <https://doi.org/10.2314/GVB:894769235> abgerufen
- Naumann, V. P. (2018). *Lebenszykluskosten und das Internet of Things*. CARF Luzern.
- Papert, M. (2018). Entwicklung eines Ökosystemmodells für das Internet der Dinge - Eine ökosystembezogene Architektur zur Implementierung von Internet-der-Dinge-Lösungen. In A. Pflaum, *Schriftreihe Logistik- und Informationstechnologien, Band 4*. Fraunhofer Verlag.
- Pelich, C. (2006). *Einsatz aktiver RFID bei Volkswagen: Grundlagen, Einsätze und Erfahrungen*. Präsentation. Volkswagen AG, Wolfsburg.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review* 11.
- Prives, S. (2016). *Systemkonzept zur Steigerung logistischer Effizienz im Lebensmitteleinzelhandel durch Einsatz intelligenter Behälter*. [Dissertation]. Technische Universität München, München.
- Prives, S., & Günthner, W. A. (2012). Intelligente Thermobehälter. *Logistik Heute*, 12, 28-29.

- Raza, U., Kulkarni, P., & Sooriyabandara, M. (2017). Low Power Wide Area Networks: An Overview. *IWWW Commun. Surc. Tutorials* 19 (2), 855-873. Von IEEE Commun. Surv. Tutorials 19 (2): DOI:10.1109/COMST.2017.2652320 abgerufen
- Reinhardt, G. (2013). RAN - RFID-based Automotive Network: Entwicklung von Methoden und Architekturen zur Steuerung und Bewertung von Abläufen in der Automobilindustrie. *Verbundvorhaben: RAN: RFID-based Automotive Network: Die Prozesse der Automobilindustrie transparent und optimal steuern: Abschlussbericht, Berichtszeitraum vom 01.01.2010 bis 31.12.2012*. Garching b. München: Technische Universität München, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften.
- Riezler, S. (1996). *Lebenszyklusrechnung: Instrument des Controlling strategischer Projekte*. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Romer, M. (26. 07 2018a). The Internet of Load Carriers. Design of a Cloud based Service System for Smart and Connected Load Carriers. *International Joint Conference on e-Business and Telecommunications*, 166-173. Porto.
- Romer, M., & Huber, A. (01. 03 2020). Prozesse, Nutzenpotentiale und Dienstleistungen. Abschlussveranstaltung iSLT.NET. BMW AG. *Station 5. Netzwerk für intelligente modulare Sonderladungsträger*. München.
- Romer, M., & Meißner, S. (2018). Das Internet der Behälter. Der intelligente Sonderladungsträger und dessen cloudbasiertes Service System. *Industrie 4.0 Management* (34), S. 13-16.
- Romer, M., & Meißner, S. (2019a). Data-based Services for Smart Load Carriers: Functional Design and Requirements Analysis for Internet of Things Technologies. *IFAC-PapersOnLine* 52 (13), S. 2098-2103.
- Romer, M., & Meißner, S. (2019b). Intelligentes Behältermanagement - Transparente Ladungsträgerbestände und -bedarfe durch Technologien des Internets der Dinge und Dienste. *Industrie 4.0 Management* (35), S. 9-12.
- Romer, M., Zeiler, J., Meißner, S., & Fottner, J. (2018). The Internet of Load Carriers - Design of a Cloud-based Services Systems for Smart and Connected Load Carriers. *ICETE 2018. Proceedings of the 15th International Joint Conference on e-Business and Telekommunikations* (S. 166-173). Portugal: SCITEPRESS - Science and Technology Publications Lda.
- Romer; M.; Zimmermann M.; Meißner, S. (2020). Temperaturüberwachung und automatisierte Buchungen im intelligenten Ladungsträgermanagement. Untersuchung zur Funktionsfähigkeit von datenbasierten Dienstleistungen. *ZWF* 115 (5) S. 286-291.
- Rosenthal, A. (2016). *Ganzheitliche Bewertung modularer Ladungsträgerkonzepte. Eine Lebenszyklusbetrachtung (Vol. 93)*. Springer-Verlag.
- Rosenthal, A. (2016). *Ganzheitliche Bewertung modularer Ladungsträgerkonzepte: Eine Lebenszyklusbetrachtung (Vol. 93)*. Springer-Verlag.
- Schuh, G. (2012). *Schlussbericht ReBox-Pool: Logistikeffizienz durch rekonfigurierbare Sonderladungsträger*. Hannover, Technische Informationsbibliothek und Universitätsbibliothek: <https://edocs.tib.eu/files/e01fb12/771026323.pdf>.
- Sehn, J., Erkoyuncu, J., Roy, R., & Wu, B. (2017). A framework for cost evaluation in product service system configuration. *International Journal of Production Research* 55 (20), S. 6120-6144.

