

# Forschungsbericht

zu dem IGF-Vorhaben

***Methodik zur Bestimmung des optimalen Zeitpunkts von Retrofit-Maßnahmen für intralogistische Anlagen***

der Forschungsstelle

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München

Das IGF-Vorhaben 20157 N/1 der Forschungsvereinigung  
Intralogistik / Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) e.V. wurde über die



im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen  
Gemeinschaftsforschung (IGF) vom

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Herausgegeben von:

Prof. Dr.-Ing. Johannes Fottner

**fml** – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

Verfasser: Josef Xu, M.Sc.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © **fml** – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik,

Printed in Germany 2022

ISBN: 978-3-948514-22-8

**fml** – Lehrstuhl für

Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

Boltzmannstr. 15

85748 Garching

Tel.: + 49.89.289.15921

[www.mec.ed.tum.de/fml](http://www.mec.ed.tum.de/fml)

## Kurzusammenfassung

---

Regalbediengeräte werden für die automatische Ein- und Auslagerung unterschiedlicher Güter sowohl in Hochregallagern als auch in automatischen Kleinteilelagern eingesetzt und spielen daher für die Automatisierung der Intralogistik eine große Rolle. Diese Intralogistiksysteme sind mit hohen Investitionskosten verbunden, weshalb Anlagenbetreiber daran interessiert sind, eine möglichst lange Nutzungsdauer bei niedrigen Betriebskosten zu erzielen. Trotz regelmäßiger Instandhaltungsmaßnahmen sind nach einiger Zeit größere Retrofits notwendig, da beispielsweise die Verfügbarkeit von Ersatzteilen oder qualifiziertem Service-Personal für bestimmte Komponenten nicht mehr gegeben ist. Anlagenbetreiber fehlt häufig die Erfahrung zur Einschätzung der vielen Einflussgrößen, die bei einer Dringlichkeitsbewertung eines Retrofits zu berücksichtigen sind. Gleichmaßen sind die positiven Effekte durch Modernisierungen nicht explizit sichtbar. Aus diesem Grund wirken die hohen Kosten für Retrofits oft abschreckend, weshalb wichtige Modernisierungen in der industriellen Praxis allgemein zu spät initiiert werden. In Folge führt dies zu überalterten Anlagen mit steigenden Betriebskosten sowie größeren Ausfallrisiken. Diese Faktoren reduzieren die Wirtschaftlichkeit der Anlage, was für insbesondere kleinere Unternehmen finanzielle Schwierigkeiten bedeuten kann. Vor diesem Hintergrund war es das Ziel des Projekts *OptiFit – Methodik zur Bestimmung des optimalen Zeitpunkts für Retrofit-Maßnahmen für intralogistische Anlagen* die Rahmenbedingungen für Retrofit-Prozesse zu optimieren und insbesondere Anlagenbetreiber zu befähigen, zukünftige Modernisierungen rechtzeitig anstoßen zu können. Letzteren sollte grundlegendes Wissen vermittelt werden, um dem Erfahrungs- bzw. Wissensdefizit bezüglich Retrofits entgegenzuwirken sowie die Sensibilisierung für Aufwand und Nutzen von Modernisierungen zu erhöhen.

Daher wurde im Rahmen des Projektes zunächst der aktuelle IST-Stand von Modernisierungsprojekte für Regalbediengeräte mittels Expertengespräche analysiert, um häufige Herausforderungen und Hürden in der Praxis für Anlagenbetreiber und Retrofit-Anbieter zu identifizieren. In einem weiteren Schritt erfolgte die Erarbeitung der für Retrofit relevanten Wissensinhalte im intensiven Austausch mit Retrofit-Experten. Die Gesamtheit der Inhalte wurde in unterschiedliche Themenblöcke unterteilt und anschließend in die Form eines Leitfadens überführt. Zum Schluss wurden die Inhalte des Retrofit-Leitfadens von Experten und potenziellen Anwendern hinsichtlich Neutralität, Verständlichkeit und Anwendungsorientierung evaluiert.

Das angestrebte Forschungsziel wurde erreicht.



## Abstract

---

Storage and retrieval machines are used for the automatic storage and retrieval of different goods in both high-bay warehouses and automatic small parts warehouses and therefore play a major role in the automation of intralogistics. These intralogistics systems are associated with high investment costs, which is why system operators are interested in achieving the longest possible service life at low operating costs. Despite regular maintenance measures, major retrofits are necessary after some time due to decreasing availability of spare parts or qualified service personnel for certain components. Plant operators often lack the experience to assess the many influencing variables that have to be taken into account when evaluating the urgency of a retrofit. Similarly, the positive effects of modernization are not explicitly visible. For this reason, the high costs of retrofits often act as a deterrent, which is why important modernizations are generally initiated too late in industrial practice. As a consequence, this leads to outdated plants with rising operating costs and greater risks of failure. Such factors lower the economic viability of the plant, which can cause financial difficulties for smaller companies in particular. Against this background, the aim of the OptiFit research project was to optimize the framework conditions for retrofit processes and, in particular, to enable system operators to initiate future modernizations in good time. The latter were to be provided with basic knowledge in order to counteract the lack of experience and knowledge with regard to retrofits and to increase awareness of the costs and benefits of modernization.

For this reason, the current status of modernization projects for storage and retrieval systems was first analyzed by means of expert interviews in order to identify common challenges and hurdles in practice for system operators and retrofit providers. In a further step, the knowledge content relevant for retrofitting was developed in an intensive exchange with retrofit experts. The entire content was divided into different topic blocks and then converted into the form of a guide. Finally, the contents of the retrofit guide were evaluated by experts and potential users with regard to neutrality, comprehensibility and application orientation.

The project objectives were achieved



# Inhaltsverzeichnis

---

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung	1
1.2 Forschungsziel	3
1.3 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	4
<b>2 Grundlagen</b>	<b>7</b>
2.1 Intralogistik und Intralogistiksysteme	7
2.1.1 Systemdefinition	7
2.1.2 Intralogistiksysteme	7
2.1.3 Regalbediengeräte	11
2.2 Lebenszyklen und Betrieb von Intralogistiksystemen	13
2.2.1 Grundlagen zu Lebenszyklen	13
2.2.2 Lebenszyklus von Intralogistiksystemen	14
2.2.3 Instandhaltung	16
2.2.4 Modernisierung	19
<b>3 Optimierungspotenziale von Retrofit-Projekten</b>	<b>21</b>
3.1 Vorgehen zur Ermittlung des Optimierungspotenzials	21
3.1.1 Analyse von Retrofit-Berichten	21
3.1.2 Interviews mit Anlagenbetreibern	22
3.1.3 Expertengespräche mit Retrofit-Anbietern	23
3.2 Retrofit-Vorhaben für Regalbediengeräte in der Praxis	23
3.2.1 Beteiligte am Retrofit-Prozess	24
3.2.2 Schematischer Ablauf eines Retrofit-Prozesses	25
3.2.3 Tätigkeiten während des Betriebs der Anlage	26
3.2.4 Tätigkeiten bei der Systemanalyse und Planung	29
3.2.5 Tätigkeiten bei der Umsetzung	31
3.3 Optimierungspotenziale für Retrofit-Vorhaben	32
3.3.1 Hürden für Retrofit-Projekte und deren Ursache	32

3.3.2	Optimaler Rahmenbedingungen für Retrofit-Projekte	35
<b>4</b>	<b>Retrofit-relevante Wissensinhalte</b>	<b>37</b>
4.1	Grundlagenwissen für Retrofit-Vorhaben	37
4.2	Vorteile durch rechtzeitig initiierte und durchgeführte Retrofits	39
4.3	Typischer Ablauf eines Retrofits Prozess	40
4.4	Häufige Auslöser für Retrofits	42
4.5	Aufgaben des Betreibers während der Betriebsphase	44
4.6	Lebenszyklus von Komponenten	45
4.7	Betroffene Komponenten	46
4.8	Sicherheitsvorschriften	47
4.9	Zeiträume und Arbeitsumfänge	49
4.10	Bewertung der Dringlichkeit von Retrofits	52
4.11	Maßnahmen zur Vorbereitung und Durchführung von Retrofits	54
<b>5</b>	<b>Entwicklung und Umsetzung einer Lösung zur Unterstützung von Retrofits</b>	<b>57</b>
5.1	Zielsetzung und Anforderungen	57
5.2	Aufbau und Umsetzung des Leitfadens	58
<b>6</b>	<b>Evaluierung der Lösung</b>	<b>61</b>
6.1	Vorgehen und Aufbau der Evaluation	61
6.2	Ergebnisse der Evaluation	63
6.2.1	Erfüllung der Neutralität – Thesen 1 bis 3	64
6.2.2	Erfüllung der Verständlichkeit – Thesen 4 bis 10	67
6.2.3	Erfüllung der Anwendungsorientierung – Thesen 11 bis 17	74
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>80</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>82</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>85</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>87</b>
	<b>Anhang A Retrofit-Leitfaden</b>	<b>A-1</b>
	<b>A.1 Deckblatt und Inhaltsverzeichnis</b>	<b>A-1</b>
	<b>A.2 Grundlagen</b>	<b>A-2</b>



<b>A.3 Tätigkeiten während der Betriebsphase</b>	<b>A-6</b>
<b>A.4 Ermittlung der zu modernisierenden Komponenten</b>	<b>A-8</b>
<b>A.5 Beachtung von Sicherheitsvorschriften</b>	<b>A-10</b>
<b>A.6 Unterschiedliche Arbeitsumfänge bei Retrofits</b>	<b>A-11</b>
<b>A.7 Kriterien zur Bewertung der Dringlichkeit</b>	<b>A-13</b>
<b>A.8 Vorbereitung auf Retrofits</b>	<b>A-14</b>
<b>A.9 Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) zur Qualitätssicherung</b>	<b>A-15</b>
<b>A.10 Kurzzusammenfassung des Retrofit-Leitfadens</b>	<b>A-16</b>



# Abkürzungsverzeichnis

---

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
RBG	Regalbediengerät
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
ERP	Enterprise Resource Planning
LVS	Lagerverwaltungssystem
MFR	Materialflussrechner
LAM	Lastaufnahmemittel
LE	Ladeeinheit
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
VIBN	Virtuelle Inbetriebnahme
IBN	Inbetriebnahme



# 1 Einleitung

---

In der Logistik werden vermehrt automatisierte Lagersysteme eingesetzt, um dem Personalmangel sowie den gestiegenen Anforderungen hinsichtlich Variantenvielfalt und Stückzahlen zu entgegen [Zij-2019, S. 206]. Regalbediengeräte (RBG) sind ein klassisches Beispiel für die Automatisierung in der Intralogistik und maßgeblich zuständig für den Durchsatz eines Lagers sowie für den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens. Sie werden für die automatische Ein- und Auslagerung unterschiedlicher Güter sowohl in Hochregallagern als auch in automatischen Kleinteilelagern eingesetzt. Unabhängig von der Unternehmensgröße und Branche kommen RBG immer dort zum Einsatz, wo große Umschlagleistungen sowie hohe Verfügbarkeiten bei hoher Lagerdichte benötigt werden [Roo-2009, S. 2].

Aufgrund der hohen Investitionskosten sind Anlagenbetreiber an einer möglichst langen Nutzungsdauer bzw. einem langen Lebenszyklus interessiert. Üblicherweise werden RBG für einen Zeitraum bis zu 15 Jahren ausgelegt. Die Verlängerung der Lebensdauer durch kontinuierliche Instandhaltungsmaßnahmen ist nur bis zu einem bestimmten Grad möglich, weshalb RBG nach einiger Zeit modernisiert werden müssen. Je nach Anlage kann die Betriebsphase durch Modernisierung um fünf bis zehn Jahre verlängert werden. Auslöser für diese sogenannten Retrofits sind beispielsweise geänderte Sicherheitsvorschriften und gesetzliche Vorgaben, die nur mit neueren Komponenten erfüllt werden können, oder die Sicherstellung der Verfügbarkeit von Ersatzteilen sowie von qualifizierten Servicepersonal.

Hochregallager und darin verbaute RBG werden stets anhand spezifischer Kundenanforderungen ausgelegt werden, weshalb die sich die Intralogistiksysteme in ihrem Aufbau und den einzelnen Komponenten unterscheiden. Sowohl die Neuplanung von automatisierten Lagersystemen als auch die Planung von Modernisierungen bedarf aufgrund der Komplexität der Projekte die Expertise und Erfahrung von speziellen Anbietern.

## 1.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Der Austausch mit Retrofit-Experten zeigt, dass aktuell die Bewertung der positiven Effekte von Retrofit-Maßnahmen in der Regel auf Erfahrungswerten beruht und dabei nur die Teilaspekte, die explizit sichtbar sind, wie z. B. die Reparatur- und

Wartungskosten, berücksichtigt. Insbesondere für Betreiber, die nur wenig Erfahrung mit intralogistischen Anlagen und mit den Effekten der Alterung solcher Anlagen haben, sind die nicht direkt sichtbaren Kosten (z.B. Ausfallkosten) und die nicht direkt zuordenbaren Kosten (z. B. Energiekosten) aufgrund von fehlenden Modellen und Daten nur ungenügend bewertbar. Dagegen sind die anstehenden Investitionen für Retrofit-Maßnahmen direkt sichtbar und aufgrund der Höhe oft abschreckend. Somit herrscht ein Ungleichgewicht zwischen der einmalig anstehenden Investition, die direkt ersichtlich ist, und dem langfristigen Nutzen, der nicht detailliert bewertet werden kann, weshalb Retrofit-Maßnahmen in der industriellen Praxis im Allgemeinen, so der Konsens der Retrofit-Experten, zu spät angegangen werden. Hieraus folgt schließlich eine Überalterung der Anlagen, welche wiederum eine sinkende Anlagenverfügbarkeit, steigende Betriebs- und Ausfallkosten sowie die steigende Gefahr von Abkündigungen von Ersatzteilen mit sich bringt. Diese Faktoren reduzieren die Wirtschaftlichkeit der Anlagen, wodurch die Betreiber der Anlagen in wirtschaftliche Schwierigkeiten gelangen können.

Aufgrund der Vielzahl an nicht berücksichtigten Einflussgrößen und dem ungenügenden Retrofit-Vorwissen der Betreiber, fehlt ihnen häufig das Verständnis für die Notwendigkeit der hohen Investition durch Modernisierungen. Insbesondere Betreiber, die den kleineren und mittleren Unternehmen (KMU) zuzuordnen sind und unzureichend für die Chancen durch rechtzeitige Retrofits und dadurch vermeidbaren Risiken sensibilisiert sind, entdecken die Dringlichkeit eines Retrofits sehr spät und können das benötigte Budget nicht zeitnah zur Verfügung stellen. In Folge werden dringende Maßnahmen verschoben oder gar nicht durchgeführt. Ein zu später Zeitpunkt von Retrofits kann jedoch dazu führen, dass die Betriebskosten mit der Dauer der Nutzung überproportional ansteigen. So können die Kosten für Instandhaltungstätigkeiten jährlich bis zu 10 % des Wiederbeschaffungswerts der Anlage [Sch-2017] und die *Total Cost of Ownership* bei einer Nutzungszeit von 20 Jahren bis zu circa das Fünffache der eigentlichen Anschaffungskosten betragen [Rec-2016a]. Zusätzlich entstehen Ausfallkosten, wie entgangene Gewinne, wenn die Anlage aufgrund von Störungen stillsteht.

Hohe Ausfallkosten können dazu führen, dass der Betrieb der Anlage nicht mehr rentabel ist bzw. die verursachten Kosten nicht mehr gedeckt werden können. Vor allem für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) stellt dies ein Gefahrenpotential dar, da für diese Unternehmen die Investition in eine automatisierte Lageranlage eine, bezogen auf die Unternehmensumsätze, hohe Investition darstellt. Nachdem solch eine Investition getätigt wurde, hängt bei diesen Unternehmen der wirtschaftliche Erfolg dann stark vom reibungsfreien Funktionieren dieser Anlage ab. Dies ist u. a. dadurch bedingt, dass diese Unternehmen in der Regel weniger breit aufgestellt sind und die automatisierte Anlage ein zentrales Element im Gesamtsystem darstellt. Ein

Ausfall dieses Elements beeinträchtigt daher wesentlich den Kernprozess des Unternehmens.

Diesem Gefahrenpotential kann durch rechtzeitige Retrofit-Projekte entgegengewirkt werden, wodurch auch langfristig ein wirtschaftlicher Betrieb der Anlagen möglich ist. Somit verhindern die angestrebten Ergebnisse, dass KMU-Betreiber mit einem grundsätzlich erfolgreichen Geschäftsmodell aufgrund von plötzlichen Anlagenausfällen in wirtschaftliche Schwierigkeiten geraten.

KMU-Planer von Retrofit-Projekten verbessern durch die angestrebten Ergebnisse ihre Position beim Planen von Retrofit-Projekten. Da heutzutage das Planen und Bewerten dieser Projekte überwiegend anhand von Erfahrungswerten durchgeführt wird, haben Konzerne aufgrund ihres reichen Erfahrungsschatzes gegenüber den KMU-Planern Vorteile. Durch den entwickelten Leitfaden steht allen Unternehmen eine umfassende Datengrundlage zur Verfügung, wodurch die KMU-Planer bessere Möglichkeiten haben, im Markt für Retrofit-Projekte Fuß zu fassen. Somit sind die angestrebten Ergebnisse sowohl für KMU-Planer als auch KMU-Betreiber wirtschaftlich vorteilhaft.

## **1.2 Forschungsziel**

Ziel ist Forschungsvorhabens ist daher, Betreiber von Intralogistikanlagen und Retrofit-Anbietern, bei der Durchführung von Modernisierungen an RBG zu unterstützen. Das soll erreicht werden, indem geeignete Rahmenbedingungen geschaffen werden, in denen Retrofits zum optimalen Zeitpunkt durchgeführt werden können.

Als Ergebnis aus dem Forschungsvorhaben soll eine umfangreiche Wissensbasis zur Unterstützung von Retrofitvorhaben zur Verfügung stehen. Die Vermittlung dieser Wissensinhalte soll Anlagenbetreiber frühzeitig für zukünftige Modernisierungen sensibilisieren und sie zur Durchführung einer ganzheitlichen Dringlichkeitsbewertung für Retrofits sowie von Vorbereitungsmaßnahmen für Modernisierungsvorhaben befähigen. Die Anwender sollen darüber informiert werden, weshalb Modernisierungen notwendig sind, wie die Arbeitsumfänge und daraus resultierenden Kosten entstehen, welche Risiken und Chancen zu berücksichtigen sind und wie optimale Ausgangsbedingungen für die Vorhaben geschaffen werden können. Die Wissensinhalte werden in einem umfangreichen Leitfaden und einer übersichtlichen Checkliste überführt.

## **1.3 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels**

Der Lösungsweg, welcher als Herangehensweise zur Erreichung des Forschungsziels gewählt wird, gliedert sich in sieben Arbeitspakete (AP1 - AP7). Diese werden im Folgenden aufgeführt und den Kapiteln des Forschungsberichts zugeordnet, welche die Ergebnisse der Arbeitspakete enthalten.

### **AP1 – Analyse von Retrofit-Projekten**

Das erste Arbeitspaket zielte auf die Schaffung einer Datengrundlage über Retrofitprojekte ab. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus der Literaturanalyse sowie Projekt-Berichten zu abgeschlossenen Retrofits der projektbegleitenden Partner entsteht ein typisches Vorgehen für Modernisierungsvorhaben. Weiterhin ist das Ergebnis dieses Arbeitspaketes eine Übersicht zu häufigen Einflussgrößen und Auslösern von Retrofits.

### **AP2 – Identifizierung und Strukturierung der Herausforderungen und Optimierungspotenziale**

Im zweiten Arbeitspaket wurden Experteninterviews zu abgeschlossenen und geplanten Projekten mit Anbietern von Retrofits sowie Betreibern von Regalbediengeräten durchgeführt. Ein Fokus liegt auf „Stolpersteinen“ im Prozess, die häufig aus Anbieter bzw. Betreiber-Sicht auftreten. Aus den identifizierten Herausforderungen wurden mit Unternehmen aus dem projektbegleitenden Ausschuss mögliche Optimierungspotenziale für die Praxis diskutiert und Möglichkeiten zur Unterstützung von Retrofits abgeleitet.

### **AP3 – Ermittlung der zur Bewertung und Durchführung von Retrofits relevanten Wissensinhalte**

Aufbauend auf den Erkenntnissen von AP1 und AP2 wurde im dritten Arbeitspaket erarbeitet, welche Wissensinhalte Anlagenbetreibern bereits im Vorfeld von Retrofit-Projekten vermittelt werden müssen, sodass Hürden und Herausforderungen zukünftiger Retrofits vermieden werden können. Der Fokus liegt dabei auf der frühzeitigen Sensibilisierung von Anlagenbetreibern für Retrofit-Vorhaben sowie der Befähigung zur Erkennung der Dringlichkeit von Retrofits.

### **AP4 – Identifizierung von vorbereitenden und unterstützenden Maßnahmen für Retrofits**

Ziel dieses Arbeitspaketes war die Identifizierung von Maßnahmen, die Anlagenbetreiber durchführen müssen, um optimale Rahmenbedingungen für Retrofit-Vorhaben zu schaffen. Die hier gesammelten Tätigkeiten fokussieren sich dabei auf logistische und



organisatorische Vorkehrungen, die im Vorfeld von frühzeitig geplanten Retrofits stattfinden müssen.

#### **AP5 – Entwicklung und Umsetzung einer Lösung zur Unterstützung von Retrofits**

Die in AP3 und AP4 erarbeiteten Ergebnisse wurden in diesem AP in einen adäquaten Lösungsansatz überführt. Hierzu wurden die retrofit-relevanten Wissensinhalte und unterstützenden Maßnahmen in einen öffentlichkeitswirksamen Leitfaden mit praxisnahen Handlungsempfehlungen integriert.

Dieser ist nach Themengebieten gegliedert, enthält vertiefendes Wissen sowie praktische Anweisungen

#### **AP6 – Evaluierung der Lösung**

Ziel dieses Arbeitspaketes war die Evaluierung des Konzepts mit Hilfe der beteiligten Unternehmen aus dem Projektbegleitenden Ausschuss. Hierbei wurde der Leitfaden den Retrofit-Anbietern aus dem Projektbegleitenden Ausschuss zur Verfügung gestellt. Diese wenden die erarbeiteten Lösungen in ihren Retrofitprojekten an. Mit Hilfe von Thesen wurden anschließend Wissensinhalte und Vorbereitungsmaßnahmen durch die Experten hinsichtlich Neutralität, Verständlichkeit der Lösungsansätze und Anwendungsorientierung bewertet. Die dabei erhaltenen Erkenntnisse bilden die Grundlage für weitere Verbesserungsmöglichkeiten des Leitfadens.

#### **AP 7 – Projektmanagement und Transfer der Forschungsergebnisse in die Praxis**

Die Projektergebnisse wurden während der gesamten Projektlaufzeit dokumentiert und zusätzlich in Fachzeitschriften sowie im Internet publiziert.

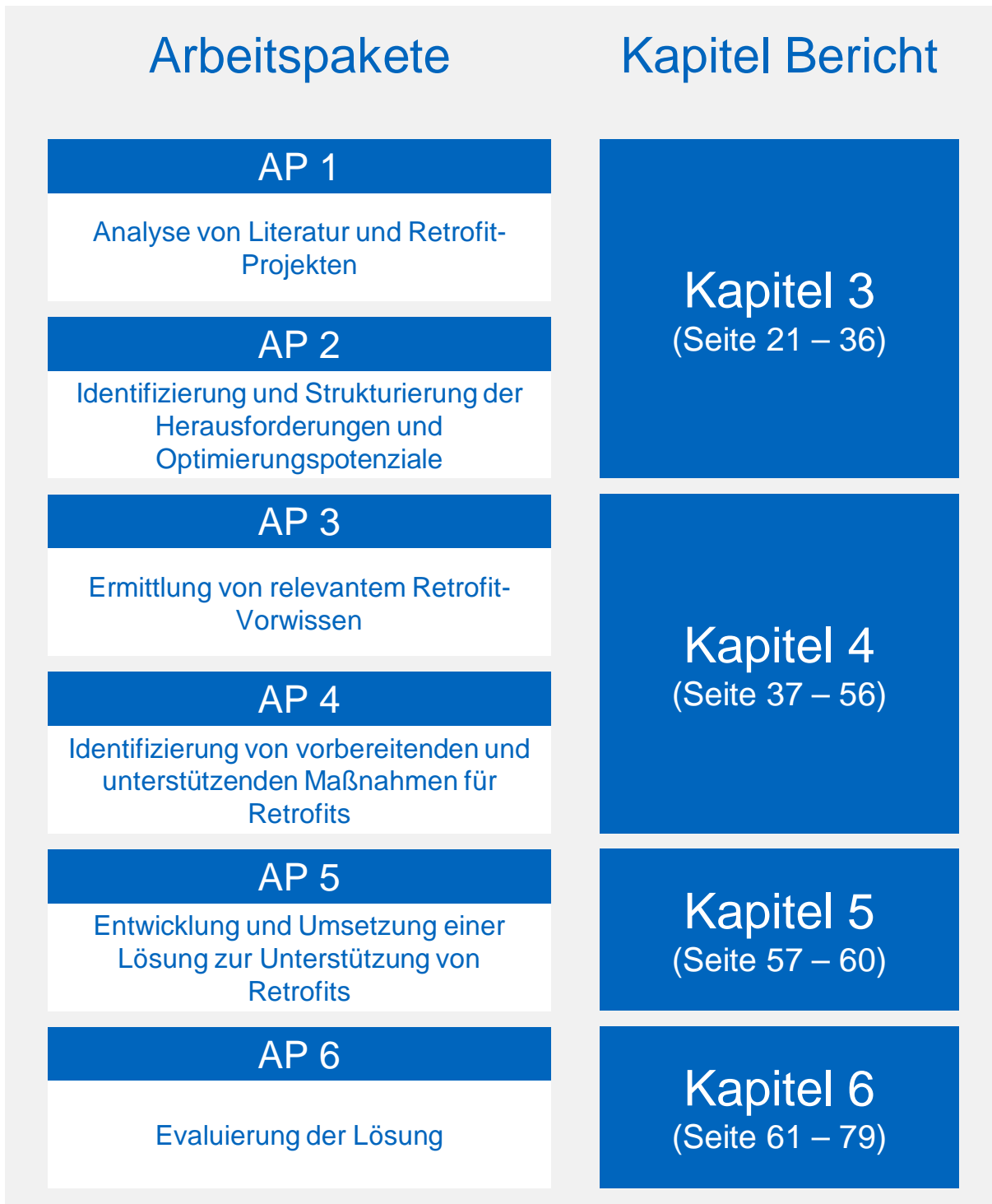


Abbildung 1-1: Übersicht der Arbeitspakete und Zuordnung zu den Kapiteln

## 2 Grundlagen

---

Das Forschungsvorhaben adressiert Modernisierungsvorhaben von Regalbediengeräten. In Abschnitt 2 sollen daher alle notwendigen Grundlagen für ein besseres Verständnis erläutert werden. Abschnitt 2.1 umfasst Begriffsdefinitionen zu Intralogistik und Intralogistiksystemen zum allgemeinen Verständnis von automatisierten Lager-systemen. Anschließend wird auf das Thema Lebenszyklus von Regalbediengeräten eingegangen. Hier werden zudem die Instandhaltung und Modernisierung als weitere Maßnahmen zur Verlängerung des Lebenszyklus vorgestellt.

### 2.1 Intralogistik und Intralogistiksysteme

Zu Beginn des Abschnittes wird eine Definition der Intralogistik sowie der intralogistischen Systeme gegeben. Anschließend folgt eine Vorstellung wichtiger Systemlösungen der Intralogistik, welche die Bereiche der Förder- und Lagerhilfsmittel, der Förder-technik sowie der Lagertechnik umfasst. Im weiteren Verlauf werden Regalbediengeräte als klassische Unstetigförderer für Stückgüter und die dazugehörigen Komponenten vorgestellt.

#### 2.1.1 Systemdefinition

Der Begriff Intralogistik wurde insbesondere durch den VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau) geprägt und steht für „die Organisation, Durchführung und Optimierung innerbetrieblicher Materialflüsse in Unternehmen der Industrie, des Handels und in öffentlichen Einrichtungen mittels technischer Systeme und Dienstleistungen“ [Arn-2006, S. 13]. Die typischen Prozesse der innerbetrieblichen Logistik zwischen Wareneingang und Warenausgang sind das Fördern, Verteilen, Zusammenführen, Lagern, Handhaben, Sortieren und Kommissionieren [Rec-2019, S. 33]. Während die Materialflüsse und -bereitstellungen der innerbetrieblichen Logistikprozessen durch intralogistische Systeme gesichert werden, beschäftigt sich die außerbetriebliche Logistik mit den Warenströmen zwischen geografisch verteilten Betrieben in einem logistischen Netz [Arn-2008, S. 35].

#### 2.1.2 Intralogistiksysteme

Die DIN 30781 beschreibt *Fördern* als „Transport innerhalb einer örtlich begrenzten und zusammenhängenden Betriebseinheit“ und kann als innerbetrieblicher Transport bezeichnet werden [DIN-30781; Hom-2018, S. 125]. Die Fördertechnik ist für das

„Bewegen von Gütern und Personen über relativ kurze Entfernungen einschließlich der dazu notwendigen technischen, organisatorischen und personellen Mittel“ zuständig [Hom-2018, S. 126]. Eine typische Unterteilung der Fördermittel erfolgt nach der Art des Ladeeinheitenstroms, d.h. kontinuierlich (stetig) oder diskontinuierlich (unstetig) (siehe [Hom-2018, S. 127]). Hinsichtlich der Verfahrensbewegung werden die Fördermittel zudem in flurgebunden und flurfrei aufgeteilt. Flurgebundene Fördermittel nutzen dabei Verkehrswege am Boden oder verfahren über im Boden eingelassenen Einrich-

Fördermittel			
Stetigförderer		Unstetigförderer	
flurgebunden	flurfrei	flurgebunden	flurfrei
Unterflurschleppkettenförderer	Kreisförderer	Umsetzer, Schlepper, Wagen	Trolley-/ Rohrbahn
	Power-and-Free-Förderer	Stapler	Brücken-/Portalkran
		Regalbediengerät	Ausleger-/Drehkran
		Automat. Flurförderzeug	Elektrohängebahn

Abbildung 2-1: Unterteilung der Fördermittel nach Art des Ladeeinheitenstroms und der Verfahrensbewegung

tungen. Flurfreie Fördermittel hingegen fahren beispielsweise auf an der Hallendecke befestigten Schienen, die oberhalb der eigentlichen Arbeitsebene in einer Fabrik oder einem Materialflusssystem angeordnet sind [Hom-2018, S. 131].

**Stetigförderer** erzeugen einen kontinuierlichen Fördergutstrom und werden in allen Bereichen in Industrie und Handel und dort in allen Funktionsbereichen intralogistischer Materialflusssysteme eingesetzt. Aufgrund ihres einfachen Aufbaus, der hohen Betriebssicherheit, des geringen Bedienungsaufwands und dem Vermögen, große Mengen zu befördern, stellen sie in vielen Fällen die geeignete Lösung für eine Förderaufgabe dar. Das günstige Verhältnis von Eigengewicht zur geförderten Nutzlast erlaubt einen geringen Energiebedarf und bei entsprechender Auslastung niedrige Betriebskosten. Stetigförderer lassen sich zudem aufgrund der einfachen und definierten Bewegungsabläufe sind Stetigförderer mit relativ geringem Aufwand automatisieren. [Hom-2018, S. 133]

Der Förderprozess bei **Unstetigförderern** findet in sogenannten Arbeitsspielen statt, wobei im Allgemeinen unterschiedliche Spielzeiten für Last- und Leerfahrten unterschieden werden. Sie zeichnen sich durch eine hohe Anpassungsfähigkeit an zahlreiche Förderaufgaben aus. So können bei entsprechender Dimensionierung des Fördermittels und Wahl eines geeigneten Lastaufnahmemittels nahezu beliebige Förderaufgaben realisiert werden. Im Gegensatz zu Stetigförderern ist das Verhältnis von Eigengewicht zur beförderten Nutzlast bei Unstetigförderern ungünstiger. Vorteilhaft ist ihre große Flexibilität gegenüber Layoutänderungen. So kann die Systemleistung bei Unstetigförderern durch Variation der Anzahl der eingesetzten Geräte flexibel gestaltet und somit an den momentanen Transportbedarf angepasst werden. Dies hat jedoch einen erhöhten Aufwand im Bereich der dispositiven Steuerung zu Folge, da bspw. Transportaufträgen zu einzelnen Einheiten zugewiesen werden müssen. [Hom-2018, S. 161]

Eine ausführlichere Beschreibung der **Regalbediengeräte** als Vertreter der Unstetigförderer und der zugehörigen Komponenten erfolgt in Abschnitt 2.1.3.

**Lagern** beschreibt jedes „geplante Liegen des Arbeitsgegenstandes im Materialfluss“ [Hom-2018, S. 52]. In einem Lager befindet sich ein Raum bzw. eine Fläche zum Aufbewahren von Stück- und/oder Schüttgut. Grundlegende Prozesse in einem Lager sind das Einlagern von Lagereinheiten, das Aufbewahren und Bereithalten von Lagereinheiten auf Lagerplätzen sowie das Auslagern einer Lagereinheit. Lager dienen zum Ausgleich von Bedarfsschwankungen und werden klassischerweise in statische und dynamische Lagersysteme eingeteilt. [Röm-2011, S. 267]

Bei **statischen** Lagermitteln verbleiben die Ladeeinheiten (LE) zwischen Einlagerung und Auslagerung an einem Platz im Lager [Hom-2018, S. 58]. Diese Lagermittel werden weiter in Boden und Regallagerung unterteilt. Bei der Bodenlagerung werden die LE nach Möglichkeit übereinander gestapelt, um die Lagerfläche möglichst klein zu halten [Hom-2018, S. 62]. Zu den statischen Regallagern zählen unter anderem die Hochregal- und Behälterlager [Hom-2018, S. 67ff.]. Die Hochregallager werden entweder manuell mit Hochregalstaplern oder vollautomatisch mit Regalbediengeräten bedient. In der Industrie wird das Hochregallager am häufigsten für Paletten eingesetzt und besteht aus Regalzeilen mit mehreren Ebenen an Lagerfächern. Der Unterschied zwischen zu den Hochregallagern und automatischen Kleinteilelagern bzw. Behälterlagern ist, dass für Letztere die Lagerfächer auf die Größe von Kleinladungsträgern angepasst sind [Hom-2018, S. 70ff.]. Analog zu dem Hochregallagern werden automatische Kleinteilelager ebenfalls mit Regalbediengeräten bedient, wodurch eine hohe Umschlagsleistung erreicht werden kann.

Bei **dynamischen** Lagermitteln werden die LE nach dem Einlagern bewegt, wobei zwischen einer Bewegung der LE in feststehenden Regalen, einer Bewegung der LE mit den Regalen und einer Bewegung der LE auf Fördermitteln mit Lagerfunktion differenzieren werden kann [Hom-2018, S. 58]. Beispiele für feststehende Regale mit bewegten LE sind Durchlauf- und Einschubregallager. Karussell- und Paternosterregale sind Vertreter für bewegte Regale mit feststehenden LE und werden insbesondere bei der Kommissionierung von Kleinteilen eingesetzt [Hom-2018, S. 89ff.].

Abbildung 2-2 zeigt eine Übersicht mit beispielhaften Lagermitteln für Stückgüter.

Lagermittel für Stückgüter			
Statisch		Dynamisch	
Bodenlagerung	Regallagerung	Feststehende Regale, bewegte Ladeeinheiten	Bewegte Regale, feststehende Ladeeinheiten
Blocklager	Hochregallager	Durchlaufregallager	Karusselllager
Zeilenlager	Behälterregallager	Einschubregallager	Paternosterregale
	Einfahrregallager		

Abbildung 2-2: Einteilung der Lagermittel für Stückgut nach [Hom-2018, S. 59]

Die **Steuerung** einer Materialflussautomatisierung kann anhand eines Ebenenmodells beschrieben werden (siehe [VDI-3630, S. 7]). Darin enthalten sind das Enterprise Resource Planning System (ERP), das Lagerverwaltungssystem (LVS), der Materialflussrechner (MFR), die Maschinensteuerung, sowie die Sensoren und Aktoren [Atz-2016]. Die obere Ebene versendet Aufträge an die jeweils darunter liegende Ebene und erhält von ihr Statusmeldungen zurück. In der obersten Ebene des ERP-Systems sind die Geschäftsprozesse gespeichert. Dieses System ist zuständig für die betriebliche Planung und Steuerung von Abläufen und Ressourcen [Mar-2014, S. 521]. Das ERP-System leitet die Kundenaufträge an die darunterliegende Leitebene, das Warehouse Management System (WMS) und Lagerverwaltungssystem, weiter. In dieser Ebene werden die Bestände und Buchungen zeitsynchron erfasst und anschließend Transportaufträge initiiert. Die Ein- und Auslageraufträge werden an den Materialflussrechner in der darunterliegenden Ebene, die Prozesssteuerungsebene, weitergeleitet. Dieser Materialflussrechner sendet die Transportbefehle an die Steuerungsebene und überwacht deren Ausführung. Bei Bedarf führt dieser eine automatische

Wegoptimierung oder Aufteilung von Fahraufträgen in mehrere Teilaufträge durch. Auf der Steuerungsebene landen die Aufträge des Materialflussrechners und die Signale der Sensoren der darunterliegenden Feldebene. Die Steuerung verwendet diese Informationen, um Vorgabewerte für die Aktoren zu berechnen, die für die Ausführung des Transportes zuständig sind. [Atz-2016; VDI-3630, S. 7]

### 2.1.3 Regalbediengeräte

Regalbediengeräte (RBG) gehören zu der Gruppe der Unstetigförderer und verfahren als Förder- Hebezeuge auf Schienen zur manuellen oder automatischen Ein- und Auslagerung von LE [Mar-2014, S. 389; FEM-9-101]. Einsatzgebiete der RBG sind Palettenregal-, Hochregal-, Fachbodenregal-, Behälterregal- und automatischen Kleinteillager (AKL) für das Umschlagen von Ladeeinheiten und das Kommissionieren von Ladegütern bei sehr großen Regalhöhen [Gri-2020, S. 141; Hom-2018, S. 198ff.].

Meist wird pro Regalgang ein Regalbediengerät eingesetzt. Ist der Güterumschlag jedoch gering, kann ein Regalbediengerät auch in mehreren Gängen arbeiten. Diese kurvengängigen Regalbediengeräte können den Gassenwechsel selbst auf dafür vorgesehenen Schienen durchführen. Eine Alternative zum Gassenwechsel via Schienensystem ist der Einsatz eines Umsetzwagens. Das RBG gelangt über Schienen auf den Umsetzwagen, der es in eine andere Gasse transportiert. [FEM-9-101; Mar-2014, S. 389; Hom-2018, S. 205ff.]

Nach der FEM-9.101 sind die Hauptkomponenten eines RBGs das Tragwerk, Lastaufnahmemittel (LAM), Fahrtrieb und Hubwerk (siehe Abbildung 2-3). [FEM-9-101]

Das **Tragwerk** wiederum besteht aus Mast, Fahrwerk und Hubwagen [Hom-2018, S. 198ff.]. Mithilfe eines oder mehrerer **Fahrtriebe** verfährt das RBG entlang der Fahrschiene längs zum Regal und kann entweder durch einen oder zwei Masten mit der oberen Führung verbunden sein. Die Antriebseinheit besteht immer aus einer Leistungseinheit, einem Motor, einem Getriebe und weiteren Übertragungsgliedern. Für den Antrieb von Regalbediengeräten kommen frequenzgeregelte Drehstrommotoren, Servo-Asynchronmotoren oder Servo-Synchronmotoren zum Einsatz. Der Fahrtrieb ist entweder direkt am Regalbediengerät oder an einem stationären Punkt im Lager, zum Beispiel am Gassenende verbaut [Sch-2019, S. 98].

