

Schlussbericht

der Forschungsstelle(n)

Nr. 1, TU Dortmund - Fakultät Maschinenbau - Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen

zu dem über die



im Rahmen des Programms zur
Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)

vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

geförderten Vorhaben **17285 N**

Service-orientiertes Logistikkonzept für ein multifunktionales Behältersystem

(Bewilligungszeitraum: 01.10.2011 - 31.03.2013)

der AiF-Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V.

Dortmund, 25.07.2013

Ort, Datum

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)
an der/den Forschungsstelle(n)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung	2
2.1 Problemstellung und Forschungsbedarf	2
2.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	7
2.3 Begriffsdefinition und -abgrenzung	9
3 Anforderungsprofil - Lieferketten und Empfindlichkeitsprofil der Abfüllprodukte	14
3.1 Analyse der Lieferkette eines ViscoTainers	14
3.2 Mehrwegsysteme multifunktionaler Behälter	19
3.3 Zusammenfassung logistischer Anforderungen	21
3.4 Zusammenfassung Empfindlichkeitsprofile der Abfüllprodukte	23
4 Entwicklung von Organisationsmodellen zur Behältersteuerung und Verwaltung	27
4.1 Gängige Organisationmodelle für Mehrwegbehälter	27
4.2 Organisationsmodell mit integriertem Ladungsträgermanagement	35
5 Strukturierung der Daten- und Informationsschnittstellen	39
5.1 Kabelgebundene Datenschnittstellen	40
5.2 Kabellose Datenschnittstellen	41
6 Technologieauswahl und Test der Hardwarekomponenten für Identifikation und Sensorik	45
6.1 Identifikation	45
6.2 Sensoren	46
6.3 Indikatoren	49
6.4 Datenlogger	49
6.5 Sensorknoten	71
6.6 Test und Auswahl der Hardwarekomponenten	85
7 Integration von Hardwarekomponenten in den Behälter	88
7.1 Technologieintegration in den Behälter	88
7.1.1 Behälteridentifikation	88
7.1.2 Szenario Echtzeit-Monitoring	89
7.1.3 Szenario Eventhandling	92
7.1.4 Szenario Kombination von Echtzeit-Monitoring mit Eventhandling .	93
7.2 Anbindung an das System der Behältersteuerung	96
8 Aufbau eines Demonstrators in einer repräsentativen Lieferkette	97

8.1	Mehrwegsystem	97
8.2	Aufbau des Demonstrators	97
8.3	Identifikationstechnik	97
8.4	Ladungsträgermanagement	99
8.5	Behältertechnik	104
9	Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen	105
10	Einschätzung der Realisierbarkeit	106
11	Ergebnistransfer in die Wirtschaft	107
12	Veröffentlichungen	108
13	Verwendung der Zuwendung	109
14	Förderhinweis	112
	Literaturverzeichnis	116

1 Zusammenfassung

Die Entwicklung von Wertschöpfungsketten hinzu Netzwerkstrukturen macht den Transport von Gütern, deren Transport bis dahin technisch schwierig, von Seiten der Sicherheit für Mensch sowie Umwelt problematisch und vor allem kostenintensiv war, erforderlich. Um den Transport dieser Güter unter den Maßgaben Sicherheit und Wirtschaftlichkeit zu ermöglichen, werden zunehmend multifunktionale Behälter entwickelt und in den Markt eingeführt. Diese stellen besondere Anforderungen, die einerseits aus ihrem in der Regel hohen Eigenwert sowie aus den Eigenschaften der darin transportierten Güter resultieren.

Die Implementierung von Mehrwegsystemen für multifunktionale Behälter auf Basis der heute verbreiteten Strukturen von Mehrwegsystemen wie beispielsweise dieser für Kunststoffpaletten, Obst- und Gemüsesteigen oder KLT-Behälter scheitert oftmals, da diese den speziellen Anforderungen multifunktionaler Behälter in technischer und organisatorischer Hinsicht nicht gerecht werden können.

Aufgrund des hohen Eigenwerts der Behälter sollte angestrebt werden, die Umlaufgeschwindigkeit bzw. die Nutzungshäufigkeit jedes einzelnen Behälters zu steigern, da diese im direkten Zusammenhang zu der Anzahl an erforderlichen Behältern innerhalb eines Mehrwegsystems steht. Wird die Nutzungshäufigkeit durch organisatorische Maßnahmen gesteigert, gelingt es gleichzeitig die Investition in den Behälterbestand zu reduzieren.

Ebenfalls aufgrund des hohen Eigenwerts der Behälter ist in der Regel eine Verfolgung der Behälter entlang der Supply und Reverse Chain sinnvoll. Dies ermöglicht es je nach technischer Realisierung, Behälter in Echtzeit zu orten oder zumindest ihren letzten Identifikationsort zu bestimmen. Der sogenannte Behälterschwund, der gerade bei Mehrwegsystemen mit hohem Behälter eigenwert erhebliche Kosten verursacht, lässt sich dadurch deutlich reduzieren.

Aus den Eigenschaften der transportierten Güter lassen sich weitere Anforderungen ableiten. Insbesondere bei Gefahrstoffen, die ein erhebliches Schadenspotenzial für Mensch und Umwelt darstellen können, bietet es sich an, technische Dienste in das Mehrwegsystem zu integrieren. Bei diesen Diensten kann es sich beispielsweise um eine Temperaturüberwachung handeln, die proaktiv den Spediteur oder Frachtführer im Falle einer Temperaturunter- oder -überschreitung per SMS benachrichtigt.

Die genannten Punkte konnten durch die Entwicklung eines „integrierten Ladungsträgermanagements“ auf Einzelbehälterbasis sowie durch die Integration von Sensorknotensystemen in die Behälter gelöst werden. Dabei wurde großer Wert auf einen serviceorientierten Ansatz gelegt, der es durch seinen modularen Charakter erlaubt, ein auf individuelle Anforderungen ausgerichtetes Logistikkonzept zu entwickeln.

Das Ziel des Vorhabens wurde damit erreicht.

2 Einleitung

Die Wertschöpfungsketten haben sich über die letzten Jahrzehnte nachhaltig verändert. Die Konzentration der Unternehmen auf ihre Kernkompetenzen hat dazu geführt, dass sowohl Fertigungsbreite als auch Fertigungstiefe deutlich reduziert worden sind. Als direkte Folge hieraus steigt der Vernetzungsgrad zwischen den Unternehmen und damit auch die Lieferbeziehungen untereinander. Der Anstieg des zwischenbetrieblichen Güterflusses betrifft dabei nicht nur die Anzahl und Länge der Transporte, sondern auch die Art und Menge der transportierten Güter [Bir99, S.1].

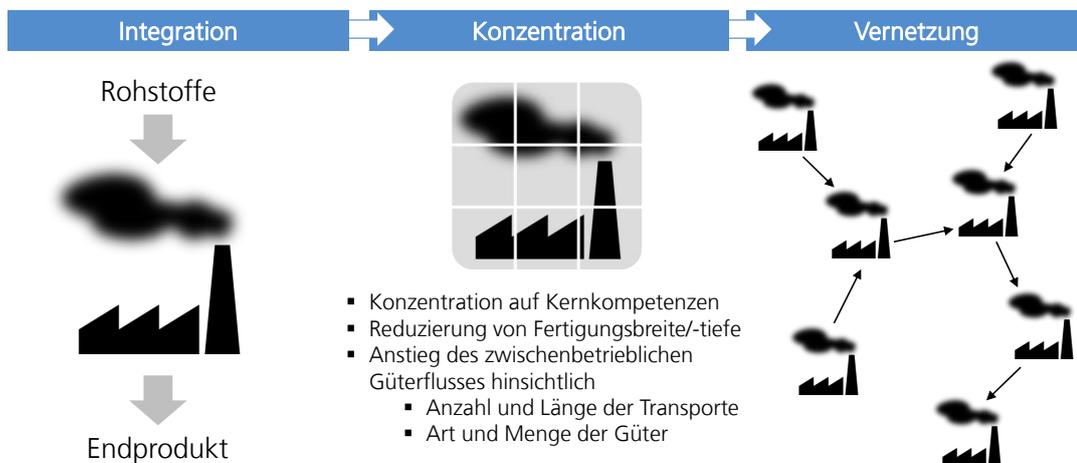


Abb. 2.1: Entwicklung von Wertschöpfungsketten

Diese Entwicklung macht den Transport von Gütern, deren Transport bis dahin technisch schwierig, von Seiten der Sicherheit für Mensch sowie Umwelt problematisch und vor allem kostenintensiv war, erforderlich. Zu diesen Gütern zählen unter anderem sensible, gefährliche aber auch hochwertige Güter. Um den Transport dieser Güter unter den Maßgaben Sicherheit und Wirtschaftlichkeit zu ermöglichen, werden zunehmend multifunktionale Behälter entwickelt und in den Markt eingeführt.

2.1 Problemstellung und Forschungsbedarf

Die Implementierung von Mehrwegsystemen für multifunktionale Behälter auf Basis der heute verbreiteten Strukturen von Mehrwegsystemen wie beispielsweise dieser für Kunststoffpaletten, Obst- und Gemüsesteigen oder KLT-Behälter scheitert oftmals, da diese den speziellen Anforderungen multifunktionaler Behälter in technischer und organisatorischer Hinsicht nicht gerecht werden können. Die Anforderungen an multifunktionale Behälter resultieren unter anderem aus ihrem in der Regel hohen Eigenwert sowie aus den Eigenschaften der darin transportierten Güter.

Aufgrund des hohen Eigenwerts der Behälter sollte angestrebt werden, die Umlaufgeschwindigkeit bzw. die Nutzungshäufigkeit jedes einzelnen Behälters zu steigern, da diese im direkten Zusammenhang zu der Anzahl an erforderlichen Behältern innerhalb eines

Mehrwegsystems steht. Wird die Nutzungshäufigkeit durch organisatorische Maßnahmen gesteigert, gelingt es gleichzeitig die Investition in den Behälterbestand zu reduzieren. Zu diesen Maßnahmen gehören zum Beispiel monetäre Anreizsysteme, die verhindern, dass Behälter unnötig lange und für eine unbestimmte Dauer nach der Entleerung im Betrieb verbleiben, anstatt sie umgehend in den Mehrwegkreislauf zurück zu führen. Ebenfalls aufgrund des hohen Eigenwerts der Behälter ist in der Regel eine Verfolgung der Behälter entlang der Supply und Reverse Chain sinnvoll. Dies ermöglicht es je nach technischer Realisierung, Behälter in Echtzeit zu orten oder zumindest ihren letzten Identifikationsort zu bestimmen. Der sogenannte Behälterschwund, der gerade bei Mehrwegsystemen mit hohem Behältereigenwert erhebliche Kosten verursacht, lässt sich dadurch deutlich reduzieren.

Aus den Eigenschaften der transportierten Güter lassen sich weitere Anforderungen ableiten. Insbesondere bei Gefahrstoffen, die ein erhebliches Schadenspotenzial für Mensch und Umwelt darstellen können, bietet es sich an, technische Dienste in das Mehrwegsystem zu integrieren. Bei diesen Diensten kann es sich beispielsweise um eine Temperaturüberwachung handeln, die proaktiv den Spediteur oder Frachtführer im Falle einer Temperaturunter- oder -überschreitung per SMS benachrichtigt.

Die genannten Beispiele verdeutlichen, dass die Konzeptionierung von Mehrwegsystemen für multifunktionale Behälter eines auf die speziellen Anforderungen dieser Behälter abgestimmten Planungsinstruments bedarf. In der Literatur sind nur wenige verschiedene Ansätze für die Konzeptionierung von Behältersystemen zu finden. Diese werden im Folgenden dargestellt und ihre Eignung für die gegebene Problemstellung abschließend bewertet.

VDI 4460

Die VDI Richtlinie 4460 „Mehrwegtransportverpackungen und Mehrwegsysteme zum rationellen Lastentransport“ ist in zwei Teile gegliedert. Im ersten Teil wird ein sechsstufiges Ablaufschema zur systematischen Auswahl einer Mehrwegtransportverpackung vorgestellt. Der zweite Teil beschäftigt sich mit der Aufbau- und Ablauforganisation von Mehrwegsystemen, die in Abbildung 2.2 dargestellt sind.

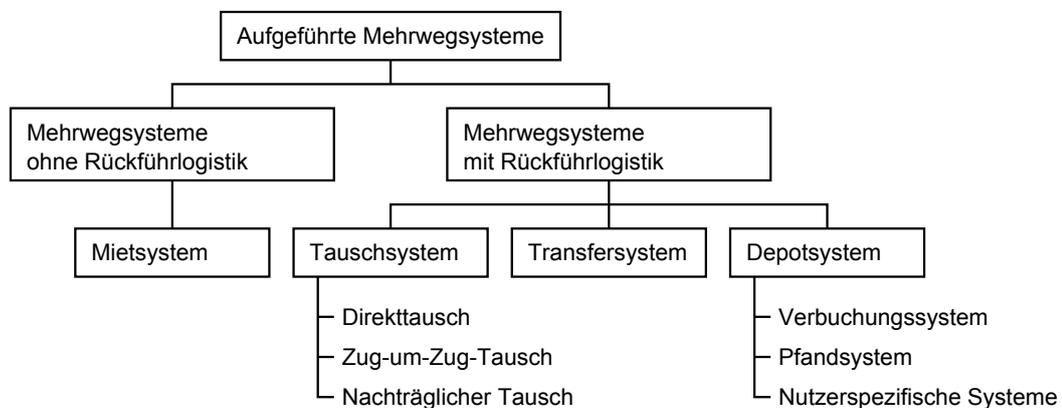


Abb. 2.2: Einteilung Mehrwegsysteme nach [VDI4460]

Die aufgeführten Mehrwegsysteme werden textlich erläutert und der Ablauf sowie die Organisation in Form einer Grafik abgebildet. Die Grafiken stellen Teilnehmer, den physischen Materialfluss unterschieden in Voll- und Leergutsstrom in Form von Pfeilen, den Informationsfluss und die Art und Richtung der zu entrichtenden Systemgebühren dar.

Die VDI-Richtlinie stellt grundlegende Organisationsformen von Mehrwegsystemen übersichtlich dar. Darüber hinaus werden Vor- und Nachteile der jeweiligen Organisationsform grob skizziert. Eine Eignung dieser Formen für bestimmte Liefernetzwerke, die spezielle Anforderungen stellen, lässt sich daraus jedoch nur bedingt ableiten. Weiterhin mangelt es dem Konzept an der Darstellung einer technischen Umsetzung der beschriebenen Prozesse.

St. Galler Behälter-Management Modell

Hofmann und Bachmann beziehen sich auf die Zieldimensionen des Supply Chain Management (SCM) und stellen ein Behälter-Management Modell vor, das insgesamt auf fünf Säulen basiert [HB06b]:

- Operative Behälterbewirtschaftung
- Behälter-Management-Organisation
- Behälter-(Management)-Finanzierung
- IT-Unterstützung
- Behälterentwicklung

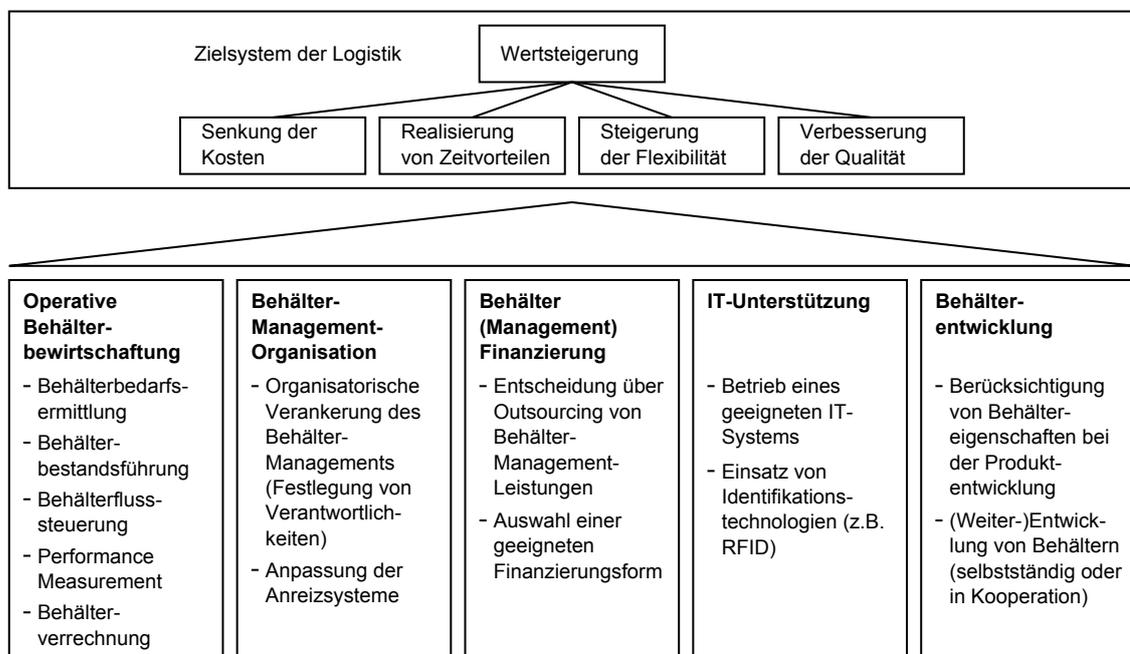


Abb. 2.3: Das St.Galler Behälter-Management Modell [HB06b]

Dabei ist zu beachten, dass die hier genutzte Bezeichnung Behälter nahezu identisch mit dem Begriff Ladungsträger gebraucht wird. In Anlehnung an gängige SCM-Definitionen propagiert das Modell die Steigerung des Endkundennutzens infolge einer Maximierung in den Kategorien Zeit, Kosten, Qualität und Flexibilität als ultimatives

Zielsystem der Logistik [HB06a]. Die Bestandteile der einzelnen Säulen stellen die Handlungsfelder dar, für die Lösungen gesucht werden müssen, um eine optimale Zielerreichung zu gewährleisten. Die Bandbreite reicht dabei von operativen Prozessen wie der täglichen Synchronisation zwischen Ladungsträgerbeständen und -bedarfen bis hin zu strategischen Fragestellungen wie der Verankerung des Behältermanagements in der Aufbauorganisation des Unternehmens oder der Incentivierung aller Prozessbeteiligten zu einer Optimierung der Ladungsträger-Kreisläufe.

Das St. Gallen Behälter-Management Modell fokussiert seinem Namen entsprechend eher die strategischen Aspekte der Konzeptionierung von Behältersystemen. Entsprechend lässt es konkrete Handlungsempfehlungen hinsichtlich einer Implementierung in operativen Fragestellungen teilweise vermissen. Der Schwerpunkt liegt auf einer quantitativen Analyse in Form einer Benchmarkingstudie. Die einzelnen Säulen des Konzepts sind nicht hierarchisch, sondern gleichwertig angeordnet und allesamt dem Gemeinziel einer Steigerung des Endkundennutzens unterstellt. Während diese Gleichstellung grundsätzlich nicht als negativ einzustufen ist, wäre eine Trennung von eher operativen und strategischen Komponenten eines Ladungsträger-Managements wünschenswert, da sich die Elemente in diesem Aspekt hinsichtlich ihrer Adaptierbarkeit zum Teil deutlich unterscheiden.

VDA Leitfaden Behältermanagement

Die VDA-Leitfaden 5007 der Arbeitsgruppe Behälterstandardisierung soll zum einen die Grundlage für die Standardisierung bestehender und zukünftiger Behältermanagementsysteme bilden und zum anderen soll er als Orientierungshilfe beim Aufbau und der Weiterentwicklung eines Behältermanagements dienen [VDA5007]. Es wird explizit darauf hingewiesen, dass das übergeordnete Ziel des Leitfadens darin besteht, einheitliche Schnittstellen zum Informationsaustausch zwischen den verschiedenen Behältermanagementsystemen der im Prozess eingebundenen Partner zu definieren.

Der Leitfaden identifiziert insgesamt sieben Komponenten für die Konzeption eines Behältermanagementsystems:

1. Packmittelbewegungen
2. Packmittelversorgung und Bedarfsvorschau
3. Packmittelidentifikation und Verpackungsdaten
4. Reklamation
5. Inventur
6. Nutzungsentgelt
7. Umlaufbestand

Der Leitfaden beschränkt sich im Wesentlichen auf den Informationsaustausch zwischen den einzelnen Akteuren. Im Fokus stehen dabei eine Erhöhung der Transparenz über Kosten, Bestände und Verfügbarkeiten, die Sicherstellung einer effizienten Versorgungssicherheit sowie eine Kostenreduktion bei gleichzeitiger Berücksichtigung ökologischer Belange. Der Leitfaden eignet sich insbesondere dazu, den Funktionsumfang eines Informationssystems für Behältersysteme zu definieren. Damit werden überwiegend Anforderungen an ein derartiges Informationssystem genannt, ohne Vorschläge für adäquate Umsetzung zu machen. Dieses Phänomen wird am Beispiel der Kalkulation des Umlaufbestands sehr

deutlich: Während einerseits eine sehr detaillierte Aufzählung der wichtigsten Parameter erfolgt, wird auf der anderen Seite für die Berechnung nur eine Faustformel angegeben, die einen Großteil eben jener Einflussfaktoren außer Acht lässt.

Behältermanagement-Systematik nach Leclerc

Leclerc unterscheidet in seiner Definition vier Teilbereiche, die ein Behältermanagement-System umfasst:

- Behälterentwicklung
- Behälterbewirtschaftung
- Bestandsführung
- Behälterfinanzierung

Die Konzeption thematisiert dadurch den „...gezielten Einsatz und die Verwaltung aller Mehrwegbehälterbestände und leistet einen wesentlichen Beitrag für eine wirtschaftliche und wirkungsvolle Logistik“[Lec02]. Im Rahmen der Behälterentwicklung ist insbesondere ein gesunder Kompromiss zwischen der Sicherung des Produkts einerseits und einer hohen Effizienz der resultierenden Verpackungslösung andererseits zu finden. Behälterbewirtschaftung fokussiert primär die operativen Aspekte des Kreislaufmanagements wie z. B. die Leergutkonsolidierung, Reinigungs- und Reparaturprozesse sowie die Bereitstellung für Lieferanten. Eine zusätzliche Herausforderung stellt dabei die Tatsache dar, dass die Ladungsträger-Kreisläufe sowohl in Richtung der Bauteillieferung für die OEM (Original Equipment Manufacturer), als auch entgegengesetzt als Teil der Leergutversorgung der Lieferanten zu steuern sind. Grundsätzlich ist dabei die Frage zu klären, ob das Behältermanagement insgesamt oder in Teilen selbst gesteuert wird, oder aber Dienstleistungen spezialisierter Anbieter in Anspruch genommen werden. Die umfassende Dokumentation aller relevanten Bestands- und Bewegungsdaten im Rahmen der Bestandsführung ist das dritte Element der Konzeption. Die Erfassung der Zu- und Abgänge an den jeweiligen Prozessstufen kann beispielsweise mit Hilfe eines internetbasierten Verwaltungssystems erfolgen, wodurch Schnittstellenverluste infolge der Interaktion mit den Lieferanten vermieden werden können. In einer zweiten Stufe können darüber hinaus mit Hilfe moderner Verfolgungstechniken wie z. B. RFID die Verfolgungsdaten einzelner Ladungsträger erfasst werden, was eine deutliche Erhöhung der Prozesstransparenz zur Folge hat. Unter Behälterfinanzierung versteht Leclerc die bilanztechnische Handhabung der durch das Behältermanagement gebundenen Ressourcen. Auch unter diesem Gesichtspunkt bietet sich zumindest das partielle Outsourcing bestimmter Dienstleistungen an, da spezialisierte Anbieter die infolge von Skaleneffekten erzielten Einsparungen an den Kunden weitergeben können und somit ein zusätzlicher Beitrag zur Verbesserung des Kapitaleinsatzes geleistet wird.

Der Ansatz von Leclerc zeichnet sich durch eine gute Kombination von operativen und strategischen Aspekten aus. Eine Stärke des Konzepts ist, dass die Bedeutung der IT nicht als einzelner Bestandteil der Systematik aufgeführt wird, sondern stattdessen in nahezu allen Prozessen als elementare Hilfskomponente Berücksichtigung findet. Die operativen Aspekte des Behältermanagements werden sehr ausführlich erläutert, jedoch fällt auch hier eine ungleichmäßige Gewichtung einzelner Themenfelder der gleichen Ebene auf: So

stehen die kurzen Erläuterungen zu einem der wichtigsten Themen, der effizienten Bereitstellung von Ladungsträgern zur Gewährleistung reibungsloser Materialflüsse, in keinem Verhältnis zur langwierigen Ausführung des Reinigungsprozesses von Behältern. Des Weiteren sind die Anmerkungen zum Thema Behälterfinanzierung zumindest als unvollständig anzusehen, da wichtige Aspekte wie die Erzeugung von Kostentransparenz und eine verursachergerechte Kostenverteilung praktisch keine Erwähnung finden. Da im Themengebiet Ladungsträger-Organisation bis auf die Empfehlung eines Outsourcing der behälterbezogenen Aktivitäten ebenfalls nur wenige Aspekte angesprochen werden, ist die Systematik als Ganzes als ausbaufähig zu bezeichnen.

Einen ganzheitlichen Ansatz zur Konzeptionierung von Mehrwegsystemen, der organisatorische, technische wie auch Aspekte des Managements berücksichtigt, leisten die erläuterten Konzepte letztendlich nur im begrenzten Umfang. Hinzu kommt, dass spezielle Anforderungen multifunktionaler Behälter unberücksichtigt bleiben.

2.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Die Entwicklung und der Einsatz von Verpackungs- und Behältersystemen unterliegen oftmals zwei gegensätzlichen Zielsetzungen. Im Sinne einer breiten Anwendung über verschiedene Branchen und Stufen der Wertschöpfungskette hinweg ist eine weitestgehende Vereinheitlichung und Standardisierung gefordert. Dies gewährleistet die direkte Tauschbarkeit der Mehrwegsysteme zwischen den unmittelbar Beteiligten im Warenhandel ebenso wie die Einbeziehung von Pooledienstleistern oder den Spediteuren und damit eine Ausweitung der Anwendung auf eine sehr breite Basis.

Auf der anderen Seite stehen spezifische und individuelle Anforderungen an die Funktionalität des Verpackungssystems, die sich aus der Besonderheit des Transportgutes oder den Rahmenbedingungen bei der Abfüllung, Lagerung, Transport oder Entnahme ergeben und einen speziell auf einen bestimmten Anwendungsfall oder ein bestimmtes Produkt maßgeschneiderten Behälter oder Verpackung erfordern. Um diesen sich entgegenstehenden Zielstellungen Standardisierung versus Spezialisierung gerecht zu werden, bietet es sich an, die grundlegenden Funktionen des Verpackungssystems zu separieren und als eigenständige Module frei zu kombinieren. Für derartige multifunktionale, wandelbare Behältersysteme sind die bisherigen Aufbau- und Ablauforganisationsmodelle von Mehrwegsystemen nicht konzipiert. Ziel dieses Vorhabens ist es daher, ein service-orientiertes Logistikkonzept für multifunktionale Behältersysteme durch die Integration und Zusammenführung methodischer (Konzept), informationstechnischer (AutoID und Sensorik) und anlagentechnischer (Hardware) Komponenten zu entwickeln. Hierbei sind die einzelnen Module so zu gestalten, dass sie zueinander kompatibel und bedarfsgerecht im Idealfall für beliebige Anwendungsfälle kombinierbar sind.

Das zu entwickelnde service-orientierte Logistikkonzept wird für ausgewählte Anwendungsfälle z.B. für den Einsatz von flüssigen Additiven und hochspezialisierten Zusatzstoffen in der pharmazeutischen, kunststoffverarbeitenden und lebensmittelverarbeitenden Industrie erarbeitet. Hierbei werden verschiedenartige Behältersysteme mit unterschiedli-

chen Anforderungen an die logistischen Prozesse wie auch die Abfüllung und Entnahme in der Wertschöpfungskette von der Herstellung bis zur Verarbeitung betrachtet. Gemäß dem Projektziel lassen sich die einzelnen aufeinander aufbauenden wissenschaftlich-technischen Ergebnisse wie folgt differenzieren:

Entwicklung eines Organisationsmodells für das Management von multifunktionalen Mehrwegbehältern

Auf der Basis der aus dem Mehrwegmanagement bekannten Elemente einer Aufbau- und Ablauforganisation werden spezifische Modelle für das Management von multifunktionalen Mehrwegbehältern entwickelt. Dies berücksichtigt z.B. die Sensibilität von Eigentumsverhältnissen aufgrund des i.d.R. relativ hohen Anschaffungspreises des Mehrwegbehälters. Die in manchen Anwendungen oder für manche Produkte sehr langsamen Umschlaggeschwindigkeiten beeinflussen naturgemäß die Wahl des geeigneten Tauschverfahrens. Ebenso können die geplanten informatorischen Zusatzfunktionen am Behälter zur Bestandsführung- und Kostenverrechnung genutzt werden und erfordern demzufolge angepasste Strukturen in der datentechnischen Verwaltung der Behälter.

Technologieauswahl und Adaption der informatorischen und sensorischen Elemente

Der Einsatz von beispielsweise RFID-Technologie zur Identifizierung und zum Tracking von Behältern findet derzeit in der Logistik in vielen Anwendungen statt. In der erweiterten Form werden RFID-Transponder mit Sensoren z.B. zur Temperatur- und/oder Beschleunigungsmessung ausgestattet und ermöglichen damit u.a. das Monitoring der Lieferkette am logistischen Objekt. Ein weiterer Schritt ist die Kopplung dieser informatorischen und sensorischen Elemente mit den verschiedenen denkbaren Zusatzfunktionalitäten eines Behälters wie z.B. Pumpen und Dosieren. Dies ermöglicht erweiterte Sicherheitsanwendungen, wie beispielsweise die Sperrung der Entnahme des Produktes aus einem Behälter, wenn z.B. die Produkt- bzw. BehälterID nicht verifiziert wurde oder die Produkteigenschaften nicht im definierten Messwertbereich liegen. Es werden die grundlegenden technischen Voraussetzungen und die Gestaltungsmöglichkeiten für die Adaption der informatorischen und sensorischen Elemente mit den behälterinternen Steuerungselemente erarbeitet und sinnvolle Lösungsansätze beschrieben.

Auswahl und Zuordnung der organisatorischen Elemente und Managementmodelle mit den informatorischen und hardwaretechnischen Komponenten

Die Bedingungen und Abhängigkeiten zwischen den Erfordernissen der Organisationsmodelle z.B. an die Informationsverarbeitung und den technischen Eigenschaften der Behältersysteme z.B. für die Informationsbereitstellung sind komplex und mehrdimensional. Auf der Basis der Kernelemente der Aufbau- und Ablauforganisation werden die grundlegenden Anforderungen für die unterschiedlichen Bereiche wie Identifikation, Lokalisierung, Umweltmonitoring, Sicherheit etc. abgebildet. Hierbei werden die Wechselwirkungen, gegenseitigen Bedingungen und Ausschlüsse zwischen den Unterpunkten erarbeitet und dargestellt. Auf der anderen Seite stehen die unterschiedlichen technischen Kompo-

nenten mit ihren jeweiligen spezifischen Eigenschaften. Die Zusammenführung bzw. der Abgleich zwischen den technischen Anforderungen der logistischen Organisationsmodelle und den technischen Eigenschaften bzw. Leistungen der Hardwarekomponenten ermöglicht die Erstellung eines Auswahltools zur anwendungsspezifischen Konfiguration eines Behältersystems. Eine besondere Herausforderung stellt hierbei die angemessene Berücksichtigung der Komplexität der Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Bereichen dar.

Entwicklung eines Demonstrators

In Abstimmung mit dem projektbegleitenden Ausschuss wird ein praktischer Anwendungsfall für die Entwicklung eines Demonstrators angestrebt. Mit den Firmen Viscotec und Rowasol kann eine reale vollständige Lieferkette von der Bereitstellung des multifunktionalen Behälters über den Hersteller von speziellen Zusatzstoffen bis zum Verarbeiter dieser Stoffe dargestellt werden. Unter Berücksichtigung der spezifischen Erfordernisse des ausgewählten Anwendungsfalles werden mehrere Szenarien des Behältereinsatzes und der Organisation der Behälterverwaltung durchgespielt.

2.3 Begriffsdefinition und -abgrenzung

Bezugnehmend zum Titel des Forschungsprojekts „Service-orientiertes Logistikkonzept für ein multifunktionales Behältersystem“ sollen die Begriffe

- multifunktionales Behältersystem und
- Service-orientiertes Logistikkonzept

definiert und abgegrenzt werden.

Multifunktionales Behältersystem

Der Begriff Behälter leitet sich aus dem Begriff der Verpackung ab. Die DIN 55405 definiert Verpackungen als aus beliebigen Materialien hergestellte Produkte, die der Aufnahme, dem Schutz, der Handhabung, der Lieferung und Darbietung von Waren dienen [DIN55405]. Auch wenn die Verpackung als Gesamtheit aller Verpackungsmaterialien, insbesondere von Packmitteln und Packhilfsmitteln, definiert ist [DIN55405], verwendet man im allgemeinen Sprachgebrauch die Begriffe Packmittel und Verpackung oft synonym [DIN55405]. Bei Verpackungen werden weiterhin Verkaufsverpackungen, Umverpackungen und Transportverpackungen unterschieden. Diese untergliedern sich wiederum in Einweg- und Mehrwegverpackungen.

Im Rahmen diese Forschungsprojekts werden unter Behälter Ladungsträger in Form von Mehrweg-Transportverpackungen (MTV) verstanden, die im inner- und außerbetrieblichen Materialfluss eingesetzt werden. Transportverpackungen stellen Verpackungen dar, die den Transport von Waren erleichtern, die Waren auf dem Transport vor Schäden schützen oder die aus Gründen der Sicherheit des Transports eingesetzt werden [DIN55405]. Bei Mehrwegverpackungen handelt es sich um Verpackungen, „... die dazu bestimmt sind, nach Gebrauch mehrfach zum gleichen Zweck wiederverwendet zu werden“ [DIN55405]. ähn-

lich definiert auch Vahrenkamp die Mehrwegverpackung als Packmittel, das im Leih- und Rückgabeverfahren genutzt wird [Vah07]. Die VDI 4460 unterscheidet drei Typen von Mehrwegladungsträgern [VDI4460]:

- Mehrwegladungsträger mit tragender Funktion (z.B. Flachpaletten)
- Mehrwegladungsträger mit tragender und umschließender Funktion (z.B. Boxpaletten, Paletten mit Aufsetzrahmen, Rungenpaletten)
- Mehrwegladungsträger mit tragender, umschließender und abschließender Funktion (z.B. Tankpaletten, IBC)



Abb. 2.4: Typen von Mehrwegladungsträgern nach [VDI4460]

Im Kontext dieses Forschungsprojekts wird unter einem Behälter ein Mehrwegladungsträger mit tragender, umschließender und abschließender Funktion verstanden, wobei die im Rahmen dieses Projekts erzielten Ergebnisse grundsätzlich analog auf Mehrwegladungsträger mit alleinig tragender und umschließender Funktion übertragen werden können. Aus diesem Grund werden im Folgenden die Begriffe Behälter und Ladungsträger synonym verwendet. Ebenfalls synonym dazu werden die Begriffe Mehrweg- bzw. Mehrwegtransportverpackung (MTV) genutzt.

Der Begriff Behältersystem orientiert sich an der Definition von Mehrwegsystemen. Laut DIN 55405 handelt es sich dabei um die Verknüpfung von organisatorischen, technischen wie auch finanziellen Maßnahmen, die eine Wiederverwendung von Mehrwegverpackungen ermöglichen [DIN55405].

Im Folgenden soll der Begriff der Multifunktionalität eines Behälters definiert werden. Jünemann stellt fünf Funktionen einer Verpackung vor, aus der er ein allgemeines Anforderungsprofil an Verpackungen ableitet [JS00].

Die VDI 4460 stellt eine sehr ähnliche Funktionsübersicht dar, bezieht sich jedoch explizit auf Mehrwegtransportverpackungen. Gegenüber Jünemann wird die Übersicht um die Produktionsfunktion ergänzt [VDI4460].

Eine Verpackung erfüllt von Grund auf mindestens eine dieser Funktionen, so dass sie als multifunktional zu bezeichnen ist. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Begriff Multifunktionalität jedoch nicht aus den Grundfunktionen einer Verpackung abgeleitet. Vielmehr geht es dabei um Funktionen, die darüber hinaus gehen (vgl. Abbildung 2.6).

Verpackungsfunktionen		Anforderungen an die Verpackung
Schutzfunktion		temperaturbeständig dicht korrosionsbeständig staubfrei chemisch neutral mengenerhaltend schwer entflammbar Diebstahlschutz
		formstabil stoßfest stoßdämpfend druckfest reißfest
	Lager- und Transportfunktion	stapelbar rutschfest genormt handhabbar automatisierungsfreundlich einheitenbildend
		raumsparend flächensparend
Verkaufsfunktion		ökonomisch
	Identifikations- und Informationsfunktion	werbend informativ identifizierbar unterscheidbar
		leicht zu öffnen wiederverschließbar
	Verwendungsfunktion	wiederverwendbar ökologisch entsorgungsfreundlich hygienisch

Abb. 2.5: „Anforderungen an die Verpackung und die jeweiligen Verpackungsfunktionen“ [JS00]

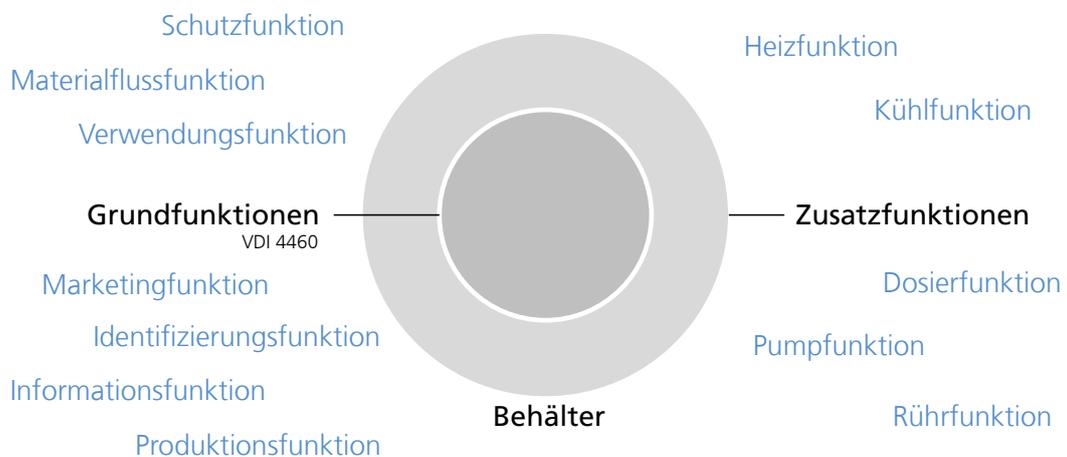


Abb. 2.6: Erweiterte Funktionalität eines Behälters

Am Beispiel des ViscoTainers (Abbildung 2.7) der Firma ViscoTec, die technische Lösungen im Umfeld der Pumpen- und Dosiertechnik entwickelt, soll ein multifunktionaler Behälter vorgestellt werden.

Bei dem ViscoTainer handelt es sich um einen multifunktionalen Behälter zur Dosierung viskoser Medien.