- TU Dortmund Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen. (08. März 2016). Service-orientiertes Logistikkonzept für ein multifunktionales Behältersystem. Dortmund. Von www.blv.de/files/441/481/Endbericht_17285_N.pdf abgerufen
- TU Dortmund Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen. (08. März 2016). *Serviceorientiertes Logistikkonzept für ein multifunktionales Behältersystem*. Von www.bvl.de/files/441/481/Endbericht_17285_N.pdf abgerufen
- Tukker, A. (2004). Eight types of product-service system. Eight ways to sustainability? Experiences from SusProNet. *Business Strategy and the Environment* 13 (4), S. 246-260. doi:10.1002/bse.414
- Volkswagen AG. (2006). Fraunhofer IAO. *RFID - Anwendungsbeispiel, Volkswagen AG*. Stuttgart: RFID-Atlas.
- White, G., & Ostwald, P. F. (1976). Life Cycle Costing. *Management Accounting*. (57). S. 39-42.
- Zeiler, J., & Fottner, J. (2019). IEEE 6th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA). *Architectural Design for special Load Carriers as Smart Objects in a Cloud-based Service System*, (S. 644-652). Tokyo, Japan.
- Zeiler, J., & Fottner, J. (2020a). *Implementierung und Test eines Service-Systems mit intelligenten, modularen Sonderladungsträgern*. Von https://doi.org/10.2195/lj_Proc_zeiler_de_202012_01 abgerufen
- Zeiler, J., & Fottner, J. (2020b). Vernetzte Sonderladungsträger für die Logistik 4.0. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, & M. ten Hompel, *Handbuch Industrie 4.0. Produktion, Automatisierung und Logistik* (S. 1-18). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (Springer NachschlageWissen).
- Zeiler, J., Romer, M., Röschinger, M., Fottner Johannes, & Meißner, S. (2018). Entwicklung des Sonderladungsträgers der Zukunft. Potenziale smarterer, vernetzter und wiederverwendbarer Sonderladungsträger für die Supply Chain. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, S. 37-40.
- Zeiler, J., Scherer, F., & Fottner, J. (2019). LoRaWAN als Kommunikationstechnologie für vernetzte Sonderladungsträger. *ZWF* 114 (5), S. 268-272.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Schlussbericht iSLT.NET „Netzwerk für intelligente, modulare Sonderladungsträger“	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Graßl, Martin; Falter, Laura; Harth, Andreas; Naumann, Victor; Zink, Mathias; Fottner, Johannes; Zeiler, Johannes; Meißner, Sebastian; Romer, Martina; Schlittenbauer, Stefan; Seitz, Richard; Voigt, Gregor	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.06.2020
	6. Veröffentlichungsdatum geplant
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Gebhardt Logistic Solutions GmbH, Frühlingstraße 2-3, 93413 Cham, BMW AG, Petuelring 130, 80333 München, Draexlmaier Industrial Solutions GmbH, Landshuter Straße 100, 84137 Vilsbiburg Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Supply Chain Services des Fraunhofer IIS, Nordostpark 84, 90411 Nürnberg Technische Universität München, Lehrstuhl fml, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching Hochschule für angewandte Wissenschaft Landshut, Am Lurzenhof 1, 84036 Landshut	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 01MA17006
	11. Seitenzahl 124
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 53107 Bonn	13. Literaturangaben 54
	14. Tabellen 10
	15. Abbildungen 83
16. Zusätzliche Angaben -	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	