Das **Hubwerk** besteht aus der Gesamtheit aller Bauteile, die zum Heben und Senken des Hubwagens in vertikale y-Richtung benötigt werden. Die Hub- und Senkbewegung durch den Hubantrieb wird beispielsweise über Zahnriemen-, Ketten oder Seiltriebe

umgesetzt. Im Falle einer manuellen Bedienung der RBG ist die Fahrerkabine ebenfalls am Hubwagen angebracht. [Hom-2018, S. 200]

Das **Lastaufnahmemittel** ist auf dem Hubwagen installiert und bestimmt in hohem Maße die Leistung des Systems sowie die erforderliche Gestaltung der Schnittstelle zur Lagervorzone und Regalfach. Je nach Anzahl und Ausführung des LAM kann es eine oder mehrere Ladeinheiten aufnehmen und nebeneinander oder hintereinander transportieren. Abhängig von der Aufnahmekapazität von LE und der Positionierung der LE neben- bzw. hintereinander wird das LAM als einfach breit (tief), zweifach breit (tief) oder als mehrfach breit (tief) bezeichnet. [Arn-2008, S. 686f.]

Die Steuerung des RBG befindet sich in einem Schaltschrank, der entweder stationär oder mitfahrend auf dem Fahrwerk verbaut ist [FEM-9-101]. Winkelcodierer oder Laserdistanzgeräte werden verwendet, um die aktuelle Lage des RBG zu bestimmen, sowie eine genaue Positionierung des RBG zu erreichen. [Mar-2014, S. 390]

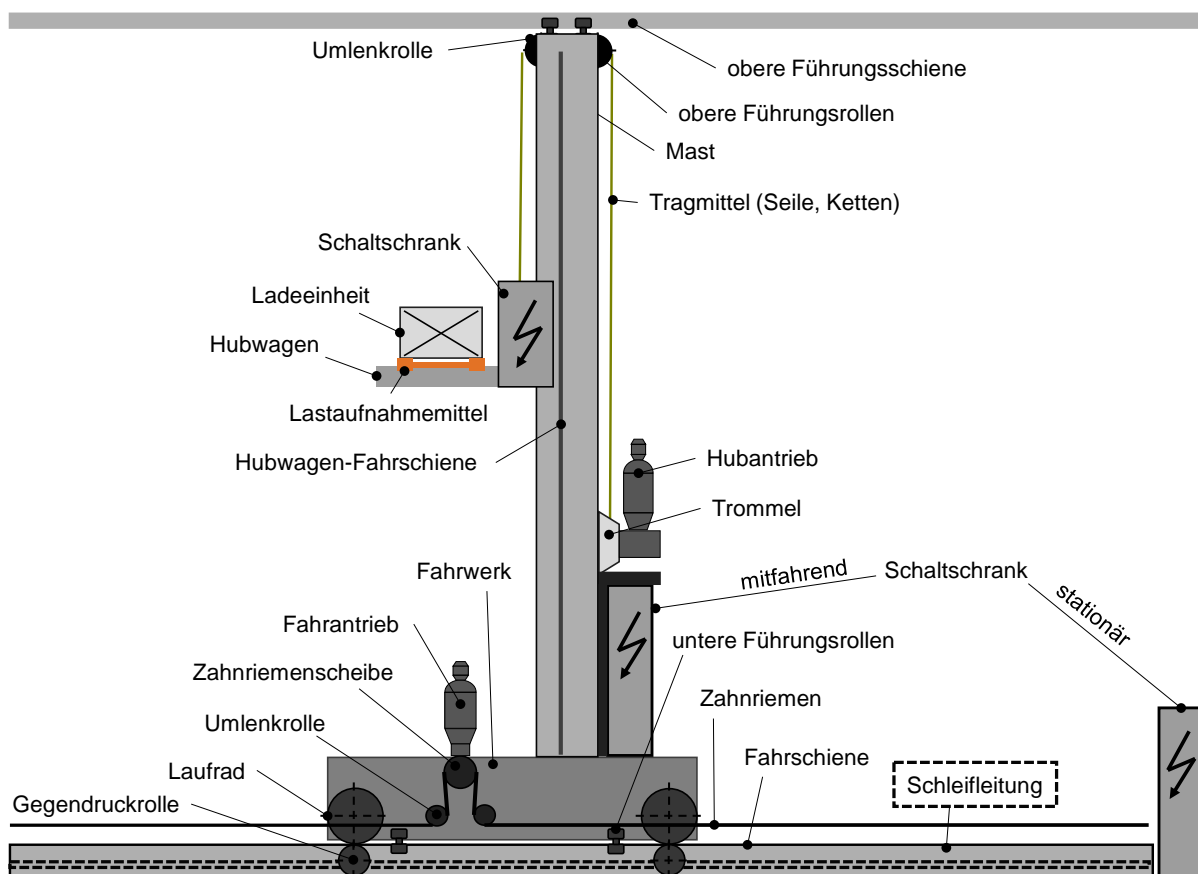


Abbildung 2-3: Schematischer Aufbau eines Regalbediengerätes nach [DIN-15350; FEM-9-101]



## 2.2 Lebenszyklen und Betrieb von Intralogistiksystemen

Die Errichtung neuer Intralogistiksysteme ist eine strategische Entscheidung, die einen hohen Investitionsaufwand sowie über viele Jahre festgelegte Betriebskosten und logistische Funktionen nach sich zieht. Neben der Neuplanung als schwerwiegenden Weichenstellung eines Unternehmens, kommt der Planung von Modernisierungen und damit Aufrechterhaltung des Betriebs eine ebenso hohe Bedeutung zu. Die nachfolgenden Abschnitte enthalten eine allgemeine Einführung zu Lebenszyklen eine Vorstellung der Lebensphasen in der Intralogistik, die Erläuterung grundlegender Inhalte zu Instandhaltung sowie Einblick über die Modernisierung von Intralogistiksystemen.

### 2.2.1 Grundlagen zu Lebenszyklen

Der Begriff Lebenszyklus steht für das „Zeitintervall zwischen der Konzipierung und der Aussonderung eines Produktes“ [DIN EN-60300-3-3, S. 6]. Nach DIN 60300-3-3 besteht der Lebenszyklus eines Produktes aus sechs Hauptphasen [DIN EN-60300-3-3, S. 21].

In der **Konzeptionsphase** werden erste Anforderungen, Einsatzumgebung und der zeitliche Rahmen festgelegt bzw. ermittelt. Davon lassen sich funktionale und sonstige Vorgaben und vorläufige Zuverlässigkeitsanforderungen ableiten, um machbare Entwürfe aufstellen und Kaufoptionen erwägen zu können. Nach Verifizierung der Machbarkeit eines anfänglichen Konzepts folgt die **Entwicklungsphase**. Hier liegt der Schwerpunkt der Arbeiten auf die Planung und Ausführung ausgewählter Entwürfe, um einzelne Funktionen der Einheit zu realisieren. Außerdem werden Schnittstellen zwischen System- und Teilsystemelementen ermittelt und Risiken bezüglich des gewählten Entwurfs im Detail beurteilt und zugehörige Abhilfen spezifiziert. In der **Realisierungsphase** wird über Eigenentwicklung oder Zukauf der Einheit und ihrer Komponenten entschieden. Zugehörige Tätigkeiten sind die Komponenten- und Modulsimulationen, Analysen und Prüfungen, der Zusammenbau von Komponenten, die Integration von Einheitenfunktionen, die Verifizierung der Teilsysteme und die Installation der fertigen Einheit. Die **Nutzungsphase** zeichnet sich aus durch den Betrieb einer Einheit sowie die Aufrechterhaltung ihrer betrieblichen Fähigkeiten mittels Instandhaltungsmaßnahmen. Neben der Überwachung der Anlagenleistung gehören auch Schulungen und Fortbildungen der Betreiber und Instandhalter zu den anfallenden Tätigkeiten. In der **Erweiterungsphase** kann die Lebensdauer einer Einheit verlängert oder die Erfüllung der wachsenden Ansprüche der Benutzer gesichert werden. Hier anfallende Tätigkeiten sind das Aufrüsten von Hardware oder Software, die Verbesserung der Instandhaltung, sowie auch die Vereinfachung von Verfahren zur Erhöhung der betrieblichen Effizienz. In der **Entsorgungsphase** endet die Lebensdauer einer

Einheit. Bei der Außerbetriebnahme sind behördliche Regeln bezüglich Rückgabe, Wiederverwendung oder Entsorgung zu beachten. [DIN EN-60300-1, S. 27]

### 2.2.2 Lebenszyklus von Intralogistiksystemen

Zur Beschreibung des Lebenszyklus von Intralogistiksystemen kann ein ähnliches Modell wie in Abschnitt 2.2.1 verwendet werden. *Haußner, Elger et al.* nutzen hierfür ein fünfphasiges Modell (siehe Abbildung 2-4, oberer Teil) [Hau-2010]. Im Gegensatz zur DIN 60300-3-3 wird die Erweiterung bzw. Modernisierung als Teil der Betriebsphase, in der DIN 60300-3 auch *Nutzungsphase* genannt, betrachtet.

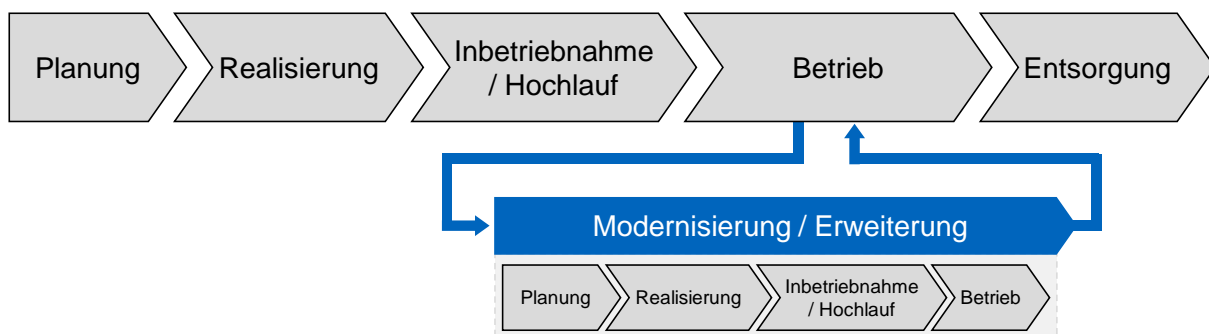


Abbildung 2-4: Lebenszyklus eines Intralogistiksystems in Anlehnung an [Hau-2010, S. 180]

Zu Beginn der **Planungsphase** erfasst der Systemanbieter in Zusammenarbeit mit dem Kunden die Anforderungen des Systems und prüft die prinzipielle Machbarkeit durch diverse Studien und eines oder mehrere Simulationsmodelle. Anschließend wird eine erste Kostenrechnung durchgeführt, die die Grundlage für das spätere Angebot bildet. Hierfür führen Systemanbieter eine grobe Projektierung der Steuerungstechnik und IT durch und entscheiden, welcher Anteil des zu erstellenden Systems zugekauft und welcher selbst erstellt werden kann. Neben der Abschätzung der Kosten für den Eigenanteil müssen auch die Kosten der Zulieferer berücksichtigt werden. [Hau-2010, S. 168]

Erteilt der Kunden den Auftrag, beginnt die **Realisierungsphase**, in der die in der Planungsphase erstellten Studie detailliert und das bestehende Simulationsmodell um auftragsspezifische Materialflussstrategien erweitert wird. Das können bereits Betriebsstrategien von RBG oder Algorithmen für die Auftragsposition oder Wegplanung sein. Im Rahmen eines Feinlayoutplans wird das Layout hinsichtlich eingesetzter Fördertechnik sowie Anzahl an Fördertechnikabschnitten auf den Wegstrecken konkretisiert. Systemanbieter legen anschließend das Steuerungskonzept fest, detaillieren die Systemarchitektur und definieren klare Systemschnittstellen. Die vorgesehenen Abläufe des Systems werden in Form von Ablauf- und Arbeitsplatzbeschreibungen festgelegt. Außerdem wird eine Visualisierungsumgebung erstellt, um sowohl die

Überwachung aktueller Systemzustände als auch den Eingriff in den aktuellen Anlagebetrieb zu ermöglichen. Die Steuerungsprogramme auf Materialflussrechner- und SPS-Ebene werden einzeln und im Gesamtzusammenspiel bereits beim Softwareersteller getestet und um Fehler bereinigt, so dass beim späteren Einspielen der Software auf der Baustelle möglichst wenige Nacharbeiten durchzuführen sind. Während diese Programme noch erstellt und getestet werden, kann mit dem Aufbau der Anlage beim Kunden begonnen werden. Im Anschluss an die Errichtung der Mechanik (z. B. Förderer) erfolgt der Aufbau der Elektrik (z. B. Motoren, Sensoren, Umrichter) und der Steuerungstechnik einschließlich Verkabelung. [Hau-2010, S. 169ff.]

In der **Hochlaufphase** werden mehrere aufeinander aufbauende Test- und Abnahmeprozesse durchgeführt, um letzte Fehler im Aufbau, der Steuerungsprogrammierung und beim späteren Betrieb der Anlage aufzuzeigen und nachzubessern. Gleichzeitig werden Schulungen für die späteren Bediener der Anlage durchgeführt. An dieser Stelle findet häufig der Gefahrenübergang vom Anlagenhersteller auf den Betreiber statt, der die Verantwortung für eventuelle Schäden übernimmt. Im letzten Schritt wird die gesamte Anlage an ihre in der Ausschreibung geforderte Leistungsgrenze gebracht. Hierzu wird anhand vordefinierter Szenarien gezeigt, dass das System die dort definierten Durchsätze und Antwortzeiten erbringen kann und über einen definierten Zeitraum keine Fehler auftreten, die den Betrieb deutlich behindern. Diese Leistungsabnahme gehört zu den arbeitsaufwändigsten Tätigkeiten in der Inbetriebnahme/Hochlaufphase. In der Regel folgt nach beschriebenem Leistungstest ein mehrwöchiger Probetrieb, in welchem die Anlage neben dem Durchsatz auch eine festgelegte Verfügbarkeit erreichen muss. [Hau-2010, S. 171f.]

Sobald die Anlage hochgelaufen ist, beginnt die **Betriebsphase**. Gegenfalls muss der Anlagenhersteller noch die von ihm verantwortlichen Mängel beheben und wechselt danach, falls vom Kunden erwünscht, in die Rolle des Service-Dienstleisters. Die Umfänge der Tätigkeiten und Dienstleistungen werden über einen Service-Vertrag festgelegt. Die unterschiedlichen Leistungen beinhalten die Wartung und das Beheben von einfachen Problemen und Störungen vor Ort oder per Ferndiagnose, bis hin zur Einbeziehung von Systementwickler im Falle von komplexen Problemstellungen. In vorher festgelegten Wartungsintervallen prüfen Anlagenhersteller mechanische und steuerungstechnische Komponenten und tauschen diese ggf. aus, um eine hohe Anlagenverfügbarkeit zu betreiben. Die Praxis zeigt jedoch, dass die Intralogistikanlagen häufig bis zum Ausfall betrieben werden. Für die Durchführung von umfangreicheren Wartungsarbeiten durch die Anlagenhersteller müssen häufig Teile oder die komplette Anlage stillgelegt werden. Da dies meist nur in betriebsfreien Zeiten, d. h. nachts oder an Wochenenden und Feiertagen möglich ist, führt das zu zusätzlichen Kosten für das eingesetzte Wartungspersonal. [Hau-2010, S. 173]

Unabhängig von bestehenden Service-Verträgen sind Betreiber in der Verantwortung, eigenständig Instandhaltungstätigkeiten auszuführen, um eine möglichst lange Nutzungsdauer der Anlage zu gewährleisten. Grundlagen zur **Instandhaltung** werden in Abschnitt 2.2.3 behandelt. Trotzdem ist nach einigen Jahren eine **Modernisierung** notwendig, da bspw. ursprüngliche Anforderungen geändert wurden, die die aktuelle Anlage nicht mehr erfüllen kann, oder weil Ersatzteile bestimmter Komponenten nicht mehr verfügbar sind. Modernisierungen finden während der Betriebsphase statt, und durchlaufen ebenfalls die Phasen Planung, Realisierung, Inbetriebnahme und Betrieb. Der untere Teil der Abbildung 2-4 zeigt die Einordnung einer Modernisierung bzw. Erweiterung in den Lebenszyklus eines Intralogistiksystems. Der Fokus des Projektvorhabens liegt auf der Modernisierung von Regalbediengeräten (siehe Abschnitt 2.2.4), Erweiterungen werden daher nicht weiter erläutert.

### 2.2.3 Instandhaltung

Unter Instandhaltung wird die Gesamtheit aller technischen und administrativen Maßnahmen, sowie Maßnahmen des Managements verstanden, die während des Lebenszyklus eines Objektes stattfinden und folgende Ziele verfolgen [DIN EN-13306, S. 8f.]:

- Erhalt des funktionsfähigen Zustands des Objekts
- Wiederherstellung des funktionsfähigen Zustands des Objekts.

Ein Objekt ist in einem **funktionsfähigen Zustand**, wenn es eine geforderte Funktion ausführen kann, bei Verfügbarkeit der dafür erforderlichen externen Ressourcen [DIN EN-13306, S. 32]. Die **geforderte Funktion** ist jene Funktion, die zur Erfüllung der definierten Anforderungen als erforderlich aufgefasst wird [DIN EN-13306, S. 10]. Wenn ein Objekt komplett funktionsunfähig ist oder die Funktion nicht im geforderten Umfang erbracht wird, wird von einem Fehler bzw. Ausfall gesprochen [Ebe-2014, S. 9].

Nach DIN-13306 lassen sich die Instandhaltungsarten in drei Hauptgruppen gliedern, wobei die Hauptgruppen präventive Instandhaltung und korrektive Instandhaltung erneut in zwei Gruppen aufgeteilt werden können (siehe Abbildung 2-5) [DIN EN-13306, S. 62].

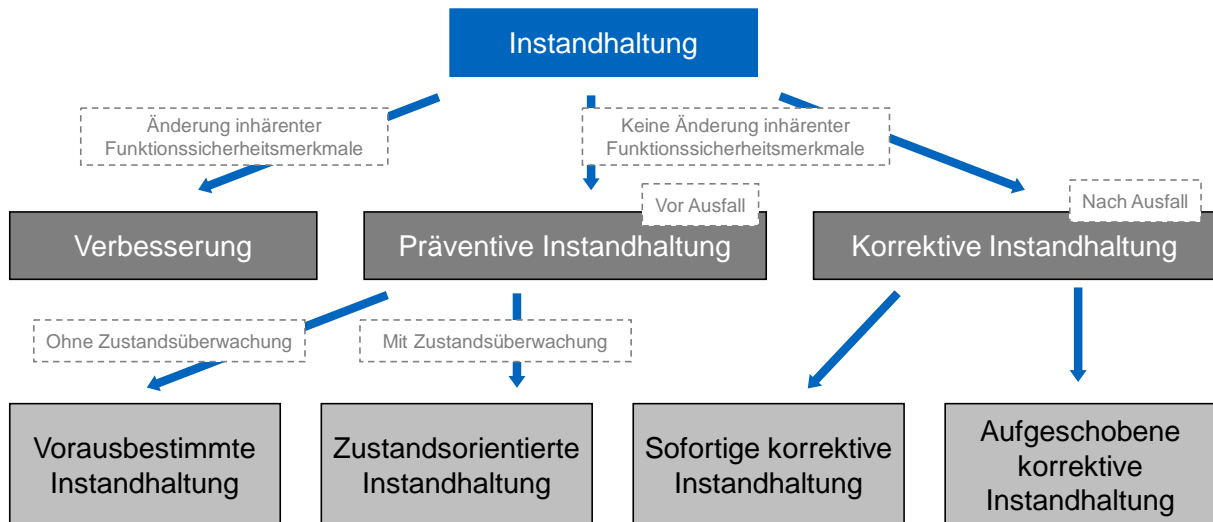


Abbildung 2-5: Instandhaltungsarten nach [DIN EN-13306, S. 62]

**Verbesserung** ist die Gesamtheit aller technischen und administrativen Maßnahmen, sowie Maßnahmen des Managements mit dem Ziel, die immanente Zuverlässigkeit und/oder die Instandhaltbarkeit und/oder die Sicherheit eines Objektes zu steigern. Die ursprüngliche Funktion eines Objektes wird dabei nicht geändert. [DIN EN-13306, S. 36]

Bei der **korrektiven Instandhaltung** werden erst dann Instandhaltungsmaßnahmen ergriffen, wenn bereits ein Anlagenausfall oder eine Anlagenstörung aufgetreten ist. Je nach Umsetzungszeitpunkt der Instandhaltungsmaßnahme kann die korrektive Instandhaltung in eine sofortige korrektive Instandhaltung und in eine aufgeschobene korrektive Instandhaltung untergliedert werden. Zum Beispiel fällt bei einem PKW der Austausch der Batterie nach einem Defekt unter die korrektive Instandhaltung. [DIN EN-13306, S. 38; Paw-2016, S. 174; Lei-2014, S. 20]

Im Gegensatz dazu ist das Ziel der **präventiven Instandhaltungsarten** Ausfälle gar nicht erst entstehen zu lassen [DIN EN-13306, S. 34]. Hier soll der Abbau, d. h. eine schädliche physikalische Zustandsänderung, die durch Zeit, durch Nutzung oder externe Ursachen eintritt, beurteilt und/oder vermindert werden. Die präventive Instandhaltung lässt sich untergliedern in eine vorausbestimmte und eine zustandsorientierte Instandhaltung [DIN EN-13306, S. 62].

Bei der **vorausbestimmten Instandhaltung** werden Maßnahmen nach festgesetzten Zeitintervallen oder nach einer festgesetzten Zahl von Nutzungseinheiten umgesetzt. Nachteilig ist, dass es aus technischer Sicht zu einem nicht notwendigen und somit nicht wirtschaftlichen Komponentenaustausch kommen kann, da der tatsächlich vorliegende Bauteilzustand nicht berücksichtigt wird. Der Zeitpunkt für den Austausch ist

dabei abhängig von den Erfahrungswerten der Anlagenhersteller und Betreiber. Im Vergleich zur korrektiven Instandhaltung kann die Ausfallwahrscheinlichkeit durch regelmäßige Instandhaltungsaktivitäten stark reduziert und eine Aufrechterhaltung der Anlagenverfügbarkeit gesichert werden. [DIN EN-13306, S. 35; Lei-2014, S. 16ff.; Bra-2016, S. 23]

Bei der **zustandsorientierten Instandhaltung** werden Maßnahmen aufgrund der Beurteilung und Analyse des physikalischen Zustands der jeweiligen Anlagenkomponente durchgeführt. Die Beurteilung kann kontinuierlich, bei Bedarf oder nach einem festen Zeitplan erfolgen. Wird bei der zustandsorientierten Instandhaltung der Zustand kontinuierlich überwacht, wird im Allgemeinen von **Condition Monitoring** gesprochen. Die manuelle regelmäßige Inspektion des Objekts durch einen Mitarbeiter stellt die einfachste Variante dar, um den Objektzustand zu ermitteln und zu bewerten. Diese aufwändigen Inspektionen können durch den Einsatz von Condition Monitoring Systemen verringert werden, da diese Systeme automatisch in regelmäßigen Abständen oder kontinuierlich den Zustand prüfen. Die Zustandsaufnahme erfolgt dabei durch Sensoren, die am Überwachungsobjekt festinstalliert sind und Daten, wie zum Beispiel Beschleunigungen oder Temperatur aufzeichnen. Werden vorher definierte Grenzwerte von den aufgenommenen Messgrößen über- bzw. unterschritten (siehe Abbildung 2-6), liegt eine Abweichung vom Normalzustand und somit eine Schädigung des Objekts vor. Anlagenkomponenten werden im Idealfall kurz vor einem Ausfall ausgetauscht. Dies garantiert eine maximale Ausschöpfung des Abnutzungsvorrates der Komponente bei gleichzeitiger Minimierung des Ausfallrisikos. [Paw-2016, S. 175; Sch-2010, S. 44f.; DIN EN-13306, S. 35]

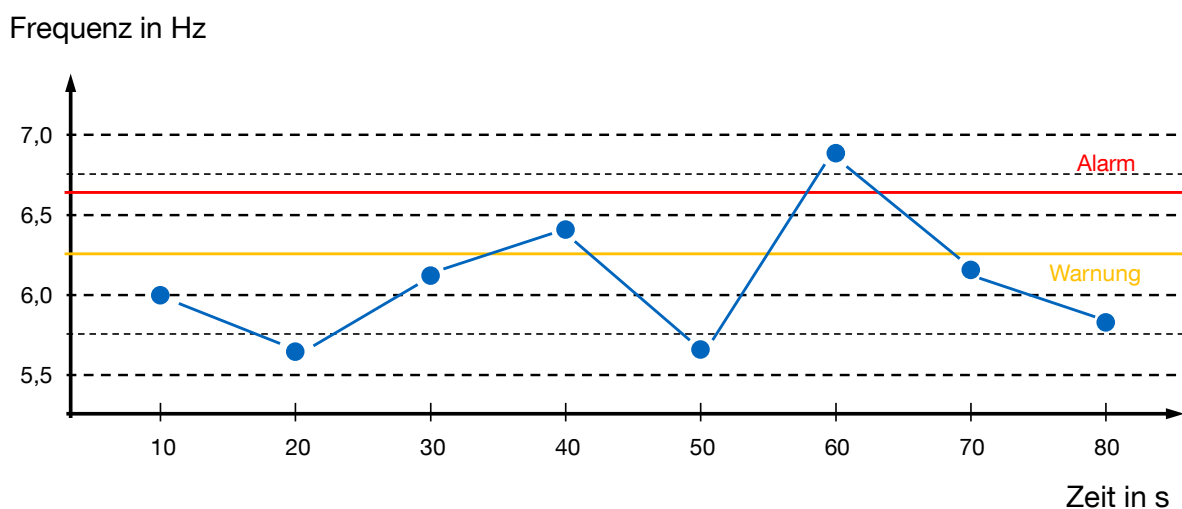


Abbildung 2-6: Schematische Darstellung einer Grenzwertüberwachung nach [Paw-2016, S. 169]

## 2.2.4 Modernisierung

In diesem Abschnitt werden die theoretischen Grundlagen zu Modernisierung erläutert.

Nach DIN-31501 bedeutet Modifikation die Anpassung einer oder mehrerer Funktionen eines Objekts [DIN-31051, S. 10]. Eine **Modernisierung** jedoch geht über eine bloße Verbesserung bzw. Modifikation hinaus. Nach VDI-Richtlinie 4403 wird mit einer Modernisierung die „Erneuerung bzw. Hochrüstung einer bestehenden Anlage auf den neuesten Stand der Technik“ bezeichnet [VDI-4403, S. 2]. Dazu gehören neben einer Generalüberholung der mechanischen und elektromechanischen Komponenten auch der Austausch der Mechanik und Steuerung der Anlage selbst sowie der darüber liegenden Prozess- und Leitebene.

Im Gegensatz zur VDI-Richtlinie setzt DIN 13306 keine Modernisierung auf den neuesten Stand der Technik, sondern lediglich die Berücksichtigung des technologischen Fortschritts bei der Änderung einer Komponente zur Erfüllung neuer oder geänderter Anforderungen voraus [DIN EN-13306, S. 37]. Der Unterschied zwischen Modernisierung und Erweiterung besteht darin, dass letztere eine Installation ohne eine Änderung des Stands der Technik mit sich bringt [VDI-4403, S. 2].

In dieser Arbeit wird die weiter gefasste Definition der DIN 13306 für die Modernisierung verwendet. Eine Modernisierungsmaßnahme resultiert somit immer in einen **neueren Stand der Technik**, jedoch nicht zwingend im neuesten Stand der Technik. In der Intralogistik wird der Begriff **Retrofit** stellvertretend für die Modernisierung von Bestandsanlagen verwendet.

Die zahlreichen **Einflussfaktoren** für Modernisierungen werden in der Theorie in **systembedingte Gründe** sowie **unternehmens- und marktbedingte Gründe** gegliedert. Systembedingte Gründe hängen unmittelbar mit der eingesetzten Technik und dem Zustand der Anlage zusammen und lassen sich in:

- Sinkende Anlagenverfügbarkeit
- Steigende Ausfallkosten
- Fehlendes Fachwissen über Komponenten und Anlagenteile
- Mangelnde Ersatzteilversorgung
- Ansteigende Betriebskosten
- Unerfüllbare Sicherheitsanforderungen

- Ergonomische- und arbeitsbedingte Einflüsse

aufteilen [VDI-4403, S. 3ff.].

Kann die geforderte Anlagenverfügbarkeit nicht oder nur durch ständige Nachbesserung erreicht werden, ist dies ein Indiz für bald fällige Modernisierung. Gründe für die steigende Anlagenverfügbarkeit sind neben veralteter Technik eine sinkende Ersatzteilversorgung und zunehmend fehlendes Fachwissen über Komponenten und Anlageteile. Trotz regelmäßiger Wartung lässt sich Lebensdauer von Intra-logistikanlagen am Ende nur noch durch einen Retrofit verlängern. Als Folge sinkender Verfügbarkeit steigen mit der Zeit Ausfall- und Betriebskosten der Anlage. Gründe dafür sind ein höherer Ersatzteilverbrauch aufgrund von Verschleißerscheinungen sowie längere Ausfallzeiten durch kompliziertere Ausfälle. Weitere Einflussfaktoren sind neue Sicherheitsanforderungen, die nur durch neuere Komponenten eingehalten werden können, bereits vollends ausgeschöpfte Leistungsreserven oder ergonomische- und arbeitsbedingte Einflüsse [VDI-4403, S. 3ff.].



## 3 Optimierungspotenziale von Retrofit-Projekten

---

Im Forschungsvorhaben soll untersucht werden, wie Modernisierungsvorhaben für RBG verbessert und Anlagenbetreiber wie Retrofit-Anbieter bei diesen Projekten unterstützen werden. Hierfür wurden in Abschnitt 2 die theoretischen Grundlagen zu Modernisierungen von Intralogistiksystemen beschrieben. Abschnitt 3 befasst sich nun mit dem IST-Zustand von Retrofit-Projekten in der Praxis, um abschließend das Verbesserungspotenzial daraus abzuleiten. Abschnitt 3.1 beschreibt das methodische Vorgehen zur Wissensgenerierung im Zuge der Projektbearbeitung in Form von qualitativen Fragebögen und Expertengesprächen. Anschließend werden in Abschnitt 3.2 sowohl der IST-Prozess als auch die Prozess-Beteiligte, die in der Praxis vorzufinden sind, und typische Ursachen und Einflussgrößen für Modernisierungsvorhaben beschrieben. Abschließend wird in Kapitel 3.3 die gezielte Wissensvermittlung zur Verbesserung von Retrofit-Projekten als Optimierungspotenzial für das Forschungsvorhaben formuliert, das sich aus den vorherigen Kapiteln ergibt.

### 3.1 Vorgehen zur Ermittlung des Optimierungspotenzials

Das Ziel des Projektvorhabens ist die Ermöglichung rechtzeitiger, reibungsarmer Modernisierungen für Regalbediengeräten durch die Schaffung optimaler Rahmenbedingungen. Dafür muss zunächst der IST-Zustand von Retrofit-Vorhaben untersucht werden, um auftretende Herausforderungen und Problemstellungen zu identifizieren.

Das hierzu gewählte Vorgehen lässt sich wie folgt beschreiben:

1. Erfassung der IST-Situation von Retrofits für Regalbediengeräte durch **Analyse von Retrofit-Berichten**
2. Durchführung **qualitativer Interviews** zu Retrofits mit Anlagenbetreibern
3. Durchführung **qualitativer Expertengespräche** mit Retrofit-Anbietern
4. Auswertung der Berichte und Interviews und **Formulierung von Optimierungspotenzialen**

#### 3.1.1 Analyse von Retrofit-Berichten

Als Grundlage für eine erste Einarbeitung in die praktische Umsetzung von Retrofits wurden Projektberichte aus Fachzeitschriften (z. B. die *Modernisierungsfibel*) oder von Anbietern veröffentlichte Berichte verwendet. Diese Berichte sind jedoch nur bedingt aussagekräftig, da sie als nicht-neutrale Zusammenfassung insbesondere für

Vertriebs- bzw. Marketingzwecken verwendet werden. Diese Berichte ermöglichten einen ersten Einblick über die häufigsten Beweggründe und Auslöser für Retrofits sowie über die möglichen Arbeitsumfänge von Modernisierungen hinsichtlich betroffener Komponenten. Dieses Vorwissen bildet die Grundlage für konkrete Fragestellungen der nachfolgend durchgeführten qualitativen Experten-Interviews.

#### 3.1.2 Interviews mit Anlagenbetreibern

Der Fokus dieses Forschungsvorhabens liegt auf der Optimierung von Modernisierungsprojekten für RBG. Nachfolgenden werden die Begriffe *Betreiber* oder *Anlagenbetreiber* als Synonym für *Betreiber von RBG* verwendet. In der Praxis werden Entscheidungen bezüglich Retrofits nicht anhand rein mathematischer Kosten-Nutzen-Abwägungen, sondern insbesondere auf Basis von Erfahrungswerten oder persönlichen Einschätzungen gefällt. Zudem sind die Ausgangssituationen und Anforderungen für jede Intra-logistikanlage und damit für die Retrofit-Bewertung individuell. Um trotz der subjektiven Bewertung durch Betreiber aus den einzelnen, unterschiedlichen Retrofit-Projekten verallgemeinerbare und vergleichbare Aussagen ableiten zu können, wurde ein **induktives Vorgehen** verwendet. Um eine möglichst neutrale Sichtweise über die Herausforderungen und Problemstellungen zu erhalten, wurden **qualitative Interviews mit Anlagenbetreibern** durchgeführt, die bereits Retrofits abgeschlossen hatten. Hierfür wurden Unternehmen kontaktiert, für die bereits Projektberichte in Zeitschriften oder anderen Medien vorlagen oder deren Kontakt über den projektbegleitenden Ausschuss zustande kam. Für die Befragung von Anlagenbetreibern wurden offene Fragen formuliert, die nachfolgend auszugsweise abgebildet sind:

- Allgemeine Daten
  - Wie viele Regalbediengeräte welcher Art werden betrieben?
  - Wie lange war die Nutzungsdauer bis zur Modernisierung?
- Störungen und Ausfälle
  - Wie werden Fehler und Störungen detektiert und zukünftige prognostiziert?
  - Wie werden die Folgen eines Ausfalls bewertet?
- Instandhaltung
  - Wie ist der Instandhaltungsprozess organisiert?
  - Wie wird festgestellt, dass Retrofits notwendig sind?
- Retrofit-Erfahrung
  - Wie sah der Ablauf der durchgeführten Retrofits aus?
  - Welche Hürden existieren aus Betreibersicht bezüglich der Planung und Durchführung von Retrofits?

### 3.1.3 Expertengespräche mit Retrofit-Anbietern

Für eine umfassende Übersicht zu anderen Herangehensweisen und Meinungen wurden qualitative Befragungen mit verschiedenen **Retrofit-Anbietern** durchgeführt. So ergaben sich im Laufe des Projekts zahlreiche Gespräche mit Experten von 15 Retrofit-Anbietern, wodurch eine Vielzahl und Breite an unterschiedlichem Erfahrungswissen gesammelt werden konnte. Aufgrund der pandemischen Lage wurde der Austausch mit den Experten fernmündlich oder über elektronische Kommunikationswege ausgeführt. Im Gegensatz zur Befragung der Anlagenbetreiber, die von einzelnen Projekten berichten, können Retrofit-Anbieter auf einen größeren Erfahrungsschatz durchgeführter Modernisierungen zurückgreifen. Ziele der Befragung waren dabei, Erkenntnisse über den Retrofit-Prozess, typischer Auslöser von Retrofits, häufige Hürden bei Modernisierungen und die Kosten-Nutzen-Bewertung von Projekten zu erlangen. Nachfolgend sind diese Themen aufgelistet, die mit einer stellvertretenden Frage spezifiziert werden.

- **Retrofit-Prozess** – Wie ist der allgemeine Ablauf eines Retrofits vom Zeitpunkt der ersten Anbahnung bis hin zur Durchführung?
- **Auslöser** – Was sind relevante Einflussgrößen, die Modernisierungen notwendig machen?
- **Hürden im Prozess** – Welche Reibungsverluste und Herausforderungen existieren in der Praxis?
- **Kosten-Nutzen-Bewertung** – Anhand welcher Kriterien kann die Dringlichkeit von Retrofits bewertet werden?

## 3.2 Retrofit-Vorhaben für Regalbediengeräte in der Praxis

In diesem Kapitel werden die Erkenntnisse zum IST-Zustand von Retrofit-Projekten aus veröffentlichten Projekt-Beschreibungen und Erfahrungsberichten der Experten zusammengefasst, um im Anschluss (siehe Abschnitt 3.3) Optimierungspotenziale für verbesserte Modernisierungen ableiten zu können. Tabelle 3-1 zeigt eine Übersicht der Retrofit-Experten und zugehörige Unternehmen, die für den Austausch während des Projektvorhabens zur Verfügung standen.

*Tabelle 3-1: Übersicht der Retrofit-Experten*

Ansprechpartner	Unternehmen
Michael Scheiner	SSI Schäfer
Christian Göbet	SSI Schäfer
Martin Leidenfrost	MIAS

<b>Patrick Müller</b>	MIAS
<b>Marc Punzert</b>	TELOGS Gmbh
<b>Tim Meinke</b>	TELOGS Gmbh
<b>Joachim Gümmer</b>	Swisslog AG
<b>Heinrich Lüthi</b>	Swisslog AG
<b>Hans-Otto Weissenborn</b>	Weissenborn Logistik Consulting
<b>Lukas Baldauf</b>	LTW Intralogistics GmbH
<b>Roman Hirschbühl</b>	LTW Intralogistics GmbH
<b>Christian Mattes</b>	IGZ Automation GmbH
<b>Ulrich Schlosser</b>	Witron
<b>Nenad Todorovic</b>	Witron
<b>Jörg Eder</b>	Gebhardt Fördertechnik GmbH
<b>Andreas Meindlberger</b>	TGW Logistics Group GmbH
<b>Daniel Pachinger</b>	TGW Logistics Group GmbH
<b>Stefan Stadlhuber</b>	TGW Logistics Group GmbH
<b>Thomas Preller</b>	Klinkhammer Intralogistics GmbH
<b>Michael Huhn</b>	Unitechnik Systems GmbH
<b>Dirk Lorenz</b>	DAMBACH Lagersysteme GmbH & Co KG
<b>Markus Pattora</b>	Viastore SYSTEMS GmbH
<b>Stefan Bischof</b>	Fehr Lagerlogistik AG

### 3.2.1 Beteiligte am Retrofit-Prozess

**Anlagenbetreiber** lassen sich in die Gruppen der *internen* und *externen Betreiber* einteilen (siehe Abbildung 3-1). Interne Betreiber führen Wartung und Instandhaltung der Intralogistiksysteme eigenständig durch. Innerhalb dieser Gruppe wiederum gibt es Unternehmen, die während der Betriebsphase ihrer Intralogistiksysteme nicht im engen Austausch mit Herstellern, Generalunternehmern bzw. Retrofit-Anbietern stehen (A). Die Initiierung von zur Überprüfung der Anlage hinsichtlich des Retrofit-Bedarfs erfolgt durch die Betreiber selbst und setzt eine hohe Expertise und Erfahrung in der Instandhaltung voraus. Die Erfahrungsberichte von Retrofit-Anbietern zeigen jedoch, dass gerade Betreiber, die nicht im engen Austausch mit Herstellern und Retrofit-Experten stehen, Schwierigkeiten bei der Erkennung der Dringlichkeit von Modernisierungsmaßnahmen haben und Gefahr laufen, Retrofits nicht rechtzeitig zu initiieren.