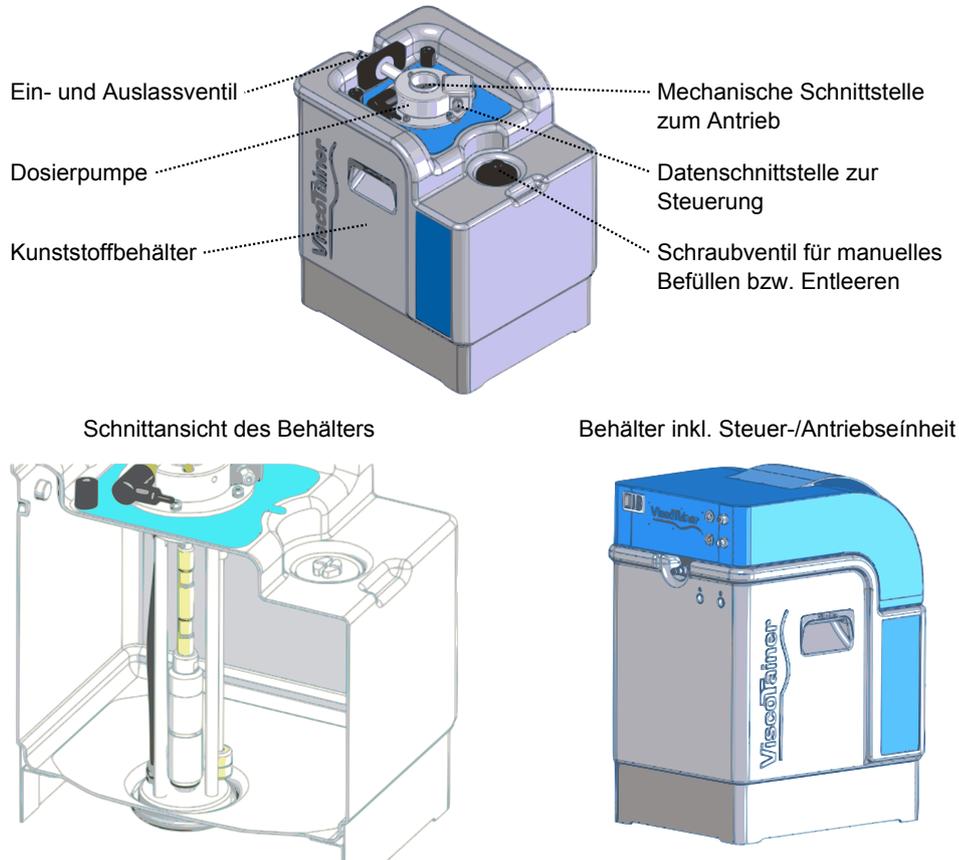


Abb. 2.7: ViscoTainer der Firma ViscoTec

Der ViscoTainer besteht im Wesentlichen aus einem Kunststoffbehälter mit integrierter Dosierpumpe sowie einer Steuer- und Antriebseinheit. Der Behälter, der alle flüssigkeitsberührenden Teile beinhaltet, zirkuliert zwischen den Partnern eines Mehrwegsystems, während die Steuereinheit beim Empfänger eines befüllten Behälters verbleibt. Durch einfaches Aufsetzen der Steuereinheit auf den Behälterteil kann die Pumpe gesteuert und angetrieben werden, um definierte Mengen aus dem Behälter zu entnehmen. Der ViscoTainer eignet u.a. in der Verarbeitung von Stoffen, bei denen ein berührungsloses Handling erforderlich ist. Zum Beispiel zum Dosieren von Pestiziden, Nanosuspensionen, Flüssigfarben, Klebstoffen, Aromastoffen, Aromakonzentraten, Farbstoffen, Antioxidationsmitteln, Geschmacksstoffen, Geschmacksverstärkern, Konzentraten, UV-Acrylaten, Epoxydharzen oder Polyurethan [Vis12]. Der ViscoTainer bietet dabei den besonderen Vorteil, dass sensible Medien ohne Kontakt zum Medium selbst zwischen dem Behälter und beispielsweise einer Weiterverarbeitenden Maschine übertragen werden können. Dazu wird der Behälter mit Hilfe eines Schlauchs mit einer Maschine verbunden. Ohne den Einsatz eines geschlossenen Behälters werden die Flüssigkeiten entweder manuell oder mechanisch unterstützt in die weiterverarbeitende Maschine umgeschüttet, was im Falle einer Unachtsamkeit seitens

des Bedieners oder durch einen technischen Defekt bedingt erhebliche Folgen für Mensch und Umwelt haben kann.

Service-orientiertes Logistikkonzept

In der Informatik bzw. Softwareentwicklung gewinnt eine service-orientierte Architektur zunehmend an Bedeutung. Es handelt sich dabei um ein Konzept, das helfen soll, feste Abhängigkeiten von Elementen in einem Softwaresystem zu minimieren, so dass aus diesen Elementen eigenständige Dienste, sogenannte Services, entstehen. Ein Dienst stellt grundsätzlich definierte Funktionen zur Verfügung und stellt dabei gewisse Anforderungen an seine Nutzung. Mit Hilfe von service-orientierten Konzepten lassen sich einzelne Dienste aufgrund ihrer modularen Architektur leicht kombinieren und zu neuen Systemen zusammensetzen [LS12].

Angelehnt an die aus der Informatik stammende Definition von Service-Orientierung wird dieser Ansatz auf die Entwicklung von Logistikkonzepten für Behältersysteme übertragen. Unter Logistikkonzept sind dabei organisatorische, technische wie auch administrative Maßnahmen zu verstehen, die ein Behältersystem bilden.

3 Anforderungsprofil - Lieferketten und Empfindlichkeitsprofil der Abfüllprodukte

In diesem Arbeitsschritt werden die Rahmenbedingungen und Anforderungen logistischer Lieferketten und die zugehörigen logistischen TUL-Prozesse auf Basis von allgemein zugänglichen Benchmarks, Projekterfahrungen und Einzelfallerhebungen bei den beteiligten Anwendungspartnern für die Branchen: Lebensmittel, Pharma, Chemie und Kunststoffverarbeitung erhoben. Eine besondere Schwierigkeit liegt darin, dass sich diese Anforderungen oftmals nicht eindeutig festlegen lassen, da sie einer Vielzahl von Einflussgrößen unterliegen. Auch die Rahmenbedingungen verändern sich aufgrund von marktwirtschaftlichen oder saisonalen Entwicklungen ständig. Ein typisches Beispiel hierfür ist die Bedarfsermittlung von Mehrwegverpackungen für die Aufrechterhaltung der Lieferfähigkeit bei stark schwankenden Absatzmengen. Ein weiteres Beispiel sind die sehr heterogenen Anforderungen an die Lager- und Umschlagseignung von Ladeeinheiten in komplexen Lieferketten, in denen eine Vielzahl unterschiedlicher Lager- und Umschlagstechniken von den Beteiligten eingesetzt wird. Für die Bestimmung der Empfindlichkeitsprofile der Produktarten kann auf Datenblätter und Angaben der im Projektausschuss beteiligten Unternehmen zurückgegriffen werden. Wichtig ist hierbei, die Abhängigkeiten zwischen den Anforderungen, den verschiedenen Einsatzbereichen und weiteren Einflussgrößen wie Produktart und Empfindlichkeit, Distributionsstrukturen, Mengenströmen, Saisonalitäten etc. zu erarbeiten und auf ein geeignetes Aggregationslevel zu heben. Dieses sollte hinreichend detailliert sein, um die Eignung von Lösungsansätzen konkret bewerten zu können. Andererseits sollte es ausreichend allgemein sein, um auch die Übertragbarkeit auf ähnliche und vergleichbare Anwendungsfälle zu ermöglichen.

Zielsetzung dieses Arbeitsschrittes ist die Zusammenfassung der Anforderungen für verschiedene Anwendungsbereiche, Produktarten und Typen ebenso wie Distributions- und Verteilungsstrukturen. Diese Mehrdimensionalität erfordert eine differenzierte aufeinander aufbauende bzw. miteinander bedingte Darstellung.

Zu Beginn wird exemplarisch die Lieferkette eines ViscoTainers (vgl. Abbildung 2.7) betrachtet. Es werden Schwachstellen des bestehenden Logistikkonzepts aufgezeigt und analysiert. Darauf aufbauend werden Anforderungen für ein an multifunktionale Behälter angepasstes Logistikkonzept abgeleitet. Abschließend werden alle erfassten Anforderungen, die Nutzer multifunktionaler Behälter zusammengetragen haben, dargestellt und erste Lösungsansätze aufgezeigt.

3.1 Analyse der Lieferkette eines ViscoTainers

Dieser Anwendungsfall beschreibt das Mehrwegsystem eines ViscoTainers (s. 2.7), der zum Transport von Farbpartikeln in Form einer Nanosuspension eingesetzt wird. Der Behälter besitzt eine integrierte Pumpe, so dass der Behälter direkt an eine Verarbei-

tungsmaschine angeschlossen und der Behälterinhalt dosiert und vor allem geschlossen übertragen werden kann. Dies hat den besonderen Vorteil, dass der Behälterinhalt nicht mehr offen in die Verarbeitungsmaschine umgeschüttet werden muss.



Abb. 3.1: ViscoTainer der Firma ViscoTec

Das Mehrwegsystem besteht aus einem Abfüller, dem Hersteller der Nanosuspensionen, sowie aus mehreren Abnehmern, die die Nanosuspension weiter verarbeiten. Der Abfüller befüllt die Behälter und sendet sie anschließend an einen Abnehmer. Dieser leert den Behälter und sendet den leeren Behälter an den Abfüller zurück (vgl. Abbildung 3.2). Zur Refinanzierung der Initialinvestition in die Behälter einerseits sowie für die Instandhaltung der Behälter andererseits berechnet der Abfüller ein pauschales Nutzungsentgelt für den Nutzungszeitraum eines Behälters.

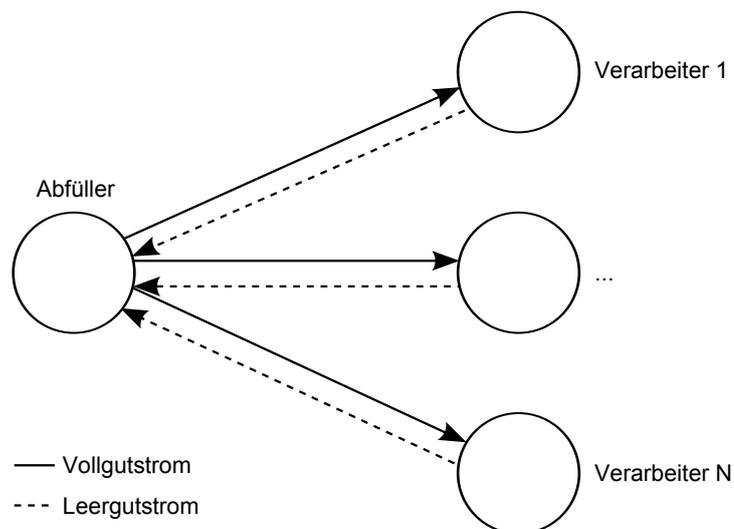


Abb. 3.2: Mehrwegsystem ViscoTainer

Nach Eingang eines Bestellauftrags des Verarbeiters kommissioniert der Abfüller eine entsprechende Anzahl geeigneter Behälter aus seinem Leergutlager. Über den Lebenszy-

klus eines Behälters wird dieser immer mit der gleichfarbigen Nanosuspension befüllt, da eine Rekonditionierung für anders farbige Nanosuspensionen nicht wirtschaftlich ist. Dazu müsste die Pumpe vor jedem Abfüllprozess ausgebaut und gereinigt werden. Daher sind die Behälter mit einer Nummer gekennzeichnet, die für eine bestimmte Nanosuspension steht. Nach der Entnahme der entsprechenden Behälter wird für jeden Behälter ein Abfüllauftrag ausgedruckt und am Behälter befestigt. Dieser Abfüllauftrag stellt einen Begleitschein des Behälters dar, der alle wesentlichen Informationen zum Auftrag enthält. Dazu zählen z.B. der Farbtyp der abzufüllenden Nanosuspension sowie die Auftragsnummer (vgl. Abbildung 3.3).



Abb. 3.3: Abfüllschein

Die Behälter samt Abfüllschein werden an Abfüllmaschinen bereitgestellt. Der Maschinenbediener scannt die Auftragsnummer, die auf dem Abfüllschein im Form eines Barcodes kodiert ist, ein. Gleichzeitig ist der Mitarbeiter angehalten eine Sichtkontrolle durchzuführen, um zu prüfen, ob der Behälter für den abzufüllenden Typ der Nanosuspension geeignet ist. Dazu vergleicht er die Typnummer der Nanosuspension auf dem Abfüllschein mit der Typnummer auf dem Behälter. Nach dem Abfüllprozess wird der Vorgang gebucht und der Auftrag abgeschlossen. Der Behälter wird nach Möglichkeit direkt im Warenausgang zum Versand bereitgestellt oder ggf. bis zum Versandtag zwischengelagert. Am Versandtag wird zu einer Lieferung, die in der Regel aus mehreren Behälter besteht, der Lieferschein erstellt und der Warenausgang der Behälter gebucht. Ein Mitarbeiter des Warenausgangs notiert die Menge der versendeten Behälter in einem Tabellenkalkulationsprogramm und belastet das Leergutkonto des Empfängers mit der entsprechenden Behälteranzahl. Anhand dieser Tabellen wird jeden Monat das Nutzungsentgelt für Behälter abgerechnet. Anschließend erfolgt der Transport der Behälter per Stückgutspedition.

Der Frachtführer transportiert die Behälter zum Verarbeiter und entlädt sie im Wareneingang. Mitarbeiter im Wareneingang buchen den Zugang der Ware und leiten die Behälter entweder direkt in den Produktionsprozess oder an ein Zwischenlager weiter. Auch auf Seiten des Verarbeiters wird ein Leergutkonto mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms geführt. Darin wird die Anzahl der empfangenen Behälter festgehalten. Die Behälter werden in der Produktion bereitgestellt. Hier erfolgt die Entnahme und Verarbeitung der Nanosuspension. Auch hier ist der Maschinenbediener angehalten zu prüfen, ob der Behälter die richtige Nanosuspension enthält. Damit sind die Prozesse des Vollgutstroms abgeschlossen.

Der Leergutstrom beginnt mit der Zwischenlagerung der Behälter beim Verarbeiter, nachdem sie Produktionsprozess geleert worden sind. Hier wird das Leergut bis zum Rücktransport an dem Abfüller gelagert. Mehrere Leerbehälter werden zu einer Lieferung zusammengefasst und an einen bestellten Frachtführer übergeben. Der Warenausgang der Behälter wird wiederum im Tabellenkalkulationsprogramm festgehalten und der eigene Behälterbestand aktualisiert. Das Leergut wird zum Abfüller transportiert. Der Abfüller nimmt die leeren Behälter entgegen und aktualisiert das Leergutkonto des Verarbeiters. Anschließend erfolgt eine Sichtkontrolle der Behälter auf Schäden. Wird ein offensichtlicher Schaden erkannt, wird der Behälter repariert oder entsorgt, wenn eine Instandsetzung technisch nicht möglich oder unwirtschaftlich ist. Die Behälter werden abschließend in das Leergutlager des Abfüllers eingelagert.

Schwachstellen und Anforderungsprofil

Abbildung 3.4 veranschaulicht den Vollgutstrom eines ViscoTainers und weist auf gegebene Schwachstellen in den Prozessen hin.

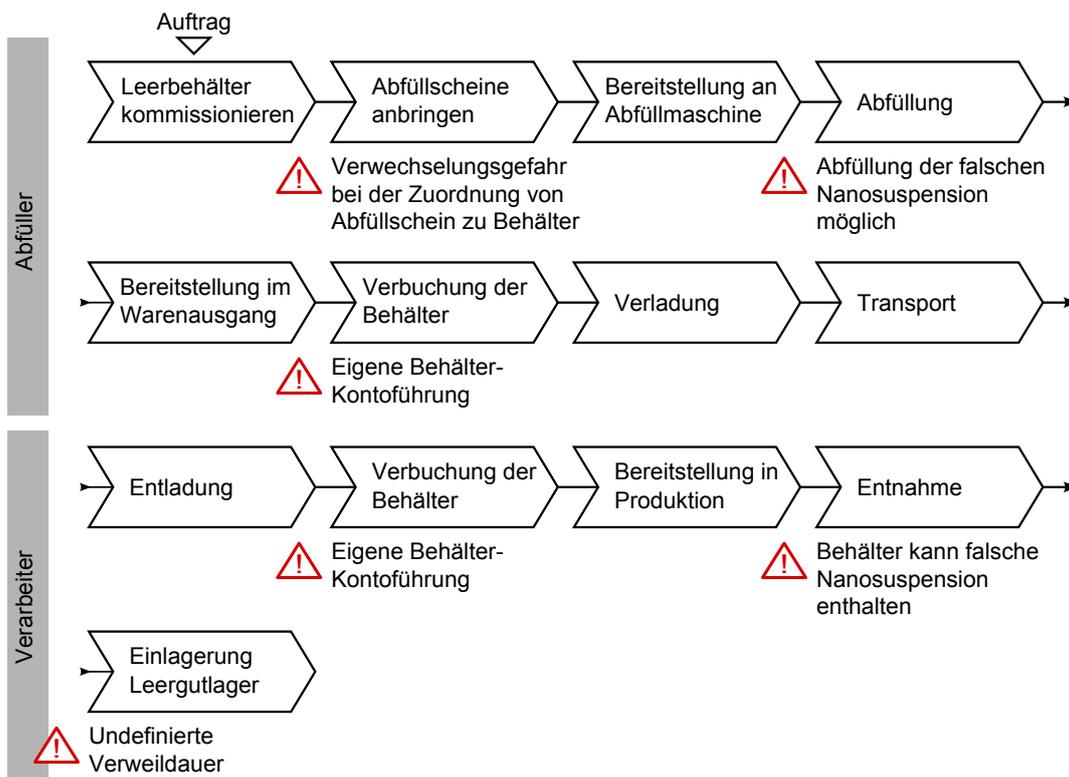


Abb. 3.4: Schwachstellen im Vollgutstrom

Momentan sind die Behälter nur mit einer Typnummer gekennzeichnet, die einem Farbtyp einer Nanosuspension zugeordnet ist. Diese Nummer ist nicht eindeutig, da in dem System mehrere Behälter des gleichen Farbtyps umlaufen. Das Fehlen einer eindeutigen Behälterkennzeichnung führt dazu, dass eine IT-seitige Verheiratung von Behälter und Auftrag bei dem Abfüller nicht möglich ist. Das wird durch das Anbringen von Abfüllscheinen umgangen. Jedoch kommt es dabei gelegentlich zu Fehlern, wenn der Kommissionierer Abfüllschein und Behälter falsch zuordnet. Dieser Fehler kann sich entlang der gesamten Lieferkette fatal auswirken. Erkennt der Abfüller den Fehler nicht spätestens vor dem Ab-

füllen der Nanosuspension, wird die falsche Suspension abgefüllt. Der Verarbeiter verlässt sich in aller Regel darauf, dass der Behälter die richtige Suspension enthält. Weiterhin ist eine Kontrolle an dieser Stelle kaum möglich, da der Behälter dazu geöffnet werden müsste. Selbst dann ist eine Einschätzung schwierig, wenn es sich um ähnliche Farbpigmente handelt. Führt der Verarbeiter dem Produktionsprozess falsche Farbpigmente zu, ist die gesamte produzierte Charge nicht zu gebrauchen. Gerade an diesem Punkt verursacht der Fehler hohe Folgekosten. Um diesen Fehler zu vermeiden, soll jeder Behälter zumindest mit einer eindeutigen maschinenlesbaren Nummer gekennzeichnet werden. In dieser Nummer soll zum einen der Farbindex der Nanosuspension und zum anderen eine Behälteridentifikationsnummer kodiert werden. Statt Abfüllscheinen soll der Behälter IT-seitig mit der Nummer des Abfüllauftrags verheiratet werden. Dies ermöglicht den automatischen Abgleich des Farbindex, so dass der Kommissionierer direkt auf einen Fehler hingewiesen wird. Um einen Fehler an der Abfüllmaschine zu vermeiden, soll zwischen Behälter und der Steuerung der Abfüllmaschine eine Kommunikationsschnittstelle geschaffen werden, so dass die Maschine den Farbindex des Behälters automatisch abfragen kann. Hierfür eignen sich funkbasierte Kommunikationsverfahren wie beispielsweise RFID.

Ein weiterer Schwachpunkt in der Lieferkette stellt das Behältermanagement dar. Sowohl Abfüller als auch die Verarbeiter führen eigene Konten, in denen sie die Ein- und Ausgänge von Behältern festhalten. Das impliziert einen regelmäßigen Kontenabgleich und die Klärung von Differenzen, die ohnehin oftmals scheitert, da kein eindeutiger Beweis erbracht werden kann. In der Regel trägt der Abfüller das Risiko einer Neubeschaffung im Falle eines Behälterverlustes. Letztendlich werden diese Investitionen auf alle Systemteilnehmer umgeschlagen, indem das Nutzungsentgelt je Behälternutzung steigt. Ziel ist es, ein zentrales für alle Teilnehmer des Mehrwegsystems zugängliches Behältermanagementsystem einzuführen, in dem jeder Teilnehmer Zu- und Abgänge verbucht.

Weitere Probleme verursacht das derzeitige Abrechnungssystem. Das Nutzungsentgelt wird pro Umlauf eines Behälters berechnet. Das bedeutet, dass der Abfüller für jeden retournierten Behälter des Verarbeiters ein Nutzungsentgelt erhebt. Dieses Abrechnungssystem führt zu einer geringen Motivation seitens der Verarbeiter, Behälter schnellst möglich zu retournieren. Die Verweildauer geleerter Behälter im Leergutlager der Verarbeiter ist teilweise sehr hoch. Das führt oftmals dazu, dass dem Abfüller nicht genügend Behälter für die Abfüllung zur Verfügung stehen. Der Abfüller kontaktiert in diesem Fall die Verarbeiter und fragt telefonisch die Bestände ab. Teilweise ist der Abfüller auch gezwungen, neue Behälter zu beschaffen. Gefordert ist ein Abrechnungssystem, bei dem ein Nutzungsentgelt in Abhängigkeit der Nutzungsdauer berechnet wird. Weiterhin soll eine zentrale Disposition der Leergutrückführung durch den Abfüller ermöglicht werden. Dazu benötigt der Abfüller Informationen wie viele Behälter sich bei welchem Verarbeiter befinden sowie in welchem Zustand diese sind. Neben der Anzahl der Behälter soll auch der Behältertyp bzw. der Farbindex der zugeordneten Nanosuspension ersichtlich sein. Das wiederum setzt die eindeutige Kennzeichnung jedes Behälters voraus, so dass die Bewegungsdaten für jeden Behälter entlang der gesamten Lieferketten erfasst werden können.

Wie bereits unter den Schwachstellen des Vollgutprozesses beschrieben, stellt das separate Behältermanagement der Teilnehmer im Mehrwegsystem ebenfalls eine wesentliche Schwachstelle beim Leergutprozess dar (vgl. Abbildung 3.5). Ziel ist es auch hier, ein System übergreifendes Behältermanagement einzuführen.

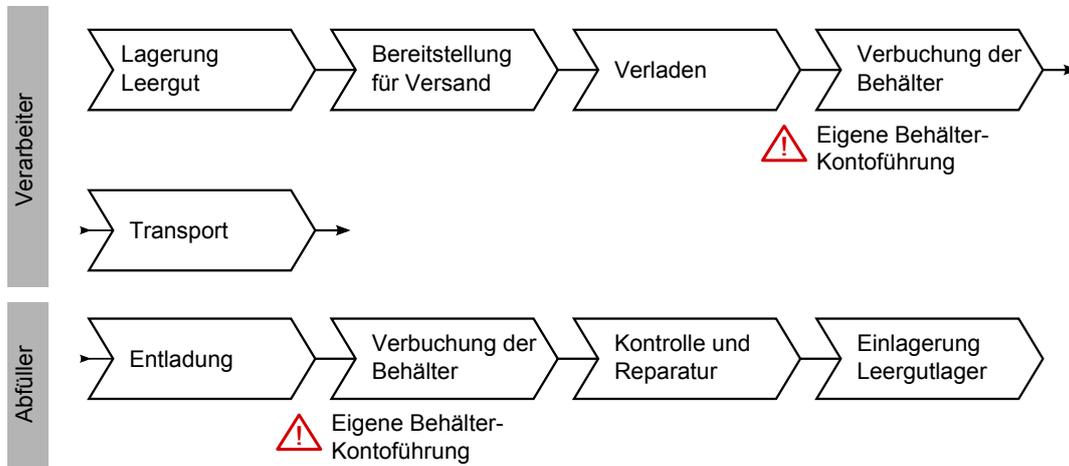


Abb. 3.5: Schwachstellen im Leergutstrom

Das Anforderungsprofil für das Mehrwegsystem des Pumpbehälters soll abschließend zusammengefasst werden.

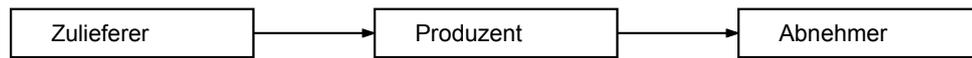
- Technische Anforderungen:
 - Eindeutige maschinenlesbare Kennzeichnung jedes Behälters
 - Kommunikationschnittstelle zwischen Behälter und Maschinensteuerung
- Anforderungen an das Behältermanagement:
 - Zeitabhängige Verrechnung von Nutzungsentgelten
 - Systemweite Transparenz über Behälterbeständen und Behälterstati

3.2 Mehrwegsysteme multifunktionaler Behälter

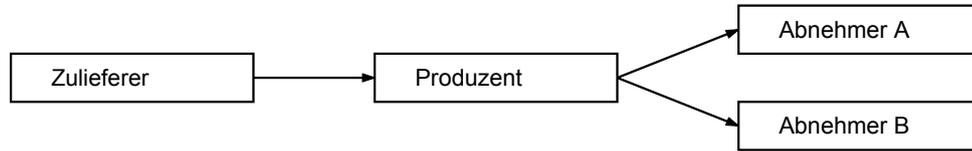
Wildemann entwickelt vier Modelle (vgl. Abbildung 3.6), um mögliche Ausprägungsformen und Strukturen von Lieferketten im Produktionsumfeld zu klassifizieren [Wil90]. Dabei unterscheidet er zwischen drei Typen von Systemteilnehmern: Zulieferer, Produzent und Abnehmer. Das Material fließt stets vom Zulieferer zum Produzenten (Lieferstufe 1) und anschließend vom Produzenten zum Abnehmer (Lieferstufe 2). Zulieferer versorgen Produzenten mit Rohstoffen oder Teilen, die die Produzenten wiederum zu Produkten verarbeiten und diese an Verbraucher weiterleiten. Produkte können in diesem Zusammenhang Halbfertig- oder auch Fertigwaren sein. Der Abnehmer selbst kann ebenso wieder ein Zulieferer und Produzent sein, wenn er das erhaltene Produkt zu einem eigenen Produkt verarbeitet und es an weitere Abnehmer sendet.

Modell 1 berücksichtigt zwischen Zulieferer und Produzent sowie zwischen Produzent und Abnehmer nur je eine Transportrelation. Die beiden folgenden Modelle lassen entweder in der ersten oder der zweiten Lieferstufe mehrere Lieferbeziehungen zu. Im zweiten

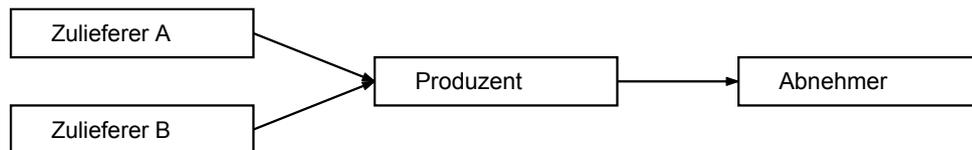
Modell 1: ein Zulieferer - ein Abnehmer



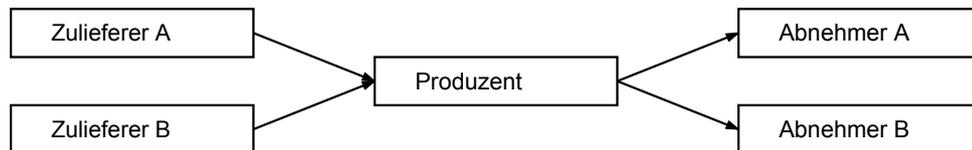
Modell 2: ein Zulieferer - mehrere Abnehmer



Modell 3: mehrere Zulieferer - ein Abnehmer



Modell 4: mehrere Zulieferer - mehrere Abnehmer

**Abb. 3.6: Lieferkettenmodelle nach [Wil90]**

Modell existieren nur ein einziger Zulieferer, jedoch mehrere Abnehmer, so dass der Materialfluss in der zweiten Lieferstufe verzweigt. Im dritten Modell konvergieren mehrere Materialflüsse beim Produzenten, während der Produzent nur einen Abnehmer hat. Modell 4 dagegen geht von beliebig vielen Transportrelationen in den beiden Lieferstufen aus. Die Anzahl der Relationen steht dabei im direkten Zusammenhang mit dem Steuerungsaufwand und dem Umfang an erforderlichen organisatorischen Regelungen [Wil01]. Dies trifft nicht nur auf (Vollgut-) Lieferketten zu, sondern eben auch auf Rückführsysteme bzw. Leergut-Lieferketten. Aus den vier grundlegenden Lieferketten lassen sich durch Aneinanderreihung der Bausteine beliebig komplexe Konstellationen von Lieferketten abbilden.

Bei den Untersuchungen von Mehrwegsystemen, in denen multifunktionale Behälter zirkulieren, hat sich herausgestellt, dass es sich in der Regel um einstufige Systeme handelt. Das bedeutet, dass Behälter vom Versender zum Empfänger transportiert und anschließend wieder als Leergut returniert werden. Eine Wiederbefüllung des Behälters nach Entleerung und anschließende Weiterversendung an einen weiteren Empfänger konnte nicht beobachtet werden. Folglich existieren entweder Lieferketten zwischen mehreren Zulieferern und einem Produzenten (N:1 Beziehung), der den multifunktionalen Behälter leert, oder zwischen einem Produzenten, der das Transportgut in einen multifunktionalen Behälter abfüllt, und mehreren Abnehmern (1:N Beziehung) (vgl. Abbildung 3.7). N:1 Beziehungen, in denen der gleiche Behältertyp von den unterschiedlichen Abfüllern genutzt wird, sind jedoch selten vorzufinden. Vielmehr werden in diesem Fall unterschiedliche Behälter eingesetzt, für die getrennte Mehrwegsysteme existieren. Eine 1:N Beziehung stellt eher den Regelfall dar.

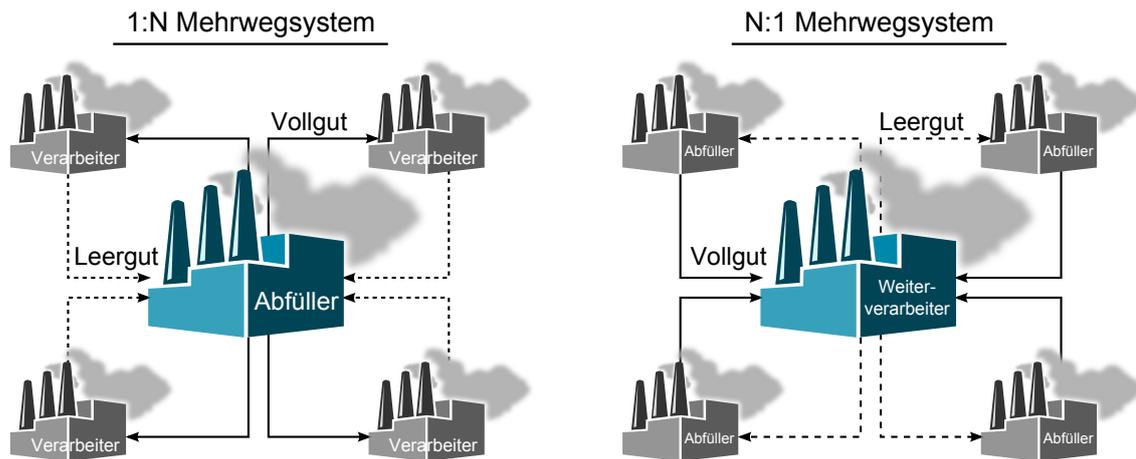


Abb. 3.7: Existierende Mehrwegsysteme für multifunktionale Behälter

3.3 Zusammenfassung logistischer Anforderungen

Primär stellen die Nutzer multifunktionaler Behälter folgende logistische Anforderungen an das Mehrwegsystem:

- Steigerung der Umlauffanzahl
- Transparenz über die Behälterbewegungen
- Bestimmung der Anzahl Umläufe je Behälter
- Nutzung des Behälters als Informationsträger
- Wiederbeschreibbarkeit von Informationsträgern am Behälter
- Monitoringfunktionalität

Steigerung der Umlauffanzahl

Die Anschaffungskosten für einen multifunktionalen Behälter betragen teilweise mehrere tausend Euro. Daher gilt es den Behälterbestand innerhalb eines Systems zu minimieren, um die Kapitalbindungskosten niedrig zu halten. Die durchschnittliche Umlauffanzahl je Behälter verhält sich nahezu umgekehrt proportional zum erforderlichen Behälterbestand, so dass mit einer Steigerung der Umlauffanzahl gleichzeitig der Behälterbestand reduziert werden kann.

Eine Steigerung der Umlauffanzahl kann einerseits durch die Erhebung eines Pfandes und andererseits durch eine Nutzungszeit abhängige Mietzinsabrechnung erreicht werden. Im Falle des Pfandes sind die Nutzer bestrebt, ihr ausgelegtes Pfand schnellstmöglich wieder zu erhalten, da ihnen sonst Kapitalbindungskosten entstehen. Innerhalb der untersuchten Behältersysteme haben bereits Bemühungen stattgefunden, ein Pfand einzuführen, jedoch ließ es sich gegenüber den Nutzern nicht durchsetzen. Die meisten Abfüller oder Poolbetreiber präferieren eine Kostenabrechnung in Abhängigkeit der Nutzungsdauer. Am Ende eines Abrechnungszeitraum soll dem Nutzer der Behälter eine Übersicht über alle von ihm genutzten Behältnisse mit Datum des Wareneingangs des Vollguts und des Warenausgangs des Leerguts bereitgestellt werden.

Transparenz über die Behälterbewegungen

Behälterbewegungen werden an sich durchgängig erfasst, wobei in den meisten Fällen Abfüller und Empfänger separate Verbuchungssysteme führen, die nicht synchronisiert werden. Diese erlauben es in der Regel nur die versandte bzw. empfangene Anzahl an Behältern festzustellen. Die Systemteilnehmer fordern jedoch zunehmend eine Rückverfolgbarkeit der Behälterbewegungen. Diese soll auf Behälterebene realisiert werden, so dass für jeden einzelnen Behälter eine Bewegungshistorie nachvollzogen werden kann. Das heißt für jeden Behälter kann der Ort bzw. Besitzer sowie die Aufenthaltsdauer für einen definierten Zeitraum abgefragt werden. Weiterhin soll der Zustand (voll oder leer) eines Behälters entlang der Wertschöpfungskette aktualisiert werden können, um eine zentrale Disposition von Behälterbeständen effizienter zu gestalten.

Bestimmung der Anzahl Umläufe je Behälter

Multifunktionale Behälter besitzen größtenteils technische Komponenten oder Messsysteme die in definierten Intervallen geprüft, gewartet oder geeicht werden müssen. Diese Serviceintervalle fallen in der Regel nach einer bestimmten Anzahl an Umläufen an. Die heutige Art und Weise der Dokumentation von Behälterbewegungen lässt das nicht zu. Mit Hilfe einer Verbuchung auf Einzelbehälterebene könnten Umlaufdauern bestimmt werden. Dies verlangt jedoch einen eindeutigen Informationsträger je Behälter.

Nutzung des Behälters als Informationsträger

Wie bereits in den vorherigen Punkten erwähnt, besteht Bedarf, Behälter zumindest mit einer eindeutigen Behälternummer auszustatten. Die Kodierung von weiteren Informationen an einem Behälter ist jedoch wünschenswert. So könnte z.B. im Falle des ViscoTainers der Farbkodex des Behälters maschinenlesbar gespeichert werden (s. Kapitel 3.1).

Wiederbeschreibbarkeit von Informationsträgern am Behälter

Gerade bei kleinen und mittleren Unternehmen sind die ERP-Systeme von Versender und Empfänger nicht über EDI oder ähnliche Informationsaustauschdienste verbunden. Um den Vereinnahmungsprozess beim Empfänger zu beschleunigen, wäre eine automatisiert auslesbare Bereitstellung der Behälterdaten wünschenswert. So könnten zum Beispiel Auftragsnummer und weitere Daten dynamisch kodiert werden. RFID-Transponder erfüllen beispielsweise diese Funktion.

Monitoringfunktionalität

Aufgrund des hohen Eigenwerts multifunktionaler Behälter sowie der Sensibilität einiger Transportgüter wird vermehrt ein Echtzeit-Monitoring der Behälter gefordert. Das betrifft zum einen eine Ortungsfunktion und zum anderen eine Überwachung des Behälterzustandes. So könnten Beschädigungen, die zu einem Austritt des Behälterinhalts führen können, direkt erkannt und Maßnahmen eingeleitet werden.

Teilweise genügt auch ein Offline-Monitoring, bei dem die Umgebungsvariablen wie beispielsweise Temperatur in definierten Intervallen aufgezeichnet werden. Diese Funktionalität können Datenlogger erfüllen. Sie können am Ende der Lieferkette wieder ausgelesen werden.

Abbildung 3.8 zeigt erste Lösungsansätze für die genannten Anforderungen auf.

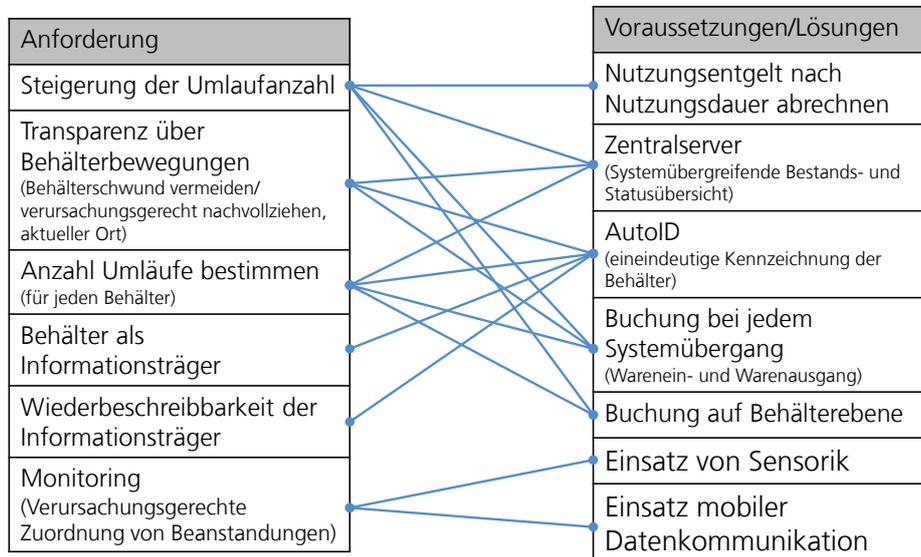


Abb. 3.8: Logistische Anforderungen an Mehrwegsysteme für multifunktionale Behälter

3.4 Zusammenfassung Empfindlichkeitsprofile der Abfüllprodukte

Empfindlichkeit bezeichnet in diesem Zusammenhang die Sensibilität eines Behälters oder des transportierten Gutes gegenüber von Umgebungseinflüssen. Im Folgenden werden allgemeine Empfindlichkeitsprofile aufgezeigt und anschließend diejenigen, die aus Sicht der Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses von besonderer Bedeutung sind.

Allgemeine Empfindlichkeitsprofile

Bei dem Transport von Gütern gibt es eine Vielzahl von Schäden, welche den Transport beeinflussen können. Vor allem die Beschädigung oder der Verlust von Ware sorgen entlang der Lieferkette für nicht eingeplante Aufwendungen.

Die Hauptursachen für Transportschäden können Abbildung 3.9 entnommen werden. Beispielhaft sind 58 Prozent der auftretenden Schäden einer falschen Handhabung des Gutes zuzuschreiben. Ungeeignete Transportmittel oder ein unvorsichtiger Umgang mit den Gütern machen in der Schadenshöhe fast 29 Prozent der Gesamtschadenshöhe aus. Diese Schadensursachen sind laut Skorna und Hinz hauptsächlich folgenden fünf Risikoquellen zuzuordnen [SH11]:

Erschütterungen, verursacht durch mechanisch-dynamische Beanspruchungen und abrupte Beschleunigungen von Waren. Daneben können auch statische Belastungen aus

Schadensursachen für Transportschäden		
	Anteil Anzahl	Anteil Höhe
Handhabung	58 %	29 %
Diebstahl	22 %	23 %
Sturz	5 %	3 %
Wasser	3 %	4 %
Ladungsmangel	2 %	2 %
Unfall	2 %	5 %
Feuchtigkeit	1 %	5 %
Weitere	7 %	29 %

Abb. 3.9: Schadensursachen nach [Bog12]

dem Stapeldruck der Waren Erschütterungen verursachen. Bezogen auf die obigen Schadensursachen können Erschütterungen aus roher Handhabung, Sturz, Ladungsmangel und Unfall resultieren.

Schäden durch **Neigung und Kippen** der Waren treten üblicherweise durch Umfallen infolge einer seitlichen Belastung der Packstücke auf. Vor allem beim Transport von Flüssigkeiten ist die Neigung kritisch, da sich beim Kippen der Ware gleichzeitig der Schwerpunkt verschiebt. Der Transport von Großmaschinen, deren Schwerpunkt nicht mittig liegt, ist generell anfälliger für ein Kippen während der Auf-/ Umladung.