18. Kurzfassung

Die aktuellen Trends der Automobilindustrie in Bezug auf immer kürzere Derivats Lebenszyklen bei gleichzeitig zunehmenden Varianten sowie der E-Mobilität führen zu einem Anstieg der Kosten in den logistischen Bereichen. Insbesondere Komponenten und Baugruppen die besonders empfindlich sind müssen in Sonderladungsträgern transportiert werden. Die Lebenszyklen der SLT sind maßgeblich abhängig von der Verwendungsdauer der zu transportierenden Bauteile. Auch die damit verbundenen Logistikketten werden stets komplexer wie die Analyse der IST-Prozesse aus Kapitel 4 zeigt.

Das entstandene Netzwerk „iSLT.NET Netzwerk für intelligente modulare Sonderladungsträger“ befasst sich genau mit dieser Problemstellung.

Das modulare Sonderladungsträgerkonzept ermöglicht einen branchenweiten Einsatz, der zudem anwenderübergreifend funktioniert. Somit wurde aus technologischer Sicht ein Ladungsträgerdesign entworfen und getestet, welches über mindestens zwei Lebenszyklen eingesetzt werden kann. Zusätzlich kann es den prozess- und bauteilspezifischen Anforderungen angepasst werden. Durch diesen Ansatz entstehen auch langfristig wirtschaftliche Vorteile gegenüber herkömmlichen Sonderladungsträgern wie das umfangreiche Kosten-Nutzen-Modell belegt.

Aber nicht nur ein modulares Konzept ist Teil des entstandenen iSLT.NET Netzwerks. Auch durch die intelligente Komponente entstehen zukünftige Potentiale. Mittels des realisierten LoRa Netzwerks bei Forschungs- und Anwendungspartnern wurde die technische Machbarkeit bewiesen.

Da ein intelligentes Device am Ladungsträger noch keine Mehrwerte liefert, ist es wichtig die hier entstandenen Daten mittels intelligenter Dienstleistungen anwenderspezifisch aufzubereiten. Deshalb wurde im Projekt der Ansatz von Produkt-Service-Systemen gewählt. Die Services rund um den modularen Sonderladungsträger befassen sich mit finanz-, ladungsträger- und datenbasierten Dienstleistungen. Durch die Integration dieser Dienstleistungen in das iSLT.NET Netzwerk entstehen zusätzliche Mehrwerte. Diese Mehrwerte ergeben sowohl qualitative als auch quantitative Nutzenpotentiale.

Während der prototypischen Umsetzung von iSLT.NET wurde klar, dass für die Gesamtlösung ein großes Ökosystem benötigt wird. Dieses Ökosystem umfasst neben den aktuell bestehenden Akteuren wie Reparaturdienstleister, Ladungsträgerhersteller oder Logistikdienstleister eine große Anzahl an neuen Akteuren, die Teilbereiche der intelligenten Lösung bedienen. Um die damit entstehende Komplexität beherrschbar zu machen, ist es nötig, einen Hauptakteur, den Lösungsanbieter/ Lösungsintegrator zu etablieren, der die gesamte Orchestrierung des entstandenen Ökosystems übernimmt.

Das iSLT.NET Projekt hat sowohl konzeptionell als auch prototypisch gezeigt, dass ein Netzwerk für intelligente Sonderladungsträger in der Automobilindustrie technisch machbar ist. Die umfangreiche Betrachtung des Geschäftsmodells inklusive der Kosten-Nutzen-Analyse hat bewiesen, dass unter der Voraussetzung einer ausreichenden Skalierung ein positiver Business Case entsteht. Daher können sämtliche Erkenntnisse aus dem Projekt als Wegweiser und Grundlage für die weitere Forschung und Entwicklung an intelligenten Ladungsträgerkonzepten im Bereich der automobilen Supply Chain gesehen werden.