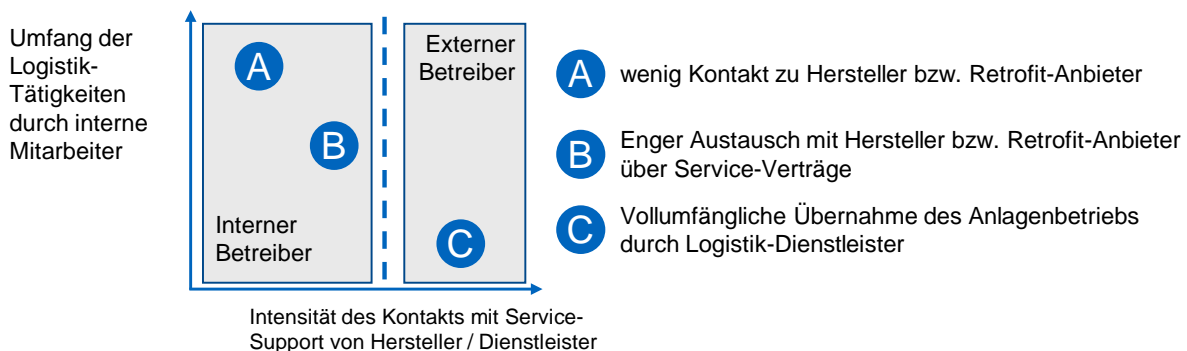


Abbildung 3-1: Unterscheidung der Anlagenbetreiber nach dem Umfang der intern durchgeführten Logistik-Tätigkeiten und dem Kontakt mit Hersteller/Dienstleister

Häufig erfolgt die primäre Informationsbeschaffung oder Sensibilisierung zu Retrofits über öffentlichkeitswirksame Projektberichte in Fachzeitschriften oder Veröffentlichungen von Retrofit-Anbietern.

Im Gegensatz dazu stehen andere Betreiber (**B**) aufgrund spezieller Service-Verträge, die eine regelmäßige Überprüfung der Intralogistikanlage bzw. bestimmter Komponenten vorsehen, im engen Austausch mit Herstellern von Intralogistiksystemen bzw. Generalunternehmern. Im Rahmen dieses „Kundenkontakts“ werden Wartungstätigkeiten an RBG, Störungsbeseitigungen, Gefährdungsbeurteilungen oder Überprüfungen der Unfallverhütungsvorschriften durchgeführt. Hersteller und Generalunternehmer nutzen diese Gelegenheiten, um mit diesen Betreibern notwendige Retrofits zu diskutieren, um proaktiv rechtzeitige Modernisierungen zu initiieren. Eine solche Ausgangssituation ermöglicht diese Gruppe der Betreiber ein höheres Bewusstsein über die Notwendigkeit und den möglichen Nutzen von Retrofits.

Die Gruppe der externen Betreiber (**C**) setzt sich aus Unternehmen zusammen, die den operativen Betrieb und Instandhaltung als Logistik-Dienstleister für anderen Unternehmen übernehmen. Ebenso wie große Unternehmen mit eigenem Instandhaltungspersonal und haben Logistikdienstleister häufig den Vorteil, dass sie aufgrund der größeren Anzahl an betriebenen Intralogistiksystemen auf die Erfahrung von bereits durchgeführten Modernisierungen zurückgreifen können.

In der heterogenen Gruppe der **Retrofit-Anbieter** finden sich klassische Hersteller von ganzen Intralogistiksystemen, Zulieferer von Teil-Komponenten, Generalunternehmer, Logistikplaner oder auf Modernisierung spezialisierte Unternehmen. Bei den Herstellern sind Retrofits dem After-Sales-Bereich zuzuordnen. Nachfolgend wird nicht zwischen den unterschiedlichen Unternehmensarten unterschieden, sondern von Retrofit-Anbietern als übergeordnete Gruppe gesprochen. Für die spätere Beurteilung des bauteilabhängigen Projekt-Umfangs und Kosten ist eine langjährige Erfahrung und Expertise zu Retrofits notwendig, die die Retrofit-Anbieter im Gegensatz zu den meisten Anlagenbetreibern vorweisen können.

### **3.2.2 Schematischer Ablauf eines Retrofit-Prozesses**

Retrofit-Projekte unterscheiden sich aufgrund der individuellen Beschaffenheiten und verbauten Komponenten hinsichtlich Kosten, Arbeitsumfang sowie Umsetzungsdauer. Je nach Höhe der Investition und Motivation der Betreiber kann die Zeitspanne von Budgetierung bis zur Auftragsvergabe zwischen wenigen Monaten bis zu mehreren Jahren liegen.

Abbildung 3-2 zeigt eine schematische Darstellung typischer Retrofit-Projekte in drei Prozessschritten mit den jeweils stattfindenden Tätigkeiten.

Betrieb der Anlage	Systemanalyse und Planung	Umsetzung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operativer Betrieb und Durchführung von Instandhaltungstätigkeiten</li> <li>• Routinemäßige Prüfung des Retrofit-Bedarfs</li> <li>• Initiierung der Prüfung des Retrofit-Bedarfs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detaillierte Analyse des Anlagenzustands</li> <li>• Planung von Projekt-Alternativen und Angebotserstellung</li> <li>• Diskussion und Prüfung der Projekt-Alternativen</li> <li>• Auftragsvergabe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorbereitung der Lagergassen</li> <li>• Durchführung der Retrofit-Arbeiten</li> <li>• Inbetriebnahme und Hochlauf</li> </ul>

Abbildung 3-2: Drei Schritte bei Retrofits und zugehörige Tätigkeiten

### 3.2.3 Tätigkeiten während des Betriebs der Anlage

Auch wenn Modernisierungen grundsätzlich immer einzigartige Projekte sind und sich sowohl in Arbeitsumfang als auch Kosten unterscheiden, können einige Gemeinsamkeiten identifiziert werden. Während der **Betriebsphase**, die je nach Anwendungsfall über 20 Jahre lang andauern kann, führt der Betreiber Instandhaltungstätigkeiten durch, um die Verfügbarkeit und Erfüllung der erforderlichen Logistikleistung sicherzustellen. Im Laufe des Lebenszyklus können unterschiedliche Gründe dazu führen, dass eine genaue Überprüfung des Retrofit-Bedarfs initiiert wird. Je nach Wissenstand und Erfahrung sind Anlagenbetreiber selbst in der Lage, gängige Anzeichen für notwendige Modernisierungen zu erkennen. Nachfolgend werden häufig erwähnte Auslöser aus Literatur und Experteninterviews beschrieben.

### Übersicht über typische Auslöser von Retrofits

Maßgeblich für die Initiierung von Retrofit-Maßnahmen ist, wenn ein wirtschaftlicher und langfristiger Betrieb nicht ausreichend sichergestellt werden kann. Ausgehend von den Erfahrungsberichten der Retrofit-Anbieter wurden zahlreiche Ursachen gesammelt und in vier Hauptursachen zusammengefasst (siehe Abbildung 3-3).

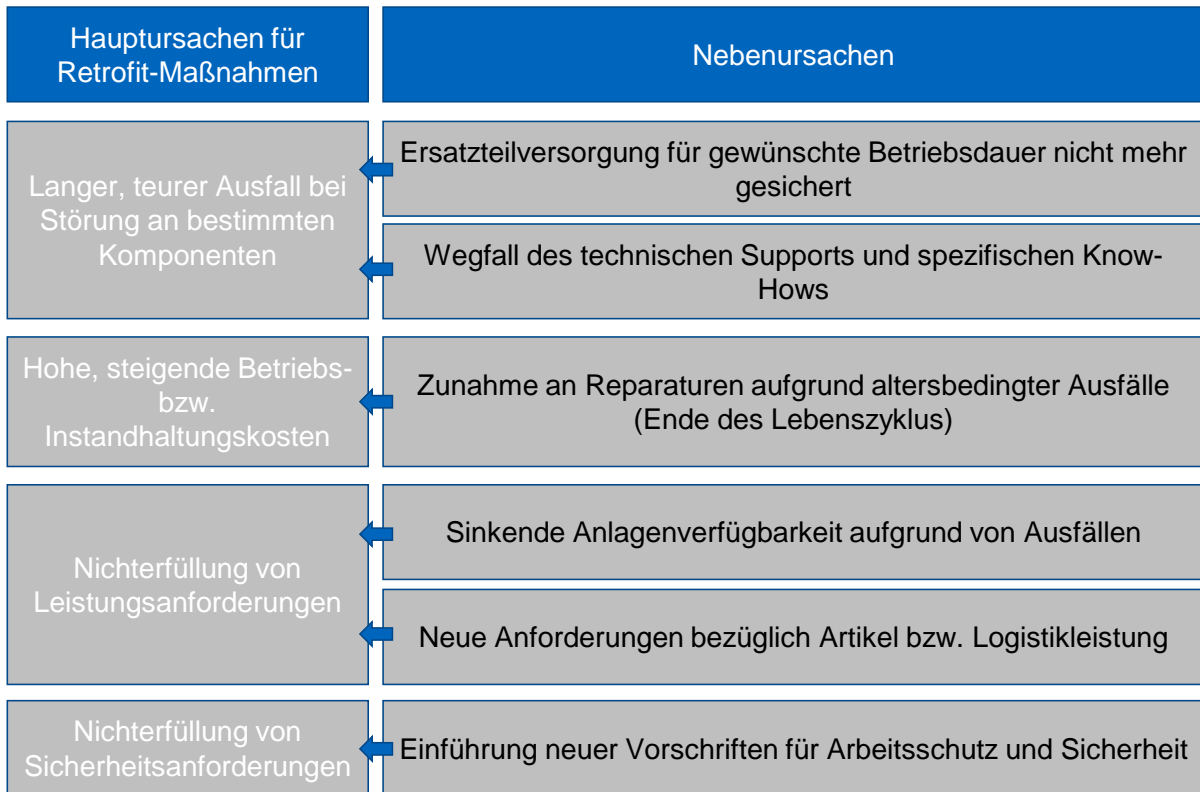


Abbildung 3-3: Ursachen für die Gefährdung des wirtschaftlichen und langfristigen Betriebs von RBG

In den vielen Fällen entsteht eine Notwendigkeit für Retrofits, weil eine Störung an einer Komponente zu **längeren Stillständen** führen würde. Ein Grund dafür sind lange Wartezeiten bei der Störungsbehebung, da notwendige Ersatzteile schwer zu beschaffen sind, weil sie bspw. abgekündigt wurden. Je nach Alter der Komponenten kann es zudem passieren, dass der technische Support eingestellt wurde und daher Experten mit den erforderlichen Fachkenntnissen zur Behebung von Fehlern oder Anpassung der Steuerungen kaum noch verfügbar sind.

Weiterhin treten mit fortschreitender Lebenszeit zunehmend altersbedingte Ausfälle bei Komponenten auf, wenn das Ende des Lebenszyklus näher rückt. Häufigere Stillstände und Reparaturen führen zu **steigenden Betriebs- bzw. Instandhaltungskosten**, weshalb betroffene Komponenten ausgetauscht werden müssen. Wenn entsprechende Ersatzteile nicht mehr verfügbar sind, sollte die Möglichkeit zur Aufrüstung auf einen neueren Stand der Technik in Betracht gezogen werden.

Eine weitere Ursache für Modernisierungen ist, wenn die Regalbediengeräte im aktuellen Zustand die **geforderte Leistung** nicht mehr erbringen kann. Dies kann einerseits auf eine sinkende Anlagenverfügbarkeit durch vermehrt auftretende, verschleiß- bzw. altersbedingte Ausfälle zurückgeführt werden. Andererseits kann der Zeitpunkt der initialen Planung der RBG schon so weit zurück liegen, dass sich in der

Zwischenzeit viele Anforderungen an die Logistikprozesse geändert haben. Beispiele hierfür sind die Verwendung anderer Behälterarten oder die Änderungen bei der Masse oder der Losgröße einzulagernden Artikel.

Die Betriebssicherheitsverordnung (**BetrSichV**) schreibt eine regelmäßige Gefährdungsbeurteilung an den RBG (§ 3) und die **Einhaltung der Grundsätze des Arbeitsschutzgesetzes** für Sicherheit und Gesundheitsschutz (§ 4) vor. Anlagenbetreiber sind also verpflichtet, wirksame Maßnahmen zu ergreifen, um bereitgestellte Arbeitsmittel laufend auf einen Stand der Technik zu halten, der „mit dem Schutz der Beschäftigten vereinbar ist“ [BMA-2015, S. 2]. Retrofit-Experten prüfen daher, ob eine Nichterfüllung von Sicherheitsanforderungen bzw. Änderungen bestimmter Vorschriften zu notwendigen Modernisierungen an den RBG führen.

Retrofit-Experten geben den Hinweis, dass Betreiber, die nicht im engen Austausch mit Herstellern bzw. Retrofit-Anbietern stehen, z. B. über spezielle Wartungsverträge, sich nicht gänzlich der typischen Auslöser bewusst sind. Dies führt in ungünstigen Fällen dazu, dass Retrofits erst angefragt werden, wenn der Zustand der RBG bereits sehr kritisch ist und lange Stillstände drohen.

#### **Beispielhafte Abläufe zur Auslösung von Retrofit**

Der Austausch mit Retrofit-Experten zeigt, dass in der Praxis vielfältige Wege für die Initiierung von Retrofits existieren. Aus Sicht der Anlagenbetreiber kann zwischen interne und externe Faktoren identifiziert werden.

**Intern** werden Retrofits in der Regel von der Logistikabteilung ausgelöst, in selteneren Fällen von strategischen Entscheidern oder dem Controlling. Das Ziel der Instandhaltung ist, den sicheren Betrieb der RBG für einen möglichst langen Zeitraum zu gewährleisten. Aufgrund steigender Ausfallraten, die auf das Ende des Lebenszyklus einer Komponente hindeuten, oder dem Austausch fehlerhafter Komponenten beginnt die Suche nach zugehörigen Ersatzteilen. Im ungünstigen Fall fällt erst hier auf, dass diese aufgrund von Abkündigungen nur schwer zu erwerben oder gar mehr verfügbar sind. Die Überprüfung der Ersatzteilverfügbarkeit wird dann auf weitere Komponenten ausgeweitet. Die Instandhaltung muss prüfen, ob Ausfälle bestimmter Komponenten zu langen Stillständen führen würden, weil diese nicht schnell genug geliefert werden können oder die Verfügbarkeit des benötigten Knowhows sinkt. Droht die Gefahr, dass der sichere, unterbrechungsarme Betrieb der Anlage in den nächsten zwei bis drei Jahren nicht mehr sichergestellt werden kann, ist eine hohe Dringlichkeit gegeben. Spätestens hier wird der Kontakt zu Retrofit-Experten von Seitens der Betreiber



intensiviert. Die Entscheidungsträger wenden sich an die Anbieter zwecks Beauftragung eines detaillierten Retrofit-Checks.

Aus Controlling-Sicht entsteht insbesondere dann Handlungsbedarf, wenn eine Steigerung der Betriebskosten für die Logistik aufgrund von zunehmenden Ausfällen und zugehörigen Instandhaltungsarbeiten festgestellt wird. Stellen Fachexperten fest, dass für eine ausreichende Reduzierung der Betriebskosten entsprechende Modernisierungsmaßnahmen anfallen, werden diese von Entscheidern im Management in Absprache mit der Instandhaltung initiiert. Ebenso kann der strategische Beschluss zur Erhöhung der Kapazität und der Logistikleistung zu notwendigen Erweiterungen und Anpassungen an bestehenden Intralogistiksystemen führen. In Ausnahmefällen steht ein großes Investitionsvolumen zur Verfügung, das zur langfristigen Optimierung und Sicherung der Logistikleistung verwendet werden kann. Retrofit-Experten berichten allerdings, dass die meisten Retrofit-Vorhaben aus einer Notwendigkeit heraus und weniger aus Vorsorge bei ausreichend verfügbaren Finanzmitteln initiiert werden.

Retrofits werden auch durch die Empfehlung von Anbieter **extern** ausgelöst. Das geschieht durch bestehenden Kundenkontakt oder während Anlagen-Inspektionen im Rahmen von Wartungsverträgen (Abschnitt 3.2.1). Ist ein reger Austausch zwischen Anlagenbetreiber und Retrofit-Anbieter vorhanden, können letztere bereits frühzeitig auf Produktabkündigungen, die Nichteinhaltung von Sicherheitsvorschriften oder andere Auslöser hinweisen. Ein enger Kontakt ist im Sinne einer frühen Feststellung des Retrofit-Bedarfs zu bevorzugen

### **3.2.4 Tätigkeiten bei der Systemanalyse und Planung**

Für die genaue Ermittlung des Retrofit-Bedarfs muss eine **detaillierte Analyse** der Regalbediengeräte durchgeführt werden. In manchen Fällen ist diese Leistung in Wartungsverträgen mit abgedeckt. In der Regel bedarf es jedoch einer expliziten Beauftragung eines Retrofit-Anbieters, der aufgrund der notwendigen Erfahrung und Expertise die Koordination der Modernisierung übernimmt.

Anhand von Wartungs- und Reparaturberichten sowie der Analyse bisheriger Störmeldungen, Ausfallzeiten und Zustände der Komponente geben die Retrofit-Experten eine Einschätzung zur restlichen Anlagenlebensdauer bzw. zum Ausfallrisiko. Beispielsweise deuten steigende Ausfallraten, die auf Alterungsausfälle durch betriebsbedingten Verschleiß zurückgeführt werden können, darauf hin, dass bestimmte Komponenten am Ende ihres Lebenszyklus stehen. Unter Berücksichtigung des **aktuellen Stands der Technik** überprüfen die Retrofit-Experten, ob Komponenten erneuert

werden müssen, um bspw. geänderte Sicherheitsanforderungen bezüglich der Arbeitssicherheit zu erfüllen.

Der überwiegende Anteil an Modernisierungen wird jedoch dadurch ausgelöst, dass die gewünschte (Rest-)Betriebszeit der Regalbediengeräte nicht mehr sichergestellt werden kann. Einerseits ist die Verfügbarkeit von Ersatzteilen gefährdet, andererseits besteht das Risiko, dass der Technik-Support eingestellt wird. Gründe für die Verschlechterung der Ersatzteil-Verfügbarkeit sind **Produktabkündigungen**, deren Wahrscheinlichkeit mit zunehmendem Komponentenalter steigt, oder in seltenen Fällen eine Insolvenz eines Komponenten-Herstellers. Zudem existiert das Risiko, dass das **Fachwissen** insbesondere für ältere Technologien verloren geht, wenn die entsprechenden Experten für IT bzw. Steuerungsprogrammierung in den Ruhestand gehen. Besonders bei Komponenten mit kurzen Lebenszyklen, wie z. B. Software und Steuerungen, sind nach fünf bis zehn Jahren große Innovationssprünge zu beobachten. Eine genaue Prognose über den tatsächlichen Verlauf der Verfügbarkeit von Ersatzteilen sowie von qualifizierten Service-Personal für konkrete Komponenten ist nicht möglich, weshalb Retrofit-Experten sich bei der Einschätzung auf ihre Erfahrungswerte stützen.

Auf Basis der Systemanalyse erarbeiten Retrofit-Anbieter verschiedene **Planungsvarianten** mit variierenden Arbeitsumfängen und Projektkosten. In der Praxis werden Modernisierungen während des laufenden Betriebs durchgeführt. Eine Möglichkeit ist, alle notwendigen Arbeiten innerhalb weniger aufeinanderfolgender Tage umzusetzen. Aufgrund der hohen Anzahl an Arbeiten kann dies zu längeren Stillstandszeiten und damit zu einer hohen Beeinträchtigung des operativen Betriebs führen. Eine andere Möglichkeit ist die Aufteilung des Projektumfangs und damit Gesamtkosten in kleinere, schrittweise durchgeführte Teilprojekte. Bei dieser Variante kann die Beeinträchtigung der operativen Prozesse niedriger ausfallen, da die Eingriffe über einen längeren Zeitraum verteilt werden. Zudem können die während der Modernisierung entstandenen Rückstände zwischen den einzelnen Teil-Modernisierungen abgebaut werden.

Für eine ganzheitliche Bewertung der Planungsvarianten müssen die Projektkosten und der monetäre Nutzen durch die Modernisierung dem Ausfallrisiko, unter Berücksichtigung des aktuellen Anlagenzustands, sowie den individuellen Ausfallkosten gegenübergestellt werden. Während die Vorteile und zu erwartenden Retrofit-Kosten auf dem ersten Blick schnell ersichtlich sind, ist die **Bewertung der Dringlichkeit** von Retrofit-Maßnahmen komplexer. Anlagenbetreiber müssen hierfür die negativen Folgen durch unvorhergesehene Anlagenstillstände monetär bewerten, um ein Gefühl dafür zu bekommen, wie viel ein Ausfall „kosten“ würde.

### 3.2.5 Tätigkeiten bei der Umsetzung

Nach der Entscheidung für eine Retrofit-Variante mit anschließender Beauftragung des Retrofit-Anbieters erfolgt die Festlegung der Zeiträume zur Durchführung. Beliebte Optionen wie Betriebsferien, Feiertage oder Wochenenden, in denen eine geringere Anlagenverfügbarkeit und -auslastung möglich wäre, sind sehr beliebt, weshalb Betreiber sich frühzeitig die Ressourcen der Anbieter sichern sollten. Im Allgemeinen ist die Projektdauer abhängig vom Arbeitsumfang, den verfügbaren Ressourcen der Retrofit-Anbieter sowie der zeitlichen Aufteilung der Maßnahmen. Daher kann die Dauer von Retrofits ab Beauftragung über Durchführung bis Abschluss zwischen wenigen Monaten und mehreren Jahren liegen.

Vor der Durchführung von Retrofit-Arbeiten, müssen organisatorische Vorkehrungen getroffen werden, damit es zu keinen Verzögerungen kommt und die Logistikprozesse möglichst geringfügig beeinträchtigt werden. Zum einen sind die Logistikprozesse auf die geringere Verfügbarkeit während der Retrofit-Arbeiten anzupassen, indem frühzeitig mit einer geringeren Auslastung der Anlage geplant wird. Zum anderen muss bei der Planung der Prozesse berücksichtigt werden, dass auf Artikel in stillgelegten Gassen während des Retrofits nicht zugegriffen werden kann. Geeignete Maßnahmen sind z. B. das Umlagern oder Vorsortieren von Artikeln oder gar die Auslagerung der benötigten Logistikleistung.

Nach Abschluss der Modernisierungsarbeiten begleitet der Retrofit-Anbieter die Inbetriebnahme für ca. zwei Tage, um auf Störungen schnell reagieren zu können. In diesem Zuge wird die Instandhaltung für die fachgerechte Benutzung der neuen Technik geschult.

### 3.3 Optimierungspotenziale für Retrofit-Vorhaben

In Abschnitt 3.3.1 werden die Hürden und Herausforderungen aus der Praxis vorgestellt und deren Hauptursache beschrieben (siehe Abbildung 3-4). Ausgehend davon werden in Abschnitt 3.3.2 die optimalen Randbedingungen für Retrofit-Projekte abgeleitet.

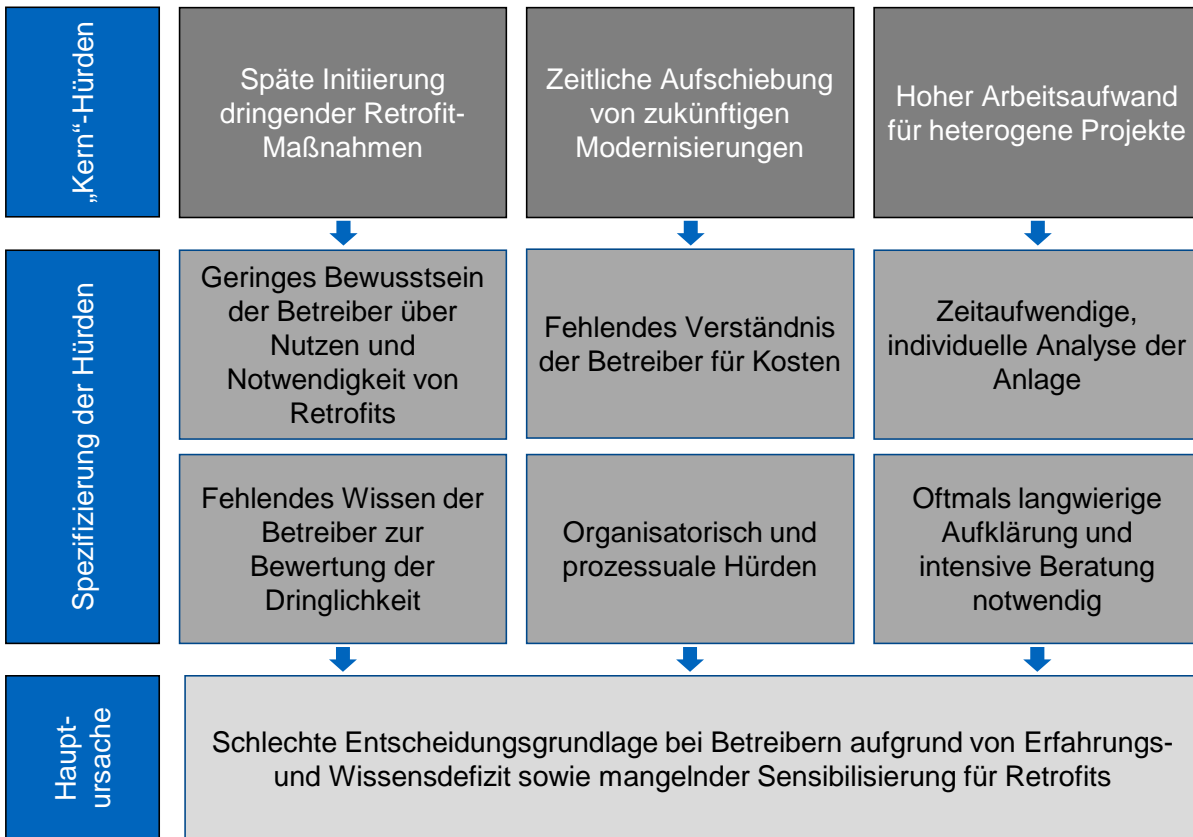


Abbildung 3-4: Hürden bei Retrofit-Projekten und deren Hauptursache

#### 3.3.1 Hürden für Retrofit-Projekte und deren Ursache

Ausgehend von der Analyse der IST-Situation von Retrofit-Projekten wurden zahlreiche Hürden identifiziert, die die bisherige Durchführung von Modernisierungen sowohl für Anlagenbetreiber als auch Retrofit-Anbieter erschweren. Aus der Analyse von Projektberichten sowie den Erkenntnissen aus den durchgeführten Interviews ergeben sich drei „Kern“-Hürden, sowohl für Anlagenbetreiber als auch Retrofit-Anbieter.

##### „Kern“-Hürde 1: Späte Initiierung dringender Retrofit-Maßnahmen

Das subjektive Empfinden der Retrofit-Anbieter bei Befragungen ist, dass ein Großteil der Vorhaben nicht rechtzeitig initiiert wurden. Als möglichen Grund nennen die Retrofit-Experten das geringe Bewusstsein von Anlagenbetreibern für Retrofits. Während

der Betriebsphase liegt der Fokus der Logistiker eher auf der Aufrechterhaltung des operativen Betriebs der RBG als auf die langfristige Planung von Retrofits, weshalb diese häufig erst initiiert werden, wenn akuter Handlungsbedarf entsteht. Der positive Nutzen von Modernisierungen hinsichtlich Verlängerung der Nutzungsdauer und Verringerung des Ausfallrisikos ist teilweise nicht bekannt. Ebenso fehlt den Betreibern das Wissen, um zu bewerten, wie dringend die Komponenten ihrer RBG modernisiert werden müssen. Hierzu ist eine Abschätzung des Ausfallrisikos und intensive Einschätzung der wirtschaftlichen Konsequenzen von unvorhergesehenen, längeren Stillständen zwingend erforderlich, womit sich Betreiber allerdings in der Regel nicht beschäftigen. Unternehmen, die nicht in engem Kontakt bzw. Austausch mit Herstellern oder Retrofit-Anbietern z. B. im Rahmen von Wartungsverträgen stehen, laufen Gefahr, einen möglichen Handlungsbedarf z. B. aufgrund von Produktabkündigungen sehr spät zu erkennen.

Werden Retrofits frühzeitig initiiert, kann dem steigenden Risiko für Stillstände aufgrund altersbedingter Ausfälle entgegengewirkt werden. Da es für Modernisierungen bestimmte, bevorzugte Zeitspannen gibt, z. B. Betriebsferien an Weihnachten oder verlängerte Wochenenden, ist es sinnvoll für Betreiber, sich frühzeitig die Kapazitäten von Retrofit-Anbietern zu sichern.

### **„Kern“-Hürde 2: Zeitliche Aufschiebung von zukünftigen Modernisierungen**

Weiterhin wurde festgestellt, dass einige Projekten aufgrund eines unvollständigen Verständnisses für Retrofit-Kosten zeitlich nach hinten verschoben werden. Einerseits werden langfristige Maßnahmen wie kostenintensive Modernisierungen in der Budgetplanung nur unzureichend berücksichtigt. Wird ein Bedarf für Retrofits festgestellt, müssen diese aus Mangel an Finanzmitteln nach hinten verschoben werden. Andererseits fehlt den Betreibern das Verständnis für die Entstehung der hohen Kosten durch Retrofits sowie den nachhaltigen Nutzen durch Einsparungen bei den Betriebskosten. Im ungünstigsten Fall führt die fehlende Akzeptanz über die hohen Investitionen zur Vertagung von dringenden Maßnahmen.

In den meisten Fällen können die Logistikprozesse nicht angehalten werden, ohne die übrigen Produktionsprozesse massiv zu beeinträchtigen, weshalb Retrofits meist während des laufenden Betriebs durchgeführt werden. Insbesondere wenn aufgrund nachfolgender Prozesse strenge Lieferzeitvorgaben eingehalten werden müssen, möchten die Betreiber jegliche Leistungseinbußen möglichst vermeiden. Trotzdem lassen sich Leistungseinbußen nicht gänzlich vermeiden, da Teilbereiche, in manchen Fällen sogar die gesamte Anlage, stillgelegt werden müssen. Auch wenn mit ausreichend Vorlaufzeit und adäquaten Vorbereitungsmaßnahmen die Stillstandszeiten sich auf ein

Minimum reduzieren ließen, werden wichtige Retrofits vertagt und auf „ruhigere“ Phasen verschoben.

Besonders spät initiierte Retrofits können sich zeitlich verzögern, da ggf. die Retrofit-Anbieter voll ausgelastet sind und notwendige Kapazitäten erst zu einem späteren Zeitpunkt frei werden.

#### **„Kern“-Hürde 3: Hoher Arbeitsaufwand für heterogene Projekte**

Während die ersten beiden „Kern“-Hürden eine Herausforderung für Betreiber darstellen, bedeutet die dritte Hürde hauptsächlich einen hohen Arbeitsaufwand für Retrofit-Anbieter. Regalbediengeräte sind Unikate, die nach kundenindividuellen Anforderungen geplant und ausgelegt werden. Da auch Betriebsbedingungen wie z. B. Temperatur oder Feuchtigkeit in den Anlagen variieren, muss selbst für identische Regalbediengeräte eine eigene Analyse durchgeführt werden. Einen großen Einfluss auf den Zustand der Komponenten bzw. das Ausfallrisiko hat die Belastung der RBG. Zu berücksichtigende Einflussgrößen sind bspw. die Anzahl der Ein- und Auslagerungen, die verrichtete Arbeit oder die Umgebungstemperatur. Die Einschätzung der restlichen Lebensdauer unter Berücksichtigung des aktuellen Komponentenzustands oder die Kenntnis des Stands der Technik erfordern langjährige Erfahrung. Besonders bei älteren Anlagen fehlten eine vollständige Dokumentation der verbauten Komponenten, durchgeführten Reparaturen sowie festgehaltenen Störungen und Fehlermeldungen, wodurch die Anlagenanalyse erschwert wird.

Neben der zeitaufwendigen Analyse der Systeme sind intensive Beratungsgespräche zwischen Retrofit-Anbieter und ihren Kunden notwendig. So können insbesondere uninformierte Betreiber über die Kosten und den Arbeitsumfang für Retrofits aufgeklärt werden, um ein Bewusstsein für das Ausfallrisiko sowie die möglichen Konsequenzen zu schaffen.

#### **Hauptursache – Wissensdefizit der Betreiber**

Die Hauptursache für die erwähnten Hürden ist, dass den Anlagenbetreibern die erforderliche Erfahrung und Expertise sowie das technische Wissen der Retrofit-Anbieter fehlen. Die ungenügende Sensibilisierung zu retrofit-spezifischen Themen führt bei den Betreibern zu einer schlechten Entscheidungsgrundlage. Die Folgen sind „eher spät“ initiierte Retrofits und ein hoher Aufwand vonseiten der Anbieter zur Vermittlung notwendiger Grundlagen an ihre Kunden.

Ausgehend von den identifizierten Hürden aus der Praxis sollen im nachfolgenden Abschnitt ebenjene Rahmenbedingungen für optimale Retrofit-Projekte abgeleitet werden.

### 3.3.2 Optimaler Rahmenbedingungen für Retrofit-Projekte

Damit die Hürden aus Abschnitt 3.3.1 verringert werden und somit optimale Rahmenbedingungen für zukünftige Retrofit-Projekte geschaffen werden können, müssen betreiberseitig drei Anforderungen (siehe Abbildung 3-5) erfüllt sein.

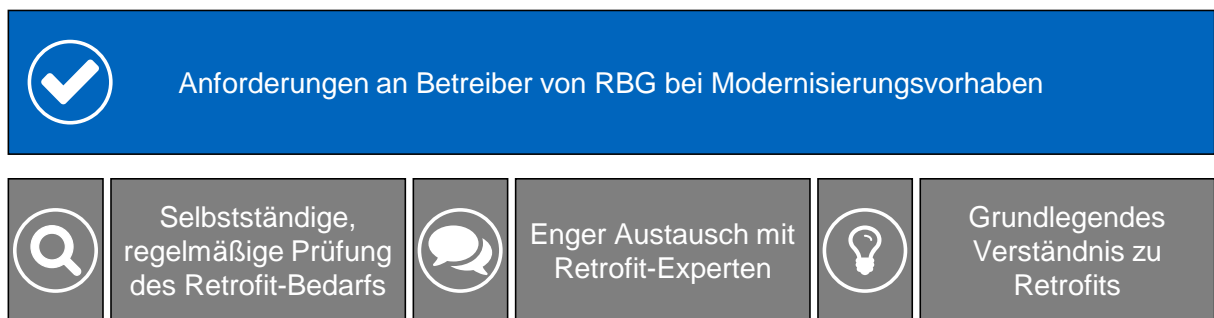


Abbildung 3-5: Anforderungen an Betreiber von RBG, um optimale Rahmenbedingungen für Retrofit-Projekte zu schaffen

In Abschnitt 3.2.3 wurde gezeigt, dass die Gefahr besteht, dass der Bedarf für Retrofits intern nicht rechtzeitig erkannt wird. Dies ist einerseits auf einen unzureichenden Wissensstand der Betreiber bezüglich Retrofit-Auslöser zurückzuführen, andererseits bemerken Retrofit-Anbieter auch häufig eine unrealistische Erwartungshaltung ihrer Kunden. Einige Betreiber gehen fälschlicherweise davon aus, dass ein möglicher Handlungsbedarf von Herstellern bzw. Retrofit-Anbieter an sie herangetragen wird. Damit der Bedarf für Retrofits jedoch rechtzeitig erkannt wird, müssen Betreiber die Auslöser für Modernisierungen **selbstständig prüfen**.

Eine weitere Anforderung für optimale Rahmenbedingungen ist ein **enger Austausch zwischen Retrofit-Anbieter und Betreiber**, auch außerhalb von spezifischen Wartungsverträgen. Dadurch kann frühzeitig auf notwendige Modernisierungen hingewiesen und durch gezielte Aufklärung die Akzeptanz erhöht werden. Wenn Betreiber sich potenzieller Retrofits bewusst sind, können sie diese rechtzeitig bei der Budgetplanung berücksichtigen, um ein Aufschieben dringender Maßnahmen aufgrund von Budgetmangel zu vermeiden.

Besonders wichtig ist, dass Betreiber ein **grundlegendes Verständnis zu Retrofits** besitzen. Retrofit-Anbieter können sich auf die Tätigkeiten zur Analyse und Planung der Modernisierungen fokussieren, da informierte Kunden bereits ein Bewusstsein für die Notwendigkeit und den Nutzen der Maßnahmen besitzen. Durch die Vermittlung

essenzieller Wissensinhalte haben Betreiber eine solide Entscheidungsgrundlage für zukünftige Modernisierungen. Untenstehend ist eine Auflistung von Anforderungen bezüglich notwendiger Wissensgrundlagen, die informierte Betreiber erfüllen sollten:

- Nutzen: Betreiber sind schon frühzeitig über die Möglichkeit von Modernisierungen zur Verringerung der Betriebskosten bzw. Komponentenausfälle bei älteren Anlagen informiert.
- Aufwand: Betreiber wissen, dass die Kosten für Retrofits aufgrund der Anzahl der betroffenen Komponenten und zugehöriger Umbaumaßnahmen deutlich höher als die für Reparaturen sein werden. Bei der Modernisierung abgekündigter Komponenten können aufgrund von Schnittstellenbrüchen noch weitere Komponenten betroffen sein.
- Lebenszyklus der Komponenten: Betreiber sind dafür sensibilisiert, dass für die Bewertung der restlichen Nutzungsdauer von Komponenten nicht nur der Verschleißzustand, sondern auch der Abkündigungsstatus berücksichtigt werden muss.
- Ausfallkosten: Betreiber haben eine klare Vorstellung von den möglichen Risiken und monetären Folgen, die auftreten, wenn notwendige Retrofits zeitlich aufgeschoben werden.
- Bewusstsein für Dringlichkeit: Betreiber sind in der Lage einzuschätzen, wie dringend ein Retrofit für ihre RBG stattfinden sollten. Hierzu berücksichtigen sie z. B. das steigende Ausfallrisiko bei älteren Komponenten oder die möglichen Ausfallkosten als Folge unvorhergesehener Ausfälle.
- Vorbereitungsmaßnahmen: Betreiber können adäquate Vorkehrungen treffen, um einen reibungsärmeren Ablauf von Retrofits zu ermöglichen.

Durch die Schaffung optimaler Rahmenbedingungen für Retrofit-Projekte kann den häufig auftretenden Hürden (siehe Abschnitt 3.3.1) entgegengewirkt werden. Im nachfolgenden Kapitel wird das relevante Retrofit-Wissen genauer beschrieben. Die Vermittlung dieser Inhalte erhöht die Akzeptanz für Retrofits und schafft eine bessere Entscheidungsgrundlage für Entscheider.



## 4 Retrofit-relevante Wissensinhalte

---

In Abschnitt 3 wurde der IST-Zustand von Modernisierungen an RBG analysiert und daraus Verbesserungspotenzial für zukünftige Retrofits abgeleitet. Die Hauptursache für die Herausforderungen, die während Retrofit-Projekte auftreten, ist einem Wissensdefizit auf Seiten der Betreiber zuzuschreiben. Eine ungenügende Sensibilisierung zu retrofit-spezifischen Themen sowie der Mangel an Projekt-Erfahrung führt zu einer ungenügenden Wissensbasis hinsichtlich zukünftiger Retrofits. In Abschnitt 4 sollen daher die konkreten Inhalte für eine optimale Entscheidungsgrundlage auf Basis der Erkenntnisse von Abschnitt 2 und Abschnitt 3 erarbeitet werden. Diese umfassen das allgemeine Grundwissen, das Betreiber über Modernisierungsvorhaben verfügen sollten, die Kriterien zur Bewertung der Dringlichkeit oder Vorbereitungsmaßnahmen für die Durchführung von Retrofits. Diese Wissensinhalte dienen anschließend als Grundlage für den Leitfaden im Abschnitt 5.

### 4.1 Grundlagenwissen für Retrofit-Vorhaben

Damit Betreiber von RBG für Retrofits sensibilisiert sind und selbstständig die Auslöser sowie die Dringlichkeit prüfen können, benötigen sie eine retrofit-spezifische Wissensbasis. Aus dem Austausch mit den Teilnehmern aus dem projektbegleitenden Ausschuss konnten vier grundlegende Fragen identifiziert werden, die RBG-Betreiber im Vorfeld für sich beantworten können sollten:

- Weshalb ist es wichtig, sich frühzeitig mit Retrofits zu beschäftigen?
- Wie lange können bestimmte Komponenten verwendet werden bzw. wann ist ein Retrofit fällig?
- Welche Gründe führen zu Modernisierungen?
- Welche Faktoren beeinflussen die Höhe der Kosten und den Arbeitsumfang?