Der Risikofaktor **Temperatur** betrifft vorrangig Lebensmittel, Spezialchemikalien und Pharmazeutika. Die teilweise sehr engen Temperaturkorridore, in denen die Waren transportiert werden, lassen die Logistik und den Transport zu einer komplexen Aufgabe werden. Für temperatursensitive Waren ist eine durchgehende Überwachung der Temperatur und Kühlung während des Transports erforderlich, um Haltbarkeit und Qualität zu gewährleisten. Stark schwankende, zu hohe und zu niedrige Transporttemperaturen führen zu Qualitätsminderungen bzw. Beschädigungen. Je genauer die Temperaturen während des Transports den Anforderungen der Ware angepasst werden kann, umso besser kann deren Qualität und Warenwert erhalten bleiben.

Eine **Nässeinwirkung** kann bei Warentransporten entweder direkt, z.B. durch Starkregen und Seewasser, oder indirekt, z.B. durch die Bildung von Schweißwasser bzw. Kondensation erfolgen. Zusätzlich kann ein transportwegebedingter Anstieg der Feuchte im Laderaum, z.B. im Tropengebiet, zu einer übermäßigen Schimmelbildung oder zu Korrosion führen. Oft wird dabei das Klima des Frachtraums derart verändert, dass die komplette Ladung beeinträchtigt wird und so vergleichsweise hohe Schadenaufwendungen verursacht werden.

Der **Verlust** von Waren, verursacht durch Diebstahl, Abhandenkommen oder administrative Fehler, ist eine der signifikantesten Bedrohungen für die Profitabilität von Unternehmen. Addiert man Diebstahl und Raub, so sind diese beiden Ursachen mit 34 Prozent gemessen an der Schadenhöhe die Hauptursache von Transportschäden. Seltenerer Raubüberfälle führen insbesondere bei hochwertigen Sendungen zu relativ hohen Schadenaufwendungen.

Projektspezifische Empfindlichkeitsprofile

Die Empfindlichkeitsprofile der im Rahmen des Projektes untersuchten Abfüllprodukte beschränken sich weitestgehend auf die folgenden Punkte:

- Temperaturempfindlichkeit
- Gefahrenpotenzial für Mensch und Umwelt
- Diebstahl- und Manipulationsempfindlichkeit

Temperaturempfindlichkeit

Viele der innerhalb multifunktionaler Behälter transportierter Produkte sind temperaturempfindlich und verlangen einen definierten Temperaturbereich. Das gilt sicherlich für Pharmazeutika und Lebensmittel, ist jedoch beispielsweise auch bei technischen Harzen von Bedeutung. Das Transportgut besitzt oftmals einen hohen Wert, so dass ein konstantes Online-Monitoring der Temperatur von Vorteil wäre.

Gefahrenpotenzial für Mensch und Umwelt

Das Auslaufen von Gefahrgütern kann erhebliche Folgen für Mensch und Umwelt nach sich ziehen. Daher sollten Beschädigungen am Behälter direkt erkannt werden. Auch hierbei müssen die Informationen in Echtzeit übertragen werden können. Mit Hilfe von Beschleunigungssensoren können beispielsweise mögliche Beschädigungen nach Stößen und unsachgemäßem Handling beim Warenums Schlag detektiert werden.

Diebstahl- und Manipulationsempfindlichkeit

Wertsachen sind insbesondere während des Transports einem erhöhten Diebstahlrisiko ausgesetzt. Hier sind Techniken erforderlich die einen Diebstahlversuch erkennen und Alarm schlagen. Ein möglicher Ansatz wäre es, den Behälter mit einem innen liegenden Lichtsensor auszustatten, der bei unauthorisiertem Öffnen des Behälter ein Event auslöst. Dieses Event könnte zum Beispiel das Versenden einer Nachricht an den Eigentümer oder Transportdienstleister sein.

Abbildung 3.10 fasst Empfindlichkeitsprofile und Lösungsansätze zusammen.

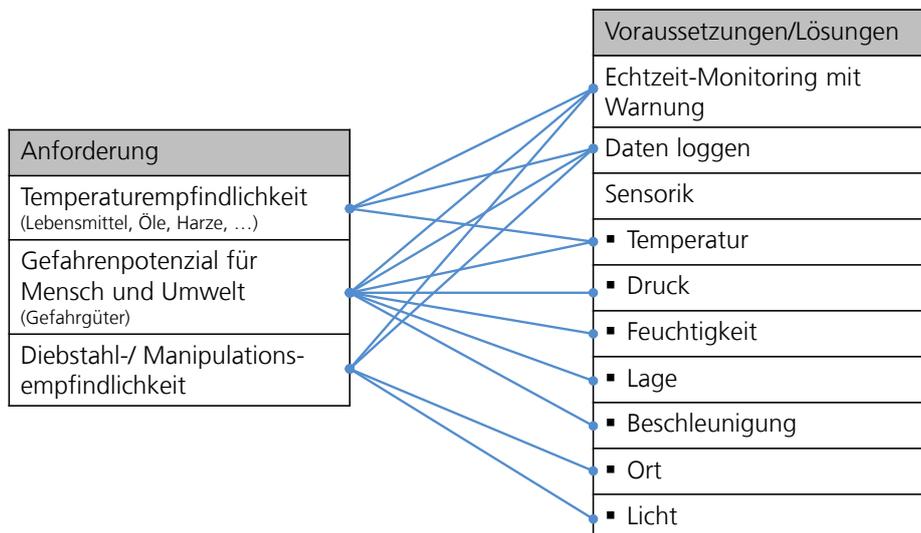


Abb. 3.10: Empfindlichkeitsprofile der Abfüllprodukte

4 Entwicklung von Organisationsmodellen zur Behältersteuerung und Verwaltung

Ziel dieses Arbeitspaketes war die Entwicklung eines Organisationsmodells für das Management von multifunktionalen Behältern. Auf der Basis der aus dem Mehrwegmanagement bekannten Elemente einer Aufbau- und Ablauforganisation werden spezifische Modelle für das Management von multifunktionalen Mehrwegbehältern entwickelt. Dies berücksichtigt z.B. die Sensibilität von Eigentumsverhältnissen aufgrund des i.d.R. relativ hohen Anschaffungspreises des Mehrwegbehälters. Die in manchen Anwendungen oder für manche Produkte sehr langsamen Umschlaggeschwindigkeiten beeinflussen naturgemäß die Wahl des geeigneten Tauschverfahrens. Ebenso können die geplanten informatrischen Zusatzfunktionen am Behälter zur Bestandsführung- und Kostenverrechnung genutzt werden und erfordern demzufolge angepasste Strukturen in der datentechnischen Verwaltung der Behälter.

Über alle Branchen und Wirtschaftszweige hinweg hat sich eine Vielzahl unterschiedlicher Organisationsformen von Mehrwegsystemen entwickelt. Unter Berücksichtigung der spezifischen Rahmenbedingungen (wie z.B. Technisierungsgrad, Beschaffungskosten, Einsatzbereich) für das geplante Behältersystem werden diese Organisationsformen analysiert und auf ihre Übertragbarkeit für das geplante Behältersystem geprüft und bewertet. Ziel ist die Ableitung geeigneter Organisationsmodelle unter Berücksichtigung variabler für den Anwendungsfall geeigneter Teilelemente. Dabei werden die Stärken und Schwächen von bestehenden Ansätzen analysiert.

4.1 Gängige Organisationmodelle für Mehrwegbehälter

Kommt in der Praxis ein Mehrwegbehälter zum Einsatz, so fasst der Begriff des Behältersystems beziehungsweise Mehrwegsystems gemäß [DIN55405] alle zugehörigen organisatorischen, technischen und finanziellen Prozesse und Faktoren zusammen. Für die Beschreibung von Organisationsformen für Mehrwegbehälter-Systeme existiert eine Vielzahl von Modellen und Klassifizierungen. Viele dieser Betrachtungen ähneln sich stark, so dass eine Clusterung nach dem Betrachtungshorizont erfolgen kann. Die drei wichtigsten Konzeptcluster werden dabei hier kurz vorgestellt: Sowohl die zuvor genannte DIN-Norm 55405 als auch Boeckle (vgl. [Boe94]) klassifizieren nach Zugänglichkeit des Behältersystems für potentielle Systemteilnehmer und stellen somit insbesondere die Öffnung des Behältersystems in den Fokus. Lange (vgl. [Lan97]) betrachtet den selben Aspekt vom Standpunkt der Standardisierung von Transportmittel und Systemdienstleistung aus. Als drittes Betrachtungsfeld wird die Art des Behältertausches untersucht. Entsprechende Modelle finden sind hier in [VDI4460] und bei Wildemann [Wil95].

Im Folgenden werden unterschiedliche Mehrwegsysteme darauf hin untersucht, inwiefern sie sich auf multifunktionale Behältersysteme übertragen lassen.

Gemäß der VDI Richtlinie 4460 existieren für Mehrwegbehälter die vier verschiedene Organisationsformen „Mietsystem“, „Tauschsystem“, „Transfersystem“ und „Depotsystem“, die sich gemäß Abbildung 4.1 in Systeme ohne beziehungsweise mit Rückführlogistik einteilen lassen.

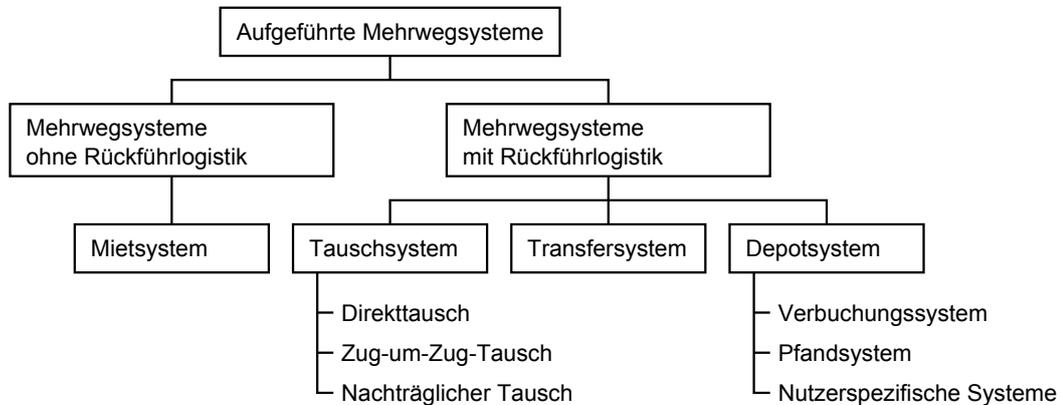


Abb. 4.1: Einteilung Mehrwegsysteme nach [VDI4460]

Mietsystem

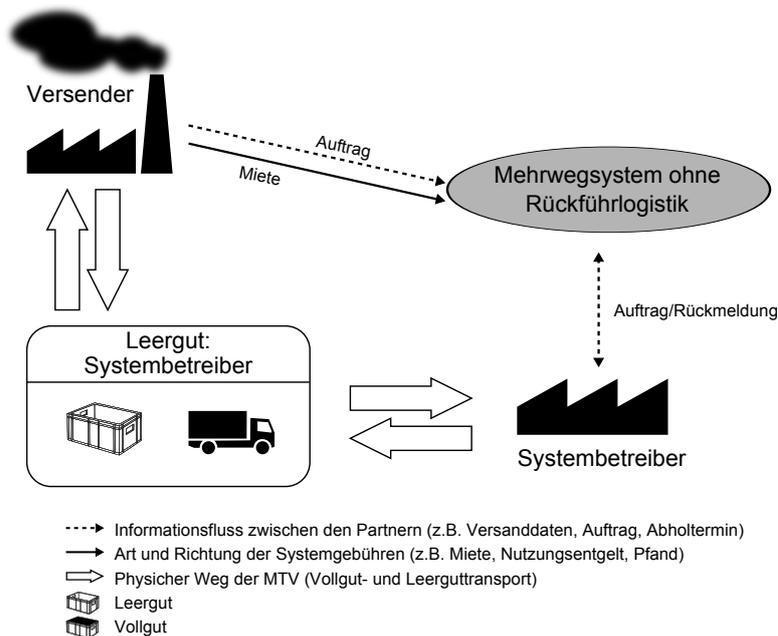


Abb. 4.2: Mietsystem nach [VDI4460]

Wie in Abbildung 4.2 ersichtlich werden bei einem Mietsystem, als direktes Konkurrenzsystem zum Behälterkauf, Behälter von einem externen Systemdienstleister gemietet. Der Versender profitiert also davon, kein Kapital in Form von Behältern binden zu müssen und kann zudem relativ kurzfristig Bedarfsschwankungen durch zusätzliche Mietbehälter ausgleichen. Der Systembetreiber profitiert dagegen davon, sein in die Behälter gebundenes Kapital durch die Vermietung gewinnbringend anzulegen. Besonders bei langfristigen Mietverträgen ist allerdings für den Versender eine genaue Abwägung der Mietkosten ge-

gen den eigenen Kapitaleinsatz notwendig, um die kosteneffizienteste Variante bestimmen zu können.

Tauschsysteme

Im Bereich der Tauschsysteme existieren nach [VDI4460] drei unterschiedliche Modelle, welche in der Praxis Anwendung finden: Der Direkttausch, der Zug-um-Zug-Tausch sowie der nachträgliche Tausch.

Direkttausch

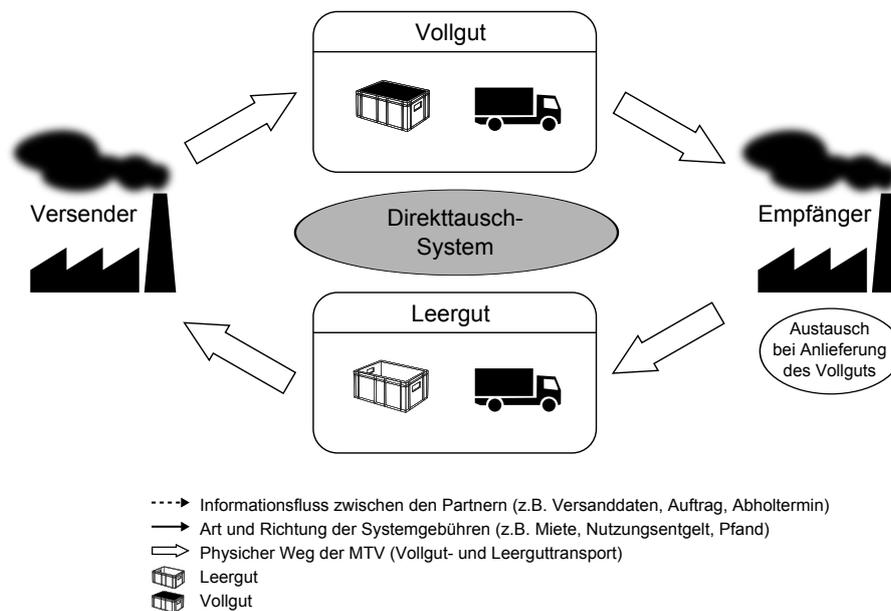


Abb. 4.3: Direkttausch nach [VDI4460]

Beim Direkttausch findet, wie in Abbildung 4.3 dargestellt, ausschließlich eine Transaktion von Waren, nicht aber von Ladehilfsmitteln statt. Vollgut wird bei Anlieferung beim Empfänger gegen eine identische Menge Leergut getauscht. So bleibt, abgesehen von defekten Behältern, die vorhandene Menge je Akteur stets gleich. Schwund kann erkannt und dem Verantwortlichen direkt zugerechnet werden. Zudem erfordert das Verfahren nur geringen Organisationsaufwand. Die Bestimmung von Menge und Zustand kann direkt beim Ent- beziehungsweise Beladeprozess erfolgen. Aufgrund der vorzuhaltenden Behältermengen je Akteur ist das Verfahren allerdings unflexibel und eignet sich in der Regel nur bei andauernd konstanten Liefermengen zwischen zwei Partnern. Im Rahmen der untersuchten Mehrwegsysteme für multifunktionale Behälter konnte ein Direkttausch aufgrund schwankender Liefermengen nie durchgeführt werden.

Zug-um-Zug-Tausch

Der Zug-um-Zug-Tausch ergänzt den Direkttausch um einen Logistikdienstleister, welcher sowohl die Voll- wie auch die Leergut-Transporte übernimmt, wodurch kein direkter Tausch zwischen Versender und Empfänger stattfindet (vgl. Abbildung 4.4). Der Dienstleister übernimmt zudem die Lagerung und gegebenenfalls notwendige Aufarbeitung und

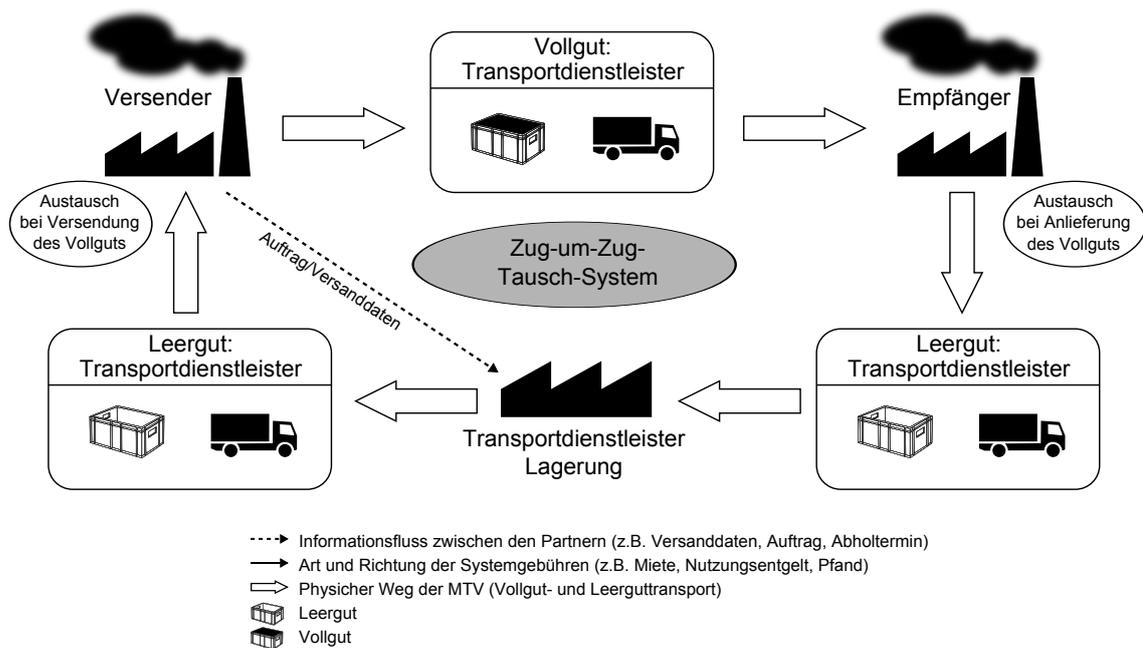


Abb. 4.4: Zug-um-Zug-Tausch nach [VDI4460]

Reparatur des Leerguts. Daher handelt es sich beim Zug-um-Zug-Tausch um eine Kette von Direkttausch-Vorgängen, die benötigte Leergutmenge liegt daher höher und somit ist eine größere Kapitalbindung erforderlich. Gerade bei multifunktionalen Behältern mit grundsätzlich hohem Eigenwert widerspricht der Zug-um-Zug-Tausch dem Bestreben, den Behälterbestand und damit die Kapitalkosten zu reduzieren.

Nachträglicher Tausch

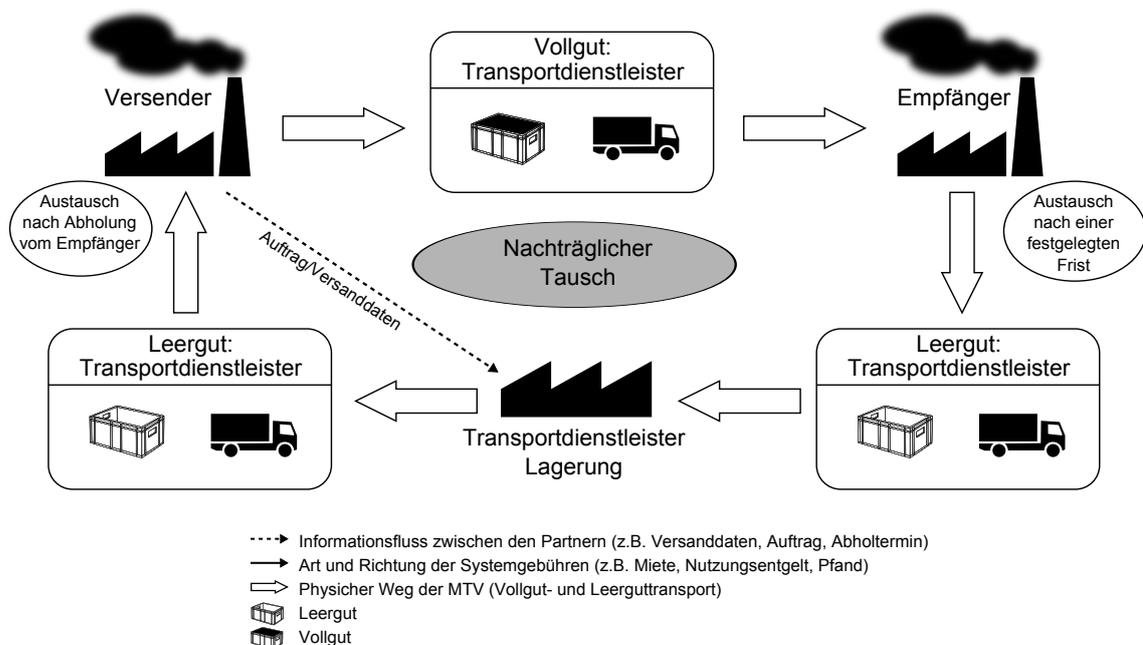


Abb. 4.5: Nachträglicher Tausch nach [VDI4460]

Der Aufbau eines Behältersystems mit nachträglichem Tausch entspricht dem eines Zug-um-Zug-Tauschsystems. Charakteristisch für diese Art eines Mehrweg-Systems ist es aber, wie in Abbildung 4.5 ersichtlich, dass der Empfänger sein Leergut nicht direkt, son-

dem nach einer zuvor festgelegten Frist an den Dienstleister übergibt. Somit muss der Empfänger keinen Leergutvorrat vorhalten, sondern kann nach dem Entladen des Vollguts die entsprechenden Behälter zurückliefern. Der Versender allerdings hat bei dieser Art von Mehrwegsystem je nach zeitlicher Abfolge von Lieferungen und Leergutrückholungen einen größeren Bestand an Leerbehältern vorzuhalten. Gerade dies führt zu hohen Überbeständen an Behältern im System, da die Empfänger Leergut nicht schnell genug zurückführen. Oftmals werden Rückführungsfristen ignoriert, da die Empfänger abwarten, bis eine ausreichend hohe Leergutmenge zur Verfügung steht, um einen kosteneffizienten Rücktransport realisieren zu können.

Transfersystem

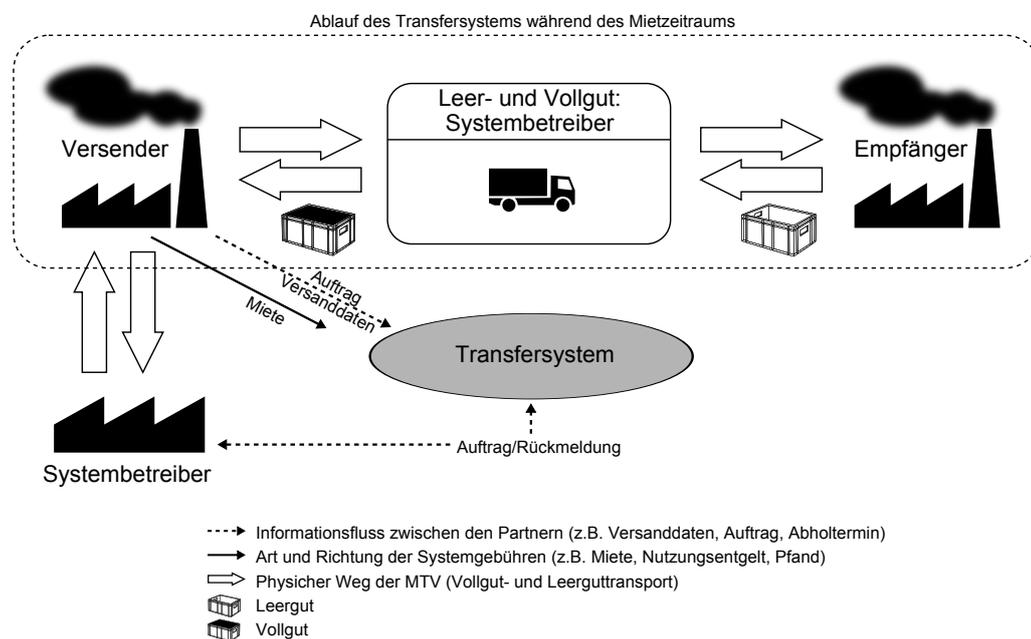


Abb. 4.6: Transfersystem nach [VDI4460]

Die dritte Kategorie der Mehrwegsysteme stellt das in Abbildung 4.6 dargestellte Transfersystem dar. Dabei übernimmt ein Logistik-Dienstleister nicht nur die Transporte von Voll- und Leergut sondern ist zudem Eigentümer der Behälter und somit Systembetreiber. Der Versender mietet alle benötigten Behälter und die zugehörigen Transportdienste vom Systembetreiber, für alle anderen Aufgaben wie Wartung, Bestandsführung oder Reinigung hat er dagegen in der Regel selbst zu sorgen. Das Transfersystem ist in der Praxis bei hoch spezialisierten multifunktionalen Behältern schwierig umzusetzen. Logistik-Dienstleister setzen in der Regel auf standardisierte und weit verbreitete Mehrwegtransportverpackungen, um einen möglichst hohen Kundenkreis zu erreichen.

Depotsystem

Bei einem Depotsystem für Mehrwegbehälter übernimmt in der Regel der Systembetreiber alle anfallenden Aufgaben im Bereich der Rückführlogistik. Die Reinigung, Reparatur, Lagerung und Abrechnung erfolgen über das Depot des Systembetreibers. Neben

dem Verbuchungssystem und dem Pfandsystem existieren in der Praxis auch benutzerspezifische Depotsysteme, die auf individuelle Anforderungen hin angepasst sind.

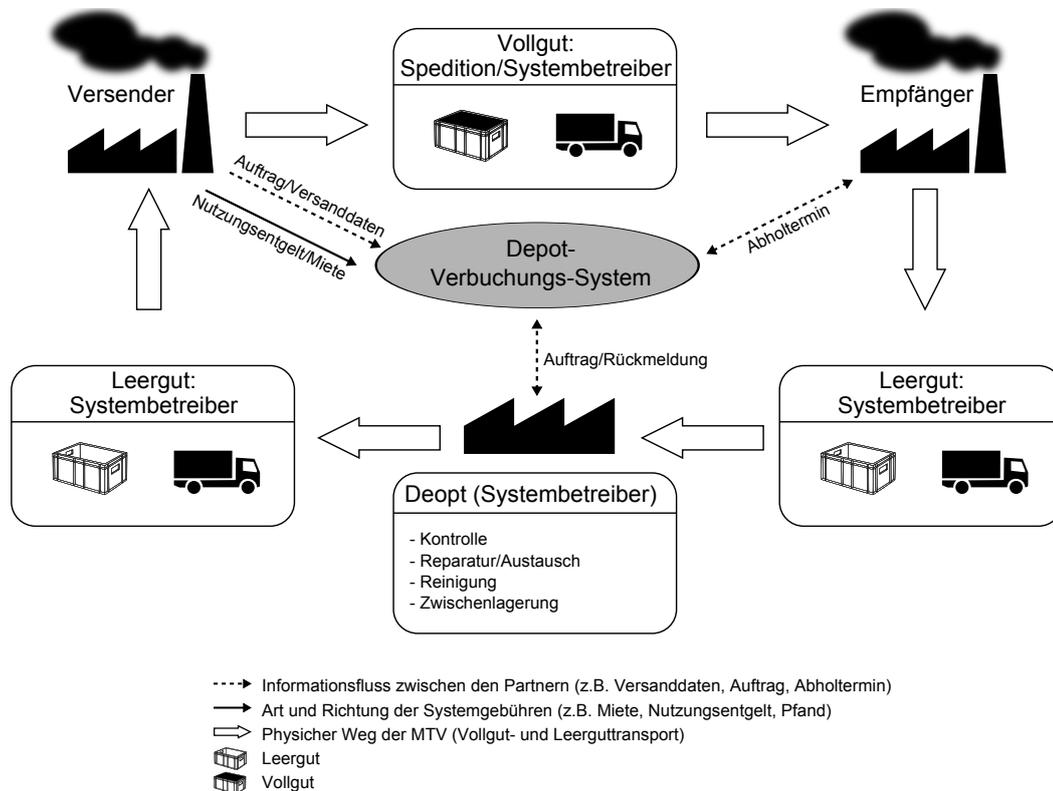


Abb. 4.7: Depot-Verbuchungssystem nach [VDI4460]

Das in Abbildung 4.7 dargestellte System ist ein Depot-Verbuchungssystem. Hier übernimmt der Systemdienstleister alle anfallenden Prozesse sowie auch die Verbuchung und Abrechnung der Behälternutzung zentral für alle Beteiligten. Die Abrechnung für die System- und Behälternutzung kann dabei als pauschale Miete für einen Zeitraum oder als Nutzungsentgelt für jeden Behälterumlauf erfolgen. Grundsätzlich kann auch ein Versender, der mehrere Empfänger bedient, die Rolle des Systemdienstleisters übernehmen. In diesem Fall entspricht das Depot dem Standort des Versenders. Das Depotsystem eignet sich gut für den Umlauf von multifunktionalen Behältern. Nachteilig sind jedoch die Umlaufzeiten der Behälter. Ursache ist das Abrechnungssystem, das in vielen Fällen auf einen umlaufbezogenen Entgelt basiert. Für den Empfänger macht es keinen Unterschied, wie schnell er die Behälter zurückführt. Folglich ist er wenig motiviert, den Umlauf zu beschleunigen. Dieses Verhalten resultiert letztendlich in einem zu hohem Systembestand und den damit verbundenen hohen Kapitalkosten.

Im Gegensatz zum Verbuchungssystem kann der Systembetreiber beim Pfandsystem (vgl. Abbildung 4.8) auf eine explizite Bestandsverwaltung verzichten, da er ein Pfand für die Mehrwegbehälter erhebt, welches über die Stufen der logistischen Kette weitergegeben wird, Schwund kann somit minimiert werden und wird durch das Pfand automatisch verursachungsgerecht verrechnet. Die Systemkosten können wie beim Verbuchungssystem über Pauschalmiete oder Nutzungsentgelt erfolgen. Pfandsysteme sind für multifunktionale Behälter sehr gut geeignet, erweisen sich in der Praxis jedoch des öfteren als unpraktikabel, da die Finanzströme nicht synchron mit dem Materialfluss erfolgen.

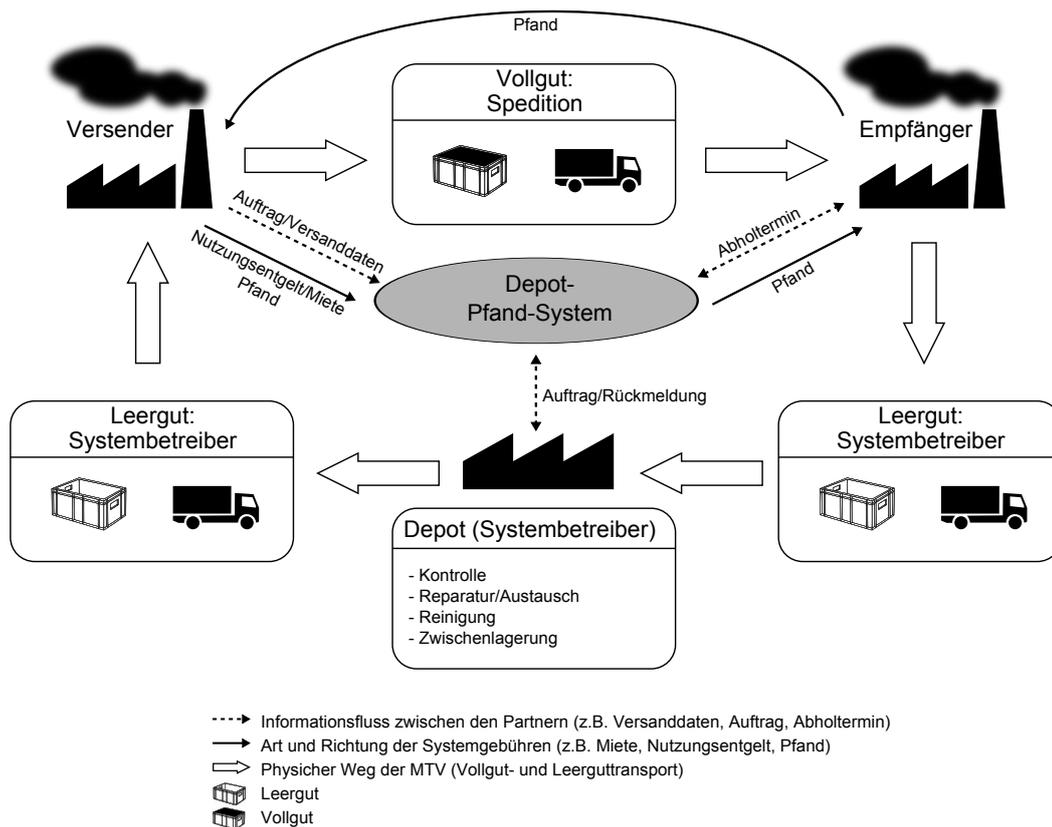


Abb. 4.8: Depot-Pfandsystem nach [VDI4460]

Kommt ein nutzerspezifisches Depotsystem zum Einsatz, so wird, abhängig von den jeweiligen mit einem Versender ausgehandelten Konditionen und dessen Dienstleistungsumfang, zwischen den Modellen des Verbuchungs- und Pfand-Systems variiert. Das System ist daher in der Regel flexibler, erfordert allerdings auch einen höheren Koordinationsaufwand.

Wie bereits erwähnt, werden Mehrwegsysteme ebenso nach ihrer Zugänglichkeit und Anzahl Systemteilnehmer klassifiziert (vgl. [BBG⁺06]). Folgende Mehrwegsysteme werden dabei unterschieden:

- Geschlossene Mehrwegsysteme
- Branchenspezifische Mehrwegsysteme
- Offene Mehrwegsysteme
- Bilaterale Mehrwegsysteme
- Multilaterale Mehrwegsysteme

Geschlossene Mehrwegsysteme zeichnen sich dadurch aus, dass Mehrwegtransportverpackungen nur innerhalb eines Unternehmens getauscht werden. Bei branchenspezifischen Systemen gehören Versender und Empfänger zumindest der gleichen Branche an. Offene Systeme dagegen sind weder unternehmens- noch branchengebunden. Sie stehen für Teilnehmer aller Branchen offen.

Weiterhin wird nach der Anzahl Systemteilnehmer unterschieden. Während bei bilateralen Systemen Mehrwegtransportverpackungen nur zwischen einem Versender und einem Empfänger getauscht werden, können sich bei multilateralen Systemen mehrere Versender und mehrere Empfänger beteiligen.

Geschlossene wie auch branchenspezifische Systeme sind grundsätzlich eher dazu geeignet, spezielle Mehrwegverpackungen, denen multifunktionale Behälter zu zuordnen sind, einzusetzen. Bei offenen Systemen kommen eher standardisierte Mehrwegverpackungen wie beispielsweise die Euro-Palette zum Einsatz.

Bei bilateralen Systemen werden stets dieselben Mehrwegverpackungen getauscht. Bei multilateralen Systemen ist dies nicht mehr der Fall. Eine Bestandsführung ist hier erforderlich. Es werden bei den einzelnen Teilnehmern alle Mehrwegtransportverpackungen mit dem Beladezustand (Vollgut oder Leergut) erfasst. Dadurch können Über- und Unterbestände festgestellt werden. Gegebenenfalls wird im Bedarfsfall ein Austausch durchgeführt oder neue Verpackungen zugeführt.

Weiterhin stellen Baumann et al. das Pool- und Pfandsystem vor [BBG⁺06]. Beim Poolsystem, das weitestgehend dem Depotsystem nach VDI4460 entspricht, werden die Mehrwegtransportverpackungen vom Empfänger nicht direkt zum Versender transportiert, sondern einem gemeinsamen Pool zugeführt, aus dem die Versorger wiederum versorgt werden. Dies ermöglicht insbesondere die synergetische Nutzung zentraler Ressourcen für zum Beispiel Reinigung und Reparatur.

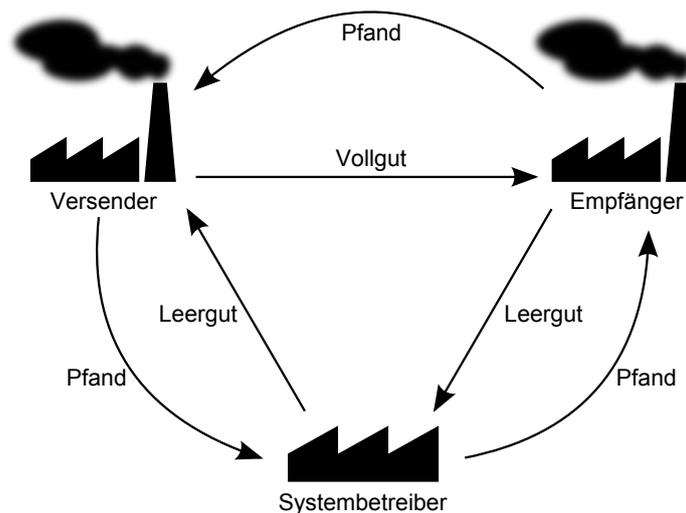


Abb. 4.9: Pfandsystem nach [BBG⁺06]

Abbildung 4.9 zeigt Material- und Zahlungsflüsse bei einem auf Pfand basierendem Poolsystem. Dabei zahlt der Versender ein Pfand an den Systembetreiber für die zur Verfügung gestellten Mehrwegverpackungen. Die Höhe des Pfandes ist frei wählbar, orientiert sich oftmals jedoch an der Höhe des Wiederbeschaffungspreises für eine Mehrwegverpackung. Der Empfänger der Mehrwegverpackungen wiederum muss seinerseits das Pfand an den Versender zahlen. Sobald er die Mehrwegverpackungen an den Systembetreiber zurückführt, wird auch ihm das Pfand erstattet. Der Vorteil des Pfandsystems besteht darin, dass eine Bestandsführung nicht erforderlich ist. Wenn eine Mehrwegverpackung verloren geht oder zerstört wird, kann eine Neubeschaffung durch das Pfand finanziert werden. Weiterhin veranlasst das im Pfand gebundene Kapital den jeweiligen Besitzer zur schnellen Weitergabe der Verpackungen, so dass Umlaufdauern spürbar reduziert werden. Dies gilt insbesondere für hochpreisige Behältnisse. Wie bereits weiter oben beschrieben, erweisen sich Pfandsysteme in der Praxis als schwierig durchsetzbar.

4.2 Organisationsmodell mit integriertem Ladungsträgermanagement

Basierend auf den vorangegangenen Analysen bestehender Organisationsmodelle für Mehrwegtransportverpackungen sowie den gestellten Anforderungen an multifunktionale Behälter wurde ein Organisationsmodell entwickelt, das insbesondere das Ladungsträgermanagement mit einbezieht. Dieser Aspekt wird bei den dargestellten Organisationsformen vernachlässigt.

Bei multifunktionalen Behältersystemen handelt es sich in der Regel um Systeme, bei denen ein Versender mehrere Empfänger mit einem Produkt versorgt (vgl. Abbildung 4.10). Die eingesetzten multifunktionalen Behälter zirkulieren zwischen dem Versender und seinen Empfängern. Eine Weiterreichung der Behälter vom Empfänger an weitere Empfänger konnte nicht beobachtet werden.