19. Schlagwörter

Logistik, Ladungsträger, Internet-of-Things, Geschäftsmodelle, Modularität, Plattform

20. Verlag

-

21. Preis

-

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN planned	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report
3. title Final report iSLT.NET "Network for intelligent, modular special load carriers"	
4. author(s) (family name, first name(s)) Graßl, Martin; Falter, Laura; Harth, Andreas; Naumann, Victor; Zink, Mathias; Fottner, Johannes; Zeiler, Johannes; Meißner, Sebastian; Romer, Martina; Schlittenbauer, Stefan; Seitz, Richard; Voigt, Gregor	5. end of project 30-06-2020
	6. publication date planned
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) Gebhardt Logistic Solutions GmbH, Frühlingstraße 2-3, 93413 Cham, BMW AG, Petuelring 130, 80333 München, Draexlmaier Industrial Solutions GmbH, Landshuter Straße 100, 84137 Vilsbiburg Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Supply Chain Services des Fraunhofer IIS, Nordostpark 84, 90411 Nürnberg Technische Universität München, Lehrstuhl fml, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching Hochschule für angewandte Wissenschaft Landshut, Am Lurzenhof 1, 84036 Landshut	9. originator's report no.
	10. reference no. 01MA17006
	11. no. of pages 124
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 53107 Bonn	13. no. of references 54
	14. no. of tables 10
	15. no. of figures 83
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	

18. abstract

The current trends in the automotive industry with regard to ever shorter derivative life cycles with simultaneously increasing variants and e-mobility lead to an increase in costs in the logistical areas. In particular, components and assemblies that are particularly sensitive must be transported in special load carriers. The life cycles of the SLT are largely dependent on the period of use of the components to be transported. The associated logistics chains are also becoming more and more complex, as the analysis of the actual processes from Chapter 4 shows.

The resulting network "iSLT.NET network for intelligent modular special load carriers" deals precisely with this problem.

The modular special load carrier concept enables industry-wide use, which also works across all users. Thus, from a technological point of view, a load carrier design was designed and tested that can be used over at least two life cycles. In addition, it can be adapted to process and component-specific requirements. This approach also creates long-term economic advantages over conventional special load carriers, as the extensive cost-benefit model shows.

But not only a modular concept is part of the resulting iSLT.NET network. The intelligent component also creates future potential.

The technical feasibility was proven by means of the LoRa network implemented with research and application partners.

Since an intelligent device on the load carrier does not yet provide any added value, it is important to process the data generated here using intelligent services in a user-specific manner. Therefore, the approach of product service systems was chosen in the project. The services around the modular special load carrier deal with finance-, load carrier- and data-based services. The integration of these services into the iSLT.NET network creates additional added value. These added values result in generates qualitative and quantitative benefit potentials.

During the prototypical implementation of iSLT.NET it became clear that a large ecosystem was required for the overall solution.

In addition to the current players such as repair service providers, load carrier manufacturers or logistics service providers, this ecosystem includes a large number of new players who serve sub-areas of the intelligent solution. In order to make the resulting complexity manageable, it is necessary to establish a main actor, the solution provider / solution integrator, who takes on the entire orchestration of the resulting ecosystem.

The iSLT.NET project has shown both conceptually and prototypically that a network for intelligent special load carriers in the automotive industry is technically feasible. The extensive consideration of the business model, including the cost-benefit analysis, has shown that a positive business case arises if there is sufficient scaling. Therefore, all the findings from the project can be seen as a guide and basis for further research and development on intelligent load carrier concepts in the field of the automotive supply chain.

19. keywords

Logistics, load carriers, Internet of Things, business models, modularity, platform

20. publisher

21. price