Die nachfolgenden Abschnitte dienen der Beantwortung obiger Fragen und beinhalten weiteres, für Retrofit notwendige Wissen. Die gesammelten Inhalte ergeben sich aus den Gesprächen mit unterschiedlichen Retrofit-Experten im Laufe des Projektvorhabens.

#### Definitionen und Begrifflichkeiten

Die Instandhaltung setzt sich nach DIN 31051 aus den Tätigkeiten der Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung zusammen. Instandsetzung ist als

Synonym für „Reparatur“ zu verwenden und ist eine „[p]hysische Maßnahme, [...] um die Funktion eines fehlerhaften Objekts wiederherzustellen“ [DIN-31051, S. 6]. Im Gegensatz dazu ist ein Retrofit die Erneuerung bzw. das Hochrüsten einer bestehenden Anlage auf einen **neueren Stand der Technik** (siehe Abbildung 4-1) aufgrund neuer oder geänderter Anforderungen. Das Nachschleifen bzw. der Einbau neuer Fahrschie-

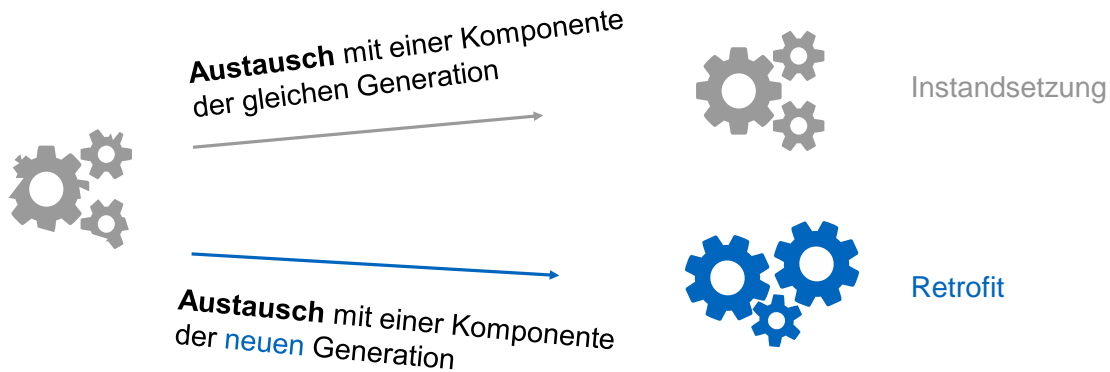


Abbildung 4-1: Unterscheidung zwischen Retrofit und Instandsetzung

nen ist somit nicht als Retrofit sondern als Instandsetzungsmaßnahme einzuordnen.

### Beteiligte am Retrofit-Prozess

Die Prozessbeteiligten lassen sich in die Gruppe der Betreiber sowie Anbieter aufteilen, wobei der Fokus auf Retrofits von Regalbediengeräten liegt. Die erste Gruppe besteht aus Unternehmen, die entweder als ihre eigenen Regalbediengeräte betreiben (interne Betreiber) oder als Logistik-Dienstleister die Intralogistik eines Kunden übernehmen (externer Betreiber). Die Betreiber beauftragen wiederum Anbieter von Retrofits, notwendige Modernisierungen an ihren RBG durchzuführen. Letztere sind entweder Hersteller von Regalbediengeräten bzw. zugehörigen Komponenten oder führen als Generalunternehmer die Beratung von Betreibern sowie die Planung und Realisierung von Retrofits durch. Eine ausführliche Beschreibung über die Prozessbeteiligten findet sich in Abschnitt 3.2.1.

### Branchenspezifische Anforderungen

Charakteristisch für Regalbediengeräte sind die unterschiedlichen, branchenabhängigen Prozessanforderungen, weshalb jedes Intralogistiksystem als ein Unikat zu betrachten ist. Retrofit-Arbeiten führen unvermeidlich zu Unterbrechungen der Logistikprozesse. Gerade wenn eine hohe Anzahl an Ein und Auslagerungen oder gar strenge Taktzeiten erforderlich sind, ist eine Reduzierung der Logistikleistung nicht ohne weiteres umsetzbar. So müssen Retrofits an Regalbediengeräten, die in der

Produktionslogistik oder bei OEM-Zulieferern eingesetzt werden, in betriebsarme Phasen, z.B. Werksferien eingeplant werden. In der Lebensmittel- bzw. Pharmabranche existieren ebenfalls hohe Anforderungen an die Logistikprozesse (z.B. Temperaturvorgaben), die während der Retrofits berücksichtigt werden müssen.

## 4.2 Vorteile durch rechtzeitig initiierte und durchgeführte Retrofits

Betreiber benötigen ein Verständnis über den möglichen Nutzen, damit sie gewillt sind, sich frühzeitig mit dem Thema Retrofit zu beschäftigen.

Hierbei sei wiederum auf die Hauptursache für Modernisierungen verwiesen, die Ersatzteilverfügbarkeit. Um die Nutzungsdauer der RBG und somit des gesamten Lagers langfristig zu aufrechtzuerhalten, muss sichergestellt sein, dass die zugehörigen **Ersatzteile** für den weitere Betriebsdauer **verfügbar** sind.

Mit zunehmendem Alter der Komponenten ist mit einem Anstieg von verschleiß- und alterungsbedingten Ausfällen zu rechnen. In der Folge steigen die Instandhaltungs- bzw. Betriebskosten, aufgrund der Stillstände und durchzuführender Instandsetzungsarbeiten. Gerade bei abgekündigten Komponenten und älterer Software gestaltet sich die Wartung als schwierig und kostenintensiv. Dies ist auf den Rückgang der verfügbaren Techniker mit benötigtem **Knowhow** sowie der sinkenden Marktverfügbarkeit alter Komponenten zurückführbar. Durch den Einsatz eines neueren Stands der Technik kann dem entgegengewirkt und ein Sinken der Ausfall- bzw. Reparaturzeiten erzielt werden. Dies wiederum wirkt sich positiv auf die **Instandhaltungskosten** aus.

Anstatt notgedrungen kurzfristig große und somit teure Retrofits umzusetzen, können diese mit ausreichend Vorlaufzeit in kleinere Projekte aufgeteilt werden. Der Vorteil kleinerer Teil-Projekte im Vergleich zu einem großen Projekt ist, dass die **Gesamtkosten** auf einen größeren Zeitraum **verteilt** werden. Werden die RBG schrittweise modernisiert, stehen die „alten“ Komponenten als Ersatzteile als Überbrückung bis zum nächsten Retrofit zur Verfügung.

Im Gegensatz zu kurzfristigen Maßnahmen aufgrund von unvorhergesehenen Anlagenstörungen kann bei vorausschauenden geplanten Retrofits darauf Rücksicht genommen werden, dass die **Stillstände in unkritische Phasen** gelegt werden. Damit dies stattfinden kann, müssen sich Betreiber frühzeitig die freien Ressourcen der Retrofit-Anbieter sichern.

Ein frühzeitiges Berücksichtigen von Retrofits in der Kostenkalkulation stellt sicher, dass notwendiger Maßnahmen nicht verschoben werden müssen. Zeitlich aufgeschobene Modernisierungen hätten ein höheres Risiko für Komponentenausfälle und damit zusammenhängend steigende Betriebskosten zur Folge.

Ein weiterer Nutzen durch Retrofits ist die Möglichkeit zur **Energieeinsparung** bei der Verwendung neuerer Komponenten. Beispielsweise kann durch die Kopplung der Umrichterzwischenkreise von Fahr- und Hubantriebe Energie teilweise direkt wiederverwendet oder ins Stromnetz rückgespeist werden. Neuere SPS mit integrierten Energiesparprogrammen können die Beschleunigungs- und Bremsvorgänge je nach Lagerauslastung anpassen. Nach Meinung der Experten liegt jedoch das größere Potenzial zur Energieeinsparung bei der Anpassung von Lagerstrategien oder der Anpassung der Fahr- und Hubbewegungen der RBG, wofür ein Eingriff beim Materialflussrechner (MFR) oder Lagerverwaltungssystem (LVS) nötig ist. Generell beobachten die Retrofit-Experten ein zunehmendes Interesse an Energieeffizienz. Mögliche Einsparpotenziale im Energieverbrauch gewinnen nicht zuletzt aufgrund der (krisenbedingten) Steigerung von Energiepreisen an erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung.

### 4.3 Typischer Ablauf eines Retrofits Prozess

Retrofits dienen in erster Linie der Verlängerung der Nutzungsdauer von RBG, da durch die Nutzung eines neueren Stands der Technik notwendige Ersatzteile sowie spezifisches Fachwissen der Techniker für weitere Jahre sichergestellt sind. Ein beispielhafter Ablauf von der Betriebsphase über Initiierung eines Retrofits bis hin zum Hochlauf ist in Abbildung 4-2 dargestellt.

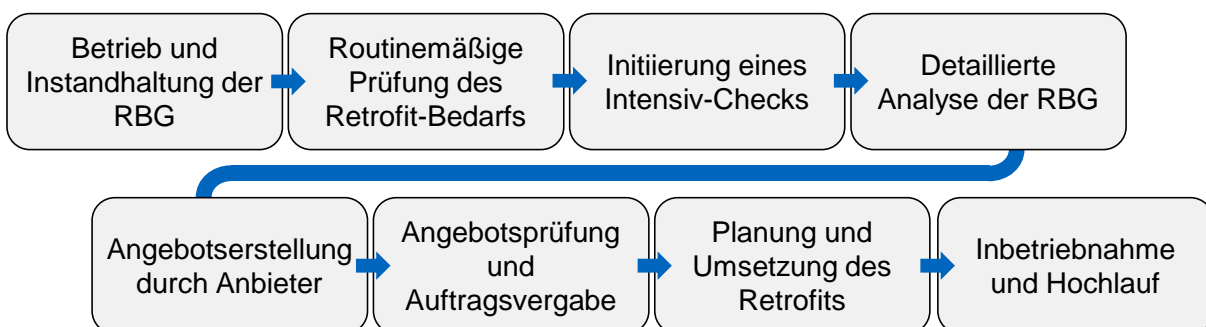


Abbildung 4-2: Typischer Ablauf eines Retrofit-Prozesses

In Abschnitt 3.2.3 wurde bereits der IST-Zustand im Vorfeld von Retrofit-Projekten beschrieben. Nachfolgend wird erläutert, wie ein Retrofit-Prozess unter optimalen Rahmenbedingungen ablaufen kann. Während des laufenden Betriebs sorgt die **Instandhaltung** für störungsfreie Logistikprozesse und überprüft regelmäßig den Zustand der Komponenten. Im optimalen Fall sind Betreiber insofern über Retrofit-Projekte

sensibilisiert, sodass sie wissen, auf welche Auslöser und Einflussgrößen geachtet werden muss. Zusätzliche Informationen erhalten die zuständigen Mitarbeiter\*innen in der Instandhaltung von den Herstellern, die im Zuge der regelmäßigen Wartungsintervalle die Intralogistikanlage begutachten.

Wie in Abschnitt 3.2.3 beschrieben sehen Betreiber erst einen dringenden Handlungsbedarf, wenn ein Ersatzteilmangel auf dem Markt festgestellt wird. Dieser Zeitpunkt ist allerdings in Hinsicht auf optimale Retrofits als „zu spät“ zu bewerten. Stattdessen sollte eine Modernisierung bereits in Betracht gezogen werden, wenn **erste Anzeichen** für mögliche Retrofits, z. B. eine Zunahme von Komponentenausfällen und die Kenntnis über nahende Abkündigungen der jeweiligen Komponente, erkennbar sind. Eine genauere Beschreibung der typischen Auslöser für Retrofits, auf die Betreiber achten sollen, findet sich Abschnitt 4.4.

Als nächster Schritt folgt die **Anfrage an einen Anbieter**, den tatsächlichen Retrofit-Bedarf für die RBG zu bewerten (Intensiv-Check). Der Betreiber gibt dabei erste Anforderungen vor, die den gewünschten Kostenumfang, die betroffenen Komponenten oder die zur Verfügung stehenden Zeiträume betreffen. Das tatsächliche Ausmaß der Kosten und des Arbeitsumfangs hängt allerdings vom Ergebnis der **detaillierten Analyse** der Retrofit-Experten ab. Hierzu bewerten diese die mögliche Restlebensdauer und das Ausfallrisiko der Komponenten unter Zuhilfenahme der Ausfallhistorie, des Verschleißzustands sowie der bisherigen Erfahrungswerte (siehe Abschnitt 3.2.4). Im Idealfall existieren sowohl eine automatische Bestandsdatenerfassung als auch vollständige Wartungs- und Reparaturprotokolle, die die Anlagenanalyse unterstützen. Der Anbieter überprüft zudem die aktuellen Sicherheitsvorgaben, den Stand der Technik und die Existenz möglicher Schnittstellenbrüchen aufgrund von Inkompatibilitäten zwischen unterschiedlichen Bauteilgenerationen. Infolgedessen kann die Anzahl betroffener Komponenten und somit die Kosten erheblich steigen.

Die Retrofit-Anbieter erarbeiten auf Basis des Anlagenzustands und des Stands der Technik mehrere Retrofit-Alternativen. Im Idealfall steht einerseits ausreichend Budget für einen „großen“ Retrofit zur Verfügung, andererseits ermöglichen die Rahmenbedingungen des Betreibers die Durchführung einer Modernisierung an mehreren, aufeinanderfolgenden Tagen. In der Regel sind die Zeiträume mit reduzierte Anlagenleistung begrenzt verfügbar, weshalb Retrofits mit großem Arbeits- und somit Kostenaufwand auf mehrere Teil-Projekte über einen längeren Zeitraum aufgeteilt werden. Der Arbeits- und Kostenumfang der erarbeiteten Retrofit-Alternativen hängt dabei von den betroffenen Komponenten ab, die einer Modernisierung bedürfen. Da die Umbauarbeiten zu Stillstandszeiten führen, können diese sogleich genutzt werden, um weitere Komponenten für Modernisierungen mit einzubeziehen, sofern ausreichend Budget

vorhanden ist. Spätere Retrofits werden vorgezogen und könnten somit vermieden werden.

Parallel dazu müssen **Logistik-Leitung** und Entscheider aus dem **Management** intern bewerten, welche **wirtschaftlichen Folgen** durch unvorhergesehene Ausfälle in ihren Logistikprozessen entstehen würden. Um die Dringlichkeit eines Retrofits zu bewerten, sind diese Ausfallkosten, die Einschätzung über das Ausfallrisiko der Anlage bzw. der Komponenten, die Investitionssumme sowie der (monetäre) Nutzen durch den Retrofit zu berücksichtigen (siehe Abschnitt 4.10). Auf Basis dieser internen Bewertung werden die erarbeiteten Retrofit-Alternativen mit den Retrofit-Experten diskutiert, bis eine Freigabe erfolgt.

Anschließend beginnen die Anbieter mit der Planung des Retrofits und legen die Zeiträume für den Retrofit fest. Diese sind abhängig davon, an welchen Tagen der Betreiber eine Leistungsreduzierung verkraften kann und wann der Anbieter ausreichend technischen Fachkräfte zur Verfügung stehen. Die Wartezeit bis zu den Retrofit-Arbeiten sollten Betreiber nutzen, um organisatorische Maßnahmen zur Vorbereitung zu treffen (siehe Abschnitt 4.11). Beispielsweise werden Artikel, auf die während der Retrofit-Arbeiten zugegriffen werden muss, im Vorfeld in andere Gassen umgelagert. Da die Retrofits lange im Voraus bekannt sind, kann die reduzierte Logistikleistung bereits frühzeitig in der Auftragsplanung berücksichtigt werden. Eine Möglichkeit wäre eine Auslagerung der benötigten Logistikleistung an externe Dienstleister oder falls möglich eine Anpassung der voraussichtlichen Lieferzeiten.

Nach der Durchführung des Retrofits erfolgt die Inbetriebnahme der Regalbediengeräte durch die Anbieter vor Ort, die im Anschluss den Hochlauf der Systeme teils remote begleiten. Außerdem ist die Instandhaltung des Betreibers über die neuen Funktionen und Komponenten des Systems zu schulen.

## 4.4 Häufige Auslöser für Retrofits

Betreiber sollten schon frühzeitig während der Betriebsphase auf Anzeichen für zukünftige Retrofits achten. In der Regel lassen sich die Auslöser folgenden Punkten zuordnen:

- Sinkende Ersatzteil- und Supportverfügbarkeit
- Einhaltung von Sicherheitsvorschriften
- Abnehmende Anlagenleistung
- Änderung der Leistungsanforderungen

- Zusätzliche Modernisierung bei Reparaturarbeiten

### **Sinkende Ersatzteil- und Supportverfügbarkeit**

RBG sollen möglichst lange bei hoher Ausfallsicherheit betrieben werden. Für die gewünschte Nutzungsdauer müssen die jeweiligen Ersatzteile noch erwerbbar und ausreichend Fachkräfte mit spezifischem Knowhow verfügbar sein. Betreiber sollten daher prüfen, ob es insbesondere für Elektronikbauteile auf dem Markt genügend Ersatzteile existieren oder ob der technische Support durch Hersteller bzw. Retrofit-Anbieter für bestimmte Bauteile noch angeboten wird. Gerade ältere Komponenten werden mit der Zeit durch Nachfolger auf dem Markt ersetzt und sind in einigen Fällen sogar schon vom Hersteller abgekündigt. Infolgedessen ist mit ansteigenden Ersatzteilpreisen und längere Lieferzeiten zu rechnen. Zur Sicherung der Ersatzteilverfügbarkeit eignet sich eine umfangreiche Bevorratung aller Komponenten nur bedingt, da manche elektronischen Bauteile trotz Lagerung verschleißen. Beispielsweise müssen die in Umrichtern verbauten Elektrolyt-Kondensatoren nach längerer Lagerungszeit erst formiert werden, bevor diese einsatzbereit sind. Da Bewertung der Ersatzteilverfügbarkeit ist abhängig von subjektiven Risikobereitschaft der jeweiligen Betreiber, weshalb hier keine Pauschalaussagen bezüglich der Lieferzeit, des gestiegenen Einkaufspreises und der Mindestanzahl vorrätiger Ersatzteile möglich sind.

### **Einhaltung von Sicherheitsvorschriften**

Ein weiterer Auslöser sind neue Sicherheitsbestimmungen, die durch die aktuelle Konfiguration der RBG nicht mehr erfüllt werden können. Dies kann dazu führen, dass bspw. neue Sicherheitssensorik integriert werden muss, damit die Anlage weiter betrieben werden darf. Weitere sicherheitsspezifische Aspekte werden in Abschnitt 4.8 beleuchtet.

### **Abnehmende Anlagenleistung**

Für die langfristige Aufrechterhaltung des Betriebs der RBG ist sicherzustellen, dass die gewünschte technische Verfügbarkeit erreicht wird. Nähern sich einzelne Komponenten ihrem Lebenszyklus-Ende, ist mit der Zeit mit zunehmenden Ausfällen zu rechnen. Kann die technische Verfügbarkeit trotz Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen nicht mehr auf das gewünschte Niveau gebracht werden, ist spätestens dann der Einbau eines neueren Stands der Technik notwendig, um die Leistungsanforderungen zu erfüllen.

## Änderung der Leistungsanforderungen

RBG werden in der Regel für einen Zeitraum bis zu 15 Jahren ausgelegt. Während des Lebenszyklus können sich die Anforderungen an die Logistikleistung ändern. Diese Änderungen betreffen z. B. den geforderten Durchsatz, die Losgröße oder die Abmaße der Artikel.

## Zusätzliche Modernisierung bei Reparaturarbeiten

Wie in Abschnitt 4.1 erläutert, unterscheiden sich die Reparatur von der Modernisierung dadurch, dass betroffene Komponenten auf dem aktuellen Stand der Technik verbleiben. Trotzdem kann es im Zuge von Instandsetzungsarbeiten dazu kommen, dass gleichzeitig Komponenten modernisiert werden. Beispielsweise wird die Stillstandszeit beim Austausch mechanisch verschlissener Bauteile genutzt, um weitreichendere Retrofit-Maßnahmen umzusetzen.

## 4.5 Aufgaben des Betreibers während der Betriebsphase

In diesem Abschnitt wird beschrieben, welche Tätigkeiten Betreiber während der Betriebsphase durchführen sollten, um eine möglichst lange Nutzungsdauer der RBG sicherzustellen.

Um frühzeitig zu erkennen, ob Instandsetzungstätigkeiten oder gar Modernisierungen notwendig sind, sollten die Anlagendaten laufend und umfangreich aufgenommen werden. Bei der sogenannten **Betriebsdatenerfassung** erfolgt bspw. das Monitoring der Betriebszeit der Antriebe, die erreichten Geschwindigkeiten oder Beschleunigungen der RBG. Weiterhin sind Anzahl, Dauer von Störungen durch einzelne Bauteile, zugehörige Behebungsmaßnahmen oder der Wartungsstatus aufzuzeichnen. Wird eine Zunahme von Fehlern und Ausfällen erkannt, die zu steigenden Ausfall- bzw. Reparaturzeiten führen, kann dies ein Hinweis auf das Ende des Lebenszyklus bestimmter Komponenten sein.

Betreiber sollten zudem den Zustand von Fahrschienen und Laufrädern optisch prüfen. Der **mechanische Verschleiß** dieser Komponenten macht sich bspw. durch zunehmende Positionierungsungenauigkeiten bemerkbar. Die Abnutzung von Antrieben führt zu einem geänderten Geräuschverhalten, das akustisch detektiert werden kann.

Eine Einschätzung zum Ausfallrisiko für Elektronik-Komponenten wie SPS, Frequenzumrichter oder Bussysteme gestaltet sich als schwierig, da diese Bauteile zufälligen



Störungen unterliegen. Ein Ausfall dieser Komponenten führt in vielen Fällen zu einem Komplettausfall der Anlage, weshalb für diese Komponenten eine schnelle Instandsetzung unabdingbar sind. Deswegen sollten Betreiber regelmäßig prüfen, ob **Ersatzteile** für ihre Komponenten lieferbar sind und ob insbesondere für die Software und Elektronik noch **Support** verfügbar ist. Eine automatische Bereitstellung dieser wichtigen Informationen durch Hersteller bzw. Retrofit-Anbieter (Obsoleszenzmanagement) wird noch nicht weitreichend angeboten. Daher müssen sich Betreiber selbst über den **aktuellen Stand der Technik** zu den verbauten Komponenten informieren. So sind die Softwarestände von SPS, LVS, etc. regelmäßig zu aktualisieren und Bekanntmachungen zu Nachfolger-Bauteilen oder gar Abkündigungen zu berücksichtigen.

In der Regel wird vom Hersteller ein Wartungsplan vorgeschlagen und umgesetzt, der ebenfalls die Datenauswertung übernimmt und auf Basis von Erfahrungswerten den Betreibern individuelle Handlungsempfehlungen bezüglich Reparatur bzw. Modernisierung vorschlägt. In Zusammenarbeit mit Retrofit-Experten sollte bereits frühzeitig nach Inbetriebnahme eine **Modernisierungs-Roadmap** für die folgenden zwei bis zehn Jahre aufgestellt werden. Diese enthält eine Vorausschau möglicher Retrofit-Maßnahmen sowie den erwarteten Kosten und ist regelmäßig zu aktualisieren. Dadurch ist sichergestellt, dass für notwendige Retrofits ausreichend Budget zur Verfügung steht und diese nicht aufgeschoben werden müssen. Eine Bauteilabkündigung kann ein erster Anstoß für die Planungen von zukünftigen Modernisierungen sein.

Letztlich lautet die Empfehlung an Betreiber im **engen Austausch** mit Herstellern bzw. Retrofit-Anbietern zu stehen, die aufgrund der Expertise und Erfahrung rechtzeitigen Handlungsbedarf aufdecken und adäquate Behebungsmaßnahmen entwickeln können.

## 4.6 Lebenszyklus von Komponenten

In Regalbediengeräten sind zahlreiche Komponenten mit **unterschiedlichen langen Lebenszyklen** verbaut. Während Mechanik-Bauteile bis zu 20 Jahre verwendet werden können, liegt die geschätzte Nutzungsdauer von SPS bei ca. 12 Jahren und die der Software sogar lediglich bei etwa fünf Jahren. Das ist darauf zurückzuführen, dass im Gegensatz zu mechanischen und mechatronischen Komponenten die Innovations-sprünge bei der Software schon nach wenigen Jahren auftreten. Nähert sich eine Komponente dem Ende ihres Lebenszyklus, sollte ein Austausch initiiert werden. Anhand der Herstellerangaben sowie der Ausfallhistorie können Rückschlüsse auf den Lebenszyklusstatus geschlossen werden. Die restliche Nutzungsdauer für sicherheitskritische Komponenten kann abgeschätzt werden, da Hersteller vorgegebene, begrenzte

Lebensdauer von bspw. 20 Jahren garantieren. Eine verlässliche Einschätzung für andere Bauteile ist i. d. R. nicht machbar, da der Zustand von der individuellen Beanspruchung abhängt. So können Motoren, für die ein Hersteller eine Laufzeitgarantie von z. B. 1 Mio. Betriebsstunden angibt, trotz Erreichen dieses Limits noch für weitere Jahre verwendet werden, wenn sie bisher nicht voll ausgelastet wurden. Eine bestehende Betriebsdatenerfassung erlaubt, Rückschlüsse auf die bisherigen Belastungen und damit weitere Nutzungsdauer zu ziehen.

Sind bereits Nachfolger-Komponenten auf dem Markt, sollten Betreiber mit baldigen Abkündigungen rechnen bereits einen Retrofit in Betracht ziehen. Trotzdem können auch noch weit nach Produktionsende eines Bauteils ausreichend Ersatzteile verfügbar sein, wie das Beispiel der SPS S5 von Siemens zeigt. Obwohl im Jahr 2006 die Produktion endete und ab 2022 auch nicht mehr beim Hersteller als Ersatzteil verfügbar ist, sind S5-Komponenten aber aufgrund ihrer hohen Verbreitung weiterhin auf Sekundärmärkten erwerbbar.

## 4.7 Betroffene Komponenten

Mechatronische sowie IT-Komponenten sind besonders häufig Bestandteil von Retrofits. Aufgrund der kurzen Innovationszyklen kann es passieren, dass bereits nach wenigen Jahren eine Aktualisierung der SPS-Visualisierung und Software fällig ist oder gar neue SPS-Hardware eingebaut werden muss. Beispielsweise führt der Wechsel von der SPS S7-300 zur neueren S7-1500 dazu, dass eine neue Steuerungssoftware benötigt wird. Die Übertragung der Ablaufprogramme bedeutet einen zusätzlichen Anpassungsaufwand, da die Programmierweisen beider SPS sich unterscheiden.

Grundsätzlich ist eine ausführliche Analyse der zu modernisierenden Komponenten von Retrofit-Experten durchzuführen. Ein besonderes Augenmerk liegt hier auf Bauteilen, die für den reibungslosen Ablauf der Logistikprozesse unabdingbar sind. Diese finden sich an besonders **kritischen Stellen** („Single-point-of-failure“) in der Anlage. Eine Störung dieser Komponenten würde möglicherweise zu einem Komplettstillstand führen.

Außerdem ist sicherzustellen, dass die Zeit zur Wiederbeschaffung bzw. Instandsetzung möglichst kurz ist, sodass die Stillstandszeit der RBG bei Ausfällen minimal gehalten wird. Je besser die Ersatzteilverfügbarkeit auf dem Markt, desto schneller kann ein Ersatzteil im Notfall geliefert werden. Eine mögliche Einflussgröße dabei ist die jeweilige Lebenszyklusphase einer Komponente. Ist das Bauteil erst seit wenigen Jahren auf dem Markt, kann damit gerechnet werden, dass es weiter produziert wird und

daher ausreichend Ersatzteile auf dem Markt verfügbar sein werden. Sind bereits Nachfolger-Bauteil erhältlich, ist eine Bauteilabkündigung bald möglich. In Folge sind Ersatzteile schwer zu beschaffen und werden teurer, da die noch verbliebenen Ersatzteile zunehmend aufgekauft werden.

Für manche Instandsetzungstätigkeiten ist spezielles Fachpersonal vom Hersteller oder bestimmten Dienstleistern notwendig. Je höher das Alter einer Komponente, desto größer ist die Gefahr, dass zugehörige Kompetenzen und Knowhow nicht mehr zur Verfügung stehen. Gerade für ältere speicherprogrammierbaren Steuerungen fehlen Experten mit den notwendigen Programmierkenntnissen. Im Falle von Reparaturarbeiten oder notwendigen Anpassungen drohen daher lange Wartezeiten, mit fatalen wirtschaftlichen Konsequenzen.

## 4.8 Sicherheitsvorschriften

Betreiber von RBG sind dafür verantwortlich, dass ihre Systeme die landesspezifischen Sicherheitsvorschriften erfüllen. In Deutschland ist bspw. nach § 3 BetrSichV (Betriebssicherheitsverordnung) vorgeschrieben, dass eine regelmäßige Gefährdungsbeurteilung durchgeführt wird. Entgegen der verbreiteten Annahme existiert kein Bestandsschutz für die RBG (siehe Exkurs Bestandsschutz). Im Zuge der Gefährdungsbeurteilung kann es dazu kommen, dass Vorkehrungen getroffen werden müssen, um den Sicherheits- und Gesundheitsschutz auf den Stand der Technik anzupassen. Detaillierte Hinweise zu Anforderungen und Maßnahmen in Bezug auf die Gefährdung von Regalbediengeräten sowie Neuzertifizierung sind in der DIN EN 528:2021 nachzulesen [DIN EN-528].

### Exkurs Bestandsschutz

Retrofit-Anbieter berichten von vielen Anlagenbetreibern, sich auf Grundlage der Betriebssicherheitsverordnung (**BetrSichV**) auf einen sogenannte „Bestandsschutz“ ihrer RBG berufen. Es wird fälschlicherweise davon ausgegangen, dass, nachdem Arbeitsmittel erstmals hinsichtlich Erfüllung bestimmter Anforderungen an die Beschaffenheit geprüft wurden, keine weiteren Anpassungen im Laufe der Benutzungszeit mehr notwendig sind (siehe BetrSichV § 2 Abs. 1).

Seit dem 1. Juni 2015 gilt eine „neue“ BetrSichV mit genauerer Regelung bezüglich des Bestandsschutzes. Bei genauerer Betrachtung von § 3 BetrSichV zeigt sich, dass eine Gefährdungsbeurteilung keine einmalige Angelegenheit nur bei der erstmaligen Bereitstellung eines Arbeitsmittels ist, sondern eine regelmäßig durchzuführende

Aufgabe [BMA-2015]. Auch das Vorhandensein einer CE-Kennzeichnung entbindet nicht von der Pflicht zur Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung. Bei der Umsetzung sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- die Gebrauchstauglichkeit von Arbeitsmitteln einschließlich der ergonomischen, alters- und alternsgerechten Gestaltung,
- die sicherheitsrelevanten einschließlich der ergonomischen Zusammenhänge zwischen Arbeitsplatz, Arbeitsmittel, Arbeitsverfahren, Arbeitsorganisation, Arbeitsablauf, Arbeitszeit und Arbeitsaufgabe,
- die physischen und psychischen Belastungen der Beschäftigten, die bei der Verwendung von Arbeitsmitteln auftreten,
- sowie vorhersehbare Betriebsstörungen und die Gefährdung bei Maßnahmen zu deren Beseitigung

Ebenso verweist § 4 BetrSichV mit Hinblick auf die Grundsätze des Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG), dass Sicherheit und Gesundheitsschutz für die Dauer der Bereitstellung von Arbeitsmitteln zu gewährleisten ist. Nach den Grundsätzen des ArbSchG in § 4 sind Gefährdungen für Leben und Gesundheit möglichst zu vermeiden, die verbleibenden Gefahren möglichst gering zu halten, Gefahren an ihrer Quelle zu bekämpfen und Maßnahmen entsprechend dem Stand der Technik zu berücksichtigen.

Somit kann festgehalten werden, dass es keinen Bestandsschutz für Maschinen und Anlagen gibt, die als Arbeitsmittel zur Verfügung gestellt werden. Anforderungen an Sicherheit und Gesundheitsschutz richten sich grundsätzlich nach dem Stand der Technik für Neumaschinen und können zu Nachrüstungen führen. Auf Letztere kann lediglich im nachzuweisenden Härtefall verzichtet werden, sofern die daraus resultierende Gefährdung gering ist.

### **Umgang mit wesentlichen Änderungen**

Im Falle von notwendigen Nachrüstungen wird vom Gesetzgeber eine angemessene Zeit zur Durchführung gewährt. Ausschlaggebend ist, ob es sich um wesentliche Veränderungen im Sinne der Maschinenrichtlinie handelt. Diese hätten weitere Kosten und Maßnahmen wie z. B. eine CE-Zertifizierung zur Folge. Hierzu hat das Bundesministerium für Arbeit und Soziales eine Handreichung zur Beurteilung von

wesentlichen Änderungen erstellt (siehe Abbildung 4-3). Betreiber sollten für eine fachgerechte Beurteilung Retrofit-Experten kontaktieren.

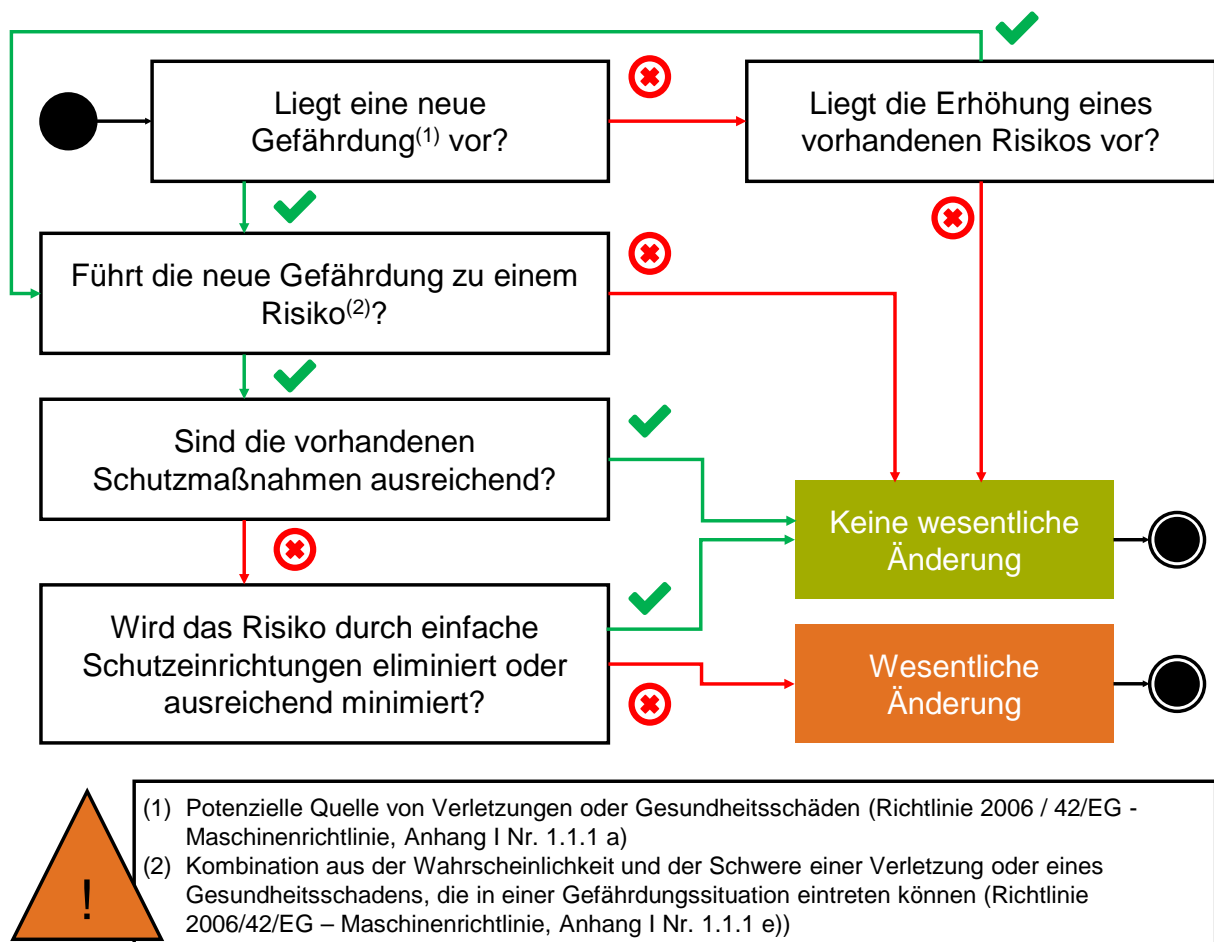


Abbildung 4-3: Vorgehen zur Beurteilung von wesentlichen Änderungen nach BMAS (Bundesministerium für Arbeit und Soziales)

## 4.9 Zeiträume und Arbeitsumfänge

In diesem Abschnitt werden Hinweise zur Auswahl geeigneter Zeiträume für Retrofits vorgestellt. Außerdem wird erläutert, wovon die unterschiedlichen Arbeitsumfänge bei Modernisierungen abhängen.

### Geeignete Zeiträume für Retrofits

Retrofits sollten an Tagen durchgeführt werden, an denen Unterbrechungen durch die Umbautätigkeiten zu verkraften wären. Beispiele sind Betriebsferien, Feiertage oder Zeiträume, in denen z. B. aufgrund von saisonalen Bedarfsschwankungen eine geringere Anlagenauslastung zu erwarten ist. Diese beliebten Zeiträume sind jedoch

frühzeitig ausgebucht, weshalb Betreiber sich frühzeitig die Ressourcen des Anbieters für den Wunschzeitraum sichern sollten. Zudem ist aufgrund zusätzlicher Anreisen sowie Schicht- und Wochenendzulagen mit erheblichen Kostenaufschlägen vonseiten der Anbieter zu rechnen. Betreiber sollten auch in Betracht ziehen, Retrofits unter der Woche an mehreren, aufeinander folgenden Tagen umzusetzen, anstatt sich auf die ohnehin knappen Zeiträume an verlängerte Wochenenden, Feiertage sowie Schul- und Betriebsferien zu beschränken. Dadurch wird vermieden, dass die RBG bspw. an mehreren aufeinanderfolgenden Wochenenden stillgelegt werden muss. Außerdem sparen sich Betreiber die Mehraufwandskosten durch zusätzliche Anreisen der Retrofit-Techniker. Wenn keine Zeiträume gefunden werden können, in denen eine reduzierte Anlagenleistung akzeptable wäre, kann die Auslagerung der Logistikprozesse in Betracht gezogen werden, um trotzdem einen Retrofit zu ermöglichen.

### **Einflussgrößen auf den Arbeits- bzw. Kostenumfang**

Umfang und Kosten eines Retrofits hängen davon ab, wie viele elektronische Bauteile bzw. anliegende Peripheriegeräte ausgetauscht und welche Maßnahmen durchgeführt werden müssen. Mit zunehmenden **Schnittstellenbrüchen** steigt die Anzahl der Montagearbeiten. Softwareseitig fallen insbesondere die Kosten für neue Software-Versionen und Aufwände für Neu- bzw. Umprogrammierungen ins Gewicht. Aufgrund der Innovationssprünge kann es zu Inkompatibilitäten zwischen verschiedenen Bauteil-Generationen kommen. Beispielsweise bedingt die Verwendung neuer Sicherheitsensoren, die zur Einhaltung neuer Sicherheitsstandards notwendig sind, gleichzeitig die Einführung eines neuen Bussystems. Der Tausch dieser Infrastruktur hat weitreichende Konsequenzen auf anliegende Peripheriegeräte, die möglicherweise nicht mit der neuen Technik kommunizieren können. Außerdem kann es dazu kommen, dass die neuen Bauteile aufgrund größerer Abmaße einen höheren Platzbedarf erfordern. Im Fall von neuen SPS kann dies bedeuten, dass neue Schaltschränke benötigt werden. Veraltete Materialflussrechner und zugehörige Betriebssysteme sind zunächst zu aktualisieren, bevor neue SPS und Software integriert werden, was wiederum den Arbeitsaufwand und die Kosten erhöht. Abbildung 4-4 zeigt eine Übersicht zu häufig betroffenen Komponenten und die damit verbundenen Retrofit-Arbeiten, um Betreibern eine Einschätzung zum möglichen Projektaufwand zu ermöglichen.