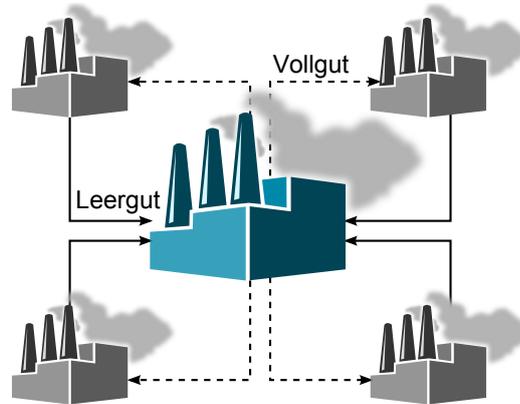


Abb. 4.10: Referenzmehrwegsystem multifunktionaler Behälter

Die Übertragung von Organisationsformen und Datenmodellen bestehender Mehrwegsysteme wie beispielsweise der für Europaletten oder KLT-Behälter führt zu den bekannten Problemen, unter denen Mehrwegsysteme im Allgemeinen leiden: hohe Umlaufdauer, hohe Bestände sowie hohe Schadens- und Schwundraten. Dies ist insbesondere kritisch bei Ladungsträgern, die teilweise einen Eigenwert von mehreren hundert bis tausend Euro besitzen. Aufgrund des hohen Eigenwertes gilt es den Ladungsträgerbestand im gesamten Mehrwegsystem zu minimieren, da Überbestände hohe Investitionen sowie hohe Kosten bedingen. Hauptursache für die genannten Problemfelder stellt insbesondere die fehlende Transparenz über Ladungsträgerbewegungen dar. Diese führt einerseits zu hohen Sicherheitsbeständen und verhindert andererseits die verursachungsgerechte Zuordnung von Beschädigungs- und Verlustkosten, die so letztendlich oftmals der Eigentümer der Ladungsträger tragen muss.

Das Bestandsmanagement von Ladungsträgern wird in vielen Fällen noch dezentral von den Teilnehmern des Mehrwegsystems durchgeführt (vgl. Abbildung 4.11). Beim Warenausgang werden Ladungsträgeranzahl sowie der Empfänger notiert, beim Wareneingang das Ladungsträgerkonto des Empfängers wieder entlastet. Der Griff zum Notizblock und die Nutzung eines Tabellenkalkulationsprogramms sind dabei nach wie vor stark verbreitet. Auf diese Weise verfährt jeder Teilnehmer des Systems und führt eigene Konten, die

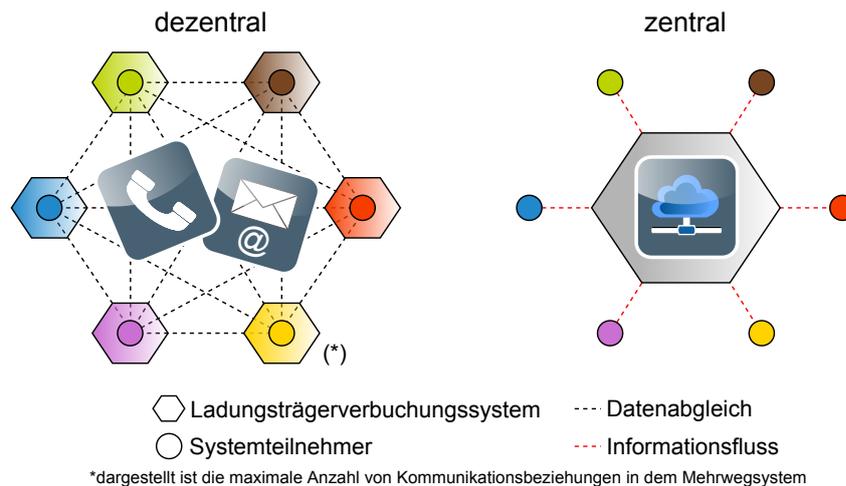


Abb. 4.11: Zentrales vs. dezentrales Ladungsträgerverbuchungssystem

in definierten Intervallen untereinander abgeglichen werden. Bestandsdifferenzen zwischen den Teilnehmern sind vorprogrammiert, diese aufzuklären ist nahezu unmöglich. Aus diesem Grund ist der Einsatz von Ladungsträgermanagementsoftware in den vergangenen Jahren deutlich angestiegen. Mit Hilfe von cloud-basierten Lösungen können Bestände in Echtzeit synchronisiert werden (vgl. Abbildung 4.11, rechts). Jedoch werden meist lediglich die Mengen je Ladungsträgertyp gebucht, so dass die individuellen Bewegungen eines bestimmten Ladungsträgers nicht aufgelöst werden können. Weiterhin können diese Systeme den Erfassungsaufwand gegenüber den herkömmlichen Lösungen nicht reduzieren, da der Ladungsträger nur in den seltensten Fällen als Informationsträger genutzt wird. Stattdessen wird die Nummer der Versandeinheit für jeden Versandprozess an die Ladeinheit temporär appliziert.

Ein zusätzliches Problem stellen geringe Umlaufzahlen dar. Teilweise erreicht ein Ladungsträger weniger als zehn Umläufe pro Jahr. Die Motivation der einzelnen Systemteilnehmer, die Ladungsträger schnellstmöglich in den Kreislauf zurückzuführen, ist gering. Die Abrechnung eines Nutzungsentgelts erfolgt, sofern es denn erhoben wird, pro Umlauf, so dass es für den Nutzer keinen Unterschied macht, wie schnell er den Ladungsträger zurückführt.

Das höchste Ziel ist es, Transparenz und Synchronisation hinsichtlich Bestand und Ladungsträgerbewegungen zu schaffen. Weiterhin soll eine nutzungszeitabhängige Entgeltabrechnung die Umlaufdauer senken. Besonderer Wert wird darauf gelegt, keine separaten Erfassungsprozesse für das Ladungsträgermanagement einzuführen, sondern den damit einhergehenden Informationsbedarf in die ohnehin vorhandenen Erfassungsprozesse zu integrieren. Die Adaption bestehender ERP-Systeme muss auf ein Minimum beschränkt werden.

Eine Rückverfolgbarkeit auf Ladungsträgerebene kann nur realisiert werden, wenn jeder Ladungsträger mit einer eindeutigen und statischen Identifikationsnummer ausgestattet wird. Die Nummer der Versandeinheit kann dies nicht leisten. Sie wird nur temporär vergeben und auf einem Etikett kodiert am Ladungsträger befestigt. Die Synchronisierung der Bestände sowie die Abbildung der Ladungsträgerbewegungen verlangt ein zentrales System. Hierfür sind cloud- bzw. web-basierte Ladungsträgermanagementsysteme prädestiniert. Das Ladungsträgermanagementsystem (LTMS) wird über standardisier-

te Datenschnittstellen an die ERP-Systeme der einzelnen Akteure angebunden, ein ERP-Customizing wird überflüssig. Die ERP-Systeme erhalten zudem vom LTMS ausschließlich Informationen, die erwartet werden und verarbeitet werden können.

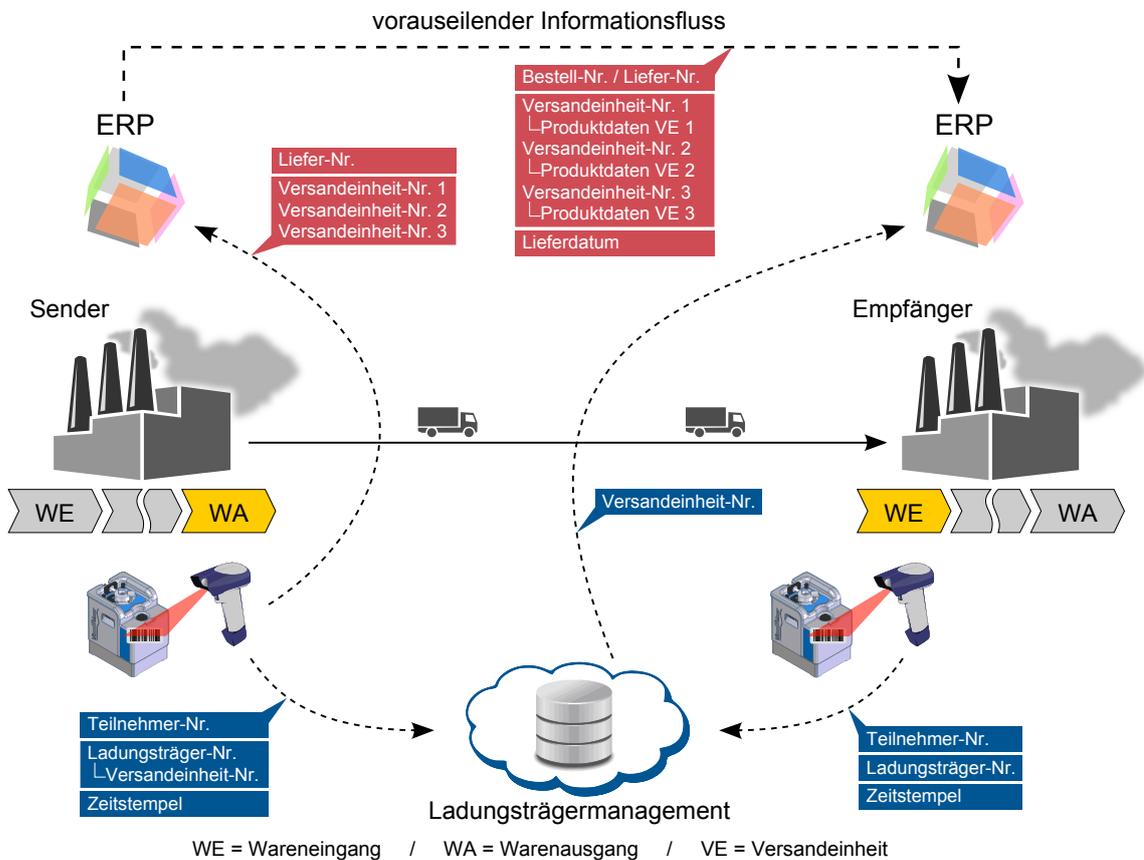


Abb. 4.12: Integriertes Ladungsträgermanagementsystem

Abbildung 4.12 zeigt das Konzept eines integrierten Ladungsträgermanagementsystems. Im Warenausgang des Senders wird die ID des Ladungsträgers erfasst und mit der vom ERP-System genutzten Nummer der Versandeinheit verheiratet. Eine Etikettierung entfällt. Der Lagerrechner sendet sowohl Daten an das ERP-System als auch an das LTMS. Das LTMS erhält ein Datenset, das mehrere Informationsblöcke enthält: Die Teilnehmernummer zeigt an, wer den Buchungsvorgang durchführt. Ladungsträger-ID und die Nummer der Versandeinheit werden übermittelt und im LTMS verknüpft. Ein Zeitstempel wird ebenso gesendet und ermöglicht die Berechnung einer Nutzungsdauer, die zwischen der Eingangsbuchung im Wareneingang und der Ausgangsbuchung im Warenausgang gemessen wird. Der Empfänger des Ladungsträgers erfasst die Ladungsträger-ID und sendet diese inkl. seiner Teilnehmernummer und Zeitstempel an das LTMS. Dieses fragt die zugehörige Nummer der Versandeinheit ab und liefert diese wiederum an das ERP-System des Empfängers.

Das vorgestellte Konzept sieht es vor, Bewegungen auf Ladungsträgerebene systemübergreifend und zentral bei jedem Zu- und Abgang zu erfassen. Dies schafft die geforderte Transparenz der Ladungsträgerverwaltung. Zum einen kann auf dieser Datenbasis nachvollzogen werden, wo sich welche Ladungsträger seit wann befinden. Zum anderen kann die gesamte Ladungsträgerflussgeschichte für jeden einzelnen Ladungsträger abgebildet werden.

Letzteres ist eine wichtige Voraussetzung zur Gewinnung von Planungskennzahlen wie beispielsweise der durchschnittlichen Umlaufanzahl, deren Kenntnis eine Reduktion des Sicherheitsbestands ermöglicht. In der Regel ergebnislose Diskussionen zwischen den Lieferpartnern über den Verbleib der Behälter gehören der Vergangenheit an. Eine nutzungszeitabhängige Entgeltabrechnung beschleunigt zudem den Ladungsträgerkreislauf und reduziert Bestände. In den operativen Verbuchungsprozessen bleibt das im Hintergrund arbeitende Ladungsträgermanagementsystem unsichtbar und erfordert keinen zusätzlichen Erfassungsaufwand.

5 Strukturierung der Daten- und Informationsschnittstellen

Bei der Implementierung der Konzepte sind die Gewährleistung eines kompatiblen Datenformats und die entsprechende Anpassung existierender Datenschnittstellen an die verwendete Datenstruktur elementar. Im Folgenden werden vor diesem Hintergrund bestehende Datenschnittstellen in der gesamten Logistikkette analysiert und auf Funktionalität hinsichtlich der zu übertragenden Daten eingestuft. Eine besondere Bedeutung hat dies vor dem Hintergrund der sehr heterogenen Datenstrukturen und Standardisierungen sowohl in der Logistik als auch in der Produktion. Die Erfahrung zeigt, dass es nur zum Teil branchenübergreifende Standards hinsichtlich Datenformat und Datenaustausch gibt.

Systeme, die unterschiedliche physikalische, elektrische oder mechanische Eigenschaften besitzen, können durch Schnittstellen miteinander verbunden werden. Mittels Datenschnittstellen werden Daten und Steuersignale an eine Systemkomponente übergeben, welche die Informationen verwalten und verwerten kann. Schnittstellen bilden demnach den Übergang von einem System in ein anderes System. Besonders in der Computer- und Netzwerktechnik stellen Schnittstellen elementare Systembestandteile dar. Eine schnelle und unkomplizierte Vernetzung unterschiedlicher Komponenten wird durch eine zunehmende Standardisierung erreicht. Unterscheiden lassen sich Schnittstellen vor allem anhand ihres Übertragungsverfahrens und ihrer Übertragungsgeschwindigkeit. Darüber hinaus kann zwischen internen und externen Schnittstellen differenziert werden. Intern wird der Datenaustausch innerhalb einer Systemkomponente ausgeführt. Externe Schnittstellen verbinden mindestens zwei unterschiedliche Bestandteile eines Systems. Bezogen auf die vorliegende Fragestellung sind externe Schnittstellen von Bedeutung. Dabei wird zunächst eine Aufteilung in kabelgebundene und kabellose Datenübertragung vorgenommen. In Folge dessen werden die wichtigsten Schnittstellen für die Vernetzung von Sensormodulen beschrieben.

Eine Strukturierung von unterschiedlichen Datenschnittstellen kann auf viele Art und Weisen geschehen. Im folgenden werden kabelgebundene und kabellose Schnittstellen unterschieden.

Die in Abbildung 5.1 aufgelisteten Schnittstellen bilden einen Auszug der aktuell am häufigsten verwendeten Verbindungen. Besonders in der Kategorie kabelgebunden besteht eine Vielzahl von weiteren Datenschnittstellen. Bedingt durch die zunehmende Standardisierung haben jedoch viele ältere Verbindungen an Bedeutung verloren. In der Auflistung der kabellosen Datenschnittstellen wurde eine weitere Unterteilung in die Bereiche „Multimedia“, „Mobil“ und „Industrie“ vorgenommen. Dabei kommt übergreifend Funkübertragung zum Einsatz, wobei Infrarot gesondert als optische Übertragungstechnik betrachtet werden kann.

In den folgenden Abschnitten werden die Datenschnittstellen, welche besonders häufig für das Auslesen kombinierter Sensormodule verwendet werden, näher beschrieben. In der Kategorie kabelgebunden handelt es sich dabei um die USB Schnittstelle. In dem Bereich der kabellosen multimedia Datenschnittstellen wird auf W-LAN, Bluetooth und Infrarot

Datenschnittstellen			
Kabelgebunden	Kabellos – Funk		
	Multimedia	Mobil	Industrie
PCIe 1.0 x1/x16	W-LAN	AMPS	RFID
PCIe 2.0 x1/x16	Bluetooth	GSM	Zigbee
PCIe 3.0 x1/x16	Infrarot	HSCSD	IW-LAN
USB 1.1	CWUSB	GPRS	NFC
USB 2.0	Wibree	EDGE	
USB 3.0		UMTS	
FireWire 400		HSDPA	
FireWire 800		LTE	
FireWire 1600		LTE Advanced	

Abb. 5.1: Datenschnittstellen nach [Sch03a], [Sch03b]

eingegangen. Voraussetzung für die Verwendung solcher Schnittstellen ist im Gegensatz zu mobilen Verbindungen eine räumliche Nähe. In der Kategorie Mobil wird ein kurzer Überblick über alle aufgelisteten Technologien gegeben. Industrieschnittstellen zeichnen sich vor allem über Eigenschaften aus, die besonders für industrielle Anwendungen von Bedeutung sind.

5.1 Kabelgebundene Datenschnittstellen

Wie bereits beschrieben fand in den vergangenen Jahren eine Standardisierung der unterschiedlichen kabelgebundenen Datenschnittstellen statt. Der Trend geht in Richtung Universal-Schnittstelle. Darüber hinaus hat eine Umstellung von parallelen Bussystemen auf Punkt-zu-Punkt Verbindungen stattgefunden. Als Bussystem wird eine direkte Verbindung zwischen allen Systemteilnehmern beschrieben (vgl. [HBF08]). Die Umstellung wurde nötig, da die technischen Probleme mit parallel geführten Leitungen bei steigender Taktfrequenz zu groß wurden. Serielle Verbindungen bieten hingegen die Vorteile einer schnellen Übertragungsgeschwindigkeit, einer automatischen Konfiguration sowie einer einfachen Handhabung. Sie bestehen aus Daten- und Steuerleitungen, die von den angeschlossenen Geräten (Slaves) und Rechnern (Master) gemeinsam genutzt werden (vgl. [Sch03a] [Bus11]).

Im Bereich der kombinierten Sensormodule kommt in der Kategorie der kabelgebundenen Schnittstellen vor allem USB zum Einsatz. Der Entwicklung von USB lag die Idee einer einheitlichen Schnittstelle für Notebooks und PCs zugrunde. Wie bereits beschrieben, handelt es sich dabei um einen seriellen Bus, d.h. die einzelnen Datenpakete werden

nacheinander übertragen. Die Schnittstelle besteht aus vier Kabeln, wobei jeweils zwei zur Datenübertragung und zwei zur Stromversorgung der Geräte dienen. Über einen Hub ist es möglich die Schnittstelle zu erweitern, bis zu 127 Geräte können angeschlossen werden. Besondere Vorteile der USB-Schnittstelle liegen im Hot-Pluggin, welches es ermöglicht, Geräte anzuschließen ohne den PC auszuschalten und im Plug-and-Play, welches die Selbstkonfiguration der Peripheriegeräte impliziert. Beide Eigenschaften sind für die Nutzung von kombinierten Sensormodulen dienlich. Aktuell gibt es drei unterschiedliche USB-Generationen, die sich in ihrer Übertragungsgeschwindigkeit unterscheiden:

- USB 1.1 mit 12 MBit/s
- USB 2.0 mit 489 MBit/s
- USB 3.0 mit 5 GBit/s

Die Übertragungsraten der Generationen 2.0 und 3.0 ermöglichen das Übermitteln von großen Datenmengen, die z.B. bei HD-Videos anfallen. Die maximale USB-Kabellänge beträgt fünf Meter. Durch den Einsatz von Repeatern lässt sich im Maximum eine Länge von 25 Metern realisieren (vgl. [Bus11], [HH11]).

5.2 Kabellose Datenschnittstellen

Im Unterschied zu kabelgebundenen Verbindungen tauschen kabellose Schnittstellen Daten ohne Kabel über die Luft aus. In unserer heutigen Gesellschaft gibt es kaum einen Bereich, in dem auf kabellose Übertragungstechniken verzichtet werden kann. Heinrich Hertz gelang es als erster, Nachrichten mittels magnetischer Felder zu übermitteln, weshalb die Frequenz noch heute in der Einheit Hz, Hertz, angegeben wird. Mit Hilfe eines Oszillators kann ein Wechselspannungssignal in einer bestimmten Frequenz erzeugt werden. Ab 16.000 Schwingungen in der Sekunde strahlen die Signale in den freien Raum ab, ohne zu dem Leiter zurück zu kehren. Die zu übermittelnde Information wird in Form einer anderen Frequenz der erzeugten Trägerfrequenz mitgegeben. Damit kein Chaos bei der Übermittlung der Informationen entsteht, wurden Frequenzbereiche festgelegt. Radio, Fernsehen, Polizei- oder Mobilfunk sind jeweils unterschiedlichen Frequenzbereichen zugeteilt. Darüber hinaus besteht eine Vielzahl von weiteren Anwendungen mit einem eigenen Abschnitt. So nutzen aufgrund stetiger technischer Verbesserungen mittlerweile sogar lokale Netzwerke den freien Raum als Übertragungsmedium. Die Breite der unterschiedlichen Frequenzbereiche variiert, als Fachbegriff fällt häufig der Ausdruck „Bandbreite“. Ein funktionierendes Funksystem kann also nur gegeben sein, wenn sich alle Medien an den ihnen zugewiesenen Bereich halten. Als Vorteil der kabellosen Übertragungstechniken gilt genau der Umstand, dass kein Kabel zur Übertragung genutzt werden muss. Nachteilig ist die im Vergleich geringere Übertragungsgeschwindigkeit. Außerdem ist ein Zugriff für Unbefugte leichter zu realisieren. Im Folgenden werden, ausgewählte kabellose Datenschnittstellen, die im Bereich der kombinierten Sensormodule zum Einsatz kommen, erläutert (vgl. [Sch03a]).

Multimedia

Kabellose Multimediasschnittstellen, die zum Beispiel im Bereich der kombinierten Sensormodule Anwendung finden, sind W-LAN, Bluetooth und Infrarot. Alle drei werden im Alltag vor allem dazu genutzt, einen Computer mit Peripheriegeräten zu verbinden. Auch Datenübertragungen zwischen zwei mobilen Geräten, wie Handys, lassen sich realisieren. W-LAN ist eine auf Funk basierte Datenschnittstelle welche in lokalen Netzwerken Anwendung findet. Als meisterverbreiteter Standard gilt IEEE 802.11x, eine Norm für die Kommunikation in Funknetzen. Im Maximum lassen sich Übertragungsraten von bis zu 54 MBit/s realisieren bei einer maximalen Standardübertragungsweite von 50 Metern. Je nach System lassen sich in Einzelfällen auch weitaus höhere Übertragungsweiten realisieren. Bedingt durch die Normierung in IEEE 802.11x reichen die Übertragungsfrequenzen bis zu 5,4 GHz (vgl. [Bus11], [HH11]). Bluetooth arbeitet mit Frequenzen von 2,402 bis 2,480 GHz, in welchem 79 Kanäle mit einer Breite von je 1 MHz untergebracht sind. Als Standard IEEE 802.15.1 wird es offiziell zur kabellosen, systemübergreifenden Datenübertragung verwendet. Entwickelt wurde Bluetooth von der Firma Ericsson zur Datenübertragung zwischen Handys, Computern und anderen peripheren Komponenten, wie Messgeräten. Die maximale Übertragungsgeschwindigkeit beträgt 2,2 MBit/s. Einem Master können jeweils bis zu sieben Slaves zugeteilt werden, die sich dabei allerdings die Bandbreite teilen (vgl. [Bus11], [HH11]). Im Unterschied zu W-LAN und Bluetooth gilt Infrarot als optische Schnittstelle. Infrarot arbeitet nach dem IrDa-Standard oder dem IrLAN-Standard. Ursprünglich wurde es, ähnlich wie Bluetooth, für die Kommunikation von Geräten im Nahbereich eines PCs entwickelt. Der Empfang geschieht dabei über Phototransistoren. Da die maximale Reichweite im Standardbetrieb lediglich einen Meter beträgt und ein ständiger Sichtkontakt zwischen den kommunizierenden Geräten vorhanden sein muss, wird Infrarot zusehends von Bluetooth verdrängt. Die Übertragungsrate beim standardmäßigen Infrarot beträgt maximal 115,2 kBit/s, beim schnellen Infrarot 4 MBit/s (vgl. [SBH11]).

Mobilfunk

Die Echtzeitübertragung von Daten wird in den meisten Fällen mittels Mobilfunksystemen realisiert. Auf der einen Seite ist es möglich via SMS den Nutzer bei der Überschreitung eines bestimmten Grenzwertes zu informieren, auf der anderen Seite kann jedoch auch eine permanente Überwachung durchgeführt werden. Mobilfunksysteme lassen sich aktuell in vier Generationen aufteilen, welche nachfolgend in Abbildung 5.2 aufgelistet sind:

In der ersten Generation wurde noch eine analoge Übertragungstechnik verwendet. Es gab zu dieser Zeit drei verschiedene Netze, A, B und C, wobei A das erste existierende Netz war, B das zweite und C entsprechend das dritte. Die Übertragung wurde in allen drei Netzen via Leitungsvermittlung realisiert. Im Gegensatz zur Paketvermittlung wird ein Kanal exklusiv der vorliegenden Übertragung zugeteilt. Bei der Paketvermittlung kann ein Kanal von mehreren Verbindungen gleichzeitig genutzt werden, was besonders bei aufwändigeren Mechanismen von Vorteil ist. Mit GSM wurde in der zweiten Generation erstmals digitale Übertragungstechnik angewandt. Durch diese Erneuerung konnten die Kapazitäten der

Mobilfunktechnik			
Generation	Technik	Übertragung	Bandbreite
1G	AMPS	Analog, Leitung	-
2G	GSM	Digital, Leitung	9,6 kBit/s
2.5G	HSCSD	Digital, Leitung	57,6 kBit/s
	GPRS	Digital, Paket	115 kBit/s
2.75G	EDGE	Digital, Paket	236 kBit/s
3G	UMTS	Digital, Paket	384 kBit/s
3.5G	HSDPA	Digital, Paket	14,4 MBit/s
3.9G	LTE	Digital, Paket	150 MBit/s
4G	LTE Advanced	Digital, Paket	1 GBit/s

Abb. 5.2: Mobilfunktechnik [Sch03b]

Schnittstellen besser ausgelastet werden. Es gilt noch heute als Mobilfunkstandard, welcher in den meisten Ländern der Erde verwendet wird. Als Zwischenschritt von der zweiten zur dritten Generation gelten 2.5G und 2.75G. Mit GPRS wurde erstmals die Paketvermittlung anstatt der Leitungsvermittlung angewandt. Entsprechend steigerte sich die zur Verfügung stehende Bandbreite. Eine wiederum erhöhte Bandbreite brachte die Einführung des EDGE-Standards mit sich. Zu den Bestandteilen der dritten Generation mobiler Funktechnik zählen beispielsweise Videotelefonie und breitbandige Internetnutzung. Wie bereits die weiter entwickelten Übertragungstechniken der zweiten Generation arbeitet UMTS mit einer digitalen Paketvermittlung. Mit einer deutlich erhöhten Bandbreite gelten HSDPA und LTE als Zwischenschritt zur vierten Generation, dem LTE Advanced, welches eine Übertragung mit einer Bandbreite von bis zu 1 GBit/s zulässt. Alle Systeme haben ihre Bestandteile gemein, nämlich eine Basisstation und einen Sender. Das Mobilfunknetz ist in mehrere Zellen eingeteilt, welche jeweils mindestens eine Basisstation besitzt. Je mehr Basisstationen in einer Zelle zur Verfügung stehen, desto besser ist die Qualität der Datenübertragung zu bewerten.

Industriefunk

Datenschnittstellen, die als Industriestandard gelten und in Verbindung mit kombinierten Sensormodulen zum Einsatz kommen, sind vor allem ZigBee und RFID. Beide Technologien zeichnen sich dadurch aus, dass sie in besonders kleine Bauteile eingesetzt werden können und zusätzlich eine besonders lange Laufzeit aufweisen. Zigbee basiert auf dem Standard IEEE 802.15.5, der beispielsweise zum Verbinden von Sensoren auf einer Strecke von 10 bis 100 Meter eingesetzt wird. Der Frequenzbereich liegt bei 868 MHz und 2,45 GHz, wobei eine Übertragungsrate von bis zu 250 kBit/s erreicht werden kann. Als Bestandteile werden ein Router, ein Koordinator und ein Endgerät benötigt.

Die besondere Eignung für den Einsatz in der Industrie ist vor allem der energieeffizienten Datenübertragung geschuldet. Gerade in Bereichen, in denen sich der Austausch von Batterien schwierig gestaltet, ist der Einsatz von Zigbee empfehlenswert. Durch eine besonders geringe Latenzzeit eignet es sich auch für den Echtzeitbereich. Vielfach wird es als Standard für die spontane Vernetzung von batteriebetriebenen Sensoren gesehen (vgl. [HH11]). RFID ist ähnlich wie Zigbee eine Technologie zum Erfassen und Übertragen von Daten im industriellen Umfeld. Dabei besteht ein RFID-System aus einem Transponder oder Tag, welcher den zu übertragenden Code beinhaltet, und einer Schreib-/Lesestation. Der Transponder ist mit einer nichtbeschreibbaren Speicher ROM ausgestattet. Bei dem Einsatz als mobiler Datenträger wird außerdem ein beschreibbarer Speicher RAM verwendet. Zu den weiteren Bestandteilen eines Transponders zählt die Antenne. Je nach Anwendungsgebiet kann die Größe der Elektronik, Batterie und Antenne variieren. Darüber hinaus lassen sich Transponder in aktiv (mit Batterie) und passiv (ohne Batterie) einteilen. Der passive Transponder erzeugt die nötige Energie aus dem elektromagnetischen Feld des Lesegerätes. Die unterschiedlichen Transpondersysteme lassen sich grob in vier Frequenzbereiche unterteilen: LF (niedrige Frequenz), HF (hohe Frequenz), UHF (ultra hohe Frequenz) und Mikrowelle (sehr hohe Frequenz). Die einzelnen Unterscheidungskriterien sind in Abbildung 5.3 aufgelistet.

RFID-Frequenzen				
	125 kHz	13,56 MHz	868 MHz	2,45 GHz
Wellenlänge	2400 m	22 m	35 cm	12 cm
Energieübertragung	Induktive Kopplung Nahfeld	Induktive Kopplung Nahfeld	Elektromagn. Welle	Elektromagn. Welle
Besonderheiten	Auf Metall lesbar	Durch Dielekt- rum lesbar	Reflektion an Metalloberfläche	Reflektion an Metalloberfläche
Reichweite	1 m	3 m	10 m	> 10 m
Bandbreite EU	5 kHz	14 kHz	3 MHz	9 MHz

Abb. 5.3: RFID-Frequenzen [HBF08]

Wie bereits eingangs erwähnt sind es Eigenschaften, wie die automatische Pulkerfassung, die RFID besonders nützlich im industriellen Einsatz machen (vgl. [HBF08]).

6 Technologieauswahl und Test der Hardwarekomponenten für Identifikation und Sensorik

Im vorliegenden Kapitel wird die Auswahl möglicher Technologiekomponenten im Rahmen eines multifunktionalen Behältersystems fokussiert. Dabei werden einerseits die Möglichkeiten zur Identifikation eines Behälters betrachtet. Gegenüberstellung und Test der Optionen führen dabei zu auf individuelle Anforderungen hin anwendbare Auswahlkriterien. Andererseits wird die technische Umsetzbarkeit der Integration insbesondere von Sensorik, aber auch Aktorik, Kommunikation und weiteren Technologiemodulen in einen Behälter betrachtet. Dabei existieren unterschiedliche Möglichkeiten verschiedener Komplexitätsstufen, vom individuell konfigurierbaren Sensorknoten über handelsübliche Datenlogger hin zu RFID-Transpondern mit integrierter Sensorik.

6.1 Identifikation

Um einen Behälter identifizieren zu können, ist es notwendig, ihn eindeutig zu kennzeichnen. Da in einem Behältersystem zumeist eine große Zahl von Behältern eingesetzt wird, ist es sinnvoll als eindeutiges Kennzeichnungsmerkmal eine fortlaufende Nummer aus einem fest definierten Nummernkreis zu vergeben, welche zudem im Bedarfsfall auch die Identifikation von Behältereigentümer und -typ erlaubt.

Klarschrift

Die einfachste Art, einen mit einer eindeutigen Nummer ausgestatteten Behälter identifizierbar zu machen ist es, diese Nummer auf der Behälteraußenseite anzubringen. Das händische Ablesen dieser Nummer ist weltweit ohne Implementierung einer Infrastruktur möglich, allerdings ist die Fehleranfälligkeit durch Lese- oder Übertragungsfehler sehr hoch. Eine automatische Erkennung durch eine optische OCR-Schrifterkennung ist ebenfalls möglich und verringert die Fehleranfälligkeit, scheitert allerdings im Falle von leichten Verschmutzungen oder Beschädigungen.

Barcode

Die Umsetzung einer Identifikationsnummer in einen eindimensionalen Streifen- beziehungsweise Barcode stellt die gebräuchliche Alternative zum Aufdruck der Seriennummer dar. Das Design erlaubt eine einfache automatische Fokussierung und damit eine gute Maschinenlesbarkeit. Durch die Länge der Streifen des Barcodes ist dieser auch bei leichten Verschmutzungen oder Beschädigungen oftmals noch lesbar.

2D-Codes

Sollen mehr Informationen als auf einem Barcode am Behälter gespeichert werden, bietet sich das Aufbringen eines 2D-Codes an, welcher Informationen als zweidimensionalen Punkt- oder Strichcode kodiert. Durch die Kodierung wird zudem eine teilweise Redundanz der aufgetragenen Informationen ermöglicht, sodass der Code auch bei Beschädigung auslesbar bleibt. Bekanntester Vertreter der 2D-Codes ist der QR-Code.

RFID

Die zuvor aufgezeigten Identifikationsformen erfordern zum Auslesen eine direkte Sichtverbindung im Nahbereich. Um den Identifikationsprozess flexibler gestalten zu können, bietet sich der Einsatz der funkbasierten „Radio-Frequency Identification-“ (RFID-) Technologie an. Dabei wird ein entsprechender Transponder am Behälter angebracht, eine Leseantenne triggert diesen an und liest die gesendeten Informationen aus. Auf Grund dieser Funktionsweise ist auch die gleichzeitige Erfassung mehrerer Transponder, die so genannte Pulklesung, möglich. Zusätzlich zur eigentlichen Identifikationsnummer erlauben eine Vielzahl von RFID-Transponder das Speichern und Auslesen zusätzlicher Informationen. Bei den Transpondern wird zwischen passiven und aktiven Einheiten unterschieden. Passive Transponder besitzen keine eigene Stromversorgung, sondern werden durch das Signal des Readers induktiv mit Energie versorgt und senden daraufhin ihre Kennung aus. Auf Grund der erforderlichen Induktion ist der Abstand zwischen dem passiven Transponder und dem Reader, je nach verwendetem Frequenzbereich, auf einige Zentimeter bis mehrere Meter begrenzt. Aktive Transponder besitzen eine interne Energieversorgung, zumeist in Form einer Primärzelle, welche das Aussenden eines verstärkten Rücksignals erlaubt und so zu Reichweiten von bis zu mehreren Kilometern führen können. Für die Identifikation eines Behälters in einem Behältersystem eignen sich insbesondere passive RFID-Transponder, da diese gegenüber aktiven Tags wesentlich günstiger sind und eine Lesereichweite im Meter-Bereich für die Identifikation eines Behälters an definierten Punkten der logistischen Kette ausreichend ist.

6.2 Sensoren

Um zusätzliche Dienstleistungen an einem Mehrwegbehälter realisieren zu können ist es entscheidend, Kenntnis über den aktuellen Zustand oder über Zustandsänderungen erhalten zu können. Daher ist neben Verortung und Kommunikation die Implementierung einer auf den Anwendungsfall hin angepassten Auswahl von Sensoren in und an den Behälter möglich. So kann die T&T-Lösung mit einfachen Mitteln um Zusatzfunktionalitäten erweitert werden.

Die unterschiedlichen Funktionsprinzipien und Ausprägungen von Sensoren werden im Folgenden dargelegt. Das Wort Sensor stammt von dem lateinischen Wort „Sensus“, dem Sinn, ab. Allen fünf Sinnen des Menschen können entsprechende Sensortypen zugeordnet werden. Sensoren sind demnach Elemente, die es ermöglichen, Umwelteinflüsse zu erfassen.

Sensortypen				
Mensch	Sinn	Organ	Sensorik	Erfassen von
Hören	Gehör	Ohr	Mikrofon	Schall
Sehen	Licht	Auge	Fotozellen	Licht, Konturen
Fühlen	Temperatur	Haut	Thermometer	Wärme
	Schwere	Muskel	Waage	Masse
	Kraft		Dehnmessstreifen	Kraft
	Tastsinn	Nerv	Fühler, Schalter	Form, Lage
Riechen	Geruch	Nase	Rauchmelder	Rauch, Gase
Schmecken	Geschmack	Zunge, Gaumen	Künstliche Zunge	Inhaltsstoffe

Abb. 6.1: Sensoren [HS11]

Zusätzlich können Sensoren weitere chemische, physikalische und biologische Messgrößen aufnehmen, die dem Menschen nicht zugänglich sind. Die Entwicklung der Sensoren ist in den letzten Jahren stetig voran gegangen, so dass zunehmend mehr Umwelteffekte von Sensoren erfasst werden können. Ein Sensor ist ein technisches Element, welches oben genannte Messgrößen aufnimmt und in ein eindeutiges elektrisches Signal umwandelt.



Abb. 6.2: Arbeitsprinzip Sensor [Moc11]

In Abbildung 6.2 ist das Arbeitsprinzip eines Sensors dargestellt. Generell bezeichnen Sensoren Wandler, welche eine physikalische Eingangsgröße (Bewegung, Temperatur, Druck, . . .) unter Berücksichtigung eines bekannten und reproduzierbaren Zusammenhangs in eine messbare Spannung umwandeln (vgl. [Par08]). Unterschieden werden kann dabei in aktive und passive Sensorelemente sowie darin, ob der Sensor ein analoges oder digitales Ausgangssignal liefert.

Passive Sensoren verändern unter dem Einfluss der zu messenden physikalischen Größe ihre elektrischen Eigenschaften (Widerstand, Kapazität, . . .) Daher ist bei dieser Art von Sensoren eine Versorgung durch eine externe Spannung notwendig. Dadurch, dass der Sensor zu jedem Zeitpunkt definierte elektrische Eigenschaften besitzt, ist es möglich, statische Messwerte zu ermitteln.

Aktive Sensoren dagegen benötigen keine Hilfsenergie, sondern erzeugen auf Grund einer Messwertveränderung eine elektrische Spannung. Diese Art von Sensoren nutzt dabei zum Beispiel den piezoelektrischen oder thermoelektrischen Effekt. Statische Messwerte lassen sich hier nicht ermitteln. Gemäß [Par08] ist die Genauigkeit bei aktiven Senso-

ren oft gering und es stellen sich langfristig Abweichungen ein, welche ein Neukalibrieren erforderlich machen.

Messgrößen	
Kategorie	Beispiele
Geometrisch	Neigung Objekterfassung Weg- und Abstandssensoren
Mechanisch	Druck Kraft Masse
Zeitbasiert	Beschleunigung Geschwindigkeit Zeit
Temperaturbasiert	Temperatur als physikalischer Zustand Temperatur und Frequenz Wärmeausdehnung
Elektrische und magnetisch	Ladung Spannung Stromstärke
Radio- und fotometrisch	Farbe Fotometrie Radiometrie
Akustisch	Lautheit Lautstärke Pegel
Klimatische und meteorologisch	Feuchtemessung in geschlossenen Räumen Luftdruck Wind- und Luftströmung
Chemisch	Gase Ionen Redoxpotential
Biologisch und medizinisch	Biosensorik Enzymsensoren Immunosensoren
Fotoelektrisch	Äußere Fotoeffekte Innere Fotoeffekte Strahlung

Abb. 6.3: Messgrößen [Her10]

Die Erfassung der unterschiedlichen Werte geschieht mit Hilfe eines physikalischen Prinzips. Dieses kann u.a. akustisch, induktiv oder kapazitiv sein. In einer Auswertelektronik wird das entstandene Signal so bearbeitet, dass eine Nutzung der Informationen möglich ist. Dabei kann das Ausgangssignal sowohl analoger als auch digitaler Form sein. Analoge Ausgangsdaten sind zum Beispiel Strom, Spannung oder Frequenzangaben. Digitale Ausgangssignale werden in Bit angegeben. Da die Digitaltechnik bei der weiteren Verarbeitung der Daten eine zunehmend wichtigere Rolle spielt, wird häufig ein Analog-Digital-Wandler (A/D-Wandler) in der auswertelektronik verwendet.

Für den Einsatz in und an Behältern relevant sind insbesondere Sensoren, die äußere Einflüsse auf den Behälter und das Transportgut registrieren. Dabei handelt es sich,

maßgeblich um Sensoren, welche mechanische, temperaturbasierte, klimatische sowie geometrische Messgrößen aufnehmen können.

6.3 Indikatoren

Als eine sehr einfache und zugleich kostengünstige Variante der Transportüberwachung können Indikatoren bezeichnet werden. Eine Beschädigung wird zumeist durch eine farbliche, unwiederbringliche Kennzeichnung angezeigt. Ausgelöst wird diese durch die Überschreitung eines zuvor festgelegten Toleranzbereiches. Je nach Einsatzgebiet beruht das Prinzip dieser Indikatoren auf chemischen bzw. physikalischen Reaktionen. Darüber hinaus sind Sicherheitsriegel und Plomben der Gruppe der Indikatoren zuzuordnen.

In Bezug auf die zuvor genannten Risikoquellen bei dem Transport von Gütern werden vor allem Neigungs-, Temperatur-, und Nässeindikatoren eingesetzt. Neigungsindikatoren verfärben sich, sobald das Gut einen zuvor definierten Kippwinkel überschritten hat. Bei Temperatur- und Nässeindikatoren findet eine Verfärbung bei der Überschreitung eines im Vorfeld bestimmten Toleranzbereiches statt. Dabei kommen häufig mehrere Indikatoren zum Einsatz um verschiedene Messbereiche abdecken zu können. Plomben und Sicherheitsriegel werden häufig zum Schutz vor unbefugtem Zugriff eingesetzt. Eine nachträgliche Identifikation ist damit möglich.

Vorteil von Indikatoren sind in erster Linie die im Vergleich geringen Investitionskosten, welche einen flächendeckenden Einsatz ermöglichen. Als Nachteil kann ein Indikator nur anzeigen, ob ein Schaden aufgetreten ist oder nicht, der genaue Zeitpunkt bleibt ungewiss (vgl. [SBH11]). Aufgrund dieses Nachteils wurden Indikatoren im Rahmen des Projekts nicht weiter betrachtet.

6.4 Datenlogger

Als Datenlogger wird eine prozessgesteuerte Speichereinheit bezeichnet. Diese kann Daten kontinuierlich oder diskret auf einem Speichermedium ablegen. Zu den Bestandteilen eines Datenloggers zählen:

- ein programmierbarer Mikroprozessor,
- eine oder mehrere Schnittstellen zur Datenübertragung,
- sowie mindestens ein Kanal zum Anschluss eines Sensors.

Interne Schnittstellen dienen zur Übertragung der Sensordaten auf das Speichermedium, externe Schnittstellen ermöglichen die Weitergabe der gespeicherten Daten an ein Endgerät. Als mögliche Übertragungsarten können beispielsweise USB, W-LAN, Bluetooth, RFID, etc. herangezogen werden. Wie bereits erwähnt kann der Speichervorgang kontinuierlich oder diskret in einem definierten Rhythmus oder bei Dateneingang automatisiert erfolgen. Die Sensordaten werden dabei mit Hilfe eines Analog-Digital-Umsetzers in speicherfähige Daten gewandelt und auf der jeweiligen Speichereinheit abgelegt. Die bereitgestellten Daten können in Folge dessen mittels einer Software ausgelesen werden, dies geht im Vergleich zu einem Indikator mit einem erhöhten Arbeitsaufwand einher. Die

Anwendung eines Datenloggers ermöglicht es mehrere Risikoquellen gleichzeitig zu überwachen. Durch Hinzunahme von verschiedenen Sensoren können zum Beispiel Temperatur, Feuchte, Beschleunigung und Neigung zugleich geprüft werden. In Bezug auf die eingangs erwähnten Risikoquellen eignen sich Datenlogger für den Schutz vor Diebstahl nur bedingt. In den meisten Fällen verfügen Datenlogger über kein Modul, welches die Ortung des Behälters ermöglicht. Erschütterungen lassen sich durch den Einsatz von Schocksensoren erfassen. Das Neigen und Kippen eines Gutes während des Transportes kann ebenfalls durch einen Datenlogger erkannt werden. Darüber hinaus liefert der Logger Daten zu Zeitpunkt und Winkel des Kippvorgangs. Es kann ziemlich genau festgehalten werden, wann eine mögliche Beschädigung eingetreten ist. Ähnlich präzise Daten liefern die Sensormodule bei der Überwachung von Temperaturüberschreitungen. Je nach Datenlogger können bis zu acht verschiedene Temperaturbereiche überwacht werden. Des Weiteren sind einige Varianten in der Lage neben der Aufzeichnung von Daten auch Warntöne bei Überschreitung des Toleranzbereiches abzugeben. Zur Messung der Feuchtigkeit wird häufig die Außentemperatur aufgenommen. Es wird ermittelt, zu welchem Zeitpunkt der Taupunkt überschritten wird und sich Tropfen bilden, die sich ablagern können. Besonders im Bereich der Seefahrt oder bei der Zwischenlagerung von Gütern scheint der Einsatz von Datenloggern mit Feuchtigkeitssensoren sinnvoll. Schäden durch Schimmel oder Korrosion können vorgebeugt werden. Akustische Signale können auch in diesem Fall zur Warnung des Personals eingesetzt werden. Neben ihrer Funktion unterscheiden sich Datenlogger vor allem in ihren Abmessungen, ihrer Speichergröße, ihrer Datenschnittstelle und ihrer Akkulaufzeit. Besonders Minidatenlogger gewinnen im Transportwesen vermehrt an Bedeutung. Durch ihre vergleichsweise geringen Abmaße lassen sie sich einfach in Transportbehälter integrieren. Abhängig von Akkulaufzeit und Speicherkapazität kann ein Datenlogger bis zu mehreren Jahren im Einsatz sein.

Marktübersicht Datenlogger

Im Folgenden werden am Markt erhältliche Datenlogger vorgestellt. Innerhalb der Recherche konnten verschiedene Datenloggertypen identifiziert werden, die anhand unterschiedlicher Kriterien folgend aufgezeigt werden. Das erste Kriterium, richtet sich auf die Anzahl der Umgebungsbedingungen, die mit Hilfe der Sensoren erfasst werden können, beispielsweise Temperatur. Abhängig von der Technik sind einige Datenlogger auch in der Lage mehrere Umwelteinflüsse zu erfassen. Diese Sensorkombinationen werden abschließend dargestellt.

Für die einzelnen Datenlogger wurden Datenblätter erstellt, die folgende Informationen bereitstellen:

- Hersteller und Produktbezeichnung
- Abmessungen
- Gewicht
- Einsatzhäufigkeit (einfach/mehrfach)
- Messbereich
- Messgenauigkeit

- Abtastrate
- Auflösung
- Datenübertragung
- max. Anzahl Messwerte
- Batterietyp
- Batterielaufzeit
- Schutzklasse
- Umgebungsbedingungen
- Software
- Kosten

An dieser Stelle wird aus Gründen der Übersichtlichkeit nur eine exemplarische Auswahl von Datenloggern je Messgröße dargestellt. Insgesamt wurden ca. 100 Datenlogger untersucht. Die Datenblätter aller untersuchter Logger können Interessierten zur Verfügung gestellt werden.

Single-Sensor Datenlogger

Bei Einzelsensoren handelt es sich um Datenlogger, die lediglich einen Sensor besitzen und somit nur eine bestimmte Messgröße aufnehmen können. Sie sind daher für spezielle Anforderungen ausgelegt.

Temperatur Datenlogger

Einer der am häufigsten angebotenen Datenloggertypen besitzt einen Temperatursensor. Dieser wird in der Regel zur Überwachung von Kühlketten eingesetzt. Die vorgestellten Temperatur-Datenlogger machen einen Großteil der angebotenen Produkte aus. Dabei bewegen sich die Messwerte insgesamt in einem Spektrum von 80°C bis zu $+150^{\circ}\text{C}$. Das entspricht einem maximalen Messbereich von 230°C . Die Messgenauigkeit beläuft sich auf eine Ungenauigkeit von minimal $+0,1^{\circ}\text{C}$ bis zu Abweichungen von $+1^{\circ}\text{C}$. Die Anzahl der Messwerte, die gespeichert werden können, ist dagegen sehr individuell und bewegt sich in einem großen Rahmen. Die Messwerte schwanken von 1812 im Minimum bis zu einer Millionen im Maximum. Bei der Batterielaufzeit eines Datenloggers gibt es sehr starke Unterschiede zwischen den verschiedenen Produkten. Oft ist die Laufzeit im hohem Maße von der Intensität der Nutzung und Aufzeichnung abhängig, so dass sich das Spektrum zwischen einer Betriebszeit von weniger als hundert Tagen bis hin zu knapp 10 Jahren aufteilt. Das Gewicht der Datenlogger bewegt sich in einem Bereich von 3,3 g bis zu 100 g. Abbildung 6.4 zeigt ein Beispiel für einen Temperatur Datenlogger.

Schock Datenlogger

Datenlogger mit Schocksensoren gelten als weitere Variante. Hierbei handelt es sich um Sensoren die Schockbewegungen aufzeichnen. Dieser Typ kommt besonders bei empfindlichen Sendungen zum Einsatz. Der vorhandene Messbereich bewegt sich zwischen $+10\text{ g}$ und $+250\text{ g}$. Die Genauigkeit sinkt zumeist, je höher der gesamte Messbereich ist. Zusammenfassend liegt dieser zwischen $+0,2\text{ g}$ und einer Abweichung von bis zu $+4\text{ g}$. Die Anzahl möglicher Messungen unterliegt ebenfalls starker Schwankungen, wie bei den

Hersteller	Agilox		
Artikelnummer	AGX TS - 01		
Dimension	135mm x 23mm x 11mm		
Gewicht	35g		
Einsatzhäufigkeit	Mehrweg		
Klassifizierung			
Temperatur			
Messbereich	Normal	-20°C - +75°C	
	Erweitert	-40°C - +85°C	
Genauigkeit	Typical	+0,1°C	
	Maximum	+0,75°C	
Abtastrate	< 10 Sek		
Auflösung	k. A.		
Eigenschaften			
Datenübertragung	UHF RFID Transponder		
Anzahl Messwerte	8.000		
Batterietyp	Batterie		
Batterielaufzeit	Normal	< 3 Jahre	
	Erweitert	< 5 Jahre	
Schutzklasse	IP 67		
Umgebungsbedingungen	k. A.		
Software	k. A.		
Kosten	k. A.		

Abb. 6.4: AGX TS-01 von Agilox

Temperatur-Datenloggern. Auch hier ist keine Regelmäßigkeit festzustellen und oft variieren die Werte zwischen den Herstellern sehr stark. Ebenso verhält es sich mit der Batterielaufzeit die zwischen mehr als sieben und weniger als sieben Tagen angegeben wird. Das Gewicht ist in dieser Betrachtung bei allen Datenloggern gleich. Allgemein ist das Angebot in diesem Bereich deutlich geringer, als im Bereich der Temperatur-Datenlogger. Abbildung 6.5 zeigt ein Beispiel für einen Schock Datenlogger.

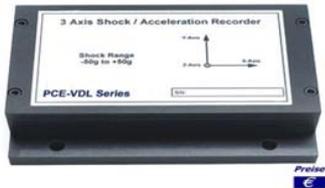
Hersteller	Wachendorff	
Artikelnummer	VDL2	
Dimension	89mm x 112mm x 26mm	
Gewicht	340g	
Einsatzhäufigkeit	Mehrweg	
Klassifizierung		
Schock		
Messbereich	+50g	
Genauigkeit	+1g	
Abtastrate	64 Sek - 5 Min	
Auflösung	0,05g	
Eigenschaften		
Datenübertragung	USB	
Anzahl Messwerte	349.525	
Batterietyp	9V Lithium Batterie	
Batterielaufzeit	>7 Tage	
Schutzklasse	k. A.	
Umgebungsbedingungen	-20°C - +60°C	
	0% - 95% r. F.	
Software	Software optional	
Kosten	638,-€	

Abb. 6.5: Shock101 von Madgetech

Beschleunigung Datenlogger

Die Eigenschaften der Datenlogger im Schock und Beschleunigungsbereich sind als gleichwertig anzusiedeln, da diese Datenlogger die gleichen Faktoren messen. Der Grund für die Unterscheidung, liegt in der Wortwahl der Hersteller. Exemplarisch ist hier ein Datenlogger des Herstellers PCE aufgeführt. Abbildung 6.6 zeigt ein Beispiel für einen Beschleunigungs-Datenlogger.

Hersteller	PCE	
Artikelnummer	VD3	
Dimension	106mm x 56mm x 33,mm5	
Gewicht	k. A.	
Einsatzhäufigkeit	k. A.	
Klassifizierung		
Beschleunigung		
Messbereich	0g - +-18g	
Genauigkeit	+-0,5g	
Abtastrate	50mSek – 24Std	
Auflösung	0,00625g	
Eigenschaften		
Datenübertragung	USB	
Anzahl Messwerte	85.764	
Batterietyp	3,6V Lithium Batterie	
Batterielaufzeit	k. A.	
Schutzklasse	k. A.	
Umgebungsbedingungen	0°C - 40°C	
	10% - 90 % r. F.	
Software	Im Lieferumfang enthalten	
Kosten	95,-€	

Abb. 6.6: VD3 von PCE

Spannung Datenlogger

Eine zusätzliche Messgröße ist die elektrische Spannung. Hierbei handelt es sich, wie bei den Schock- und Beschleunigungs-Datenloggern, um eine seltener vertretene Gruppe. Der Messbereich bewegt sich in einem Rahmen von 0 Volt bis 30 Volt. Abbildung 6.7 zeigt ein Beispiel für einen Spannungs-Datenlogger.

Hersteller	Omega	
Artikelnummer	OM -EL - USB - 3	
Dimension	26,9mm x 112mm	
Gewicht	57g	
Einsatzhäufigkeit	k. A.	
Klassifizierung		
Spannung		
Messbereich	0V - 30V	
Genauigkeit	+-1%	
Abtastrate	1 Sek - 12Std	
Auflösung	100mV	
Eigenschaften		
Datenübertragung	USB	
Anzahl Messwerte	32.000	
Batterietyp	13,6 V Lithium Batterie (1/2 AA)	
Batterielaufzeit	< 1 Jahr	
Schutzklasse	IP 67	
Umgebungsbedingungen	k. A.	
Software	Im Lieferumfang enthalten	
Kosten	60,-€	

Abb. 6.7: OM EL USB 3 von Omega

Stromstärke Datenlogger

Eine zusätzliche Gruppe bilden die Datenlogger zur Erfassung der Stromstärke, wobei das Einsatzgebiet im Bereich der Transportüberwachung begrenzt ist. Wiederum ist das Angebot auf dem Markt gering. Abbildung 6.8 zeigt ein Beispiel für einen Strom Datenlogger.

Multi-Sensor Datenlogger

Eine zweite Variante sind die Datenlogger, die mehr als einen Sensor besitzen und somit verschiedene Messwerte gleichzeitig aufzeichnen können. Folgend werden unterschiedliche Kombinationen aufgezeigt.

Hersteller	Omega	
Artikelnummer	OM-EL-USB-4	
Dimension	26,9mm x 112mm	
Gewicht	57g	
Einsatzhäufigkeit	k. A.	
Klassifizierung		
Stromstärke		
Messbereich	4mA - 20mA	
Genauigkeit	+-1%	
Abtastrate	1 Sek - 12 Std	
Auflösung	0,1mV	
Eigenschaften		
Datenübertragung	USB	
Anzahl Messwerte	32.000	
Batterietyp	13,6V Lithium Batterie (1/2 AA)	
Batterielaufzeit	< 1 Jahr	
Schutzklasse	IP 67	
Umgebungsbedingungen	k. A.	
Software	Im Lieferumfang enthalten	
Kosten	60,-€	

Abb. 6.8: OM EL USB 4 von Omega

Temperatur-Feuchtigkeit Datenlogger

Die am häufigsten auftretende Kombination ist die Verknüpfung von Temperatur und relativer Feuchtigkeit, da ein direkter Zusammenhang zwischen diesen beiden Messwerten besteht. Abbildung 6.9 zeigt ein Beispiel für einen Temperatur-Feuchtigkeits-Datenlogger.

Hersteller	Newsteo	
Artikelnummer	LGR54	
Dimension	98mm x 64mm x 34mm	
Gewicht	k. A.	
Einsatzhäufigkeit	k. A.	
Klassifizierung		
Temperatur		
Messbereich	-40°C - +85°C	
Genauigkeit	+/-0,2°C	0°C - +60°C
Abtastrate	k. A.	
Auflösung	k. A.	
Relative Feuchtigkeit		
Messbereich	0 - 100% r. F.	
Genauigkeit	+/-1,8% r. F.	
Abtastrate	k. A.	
Auflösung	k. A.	
Eigenschaften		
Datenübertragung	Funk	
Anzahl Messwerte	32.250	
Batterietyp	AA Lithium Thyonil mit Steckverbindung	
Batterielaufzeit	< 3 Jahre	+25°C / Messintervall 15 Min
Schutzklasse	IP 65	
Umgebungsbedingungen	k. A.	
Software	k. A.	
Kosten	k. A.	



Abb. 6.9: LGR54 von Newsteo

Temperatur-Druck Datenlogger

Ein weiterer Einsatzbereich für Datenlogger zielt auf die Messung von Absolut- oder Relativdruck in Kombination mit Temperaturbedingungen ab. Sie finden speziell Anwendung in der Lebensmittelindustrie und bei der Kontrolle von Tanks. Während der Absolutdruck auf die Messung des Drucks, bezogen auf ein im Sensorelement eingeschlossenes

Vakuum abzielt, zielt der Relativdruck auf die Messung des Drucks in Bezug zum Luftdruck ab. Mit diesen Datenloggern ist es möglich, Werte zwischen 0,8 bar bis 11 bar absolut und 0 bar bis 10 bar relativ zu messen. Abbildung 6.10 zeigt ein Beispiel für einen Temperatur-Druck Datenlogger.

Hersteller	CiK Solutions	
Artikelnummer	Micropack III	
Dimension	48mm x 18mm	
Gewicht	55g	
Einsatzhäufigkeit	Mehrweg	
Klassifizierung		
Temperatur		
Messbereich	+25°C - +140°C	
Genauigkeit	+/-0,25°C	
Abtastrate	1 Sek - 18 Std	
Auflösung	k. A.	
Druck		
Messbereich	0 bar - 5 bar	
Genauigkeit	0,03 bar	
Abtastrate	1 Sek - 18 Std	
Auflösung	k. A.	
Eigenschaften		
Datenübertragung	Infrarot	
Anzahl Messwerte	16.000	
Batterietyp	Lithium Batterie	
Batterielaufzeit	k. A.	
Schutzklasse	k. A.	
Umgebungsbedingungen	k. A.	
Software	DT Pro Software	
Kosten	k. A.	

Abb. 6.10: Micropack III von CiK Solutions

Temperatur-Schock Datenlogger

Diese Art der Datenlogger stellt die letzte Kategorie von Sensorkombinationen dar, die die Fähigkeit besitzen zwei Messgrößen gleichzeitig aufzuzeichnen. Diese Kategorie ist auf nationalen sowie internationalen Märkten jedoch nur selten vertreten ist. Der Einsatzbereich liegt oftmals in der Transportüberwachung von Kunstgegenständen oder im medizinischen Bereich. Die Logger sind in der Lage Schockwerte von +16 g entlang von

drei Achsen aufzuzeichnen, bei gleichzeitiger Aufnahme von Temperaturdaten im Bereich von -40°C bis $+85^{\circ}\text{C}$. Die Speicherkapazität beträgt über 100.000 Werte. Aufgeteilt in einem Verhältnis von bis zu 30.000 Werten pro Achse und bis zu 30.000 Temperaturwerten. Abbildung 6.11 zeigt ein Beispiel für einen Temperatur-Schock Datenlogger.

Hersteller	Newsteo	
Artikelnummer	TRE35	
Dimension	110mm x 56mm x 26mm	
Gewicht	k. A.	
Einsatzhäufigkeit	Mehrweg	
Klassifizierung		
Temperatur		
Messbereich	-40°C - +85°C	
Genauigkeit	+/-0,3°C	
Abtastrate	1 Min - 4 Std	
Auflösung	k. A.	
Schock		
Messbereich	-16g - + 16g	
Genauigkeit	k. A.	
Abtastrate	1 Min - 4 Std	
Auflösung	k. A.	
Eigenschaften		
Datenübertragung	Funk	
Anzahl Messwerte	129.000	
Batterietyp	1 Zelle Lithium Thionyle Typ A	
	Kompatibel 1 Alkaline LR6	
Batterielaufzeit	< 2 Jahre	
Schutzklasse	IP 54	
Umgebungsbedingungen	k. A.	
Software	k. A.	

Abb. 6.11: TRE35 von Newsteo

Temperatur-Feuchtigkeit-Druck Datenlogger

Die Anzahl am Markt erhältlicher Temperatur-Feuchtigkeit-Druck Datenlogger ist sehr gering. Ein Beispiel stellt der PRHTEMP101 von Madgetech dar (vgl. Abbildung 6.12). Er hat einen Messbereich von insgesamt 120°C bei einer Messgenauigkeit von $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Er ist in der Lage Druckwerte zu messen, die zwischen 0 PSIA (Pound per square Inch absolute) und 30 PSIA liegen, was einem Bereich von 0 bar bis 2 bar entspricht. Relative

Luftfeuchtigkeit misst er im Bereich von 5 Prozent bis 95 Prozent. Seine Speicherkapazität von 39.321 Werten ist gleichermaßen auf alle drei Messwerte aufgeteilt.

Temperatur-Feuchtigkeit-Schock-Licht Datenlogger

Vertreter dieser Kategorie sind die beiden Datenlogger TRK33 und TRK31 des Herstellers Newsteo. Sie bieten die Möglichkeit, Temperatur-, Schock- und Licht-Messwerte sowie die relative Luftfeuchtigkeit aufzuzeichnen. Die Temperaturbereiche erstrecken sich beim TRK33 von 40°C bis +85°C und beim TRK31 von 10°C bis +60°C. Abgesehen von dieser Differenz, sind alle weiteren Eigenschaften identisch. Die Speicherkapazität beider Logger beträgt 32.768 Werte, wobei jedoch auf Seiten des Herstellers nicht beschrieben wird, wie sich diese aufteilt. Zusätzlich bieten die Datenlogger die Zusatzfunktion der Ermittlung von Fallhöhen bei einem Freifall. Abbildung 6.13 zeigt das Datenblatt des Loggers TRK33.

Temperatur-Feuchtigkeit-Schock-Druck Datenlogger

Der Ultrashock Datenlogger, entwickelt von der Firma Madgetech, kann in unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt werden, unter anderem in der Überwachung von Transportgut. Er ist in der Lage vier Messgrößen zu erfassen, angefangen bei der Temperatur über den Druck und die relative Luftfeuchtigkeit bis hin zu Schockwerten entlang von drei Achsen. Im Gegensatz zu anderen Datenloggern kann er nicht individuell konfiguriert werden. Der Käufer kann jedoch zwischen vier Schockbereichen unterscheiden, beginnend bei +5g bis +250g. Alle anderen Messgrößen sind nicht variabel. Seine Speicherkapazität beträgt 699.048 Werte und ist gleichermaßen auf alle vier Bereiche verteilt, wobei die Kapazität der Schockwerte hinsichtlich der drei Achsen durch drei dividiert werden muss. Bedingt durch sein hohes Gewicht und der kompakten Bauweise, ist dieser von allen vorgestellten, der schwerste Datenlogger. Abbildung 6.14 zeigt das Datenblatt des Loggers.

Temperatur-Feuchtigkeit-Druck-Beschleunigung-Licht Datenlogger

Der MSR165 zeichnet sich dadurch aus, dass er bis zu fünf verschiedene Messwerte aufzeichnen kann, wobei die Anzahl individuell konfigurierbar ist. Zudem kann er im Temperatur- und Druckbereich mit einem internen oder externen Sensor versehen werden, wodurch sich die Messbereiche erweitern lassen. Mit einer Speicherkapazität von zwei Mio. Werten ab Werk, kann er optional mit einer microSD-Karte auf eine Mrd. Werte erweitert werden. Er beinhaltet somit die mit Abstand größte Speicherkapazität der vorgestellten Datenlogger. Im Verhältnis zu seinen Fähigkeiten, zeichnet er sich zudem durch sein geringes Gewicht aus. Abbildung 6.15 zeigt das Datenblatt des Loggers.

Hersteller	Madgetech		
Artikelnummer	PRHTEMP101		
Dimension	44mm x 59mm x 23mm		
Gewicht	31g		
Einsatzhäufigkeit	Mehrweg		
Klassifizierung			
Temperatur			
Messbereich	-40°C - +80°C		
Genauigkeit	+/-0,5°C		
Abtastrate	2 Sek - 12 Std		
Auflösung	0,1°C		
Druck			
Messbereich	0 PSIA - 30 PSIA		
Genauigkeit	+/-1% FSR	+25°C	
	Typ.: 0,2% FSR		
Abtastrate	2 Sek - 12 Std		
Auflösung	0,002 PSIA		
Relative Feuchte			
Messbereich	0 - 95% r.F.		
Genauigkeit	+/-3% r. F.	+/-2% r. F. / +25°C	
Abtastrate	2 Sek - 12 Std		
Auflösung	0,5%		
Eigenschaften			
Datenübertragung	USB		
	Seriell Kabel		
Anzahl Messwerte	39.321		
Batterietyp	3,6 V Lithium Batterie		
Batterielaufzeit	> 1 Jahr		
Schutzklasse	k. A:		
Umgebungsbedingungen	-40°C - +80°C		
	0% - 95% r. F.		
Software	Madgetech Data Logger Software (Kostenpflichtig)		
Kosten	299,-\$		

Abb. 6.12: PRHTEMP101 von Madgetech

Hersteller	Newsteo	
Artikelnummer	TRK33	
Dimension	110mm x 56mm x 26mm	
Gewicht	k. A.	
Einsatzhäufigkeit	Mehrweg	
Klassifizierung		
Temperatur		
Messbereich	-40°C - +85°C	
Genauigkeit	+0,4°C	
Abtastrate	1 Min - 4 Std	
Auflösung	k. A.	
Relative Feuchtigkeit		
Messbereich	0% - 100% r. F.	
Genauigkeit	+3% r. F.	
Abtastrate	1 Min - 4 Std	
Auflösung	k. A.	
Schock		
Messbereich	-6g - +6g	
Genauigkeit	k. A.	
Abtastrate	1 Min - 4 Std	
Auflösung	k. A.	
Lichtintensität		
Messbereich	0 Lux - 220 Lux	
Genauigkeit	+/- 30 Lux	
Abtastrate	1 Min - 4 Std	
Auflösung	k. A.	
Eigenschaften		
Datenübertragung	Funk	
Anzahl Messwerte	32.768	
Batterietyp	1 Zelle Lithium Thionyle Typ AA	
Batterielaufzeit	< 6 Monate	+25°C
Schutzklasse	IP 54	
Umgebungsbedingungen	k. A.	
Software	k. A.	
Kosten	k. A.	

Schock
Temperatur,
rel. Feuchtigkeit,
Licht.



INDUSTRIELLER FUNKDATENLOGGER MIT MEHREREN SENSOREN

Abb. 6.13: TRK33 von Newsteo

Hersteller	Madgetech		
Artikelnummer	ULTRASHOCK		
Dimension	89mm x 111mm x 26mm		
Gewicht	341g		
Einsatzhäufigkeit	Mehrweg		
Klassifizierung			
Temperatur			
Messbereich	-20°C - +60°C		
Genauigkeit	+0,5°C		
Abtastrate	> 2 Sek		
Auflösung	0,1°C		
Druck			
Messbereich	0 PSIA - 30 PSIA		
Genauigkeit	+1% FSR	+25°C	
	Typ.: 0,2% FSR		
Abtastrate	> 2 Sek		
Auflösung	0,002 PSIA		
Relative Feuchtigkeit			
Messbereich	0 - 95% r. F.		
Genauigkeit	+3% r. F.	+25°C	
	+2% r. F.		
Abtastrate	> 2 Sek		
Auflösung	0,1%		
Schock			
Messbereiche	-5g - +5g		
	-50g - +50g		
	-100g - +100g		
	-250g - +250g		
Genauigkeit	+0,2g		
	+1g		
	+2g		
	+4g		
Abtastrate	> 2 Sek		
Auflösung	0,01		
	0,05		
	0,1		
	0,2		
Eigenschaften			
Datenübertragung	USB		
Anzahl Messwerte	699.048		
Batterietyp	9V Lithium Batterie		
	Alkaline Batterie		
Batterielaufzeit	> 7 Tage (Lithium Batterie)	+25°C / Messintervall 1 Min	
Schutzklasse	k.A.		
Umgebungsbedingungen	-20°C - +60°C		
	0% - 95% r. F.		
Software	Madgetech Data Recorder Software (Kostenpflichtig)		
Kosten	799,-\$		

Abb. 6.14: Ultrashock von Madgetech

Hersteller	MSR		
Artikelnummer	MSR 165		
Dimension	39mm x 23mm x 72mm		
Gewicht	69g		
Einsatzhäufigkeit	Mehrweg		
Klassifizierung			
Temperatur			
Messbereich	Sensor intern	-20°C - +65°C	
	Sensor extern	-55°C - +125°C	
Genauigkeit	+0,5°C	-10°C - +65°C	
	+2°C	-55°C - +125°C	
Abtastrate	1 Sek – 12 Std		
Auflösung	k. A.		
Druck			
Messbereich	Sensor intern	0 mbar - 2000 mbar	
	Sensor extern	0 bar abs - 14 bar abs	
Genauigkeit	+2,5 mbar	750 - 1100 mbar+25°C	
	+50 mbar	1 - 10 bar abs+25°C	
Abtastrate	1 Sek - 12 Std		
Auflösung	k. A.		
Relative Feuchtigkeit			
Messbereich	0% - 100% r. F.	-20°C - +65°C	
Genauigkeit	+2% r. F.	10% - 85% r. F. 0°C - 40°C	
	+4% r. F.	85% - 95% r. F. 0°C - 40°C	
Abtastrate	1 Sek - 12 Std		
Auflösung	k. A.		
Beschleunigung			
Messbereiche	-15g - +15g		
Genauigkeit	+0,15g	+25°C	
Abtastrate	< 1600 / Sek		+15%
Auflösung	k. A.		
Lichtintensität			
Messbereiche	0 Lux - 65.000 Lux		
Genauigkeit	k. A.		
Abtastrate	1 Sek - 12 Std		
Auflösung	k. A.		
Eigenschaften			
Datenübertragung	USB		
Anzahl Messwerte	1.000.000.000		
Batterietyp	Lithium Polymer Akku 900mAh		
Batterielaufzeit	< 6 Monate		
Schutzklasse	k.A.		
Umgebungsbedingungen	-20°C - +65°C		
Software	k. A.		
Kosten	k. A.		

Abb. 6.15: MSR165 von MSR

Zusammenfassung Datenlogger

In der nachfolgenden Abbildung 6.16 sind mögliche Messgrößen abgebildet, die von Datenloggern erfasst werden können.

Messwerte						
Kategorie	Messbereich		Genauigkeit		Abtastrate	
	Von	Bis	Von	Bis	Von	Bis
Temperatur	-80°C	150°C	+0,1°C	+2°C	1 s	99 Tage
Druck (PAA)	0 bar	14 bar	0,0001 bar	2 bar	1 s	99 Tage
Druck (PR)	0 bar	10 bar	0,0001 bar	2 bar	1 s	99 Tage
Rel. Feuchtigkeit	0%	100%	+1%	+5%	1 s	10 Tage
Schock	-250g	+250g	+0,2g	+4g	19,53 s	5 Min
Beschleunigung	-15g	+18g	+0,15g	+0,5g	1600 / s	24 Std.
Lichtintensität	0Lux	65000Lux	+30Lux	-	1 s	12 Std.
Sonstige (Ampere)	4mA	20mA	+0,5%	1%	1 s	18 Std.
Sonstige (Volt)	0V	30V	+0,5%	1%	1 s	18 Std.

Abb. 6.16: Übersichtsmatrix der Messgrößen (1/2)

Es sind die jeweiligen Messbereiche, die Genauigkeit der Messungen sowie die Abtastrate angegeben. Es wurden jeweils der niedrigste und der höchste Wert aus allen Daten herangezogen, um die gesamte Spanne der Möglichkeiten auf dem Markt abzubilden. Der Messbereich beschreibt somit den Bereich in dem der Datenlogger dazu in der Lage ist verlässliche Daten aufzuzeichnen. Die Genauigkeit beschreibt die Exaktheit der aufgezeichneten Werte und die Abtastrate in welchen Abständen diese aufgezeichnet werden können. Ein weiterer Faktor ist dabei die Auflösung der aufgenommenen Daten. Die Auflösung betrifft die Darstellung und somit ebenso die Qualität der aufgezeichneten Werte. In der nachfolgenden Abbildung 6.17 ist dieses Kriterium abgebildet.

Dazu kommen weitere Faktoren. Dies betrifft Angaben wie zum Beispiel die Umgebungsbedingungen unter denen ein Datenlogger arbeiten kann, sowie Abmessungen, Preis und Gewicht (vgl. Abbildung 6.18).

Neben diesen Aspekten gibt es weitere Unterschiede in der Verarbeitung der Datenlogger, sowie in der Darstellung und der Übertragung der Daten. Außerdem werden Angaben bezüglich der Schutzklasse der jeweiligen Datenlogger aufgelistet. In der nachfolgenden Abbildung 6.19 sind weitere Faktoren genannt. Darüber hinaus, existieren Datenlogger, bei denen die Auswertung durch eine bestimmte Software vorgenommen wird und die so-

Messwerte		
Kategorie	Auflösung	
	Von	Bis
Temperatur	0,01°C	0,5°C
Druck (PAA)	0,002 PSIA	Max: 0,0025% FS
Druck (PR)	0,002 PSIA	Max: 0,0025% FS
Rel. Feuchtigkeit	0,1%	0,5%
Schock	0,01g	0,2g
Beschleunigung	0,00625g	
Lichtintensität	-	-
Sonstige (Ampere)	0,2 mV	100mV
Sonstige (Volt)	1,16 µA	0,1mA

Abb. 6.17: Übersichtsmatrix der Messgrößen (2/2)

Allgemeine Kriterien		
Kategorie	Von	Bis
Lebensdauer	7 Tage	10 Jahre
Speicherkapazität	1.812 Messwerte	1.000.000 Messwerte
Gewicht	4 g	341 g
Preis	31 €	638 €
	79 \$	799 \$
Temperatur	-40° C	125° C
Rel. Feuchtigkeit	0 %	100 %
Druck	0 Bar	1110 Bar
Länge	9,29 mm	240 mm
Breite	2,95 mm	112 mm
Höhe	1,91 mm	74,5 mm

Abb. 6.18: Übersicht der allgemeinen Datenloggereigenschaften (1/2)

mit eine besondere Form der Datenauswertung nutzen. Diese ist wiederum stark von dem genutzten Programm abhängig.

Erweiterte Kriterien				
Energieversorgung	Schnittstellen	Schutzklassen	Material	Formate
Lithium – Batterie	USB	IP 51	ASB – Kunststoff	.csv
Alkaline – Batterie	Bluetooth	IP 53	Acetyl Plastik	.dat
Lithium – Knopfzelle	SD-Karte	IP 54	Aluminium	.txt
Thionyle – Knopfzelle	Infrarot	IP 55	Edelstahl	.xls
Lithium – Polymer Akku	W-LAN	IP 56	Glasfaser	.xml
Netzadapter	RFID	IP 65	Polycarbonate	
	GPRS	IP 67	Polypropylene	
		IP 68		

Abb. 6.19: Übersicht der allgemeinen Datenloggereigenschaften (2/2)

Allgemein gibt es viele verschiedene Faktoren, die bei der Auswahl eines Datenloggers zugrunde gelegt werden können. Die vorgestellten, unterschiedlichen Komponenten und Elemente stehen nicht stellvertretend für sämtliche Datenlogger auf dem Markt, bilden jedoch einen repräsentativen Querschnitt ab.

Um einen besseren Überblick über das Datenloggerangebot auf dem Markt zu erhalten, ist in Abbildung ?? eine Ergebnismatrix dargestellt. Mit Hilfe dieser Matrix werden die möglichen Kombinationen aus Datenschnittstelle und Sensoren verdeutlicht.

Die beschriebenen Datenschnittstellen sind in kabelgebunden und kabellos kategorisiert. Zu den kabellosen Schnittstellen gehören: Funk, RFID, Zigbee, GSM, Bluetooth, GPRS, UMTS, W-LAN, Infrarot. Die Übertragung der Daten via USB und Kabel wird der Gruppe kabelgebunden zugeordnet. Sofern von Funk und Kabel gesprochen wird, wurde von dem Hersteller keine Angabe zum genauen Funktionsprinzip gegeben. Außerdem wird zusätzlich eine Datenübertragung mittels einer SD-Karte in die Matrix aufgenommen. Die Tabelle besteht weiter aus der Unterteilung in die verschiedenen Sensoren. Es wird zwischen Temperatur, Druck, Relative Feuchtigkeit, Schock, Lokation, Beschleunigung, Gas, Licht, Ampere und Volt unterschieden. Zudem können Datenlogger mehrere Sensoren enthalten. Die Kombination aus mindestens zwei bis maximal fünf Sensoren ist ebenfalls in der Tabelle aufgenommen. Die Kombinationen aus Schnittstelle und Sensor basieren auf der Grundlage der Marktrecherche. Vorhandene Kombinationen sind in der Matrix durch ein „x“ verdeutlicht und grau hinterlegt. Insgesamt gibt es 24 Kombinationsmöglichkeiten von Datenschnittstellen mit einem einfachen bzw. mehrfachen Sensor. Die am meisten vertret-

Übersicht Datenübertragungsarten		Datenschnittstelle											Anzahl		
		Kabelgebunden				Kabellos						Sonstige			
		USB	Kabel*	Funk	RFID	Zigbee	Bluetooth	GSM	GPRS	UMTS	W-Lan	Infrarot		SD - Karte	
Einzel Sensoren	Temperatur	X	X	X	X									4	
	Druck													0	
	Relative Feuchtigkeit													0	
	Schock	X												1	
	Lokation	X					X		X					3	
	Beschleunigung	X												1	
	Lage / Orientierung													0	
	Gas													0	
	Licht													0	
	Ampere	X												1	
	Volt	X												1	
	Sensor - Kombinationen	2 - Fach	Temperatur Relative Feuchtigkeit	X	X	X						X		X	5
Temperatur Druck			X									X		2	
3 - Fach		Temperatur Schock			X									1	
		Temperatur Druck Relative Feuchtigkeit	X	X										2	
4 - Fach		Temperatur Relative Feuchtigkeit Schock Licht			X									1	
		Temperatur Druck Relative Feuchtigkeit Schock	X											1	
		Temperatur Druck Relative Feuchtigkeit Schock Licht	X											1	
5 - Fach		Temperatur Druck Relative Feuchtigkeit Beschleunigung Licht	X											1	
Anzahl		11	3	4	1	0	1	0	1	0	1	1	1	24	

Abb. 6.20: Datenlogger Ergebnismatrix

tende Datenschnittstelle mit einem Sensor ist der USB-Anschluss mit elf Kombinationen. Der zweifach Sensor Temperatur Relative Feuchtigkeit mit einer Schnittstelle ist mit fünf Kombinationen auf dem Markt am häufigsten vorhanden. Die einfachen Sensoren Druck, relative Feuchtigkeit, Lage/Orientierung, Gas und Licht sind in Kombination mit den genannten Schnittstellen nicht vorhanden. Auch die Schnittstellenübertragung GSM, Zigbee und UMTS werden zur Datenübertragung bei einem Datenlogger nicht verbaut. Häufig besteht zu einer Schnittstelle nur eine Kombinationsmöglichkeit mit einem Sensor. Bei den Datenschnittstellen RFID, Bluetooth, GPRS, W-LAN, Infrarot und der SD-Karte besteht der Fall, dass es jeweils nur einen einfachen bzw. mehrfachen Sensor in Kombination gibt.

Bewertung Datenlogger

Die funktionelle Bewertung der Datenlogger soll anhand fünf verschiedener Kriterien vorgenommen werden. Dabei handelt es sich um die Datenschnittstelle, Akkulaufzeit und Speicherkapazität. Ebenfalls soll die Relevanz dieser funktionalen Eigenschaften für die Transportüberwachung bewertet werden.

Datenschnittstelle

Anhand der obigen Ergebnismatrix lassen sich Rückschlüsse auf die Vor- und Nachteile der verwendeten Datenübertragungsmethoden schließen. Auffallend ist, dass mit großem Abstand am häufigsten kabelgebundene Datenschnittstellen zum Einsatz kommen. Diese weisen neben einer hohen Übertragungsrate zumeist eine universelle Anwendbarkeit auf. USB 3.0 und vor allem 2.0 gelten als Standardschnittstellen, wodurch sich für alle Beteiligten am Transportprozess die Möglichkeit ergibt, jederzeit den genutzten Datenlogger auszulesen. Als Nachteil ist zu erwähnen, dass das Auslesen nicht automatisiert von statten geht. Der Anwender muss den Datenlogger händisch an das Auswertemedium anschließen. Neben USB geben die Hersteller häufig nur den Begriff Kabel an, unter welchen sowohl USB als auch andere kabelgebundene universelle Schnittstellen fallen können. Beispielfähig könnte Firewire Anwendung finden.