Häufig treten mehrere der beschriebenen Faktoren ein, weshalb sehr hohen Projektkosten und lange Stillstandszeiten aufgrund zahlreicher, notwendiger Modernisierungsarbeiten drohen. Aus finanzieller und organisatorischer Perspektive ist für Betreiber daher interessant, die Gesamtkosten und den Projektaufwand zu reduzieren bzw. zeitlich aufzuteilen (siehe Abschnitt 3.2.4 – Planungsvarianten). Eine Möglichkeit ist

die Durchführung von **Teil-Retrofits**. Bei mehrgassigen RBG werden nicht alle Fahrzeuge auf einmal, sondern schrittweise modernisiert.

Diese Variante hat mehrere **Vorteile**: Einerseits stehen die ausgetauschten Komponenten weiterhin für die restlichen RBG zur Verfügung, was sich kurzzeitig positiv auf die Ersatzteilverfügbarkeit auswirkt (siehe Abschnitt 4.2). Andererseits können im Gegensatz zu einem großen Retrofit die Projektkosten auf mehrere Teil-Retrofits aufgeteilt werden, die aus finanzieller Sicht einfacher freizugeben sind. Eine Aufteilung der Umbauarbeiten bedeutet auch bei entsprechender Vorbereitung der Gassen eine geringere Beeinträchtigung der Logistikprozesse sowie kürzere Stillstandszeiten. Zwischen den Teil-Retrofits können die Rückstände abgebaut werden.

Die Aufteilung in mehrere Teilprojekte hat dennoch auch **Nachteile**. Anstelle von nur einer Unterbrechung bei einem großen Retrofit werden die Logistikprozesse mehrfach angehalten. Zudem ist mit höheren Kosten aufgrund Mehraufwänden von Seiten der Retrofit-Experten zu rechnen, z. B. durch zusätzliche Anreisen sowie Projekt-Tage.

Häufig betroffene Komponenten	Retrofit-Maßnahmen
Antriebe	Verkabelung, Einstellung Laufräder, ggf. Anpassung SPS-Code
Frequenzumrichter	Programmierung (Referenzpunkte, Geschwindigkeitsprofile...), Anpassung SPS-Code
Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	Anpassung Software, Neuprogrammierung, ggf. Anpassung Materialflussrechner
Human-Machine-Interface	Ggf. (Neu-) Programmierung oder Anpassung
Positioniersensorik	Programmierung und Inbetriebnahme
Bussystem	Neu-Verkabelung, Anpassung SPS-Code
Sicherheitssensorik	Programmierung und Inbetriebnahme
Antriebswelle, Laufradsystem	Konstruktive Anpassung der Schnittstelle

Abbildung 4-4: Häufig betroffene Komponenten und zugehörige Retrofit-Maßnahmen

## 4.10 Bewertung der Dringlichkeit von Retrofits

Nach der Vermittlung von retrofit-spezifischen Grundwissen sind Betreiber in der Lage, sich frühzeitig mit Retrofits zu beschäftigen und Modernisierungsbedarfe rechtzeitig zu erkennen. Trotzdem kommt es vor, dass sie sich dazu entschließen, wichtige Retrofits zu vertagen und ein steigendes Ausfallrisiko in Kauf nehmen. Dies ist dadurch begründen, dass die hohen Investitionskosten häufig abschreckend wirkend oder das notwendige Budget nicht zeitnah zur Verfügung gestellt werden kann. In der Regel stehen in Unternehmen die Modernisierungsentscheidungen bei begrenzten Investitionsmitteln im Wettbewerb mit anderen Projekten. Die Bewertung der Projekte wird häufig rein nach monetären Maßstäben anhand von Kostenvergleichen oder Amortisationsverfahren durchgeführt, bei denen nicht-monetäre Aspekte wie Imageverlust oder Risiken eine untergeordnete Rollen spielen [Har-2019, S. 84].

Anstatt jedoch nur die Retrofit-Kosten als Entscheidungsgrundlage zu verwenden, sollte eine subjektive Dringlichkeitsbewertung durchgeführt werden, die für jeden Betreiber individuell ausfallen kann. Nachfolgend werden verschiedene Einflussgrößen, die bei der Entscheidung berücksichtigt werden müssen, beschrieben. Außerdem werden mögliche Ausfallkosten aufgrund von unvorhergesehenen Störungen erläutert. Diese dürfen nicht ignoriert werden, da die Ausfallwahrscheinlichkeiten der Komponenten mit steigendem Alter der RBG zunehmen.

### Einflussgrößen auf die Dringlichkeit

Die grundlegende Frage, die sich Betreiber zur Bewertung der Dringlichkeit von Retrofits stellen müssen, ist, wie groß die **maximale Stillstandszeit** ihrer RBG ist, bis schwerwiegende Konsequenzen auftreten. Bei der Einschätzung der Einflussgrößen muss immer eine konkrete Fallbetrachtung vorgenommen werden, da die Auswirkungen von Ausfällen stets davon abhängigen, wie gut die RBG und Prozesse bereits im Vorfeld auf unvorhergesehene Stillstände vorbereitet sind. Nachfolgend werden die Einflussgrößen zur Bewertung der Dringlichkeit beschrieben.

### Robustheit

Die Robustheit ist ein Maß dafür, ob trotz zufällig auftretender Komponentenausfälle längere und damit schwerwiegende Stillstände verhindert werden können. Intralogistikanlagen, im speziellen RBG, sind robust, wenn auf Ausfälle schnell reagiert werden kann, d. h. wenn die Ursachen frühzeitig detektiert und behoben werden. Dies ist insbesondere der Fall, wenn die Instandhaltung eine hohe Problemlösekompetenz vorweisen kann, benötigte Ersatzteile schnell beschaffbar oder externe Service-Techniker



von Herstellern schnell verfügbar sind. Mit steigendem Alter der Komponenten ist die Robustheit allerdings gefährdet. Grund dafür ist der drohende Verlust von Wissen, Erfahrung und technischen Kompetenzen, sowohl bei der internen Belegschaft als auch bei externen Herstellern.

### Leistungsfähigkeit

Die Logistiksysteme haben eine hohe Leistungsfähigkeit, wenn sie trotz Verzögerungen im Prozess aufgrund von Störungen die erforderliche Leistung erbringen und sogar Lieferrückstände aufholen können. Dies ist der Fall, wenn die im Normalbetrieb die Auslastungsgrenzen noch nicht erreicht sind, ausreichende Notfallstrategien für den Fall von unvorhergesehenen Ausfällen existieren oder **redundante Strukturen** genutzt werden können, um einzelne Gassenausfälle zu kompensieren. Weiter ist von Bedeutung, wie groß der eingeplante **zeitliche Puffer** ist, bis Auswirkungen auf den weiteren Verlauf der Lieferkette entstehen. Dieser Puffer wiederum hängt ab von unternehmensspezifischen Lieferzeitvorgaben bzw. Taktzeiten.

### Folgen durch Ausfälle

Um den Schweregrad eines ungeplanten Ausfalls zu bewerten, müssen die größtenteils qualitativen Folgen, z. B. die negativen Auswirkungen auf die Kundenzufriedenheit, quantifiziert werden. Hierfür ist es Aufgabe des Managements, zusammen mit der Instandhaltung und Logistikleitung die Auswirkungen von Störungen zu identifizieren und deren wirtschaftliche Bedeutung in Ausfallkosten darzustellen, damit diese den Investitionskosten gegenübergestellt werden können. Die Ausfallkosten werden von Unternehmen unterschiedlich erfasst und bewertet, weshalb die Einschätzung der Ausfallkosten als eine wichtige Eigenleistung der Betreiber zu sehen ist.

Kommt es zu unvorhergesehenen Stillständen, müssen trotz der Wartezeiten weiterhin **Personalkosten** für interne Prozesse des Betreibers, bspw. im Wareneingang oder Versand bezahlt werden. Auch bei nachgelagerten Prozessen können Zeitverzögerungen zu Kosten führen. Beispiele dafür sind die Wartezeiten der Spediteure, die bezahlt werden müssen. Außerdem kommen die **Kosten für die Fehlerbehebung** durch die Instandhaltung hinzu.

Bei Nichterfüllung der vertraglichen Pflichten sind erhebliche **Strafzahlungen** fällig. Gerade in Logistikprozessen mit strengen Taktzeit-Vorgaben können verspätete Auslieferungen die Konventionalstrafen in die Höhe treiben. Je nach Wichtigkeit einer Lieferung bzw. Bedeutung des Kunden werden die teure Notlieferungen in Kauf genommen, um einen Lieferausfall zu vermeiden.

Zu den **Wiederanlauf-Kosten** zählen die Prozesskosten für zusätzliche Maßnahmen, um die ausgefallene Logistikleistung zu kompensieren. Dies geschieht bspw. durch Outsourcing der Logistikprozesse oder zusätzliche Überstunden, Nacht- und Wochenendschichten zur Nacharbeit bzw. zum Abbau von Lieferrückständen. Bei der Nutzung von Alternativlagern müssen noch Kosten für Umplanung, Umlagerung sowie Miete berücksichtigt werden.

Einige Konsequenzen, die aufgrund von unvorhergesehenen Stillständen entstehen können, sind schwer quantifizierbar, aber dennoch unbedingt zu berücksichtigen. Probleme bei der Erfüllung von Logistikleistungen können zu Einbußen bei der Zufriedenheit von Bestandskunden, Kundenverlust oder Attraktivitätsverlust bei potenziellen Neukunden führen. Betreiber von RBG sind aufgefordert, diese qualitativen Faktoren in ihrer Ausfallkostenschätzung einzubeziehen, um eine möglichst detaillierte und aussagekräftige Dringlichkeitsbewertung zu erhalten.

## **4.11 Maßnahmen zur Vorbereitung und Durchführung von Retrofits**

Betreiber können einige Vorkehrungen treffen, sodass gute Rahmenbedingungen für Umbauarbeiten sowie die Inbetriebnahme geschaffen werden können.

### **Anpassung der logistischen Prozesse und Umlagerungen**

Vor der Durchführung von Retrofits sollten einige Vorbereitungsmaßnahmen getroffen werden. Während der Umbauarbeiten kommt es zur Stilllegung einzelner RBG-Gassen. Da auf dort eingelagerte Artikel während des Retrofits nicht zugreifbar sind, müssen diese vorher umgelagert werden. Unter Umständen sind eine Umsortierung und Verdichtung des Lagers notwendig, um weitere Lagerplätze zu gewinnen. Während der Retrofit-Arbeiten ist eine reduzierte Gesamtleistung des Intralogistiksystems einzukalkulieren, da es zu längeren Stillständen in der Anlage oder in Anlagenteilen kommen kann. Aus diesem Grund sind die Logistikprozesse anzupassen. Möglichkeiten hierfür sind die Auslagerung der Logistikleistung, eine Umsortierung und Verdichtung des Lagers oder die Vorkommissionierung von Aufträgen.

In enger Absprache mit den Retrofit-Anbietern müssen Betreiber sogenannte Fallbackstrategien einplanen, um auch während der Umbauarbeiten auf Störungen und Verzögerungen reagieren zu können. Hierzu müssen Rückrüstungen auf alte Komponenten im Notfall ermöglicht, ausreichend Zeitpuffer eingeplant und laufend umfangreiche Tests bis zum „point-of-no-return“ durchgeführt werden. Beispielsweise bleiben alte

Kommunikationsverbindungen und SPS als Notfalllösung angeschlossen, bis die volle Funktionsfähigkeit der neuen Komponenten getestet und gesichert werden kann.

### Virtuelle Inbetriebnahme

Unter der virtuellen Inbetriebnahme (**VIBN**) versteht man den Test eines Automatisierungssystems mithilfe eines Simulationsmodells vor der realen Inbetriebnahme (IBN), um die Funktionsfähigkeit zu überprüfen und Fehler frühzeitig aufdecken und beheben zu können. Vor der Installation der neuen Komponenten kann z. B. getestet werden, ob die Befehle der neuen realen SPS auch im virtuellen Modell der IST-Anlage die richtigen Funktionen auslösen oder ob das Zusammenspiel zwischen neuer SPS und übergeordnetem Materialflussrechner stimmt.

Die klassische IBN macht anteilig 15 bis 25 % der Gesamtdurchlaufzeit eines Projektes aus. Hiervon sind 90 % der Zeit für die IBN von Elektrik und Steuerungstechnik aufzuwenden, wovon 70 % durch Softwarefehler verursacht sind [Aßm-1996, S. 54ff.]. Diese Zeiten lassen sich durch VIBN reduzieren, da vor der realen IBN das Zusammenspiel zwischen Hardware und SPS-Software überprüft, angepasst und optimiert werden kann. Der größte Nutzen von VIBN liegt somit in der Zeitersparnis, bei der die zeitkritischen Tests der SPS schon frühzeitig stattfinden können (siehe Abbildung 4-5). Neben dem zeitlichen Nutzen führt die VIBN zu einer höheren Qualität des Programmiercodes, da dieser früher getestet und angepasst werden kann. Die Gefahr für Fehler beim Hochlauf kann dadurch reduziert werden.

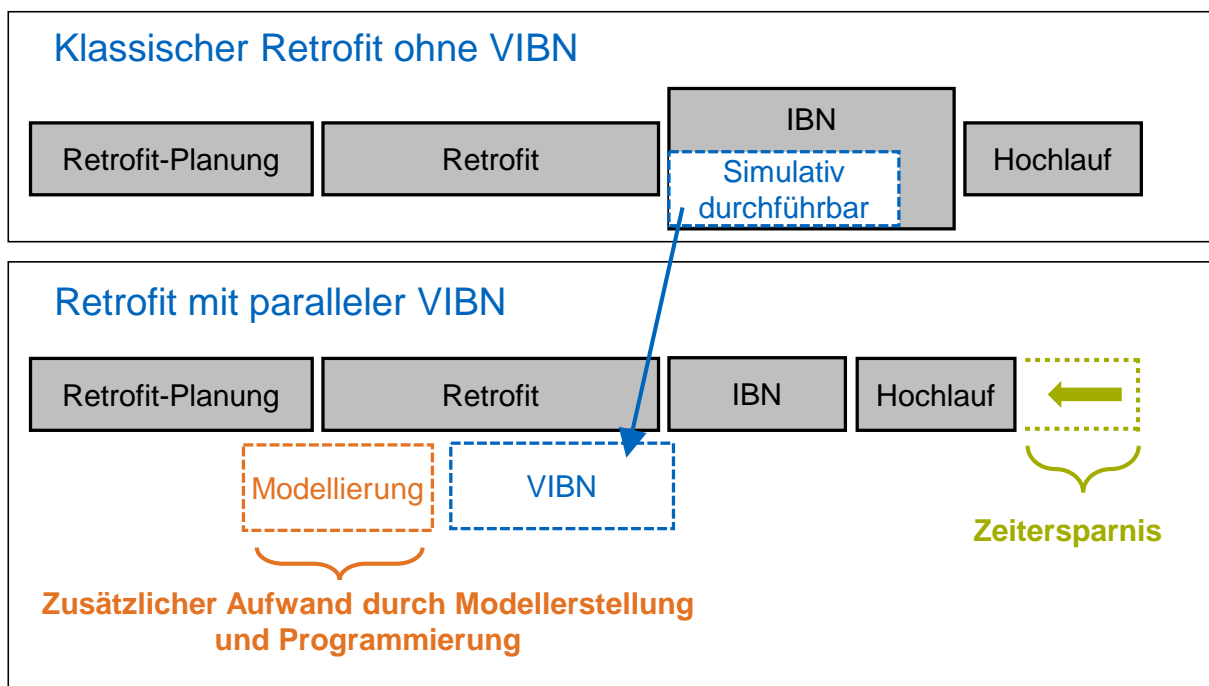


Abbildung 4-5: Mögliche Zeitersparnis durch VIBN

Damit die VIBN erfolgreich umgesetzt werden kann, müssen einige Voraussetzungen erfüllt sein. Einerseits muss das Verhalten der Schnittstellen zwischen SPS und MFR bekannt sein. Andererseits wird ein virtuelles Abbild der IST-Anlage mit detaillierten Informationen benötigt. Diese Daten geben Aufschluss über das Layout der Anlage, die Lage der Sensoren und Aktoren, die Geometrie und Abmaße der Komponenten, Kinematikdaten der Fördererlemente sowie die Zuordnung der Ein- und Ausgänge der SPS zur Sensorik und Aktorik. Im Gegensatz zu Neuanlagen sind diese wichtigen Daten bei Altanlagen, die nach Jahren modernisiert werden müssen, nicht vollständig und müssen daher manuell erfasst werden. Zusammen mit Experten muss jedoch der Nutzen der VIBN dem Aufwand der manuellen Datenerhebung und -aufbereitung gegenübergestellt werden.

## 5 Entwicklung und Umsetzung einer Lösung zur Unterstützung von Retrofits

---

In diesem Kapitel erfolgt die Vorstellung des Retrofit-Leitfadens. Im ersten Schritt (siehe Abschnitt 5.1) werden die Anforderungen an den Leitfaden anhand der Ergebnisse aus Abschnitt 3.3 generiert. In Abschnitt 5.2 wird das Vorgehen zur Entwicklung vorgestellt und der Aufbau und die Umsetzung des Leitfadens beschrieben.

### 5.1 Zielsetzung und Anforderungen

In Abschnitt 3.3.2 wurden bereits die optimalen Rahmenbedingungen für Retrofit-Projekte identifiziert. Betreiber sollen gleich zu Beginn der Betriebsphase im regen **Austausch mit Retrofit-Experten** stehen. Außerdem sollen sie in der Lage sein, Auslöser für Modernisierungen **selbstständig prüfen** zu können und über ein **grundlegendes Verständnis** zu Retrofits verfügen.

Aus diesem Grund entsteht im Rahmen des Forschungsvorhabens ein Leitfaden, der alle **grundlegenden Informationen und hilfreiches Praxiswissen zu Retrofits** vermittelt. Mithilfe dieses Leitfadens werden RBG-Betreiber befähigt, frühzeitig die Dringlichkeit von Retrofits zu erkennen und zu bewerten, um Modernisierungen rechtzeitig anzustoßen. Damit sowohl Betreiber als auch Retrofit-Anbieter den Leitfaden für beliebige, zukünftige Projekte verwenden können, werden drei Anforderungen zur Gestaltung formuliert:

#### 1) Neutralität

Die Inhalte des Leitfadens sollen möglichst **unternehmensunabhängig** sein und das Wissen verschiedener Retrofit-Anbieter beinhalten. Der Leitfaden soll **sowohl KMU als auch großen Unternehmen** einen Nutzen bringen und Betreiber **unterschiedlicher Branchen** unterstützen können.

#### 2) Verständlichkeit

Der Leitfaden soll **Grundwissen** und **nützliche Informationen** enthalten, die Betreiber für eine Sensibilisierung zu Retrofit benötigen. **Personen ohne umfangreiche Erfahrung und Wissen** über Modernisierungen sollen den Leitfaden verstehen und für ihren Anwendungsfall weitere Schritte ableiten können.

### 3) Anwendungsorientiertheit

**Sowohl Betreiber als auch Retrofit-Anbieter** sollen von der Verwendung des Leitfadens profitieren. Ersteren sollen **praktisch anwendbare Maßnahmen** vorgeschlagen werden, die die Ausgangssituation für zukünftige Retrofits verbessern. Da der Leitfaden Antworten auf häufig gestellte Fragen enthält, soll der Aufklärungs- und Planungsaufwand für zukünftige Retrofit-Projekte auf Seiten der Anbieter verringert werden.

## 5.2 Aufbau und Umsetzung des Leitfadens

In Kapitel 4 wurden die im Laufe der Projektbearbeitung erarbeiteten Wissensinhalte gesammelt und verschiedenen Abschnitten zugeordnet. Dieser Aufbau spiegelt sich ebenfalls im Leitfaden wider. Eine genaue Zuordnung der Abschnitte aus Kapitel 4 zu den Abschnitten des Leitfadens zeigt Abbildung 5-1.

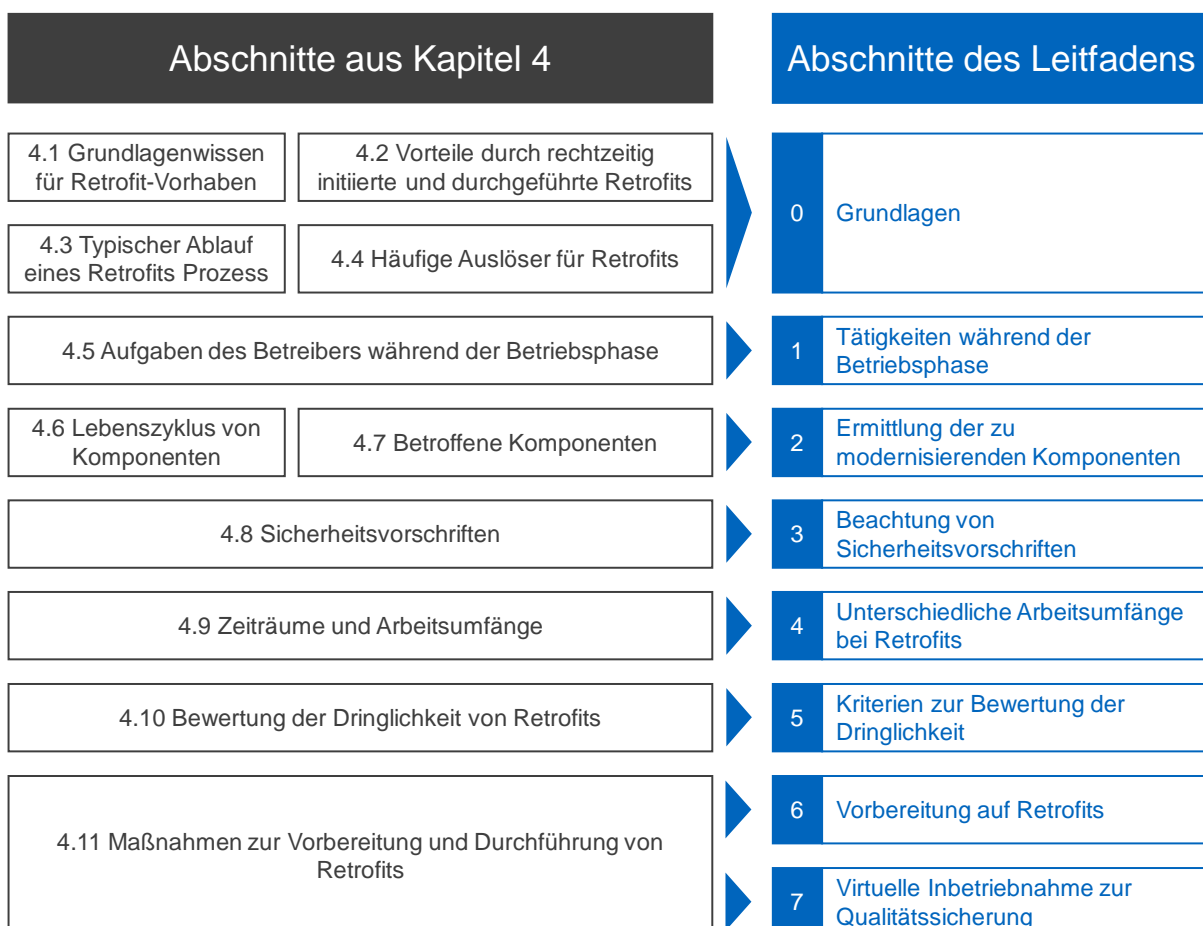


Abbildung 5-1: Zuordnung der Abschnitte aus Kapitel 4 zu den Abschnitten des Leitfadens

Der Leitfaden ist somit eine kompakte Zusammenfassung der Inhalte aus zahlreichen Expertengespräche mit Retrofit-Anbietern in Form einer pdf-Datei, die kontinuierlich angepasst und erweitert wurde.

Abbildung 5-2 zeigt den typischen Aufbau einer Seite des Leitfadens. Die Darstellung des Wissens erfolgt bspw. in Form von Fließtext (A) und Abbildungen (B). Ergänzend werden Fragestellungen (C), die für die einzelnen Abschnitte relevant sind, den Betreibern vorgeschlagen und ggf. beantwortet. Am rechten Rand einer Seite befindet sich zudem eine Navigationsleiste für den schnellen Wechsel zu einzelnen Abschnitten (D).

## 1: Tätigkeiten während der Betriebsphase

Exkurs zu Lebenszyklus und Lebensdauer von RBG-Komponenten

The screenshot shows a page from a PDF guide. At the top right is the TUM logo. Below it is a navigation bar with a home icon and arrows, labeled 'D'. The main content is divided into sections:
 

- A:** A text block titled 'Unterschiedliche Lebenszyklen als Auslöser für Retrofits'. It discusses mechanical components being repaired and replaced, and electronic components being modernized. It notes that retrofits can extend the service life by 5-8 years.
- B:** A table titled 'Wie lange ist die geschätzte Lebensdauer von (ausgewählten) Komponenten? (\*)'. The table lists components and their estimated lifetimes:
 

Human-Machine-Interface (HMI)	ca. 5-7 Jahre
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	ca. 12 Jahre
E/A Baugruppe & Baugruppenträger	ca. 16 - 20 Jahre
Antriebe	Herstellerangabe (z. B. 10.000 Betriebsstunden)
- C:** A question box asking 'Wie lange ist die geschätzte Lebensdauer von (ausgewählten) Komponenten? (\*)'.
- D:** A vertical navigation bar on the right side with numbered buttons from 0 to 7.

 At the bottom left, there is a footer: 'fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München'. At the bottom right, there is a logo for 'IFT INSTITUT FÜR INTEGRAL FÜRTECHNIK' and the year '20157 N1'.

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München

12

Abbildung 5-2: Beispielseite des Leitfadens

Zusätzlich befindet sich am Ende des Leitfadens eine *To-Do-Liste* mit spezifischen Aufgaben, die den einzelnen Abschnitten zugeordnet sind (siehe Abbildung 5-3). Betreiber können durch Ausführen der geforderten Tätigkeiten bereits erste Maßnahmen zur Vorbereitung für zukünftige Modernisierungsmaßnahmen treffen und somit einen Beitrag für optimale Rahmenbedingungen für Retrofits schaffen.

# Kurzzusammenfassung des Retrofit-Leitfadens

## ToDo's

<p><b>1 Tätigkeiten während der Betriebsphase</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Plane und dokumentiere alle Wartungs- und Instandhaltungstätigkeiten</li> <li>Kontrolliere den Zustand der Komponenten und habe deren Ausfallverhalten im Blick</li> <li>Initiiere vorausschauend die Planung von Retrofit-Maßnahmen</li> <li>Beschaffe dir Information zum Stand der Technik der mechanische Bauteile und der Software</li> <li>Stelle einen Budgetplan für Instandhaltung und zukünftigen Modernisierungsmaßnahmen</li> </ul>	<p><b>2 Ermittlung zu modernisierender Komponenten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bewerte wie „wichtig“ Bauteile für den Betrieb sind</li> <li>Prüfe auch die Ersatzteilverfügbarkeit der „nicht wichtigen“ Komponenten</li> <li>Identifizierte kritische Bauteile hinsichtlich der Verfügbarkeit von Ersatzteilen und Support</li> <li>Prüfe weitere Einflussgrößen (z. B. Ersatzteilverfügbarkeit)</li> </ul>	<p><b>3 Beachtung von Sicherheitsvorschriften</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Überprüfen, ob alle Arbeitsmittel sicher verwendet werden können (Pflicht der Anlagetreiber)</li> <li>Führe eine Gefährdungsprüfung durch (intern oder externe durch TÜV etc.)</li> <li>Stelle sicher, dass Sicherheits- und Gesundheitsschutz auf dem aktuellen Stand sind</li> </ul>	<p><b>4 Arbeitsumfang und Planung von Maßnahmen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kontaktiere Retrofit-Anbieter und beauftrage eine detaillierte Analyse der Anlage</li> <li>Lasse den Arbeitsumfang und die betroffenen Komponenten (durch den Anbieter) bestimmen</li> <li>Stelle einen Zeitplan für Retrofit mit Anbieter auf</li> <li>Reserviere frühzeitig einen geeigneten Zeitraum für die Umbauarbeiten beim Retrofit-Anbieter</li> </ul>
<p><b>5 Kriterien zur Feststellung der Dringlichkeit eines Retrofits</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Prüfe, ob die Instandhaltung in der Lage ist, Störungen schnell beheben zu können (Robustheit)</li> <li>Prüfe, ob die Anlage die erforderliche Leistung noch erbringen kann</li> <li>Untersuche die (monetäre) Folgen im Falle unvorhergesehener Stillstände als Grundlage für die Bewertung der Dringlichkeit</li> <li>Bewerte und diskutiere die Dringlichkeit des potenziellen Retrofits mit Entscheidern</li> </ul>	<p><b>6 Vorbereitung auf Retrofits</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Diskutiere mit Retrofit-Anbietern die Möglichkeit eines Teil-Retrofits</li> <li>Treffe vorausschauende Vorbereitungsmaßnahmen für betroffenen Gassen (z. B. Umlagerungen)</li> <li>Plane ausreichend logistischen Puffer ein für die Zeit der Umbauarbeiten (z. B. zusätzliche Lagerplätze)</li> <li>Berücksichtige eine niedrigere Performance während des Retrofits bei der Planung der Anlagenauslastung</li> <li>Entwickle Fallback-Lösungen mit Retrofit-Anbieter für den Fall von Verzögerungen während des Retrofits</li> <li>Stelle ausreichend Zugangsmöglichkeiten und notwendige Infrastruktur für die Techniker bereit</li> <li>Stelle eigenes technisches Personal während des Retrofit-Zeitraums zur Verfügung</li> <li>Führe Schulungen der eigenen Instandhalter während/nach den Retrofits durch (in Absprache mit Anbieter)</li> <li>Kalkuliere eine langsame Anlaufphase und ausreichend Puffer ein (Nicht volle Leistung ab SOP)</li> </ul>		<p><b>7 Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) zur Qualitätssicherung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Überprüfe, ob alle Anlagendaten (z. B. Layoutplan mit Maßen, Positionen von Sensoren, Kinematikdaten etc.) vollständig und aktuell sind</li> <li>Diskutiere mit dem Retrofit-Anbieter, wie hoch der Aufwand zur Modellerstellung und Simulation ist</li> <li>Stelle Aufwand dem zeitlichen und monetären Nutzen gegenüberstellen</li> </ul>



Abbildung 5-3: ToDo-Liste mit Aufgaben für jeden Abschnitt des Leitfadens



---

## 6 Evaluierung der Lösung

---

### 6.1 Vorgehen und Aufbau der Evaluation

Die Evaluation des Leitfadens wurde an alle Teilnehmende des Projektbegleitenden Ausschusses sowie Unternehmen, mit denen der Projektleiter im Laufe der Projektbearbeitung in Kontakt war, verteilt. Darunter befanden sich sowohl Betreiber als auch Retrofit-Anbieter mit unterschiedlicher Unternehmensgröße. Die Bearbeitung der Evaluation erfolgt anonym, sodass keine Rückschlüsse auf einzelne Personen bzw. Unternehmen gezogen werden können.

Die Evaluation ist in drei Teile für je eine zu prüfende Hauptanforderung aufgeteilt. Diese sind *Neutralität*, *Verständlichkeit* und *Anwendungsorientierung*. Für jede der Anforderungen wurden spezifische Thesen formuliert, für die die Teilnehmenden, eine Einschätzung abgeben mussten. Um zu bewerten, inwieweit eine These zutrifft, wurden fünf Auswahlmöglichkeiten vorgegeben:

- Trifft voll zu
- Trifft überwiegend zu
- Trifft geringfügig zu
- Trifft gar nicht zu
- Keine Aussage

#### Anforderung Neutralität

Der Leitfaden soll Betreiber für zukünftigen Retrofits vorbereiten und unterstützen, unabhängig von ihrer Größe und der Branche. Diese vielseitige Nutzbarkeit spiegelt sich in der Anforderung „Neutralität“ wider und soll anhand folgender drei Thesen geprüft werden:

- **These 1:** Der Leitfaden enthält ausreichend viele hilfreiche Informationen und Hinweise für kleine und mittlere (**KMU**) Betreiber von Regalbediengeräten.
- **These 2:** Der Leitfaden enthält ausreichend viele hilfreiche Informationen und Hinweise für große Betreiber von Regalbediengeräten (**kein KMU**).
- **These 3:** Der Leitfaden enthält ausreichend viele hilfreiche Informationen und Hinweise für RBG-Betreiber unterschiedlicher Branchen.

Für jede der drei Thesen konnten Teilnehmende in einem Kommentarfeld ergänzen, welche spezifischen Aspekte für KMU, nicht-KMU und andere Branchen noch berücksichtigt werden sollten.

### **Anforderung Verständlichkeit**

Der Leitfaden soll selbsterklärend sein und kein tiefes technisches Vorwissen voraussetzen. Hierzu müssen alle notwendigen Informationen enthalten sein, die ein Betreiber bezüglich Retrofit benötigt. Um die Vollständigkeit und Korrektheit der Inhalte des Leitfadens zu prüfen, wurden sieben Thesen formuliert:

- **These 4:** Mithilfe des Leitfadens können RBG-Betreiber den (monetären) Nutzen von rechtzeitig durchgeführten Retrofits erkennen.
- **These 5:** Der Leitfaden klärt Betreiber über alle relevanten Einflussgrößen auf, die zu Retrofits führen könnten.
- **These 6:** Der Leitfaden klärt Betreiber über die zu erwartende Lebensdauer der verbauten Komponenten auf.
- **These 7:** Der Leitfaden vermittelt ausreichendes Wissen darüber, welcher Arbeitsumfang erwartet werden kann.
- **These 8:** Der Leitfaden vermittelt RBG-Betreibern die notwendigen Kriterien, mithilfe derer sie selbst abschätzen können, ob ein Retrofit akut notwendig ist.
- **These 9:** Der Leitfaden vermittelt RBG-Betreiber das notwendige Wissen über mögliche monetäre Folgen und Konsequenzen im Falle von unvorhergesehenen Anlagenstillständen/-ausfällen.
- **These 10:** Der Leitfaden beschreibt hilfreiche Maßnahmen, die vor und während der Retrofit-Arbeiten umgesetzt werden können, um Abläufe bei der Modernisierung zu unterstützen.

Die Teilnehmende durften ebenfalls für jede der sieben Thesen in Kommentarfeldern ergänzen, welche spezifischen Wissensinhalte der Leitfaden berücksichtigen sollte.

### **Anforderung Anwendungsorientiertheit**

Der Leitfaden soll die Arbeit sowohl für Betreiber als auch Retrofit-Anbieter vereinfachen, indem er umsetzbare, unterstützende Maßnahmen vorschlägt, die den Prozess verbessern. These 11 prüft explizit die Sicht der Retrofit-Anbieter und wird daher nur von Personen dieser Gruppe beantwortet. Um zu prüfen, inwieweit der Leitfaden den Retrofit-Prozess für Betreiber und Retrofit-Anbieter unterstützt, wurden sieben Thesen formuliert:

- **These 11:** Anbieter von Retrofits profitieren davon, wenn (nicht informierte) Anlagenbetreiber den Leitfaden frühestmöglich (z. B. nach Inbetriebnahme der neuen Anlage) zur Verfügung gestellt bekommen, da er Antworten auf häufig gestellte Fragen von Betreibern enthält.
- **These 12:** Für die Benutzung des Leitfadens ist kein umfangreiches technisches Vorwissen (z. B. Retrofit-Ablauf, Schnittstellenbrüche ...) notwendig.
- **These 13:** Für die Benutzung des Leitfadens ist keine Erfahrung und Expertise zur Durchführung von Retrofit notwendig.
- **These 14:** Die Verbreitung der Inhalte des Leitfadens wird dazu beitragen, dass Anlagenbetreiber dem Thema Retrofit mehr Aufmerksamkeit widmen. Die Sensibilisierung der Betreiber für das Thema Retrofit wird dadurch erhöht.
- **These 15:** Der Leitfaden ergänzt auch das Retrofit-Wissen von Anlagenbetreibern, die bereits sensibilisiert und informiert sind.
- **These 16:** Durch Nutzung des Leitfadens verbessert sich die Ausgangssituation (Wissensbasis) der Anlagenbetreiber, die vorher nicht für Retrofits sensibilisiert waren.
- **These 17:** Der Leitfaden enthält praktische Umsetzungsmaßnahmen, die Anlagenbetreiber einfach und schnell ausführen können.

## 6.2 Ergebnisse der Evaluation

Im Zeitraum vom 08.03.2022 bis zum 01.05.2022 nahmen insgesamt 17 Personen (N = 17) aus unterschiedlichen Unternehmen an der Evaluation teil. Der Teilnehmerkreis bestand größtenteils aus den Kontaktpersonen des projektbegleitenden Ausschusses und setzte sich zusammen aus sechs Betreibern, zehn Retrofit-Anbietern

### Zuordnung der Teilnehmenden zu Betreiber von RBG und/oder Retrofit-Anbieter

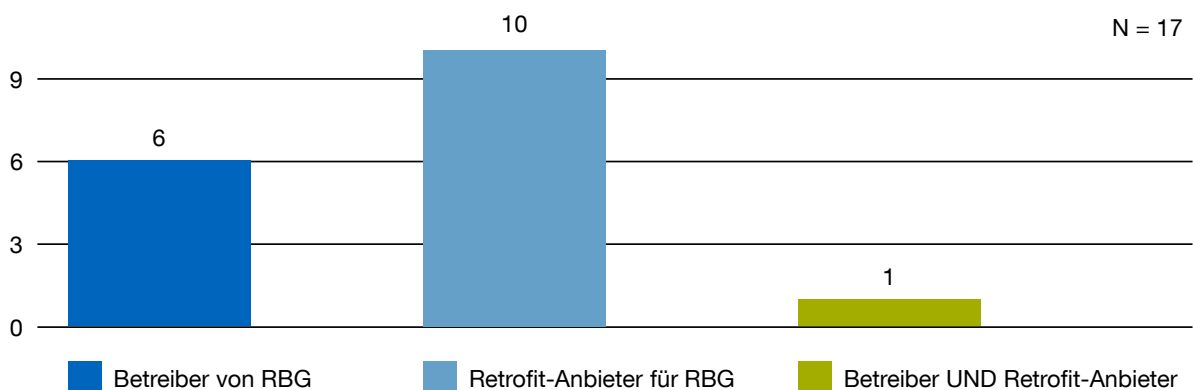


Abbildung 6-1: Kategorisierung der Teilnehmenden an der Evaluation in Betreiber und/oder Retrofit-Anbieter

und einem Unternehmen, das sowohl RBG betreibt als auch Modernisierungen umsetzt.

### 6.2.1 Erfüllung der Neutralität – Thesen 1 bis 3

Anhand von drei Thesen sollte die Erfüllung der Neutralität des Leitfadens geprüft werden. Dazu sollten die Teilnehmenden bewerten, ob die Retrofit-Informationen des Leitfadens sowohl für kleine und mittlere Betreiber (**These 1**) als auch für große Betreiber (**These 2**) geeignet sind. Mit **These 3** wurde geprüft, ob Betreiber von unterschiedlichen Branchen den Leitfaden nutzen können.

#### These 1

Acht Teilnehmende bewerteten **These 1** mit „trifft voll zu“ und neun mit „trifft überwiegend zu“ (siehe Abbildung 6-2).

**These 1:** Der Leitfaden enthält ausreichend viele hilfreiche Informationen und Hinweise für kleine und mittlere (KMU) Betreiber von Regalbediengeräten.