In den Fällen, in denen die kabellose Übertragungstechnik explizit angegeben wurde fällt auf, dass die industriellen Schnittstellen RFID und Zigbee nur einmal, beziehungsweise keinmal genutzt werden. Der Vorteile von RFID wäre die Möglichkeit einer automatischen Erfassung. Als Nachteil kann die ,im Vergleich zu kabelgebundenen Übertragungen, aufwendige Implementierung bestimmt werden. Außerdem können die Daten, je nach technischem Stand des Systems, in bestimmten Umgebungen nicht ausgelesen werden. Beispielsweise kommt es in metallischen Umgebungen zu Reflektionen der elektromagnetischen Wellen. Ähnlich wie industrielle Funksysteme, bildet der Einsatz von Mobilfunk bei Datenloggern die Seltenheit ab. Der besondere Vorteil dieser Methode liegt in der Möglichkeit einer Echtzeitüberwachung mit Ortungsfunktion. Die Attribute sind jedoch Telematik-Systemen zuzuschreiben, weshalb die entsprechenden Schnittstellen dort häufig zum Einsatz kommen. Aufgrund des Funktionsspektrums eines Datenloggers wird mobile Übertragungstechnik zumeist nicht benötigt. Dieses Argument ist in Teilen ebenfalls auf eine W-LAN Schnittstelle zu übertragen. Zumindest dann, wenn eine Echtzeitüberwachung, beispielsweise unter Einsatz eines Boardcomputers, gewünscht ist. Der lokale Einsatz kann

jedoch durchaus Sinn machen. In diesem Falle werden die Datenlogger nur bei dem jeweiligen Partner ausgelesen. Im Vergleich zu der USB-Variante würde das manuelle Anschließen des Loggers entfallen. Besonders bei dem Einsatz von vielen Geräten stellt W-LAN eine Alternative zur USB-Schnittstelle dar. Wie bereits vorab beschrieben, weist Infrarot den Nachteil auf, dass bei der Übertragung der Daten Sichtkontakt bestehen muss. Von einer Vereinfachung im Vergleich zu USB ist also nicht zu sprechen, weshalb diese Technologie äußerst selten eingesetzt wird. Anders ist es bei der Bluetooth Schnittstelle. Da kein Sichtkontakt bestehen muss, gelten die gleichen Vorteile wie von W-LAN, wenn auch mit einer geringeren Übertragungsrate. Nur einmal kam mit der SD-Karte eine bislang nicht beschriebene Datenschnittstelle zum Einsatz. Aufgrund ihrer Attribute kann sie den kabelgebundenen Übertragungsarten zugeschrieben werden. Die Vorteile und Nachteile sind mit denen eines USB-Anschlusses vergleichbar, wobei der USB-Anschluss als universeller zu bewerten ist. Aus technischer Sicht bleibt festzuhalten, dass USB aufgrund des Anforderungsprofils an einen Datenlogger die mit Abstand meistverwendete Schnittstelle ist. Je spezieller die Anforderungen werden, desto häufiger kommen Alternativen zum Einsatz.

Akkulaufzeit

Die Akkulaufzeit stellt einen weiteren entscheidenden Faktor dar, da bei der Transportüberwachung eine lückenlose Dokumentation der Messwerte notwendig ist. Somit sollte eine ausreichende Laufzeit gewährleistet sein. Bei der Wahl der Akkulaufzeit sollten stets auch mögliche Verzögerungen im Transportablauf berücksichtigt werden, da gerade bei dem Transport sensibler Artikel die Überwachung kontinuierlich erfolgen sollte. Die Maximale Akkulaufzeit liegt bei 10 Jahren, das Minimum bei unter einer Woche.

Speicherkapazität

Einer der funktionalen Faktoren ist die Kapazität der Speichermenge auf einem Datenlogger. Der Marktrecherche zur Folge, können die Datenlogger von 1.812 bis 1.000.000 Messwerte abspeichern. Wie viele Messwerte der Datenlogger für das gegebene Problem abspeichern muss, hängt zum einem von dem Transportweg und zum anderen von der gewünschten Abtastrate ab. Für lange Transportwege, wie beispielsweise europaweit, eignet sich ein Datenlogger mit einer hohen Speicherkapazität und bei einem kurzen Transport, z.B. deutschlandweit, ein Speicher mit einer geringeren Kapazität. Wird die Abtastrate in den Auswahlprozess mit einbezogen, muss zunächst klar sein, in welchen sinnvollen Abständen der gewünschte Umwelteinfluss gemessen werden soll. Soll in sehr kurzen Abständen gemessen werden, beispielsweise in Sekundenabständen, müssen somit auch für einen kurzen Transportweg Datenlogger mit einer hohen Speicherkapazität verwendet werden. Ist hingegen die Abtastrate sehr gering, z.B. in Tagesabständen, eignet sich unter Umständen ein Datenlogger mit einer geringen Speicherkapazität auf einem langen Transportweg. Die Größe der Speicherkapazität beeinflusst wiederum die Wahl der Akkulaufzeit, da die Speicherung einer hohen Datenmenge höhere Ressourcen verbraucht.

6.5 Sensorknoten

Soll eine individuelle Technologie-Lösung in einen Behälter integriert werden, so muss die Kombination einer Vielzahl technologischer Komponenten zum Einsatz kommen, welche im Folgenden eingehender betrachtet werden. Neben der eigentlichen Steuereinheit kommen je nach gestellten Anforderungen Sensorik, Aktorik, Verortungs-Technologie, Kommunikationsmodule und Datenspeicher sowie eine zugehörigen Energieversorgungseinheit zum Einsatz, zudem ist die Ergänzung um eine Anzeigeeinheit denkbar. Die Gesamtheit dieser Komponenten wird allgemein als Sensorknoten bezeichnet [HBM⁺04]. Einen solchen Sensorknoten zeichnen insbesondere eine geringe Größe und ein geringes Eigengewicht aus. Daher eignet er sich insbesondere für die Anwendung im logistischen Umfeld, da wichtige Behältereigenschaften wie Abmaße, Fassungsvermögen und Gewicht nur wenig bis gar nicht beeinträchtigt werden.

Durch Realisierung der Steuereinheit über einen Mikrocontroller bieten Sensorknoten die Möglichkeit, bei moderaten Kosten frei programmierbare, modulare Lösungen zu konzipieren, welche autark arbeiten können und die Möglichkeit bieten, auf definierte Events reagieren zu können. Der Einsatz verschiedenster Sensoren und Aktoren ist ebenso möglich wie eine Datenspeicherung oder das Auslösen von Alarmevents. Im Bereich der Verortung existieren zudem mehrere Möglichkeiten über den Einsatz von GPS und GSM eine Verortung des Behälters vorzunehmen. Das GSM-Netz kann für die Kommunikation mit einem übergeordneten IT-System oder anderen Mobilgeräten genutzt werden. Zudem rücken insbesondere Fragen zur Energieeffizienz immer mehr in den Fokus und stellen ein wichtiges Thema für die Realisierung dar. Optimierungsbedarf besteht dabei hinsichtlich längerer Laufzeiten und bei der Verringerung des Gewichts der Energieversorgungseinheit.

Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten eines Sensorknotens zur Realisierung einer Behälterverfolgung näher betrachtet:

Steuereinheit

Die Verarbeitung verschiedener Inputsignale und die Generierung dazu passender Outputsignale obliegt der Steuereinheit eines Sensorknotens. Die einfachste Realisierung einer solchen Steuerung kann durch den Aufbau einer Komparatorschaltung erfolgen. „Ein Komparator vergleicht einen Istwert mit einem Sollwert. Das Ergebnis des Vergleichs, in der Regel ein analoger Spannungspegel, kann als logisches Signal interpretiert und in digitalen Schaltungen weiterverarbeitet werden.“ [Nau04] Die Realisierung einer solchen Schaltung erfolgt dabei mit Hilfe eines Operationsverstärkers, welcher es auf Grund seiner hohen Verstärkung ermöglicht, auch bei kleinen Istwert-Veränderungen ein eindeutiges Vergleichsergebnis zu erhalten. Abbildung 6.21 zeigt einen als Komparator betriebenen Operationsverstärker mit den Eingangsgrößen U_1 , der Ist-Spannung sowie U_{ref} , der Referenz- beziehungsweise Soll-Spannung. Diese werden verglichen und dem Vergleichsergebnis entsprechend wird eine Ausgangsspannung U_2 bereitgestellt.

Da in der Praxis aber der Bedarf nach Sensorknoten mit einer Vielzahl von Sensoreingängen und regelbaren Ausgängen herrscht, wird es schnell sehr aufwändig, entsprechende Schaltungen mit Hilfe von Operationsverstärkern zu entwickeln und zu realisie-

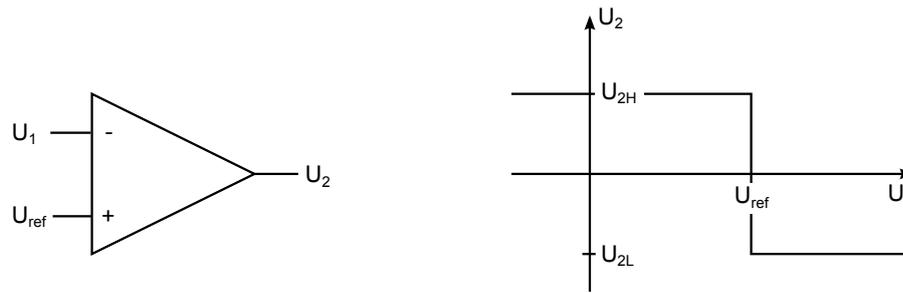


Abb. 6.21: Idealer Komparator und seine Übertragungskennlinie [Nau04]

ren. Daher kommen als Steuereinheit eines Sensorknotens zumeist in industrieller Massenproduktion gefertigte Mikrocontroller zum Einsatz. „Mikrocontroller enthalten einen funktionsfähigen Mikrocomputer, samt Speicher und Interfaceeinheiten, teilweise sogar Analog/Digitalumsetzer (ADU) auf einem Chip und werden vorwiegend für Steuerungsaufgaben eingesetzt“ [WU07].

Durch innovative Konzepte und Fortschritte bei den Fertigungsverfahren ist die Integrationsdichte der integrierten Schaltkreise eines Mikrocontrollers in den letzten Jahren stark angestiegen, sodass diese heute trotz hoher Leistung und energiesparendem Betrieb sehr preisgünstig gefertigt werden können.

Ein großer Vorteil des Einsatzes von Mikrocontrollern ist es, dass eine bedarfsgerechte Programmierung des Sensorknotens erfolgen kann. Je nach Typ und Hersteller variieren dabei die verwendeten Sprachen und damit auch die Komplexität der realisierbaren Projekte und Funktionen. Klassisches Mittel für die Mikrocontroller-Programmierung ist die Maschinsprache Assembler. Dank moderner Compiler kann die Programmierung heutzutage auch in Hochsprachen erfolgen, gemäß [WU07] hat sich insbesondere C als maschinennahe Sprache durchgesetzt. Ein Befehl in C ersetzt dabei zumeist mehrere Assembler-Anweisungen, sodass der Quellcode deutlich schlanker und übersichtlicher gehalten werden kann. Besonders interessant für die Anwendung von Sensorknoten im Bereich des Behältermanagements ist die Möglichkeit, bei der Programmierung so genannte „Eventhandler“ zu berücksichtigen. Diese reagieren auf durch die Programmierung festgelegte Ereignisse, beispielsweise Schwellwert-Überschreitungen, eingehende Kommunikationsdaten, Timer oder Ähnliches. Mit Hilfe dieser Eventhandler lässt sich so realisieren, dass der Mikrocontroller eigenständig auf definierte Ereignisse reagieren kann.

Im Handel findet sich eine große Zahl von Mikrocontrollern unterschiedlichster Rechenleistung und Ausstattungsbreite. Große Verbreitung hat dabei insbesondere die offene Arduino-Plattform, welche insbesondere für die Anwendung im Bereich Rapid-Prototyping entwickelt wurde. Auf Grund der offenen Lizenz und der günstigen Bauteile ist das Arduino-System wenig kostenintensiv und auch individuell zusammenstellbar. Der Sensorknoten ist in mehreren Varianten erhältlich, welche sich durch Rechenleistung und Speicher unterscheiden. Durch die offene Lizenz sind die Komponenten aber auch einzeln erhältlich, so dass sich alle benötigten Module einfach auf einer Platine vereinen lassen und auch eine industrielle Fertigung fertiger Module ermöglicht. Zudem existieren eine Vielzahl von Erweiterungsmodulen, die es möglich machen, komplexe Funktionalitäten zu implementieren.

Eine stärker vorkonfigurierte, modulare Lösung bietet das auf der Arduino-Plattform aufbauende Libelium-System, bei welchem man im Bereich der Programmierung auf vom

Anbieter vorgefertigte Bibliotheken für die einzelnen Module zurückgreifen kann und somit sowohl Konfiguration als auch Programmierung vereinfachen kann.

Sowohl für das Arduino- wie auch für das Libelium-System kommt zur Konfiguration die Programmiersprache Processing zum Einsatz. Diese baut auf einer stark vereinfachten Variante der objektorientierten Programmiersprache Java auf und soll auch Personen ohne Vorerfahrung mit Programmiersprachen, die Programmierung eines Sensorknotens ermöglichen. Auf Grund dieser starken Einschränkungen sind beide Plattformen für die Umsetzung komplexerer Projekte nur eingeschränkt geeignet.

Ein alternatives Sensorknoten-System ist das vollständig modular aufgebaute, von Microsoft entwickelte .NET Gadgeteer-System. Dieses zeichnet sich neben einer großen Auswahl an Technologiemodulen insbesondere durch seine vielfältigen Programmiermöglichkeiten aus. So liefert der Hersteller für jedes Modul vorkonfigurierte Produktbibliotheken mit. Die Programmierung erfolgt in der Hochsprache C# unter Nutzung der .NET Micro Framework-Programmierungsumgebung. Dies ermöglicht die einfache Umsetzung komplexer Projekte mit einer Vielzahl von Komponenten und eignet sich so u.a. ideal für eine Realisierung eines Echtzeit-Monitorings.

Nachfolgend wird kein spezifisches System betrachtet, da entsprechende Komponenten für alle drei hier exemplarisch angeführten Sensorknoten erhältlich sind.

Kommunikation

Kommunikation stellt eine wichtige Funktion für Sensorknoten in einem multifunktionalen Behältersystem dar. Diese erlaubt es nicht nur, die aktuelle Position an das übergeordnete IT-System übertragen zu können und damit dem Nutzer zur Verfügung zu stellen, sondern auch die Übermittlung von Sensorwerten und Alarmmeldungen. Generell existiert eine Vielzahl von Kommunikationsformen, welche sich allgemein in kabelgebundene und kabelungebundene Verfahren unterscheiden lassen. Da kabelgebundene Kommunikation bei der Implementierung einer ortsunabhängigen Verfolgung bewegter Objekte nicht praktikabel ist, wird im Folgenden die kabelungebundene Kommunikation betrachtet. über Funknetze betrachtet. Diese lässt sich in optische und funkbasierte Verfahren untergliedern.

Optische Kommunikationsverfahren

Optische Freiraum-Kommunikationsverfahren codieren die zu übermittelnde Information in Lichtwellen und erfordern daher eine direkte Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger. Als Beispiel kann hier der Infrarot-Datenaustausch zwischen Mobiltelefonen angeführt werden. In der Logistik für Identifizierungsaufgaben häufig eingesetzt sind zudem optische Verfahren, mit deren Hilfe ein starrer Punkt- oder Strichcode ausgelesen wird, beispielsweise das Barcode- oder QR-Code-Verfahren. Für den hier betrachteten Anwendungsfall ist eine Kommunikation über optische Verfahren allerdings nicht praktikabel, da eine dauerhafte Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger nicht realisierbar ist. Über ein solches Verfahren ließe sich ausschließlich eine unstetige Tracking & Tracing-Lösung realisieren. Daher erfolgt hier eine genauere Betrachtung existierender Lösungen

zur Kommunikation via Funk.

Funk-Kommunikationsverfahren

Um unabhängig von der Notwendigkeit einer Sichtverbindung zu sein, bietet sich die Kommunikation mit Hilfe elektromagnetischer Wellen an. In der Praxis hat sich hier eine Vielzahl von Kommunikationsformen etabliert, welche sich gemäß Abbildung 6.22 insbesondere durch ihre Reichweite sowie durch die zu Kommunikation zur Verfügung stehende Datenrate unterscheiden. Neben den in der Abbildung aufgeführten Kommunikationsformen für die Logistik von besonderer Relevanz ist die Kommunikation via RFID, welche zuvor im Bereich der Identifikationstechnologien und betrachtet wurde. Auf Grund der geringen Reichweite im Bereich weniger Meter und der stark begrenzten Datenübertragungsrate ist diese für den hier behandelten Anwendungsfall einer Fernkommunikation nicht von Bedeutung und wird daher an dieser Stelle nicht weiter betrachtet.

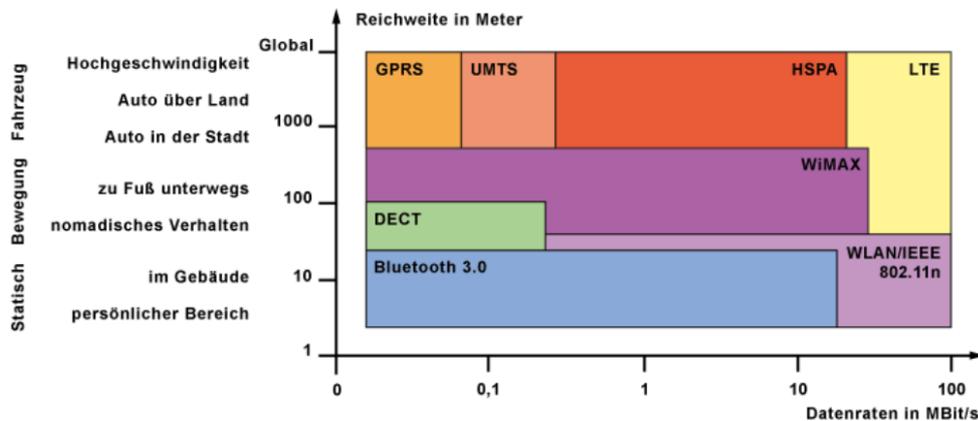


Abb. 6.22: Gegenüberstellung von Reichweiten und Datenraten bei Funkkommunikation [Sch12]

Für die Kommunikation eines Sensorknotens über ein Funknetz sind insbesondere die Technologien „W-LAN“, „ZigBee“ sowie der Datenaustausch über den Mobilfunkstandard „GSM“ mit dessen Kommunikationsprotokoll „GPRS“ von besonderer Bedeutung.

W-LAN Wireless Local Area Network

Insbesondere für die Kommunikation des Behälters in einem eng abgegrenzten räumlichen Gebiet, beispielsweise einer Lagerhalle oder einem Werksgelände, eignet sich die Kommunikationsform W-LAN. Das auf dem LAN-Standard zur kabelgebundenen Vernetzung von Computern basierende Funksystem erlaubt den Datenaustausch ohne direkte Sichtverbindung. Dabei ist insbesondere der Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur mit einer (oder mehreren) Basisstationen üblich. Für die direkte Kommunikation zwischen Endgeräten existiert aber auch die Möglichkeit des Aufbaus einer so genannten Ad-hoc-Verbindung.

ZigBee

Soll eine Kommunikation über kurze Distanzen von zehn bis zu 100 Metern, beispielsweise zwischen mehreren Behältern, realisiert werden, so bietet sich der Kommunikationsstandard ZigBee an. Anders als W-LAN sind bei diesem Verfahren insbesondere

infrastrukturlose Direktverbindungen zwischen zwei Modulen üblich, die Datenrate ist allerdings geringer.

GSM - Global Systems for Mobile Communications

Der Mobilfunkstandard GSM ist auf Grund seiner hohen Verbreitung und Reichweite ideal geeignet für die Umsetzung von Technologielösungen im Behälter-Bereich. „Mit GSM wurde zum ersten Mal ein einheitlicher Standard in Europa für die mobile Kommunikation geschaffen, der später auch von vielen Ländern außerhalb Europas übernommen wurde“ [Sau11]. Einen wesentlichen Beitrag zur Vereinheitlichung der Kommunikationstechnik und -protokolle hat dabei das European Telecommunications Standards Institute ETSI geleistet, welches europaweit die Normung im Bereich Telekommunikation vornimmt. Abbildung 6.23 zeigt die breite weltweite Abdeckung des GSM-Netzes, wobei insbesondere in dichter besiedelten Gebieten in höher technisierten Ländern eine flächendeckende Abdeckung vorherrscht.



Abb. 6.23: Weltweite GSM-Netzabdeckung [Kam11]

Durch Erweiterung des Standards um das Datenübertragungsprotokoll GPRS (General Packet Radio Service) wird die Übertragungen von Paketdaten über das primär für Sprachübertragung konzipierte GSM-Netz ermöglicht. Dies erlaubt die Realisierung eines Internetzugangs für Mobilgeräte (vgl. [Sau11]) und stellt eine wichtige Basis für die Kommunikation eines Sensorknotens mit einem übergeordneten IT-System dar. Die Nachfolge-technologien UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) und LTE (Long Term Evolution) des GSM-Systems zeichnen sich durch deutlich höhere Datenraten aus, haben allerdings auf Grund des in der Regel geringen Datenbedarfs einer Behältertechnologie-Lösung für das betrachtete Szenario keine Relevanz.

Die Verwendung der GSM-Kommunikation wird in Deutschland primär durch die vier Telekommunikationskonzerne E-Plus, O2, Telekom und Vodafone vermarktet, welche jeweils eigene Netzinfrastrukturen besitzen. (vgl. [Hei13]) Andere Anbieter nutzen gegen Gebühr das Netz eines dieser Konzerne mit. Für die Abrechnung der in Anspruch genommenen Telekommunikations- und Datendienste existieren unterschiedliche Model-

le: Die Abbuchung der anfallenden Kosten von einem zuvor aufzuladenden Kundenkonto (Prepaid-Verfahren) sowie der Abschluss eines Vertrags mit definierter Grundgebühr. Im Rahmen der Vertragslösungen erhält der Nutzer für seinen Grundbeitrag Zusatzleistungen wie reduzierte Abrechnungspreise, Inklusivkontingente oder uneingeschränkte Nutzung von Diensten (Flatrate-Modell).

Die Implementierung einer GSM-Lösung an einem Sensorknoten ist problemlos möglich, entsprechende GSM-Module lassen sich im Fachhandel erwerben. Die entsprechenden vom Hersteller bereitgestellten Treiberdaten werden in der Programmierumgebung nachgeladen und ermöglichen eine direkte Ansteuerung des Moduls über vorgefertigte Steuerbefehle.

Verortung

Um die Verortung eines Behälters zu ermöglichen, ist ein Modul notwendig, welches es ermöglicht, den aktuellen Standort aus Umgebungsdaten ermitteln zu können. In der Praxis existieren dafür verschiedene Möglichkeiten. Zum Einen kann das zuvor beschriebene GSM-Kommunikationsmodul auch zur Grobverortung verwendet werden, zum anderen kann eine Verortung mit Hilfe eines GPS-Satellitenempfängers erfolgen.

Verortung über GSM

Die Verortung eines GSM-Gerätes kann sowohl nach dem Prinzip der Eigenpeilung wie auch der Fremdpeilung erfolgen. Bei der Eigenpeilung orientiert sich der Nutzer eigenständig im Funkfeld. Im Gegensatz dazu steht die Fremdpeilung, bei der das System einen Empfänger ansteuert und dessen Positionsermittlung übernimmt (vgl. [DH10]).

In der Regel wird eine Verortung über das GSM-Modul nach dem so genannten Cell of Origin-Verfahren (COO, vgl. [Dor01]) realisiert. Dabei wird ausgenutzt, dass das Modul sich zur Kommunikation mit einer Funkzelle mit weltweit einzigartiger Global Cell ID (GCID) verbindet, deren geographische Position bekannt ist. Der zellulare Aufbau des Funknetzes ergibt sich nach [SH06] durch den auf eine Breite von 25 MHz beschränkten Aufbau des GSM-Frequenzbandes. Dieser macht wie in Abbildung 6.24 ersichtlich eine Mehrfachnutzung des Bandes in unterschiedlichen geographischen Gebieten und damit eine Aufteilung des Netze in Funkzellen gleicher Frequenz notwendig.

Die Zellen ermöglichen eine Positionsermittlung mit einer Genauigkeit, welche der Größe der Funkzelle, zwischen 100 Metern und 30 Kilometern, entspricht (vgl. [Stu08]). Je mehr Antennen in einer Funkzelle zum Einsatz kommen, desto genauer kann die Position weiter eingegrenzt werden. Ist eine Tabelle mit den GCID-Informationen auf dem Gerät hinterlegt oder in einer abrufbaren externen Tabelle gespeichert, so kommt hier die Eigenpeilung zum Einsatz. Sendet das Mobilgerät dagegen die GCID an eine zentrale Verortungseinheit, welche die Position bestimmt, so handelt es sich um eine Fremdpeilung. Soll eine genauere Positionsbestimmung als mit COO möglich über das GSM-System erfolgen, existieren nach [Dor01] mehrere mögliche Verfahren: Enhanced Observed Time Difference (E-OTD), Time Of Arrival (TOA), Angle Of Arrival (AOA) sowie die Positionsbestimmung mit Hilfe der Signalstärke.

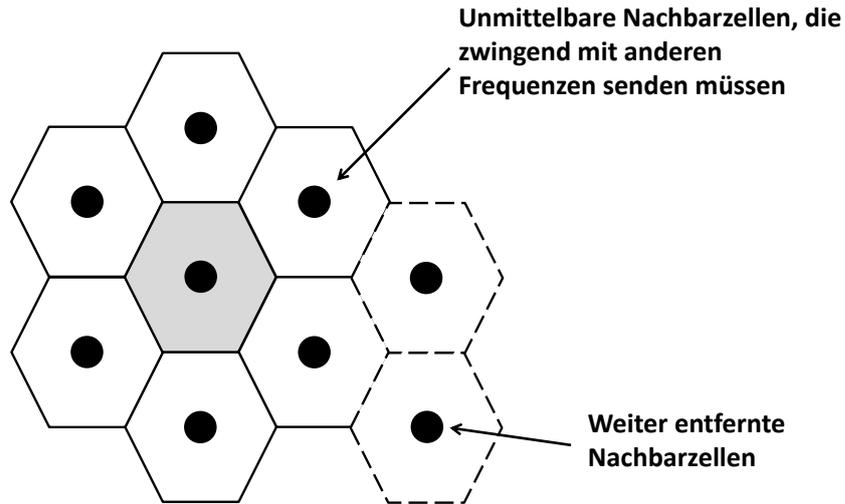


Abb. 6.24: Zellularer Aufbau des GSM-Netzes [Sau11]

Enhanced Observed Time Difference (E-OTD)

Gemäß den Festlegungen des European Telecommunications Standards Institute ETSI liefert die Eigenpeilung mit dem E-OTD-Verfahren eine Möglichkeit zur genaueren Positionsbestimmung im Bereich GSM (vgl. [ETS00]). Dabei wertet der Empfänger die Zeitstempel der Signale von mindestens drei Sendestationen aus und berechnet den aktuellen Standort über die Laufzeitdifferenzen der Signale. Das angewendete Positionierungsverfahren kann den aktuellen Ort des Empfängers dabei wie in Abbildung 6.25 sowohl kreis- wie auch hyperbelbasiert bestimmen. Nach [Dor01] ist mit E-OTD ein Ortungsgenauigkeit von bis zu 100 Metern möglich. Grundvoraussetzung für die Anwendbarkeit des Verfahrens ist die zeitliche Synchronizität der Sendestationen, dies kann allerdings nicht in jedem Land gewährleistet sein. Ein weltweiter Einsatz dieses Ortungsverfahrens ist daher nicht ohne weiteres möglich. Für eine externe Lokalisierung eines Behälters müsste zudem der aktuelle Standort der Einheit über das GSM-Netz einer zentralen Stelle kommuniziert werden.

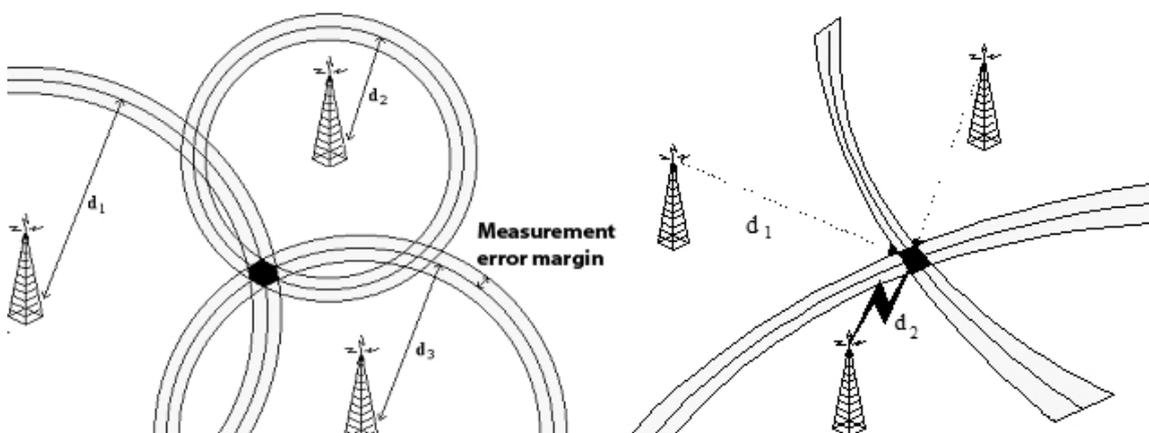


Abb. 6.25: Kreis- und Hyperbelverfahren zur GSM-Positionsbestimmung via E-OTD [ETS00]

Time Of Arrival (TOA)

Das TOA-System ist ebenfalls ein durch die ETSI genormtes Verfahren (vgl. [ETS00]). Es stellt die genaue Umkehrung des zuvor erläuterten E-OTD-Systems dar. Hier kommt

eine Fremdpeilung zum Einsatz: Die mobile, zu verortende Einheit sendet ein Signal an mindestens drei Systemstationen aus, welche den Zeitpunkt des Eintreffens registrieren. „The key idea is to measure the time of arrival of a known signal sent by MS [Mobile Station] and received at three or more LMUs [Location Measurement Units].“ [LPBMG07] Die Zeitinformationen werden an eine zentrale Stelle weitergeleitet, welche aus der Laufzeitdifferenz den Standort der mobilen Einheit ermittelt. Die maximale Genauigkeit liegt wie zuvor für das E-OTD-System bei 100 Metern. Die Problematik bei asynchronen Netzstationen besteht hier ebenfalls (vgl. [Dor01]).

Angle of Arrival (AOA)

Nicht durch die ETSI genormt, aber ebenfalls häufig in der Literatur zu finden ist das AOA-Verfahren (vgl. [Dor01]). Dabei wird die Position des mobilen GSM-Gerätes über die Bestimmung des Winkels zwischen Mobil- und Basisstationen via Fremdpeilung ermittelt. Um diese exakt ermitteln zu können, ist je Basisstation eine Gruppe versetzter Antennen notwendig, um über Phasen- und Wellenlängenunterschiede den Winkel zu ermitteln, aus dem das Mobilgerät sendet (vgl. [PMK00].) Aus den Informationen dreier Stationen lässt sich so relativ genau die Position des Mobilgerätes feststellen. Durch die notwendige Umrüstung aller Sendestationen ist AOA nicht zielführend für die hier betrachteten Lokalisierungslösungen, welche eine ortsunabhängige Funktionalität bieten sollen.

Verortung über GPS

Besondere Bedeutung für die Logistik kommt dem von der amerikanischen Regierung entwickelten und betriebenen Satellitenortungssystem GPS(Global Positioning System) bei. Bei der Positionsermittlung mittels GPS, welche in [ETS00] ebenfalls durch die ETSI genormt ist, kommt das Prinzip der Eigenpeilung zum Einsatz. Das Verortungsmodul ist bei GPS auf den Empfang der Radiosignale von auf festen Bahnen um die Erde kreisenden Satelliten ausgerichtet (vgl. Abbildung 6.26).

Die Signale der einzelnen Satelliten enthalten deren aktuelle Positions- und Bahn-daten sowie einen Zeitstempel, sodass es an einem beliebigen Punkt möglich ist, über die Übertragungs-Laufzeitunterschiede die aktuelle Position zu ermitteln (vgl. [SBPT13]). Für eine weltweite Abdeckung sind mindestens 24 Satelliten erforderlich. Für eine zweidimensionale Standortbestimmung („2D position fix“) ist der Empfang der Daten von mindestens drei Satelliten notwendig. Das dabei angewandte mathematische Mittel der Triangulierung kommt analog zum zuvor beschriebenen Kreisverfahren bei der GSM-Ortung via E-OTD zu Einsatz und ist gemäß [DH10] „ein Verfahren, bei dem drei Signale von drei Quellen bekannter Koordinaten empfangen werden, deren drei Laufzeiten [...] bestimmt werden und, mit der Lichtgeschwindigkeit multipliziert, die drei Entfernungen zu den drei Quellen ergeben. Damit können drei Entfernungskugeln um die drei Quellen bekannter Koordinaten mit den drei Entfernungen als Radien geschlagen werden; der gemeinsame Schnittpunkt der Kugeln ist der gesuchte Standort.“ Soll zudem noch die Höhenkomponente ermittelt werden („3D position fix“) müssen mindestens vier Signale empfangen werden, das Verfahren zur so genannten Quadrangulierung erfolgt analog zur zuvor beschriebenen Triangulierung.

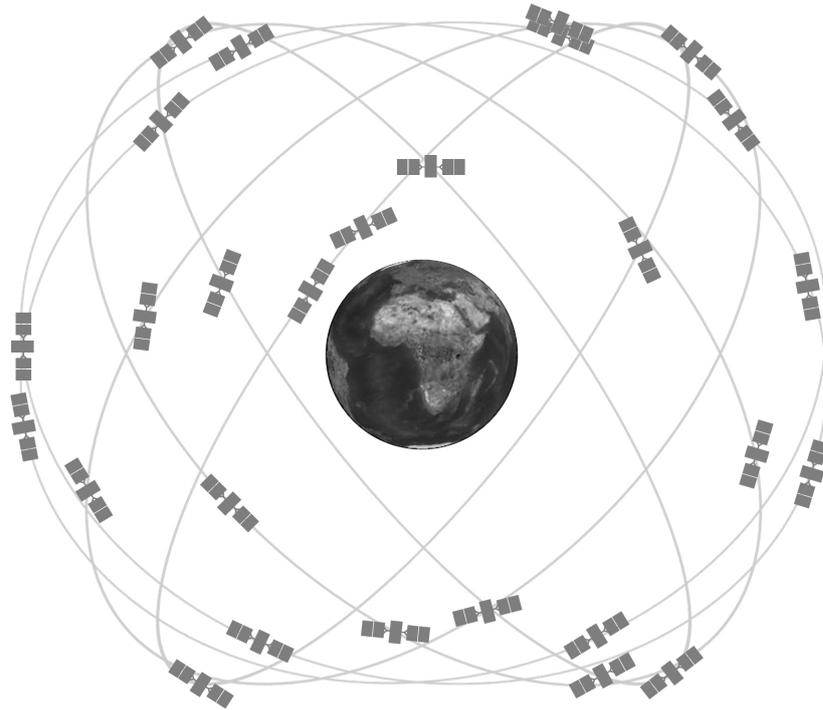


Abb. 6.26: Satellitenbahnen des GPS-Systems [SBPT13]

Gemäß [DH10] lassen sich für die Bewertung einer Satellitenverortung vier allgemeine Leistungsparameter definieren, welche sich auch in [DPC08] wiederfinden: „Integrity“, „Availability“, „Coverage“ und „Accuracy“.

Integrity

Der Leistungsparameter „Integrity“ beschreibt die Glaubwürdig- und Verlässlichkeit der gelieferten Informationen einer Lösung zur satellitengestützten Positionsbestimmung. Unter diesem Punkt werden zudem Alarmierungsfähigkeiten des Systems aufgegriffen, welche dem Nutzer mitteilen, falls die Integrität der gelieferten Informationen nicht gewährleistet werden kann (vgl. [DH10]). Eine möglichst hohe Integrität der Verortungsergebnisse ist für eine möglichst präzise Behälterverfolgungslösung essenziell. Werden falsche Werte an das IT-System geliefert, kann dies beispielsweise einen Diebstahlschutz fälschlicherweise auslösen und damit den Sinn der Verfolgungslösung ad absurdum führen.

Availability

Die prozentuale Verfügbarkeit der Möglichkeit zur Verortung beschreibt der Leistungsparameter „Availability“. Bei Betrachtung einer Behälterverfolgung stellt die Systemverfügbarkeit ein entscheidendes Kriterium dar, um eine dauerhafte Positionsermittlung realisieren zu können. Nur bei durchgehender Verfügbarkeit ist eine stetige Verfolgung möglich. Beim GPS-System werden insgesamt 31 Satelliten eingesetzt um eine 95-prozentige Verfügbarkeit der 24 zur globalen Vollabdeckung benötigten Signale gewährleisten zu können (vgl. [SBPT13]).

Ein begrenzender Faktor für die Verfügbarkeit ist die begrenzte Indoor-Fähigkeit des GPS-Systems. Gebäudewände und -decken dämpfen die GPS-Signale je nach Baumaterial sehr stark ab (vgl. Abbildung 6.27) und verhindern damit eine effektive Nutzung von GPS in Gebäuden, da die benötigte Zeit für eine Positionsermittlung sehr hoch ist. Eine

Möglichkeit, dieses Problem zu umgehen, ist der Einsatz größerer und energieintensiverer Sensoren. Diese sind allerdings dadurch für den Einsatz an einem kleineren Behälter nicht geeignet.

Material	Dämpfung bei einer Signal-Frequenz von 1.500 MHz	
	[dB]	Faktor
Trockenwand	1	0,8
Sperrholz	1 - 3	0,8 - 0,5
Glas	1 - 4	0,8 - 0,4
Getöntes Glas	10	0,1
Bauholz	2 - 9	0,6 - 0,1
Matte aus Eisen	2 - 11	0,6 - 0,08
Dachziegel / Ziegelstein	5 - 31	0,3 - 0,001
Beton	12 - 43	0,06 - 0,00005
Stahlbeton / Eisenbeton	29 - 33	0,001 - 0,0005

Abb. 6.27: Gesamtdämpfung von verschiedenen Baumaterialien [ETZ05]

Aktuelle Konzepte gehen daher nach [ETZ05] von einer Verknüpfung von GPS mit der zuvor erläuterten COO-Grobortung via GSM-Kommunikationsmodul aus, wodurch eine schnellere Positionsbestimmung realisiert werden kann. Das entsprechende Verfahren wird als Assisted GPS (A-GPS) bezeichnet. „Das Festnetz über welches das Mobilfunkgerät seine Verbindung aufbaut, sammelt kontinuierlich Daten über die Position [...]. Dadurch ist es möglich, den Initialisierungsprozess auf wenige Sekunden zu beschleunigen. Hierdurch geht allerdings ein großer Vorteil der GPS-basierten Lokalisierung verloren, nämlich die Netzunabhängigkeit“ [Dor01].

Ebenso wie Böden oder Decken dämpfen bei Behälterstapeln auch andere Behälter und deren Inhalte den GPS-Empfang. Um unnötigen Energieverbrauch zu verhindern ist es hier sinnvoll, über einen entsprechenden Betriebsmodus eine zeitweise Abschaltung vorzunehmen.

Coverage

Der Leistungsparameter „Coverage“ beschreibt die Dichte des durch die Satelliten abgedeckten Gebietes. Bei der GPS-Navigation sorgen gemäß [DH10] 24 Satelliten für eine dichte weltweite Abdeckung, für die Ausfallsicherheit des Systems werden, wie zuvor im Abschnitt „Availability“ beschrieben, 31 Satelliten eingesetzt.

Accuracy

Auch die Genauigkeit einer Verortung, nach [DH10] beschrieben durch den Leistungsfaktor „Accuracy“, kann je nach Anwendung wichtig für eine Verfolgungslösung sein. Ein grundlegender Standard wird durch das amerikanische National Executive Committee for Space-Based Positioning, Navigation and Timing als Betreiber des GPS-Systems gestellt. Im „GPS Standard Positioning Service Performance Standard“ ([DPC08]) wird festgelegt, dass die Kennzahl Root Mean Square Signal-in-Space User Range Error (RMS SIS URE) 4 Meter nicht überschreiten darf (vgl. Abbildung 6.28). Der Wert bezeichnet dabei das

quadratische Mittel der Abweichung eines Satelliten von der von ihm gesendeten Position aus Sicht des Empfängers. Ebenfalls aus der Abbildung ersichtlich ist die fortwährende Reduzierung des RMS SIS URE in den vergangenen Jahren auf einen durchschnittlichen Wert von unter einem Meter.