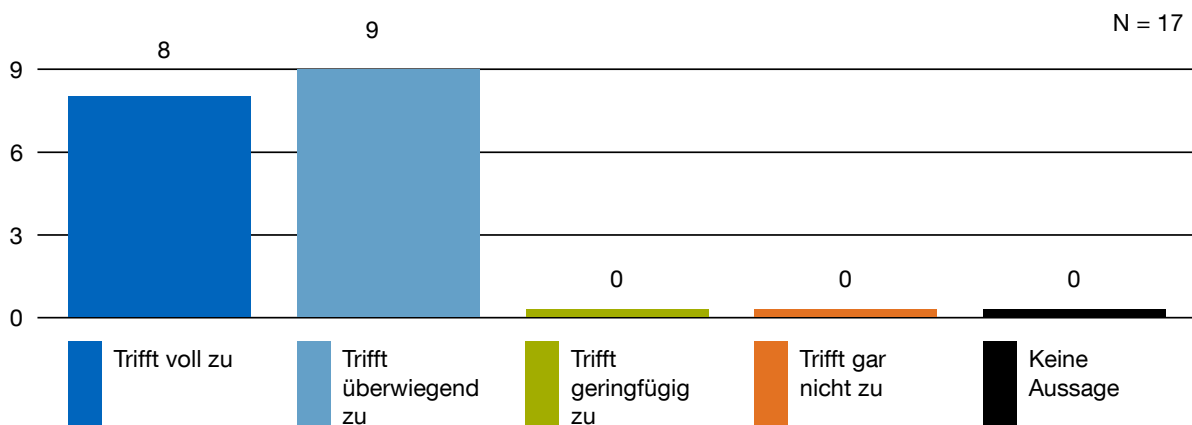


Abbildung 6-2: Einschätzung zu These 1 - Relevanz des Leitfadens für KMU

Zu **These 1** ergänzten die Teilnehmenden weiterer Hinweise, die für KMU relevant wären und in den Leitfaden mitaufgegriffen werden sollten:

- Für Anlagenbetreiber mit nur einem RBG ist noch viel wichtiger in die Ersatzteilsicherung zu investieren als für solche mit mehreren Geräten aufgrund mangelnder Redundanz.
- Eine graphische Übersicht der Retrofit Zeitpunkte wird gewünscht.
- Die Streckung von Retrofits über die Ersatzteilgewinnung durch bereits umgebaute Geräte ist zu ergänzen. Es soll zum Aufbau einer Retrofit-Roadmap mit

erweiterter Risikobewertung in Zusammenarbeit mit Retrofit-Anbietern angeregt werden.

## These 2

Zehn Teilnehmende bewerteten **These 2** mit „trifft voll zu“ und sechs mit „trifft überwiegend zu“. Ein Teilnehmender konnte „keine Aussage“ bezüglich der These treffen (siehe Abbildung 6-3).

**These 2:** Der Leitfaden enthält ausreichend viele hilfreiche Informationen und Hinweise für große Betreiber von Regalbediengeräten (**kein KMU**).

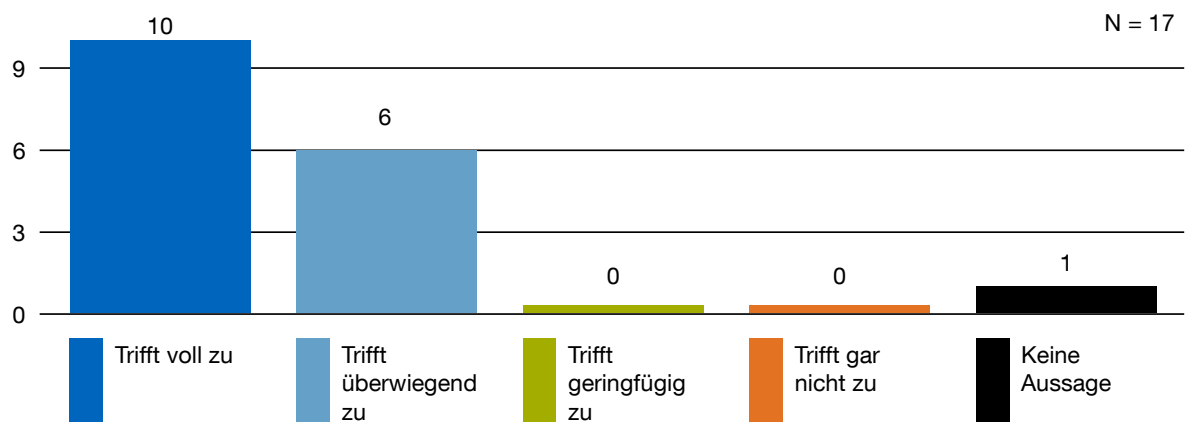


Abbildung 6-3: Einschätzung zu These 2 - Relevanz des Leitfadens für Nicht-KMU

Für **These 2** wurde folgende Ergänzung bezüglich relevanter Informationen für Nicht-KMU angemerkt:

- Für große Firmen ist die Kritikalität des Ausfalls und somit ein möglicher Verlust meist sehr relevant. Dies sollte im Leitfaden stärker betont werden.

## These 3

Jeweils acht Teilnehmende bewerteten die Relevanz des Leitfadens für Betreiber unterschiedlicher Branchen in **These 3** mit „trifft voll zu“ und „trifft überwiegend zu“. Ein Teilnehmender konnte „keine Aussage“ zur These abgeben (siehe Abbildung 6-4).

Für **These 3** wünschten die Teilnehmenden folgende Ergänzungen, um die branchenübergreifende Relevanz des Leitfadens zu verbessern:

- Bei ununterbrochenem Schichtbetrieb ist eine Stilllegung über mehrere Tage in der Regel nicht möglich, sondern muss in mehreren Schritten umgesetzt werden. Retrofit-Arbeiten werde z. B. auf Fahrtrieb, Hubtrieb etc. aufgeteilt.
- Vor dem Retrofit muss zunächst eine Modernisierung der IT-Systeme durchgeführt werden.
- Besondere Komponenten z. B. Auswertegeräte für Explosionsschutz, die noch engmaschiger kontrolliert werden und ausgetauscht werden müssen, sollten ergänzt werden.
- Die Angabe von konkreteren Zahlen wäre, falls machbar, hilfreich.

**These 3:** Der Leitfaden enthält ausreichend viele hilfreiche Informationen und Hinweise für RBG-Betreiber unterschiedlicher Branchen.

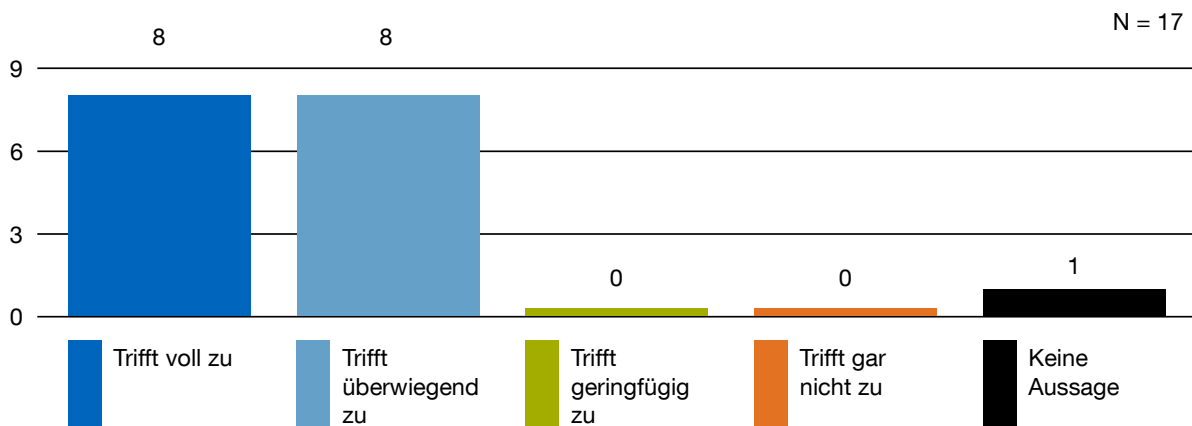


Abbildung 6-4: Einschätzung zu These 3 – Relevanz des Leitfadens für unterschiedliche Branchen

### Diskussion der Erfüllung der Anforderung „Neutralität“ durch den Leitfaden

Bei der Prüfung der Thesen 1 bis 3 zeigt sich, dass nahezu alle Teilnehmenden der Meinung sind, dass der Leitfaden hilfreiche Informationen sowohl für kleine und mittlere als auch große Betreiber enthält. Dabei wurde „Trifft voll zu“ in These 2 öfters ausgewählt als These 1. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass der Anteil an Nicht-KMU-Betreibern im Vergleich zu den KMU-Betreibern innerhalb der Teilnehmenden überwiegt. Außerdem wurde der Vorschlag erbracht, die Wichtigkeit der Ersatzteilsicherung für Anlagenbetreiber mit nur einem RBG, die in der Regel den KMU zuzuordnen sind, besonders herauszustellen.

Ebenso finden die Teilnehmenden, dass der Leitfaden von Betreibern unterschiedlicher Branchen angewendet werden kann, was sich in der positiven Bewertung mit acht Mal *Trifft voll zu* und acht Mal *Trifft überwiegend zu* widerspiegelt. Für bestimmte Komponenten, die aufgrund besonderer Anforderungen einen Explosionsschutz besitzen, wurde der Hinweis für engmaschigere Kontrollen gewünscht. Da der Leitfaden mithilfe

von Expertengesprächen mit unterschiedlichen Retrofit-Anbietern durchgeführt wurde, konnte ein breites Spektrum an Wissen und Erfahrung gesammelt werden. Auch dieser Aspekt befördert die Erstellung eines neutralen, anbieter-unabhängigen Leitfadens.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Leitfaden die Anforderung „Neutralität“ erfüllt und daher hilfreiche Informationen sowohl für kleine und mittlere, also auch große Unternehmen enthält, unabhängig von der jeweiligen Branche der Betreiber.

### 6.2.2 Erfüllung der Verständlichkeit – Thesen 4 bis 10

Die Erfüllung der Verständlichkeit wurde anhand von sieben Thesen geprüft. Es wurde bewertet, ob die relevanten Grundlagen-Informationen im Leitfaden enthalten sind, die Betreiber benötigen, um für Retrofits sensibilisiert zu sein. Dazu wurde geprüft, ob der Leitfaden den Betreibern vermitteln, was der monetäre Nutzen von rechtzeitig durchgeführten Retrofits ist (**These 4**), welche relevanten Einflussgrößen zu Retrofits führen können (**These 5**), wie groß die zu erwartende Lebens- bzw. Nutzungsdauer bestimmter Komponenten ist (**These 6**), welcher Arbeits- bzw. Kostenumfang zu erwarten ist (**These 7**), welche Dringlichkeitskriterien zu beachten sind (**These 8**), welche monetären Folgen durch unvorhergesehene Anlagenstillstände entstehen können (**These 9**) und schließlich welche Vorbereitungsmaßnahmen die Durchführung von Retrofits unterstützen können (**These 10**). Diese Inhalte legen den Grundstein für ein ausreichendes Retrofit-Verständnis, sodass zukünftige Modernisierungen rechtzeitig initiiert werden können.

#### These 4

**These 4** wurde fünf Mal mit „trifft voll zu“, neun Mal mit „trifft überwiegend zu“ und drei Mal mit „trifft geringfügig zu“ bewertet (siehe Abbildung 6-5). Die positive Rückmeldung von insgesamt 14 Personen zeigt, dass sie der Meinung sind, der Leitfaden könne den Betreibern ein besseres Verständnis vom **monetären Nutzen** durch rechtzeitig durchgeführter Retrofits vermitteln. Als Ergänzung zum bisherigen Leitfaden wurden beispielhafte Rechnungen zur Annäherung von Ausfallkosten vorgeschlagen.

**These 4:** Mithilfe des Leitfadens können RBG-Betreiber den monetären Nutzen von rechtzeitig durchgeführten Retrofits erkennen.

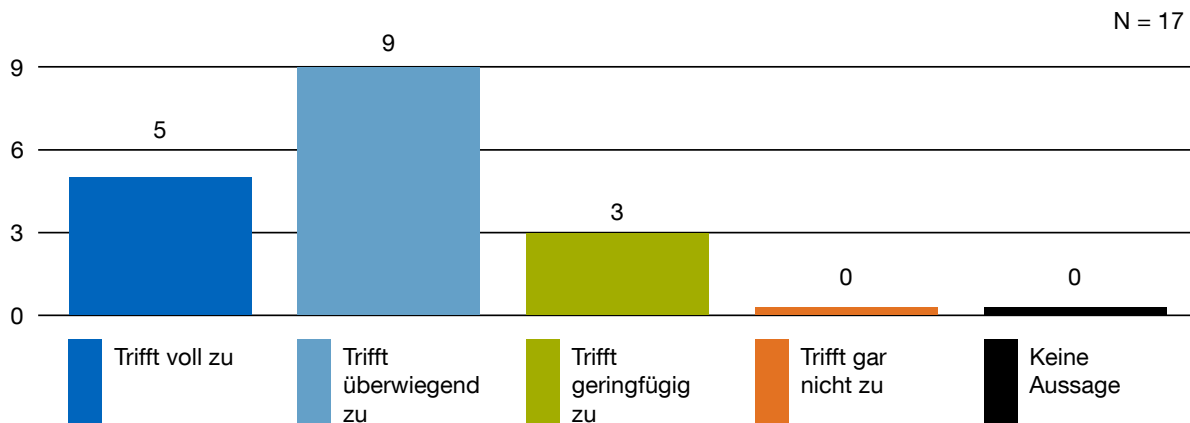


Abbildung 6-5: Einschätzung zu These 4 – Ausreichende Darstellung des Nutzens und der Vorteile

Folgende Ergänzungen im Leitfaden zum monetären Nutzen sowie erwarteten Vorteilen durch rechtzeitige Retrofits wurden gewünscht:

- Viele Anlagen wurden im Laufe der Zeit so umbaut, dass z. B. ein Austausch vorhandener RBG nahezu unmöglich ist. Dann ist ein rechtzeitiges Retrofit die einzige Möglichkeit die Anlage langfristig nutzen zu können.
- Jedes Unternehmen muss seine spezifischen Gegebenheiten selbst kennen und in die Berechnung einfließen lassen.
- Eine grafische Darstellung einer Beispielrechnung würden einen guten Ausblick geben.
- Ein Retrofit ist individuell zu betrachten, daher kann eine allgemeine Aussage zum monetären Aufwand nur schwer gemacht werden.
- Der Nutzen von Retrofit ist eine erhöhte Zukunftssicherheit sowie zukünftig bessere Anlagenverfügbarkeit.
- Eine beispielhafte Annäherungsrechnung für die Ausfallkosten wäre hilfreich für die Prüfung der Wirtschaftlichkeit von Retrofits.

## These 5

Zwölf Teilnehmende bewerteten **These 5** mit „trifft voll zu“ und fünf mit „trifft überwiegend zu“ (siehe Abbildung 6-6). Dies ist als eine positive Einschätzung der Befragten über die Aufklärung des Leitfadens zu **relevanten Einflussgrößen**, die zu Retrofits führen, zu werten.



**These 5:** Der Leitfaden klärt Betreiber über alle relevanten Einflussgrößen auf, die zu Retrofits führen könnten.

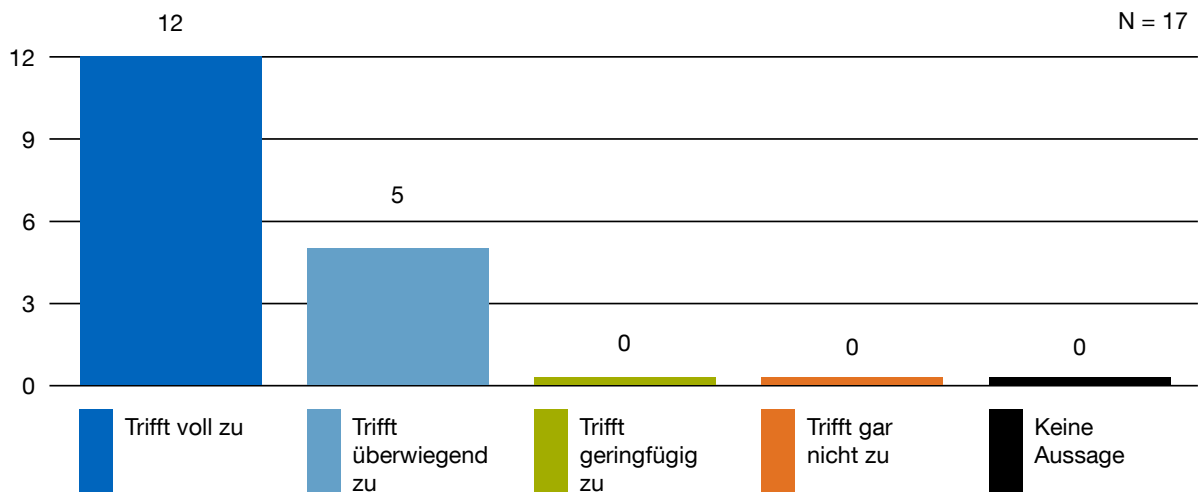


Abbildung 6-6: Einschätzung zu These 5 – Korrekte Angabe relevanter Einflussgrößen für Retrofits

Bezüglich fehlender Einflussgrößen und Hinweise wurden folgende Kommentare durch die Teilnehmenden hinzugefügt:

- Die BetrSichV 2015 ist noch zu ergänzen. Bei einer möglichen CE-Neuzertifizierung eines RBG sollte noch auf die EN 528:2021 hingewiesen werden.
- Bei Mechanik-Komponenten gibt es auch Lieferprobleme, Abkündigungen und Änderungen, die die Verfügbarkeit beeinflussen. Daher sollte der Bereich „Mechanik“ im Leitfaden präziser platziert werden.

## These 6

Sechs Teilnehmende bewerten **These 6** mit „trifft voll zu“, zehn mit „trifft überwiegend zu“ und einer mit „trifft geringfügig zu“ (siehe Abbildung 6-7). Die Mehrheit bestätigt somit, dass die zu erwartende **Lebensdauer** der verbauten Komponenten ausreichend beschrieben wurde.

Bezüglich weiterer Hinweise zur Nutzungs- und Lebensdauer von Komponenten wurden folgende Kommentare durch die Teilnehmenden hinzugefügt:

- Für Paletten-RBG sollten allumfassend anstatt feingranular modernisiert werden, um für die sehr lange Lebensdauer von bis zu 30 Jahren im Steuerungs- und Antriebsbereich einen durchgehend homogenen Stand der Technik zu bewahren

- Speziell bei CPU und Bus-Systemen sollte mehr auf die Innovationszyklen bzw. Technologie-Sprünge geachtet werden, weniger auf die Lebensdauer.
- Mechanische Bauteile sollten auch hier berücksichtigt werden.
- Bei elektrischen Antrieben können bereits nach 2 – 3 Jahren nur noch die Nachfolger-Modelle geliefert werden.
- Die Betreiber sollten ein permanentes Monitoring über Auslaufteile installieren.
- Bei der Angabe der Lebensdauer sollte noch zwischen den Herstellervorgaben und den tatsächlichen Betriebszeiten unterschieden werden.

**These 6:** Der Leitfaden klärt Betreiber über die zu erwartende Lebensdauer der verbauten Komponenten auf.

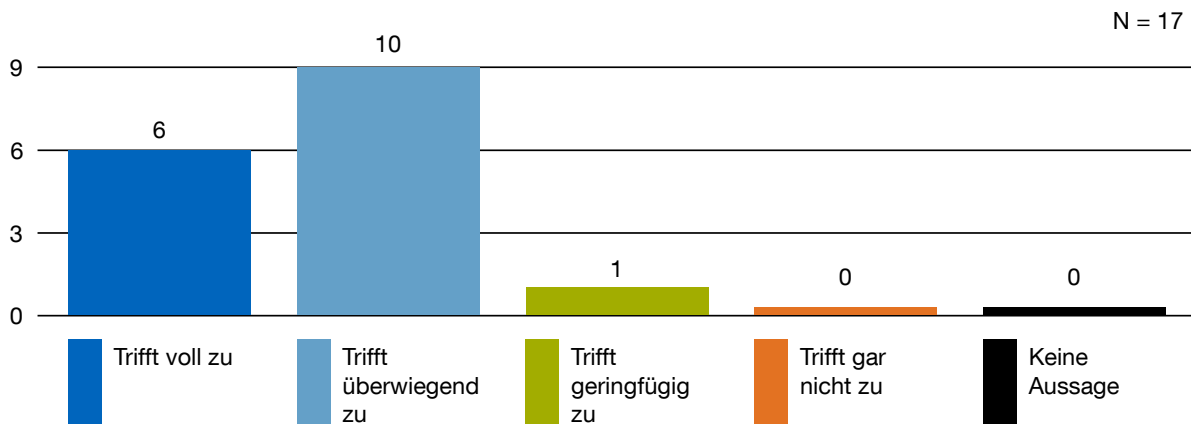


Abbildung 6-7: Einschätzung zu These 6 - Informationsgehalt des Leitfadens bezüglich Lebens- und Nutzungsdauer von Komponenten

### These 7

Neun Teilnehmende bewerten **These 7** mit „trifft voll zu“, sechs mit „trifft überwiegend zu“ und zwei mit „trifft geringfügig zu“ (siehe Abbildung 6-8). Auch hier ist die Einschätzung von 15 aus 17 Personen hinsichtlich ausreichender Aufklärung über den zu erwartenden Arbeitsaufwand als positiv zu bewerten.

Nachfolgend sind Ergänzungen zum möglichen Arbeitsaufwand und dadurch entstehende Kosten aufgelistet:

- Aus der bisherigen Erfahrung liegt die wirtschaftliche Grenze von Retrofits bei etwa. 60 % des Neupreises.
- Interessant wäre eine beispielhafte Gegenüberstellung der Kosten einer kompletten Steuerungsmodernisierung (fiktives Beispiel: 400.000 €) und einem kompletten Gerätetausch (fiktives Beispiel: 180.000 €).

- Der Betreiber sollte in regelmäßigen Abständen sein System einer individuellen Risikoanalyse unterziehen. Dabei sollten nicht nur die physischen Gegebenheiten maßgeblich sein, sondern auch eine Verlagerung seiner Geschäftsprozesse eine Rolle spielen.

**These 7:** Der Leitfaden vermittelt ausreichendes Wissen darüber, welcher Arbeitsumfang erwartet werden kann.

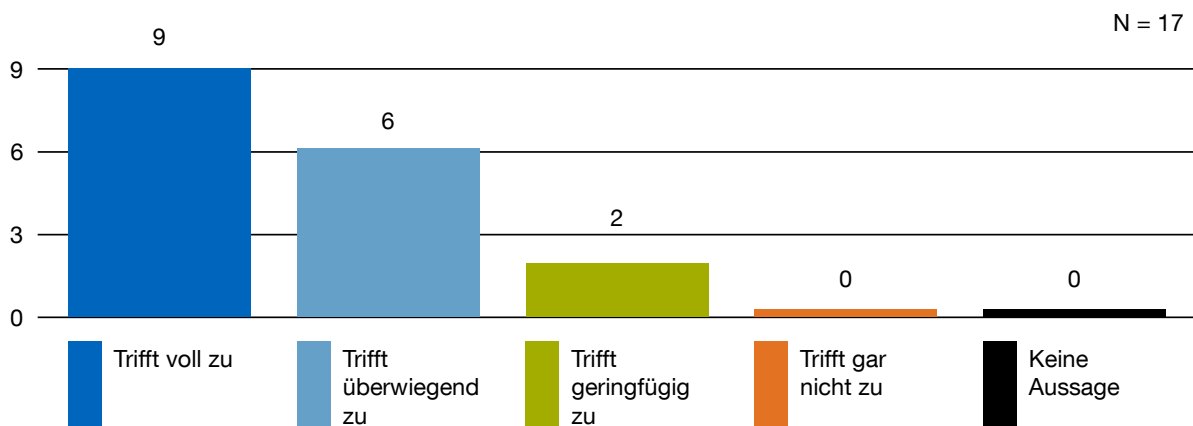


Abbildung 6-8: Einschätzung zu These 7 - Sensibilisierung für Arbeitsumfang und Kosten

## These 8

Acht Teilnehmende bewerten **These 8** mit „trifft voll zu“ und neun mit „trifft überwiegend zu“ (siehe Abbildung 6-9).

Folgende Aspekte sollten nach Angabe der Teilnehmenden bei der Dringlichkeitsbewertung ergänzt werden:

- Retrofit-Anbieter sollen proaktiv rückmelden, falls kritische Komponenten vom Hersteller abgekündigt wurden oder der Status „End-of-Service“ eintrifft.
- Personen, die die Dringlichkeitsbewertung durchführen, müssen eine entsprechend ausgebildet sein und Zugang zu jeweiligen Portalen bzw. Ansprechpartner haben.

**These 8:** Der Leitfaden vermittelt RBG-Betreibern die notwendigen Kriterien, mithilfe derer sie selbst abschätzen können, ob ein Retrofit akut dringend ist.

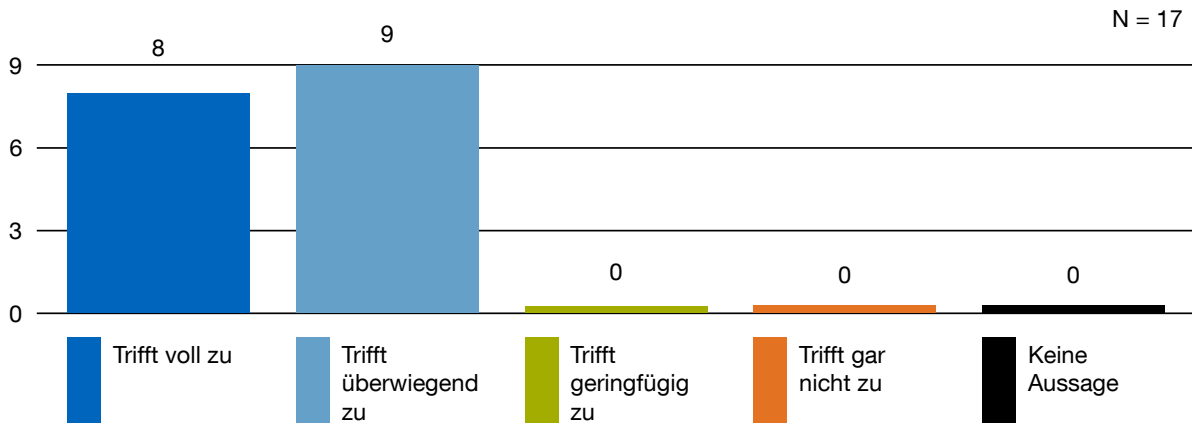


Abbildung 6-9: Einschätzung zu These 8 - Angabe notwendiger Dringlichkeitskriterien

**These 9**

Sieben Teilnehmende bewerteten **These 9** mit „trifft voll zu“ und zehn mit „trifft überwiegend zu“ (siehe Abbildung 6-10). Dies kann als Bestätigung gewertet werden, dass der Leitfaden Betreiber ausreichend über mögliche monetäre Folgen durch unvorhergesehene Ausfälle aufklärt.

**These 9:** Der Leitfaden vermittelt RBG-Betreiber das notwendige Wissen über mögliche monetäre Folgen und Konsequenzen im Falle von unvorhergesehenen Anlagenstillständen/-ausfällen.

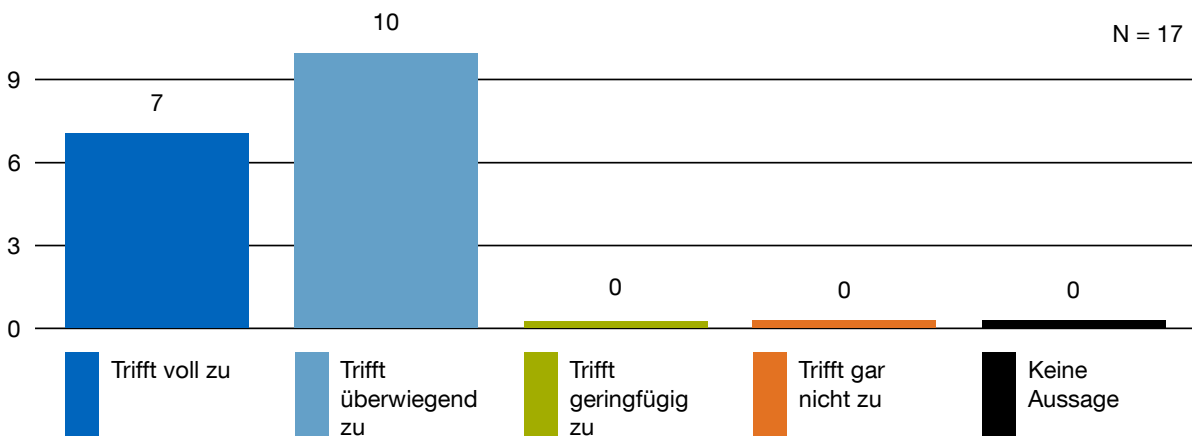


Abbildung 6-10: Einschätzung zu These 9 - Vermittlung der monetären Folgen und Konsequenzen durch unvorhergesehene Stillstände

Teilnehmende gaben zudem den Hinweis, dass folgende negative Folgen bzw. Konsequenzen ergänzt werden sollten:

- Längere Ausfallzeiten bzw. häufige Anlagenstillstände können zu Vertragsauflösung mit Kunden führen
- Good-Will-Verluste und zusätzliche Wiederanlaufkosten müssen als monetäre Folgen berücksichtigt werden. Dies ist insbesondere kleineren Firmen nicht bewusst.

## These 10

Zehn Teilnehmende bewerten **These 10** mit „trifft voll zu“, sechs mit „trifft überwiegend zu“ und einer mit „trifft geringfügig zu“ (siehe Abbildung 6-11). Damit stimmen fast alle Personen mit der Aussage überein, dass der Leitfaden hilfreiche Vorbereitungsmaßnahmen enthält, um Retrofit-Prozesse zu unterstützen.

**These 10:** Der Leitfaden beschreibt hilfreiche Maßnahmen, die vor und während der Retrofit-Arbeiten umgesetzt werden können, um Abläufe bei der Modernisierung zu unterstützen.

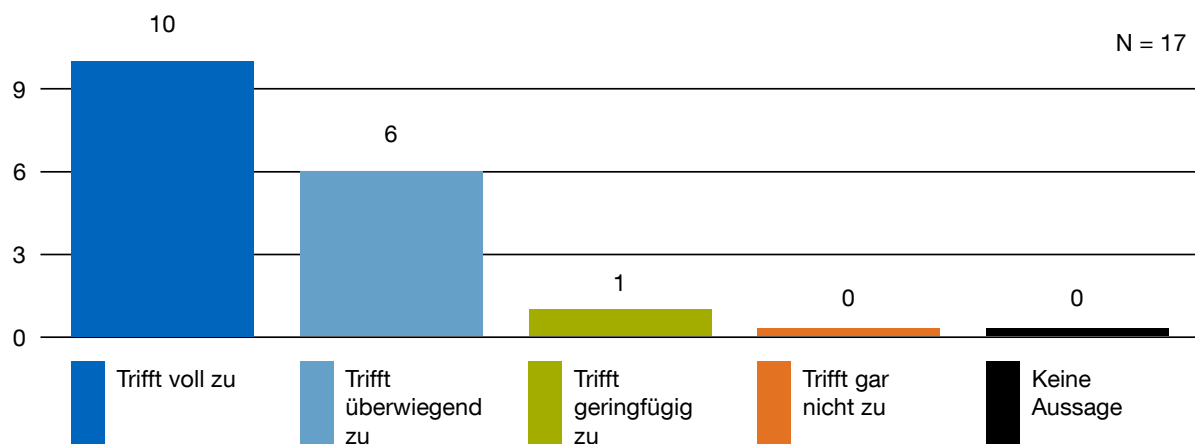


Abbildung 6-11: Einschätzung zu These 10 - Angabe hilfreicher Vorbereitungsmaßnahmen

Folgende Anmerkungen bezüglich praktischer Unterstützungsmaßnahmen wurden getätigt:

- Die Adaption der alten Mechanik auf den neuen Stand der Technik sollte noch genauer beschrieben werden.
- Für unterschiedlicher Lagerarten (z. B. Ersatzteil-, Produktions- oder Distributionslager) sollten weitere spezifische Maßnahmen ergänzt werden.

Nach Betrachtung der Thesen 4 bis 10 kann zusammenfassend gesagt werden, dass auch die Erfüllung der Anforderung *Verständlichkeit* von den Teilnehmende als positiv bewertet wurde.

### 6.2.3 Erfüllung der Anwendungsorientierung – Thesen 11 bis 17

Die Erfüllung der Anwendungsorientierung wurde anhand von weiteren sieben Thesen geprüft. Es wurde bewertet, ob der Leitfaden umsetzbare, unterstützende Maßnahmen enthält. Diese sind notwendig, sodass der Retrofit-Prozess sowohl für Betreiber als auch Anbieter verbessert wird. Während These 11 explizit nur von Retrofit-Anbietern (N=11) bewertet wurde, konnten für **Thesen 12 bis 17** sowohl Retrofit-Anbietern als auch und Betreiber Bewertungen (N=17) abgeben.

#### These 11

Mit **These 11** wurde geprüft, ob der Leitfaden Antworten auf häufig gestellte Fragen von Betreibern enthält und somit den Aufklärungsaufwand für Retrofit-Anbieter verringert. Aufgrund der Fokussierung auf die Sicht der Anbieter wurde These 11 explizit nur von dieser Gruppe beantwortet (**N=11**). Die elf Teilnehmenden stimmten mit vier Mal „trifft voll zu“, fünf Mal „trifft überwiegend zu“, einmal „trifft geringfügig zu“ und einmal „trifft gar nicht zu“ ab (siehe Abbildung 6-12). Im Gegensatz zu den vorherigen Thesen konnte hier keine umfassende Zustimmung festgestellt werden. Zwei Teilnehmende waren nicht gänzlich davon überzeugt, dass der Leitfaden die Situation der Anbieter verbessern würde. Dies ist nachvollziehbar, da der Fokus des Leitfadens deutlich stärker darauf liegt, die Ausgangssituation von teilweise nicht informierten Betreibern zu stärken. Nichtsdestotrotz ist davon auszugehen, dass auch Anbieter von der Verbreitung des Leitfadens profitieren, da dadurch das Retrofit-Wissen potenzieller Kunden erhöht wird.

**These 11:** Anbieter von Retrofits profitieren von der Verbreitung des Leitfadens, da der Aufwand zukünftiger Retrofits für sinkt.

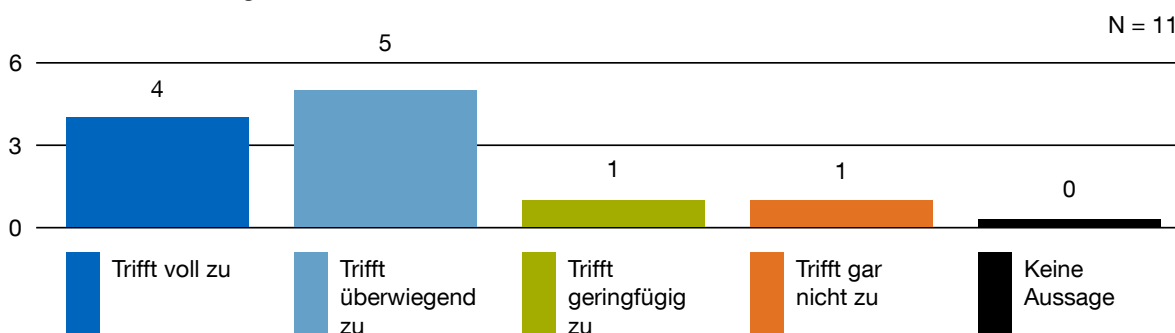


Abbildung 6-12: Einschätzung zu These 11 - Unterstützung von Retrofit-Anbietern

## These 12

Mit **These 12** wurde nach der Einschätzung gefragt, ob Betreiber auch ohne umfangreiches technisches Vorwissen den Leitfaden benutzen können. Die 17 Teilnehmenden stimmten mit vier Mal „trifft voll zu“, zehn Mal „trifft überwiegend zu“, zwei Mal „trifft geringfügig zu“ und einmal „trifft gar nicht zu“ ab (siehe Abbildung 6-13). Damit wird bestätigt, dass auch Betreiber, deren Retrofit-Wissen begrenzt ist, von den Inhalten des Leitfadens profitieren. Trotzdem stimmen drei Personen der These 12 nicht zu. Dies kann der Tatsache geschuldet sein, dass der Leitfaden nicht ausnahmslos alle Informationen enthält. Die explizite Beratung durch Retrofit-Experten ist unumgänglich.

**These 12:** Für die Benutzung des Leitfadens ist kein umfangreiches technisches Vorwissen, (z. B. Retrofit-Ablauf, Schnittstellenbruch, etc. ) notwendig.

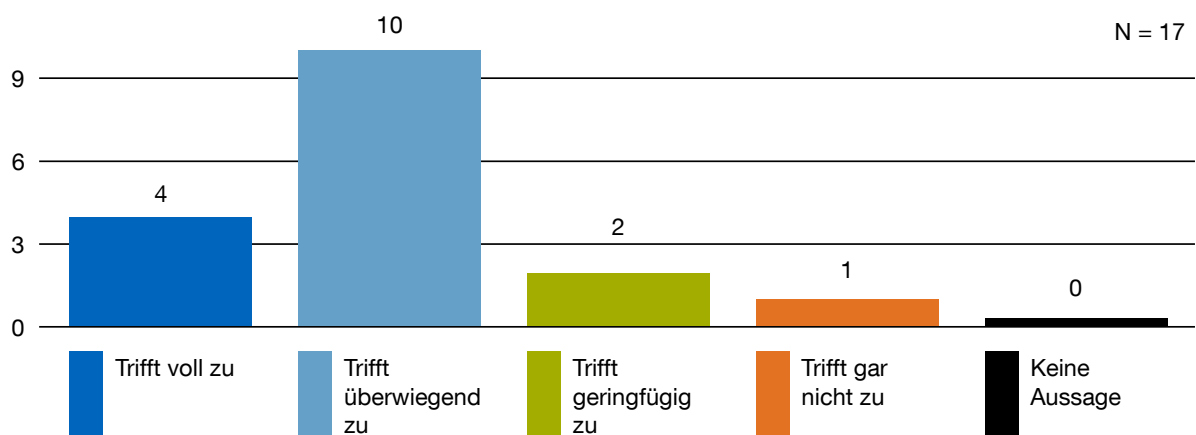


Abbildung 6-13: Einschätzung zu These 12 - Benötigtes Vorwissen für Retrofits

## These 13

Mit **These 13** beurteilten die Teilnehmenden, ob für die Benutzung des Leitfadens Erfahrung und Expertise zur Durchführung von Retrofit notwendig ist. Die 17 Teilnehmenden stimmten mit zwei Mal „trifft voll zu“, zehn Mal „trifft überwiegend zu“, zwei Mal „trifft geringfügig zu“ und drei Mal „trifft gar nicht zu“ ab (siehe Abbildung 6-14). Hier wurde ähnlich wie bei These 12 abgestimmt, jedoch mit einer stärkeren Tendenz zur Ablehnung der These 13. Die fünf negativen Abstimmungen sind kann darauf zurückgeführt, dass für Retrofits langjährige Projekt-Erfahrung notwendig ist, die nicht in einem Leitfaden abbildbar ist.

**These 13:** Für die Benutzung des Leitfadens ist keine Erfahrung und Expertise zur Durchführung von Retrofit notwendig.

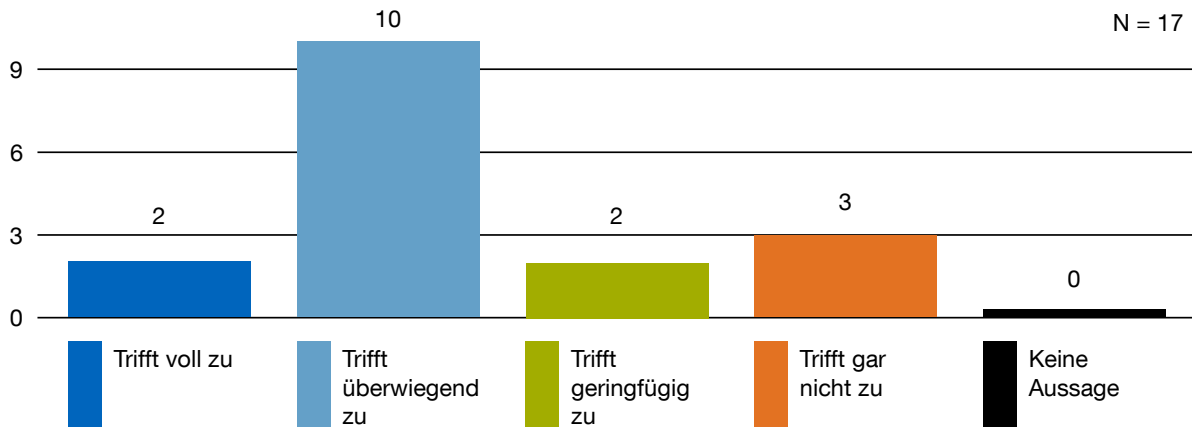


Abbildung 6-14: Einschätzung zu These 13 - Benötigte Retrofit-Expertise

**These 14**

Mit **These 14** wurde nach der Einschätzung gefragt, inwiefern die Inhalte des Leitfadens dazu beitragen, dass Anlagenbetreiber dem Thema Retrofit mehr Aufmerksamkeit widmen und die Sensibilisierung für Retrofits erhöht wird. Dies wurde von den 17 Teilnehmenden mit sieben Mal „trifft voll zu“, neun Mal „trifft überwiegend zu“ und einmal „trifft geringfügig zu“ (siehe Abbildung 6-15) insgesamt sehr positiv bewertet.