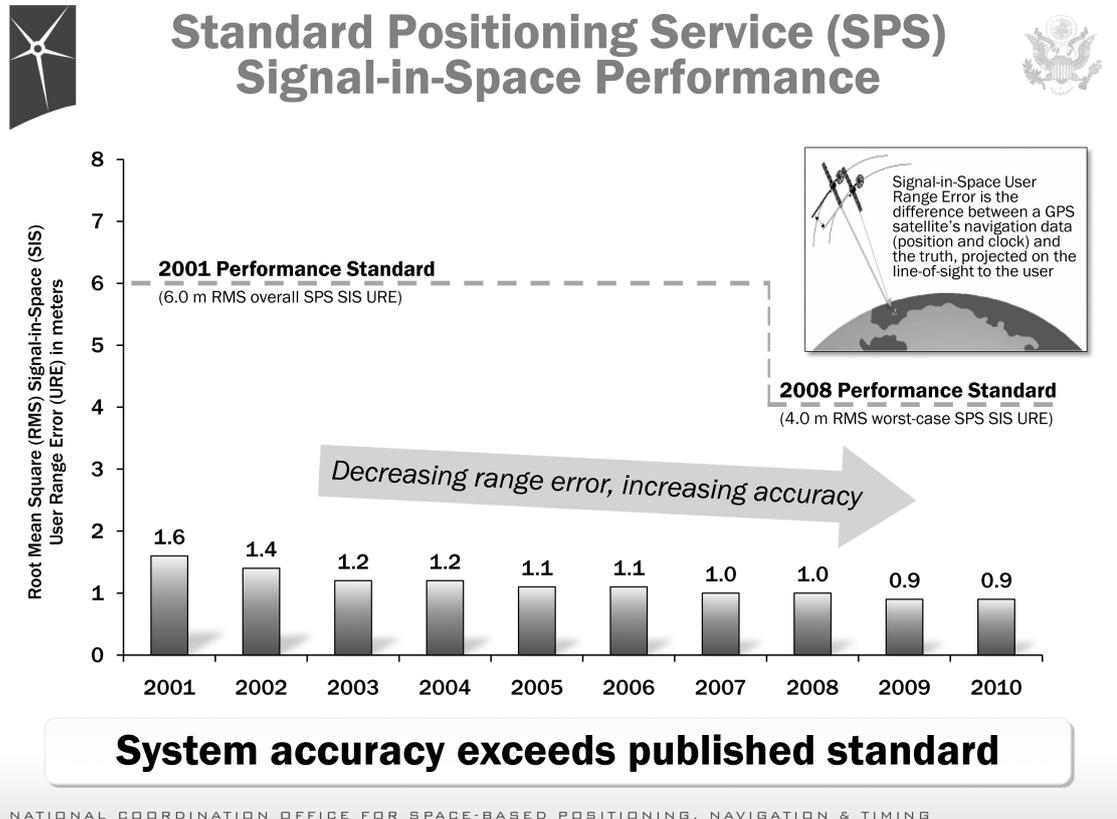


Abb. 6.28: Root Mean Square Signal-in-Space User Range Error eines GPS-Satelliten [SBPT13]

Die gestellten hohen Anforderungen an die Genauigkeit der Satellitendaten und deren fortwährende Verbesserung führt, wie im Histogramm in Abbildung 6.29 zu erkennen, zu einem sehr geringen Fehler bei der Positionsermittlung eines ruhenden Empfängers. In 2011 lag der horizontale Positionsfehler dabei in 95% aller Fälle unter 2,20 Metern. Bei bewegten Empfängern lassen sich in der Regel Genauigkeiten von etwa 10 Metern erreichen (vgl. [DH10]).

Tabelle 6.30 gibt einige Beispiele für die erforderliche Genauigkeit von GPS-Empfängerlösungen bei der Positionsbestimmung von im Landverkehr auf Straßen bewegten Fahrzeugen und Gütern. Die gestellten Anforderungen an eine Echtzeit-Behälterverfolgung lassen sich hier, je nach Anwendungsfall mit den Werten für den logistischen Einsatz (max. 100m Abweichung in Fahrtrichtung, max. 5m Abweichung in Querrichtung) beziehungsweise Diebstahlschutz (max. 250m Abweichung in Fahrtrichtung, max. 5m Abweichung in Querrichtung) beschreiben. Der höhere Toleranzbereich beim Diebstahlschutz verhindert dabei insbesondere Fehlalarmierungen. Die hohe Ungenauigkeit in Fahrtrichtung entsteht dabei durch die Fahrzeugbewegung und den dadurch entstehenden Fehler bei der Satellitenlaufzeitberechnung. Die Bewegung in Querrichtung dagegen ist nur gering. Wird die Querrichtung als starr angenommen, so wird ersichtlich, dass die geforderte Maximalabwei-

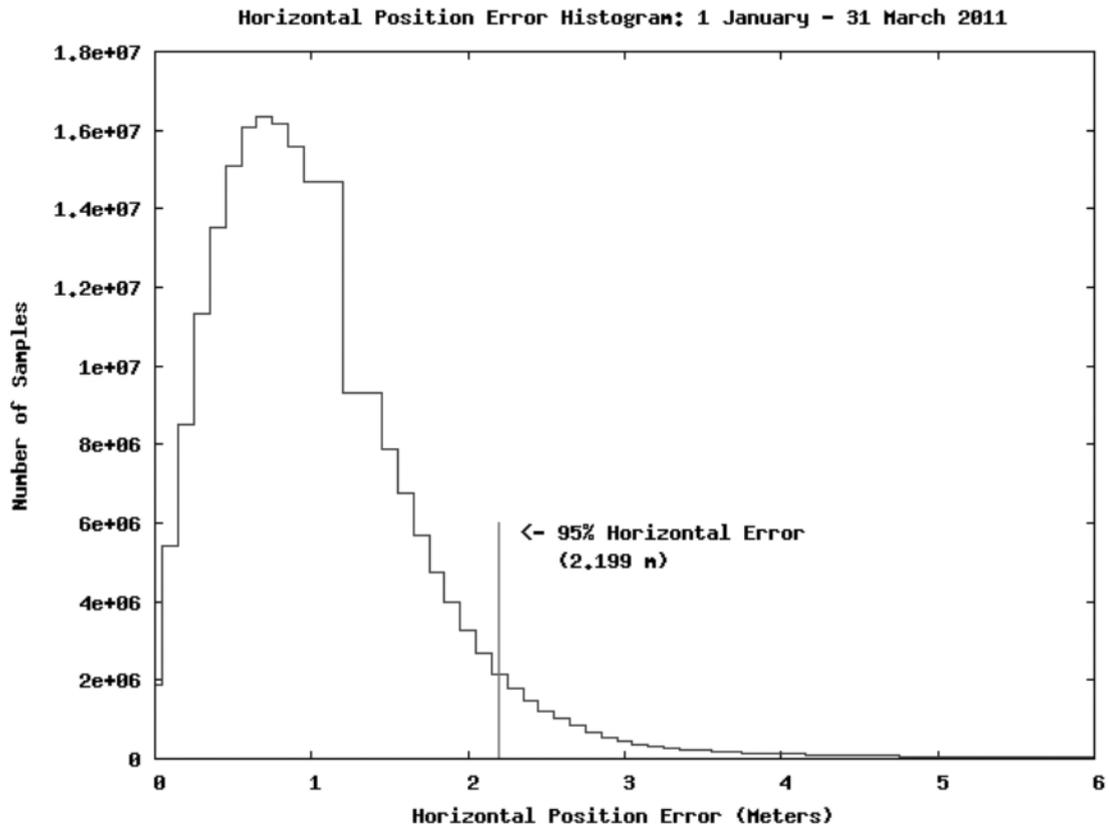


Abb. 6.29: Histogramm der horizontalen GPS-Abweichungen an einem Messpunkt über das Jahr 2011 [SBPT13]

chung einer Behälterverfolgung von 5 Metern durch die Genauigkeit des GPS-Systems zu realisieren ist. Ebenso wird aber auch deutlich, dass beispielsweise die Anforderungen von Fahrerassistenzsystemen durch das GPS-System heute nur zu einem deutlich geringeren Prozentsatz zufriedenstellend erfüllt werden können. Künftige neue Satellitensysteme wie das europäische GALILEO-System sollen auch diese Anforderungen in Zukunft abdecken können. „Insgesamt 30 Satelliten werden in den nächsten Jahren gestartet und auf eine Höhe von etwa 23.000 Kilometer gebracht, wo sie andauernd die Erde umkreisen. Mit Hilfe eines kleinen Empfängers kann man dann sehr genau seine eigene Position bestimmen. In der frei zugänglichen Version soll eine Genauigkeit von etwa vier Metern erzielt werden. Wenn man gegen Gebühr auch noch Zusatzdienste nutzt, lassen sich sogar Genauigkeiten von unter einem Meter erreichen“([Rau13]).

Anwendungen	Genauigkeit	
	Horizontal-x	Horizontal-y
Fahrerassistenzsysteme	1m	1m
Unfall- und Notdienste	20m	5m
Verkehrsflussmanagement	20 - 1000m	5m
Flottenmanagement	50 - 100m	5m
Logistik	100m	5m
Zielführung	20 - 100m	5m
Diebstahlschutz	100 - 250m	5m

Abb. 6.30: Anforderungen im Landverkehr: Straße (vgl. [DH10])

Die Integration eines GPS-Moduls an einem Sensorknoten verläuft ebenso wie bei Integration des GSM-Moduls. Sollen GPS- und GSM-Modul zu einer A-GPS-Lösung gekoppelt werden, erfordert dies allerdings gegebenenfalls spezielle Hardware sowie einen hohen Programmier-Mehraufwand.

Datenspeicher

Die Integration eines Datenspeichers in einen Behälter erlaubt es einerseits, Messwerte, Positionsdaten, Alarmmeldungen oder Ähnliches zu archivieren und ermöglicht somit eine nachträgliche Datenauswertung. Um den Energieaufwand der Datenübertragung via GPRS gering zu halten, ist zudem eine Sammlung von Daten und die anschließende gebündelte Übertragung denkbar. Im Bereich der Verfolgungslösungen können in Gebieten ohne GSM-Netzabdeckung ermittelte Positionsdaten gespeichert und nach Wiederherstellung des Mobilfunkkontaktes übermittelt werden. Die T&T-Lösung findet zwar nicht dauerhaft in Echtzeit statt, bleibt aber lückenlos. Auch erlaubt ein Datenspeicher das Ablegen beispielsweise von Tabellen mit Global Cell ID der GSM-Zellen und deren Standort und verringert so den Datenaufwand für die Positionsfeststellung via GSM.

Zusätzlich ermöglicht ein Datenspeicher die Bereitstellung von zusätzlichen Informationen am Behälter. So ist es beispielsweise bei Gefahrguttransporten möglich, die Gefahrgutkennzeichnung, Handlinghinweise sowie Frachtpapiere auf dem Datenspeicher zu hinterlegen.

Als technische Konzepte kommen für Datenspeicher heute insbesondere Flash-Speicher, zumeist in Form von USB-Speichersticks oder als Speicherkarten zum Einsatz. Im Bereich der Sensorknoten finden sich daher entsprechende Controllermodule für diese Speicherarten. Flash-Speicher ist gemäß [Lip13a] „eine von Intel entwickelte Speichertechnik für schnelle, nichtflüchtige Speicher, die nach Abschalten der Stromversorgung die Daten dauerhaft speichert.“ Durch die dauerhafte Datenspeicherung und die Datenhaltung ohne Energieaufwand ist dieser Speicher optimal für mobile Anwendungszwecke geeignet und findet sich daher heute in der Großzahl aller Mobilgeräte, von der Digitalkamera bis zum Mobiltelefon wieder. Für die Nutzung in ein Technologiemodul an einem Behälter sind zudem noch die geringen Kosten der Speichertechnologie relevant.

Energieversorgung

Die ortsunabhängige und unterbrechungsfreie Versorgung eines Sensorknotens mit elektrischer Energie ist essentiell, um den Einsatz von Technologien zur Bereitstellung von Dienstleistungen an einem Behälter zu ermöglichen. Neben der Verwendung klassischer einmal verwendbarer Primärzellen und mehrfach wieder aufladbarer Sekundärzellen stellt insbesondere die behältereigene Energiegeneration über die so genannten „Energy Harvesting“-Technologien eine interessante zukünftige Möglichkeit dar. Sowohl bei Primär- wie auch bei Sekundärzellen handelt es sich um chemische Energiespeicher. Diese bestehen gemäß [Cra12] aus „zwei Elektroden, die von den jeweiligen Prozesspartnern umgeben sind und über einen Ionenleiter voneinander separiert werden. Dieser sorgt dafür, dass die Prozesse der Reduktion und der Oxidation räumlich voneinander getrennt ablaufen. An

der Anode findet der Oxidationsprozess statt, bei welchem diese aus dem Elektrolytraum Elektronen aufnimmt, während die Kathode Elektronen für den Reduktionsprozess an den Elektrolyt liefert. Die dabei entstehenden Ionen werden über den Elektrolyten ausgetauscht.“ Während der Prozess bei Primärzellen einmalig abläuft ist er bei Sekundärzellen durch Wiederaufladen reproduzierbar.

Primärzellen

Die klassische Energieversorgung für mobile Anwendungen stellt nach wie vor die Primärzelle dar, welche auch als Batterie bezeichnet wird. Primärzellen werden insbesondere dort eingesetzt, wo nur geringer Energiebedarf vorherrscht und somit auf einen erhöhten Wartungsaufwand durch häufigen Batteriewechsel verzichtet werden kann. Wichtigste Größe zur Beschreibung einer Batterie ist ihre Kapazität, gemessen in Amperestunden. Da auf Grund der galvanischen Zellen im Inneren einer Batterie die Ausgangsspannung festgelegt ist, lässt sich aus der Kapazität berechnen, wie lange es möglich ist, eine definierte Leistung abzurufen. Allerdings unterliegt eine Batterie dem Einfluss der Selbstentladung und verliert daher mit der Zeit einen Teil der abrufbaren Leistung. Die Selbstentladung ist dabei stark temperaturabhängig. Je zehn Grad Celsius Temperaturerhöhung entlädt sich die Batterie doppelt so schnell selbst (vgl. [Lip13b]). Da die Selbstentladung einer Batterie ihre Lebensdauer direkt beeinflusst, ist ein Betrieb im niedrigen Temperaturbereich empfohlen. Je geringer die Temperatur allerdings ist, desto langsamer läuft der chemische Prozess im Inneren ab, wodurch die zur Verfügung stehende Kapazität eingeschränkt wird. Ein optimaler thermischer Betriebspunkt ergibt sich also bei Berücksichtigung beider Eigenschaften. Daher kann eine Isolation der Primärzelle gegen thermischen Einfluss gegebenenfalls vorteilhaft sein.

Sekundärzelle

Insbesondere aus Gründen des Umweltschutzes und der einfacheren Handhabbarkeit bietet sich der Einsatz wieder aufladbarer Batterien, so genannter Akkumulatoren, an. Für sie gelten dieselben Eigenschaften wie für eine Batterie. Insbesondere eine hohe Selbstentladung und der hohe Preis sind dabei Faktoren, die gegen einen Akku-Einsatz sprechen können.

	Primärzellen			Sekundärzellen				
	Silber-Oxid	Alkali-Mangan	Li-Eisen-Sulfid	Blei-Säure	Ni-Me-Hydrid	ZEBRA NaNiCl ₂	Lithium-Ionen Li-FePO ₄	LiMnNiCoO ₂
Nennspannung <i>V</i>	1,55	1,5	1,5	12	24	2,58	3,3	3,7
Kapazität <i>Ah</i>	0,15	2	3	55	9	32	2,3	53
	<i>Wh</i>	0,2	3	4,5	660	216	83	7,6
Gewicht <i>g</i>	2,3	25	15	20 K	4 K	605	70	1250
	<i>Wh/kg</i>	101	120	300	33	54	136	108
Preis <i>\$</i>	4	1	5	300	350	75	10	150
	<i>\$/Wh</i>	17,2	0,3	1,1	0,5	1,6	0,9	1,3

Abb. 6.31: Überblick über verfügbare kommerzielle Primärzellen und Sekundärzellen (vgl. [Cra12])

Energy Harvesting

Der Energiebedarf für den Technologieeinsatz in einem Behälter wächst mit dessen steigender Komplexität. Immer höhere Batteriewechsel-Zyklen limitieren den Behältereinsatz dabei ebenso wie der Ausfall der Technischeinheit durch zu geringe Batteriekapazitäten. Daher ist es sinnvoll diese Wechsel drastisch reduzieren und optimalerweise sogar ganz vermeiden zu können. Eine Möglichkeit bietet hier die Wandelung von Umgebungsenergie in elektrische Energie, wie sie zuvor für die aktiven Sensoren beschrieben wurde. Statt durch die erzeugte Spannung einen Messwert zu liefern ist es beim Prinzip des „Energy Harvesting“ allerdings das Ziel, die erzeugte Energie zur Versorgung der Technologieeinheit zu nutzen. Die Wandelung kann dabei aus mechanischen Energien, beispielsweise aus Schwingungen (piezoelektrischer Generator) erfolgen, ebenso ist die Nutzung thermischer Energie (thermoelektrischer Generator) oder solare Energie (Photovoltaik) erfolgen. Die Potenziale von Energy Harvesting wurden im Rahmen dieses Projekts nicht weiter untersucht.

6.6 Test und Auswahl der Hardwarekomponenten

In der vorhergehenden Betrachtung konnten an vielen Stellen bereits die idealen Komponenten und Technologien für die Implementierung von Mehrwertdiensten in einen Behälter identifiziert werden.

Am Markt findet sich eine Vielzahl von Produkten, welche verschiedene Technologien zu einem Modul vereinen. Neben RFID-Tags mit Zusatzfunktionalitäten wie beispielsweise Sensorik existieren zudem Datenlogger, welche größere Mengen von Messwerten ermitteln und aufzeichnen können. Wird die reine Identifizierungsfunktion eines RFID-Tags mit einer Sensorik, beispielsweise einem Temperatursensor, vereint, so ergibt sich eine einfache Möglichkeit zur Nachkontrolle von Transporten oder Lagervorgängen. Das Auslesen ermittelter Sensorwerte erfolgt dabei durch den Lesevorgang des Transponders, bei dem die Daten als Zusatzinformation mit übergeben werden. Da ein RFID-Tag nur einen geringen Speicherplatz bietet, ist ein solchen kombiniertes Technologiesystem ausschließlich dazu geeignet, Schwellwertübertretungen festzustellen oder gelegentliche periodische Messungen durchzuführen. Dafür kommt ein solches System ohne eine externe Stromversorgung aus, eine Sensorwertänderung erzeugt genug Spannung, um den entsprechenden Wert zu speichern, die Datenübertragung funktioniert analog zu einem normalen passiven RFID-Transponder via induktiver Anregung. Sollen mehr Sensorwerte beziehungsweise die Werte mehrerer Sensoren gleichzeitig ermittelt werden, so ist die Implementierung eines Datenloggers denkbar. Dieser kombiniert integrierte Sensoren oder Sensorschnittstellen mit einer internen oder externen Energieversorgung und einem Datenspeicher.

Die Eignung kombinierter Technologiesysteme für den Einsatz in einem Behältersystem ist sehr stark fallabhängig. Grade für RFID-Tags mit integrierter Sensorik existieren nur wenige, stark eingegrenzte Anwendungszwecke, beispielsweise für den Transport von Lebensmitteln zur Überwachung von gesetzlichen Grenzwerten. Auch wenn diese Sensor-Transponder im Test relativ exakte Messergebnisse liefern, stellt insbesondere der beschränkte Speicher ein Hindernis für den Einsatz dar, eine Anwendung auf Einweg-Transportverpackungen ist hier das sinnvollere Anwendungsgebiet. Soll dagegen an einem Mehrwegbehälter eine fortwährende Datenermittlung auch über einen Umlauf hinaus er-

folgen, so stellen Datenlogger eine bessere Option dar. Die Möglichkeit zur längerfristigen Datenermittlung, festlegbare Sensorschwellen und die Auslesbarkeit mit Hilfe eines Computers stellen Optionen von handelsüblichen Datenloggern dar. Allerdings fällt beim Vergleich mit den zuvor betrachteten Sensorknoten-Systeme auf, dass diese für einen ähnlichen Preis einen deutlich größeren beziehungsweise individuell zusammenstellbaren Funktionsumfang bieten.

Datenlogger mit integrierter Sensorik sind dazu geeignet, den Materialfluss von Behältern sowie die transportierten Güter transparenter zu gestalten. Eine Echtzeitfähigkeit sowie komplexe Funktionalitäten wie beispielsweise proaktive Überwachung und Frühwarnsysteme lassen sich damit nicht realisieren. Gerade dies ist jedoch eine essentielle Anforderung, die die Nutzer multifunktionaler Behältersysteme stellen (vgl. Kapitel 3.3 und 3.4). Aus diesem Grund ist der Einsatz von Sensorknoten erforderlich.

Da insbesondere bei den Sensorknoten mehrere Systeme mit geeignetem Umfang existieren, muss anhand von Tests und entsprechenden Auswahl Faktoren eine Entscheidung erfolgen.

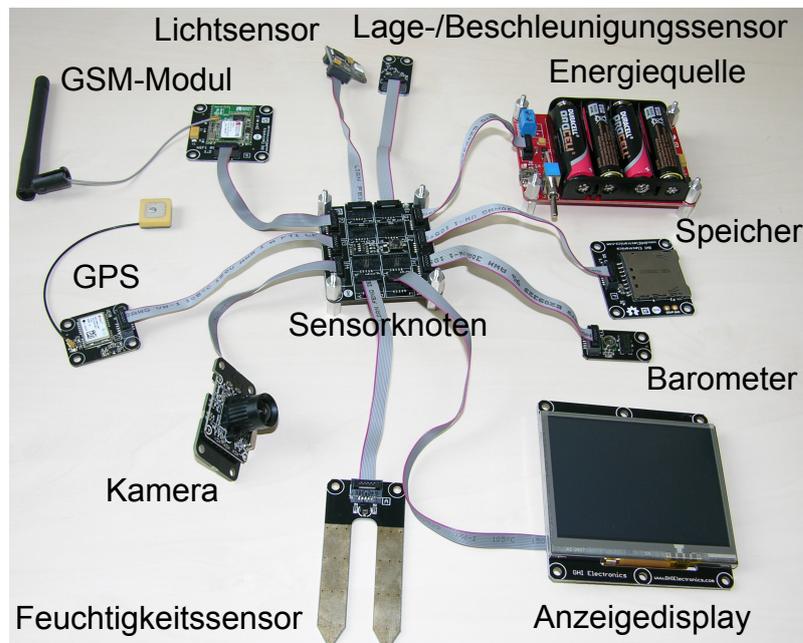


Abb. 6.32: .NET Gadgeteer - Modular erweiterbarer Sensorknoten

In den Komponententests werden das Arduino-System, die auf Arduino aufbauende Libelium-Plattform sowie das .net Gadgeteer-System auf ihre Einsatzbarkeit in einem Behältersystem geprüft. Stellt man die einzelnen Systeme gegeneinander und prüft Ihre Eignung für die Realisierung einer multifunktionalen Technologie-Implementierung an einem Behälter, so fällt die Wahl auf das .NET Gadgeteer-System (vgl. Abbildung 6.32). Dieses erlaubt mit geringem Implementierungs- und Programmieraufwand den gleichzeitigen Einsatz vieler Module und die Realisierung von Alarmierungsfunktionen. Das größte Manko des Arduino-Systems stellt dagegen die sehr einfach gehaltene Programmierumgebung „Processing“ dar, welche die Umsetzung komplexer Projekte und Anwendungen umständlich gestaltet. Zudem verhindert die relative geringe Zahl der Ein- und Ausgänge eine Nutzung für komplexe Anwendungsfälle. Das Libelium-System ist zwar auf Grund der

vorgefertigten Bibliotheken besser für komplexe Projekte geeignet, durch die starken Einschränkungen im Bereich der implementierbaren Module allerdings nur bedingt sinnvoll für umfangreichere Umsetzungen.

7 Integration von Hardwarekomponenten in den Behälter

Aus den Erkenntnissen der vorhergehenden Arbeitspakete folgt die Realisierung praxisrelevanter Szenarien der Technologieintegration in einen Behälter. Dazu werden einerseits die technologischen Anforderungen im Bereich Identifikation sowie für die beiden Anwendungsfälle „Echtzeit-Monitoring“ und „Eventhandling“ untersucht, andererseits wird die Möglichkeit zur Verknüpfung des Technologiemoduls mit bestehenden Behälterfunktionen geprüft.

7.1 Technologieintegration in den Behälter

Da für die Technologieintegration eine große Vielzahl von möglichen Behältern denkbar ist, wurde die Technologie in einen exemplarischen RAKO-Miniaturbehälter der Firma Georg Utz GmbH mit den Abmessungen 200x150x120mm integriert (vgl. Abbildung 7.1).



Abb. 7.1: Exemplarischer Testbehälter für die Technologieintegration

7.1.1 Behälteridentifikation

Wie zuvor beschrieben existiert eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Identifikation eines Behälters. Um eine möglichst vielseitige Nutzung der vergebenen eindeutigen Identifikationsnummer zu gewährleisten bietet es sich an, einen bedruckbaren RFID-Transponder aufzubringen. Die Nummer wird dabei sowohl auf dem Tag gespeichert als auch in Klarschrift, als Barcode sowie als QR-Code auf den Aufkleber aufgedruckt. Dies garantiert eine durchgehende Identifizierbarkeit des Objekts und homogenisiert somit die Daten bei allen Akteuren der logistischen Kette. Zudem ist dank der höheren Speichermöglichkeiten von QR-Code und RFID-Tag das Einbringen zusätzlicher Informationen, beispielsweise über den Behälterbesitzer, möglich. Für den RFID-Tag kommt ein auf Grund der gewünschten hohen Lesereichweite ein UHF-Transponder zum Einsatz. Für das betrachtete Szenario ist zudem die Verwendung eines Transponders ohne Eignung auf Metall ausreichend.

7.1.2 Szenario Echtzeit-Monitoring

Um den aktuellen Status eines Behälters nachverfolgen zu können ist die Implementierung eines Systems zum Echtzeit-Monitoring sinnvoll. Die zu überwachenden Messwerte können dabei zwischen verschiedenen Anwendungsfällen stark variieren, von Temperaturüberwachung bei Lebensmitteln über Füllstands- und Druckmessung bei Gefahrgut bis hin zu Erschütterung und Beschleunigung bei sensibler Elektronik. Um die verschiedenen Möglichkeiten abzubilden wird im Folgenden das Szenario einer gleichzeitigen Temperatur- und Drucküberwachung betrachtet. Die Messdaten werden kontinuierlich ermittelt und über das GSM-Netz an eine Online-Plattform übermittelt. Gleichzeitig erfolgt eine Visualisierung über einen in den Behälter integrierten Monitor.

Definition Echtzeit-System

Für eine genaue Definition einer Echtzeit-Lösung ist insbesondere der Begriff der Stetigkeit von entscheidender Bedeutung. Der Begriff ist dabei aus der Statistik abgeleitet: „Wenn eine Variable nur eine endliche [...] Anzahl von Ausprägungen annehmen kann wird sie als diskret bezeichnet. [...] Kann aber eine Variable beliebige Werte innerhalb eines Intervalls annehmen, so heisst diese Variable stetig. [...] Merkmale, die nur diskret gemessen werden, sich aber auf Grund einer relativ feinen Abstufung und Größenordnung der Ausprägungen ähnlich wie stetige Merkmale behandeln lassen, werden quasi-stetig genannt.“ [Jan05, S. 12] Im vorliegenden Szenario werden die Begriffe auf die Folge der Übertragungsvorgänge der Messdaten angewendet.

Bei einer unstetigen beziehungsweise diskreten Umsetzung werden Messwerte nicht fortwährend, sondern nur zu definierten Zeitpunkten oder an bestimmten Orten ermittelt. Ein stetiges System dagegen zeichnet sich dadurch aus, dass zu jedem Zeitpunkt eine Messung erfolgt. Auf Grund technischer Restriktionen handelt es sich hier nach der Definition gemäß [Jan05] um einen quasi-stetigen Vorgang. Dieser wird aber in der weiteren Betrachtung idealisiert als stetig angenommen. Eine solche Lösung erfordert zur Umsetzung eine technische Implementierung am Behälter, welche fortwährend Daten an das Verwaltungssystem übermittelt. Ebenso ist eine Realisierung ohne Datenübertragung denkbar, bei der die Informationen für eine spätere Auswertung im Gerät abgespeichert werden.

Der Begriff des Echtzeit-Computersystems wird aus der Informatik abgeleitet, gemäß [DIN44300] ist dieser definiert als „ein Betrieb eines Rechensystems, bei dem Programme zur Verarbeitung anfallender Daten ständig betriebsbereit sind, derart, dass die Verarbeitungsergebnisse innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne verfügbar sind. Die Daten können je nach Anwendungsfall nach einer zeitlich zufälligen Verteilung oder zu vorherbestimmten Zeitpunkten anfallen.“ Auf die Mehrwegbehälter angewandt, werden somit die stetig erhobenen Messwerte in Echtzeit an das IT-System übermittelt. Aus der Informatik folgt zudem die Definition von „harter“ und „weicher“ Echtzeit. (vgl. [BH09]) Beide Begriffe geben darüber Auskunft, wie konsequent eine Echtzeit-Lösung umgesetzt sein muss. Während bei einer „harten“ Echtzeitanwendung die Reaktion zwingend exakt zum Zeitpunkt des auslösenden Events erfolgen muss, werden bei einer „weichen“ Anwendung, wie in Abbildung 7.2 ersichtlich, Verzögerungen toleriert. Daher geben die beiden Begriffe eine Aussage über die Güte eines Echtzeit-Systems. Während für viele Aufgaben der Informatik

eine hohe Güte der Echtzeit erforderlich ist, ist diese in einem logistischen Behältersystem von geringerer Relevanz. Zusätzlich zur systeminternen Verzögerung addieren sich durch die technischen Grenzen der Datenübertragung gegebene Latenzen. Der Nutzer erhält daher nur annähernd zeitgleich die Messwerte des Behälters. Da die auftretenden Verzögerungen für den Großteil aller logistischen Anwendungen keine Relevanz haben, wird im Folgenden der Begriff der Echtzeit synonym für „weiche“ Echtzeit verwendet.

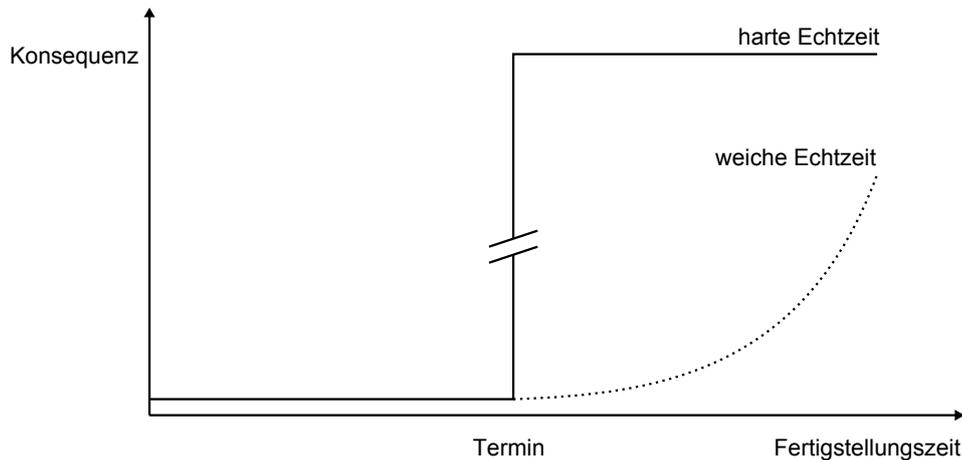


Abb. 7.2: Abgrenzung von harter und weicher Echtzeit ([BH09, S. 4])

Komponentenauswahl

Gemäß dem im vorhergehenden Arbeitspaket erfolgten Technologievergleich wird für eine Realisierung des Szenarios das Microsoft.NET Gadgeteer-System eingesetzt. Als Sensorknoten kommt hier das Modell „FEZ Spider“ zum Einsatz. Dieser beinhaltet einen 72MHz ARM7-Prozessor, 16 MB RAM sowie einen Flash-Speicher von 4,5 MB. Damit eignet es sich trotz der kompakten Größe von 5,7 x 5,2 x 1,3 Zentimetern gut für die Konzipierung eines kleinen Technologiesystems für einen Behälter und bietet gleichzeitig ausreichend Rechenleistung für die Umsetzung aller gewünschten Funktionen. Für die kontinuierliche Messung von Temperatur und Luftdruck im Behälter wird ein Barometer-Modul eingesetzt und die Anzeige der Sensorwerte erfolgt über einen im Behälter verbauten Touchscreen. Um die Kommunikation mit dem GSM-Netz zu realisieren wird ein Cellular-Radio-Modul verwendet, welches Paketdatenkommunikation nach dem GPRS-Standard erlaubt. Der Anschluss aller Komponenten an den Sensorknoten erfolgt über Steckverbinder, so dass die Montage des Systems ohne technischen Aufwand erfolgen kann. Um eine ausreichende Energieversorgung des Systems gewährleisten zu können wird ein Batterieadapter für vier AA-Zellen eingesetzt.

Integration in den Behälter

Die Integration des Technologiemoduls in den Behälter erfordert nur geringe Veränderungen. Während der Sensorknoten, die Energieversorgung, der Sensor sowie das Cellular-Radio-Modul auf einer Lochplatte als Einheit in das Innere des Behälters geklebt oder geschraubt werden können, müssen für das Display sowie optimalerweise auch

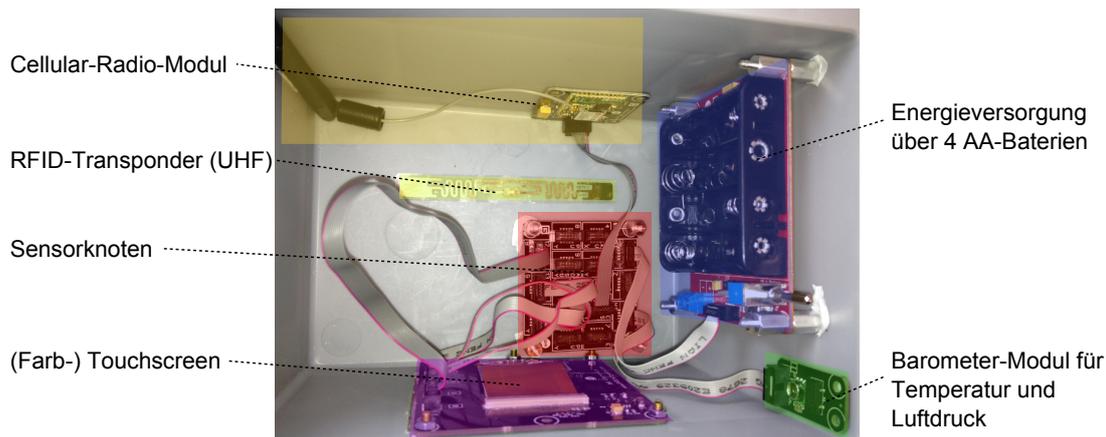


Abb. 7.3: Technologieintegration in den Behälter Szenario Echtzeit-Monitoring von Temperatur und Luftdruck

für die Funkantenne Durchbrüche in der Behälterwand erstellt werden. Zum Schutz der Technologiekomponenten ist zudem die Nutzung eines Gehäuses notwendig.

Programmieraufwand

Die Programmierung des Sensorknotens erfolgt mit Hilfe der Programmiersprache C# unter Nutzung der .NET Micro Framework-Bibliotheken. Die Integration der Treiber für das .NET Gadgeteer-System erfolgt über eine einmalige Installation des vom Hersteller zur Verfügung gestellten Treiber-Pakets. Dieses integriert sämtliche Methoden, Eventhandler und Parameter in die Programmierumgebung und bietet zudem einen einfachen Projekteditor, welcher die grundsätzliche Projektzusammenstellung via „Drag & Drop“ erlaubt. Da das System erst seit Ende 2012 am Markt verfügbar ist, erfordern die Treiber allerdings zum Teil noch Anpassungen. Als Beispiel sei hier die Umsetzung einer Methode zu nennen, welche dem verbauten GSM-Modem die PIN-Nummer der eingesetzten SIM-Karte übergibt. Ebenfalls als zeitintensiv zu nennen ist zudem die Anpassung der Datenübertragung auf die von der Online-Plattform erwartete Syntax.

Sonstige Voraussetzungen

Als Onlineplattform für die Visualisierung kommt für den betrachteten Fall *www.cosm.com* zum Einsatz. Die Webseite erlaubt das Erstellen von Datafeeds, denen ein bis mehrere Datastreams untergeordnet sind. Im betrachteten Fall jeweils einer für Temperatur und einer für Luftdruck sowie zusätzlich je zwei für die Darstellung von Minimal- und Maximalwerten. Die Datapoints jedes Datastreams lassen sich über die Schnittstellen der Plattform hinzufügen. Jeder Datastream lässt sich gemäß Nutzerwünschen graphisch auswerten.

Da die Kommunikation des Technologiemoduls mittels GPRS über das GSM-Netz erfolgt, ist für die Verwendung eine SIM-Karte erforderlich, welche einem Tarif mit der Möglichkeit zur Datennutzung bietet. Insbesondere Tarife mit einem inkludierten Datenvolumen können hier von besonderem Interesse sein.

7.1.3 Szenario Eventhandling

Das zweite betrachtete Szenario stellt die Reaktion der Behältertechnologie auf bestimmte vordefinierte Events in den Fokus. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn der Behälter besondere Services und Anforderungen, zum Beispiel Diebstahlsicherung oder die Einhaltung von Sensorgrenzen, erfüllen soll und dabei bei Abweichungen eigenständig reagieren soll. Der betrachtete Fall entstammt dabei aus dem Bereich der Diebstahlsicherung, bei unerlaubter Öffnung des Behälters soll dieser mit einer mehrfachen Alarmmeldung reagieren. Einerseits folgt am Behälter eine Visualisierung der unerlaubten Öffnung via Warn-LED sowie die Anzeige detaillierterer Informationen (Öffnungszeitpunkt, Anzahl ausgelöster Alarme) auf einem Display. Andererseits versendet das im Behälter erbaute GSM-Modul im Alarmfall eine SMS an eine vordefinierte Nummer und gibt dabei Auskunft über das Alarmevent. Für weitergehende Realisierungen wäre auch die Implementierung eines GPS-Empfängers denkbar, um im Alarmfall auch den aktuellen Standort übermitteln zu können.

Komponentenauswahl

Um ein entsprechendes Szenario mit Hilfe eines Sensorknotens umzusetzen, kommt wie zuvor das Microsoft .NET Gadgeteer-System zum Einsatz. Hier werden neben dem Mikrocontroller „FEZ Spider“ selbst ein Lichtsensor zur Erkennung der Behälteröffnung, eine LED und ein Bildschirm zur Visualisierung des Alarmevents verwendet, zudem ein GSM-Modul zum Versenden und Empfangen von SMS-Nachrichten sowie ein Taster zum Reset der Alarmanzeige.

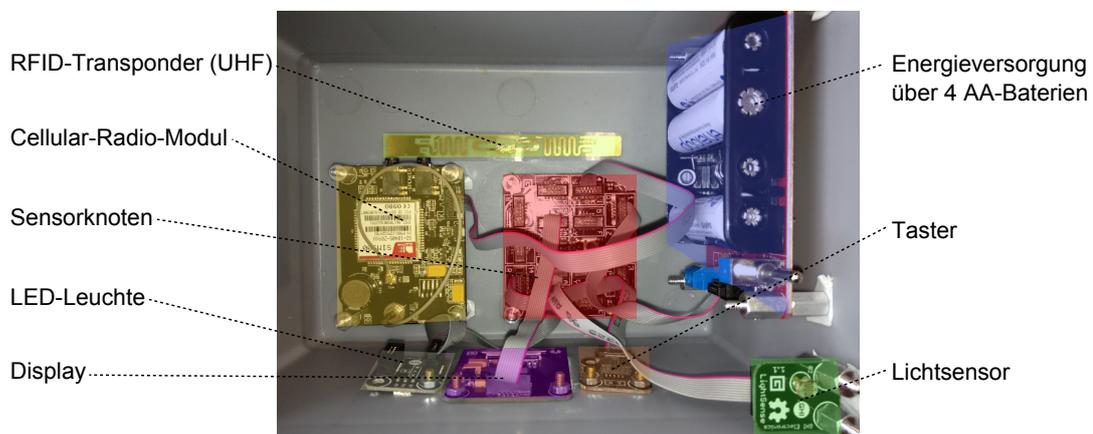


Abb. 7.4: Technologieintegration in den Behälter Szenario Eventhandling

Integration in den Behälter

Wie zuvor können die Technologiekomponenten auf einer Lochplatte verschraubt in ein Gehäuse eingebracht und im Anschluss im Behälter verklebt oder verschraubt werden. Für das Display, die LED sowie die GSM-Antenne sind Durchbrüche durch die Behälterwand notwendig.