**These 14:** Die Verbreitung der Inhalte des Leitfadens wird dazu beitragen, dass Anlagenbetreiber dem Thema Retrofit mehr Aufmerksamkeit widmen. Die Sensibilisierung der Betreiber für das Thema Retrofit wird dadurch erhöht.

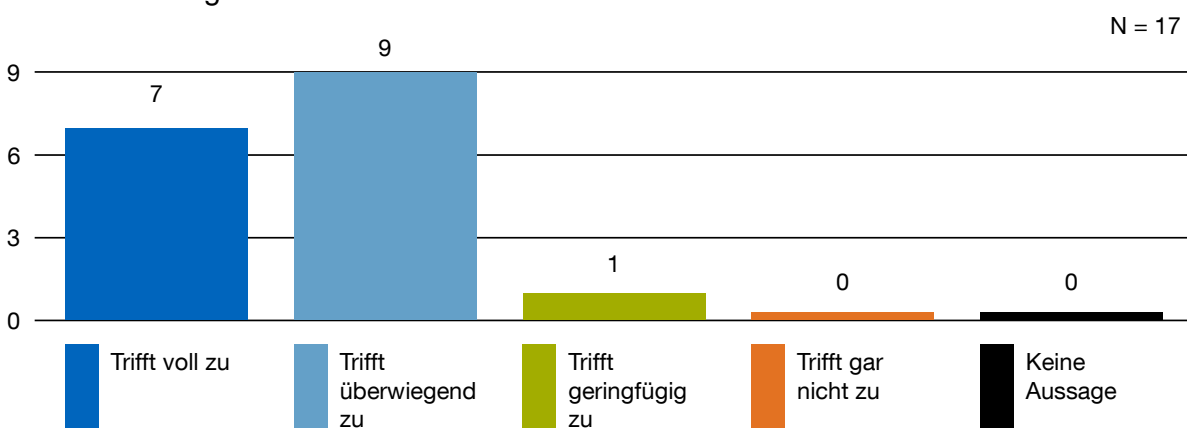


Abbildung 6-15: Einschätzung zu These 14 - Erhöhte Sensibilisierung durch den Leitfaden



## These 15

Mit **These 15** wurde beurteilt, inwieweit der Leitfaden auch Betreibern, die bereits für Retrofits sensibilisiert wird, Gewinn bringt. Die 17 Teilnehmenden stimmten mit neun Mal „trifft voll zu“, sechs Mal „trifft überwiegend zu“ und zwei Mal „trifft geringfügig zu“ ab (siehe Abbildung 6-16). Auch hier ist eine positive Bewertung durch die Unternehmen ersichtlich.

**These 15:** Der Leitfaden ergänzt auch das Retrofit-Wissen von Anlagenbetreibern, die bereits sensibilisiert und informiert sind.

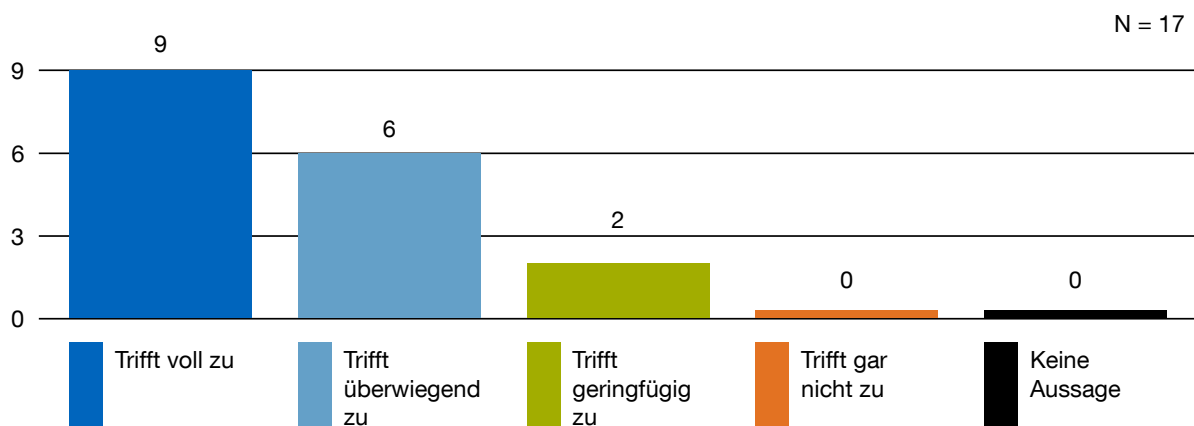


Abbildung 6-16: Einschätzung zu These 15 - Nutzen des Leitfadens für informierte Betreiber

## These 16

Im Gegensatz dazu wurde mit **These 16** nach der Einschätzung gefragt, ob die Inhalte des Leitfadens die Wissensbasis von Betreibern verbessert, die vorher nicht für Retrofits sensibilisiert waren. Mit zehn Mal „trifft voll zu“, sechs Mal „trifft überwiegend zu“ und einmal „Keine Aussage“ (siehe Abbildung 6-17) aus insgesamt 17 Stimmen wurde auch die potenzielle Verbesserung der Wissensbasis von nicht sensibilisierten Betreibern positiv bewertet.

**These 16:** Durch Nutzung des Leitfadens verbessert sich die Ausgangssituation bzw. Wissensbasis der Anlagenbetreiber, die vorher nicht für Retrofits sensibilisiert waren.

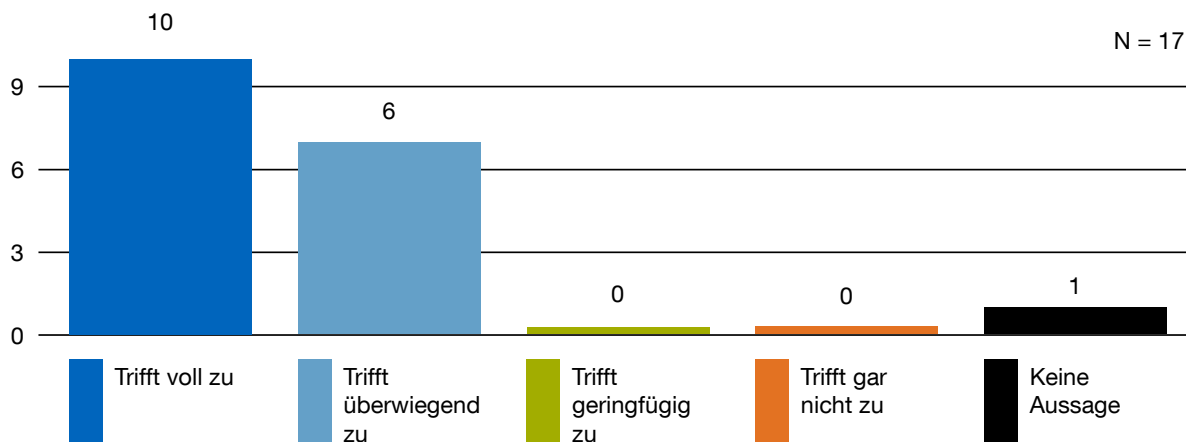


Abbildung 6-17: Einschätzung zu These 16 - Nutzen des Leitfadens für **nicht** informierte Betreiber

### These 17

Abschließend wurde mit **These 17** wurde geprüft, ob der Leitfaden praktische Umsetzungsmaßnahmen enthält, die Anlagenbetreiber einfach und schnell ausführen können. Die 17 Teilnehmenden stimmten mit vier Mal „trifft voll zu“, zwölf Mal „trifft überwiegend zu“ und einmal „trifft geringfügig zu“ ab (siehe Abbildung 6-18) und bestätigten mehrheitlich, dass der Leitfaden für unmittelbar bevorstehende Modernisierungen verwendet werden kann.

**These 17:** Der Leitfaden enthält praktische Umsetzungsmaßnahmen, die Anlagenbetreiber einfach und schnell ausführen können.

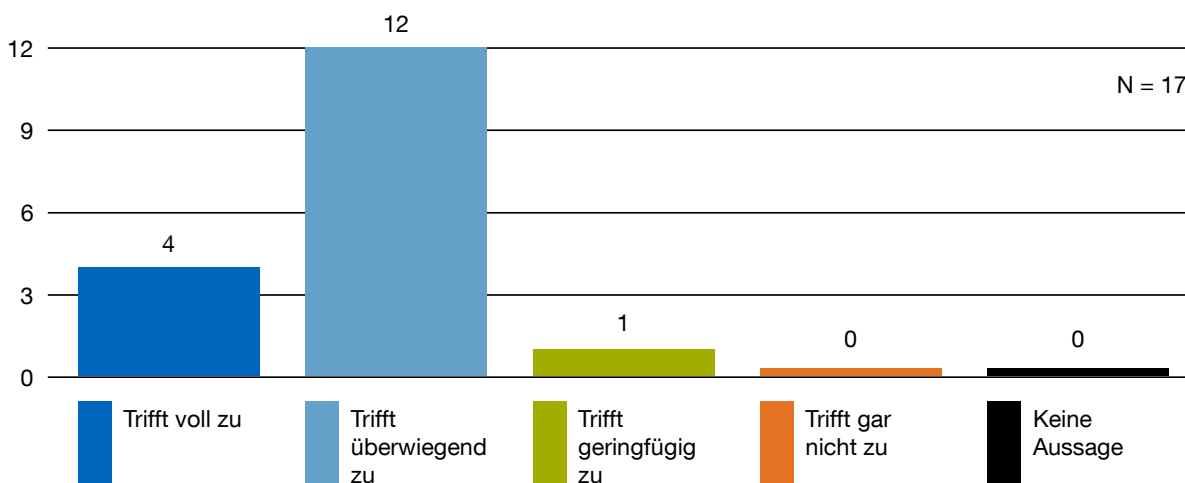


Abbildung 6-18: Einschätzung zu These 17 - Praktikabilität der enthaltenen Umsetzungsmaßnahmen

## Zusammenfassung der Evaluationsergebnisse

Die Thesen 1 bis 3 wurden hinsichtlich des Erfüllungsgrades positiv bewertet. Daraus kann abgeleitet werden, dass der Leitfaden vielseitig einsetzbar ist, sowohl für kleine und mittlere (**These 1**) oder große Betreiber (**These 2**), unabhängig von ihrer Branche (**These 3**). Der Erfüllungsgrad der Thesen 4 bis 10 wurde ebenfalls fast überwiegend positiv bewertet. Die Teilnehmenden befanden, dass der Leitfaden ausreichend Retrofit-Grundwissen über den monetären Nutzen von Retrofits (**These 4**), die relevanten Einflussgrößen (**These 5**), die Nutzungs- und Lebensdauer von betroffenen Komponenten (**These 6**), den zu erwartenden Arbeits- und Kostenaufwand (**These 7**), die Dringlichkeitskriterien (**These 8**), die monetären Folgen durch unvorhergesehene Anlagenausfälle (**These 9**) sowie die Vorbereitungsmaßnahmen für Modernisierungen (**These 10**) enthält. Bei der explizit für Retrofit-Anbieter relevanten **These 11** gaben die Teilnehmenden mehrheitlich an, dass der Leitfaden ihren zukünftigen Arbeitsaufwand potenziell verringern würde. Weniger eindeutig war die Bewertung, ob der Leitfaden auch ohne umfangreiches Retrofit-Wissen (**These 12**) sowie Projekt-Expertise (**These 13**) nutzbar wäre. In der Praxis ist ein Austausch mit Retrofit-Anbietern aufgrund ihrer Erfahrung und der hohen Komplexität der Projekte unumgänglich. Wiederrum wurde positiv bewertet, dass der Leitfaden das Potenzial dazu beiträgt, die allgemeine Sensibilisierung für Retrofits zu erhöhen (**These 14**) und die Wissensbasis sowohl für informierte (**These 15**) als auch nicht informierte (**These 16**) Betreiber maßgeblich zu verbessern. Außerdem bestätigten die Teilnehmenden mehrheitlich, dass der Leitfaden praktische Umsetzungsmaßnahmen (**These 17**), die Betreiber einfach und schnell ausführen könnten, enthielte.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Erfüllung der Anforderungen Neutralität, Verständlichkeit und Anwendungsorientierung durch den Leitfaden bestätigt werden konnte.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

---

Ziel des Forschungsprojekts *Bestimmung des optimalen Zeitpunkts von Retrofit-Maßnahmen für intralogistische Anlagen (OptiFit)* war Betreiber von RBG und Anbieter von Retrofits, insbesondere KMU, bei Modernisierungen zu unterstützen, indem Rahmenbedingungen geschaffen werden, sodass Retrofits zum optimalen Zeitpunkt durchgeführt werden können.

Die Untersuchung aktueller und vergangener Retrofitprojekte offenbarte drei hauptsächliche Hürden bei Modernisierungen. Aus den Befragungen geht hervor, dass ein Großteil der Retrofit-Vorhaben aufgrund von geringfügiger Sensibilisierung nicht rechtzeitig initiiert werden, sondern erst stattfinden, wenn bspw. aufgrund der Ersatzteilsituation unmittelbar gehandelt werden muss. Außerdem kommt es vor, dass Betreiber wichtige Retrofits zeitlich aufschieben, da ihnen das Verständnis für die Höhe der Retrofit-Kosten fehlt und sie langfristige Modernisierungen nicht in der Budgetplanung berücksichtigt. Retrofit-Anbieter müssen aufgrund der Unterschiedlichkeit von Intralogistikanlagen für jedes Projekt eine ausführliche Anlagenanalyse durchführen. Der Arbeitsaufwand erhöht sich zusätzlich in Form von intensiven Beratungsgesprächen, da uninformierte Anlagenbetreiber über die technischen Zusammenhänge, das potenzielle Ausfallrisiko und die dadurch resultierenden monetären Konsequenzen aufgeklärt werden müssen.

Anhand der identifizierten Hürden wurden Anforderungen an Betreiber von RBG formuliert, um optimale Rahmenbedingungen für Retrofit-Projekte zu gewährleisten. Betreiber sollten in der Lage sein, selbstständig und regelmäßig den eigenen Retrofit-Bedarf prüfen und erkennen zu können. Hierzu ist notwendig, dass sie ein grundlegendes Verständnis und Basis-Wissen für Retrofits vorweisen und im engen Austausch mit Retrofit-Experten stehen.

Das relevante Retrofit-Grundwissen wurde in zahlreichen Expertengesprächen gesammelt in Form eines Leitfadens überführt. Dieser beinhaltet dabei Informationen über den Nutzen von Retrofit, den Prozessablauf, typische Auslöser für Modernisierungen, die Aufgaben und Verantwortungen von Anlagenbetreibern, die betroffenen Komponenten und deren Lebenszyklen, die einzuhaltenden Sicherheitsvorschriften, die Zeiträume und zu erwartenden Arbeitsumfänge, die Dringlichkeitsbewertung sowie die Maßnahmen zur Vorbereitung und Durchführung von Retrofits.

Im Anschluss wurde der Leitfaden hinsichtlich der Neutralität, Verständlichkeit und Anwendungsorientiertheit von Retrofit-Anbietern und Anlagenbetreibern evaluiert und bestätigt.

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes beschränken sich auf die Modernisierung von Regalbediengeräten. Eine Erweiterung des Leitfadens auf angrenzende Förder-technik-Systeme oder gar Intralogistiksysteme im Allgemeinen ist denkbar, da diese aus ähnlichen Komponenten bestehen. Zwar konnte durch die Evaluierung eine erste Abschätzung hinsichtlich Praxisrelevanz durchgeführt werden, für den realen Gebrauch in Projekten ist der Leitfaden allerdings noch zu optimieren. Hierzu sollten die Ergänzungen und Kommentare der Teilnehmenden aus der Evaluation berücksichtigt werden.

## Literaturverzeichnis

---

- [Arn-2006] Arnold, D.: Intralogistik – Potentiale, Perspektiven, Prognosen. Springer-Verlag GmbH, Berlin Heidelberg, 2006.
- [Arn-2008] Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.; Furmans, K.: Handbuch Logistik. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [Aßm-1996] Aßmann, S.: Methoden und Hilfsmittel zur abteilungsübergreifenden Projektierung komplexer Maschinen und Anlagen. Shaker, Aachen, 1996.
- [Atz-2016] Atz, T.: Eine algorithmenbasierte Methode zur ganzheitlichen Systemplanung automatischer Hochregallager. Dissertation, Technische Universität München, 2016.
- [BMA-2015] BMAS, BMWi: Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln – Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), 2015.
- [Bra-2016] Braun, M. S. A.; Bolender, S.; Koch, M.; Friedmann, A.: Abschlussbericht: Zustandsüberwachung von Intralogistiksystemen. Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme; Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, 2016.
- [DIN EN-13306] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Instandhaltung. DIN EN Nr. 13306, 2018.
- [DIN EN-528] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Regalbediengeräte - Sicherheitsanforderungen;. DIN EN Nr. 528, 2021.
- [DIN EN-60300-1] Deutsches Institut für Normung e.V.: Zuverlässigkeitsmanagement – Teil 1: Leitfaden für Management und Anwendung. DIN EN Nr. 60300-1, 2015.
- [DIN EN-60300-3-3] Deutsches Institut für Normung e. V: Zuverlässigkeitsmanagement – Teil 3-3: Anwendungsleitfaden – Lebenszykluskosten. DIN EN Nr. 60300-3-3, 2014.

- [DIN-30781] Deutsches Institut für Normung e.V.: Transportkette. DIN Nr. 30781, 1989.
- [DIN-31051] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Grundlagen der Instandhaltung. DIN Nr. 31051, 2019.
- [Ebe-2014] Eberlin, S.; Hock, B.: Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit technischer Systeme. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2014.
- [FEM-9-101] Federation Europeene de la Manutention: Terminologie – Regalbediengerät - Definition. FEM Nr. 9-101, 2016.
- [Gri-2020] Griemert, R.; Römisch, P.: Fördertechnik. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2020.
- [Har-2019] Hartel, D. H.: Projektmanagement in Logistik und Supply Chain Management. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2019.
- [Hau-2010] Haußner, C.; Elger, J.; Kuzmany, F.: Der Lebenszyklus heutiger Materialflusssysteme – eine Übersicht. In: Günthner, W.; Hompel, M. ten (Hrsg.): Internet der Dinge in der Intralogistik. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2010, S. 173–186.
- [Hom-2018] Hompel, M. ten; Schmidt, T.; Dregger, J.: Materialflusssysteme. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2018.
- [Lei-2014] Leidinger, B.: Wertorientierte Instandhaltung. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2014.
- [Mar-2014] Martin, H.: Transport- und Lagerlogistik. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2014.
- [Paw-2016] Pawellek, G.: Integrierte Instandhaltung und Ersatzteillogistik. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2016.
- [Rec-2019] Rechl, F.: Lebenszykluskosten intralogistischer Systeme. Dissertation. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2019.
- [Röm-2011] Römisch, P.: Materialflusstechnik – Auswahl und Berechnung von Elementen und Baugruppen der Fördertechnik. Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2011.

- [Roo-2009] Roodbergen, K. J.; Vis, I. F.: A survey of literature on automated storage and retrieval systems. In: European Journal of Operational Research, Jg. 194 (2009) Nr. 2, S. 343–362.
- [Sch-2010] Schenk, M. (Hrsg.): Instandhaltung technischer Systeme – Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2010.
- [Sch-2019] Schmidt, T.: Innerbetriebliche Logistik. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2019.
- [VDI-3630] Verein deutscher Ingenieure: Automatische Kleinteilelager (AKL). VDI Nr. 3630, 2006.
- [VDI-4403] Verein deutscher Ingenieure: Modernisierung und Erweiterung förder technischer Anlagen und logistischer Systeme bei laufendem Betrieb. VDI Nr. 4403, 2011.
- [Zij-2019] Zijm, H.; Klumpp, M.; Regattieri, A.; Heragu, S.: Operations, Logistics and Supply Chain Management. Springer International Publishing, Cham, 2019.



# Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1-1: Übersicht der Arbeitspakete und Zuordnung zu den Kapiteln	6
Abbildung 2-1: Unterteilung der Fördermittel nach Art des Ladeeinheitenstroms und der Verfahrensbewegung	8
Abbildung 2-2: Einteilung der Lagermittel für Stückgut nach [Hom-2018, S. 59]	10
Abbildung 2-3: Schematischer Aufbau eines Regalbediengerätes nach [DIN-15350; FEM-9-101]	12
Abbildung 2-4: Lebenszyklus eines Intralogistiksystems in Anlehnung an [Hau-2010, S. 180]	14
Abbildung 2-5: Instandhaltungsarten nach [DIN EN-13306, S. 62]	17
Abbildung 2-6: Schematische Darstellung einer Grenzwertüberwachung nach [Paw-2016, S. 169]	18
Abbildung 3-1: Unterscheidung der Anlagenbetreiber nach dem Umfang der intern durchgeführten Logistik-Tätigkeiten und dem Kontakt mit Hersteller/Dienstleister	24
Abbildung 3-2: Drei Schritte bei Retrofits und zugehörige Tätigkeiten	26
Abbildung 3-3: Ursachen für die Gefährdung des wirtschaftlichen und langfristigen Betriebs von RBG	27
Abbildung 3-4: Hürden bei Retrofit-Projekten und deren Hauptursache	32
Abbildung 3-5: Anforderungen an Betreiber von RBG, um optimale Rahmenbedingungen für Retrofit-Projekte zu schaffen	35
Abbildung 4-1: Unterscheidung zwischen Retrofit und Instandsetzung	38
Abbildung 4-2: Typischer Ablauf eines Retrofit-Prozesses	40
Abbildung 4-3: Vorgehen zur Beurteilung von wesentlichen Änderungen nach BMAS (Bundesministerium für Arbeit und Soziales)	49
Abbildung 4-4: Häufig betroffene Komponenten und zugehörige Retrofit-Maßnahmen	51
Abbildung 4-5: Mögliche Zeitersparnis durch VIBN	55
Abbildung 5-1: Zuordnung der Abschnitte aus Kapitel 4 zu den Abschnitten des Leitfadens	58
Abbildung 5-2: Beispielseite des Leitfadens	59
Abbildung 5-3: ToDo-Liste mit Aufgaben für jeden Abschnitt des Leitfadens	60
Abbildung 6-1: Kategorisierung der Teilnehmenden an der Evaluation in Betreiber und/oder Retrofit-Anbieter	63
Abbildung 6-2: Einschätzung zu These 1 - Relevanz des Leitfadens für KMU	64

Abbildung 6-3: Einschätzung zu These 2 - Relevanz des Leitfadens für Nicht-KMU	65
Abbildung 6-4: Einschätzung zu These 3 – Relevanz des Leitfadens für unterschiedliche Branchen	66
Abbildung 6-5: Einschätzung zu These 4 – Ausreichende Darstellung des Nutzens und der Vorteile	68
Abbildung 6-6: Einschätzung zu These 5 – Korrekte Angabe relevanter Einflussgrößen für Retrofits	69
Abbildung 6-7: Einschätzung zu These 6 - Informationsgehalt des Leitfadens bezüglich Lebens- und Nutzungsdauer von Komponenten	70
Abbildung 6-8: Einschätzung zu These 7 - Sensibilisierung für Arbeitsumfang und Kosten	71
Abbildung 6-9: Einschätzung zu These 8 - Angabe notwendiger Dringlichkeitskriterien	72
Abbildung 6-10: Einschätzung zu These 9 - Vermittlung der monetären Folgen und Konsequenzen durch unvorhergesehene Stillstände	72
Abbildung 6-11: Einschätzung zu These 10 - Angabe hilfreicher Vorbereitungsmaßnahmen	73
Abbildung 6-12: Einschätzung zu These 11 - Unterstützung von Retrofit-Anbietern	74
Abbildung 6-13: Einschätzung zu These 12 - Benötigtes Vorwissen für Retrofits	75
Abbildung 6-14: Einschätzung zu These 13 - Benötigte Retrofit-Expertise	76
Abbildung 6-15: Einschätzung zu These 14 - Erhöhte Sensibilisierung durch den Leitfaden	76
Abbildung 6-16: Einschätzung zu These 15 - Nutzen des Leitfadens für informierte Betreiber	77
Abbildung 6-17: Einschätzung zu These 16 - Nutzen des Leitfadens für <b>nicht</b> informierte Betreiber	78
Abbildung 6-18: Einschätzung zu These 17 - Praktikabilität der enthaltenen Umsetzungsmaßnahmen	78

## Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 3-1: Übersicht der Retrofit-Experten	23
Tabelle 8-1: Durchgeführte Transfermaßnahmen während der Projektlaufzeit	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Tabelle 8-2: Geplante Transfermaßnahmen nach der Projektlaufzeit	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>



# Anhang A Retrofit-Leitfaden

## A.1 Deckblatt und Inhaltsverzeichnis

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik  
TUM School of Engineering and Design  
Technische Universität München

**TUM**

### Leitfaden zur Unterstützung von Retrofits an Regalbediengeräten

Ergebnisse aus dem Projekt OptiFit  
IGF-Vorhaben 20157 N/1  
Bewilligungszeitraum 06/2019 – 03/2022

Version 2214



fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München 1

## Übersicht

Inhaltsverzeichnis Leitfaden 

<a href="#">Grundlagen</a>	0
<a href="#">Tätigkeiten während der Betriebsphase</a>	1
<a href="#">Ermittlung der zu modernisierenden Komponenten</a>	2
<a href="#">Beachtung von Sicherheitsvorschriften</a>	3
<a href="#">Unterschiedliche Arbeitsumfänge bei Retrofits</a>	4
<a href="#">Kriterien zur Bewertung der Dringlichkeit</a>	5
<a href="#">Vorbereitung auf Retrofits</a>	6
<a href="#">Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) zur Qualitätssicherung</a>	7

Version 2214

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München





**TUM**

2

## A.2 Grundlagen

### 0: Grundlagen

#### Voraussetzungen für frühzeitige Retrofits und dadurch erwarteter Nutzen

**Was sind die Voraussetzungen für früh- bzw. rechtzeitige Modernisierungen?**

- Sensibilisierung der Anlagenbetreiber über retrofit-spezifische Themen (siehe rechts)
- Proaktive Analyse des Anlagenzustands durch Betreiber
- Kontinuierliche Prüfung der Lieferbarkeit von Ersatzteilen
- Regelmäßiger Austausch mit Hersteller / Komponenten-Zulieferer / Retrofit-Anbieter über den aktuellen Stand der Technik
- Vorausschauende Budgetplanung unter Berücksichtigung möglicher Retrofits

**Weshalb sollten sich Betreiber so früh wie möglich mit potenziellen Retrofits auseinandersetzen?**

- Vorbeugung steigender Ausfallraten durch aktuellen Stand der Technik → Geringere Instandhaltungskosten
- mittel- & langfristige geplante „kleinere“ Retrofits anstatt ungeplante große „Notfall“-Projekte → Geringere Projektkosten und kürzere Anlagenstillstände
- Stillstände durch Retrofits besser „planbar“ und „günstiger“ als unvorhergesehene Ausfälle
- Langfristige Planung ermöglicht „stückweise“ Modernisierung → Verfügbarkeit „alter“ Komponenten als Ersatzteile
- Keine „riskante“ Verschiebung von Retrofits aufgrund fehlendem Budgets
- Frühzeitige Sicherung der Ressourcen der Retrofit-Anbieter

0

1

2


3

4

5

6

7



2015/7 N/1

Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss, Logistik

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München

3

### 0: Grundlagen

#### Retrofit-Grundwissen für Anlagenbetreiber


**Worüber sollten Anlagenbetreiber informiert sein, wenn sie sich mit Retrofits beschäftigen?**

- Häufige Auslöser / Ursachen für Retrofits
- Vorteile / Nutzen durch rechtzeitige Retrofits
- Vermeidbare Risiken und Folgen aufgrund spät durchgeführte Retrofits
- Übersicht zu betroffenen Komponenten und Umfang der Retrofit-Maßnahmen
- Kriterien zur Bewertung der individuellen Dringlichkeit
- Organisatorische Vorbereitungsmaßnahmen

0

1

2

3

4

5

6

7



2015/7 N/1

Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss, Logistik

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München

4

# 0: Grundlagen

## Stakeholder

### Betreiber

- ... betreibt Intra-logistikanlagen mit Regalbediengeräten
- ... beauftragt als Kunde einen/mehrere Anbieter, um Modernisierungen durchzuführen

- Produzierende Unternehmen (Produktionsversorgung) oder Versandhändler; Logistikabteilung als **interner Betreiber**
- Logistik-Dienstleister sind **externe Betreiber** des Intra-logistiklagers eines Kunden

### Retrofit-Anbieter

- ... bietet Modernisierungen als Dienstleistung an und wird von Betreibern beauftragt

- Hersteller**  
Produktion von Regalbediengeräten oder (RBG)-Komponenten; Modernisierung ggf. Bestandteil des Leistungsspektrums
- Logistik-Planer**  
Übernahme der Beratung, Planung und Realisierung von Modernisierungsprojekten als Generalunternehmer; RBG-Komponenten gehören nicht unbedingt zum Angebotsspektrum

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München 5

# 0: Grundlagen

## Einführung der Begrifflichkeiten

### Grundmaßnahmen der Instandhaltung<sup>(1)</sup>

(1) Nach DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung

### Definition Instandsetzung

- „Physische Maßnahme, [...] um die Funktion eines fehlerhaften Objekts wiederherzustellen“<sup>(2)</sup>
- „Reparatur“ als Synonym für „Instandsetzung“

(2) Nach DIN 13306

### Definition: Retrofit

Erneuerung bzw. Hochrüsten einer bestehenden Anlage auf einen neueren Stand der Technik aufgrund neuer oder geänderter Anforderungen.<sup>(3)</sup>

(3) Angelehnt an VDI 4403 und DIN 13306

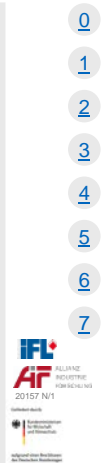
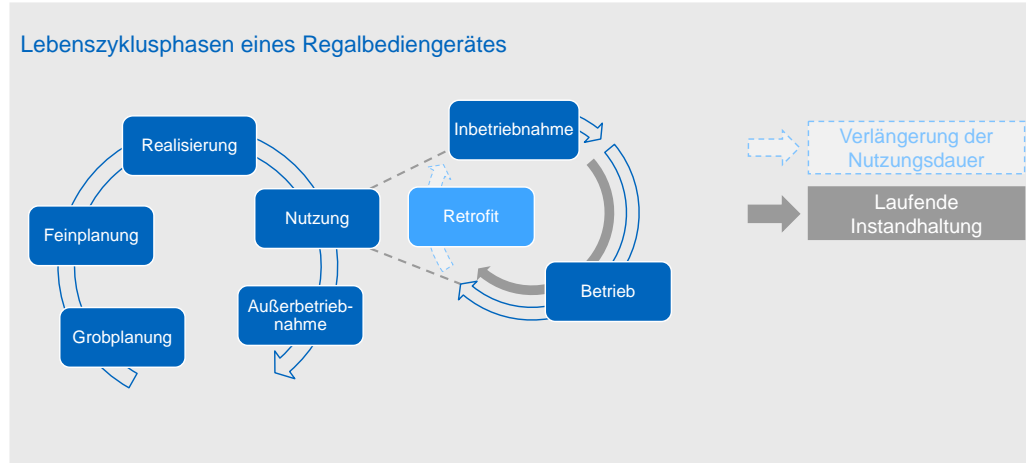
### Gegenüberstellung Instandsetzung und Retrofit

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München 6

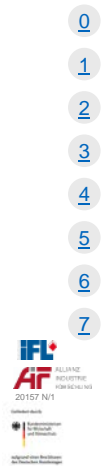
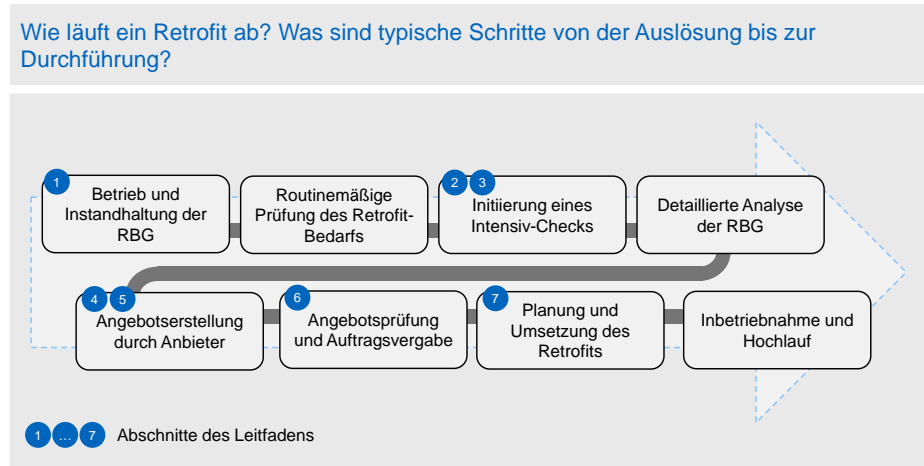
# 0: Grundlagen

## Einordnung von Retrofits im Lebenszyklus von Regalbediengeräten



# 0: Grundlagen

## Beispielhafter Ablauf eines Retrofits und Zuordnung der Kapitel



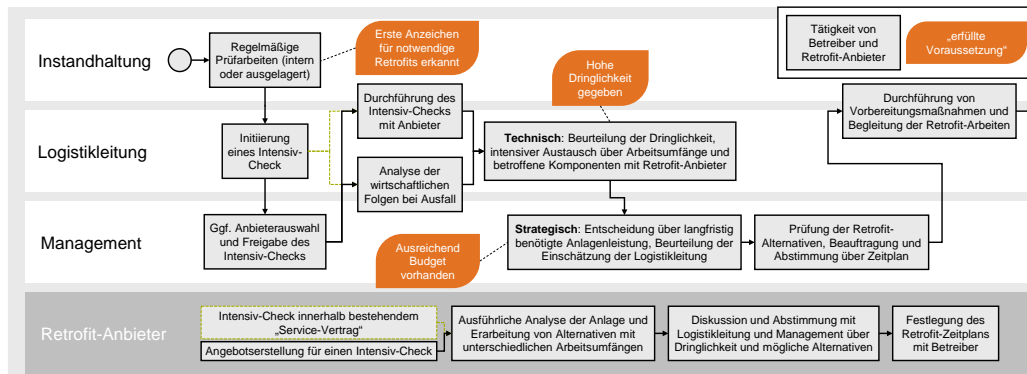


# 0: Grundlagen

## Verantwortlichkeiten bei Retrofit-Projekten



Welche Entscheidungsschritte müssen üblicherweise durchlaufen werden, bis es zur Beauftragung bzw. Durchführung eines Retrofits kommt?



- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7



# 0: Grundlagen

## Typische Auslöser für Retrofits



Welche Auslöser sollten Betreiber im Auge behalten, um frühzeitig einen Retrofitbedarf zu erkennen?

<p><b>Probleme bei der Ersatzteilverfügbarkeit aufgrund von Abkündigungen (SPS, Software, Elektronik...)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gibt es bereits Nachfolger Komponenten?</li> <li>• Sind die verbauten Komponenten bereits vom Hersteller abgekündigt?</li> <li>• Können entsprechende Ersatzteile ausreichend schnell beschafft werden?</li> </ul> <p><b>Diskrepanz zwischen restlicher Nutzungsdauer und zukünftiger Verfügbarkeit von Ersatzteilen und Support</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie lange sollen die Regalbediengeräte noch betreiben werden?</li> <li>• Kann für die gewünschte Restnutzungsdauer noch sichergestellt werden, dass die jeweiligen Ersatzteile noch erwerbbar und dass spezifisches technisches Know-How noch verfügbar sind?</li> </ul> <p><b>Erfüllung der Richtlinien und Sicherheitsvorschriften</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Darf die Anlage angesichts der aktuellen Sicherheitsvorschriften noch weiter betrieben werden?</li> <li>• Steht möglicherweise der Austausch sicherheitsrelevanter Bauteile an, die in diesem Zuge aufgrund des Alters durch neuere Komponenten ersetzt werden sollten?</li> </ul>	<p><b>Abnahme der Anlagenleistung durch zunehmende Komponentenausfälle</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ist eine Zunahme der Ausfälle an einzelnen Komponenten oder der Gesamtanlage erkennbar</li> <li>• Erreicht die Anlage die gewünschte technische Verfügbarkeit?</li> <li>• Kann die technische Verfügbarkeit der Anlage durch Instandhaltungsmaßnahmen auf noch das gewünschte Niveau (zurück-)gebracht werden?</li> </ul> <p><b>Änderungen der Leistungsanforderungen oder des Produktspektrums</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wurden Anforderungen an die Logistikleistung geändert, die durch die bestehenden Systeme nicht mehr erfüllt werden können?</li> <li>• Haben sich Spezifikationen der zu lagernden Artikel verändert, die zu Anpassungen an der Anlagen führen?</li> </ul>
--	--

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7



## A.3 Tätigkeiten während der Betriebsphase

### 1: Tätigkeiten während der Betriebsphase

#### Aufgaben und Verantwortlichkeiten für Betreiber

**Überprüfung des Stands der Technik**

Zur Bewertung des Retrofit-Bedarfs ist eine wiederkehrende Abfrage zum **aktuellen Stand der Technik** für relevante Komponenten notwendig, da geänderte gesetzliche Vorschriften teils nur durch den Einsatz neuerer Bauteile eingehalten werden können. Ein Großteil der Retrofits werden dadurch ausgelöst, dass Steuerungen, elektronische Komponenten oder SPS-Software abgekündigt werden. Sobald eine Abkündigung bekannt ist, ist mit einem verstärkten Ausverkauf der Restbestände zu rechnen.

**Überprüfung der Verfügbarkeit von Komponenten und Support**

Betreiber sollten weiterhin prüfen, ob Ersatzteile für ihre Komponenten lieferbar sind und ob insbesondere für die Software und Elektronik noch Support verfügbar ist. Eine automatische Bereitstellung dieser wichtigen Informationen durch Hersteller bzw. Retrofit-Anbieter (Obsoleszenzmanagement) ist noch nicht umfangreich umgesetzt.

**Wartung und Instandhaltung**

Unter Berücksichtigung der Angaben der Hersteller sollte ein **Wartungsplan** erstellt und eingehalten werden. Eine überproportionale Zunahme des „Bauteil-Verbrauchs“ bei Verschleißteilen gibt mögliche erste Hinweise für anstehende Retrofits.

**Langfristiger Budgetplan**

Betreiber sollten bereits frühzeitig nach Inbetriebnahme mit Retrofit-Anbietern eine **Modernisierungs-Roadmap** für die folgenden zwei bis zehn Jahre aufstellen und diese regelmäßig aktualisieren. Dadurch ist sichergestellt, dass für notwendige Retrofits ausreichend Budget zur Verfügung steht und diese nicht aufgeschoben werden müssen. Eine Bauteilabkündigung kann ein erster Anstoß für die Planungen von zukünftigen Modernisierungen sein.

Während des Betriebs ist ein **regelmäßiger Austausch** mit Herstellern und/oder Retrofit-Anbietern essentiell.

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

  
  
20157 N/1

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München
11

### 1: Tätigkeiten während der Betriebsphase

#### Exkurs zu Lebenszyklus und Lebensdauer von RBG-Komponenten

**Unterschiedliche Lebenszyklen als Auslöser für Retrofits**

Mechanisch beanspruchte Komponenten werden im Laufe der Zeit repariert und ausgetauscht. Diese Instandhaltungsmaßnahmen sind meist aufwandsarm.

Ein Großteil der Retrofits wird durch **Abkündigungen von Steuerungen**, elektronischen Komponenten und Software ausgelöst. Diese Bauteile müssen nach einigen Jahren modernisiert, d.h. auf einen neueren Stand der Technik gebracht werden, da die Ersatzteile oder der Technik-Support weggefallen sind. Im ungünstigen Fall kann ein Retrofit bereits nach sieben Jahren fällig sein, obwohl die RBG für z. B. 13 Jahre ausgelegt wurden. Grund dafür sind die kurzen Lebenszyklen der elektronischen Bauteilen und der Software sowie Einhaltung neuer gesetzlicher Vorschriften, die die Nutzung neuerer Komponenten vorschreiben.

In der Regel kann die Nutzungsdauer nach dem Retrofit um weitere fünf bis acht Jahre verlängert werden.

**Wie lange ist die geschätzte Lebensdauer von (ausgewählten) Komponenten? (\*)**

Human-Machine-Interface (HMI)	ca. 5-7 Jahre
Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	ca. 12 Jahre
E/A Baugruppe & Baugruppenträger	ca. 16 - 20 Jahre
Antriebe	Herstellervorgabe (z. B. 10.000 Betriebsstunden)

(\*) Einschätzung aus Expertengesprächen

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

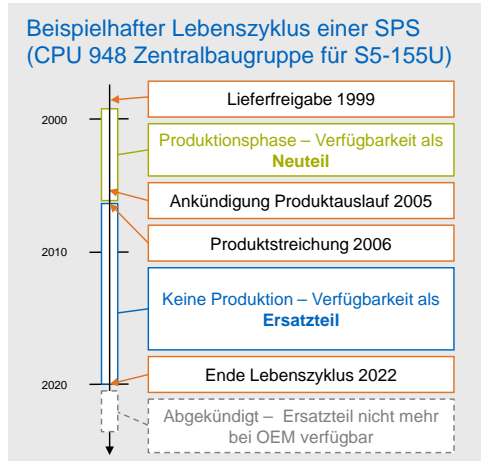
  
  
20157 N/1

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München
12



# 1: Tätigkeiten während der Betriebsphase

Exkurs zu Lebenszyklus und Lebensdauer von RBG-Komponenten



Wie lange sind schätzungsweise Ersatzteile für ausgewählte Komponenten verfügbar? (\*)

Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	ca. 10 - 15 Jahre
Frequenzumrichter	ca. 15 Jahre
Antriebe	ca. 10 Jahre
SPS-Software	ca. 5 - 10 Jahre
IT-Hardware	< 5 Jahre

(\*) Einschätzung aus Expertengesprächen

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7




## A.4 Ermittlung der zu modernisierenden Komponenten

### 2: Ermittlung zu modernisierender Komponenten

#### Übersicht Fragen


Anhand welcher Fragen können Anlagenbetreiber bewerten, welche Komponente ggf. zu modernisieren sind?

- Welche Komponente ist besonders **wichtig** für den reibungslosen Ablauf des Prozesses?
- Führt eine Störung von einer bestimmten Komponente zu einem Teil- oder Komplettstillstand?
- Für welche Komponenten ist die Instandsetzung / Reparatur komplex und schwierig durchzuführen?
- Welche Komponenten sind besonders teuer in der Beschaffung?
- Können **Ersatzteile** für die wichtigen Komponenten schnell genug beschafft werden?
- Wie schnell kann **spezifisches Know-How**, Support oder Kompetenzen im Störfall von internen Mitarbeitern oder Herstellern abgerufen werden?
- Was ist die voraussichtliche Lebensdauer für die jeweilige Komponente?
- Ist in der bei bestimmten Komponenten eine wachsende Ausfallrate erkennbar?
- Wie viele Ersatzteile sind für wichtige Komponenten auf Lager?
- Was ist der aktuelle Preis für die Ersatzteile und wie hat sich der Preis in den letzten Jahren entwickelt?



◀
🏠
▶

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7



INSTITUT FÜR FÖRDERTECHNIK  
INDUSTRIELLE FÖRKSCHULUNG  
20157 N/1

UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
Technische Universität München

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München
14

### 2: Ermittlung zu modernisierender Komponenten

#### Weiterführende Informationen


Wie unterscheide ich zwischen wichtigen und unwichtigen Komponenten?

Wichtige Komponenten, sind für den reibungslosen und sicheren Betrieb der Anlage unabdingbar. Eine Fehlfunktion hätte gravierende Folgen für die Gesamtanlage und führt z. B. zu langen Stillständen. Gründe dafür sind: Ersatzteile sind schwer zu bekommen, Lieferzeiten sind lang, spezifisches Know-How zur Fehlerbehebung ist rar. Wichtige Komponente können teuer in der Beschaffung sein und bei einer Störung große Teile der Anlage beeinträchtigen.

Im Gegensatz zu Schaltschützen, die schnell und aufwandsarm ersetzt werden können, wäre eine Störung an einer CPU folgenschwer. Daher ist eine CPU ein wichtiges Bauteil. Weniger wichtige Komponenten müssen anschließend nicht zwingend eine Kritikalitätsprüfung unterlaufen. Eine Überprüfung der Ersatzteilbevorratung sowie Marktverfügbarkeit ist jedoch hilfreich.


Eine ausführliche Analyse der Komponenten sollte immer in Zusammenarbeit mit Retrofit-Experten geschehen. Dies bildet die Grundlage für die Festlegung möglicher Zeitpunkte für Modernisierungsarbeiten.

(\*) Möglicherweise ist es sinnvoll, bei einem Retrofit auch Komponenten zu berücksichtigen, die noch nicht dringend modernisiert werden müssten. Zusätzliche Stillstandszeiten, die aufgrund späterer Modernisierungen ebenjener Komponenten auftreten würden, können dadurch vermieden werden.



◀
🏠
▶

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7



INSTITUT FÜR FÖRDERTECHNIK  
INDUSTRIELLE FÖRKSCHULUNG  
20157 N/1

UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
Technische Universität München

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München
15

## 2: Ermittlung zu modernisierender Komponenten



### Weiterführende Informationen



#### Wovon sind Wiederbeschaffungs- und Instandsetzungszeit abhängig?

Die Zeit zur Wiederbeschaffung bzw. zur Instandsetzung sollte kurz sein, um die Stillstandszeit der Regalbediengeräte bei einem Ausfall minimal zu halten.

Je besser die **Ersatzteilverfügbarkeit auf dem Markt**, desto schneller kann ein Ersatzteil im Notfall geliefert werden. Eine mögliche Einflussgröße dabei ist die jeweilige Lebenszyklusphase einer Komponente. Ist das Bauteil erst seit wenigen Jahren auf dem Markt, kann damit gerechnet werden, dass es weiter produziert wird und daher ausreichend Ersatzteile auf dem Markt verfügbar sein werden. Sind bereits Nachfolger-Bauteil erhältlich, ist eine Bauteilabkündigung bald möglich. Dies führt in der Regel zu einer schlechter werdenden Ersatzteilverfügbarkeit der „alten Komponenten“, da die noch verbliebenen Ersatzteile zunehmend aufgekauft werden.

Für manche Instandsetzungstätigkeiten ist spezielles Fachpersonal vom Hersteller oder bestimmten Dienstleistern notwendig. Je älter eine Komponente ist, desto höher das Risiko, dass entsprechenden Kompetenzen und das Know-How des technischen Supports wegfällt. Gerade für die ältere speicherprogrammierbaren Steuerungen stehen immer weniger Experten mit den notwendigen Programmierkenntnissen zur Verfügung.

Im Falle von Reparaturarbeiten oder notwendigen Anpassungen ist jedoch die schnelle **Verfügbarkeit von Technikern** mit entsprechendem **Know-How** unabdinglich. Je älter die Komponente, desto schlechter die Verfügbarkeit von Fachpersonal zur Instandsetzung und desto höher das Risiko für lange Wartezeiten bis zur Instandsetzung.

0

1

2

3

4

5

6

7



## 2: Ermittlung zu modernisierender Komponenten



### Weiterführende Informationen



#### Welche anderen „weichen“ Faktoren beeinflussen, ob eine Komponente modernisiert werden muss?

##### Komponentenzustand

Zusammen mit Retrofit-Experten muss abgeschätzt werden, wie hoch die voraussichtliche restliche Lebensdauer verbauter Komponenten ist. Dazu ist auch die Ausfallhistorie zu berücksichtigen, die einen Hinweis auf möglichen Modernisierungsbedarf einzelner Bauteile geben kann.

##### Ersatzteilbevorratung

Eine allumfassende Bevorratung von Ersatzteile für die gesamte Anlage ist nicht wirtschaftlich sinnvoll, da insbesondere elektronische Komponenten nur beschränkt lange lagerbar sind. Die Kondensatoren, die in Umrichtern verbaut sind, altern nach gewisser Zeit und müssen ggf. neu formiert werden, auch wenn diese nicht benutzt werden.

##### Ersatzteilpreis

Nach der Abkündigung von Bauteilen ist mit sinkenden Marktbeständen zu rechnen, da viele Unternehmen ihre Ersatzteilbestände aufstocken möchten. Der dadurch steigende Preis für Ersatzteile kann dazu führen, dass der Erwerb von Komponenten einer neueren Generation attraktiver wird.

0

1

2

3

4

5

6

7



# A.5 Beachtung von Sicherheitsvorschriften

## 3: Beachtung von Sicherheitsvorschriften

Hinweise zu *wesentliche Veränderungen an Maschinen, Bestandsschutz etc.*

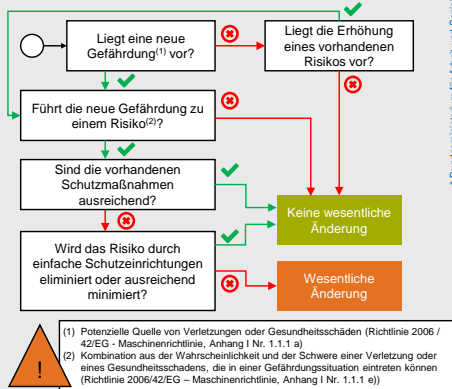


### Gefährdungsbeurteilung und Nachrüsten

Betreiber müssen dafür sorgen, die landesspezifischen Sicherheitsvorschriften zu erfüllen. In Deutschland ist bspw. nach §3 BetrSichV eine regelmäßige, **wiederkehrende Gefährdungsbeurteilung** der Anlage notwendig. Ein **Bestandsschutz existiert nicht**. Möglicherweise müssen Sicherheits- und Gesundheitsschutz auf den Stand der Technik angepasst werden. Hinweise zur Erfüllung der Sicherheitsanforderungen für Regalbediengeräte → siehe DIN EN 528. Hier finden sich detaillierte Angaben zu Anforderungen und Maßnahmen in Bezug auf die Gefährdungen bei Regalbediengeräten.

Im Einzelfall kann jedoch auf das Nachrüsten verzichtet werden, sofern das Risiko für Menschen nachweislich gering ist (siehe §4 Nr. 1 ArbSchG). Falls Nachrüstungen notwendig sind, wird angemessene Zeit dafür gewährt. Ebenso können ergonomische Gründe, z. B. besserer Zugang zu Schaltschränken für Wartungsarbeiten, zu Anpassungen führen. Ausschlaggebend dabei ist, ob es sich um wesentliche Veränderungen im Sinne der Maschinenrichtlinie handelt. Diese hätten weitere Kosten und Maßnahmen wie z. B. eine CE-Zertifizierung zur Folge. Um den Aufwand möglichst gering zu halten, sind Retrofit-Experten zu konsultieren.

### Vorgehen zur Beurteilung von wesentlichen Änderungen nach BMAS\*





0  
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7

IFL  
20157 N1  
INSTITUT FÜR  
FAKULTÄT FÜR  
INGENIEURWISSENSCHAFTEN  
UND INFORMATIK  
LEHRSTUHL FÜR FÖRDERTECHNIK MATERIALFLUSS LOGISTIK

## A.6 Unterschiedliche Arbeitsumfänge bei Retrofits

### 4: Unterschiedliche Arbeitsumfänge bei Retrofits

Informationen zu Zeiträumen für die Durchführung von Retrofits

Worauf muss bei der Wahl geeigneter Zeiträume für Retrofits geachtet werden?

Retrofits werden bevorzugt in **(Betriebs-)Ferien** durchgeführt. Diese beliebten Zeiträume sind jedoch frühzeitig ausgebucht. Aus diesem Grund sollten Betreiber sich frühzeitig die Ressourcen des Anbieters für den Wunschzeitraum sichern.

Zudem ist aufgrund zusätzlicher Anreisen sowie Schicht- und Wochenendzulagen mit **erheblichen Kostenaufschlägen** vonseiten der Anbieter zu rechnen.

Anstatt die Modernisierungen in den ohnehin knappen Zeiträumen einzuplanen (verlängerte Wochenenden, Ferien, Betriebsurlaube, Off-Season...), sollte die Möglichkeit erwogen werden, Retrofits an mehreren, **aufeinander folgenden Tagen** umzusetzen. Dadurch können die Gesamtanzahl an **Anlagenstillständen** verringert sowie die **Mehraufwandskosten** durch zusätzliche Anreisen der Retrofit-Techniker vermieden werden.

Dafür eignen sich Zeiträume, in denen ohnehin eine geringere Anlagenauslastung zu erwarten ist, z. B. aufgrund von saisonalen Schwankungen. Alternativ muss über eine Auslagerung der benötigten Logistikleistung nachgedacht werden.

0

1

2


3

4

5

6

7





fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München

19

### 4: Unterschiedliche Arbeitsumfänge bei Retrofits

Informationen zu Zeiträumen für die Durchführung von Retrofits

Was sind Einflussgrößen auf Arbeitsumfang und die entstehenden Kosten für Retrofits?


Mögliche Kosten (Auszug)

Umfang und Kosten eines Retrofits hängen davon ab, wie viele elektronische Bauteile bzw. anliegende Peripheriegeräte ausgetauscht und welche Maßnahmen durchgeführt werden müssen. Mit **zunehmenden Schnittstellenbrüchen** steigt die Anzahl der Montagearbeiten. Softwareseitig fallen insbesondere die **Lizenzgebühren** und **Programmierarbeiten** ins Gewicht. Je mehr Gewerke betroffen sind, desto aufwendiger ist der Aufwand zur Planung und Koordination der Tätigkeiten.

Eine Möglichkeit zur Reduktion des Arbeitsumfangs bei mehrgässigen RBG ist die Durchführung von **Teil-Retrofits**. Hier wird nur ein Teil der Gassen modernisiert, um einen Stillstand des Gesamtsystems zu vermeiden. Die ausgebauten Komponenten stehen zusätzlich als Ersatzteile für die restlichen RBG zur Verfügung, bis Letztere zu einem späteren Zeitpunkt modernisiert werden. Der Arbeitsaufwand und die Kosten können dadurch aufgeteilt werden.

Bei der Anschaffung neuer SPS-Hardware ist der Kauf einer neueren Software zu empfehlen. Auch wenn neue SPS zwar mit erhöhten Programmieraufwand weiterhin mit alter Software betrieben werden können, ist von dieser Sonderlösung jedoch abzuraten. Denn mittel- bzw. langfristig kann die Wartung und der Support der Software durch den Anbieter nicht ausreichend gewährleistet werden. Mit fortschreitendem Alter der Komponenten sinkt auch das vorhandene Know-How und die spezifischen Kompetenzen bei der internen Instandhaltung sowie bei Hersteller bzw. Lieferanten.

- Reisekosten
- Projektplanung
- Montagearbeiten
- Hardware
- Softwarelizenzen
- Programmierung
- Abnahme
- Inbetriebnahme
- ...



fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München

20

# 4: Unterschiedliche Arbeitsumfänge bei Retrofits



## Beispielhafte Gegenüberstellung zweier Retrofit-Alternativen



### „kleine“ Retrofits

#### Umfang und Tätigkeiten

- i.d.R. nur wenige Komponenten betroffen aufgrund geringer Anzahl an Schnittstellenbrüchen
- i.d.R. geringfügige, schnell durchführbare manuelle Arbeiten: z. B. Ausbau von alter Komponente und 1-zu-1-Austausch mit neuer Komponente (Scanner, HMI, Drehstrahl-Lichtvorhang)
- kleinere Programmierarbeiten/Anpassungen an der SPS-Software oder Frequenzumrichtern.
- Geringer Aufwand bei der Emigration einer alten Software mit alter Programmiersprache auf eine neue SPS → Risiko des Know-How-Verlusts
- Wechsel von S5 auf S7 ist teuer
- Wechsel von alter S7 auf neue S7 ist kostengünstiger

#### Planungsaufwand, Zeithorizont, Kosten

- hohe Kosten für Planung, Montage, Hardware und kleineren Programmierarbeiten
- kurzfristige Planung der Durchführung möglich
- Durchführung innerhalb weniger Tage möglich (< 3 Tage, WE)

### „große“ Retrofits

#### Umfang und Tätigkeiten

- Austausch möglichst vieler elektronischen Bauteile, des Bussystems und anliegender Peripheriegeräte, um lange Stillstandszeit zu nutzen
- Vermehrte Schnittstellenbrüche und Kompatibilitätsprobleme zwischen alten und neuen Komponenten (z. B. alte SPS-SW + neue FU)
- Hoher Aufwand für Anpassungen und Programmierarbeiten an Umrichter, SPS und Materialflussrechner
- Austausch einiger mechanischer Bauteile im Zuge der Retrofit-Tätigkeiten
- Häufig neue Programmierung der Software notwendig, bei neuer SPS

#### Planungsaufwand, Zeithorizont, Kosten

- relativ hohe Kosten (bis zu 50 % der Anfangsinvestition) für Planung, Montage, umfangreiche Programmierungen, Hardware etc.
- sehr aufwendige Planung im Vorfeld aufgrund mehrerer betroffener Gewerke
- Durchführung mit längerer Dauer (> 4 Tage)

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7



# 4: Unterschiedliche Arbeitsumfänge bei Retrofits



## Übersicht zu Komponenten und zugehörigen Retrofit-Maßnahmen



Komponenten	Maßnahmen
Antriebe	Verkabelung, Einstellung Laufräder, ggf. Anpassung SPS-Code
Frequenzumrichter	Programmierung (Referenzpunkte, Geschwindigkeits-profile...), Anpassung SPS-Code
Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	Anpassung Software, Neuprogrammierung, ggf. Anpassung Materialflussrechner
Human-Machine-Interface	Ggf. (Neu-) Programmierung oder Anpassung
Positioniersensorik	Programmierung und Inbetriebnahme
Bussystem	Neu-Verkabelung, Anpassung SPS-Code
Sicherheitssensorik	Programmierung und Inbetriebnahme
Antriebswelle, Laufradsystem	Konstruktive Anpassung der Schnittstelle

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7






## A.7 Kriterien zur Bewertung der Dringlichkeit

### 5: Kriterien zur Bewertung der Dringlichkeit

Einführung zu möglichen Prüfkriterien




Welche Prüfkriterien sollten für eine individuelle Dringlichkeitsbewertung zu Rate gezogen werden?

Die **Robustheit** ist ein Maß dafür, ob trotz zufälliger Ausfälle von einzelnen Komponenten schwerwiegende Stillstandszeiten verhindert werden können. In einem robusten System können die Ausfallursachen schnell detektiert und behoben werden. Dies wird bspw. durch eine hohe Problemlösekompetenz der eigenen Instandhaltung oder eine schnelle Reaktionsfähigkeit durch externe Service-Dienstleister ermöglicht.

Mit der **Leistungsfähigkeit** soll bewertet werden, ob das Intralogistiksystem trotz Ausfällen die geforderten Aufgaben erfüllen bzw. die entstehende Lieferrückstände aufholen kann. Dies ist insbesondere der Fall, wenn die RBG als *redundante Systeme* arbeiten und die *Auslastungsgrenze* im Normalbetrieb noch nicht erreicht ist.

Der Schweregrad durch die **Folgen eines ungeplanten Ausfalls** ist abhängig von qualitativen Faktoren wie der Auswirkung auf die Kundenzufriedenheit bei Lieferverzügen und quantitativen Faktoren wie den Kosten aufgrund von Wartezeiten.

Eine Auflistung der Einschätzungen von Instandhaltung und Logistikeitung zu den einzelnen Kategorien dient als Diskussionsgrundlage mit den Entscheidern. Jeder Anlagenbetreiber hat für sich selbst zu prüfen, welche Folgen ein ungeplanter Ausfall mit sich führt und ob die Konsequenzen die hohen Investitionskosten rechtfertigen.

Der wirtschaftliche Schaden (Pönale, wirtschaftlicher Ausfall durch Kundenverlust, ...) ist der Investitionssumme gegenüberzustellen. Ein „geplanter“ Stillstand z.B. aufgrund von Retrofitarbeiten ist einem ungeplanten Stillstand zu bevorzugen.

0

1

2


3

4

5

6

7





2015/7 N11

fmi – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München

23

### 5: Kriterien zur Bewertung der Dringlichkeit

Fragen zur Einschätzung der Dringlichkeitskriterien

**Robustheit des Systems**

Wenn Komponente X eine Störung hat, könnte dieser Ausfall ausreichend schnell behoben werden?

- Wie lange darf die Gesamtanlage / betroffene Gasse maximal stillstehen?
- Wie hoch ist die interne Kompetenz zur Fehlerbehebung?
- Wie schnell ist die Reaktionszeit zur Behebung eines unvorhergesehenen Ausfalls durch interne/externe Techniker?
- Wie schnell kann das Ersatzteil geliefert und ausgetauscht werden?
- Wie sieht es um der Bevorratung und Lieferbarkeit von Ersatzteilen aus?

**Leistungsfähigkeit**

Ist die Anlage in der Lage, trotz Stillstände oder etwaige Verzögerungen die erforderliche Leistung zu erbringen?

- Was sind die Lieferzeitvorgaben für nachfolgende Prozesse?
- Wie eng ist die Bindung an Taktzeiten?
- Wie hoch ist die Redundanz des Intralogistiksystems?
- Reicht die Leistung der Anlage aus, um eventuelle Lieferrückstände aufzuholen?
- Welche Backup-Strategien können bei einem ungeplanten Ausfall gefahren werden? (manuelle Prozesse, Ver- / Auslagerung der Tätigkeiten...)

**Folgen durch unvorhergesehene Ausfälle**

Was kostet ein Komplett-/Teilstillstand?

- Welche Kosten könnten aufgrund von Zeitverzügen entstehen? (z. B. Wartezeit auf Techniker, Wartezeit nachfolgender Prozesse)
- Welche Kosten entstehen durch Nacharbeiten (z. B. Abbau von Artikelstau)
- Was wären mögliche Auswirkungen auf die Kundenzufriedenheit?
- Wie hoch ist die mittel-/langfristige Abhängigkeit von spezifischen Kunden?
- Welche Ausfall führt zu welchem Unter gesamten Anlage oder nur bestimmte Abschnitte?

0

1

2


3

4

5

6

7



2015/7 N11

fmi – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München

24

## 5: Kriterien zur Bewertung der Dringlichkeit

Übersicht zu möglichen monetären Folgen bei unvorhergesehenen Ausfällen

 <b>Leerlaufkosten</b>	 <b>Strafzahlungen</b>	 <b>Wiederanlauf-Kosten</b>	 <b>Goodwill-Verluste</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Personalkosten während des Stillstands für betroffene Prozesse (Wareneingang, innerbetriebliche Logistik, Produktionslogistik, Versand...)</li> <li>Sonstige laufende Betriebskosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Konventionalstrafen zum finanziellen Ausgleich bei Nichterfüllung der vertraglichen Pflichten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>zusätzliche Prozesskosten durch Maßnahmen zur Kompensation des ausgefallenen Prozesses</li> <li>Kosten durch Nacharbeit und Abbau der angestauten Artikel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einbußen in der Kundenzufriedenheit</li> <li>Wegfall von Bestandskunden</li> <li>Geringere Attraktivität für potenzielle Kunden</li> </ul>

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München 25

## A.8 Vorbereitung auf Retrofits

## 6: Vorbereitung auf Retrofits

Hinweise zur Vorbereitung und Durchführung von Retrofits

Bevor die Retrofit-Arbeiten durchgeführt werden, können einige Vorbereitungsmaßnahmen getroffen werden. Genauere Auskünfte hierzu sind bei den jeweiligen Retrofit-Anbieter zu erfragen.

Während der Retrofit-Arbeiten wird es zur Stilllegung von einzelnen Gassen kommen. Auf die darin gelagerten Artikel kann für diese Zeitspanne nicht mehr zugegriffen werden. Daher müssen Artikel, die während der Retrofit-Arbeiten benötigt werden, vorher umgelagert werden. Möglicherweise ist dazu eine Verdichtung des Lagers oder temporäre Anmietung zusätzlicher Lagerplätze notwendig.

Nach Abschluss der Arbeiten sind interne Mitarbeiter über die technischen Neuerungen und damit verbundenen Prozessänderungen in Kenntnis zu setzen.

**Anpassung an reduzierte Anlagenleistung während Retrofits**

Während der Retrofit-Arbeiten ist eine **reduzierten Gesamtleistung** des Intragistiksystems einzukalkulieren, da es zu Ausfällen in der Anlage oder in Anlagenteilen kommen kann. Somit sind die Logistikprozesse während des Retrofits auf die reduzierte Verfügbarkeit anzupassen. Hierfür sind sogenannte „Workarounds“ zu erarbeiten. Eine Möglichkeit ist die **Auslagerung der Logistikleistung** oder die **Vorkommissionierung von Aufträgen**.

Zusammen mit Retrofitexperten sollten im Vorfeld sogenannten Fallback-Strategien diskutiert und erarbeitet werden, um bei zeitlichen Verzögerungen des Retrofits trotzdem handlungsfähig zu bleiben. Vor Ort ist dafür zu sorgen, dass ausreichend Infrastruktur für die Montage-Arbeiter vorhanden ist.

Außerdem sollte ausreichend Zeit für die Inbetriebnahme und langsame Erhöhung der Anlagenleistung eingeplant werden.

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München 26

## A.9 Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) zur Qualitätssicherung

### 7: Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN)

#### Hinweise zur Qualitätssicherung mittels VIBN



Unter VIBN versteht man den Test eines Automatisierungssystems mithilfe eines Simulationsmodells vor der realen Inbetriebnahme (IBN). Die klassische IBN macht anteilig 15 bis 25% der Gesamtdurchlaufzeit eines Projektes aus. Hiervon sind 90% der Zeit für die IBN von Elektrik und Steuerungstechnik aufzuwenden, wovon 70% durch Softwarefehler bedingt sind\*. Diese Zeiten lassen sich durch VIBN reduzieren, da vor der realen IBN das Zusammenspiel zwischen Hardware und SPS-Software überprüft, angepasst und optimiert werden kann.

Neben dem zeitlichen Nutzen führt die VIBN zu einer höheren Qualität des Programmiercodes, da dieser früher getestet und angepasst werden kann. Die Gefahr für Fehler beim Hochlauf wird reduziert.

Vor der Installation der neuen Komponenten kann z.B. getestet werden, ob die Befehle der neuen realen SPS auch im virtuellen Modell der IST-Anlage die richtigen Funktionen auslösen oder ob das Zusammenspiel zwischen neuer SPS und übergeordnetem Materialflussrechner stimmt.

\*Assmann, S.: Methoden und Hilfsmittel zur abteilungsübergreifenden Projektierung komplexer Maschinen und Anlagen, Dissertation an der RWTH-Aachen, 1996, S. 54 - 60

#### Voraussetzung für die VIBN:

- Kenntnis über das Verhalten der Schnittstellen (SPS, MFR)
- virtuelles Abbild der IST-Anlage mit Informationen zu Layout der Anlage, Lage der Sensoren und Aktoren, Geometrie und Abmaße, Kinematikdaten, Zuordnung der SPS-Ein-/Ausgänge mit Sensorik/Aktorik, etc.

In der Regel sind diese Daten bei Neuanlagen vollständig. Bei Altanlagen, die nach Jahren modernisiert werden müssen, ist dies nicht immer der Fall. Zusammen mit Experten muss daher der Nutzen der VIBN dem Aufwand der manuellen Datenerhebung und -aufbereitung gegenübergestellt werden.

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

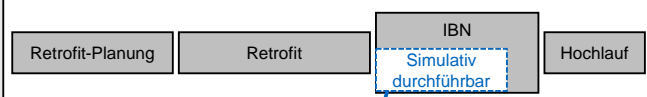


### 7: Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN)

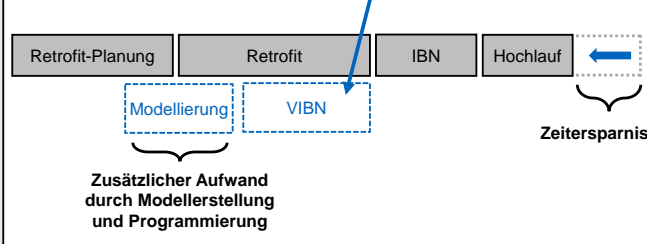
#### Aufwandsreduzierung durch VIBN



#### Klassischer Retrofit ohne VIBN



#### Retrofit mit paralleler VIBN



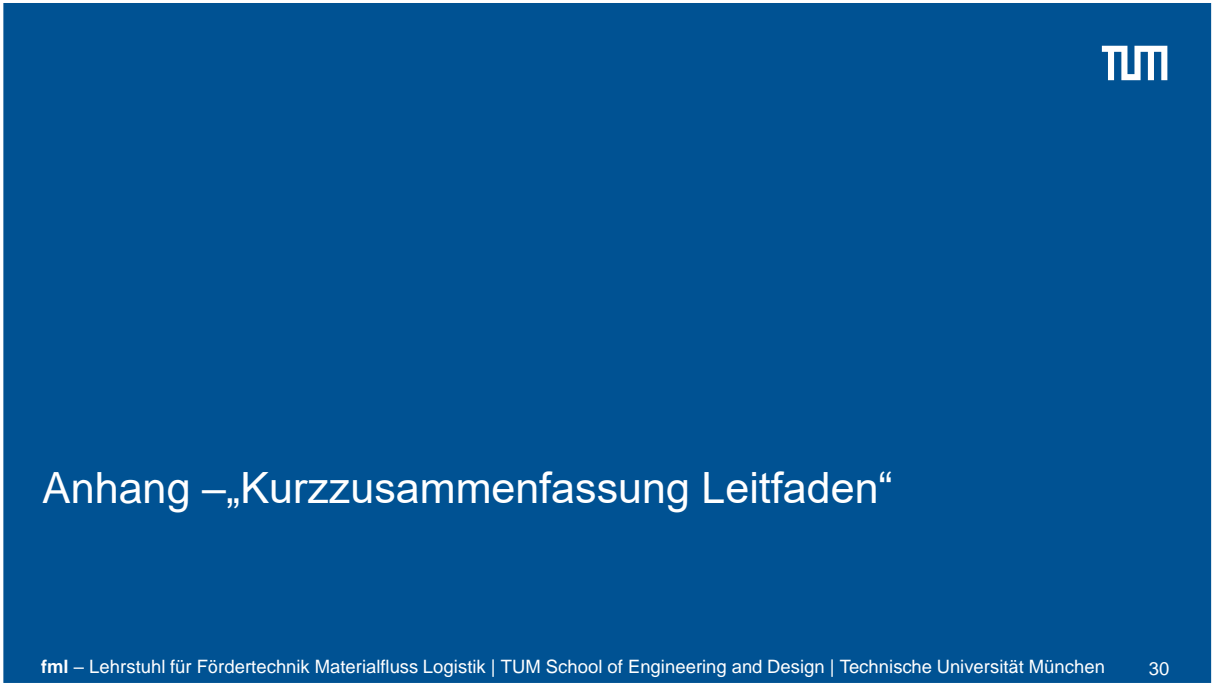
#### Vorteile durch VIBN

- Frühzeitige Aufdeckung von Schwachstellen in Abläufen
- Identifizierung von Optimierungspotenziale (Abläufe, Taktzeiten)
- Vorbeugung späterer Änderungen und Anlagenausfälle
- Verkürzung von Stillstandszeiten bei späteren Retrofits durch stetig aktualisierten „Digitalen Zwilling“
- Testen von Störszenarien
- Möglichkeit zur virtuellen Schulung bereits vor Inbetriebnahme der Anlage

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7



# A.10 Kurzzusammenfassung des Retrofit-Leitfadens



## Kurzzusammenfassung des Retrofit-Leitfadens

**TUM**

### ToDos

<p><b>1</b> Tätigkeiten während der Betriebsphase</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Plane und dokumentiere alle Wartungs- und Instandhaltungstätigkeiten</li> <li>Kontrolliere den Zustand der Komponenten und habe deren Ausfallverhalten im Blick</li> <li>Initiiere vorausschauend die Planung von Retrofit-Maßnahmen</li> <li>Beschaffe dir Information zum Stand der Technik der mechanische Bauteile und der Software</li> <li>Stelle einen Budgetplan für Instandhaltung und zukünftigen Modernisierungsmaßnahmen</li> </ul>	<p><b>2</b> Ermittlung zu modernisierender Komponenten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bewerte wie „wichtig“ Bauteile für den Betrieb sind</li> <li>Prüfe auch die Ersatzteilverfügbarkeit der „nicht wichtigen“ Komponenten</li> <li>Identifizierte kritische Bauteile hinsichtlich der Verfügbarkeit von Ersatzteilen und Support</li> <li>Prüfe weitere Einflussgrößen (z. B. Ersatzteilbevorratung)</li> </ul>	<p><b>3</b> Beachtung von Sicherheitsvorschriften</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Überprüfen, ob alle Arbeitsmittel sicher verwendet werden können (Pflicht der Anlagebetreiber)</li> <li>Führe eine Gefährdungsprüfung durch (intern oder extern durch TÜV etc.)</li> <li>Stelle sicher, dass Sicherheits- und Gesundheitsschutz auf dem aktuellen Stand sind</li> </ul>	<p><b>4</b> Arbeitsumfang und Planung von Maßnahmen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kontaktiere Retrofit-Anbieter und beauftrage eine detaillierten Analyse der Anlage</li> <li>Lasse den Arbeitsumfang und die betroffenen Komponenten (durch den Anbieter) bestimmen</li> <li>Stelle einen Zeitplan für Retrofit mit Anbieter auf</li> <li>Reserviere frühzeitig einen geeigneten Zeitraum für die Umbauarbeiten beim Retrofit-Anbieter</li> </ul>
<p><b>5</b> Kriterien zur Feststellung der Dringlichkeit eines Retrofits</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Prüfe, ob die Instandhaltung in der Lage ist, Störungen schnell beheben zu können (Robustheit)</li> <li>Prüfe, ob die Anlage die erforderte Leistung noch erbringen kann</li> <li>Untersuche die (monetäre) Folgen im Falle unvorhergesehener Stillstände als Grundlage für die Bewertung der Dringlichkeit</li> <li>Bewerte und diskutiere die Dringlichkeit des potenziellen Retrofits mit Entscheidern</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>6</b> Vorbereitung auf Retrofits</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Diskutiere mit Retrofit-Anbietern die Möglichkeit eines Teil-Retrofits</li> <li>Treffe vorausschauende Vorbereitungsmaßnahmen für betroffenen Gassen (z. B. Umlagerungen)</li> <li>Plane ausreichend logistischen Puffer ein für die Zeit der Umbauarbeiten (z. B. zusätzliche Lagerplätze)</li> <li>Berücksichtige eine niedrigere Performance während des Retrofits bei der Planung der Anlagenauslastung</li> <li>Entwickle fallback-Lösungen mit Retrofit-Anbieter für den Fall von Verzögerungen während des Retrofits</li> <li>Stelle ausreichend Zugangsmöglichkeiten und notwendige Infrastruktur für die Techniker bereit</li> <li>Stelle eigenes technisches Personal während des Retrofit-Zeitraums zur Verfügung</li> <li>Führe Schulungen der eigenen Instandhalter während/nach den Retrofits durch (in Absprache mit Anbieter)</li> <li>Kalkuliere eine langsame Anlaufphase und ausreichend Puffer ein (Nicht volle Leistung ab SOP)</li> </ul>		<p><b>7</b> Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) zur Qualitätssicherung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Überprüfe, ob alle Anlagendaten (z. B. Layoutplan mit Maßen, Positionen von Sensorik, Kinematikdaten etc.) vollständig und aktuell sind</li> <li>Diskutiere mit dem Retrofit-Anbieter, wie hoch der Aufwand zur Modellerstellung und Simulation ist</li> <li>Stelle Aufwand dem zeitlichen und monetären Nutzen gegenüberstellen</li> </ul>

1 ... 7 Abschnitte des Leitfadens

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik | TUM School of Engineering and Design | Technische Universität München 31

IFL - Institut für Instandhaltung  
AF - Arbeitswissenschaft  
2015/7 N/1

© 2015/7 N/1  
Forschungsprojekt  
an der TUM

# Kurzzusammenfassung des Retrofit-Leitfadens



## ToDoS

„Hausaufgaben“ für Betreiber	Fragen zur Überprüfung des Retrofit-Bedarf	Vorbereitungsmaßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> <li>o Erstelle eine vollständige Auflistung der enthaltenen Komponenten</li> <li>o Lege Auslöser/Grenzwerte fest, die zu Wartungstätigkeiten führen</li> <li>o Lege Zeitintervalle fest, in denen Wartungstätigkeiten durchgeführt werden</li> <li>o Definiere die Zuständigkeiten für die Wartungstätigkeiten (intern/extern)</li> <li>o Erstelle einen Zeitplan mit Zeitpunkten für Wartungstätigkeiten</li> <li>o Ergänze den Zeitplan mit möglichen Retrofits</li> <li>o Dokumentiere die durchgeführten Wartungstätigkeiten</li> <li>o Erstelle einen Budgetplan anhand des Zeitplans unter Berücksichtigung der zu erwartenden Wartungs- und Retrofitkosten</li> <li>o Sorge für eine rechtzeitige Freigabe des notwendigen Budgets</li> <li>o Aktualisiere Zeit- und Budgetplan jährlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sicherheitsvorschriften und Richtlinien</b> - Sind Anpassungen an der Anlage notwendig, um die aktuellen Vorgaben zu erfüllen?</li> <li>• <b>Aktueller Stand der Technik</b> - Sind die verbauten Komponenten noch vom aktuellen Stand der Technik?</li> <li>• <b>Verfügbarkeit von Ersatzteilen</b> - Sind ausreichend Ersatzteile für mechatronische Komponenten verfügbar?</li> <li>• <b>Verfügbarkeit von Technik-Support</b> - Kann das notwendige technische Know-How für den Service der mechatronischen Komponenten und Steuerungssoftware abgerufen werden? (intern, Dienstleister, Hersteller, Retrofit-Anbieter)</li> <li>• <b>Ausfallrisiko der Intralogistikanlage</b> – Ist ein sicherer Betrieb in Hinblick die Ausfallhistorie, das Alter sowie der Verschleiß bestimmter Komponenten noch ausreichend gewährleistet?</li> <li>• <b>Identifikation zu modernisierender Komponenten</b>- Welche Komponenten sind wichtig und haben eine kritische Support- bzw. Ersatzteilverfügbarkeit?</li> <li>• <b>Dringlichkeit von Modernisierungen</b> – Ist eine schnelle Störungsbehebung möglich? Erfüllt die Anlage die (zukünftig) erforderliche Leistung? Was sind mögliche monetäre Folgen bei unvorhergesehenen Störungen? Wie groß ist das Risiko dafür?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Identifiziere geeignete Zeitfenster für Retrofits, in denen eine verringerte Logistikleistung einplanbar wäre (spezifische Wochentage, Wochenenden, Betriebsferien, Off-Season...)</li> <li>o Plane zeitliche Verzögerungen und niedrigere Anlagenleistungen während der Retrofit-Arbeiten ein</li> <li>o Plane Übergangslösungen im Falle von Verzögerungen ein, um Engpässe zu verhindern</li> <li>o Berücksichtige das Einplanen zusätzlicher Lagerplätze als logistische Puffer</li> <li>o Bereite die betroffenen Gassen vor (Umlagerung)</li> <li>o Ermögliche Zugangsmöglichkeiten für die Gassen</li> <li>o Plane Zeit zur Schulung der eigenen Instandhaltung während/nach der Modernisierung ein</li> <li>o Plane eine langsame Anlaufphase mit reduzierter Leistung und ausreichend zeitlichem Puffer ein</li> </ul>