Programmieraufwand

Auch der Aufwand der Programmierung lässt sich analog zum zuvor beschriebenen Szenario betrachten. Durch die Wahl des Gadgeteer-Systems stehen innerhalb der Programmierumgebung bereits die notwendigen Möglichkeiten zur dauerhaften Überwachung eines Sensorwertes und der Reaktion auf Änderungen zur Verfügung. In Kombination mit dem GSM-Modul ergibt sich so die Möglichkeiten, SMS-Nachrichten im Alarmfall zu versenden. Auch die Definition eines Eventhandlers, welcher eine ankommende SMS verarbeitet, ist möglich. So lässt sich beispielsweise das Alarmsystem nach dem Transport abschalten oder der Alarm bei einer versehentlichen Auslösung zurücksetzen.

Sonstige Voraussetzungen

Da für das aufgezeigte Szenario keine Datenübertragung via GPRS erfolgt, ist die Verwendung eines einfachen Telefontarifs mit der Möglichkeit zum SMS-Versand ausreichend. Da die Zahl der erwarteten Alarm-Events zudem gering ist, lohnt die Nutzung einer SMS-Flatrate oder eines Inklusiv-Kontingents in diesem Fall nur bei sehr geringen Mehrkosten.

7.1.4 Szenario Kombination von Echtzeit-Monitoring mit Eventhandling

In Deutschland ist jede 12te transportierte Tonne Gefahrgut. Auch wenn davon ein Großteil als Massengut über Schiff, Bahn oder als Tanklastwagen transportiert wird, werden erhebliche Mengen Gefahrgut als Stückgut durch Speditionen befördert. Um den Transport dieser Güter unter der Maßgabe höchster Sicherheit zu ermöglichen, rückt die Überwachung der Ladeeinheiten entlang der Lieferketten immer mehr in den Vordergrund. Bei den Ladungsträgern für Gefahrgüter handelt es sich oftmals um multifunktionale Mehrwegtransportverpackungen wie z.B. den Intermediate Bulk Container IBC mit Zusatzkomponenten.

Der Transport der Gefahrgüter erfolgt vielfach im Stückgutlieferverkehr und stellt sich heute nach wie vor sowohl für den Lieferanten als auch den Empfänger als Black Box dar. Ob das Gut ordnungsgemäß durch den Frachtführer bzw. Spediteur behandelt wurde, bleibt undurchsichtig. Ebenso werden Beschädigungen des Transportbehältnisses erst zu spät erkannt, was einerseits eine Gefahr für Mensch und Umwelt darstellt und andererseits erhebliche Kosten und Imageverluste nach sich ziehen kann.

Um im Fall der Fälle schnellstmöglich eingreifen zu können, muss die Ladeeinheit Umgebungsgrößen erfassen, interpretieren (z.B. Abweichungen von einer Soll-Temperatur) und unmittelbar an den Verantwortlichen kommunizieren, damit dieser Schritte zur Sicherung von Ladung, Mensch und Umwelt einleiten kann.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde ebenfalls eine Applikationen zum Echtzeit-Monitoring in Kombination mit Eventhandling entwickelt und umgesetzt. Die Realisierung für temperaturempfindliche Gefahrgüter veranschaulicht Abbildung 7.5. Dabei wurde in den Transportbehälter das .NET-Gadgeteer Sensorknotensystem inkl. GSM- und GPS-Modul eingebaut. Als Sensorik kommen ein Temperatur- sowie ein Druckfühler zum Einsatz. Durch periodische Übertragung der Sensor- und Positionsdaten an eine Online-

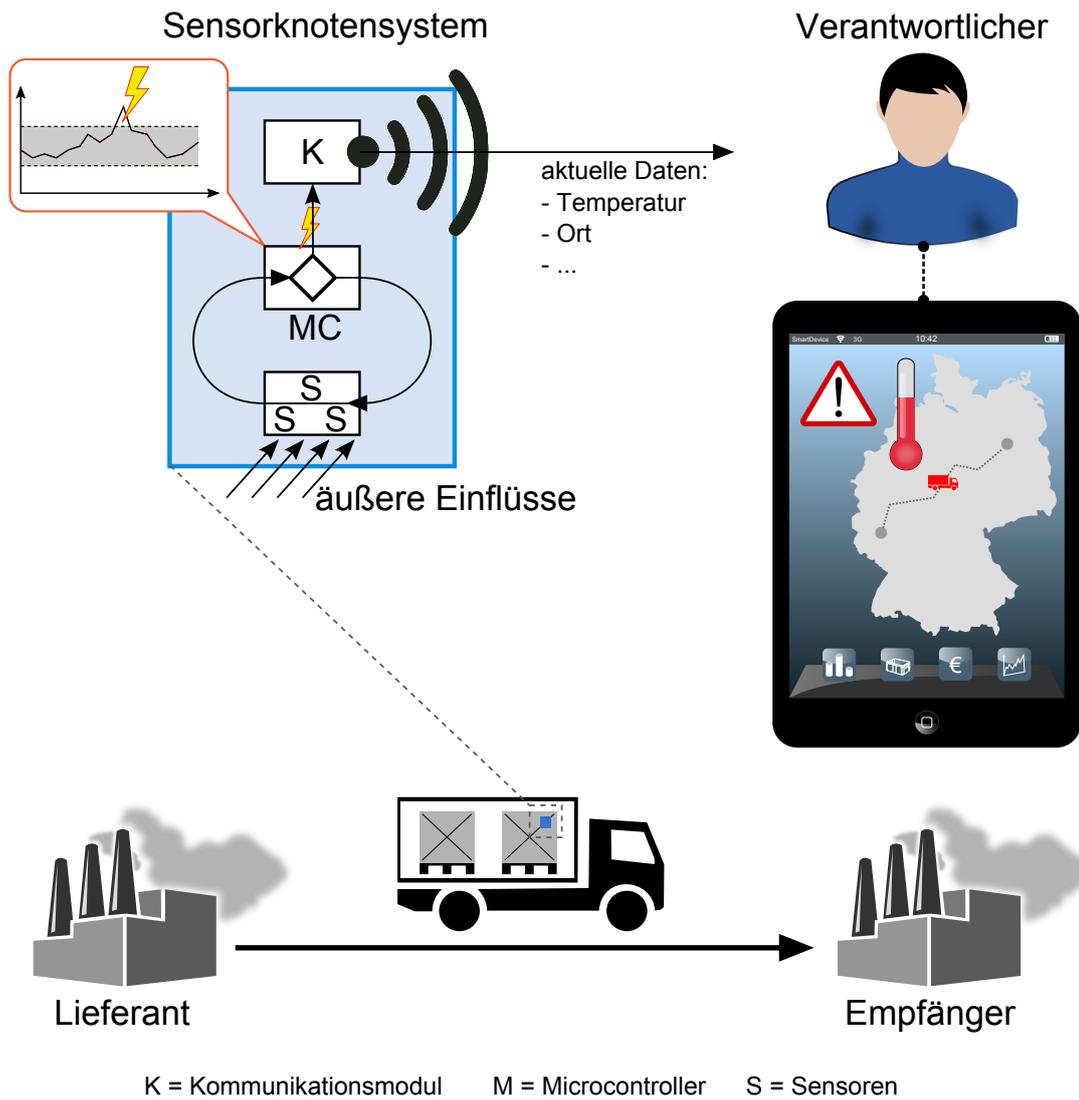


Abb. 7.5: Technologieintegration in den Behälter Szenario Echtzeit-Monitoring mit Eventhandling

Datenbank hat der Verantwortliche jederzeit über ein beliebiges internetfähiges Mobilgerät die Möglichkeit zur Abfrage des aktuellen Status. Zudem erlaubt die Definition von Event-Handlern bei der Programmierung des Sensorknotens das Auslösen eines Alarms bei Überschreitung vordefinierter Sensorschwellen für die Temperatur. Dies führt einerseits zur sofortigen Aussendung einer SMS-Nachricht mit Sensorwert- und Positionsangaben, andererseits wird die Frequenz für die Datenübertragung an das Onlinesystem erhöht, um eine möglichst genaue Abbildung der momentanen Situation im Behälterinneren liefern zu können. Diese Übertragungsfrequenz wird nach unterschreiten der Warnschwelle automatisch wieder herabgesetzt, um die Laufzeit der Energieversorgung über einen Akkumulator nicht unnötig zu verringern.

Zwei der wichtigsten zu überwachenden Größen stellen Behälterinnentemperatur und -druck dar. In der Praxis können dabei zumeist beide Größen mit einem Barometer-Modul gleichzeitig ermittelt werden. Um Leckagen beim Transport flüssiger Güter ermitteln zu können ist zudem die Einbringung eines Flüssigkeitssensors in die Ladeinheit sinnvoll. Dieser erlaubt die Bestimmung von Füllhöhenabweichungen. Um Beschädigungen am Behälter und mögliche Problemsituationen frühzeitig ermitteln zu können, bietet sich das Zusammenspiel zweier Sensoren an: Mittels eines Lagesensors kann ein Kippen der Ladeinheit festgestellt werden, welches auf eine unsachgemäße Behandlung hinweist. Ebenso gefährlich können starke Beschleunigungs-, Brems- und Stoßvorgänge sein, die Implementierung eines Beschleunigungssensors ermöglicht das Feststellen solcher Grenzwertüberschreitungen.

Die stärkste Einschränkung der Nutzung eines Sensorknotensystems für Anwendungsfälle, wie den dargestellten, stellt der Energiebedarf des Systems dar. Da die Energieversorgungseinheit ebenso wie das Technologiemodul möglichst klein und leicht dimensioniert werden sollte, ist die maximale Kapazität der Batterie oder des Akkumulators zumeist eng eingeschränkt. Daher sind zukünftige Optimierungen in dreierlei Hinsicht notwendig, um die Effizienz des Einsatzes von Sensorknoten im Logistik-Umfeld zu steigern. Erstens sind Fortschritte im Bereich der Batterietechnologie zu nennen. Insbesondere durch intensive Forschung aus dem Bereich der Elektromobilität sind hier zukünftig Kapazitätssteigerungen bei geringerem Platzbedarf denkbar. Den zweiten Aspekt stellt die Optimierung des Energiebedarfs des Sensorknotens selbst dar. Hier ist einerseits eine zukünftige Senkung durch technische Fortschritte bei der Fertigung und Leistungsfähigkeit zu erwarten. Andererseits muss besonderes Augenmerk auf die akkurate Optimierung der Betriebszeiten der Einzelkomponenten des Knotens gelegt werden, um unnötige Verbräuche zu verhindern. Den letzten zu berücksichtigende Faktor stellt der Einsatz von „Energy-Harvesting“-Technologie zur Energiegewinnung aus natürlichen Energiequellen dar. Insbesondere die Solartechnologie ist bei ausreichender Bestrahlungsstärke bereits heute in der Lage, die Energieversorgung eines Sensorknotens zu unterstützen. Andere Verfahren wie die Gewinnung von Energie aus Temperaturunterschieden mittels thermoelektrischer Generatoren werden zukünftig möglicherweise ebenfalls Einsatzmöglichkeiten in solchen Szenarien finden.

Insbesondere dieses letzte Szenario zeigt, dass Sensorknoten enormes Potenzial bieten, ein Produkt entlang seiner Lieferkette automatisiert und in Echtzeit zu überwachen. Der

modulare Charakter sowie die freie Programmierbarkeit von Sensorknotensystemen lassen eine Vielzahl von möglichen Anwendungsszenarien zu. Mit weiter fallenden Preisen für die Technik können zukünftig zunehmend mehr Ladungsträger mit Sensorknoten ausgestattet werden. Sei es als fest am oder im Ladungsträger integriertes System oder als singuläres Element, welches im Bedarfsfall an sensiblen Sendungen angebracht werden kann. Dies wird einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Sicherheit im Transport und Umschlag von Gefahrgütern leisten können.

7.2 Anbindung an das System der Behältersteuerung

Bei der Betrachtung multifunktionaler Behältersysteme finden sich in vielen Fällen Szenarien, bei denen der Behälter bereits von Werk aus eine Technologieplattform, zum Beispiel zur Steuerung einer Pumpe, eines Rührwerks oder einer Heiz- oder Kühleinrichtung, eingebaut hat. In solchen Fällen sind die Möglichkeiten einer Verknüpfung beider Technologieeinheiten zu prüfen um einerseits den Energieverbrauch gering zu halten, andererseits aber auch Platz zu sparen und Redundanzen zu vermeiden. Da hier aber auf Grund der Unterschiedlichkeit der einzelnen Systeme eine Einzelfallprüfung möglicher Schnittstellen und Kompatibilitäten erfolgen muss um die Realisierbarkeit zu prüfen wird dieser Aspekt hier nicht näher betrachtet.

8 Aufbau eines Demonstrators in einer repräsentativen Lieferkette

In Abstimmung und Zusammenarbeit mit den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses wurde eine repräsentative Lieferkette für den Einsatz des Demonstrators ausgewählt.

Hierfür wurden die logistischen Prozesse einer typischen Lieferkette in den Bereichen Distribution und Rückführlogistik hardwareseitig dargestellt. Dadurch können die funktionalen Eigenschaften der Technologiekomponenten am Demonstrator verifiziert werden und die theoretisch entwickelte Organisationsmodell für die Steuerung und Verwaltung der Mehrwegbehälter in den der betrieblichen Praxis realitätsnah abgebildeten Prozessen erprobt werden. Um die grundsätzliche Eignung und das richtige Zusammenwirken der technischen Komponenten mit dem organisatorischen Modell zu überprüfen, können die beispielhaften Anwendungen in verschiedenen Szenarien betrieben werden. Das betrifft in erster Linie den Einsatz unterschiedlicher Identifizierungstechnik sowie unterschiedlicher Technologieintegration in den Transportbehälter.

Zielsetzung dieses Arbeitspunktes war es, verschiedene Ausführungsformen eines serviceorientierten Logistikkonzeptes bestehend aus den Hauptkomponenten Organisationsmodell und physisches Demonstrationsobjekt in einem konkreten Anwendungsfall entsprechend der Anforderungen (vgl. Kapitel 3) darzustellen. Weiterhin dient der Demonstrator dazu, das serviceorientierte Konzept für Interessierte zu veranschaulichen.

8.1 Mehrwegsystem

Das exemplarische Mehrwegsystem (vgl. Abbildung 8.1) besteht aus insgesamt fünf Teilnehmern. Es handelt sich dabei um ein empfängerzentriertes System, bei dem ein Produzent seine vier Lieferanten mit Leergut versorgt. Die Lieferanten füllen ein Produkt in den Behälter ab und liefern es an den Produzenten.

8.2 Aufbau des Demonstrators

Abbildung 8.2 zeigt das Demonstrationsmodell.

8.3 Identifikationstechnik

Um die gestellten Anforderungen (vgl. Kapitel ??) an ein multifunktionales Behältersystem erfüllen zu können. Müssen die Behälter mit einer eindeutigen maschinenlesbaren Behälternummer ausgestattet werden. Dazu bieten sich grundsätzlich unterschiedliche Identifikationstechniken an. In den Demonstrator wurden Barcode-, 2D Code- und RFID-Technik integriert, um dem Nutzer des Demonstrators Funktionsweise wie auch Vor- und

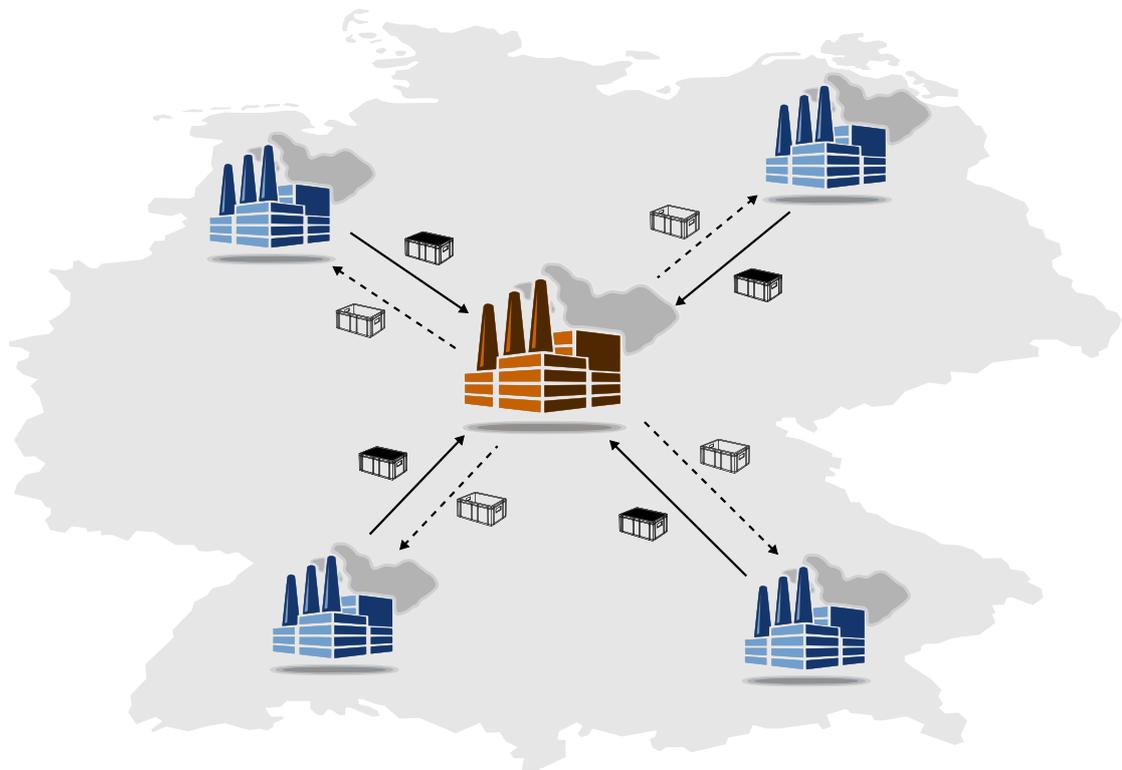


Abb. 8.1: Mehrwegsystem Demonstrator



Ladungsträgermanagementsystem

Barcode und 2D Code Lesegerät

RFID Reader (UHF)

Technikbehälter
laut Szenario Echtzeit-MonitoringTechnikbehälter
laut Szenario EventhandlingOnline Temperatur- und Druck-Monitoring
auf einem TabletModell eines multifunktionalen Behälters inkl.
- Barcode
- QR-Code
- RFID-Transponder (UHF)

Abb. 8.2: Demonstrator

Nachteile der jeweiligen Technik zu verdeutlichen. Die Behälternummer ist sowohl im Barcode, 2D Code und RFID-Transponder kodiert. Während im Barcode nur die Behälternummer enthalten ist, sind im 2D Code und RFID-Transponder weitere Informationen enthalten. So ist beispielsweise die Eigentümer inkl. Anschrift kodiert. Falls der Behälter verloren geht, kann zumindest der Finder den Eigentümer ausmachen.

8.4 Ladungsträgermanagement

Angelehnt an das entwickelte Organisationsmodell (vgl. Kapitel 4.2) wurde ein Ladungsträgermanagementsystem entwickelt, das es erlaubt, die eindeutig gekennzeichneten Behälter entlang ihrer Lieferketten zu verfolgen und Behältermieten entsprechend der Nutzungsdauer zu berechnen.

Im Folgenden wird der Funktionsumfang der entwickelten Ladungsträgermanagementsoftware vorgestellt. Dieser beinhaltet die Funktionen:

- Behälterstammdaten
- Behälterbestand
- Verbuchung Wareneingang
- Verbuchung Warenausgang
- Verbuchung Status
- Tracing
- Mieten

Grundsätzlich werden die am Behälter applizierten Identifikationsträger Barcode, QR-Code und RFID-Transponder dazu genutzt, Behälterbewegungen zu verbuchen.

Die Datenhaltung wurde zentralisiert (vgl. Kapitel 4.2, Abbildung 4.11). Als Datenbank wird MySQL genutzt. Allen Teilnehmern des Mehrwegsystems steht das gleiche web-basierte Ladungsträgermanagement, dessen Funktionalität im Folgenden näher beschrieben wird, zur Verfügung.

Behälterstammdaten

Zu jedem Behälter, der innerhalb des Mehrwegsystems zirkuliert, sind die Stammdaten

- Behälter ID,
- Behälterttyp,
- Behälterlieferant,
- Abmessungen (Länge, Breite, Höhe) und
- Foto des Behälters

erfasst. Durch scannen der Behälternummer mittels Barcodescanner, QR-Scanner oder RFID-Reader können die Behälterstammdaten des jeweiligen Behälters abgerufen werden (vgl. Abbildung 8.3).

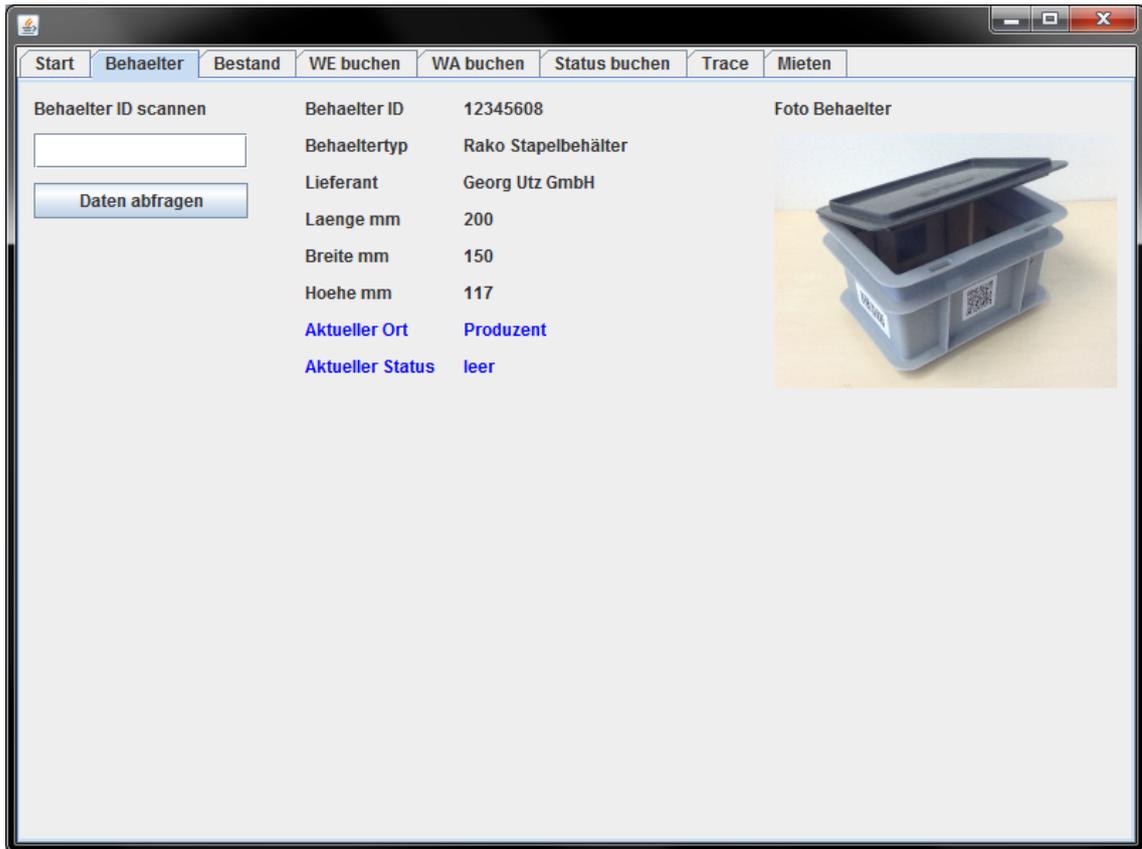


Abb. 8.3: GUI Behälterstammdaten

Behälterbestand

Im Reiter Behälterbestand kann die aktuelle Verteilung der Behälter über die Systemteilnehmer eingesehen werden. Dabei wird die Behälteranzahl an den einzelnen Standorten angezeigt, differenziert nach dem Status (voll oder leer) der Behälter. Zusätzlich können für alle Systemteilnehmer die konkret am Standort befindlichen Behälter abgefragt werden (vgl. Abbildung 8.4).

Verbuchung Wareneingang

Wie im Kapitel 4.2 beschrieben, buchen alle Systemteilnehmer den Wareneingang und Warenausgang der Behälter. Abbildung 8.5 zeigt die Datenmaske zur Verbuchung des Wareneingangs eines Behälters. Der buchende Teilnehmer identifiziert sich, scannt den eingetroffenen Behälter und betätigt den „buchen“ Button. Damit wird die Nutzerkennung des Teilnehmers, die Behälternummer sowie der Zeitstempel der Buchung an die zentrale Datenbank gesendet.

Verbuchung Warenausgang

Der Warenausgang eines Behälters wird analog zum Wareneingang verbucht (vgl. Abbildung 8.6). Der Versender scannt den Behälter. Lieferanten können als Empfänger nur den Produzenten wählen. Der Produzent dagegen kann einen der vier Lieferanten aussuchen. Mit Betätigen des „Warenausgang buchen“ Buttons werden Nutzerkennung, Behälternummer und der Zeitstempel an den Zentralserver gesendet.

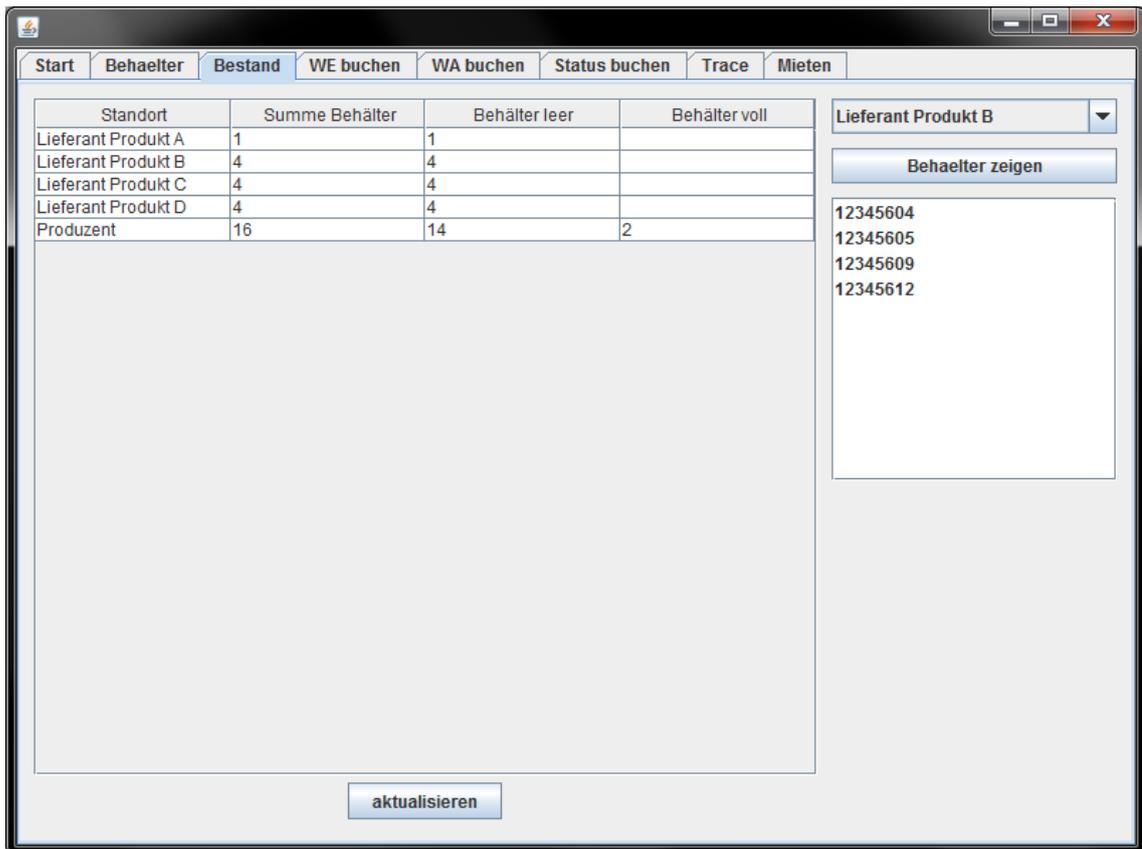


Abb. 8.4: GUI Behälterbestand

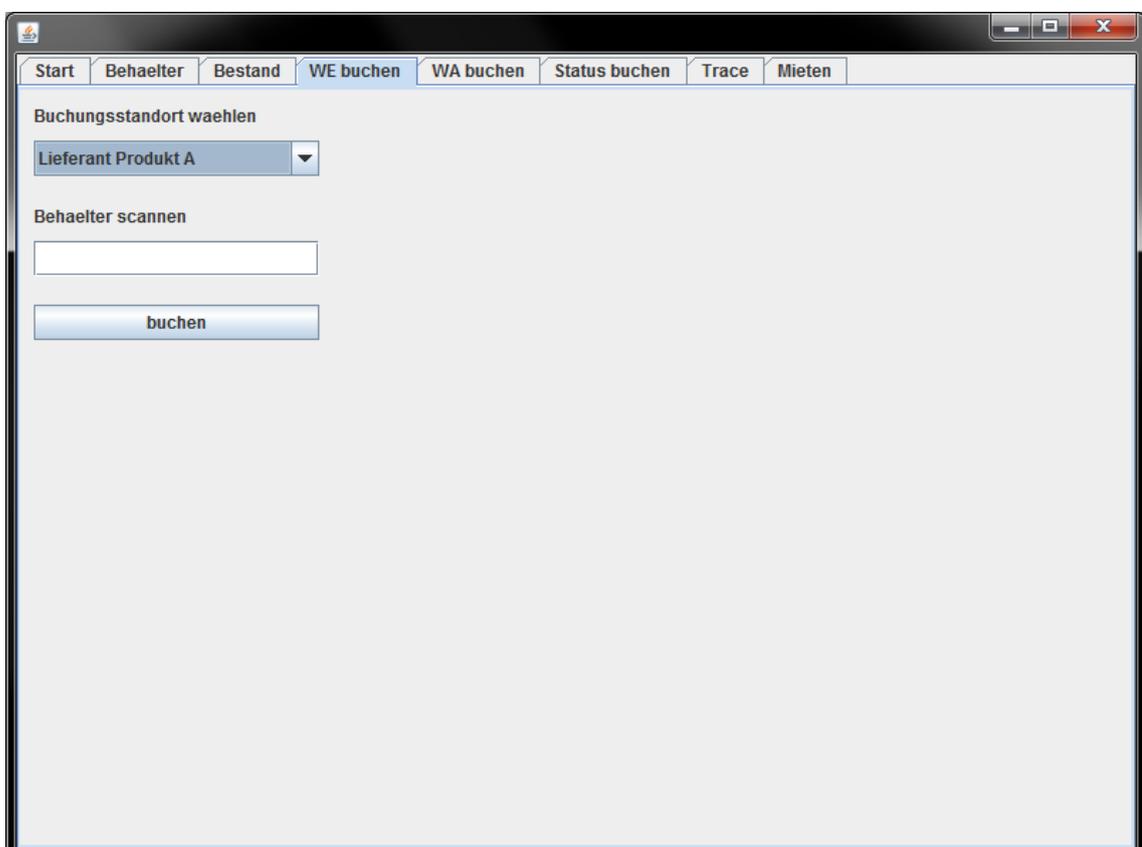


Abb. 8.5: GUI Verbuchung Wareneingang

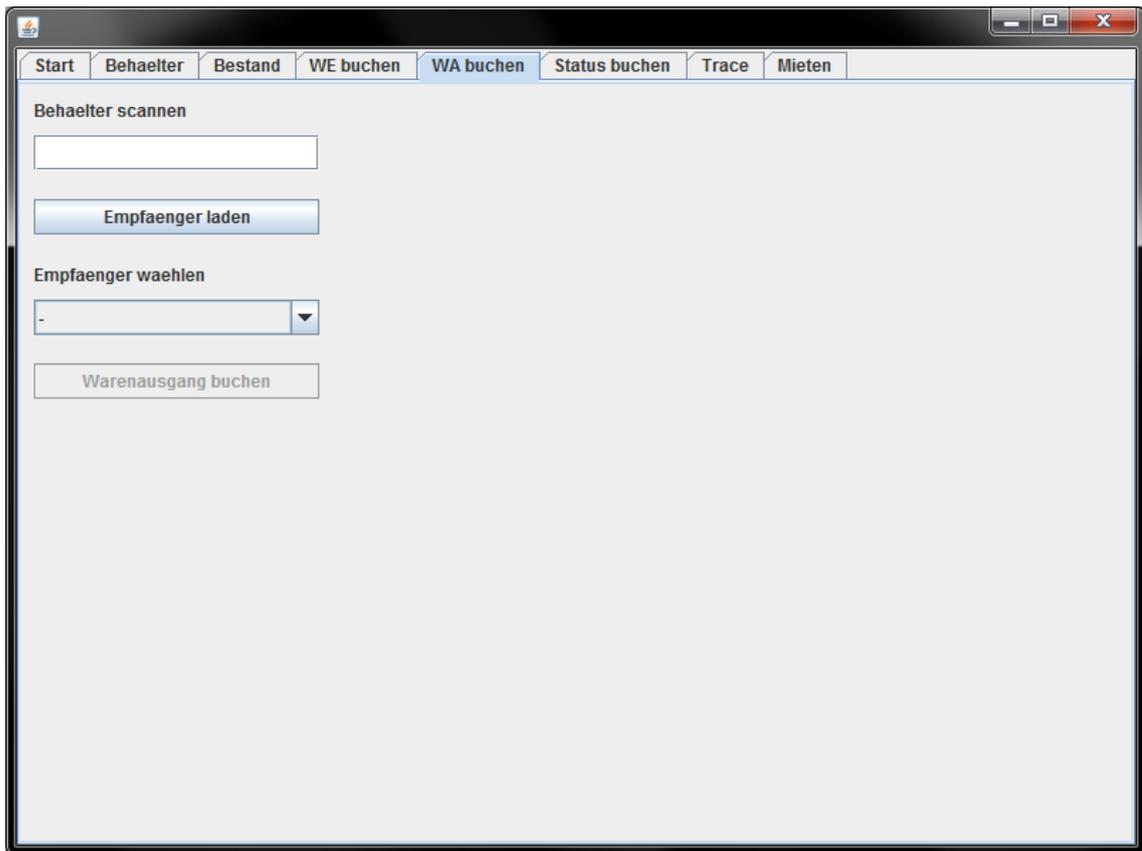


Abb. 8.6: GUI Verbuchung Warenausgang

Verbuchung Status

Sobald der Behälter innerhalb der Produktion geleert worden ist oder ein Lieferant ihn befüllt hat, kann der Status des Behälters durch Scannen der Behälternummer und Wahl des aktuellen Status geändert werden (vgl. Abbildung 8.7). Diese Funktionalität erleichtert die Disponierung der Behälter, da sofort ersichtlich ist, welche und wie viele Behälter an einem Standort zur Abholung zur Verfügung stehen.

Tracing

Falls ein Behälter verloren gegangen ist oder im Schadensfall nachvollzogen werden soll, wer zu welchem Zeitpunkt im Besitz des jeweiligen Behälters war, kann die Bewegungshistorie des Behälters abgefragt werden (vgl. Abbildung 8.8).

Mieten

Wie im Kapitel 4.2 beschrieben, stellt die Nutzungszeit abhängige Verrechnung von Mieten eine effektive Maßnahme dar, die Umlaufhäufigkeit eines Behälters zu steigern und damit den Gesamtbehälterbestand zu reduzieren. Durch die Erfassung der Zeitstempel bei der Verbuchung von Warenein- und Warenausgängen kann stets die Nutzungszeit je Behälter und Teilnehmer berechnet werden. Unter „Mieten“ kann für jeden Systemteilnehmer die Mietdauer für jeden genutzten Behälter abgefragt werden. Multipliziert mit einem zeitabhängigen Mietzins können die Mietkosten für einen definierten Zeitraum berechnet werden (vgl. Abbildung 8.9).

9 Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen

Der Einsatzbereich von multifunktionalen Behältersystemen ist oftmals auf der Seite der abfüllenden Unternehmen (z.B. Hersteller von Nanosuspensionen und Zusatzstoffen) als auch der verarbeitenden Industrie mittelständisch geprägt. Mit der Entwicklung von service-orientierten Logistikkonzepten für multifunktionale Behältersysteme werden die Unternehmen in die Lage versetzt, ihre logistische Abwicklung zur Bereitstellung bzw. Verarbeitung dieser Behälter sowohl unter organisatorischen als auch unter technologischen Aspekten zu optimieren. Die abfüllenden Unternehmen erhalten damit die Möglichkeit, ihren Kunden zusätzliche Services für ihre Produkte anzubieten. Da in vielen Fällen sehr teure und somit kostenintensive Behälter und Medien zum Einsatz kommen, sind die Themen Produktschutz, Rückverfolgbarkeit und Transparenz von besonderer wirtschaftlicher Bedeutung und können durch angepasste Logistikkonzepte für ein intelligentes Mehrweg-Behältersystem erheblich verbessert werden. Durch die mehrfache Wiederverwendbarkeit ergibt sich ein Einsparpotenzial, das deutlich über konventionelle Einweglösungen hinausgeht.

Durch die anwendungsspezifisch entwickelten Bausteine für die Distributions- und Rückführlogistik der hochwertigen Behältersysteme lässt sich eine wirtschaftlich tragfähige individuelle Lösung für verschiedene Anwender erstellen. Dies kann durch den Anwender erfolgen, der quasi aus einem „Baukasten“ die für ihn erforderlichen Einzelemente und die zugehörigen logistischen Services zusammenstellt. Ebenso können die Hersteller die Bereitstellung ihrer Produkte und die zugehörige Behälterlogistik in verschiedenen Servicelevels für unterschiedliche Kunden (A, B oder C-Kunden) oder Vertriebsbereiche (national, Europa, Übersee) anbieten. Dies wird insbesondere durch modular erweiterbare Sensorknoten erzielt.

Die Entwicklung multifunktionaler Behältersysteme erfordert allein auf der Seite der technologischen Umsetzung erhebliche Aufwendungen und Vorleistungen von den meist klein- und mittelständisch geprägten Unternehmen. Erfolgreich und in der breiten Anwendung umsetzen lassen sich solche Systeme nur, wenn die logistische Abwicklung auf die besonderen Anforderungen dieser Behälter angepasst wird. Somit ist das Angebot einer geeigneten Logistik ein wesentlicher wettbewerbsrelevanter Baustein für die erfolgreiche Markteinführung derartiger Systeme. Mit dem Einsatz des multifunktionalen Behälters eröffnen sich für die anwendenden Unternehmen vielfältige Möglichkeiten, ihre logistischen und produktionstechnischen Prozesse zu verbessern. Dies kann beispielsweise die Erkennung und Vermeidung von Produktschäden durch ein Monitoring der TUL-Prozesse sein. Transparenz über den logistischen Status und Standort der Behälter in der Lieferkette ermöglicht eine verbesserte Planung der Behälterverfügbarkeit und Senkung der erforderlichen Behälterbestände in der logistischen Kette.

10 Einschätzung der Realisierbarkeit

Mit den service-orientierten Logistikkonzepten werden die Unternehmen in die Lage versetzt, ihre Behältersysteme in verschiedenen Servicelevels für die logistische Abwicklung anzubieten. Dies ermöglicht einen wirtschaftlichen Einsatz für verschiedene Bereiche und Kundengruppen, die oftmals eigene Anforderungen an die logistische Abwicklung haben.

Die Realisierung der entwickelten Konzepte wird grundsätzlich positiv eingeschätzt. Diese Ansicht wird auch durch die Partner des Projektbegleitenden Ausschusses vertreten. Folgende Punkt gilt es im nächsten Schritt zu realisieren:

Ladungsträgermanagement

Das entwickelte Ladungsträgermanagementmodell muss in web-basierten Architekturen umgesetzt werden. Teilweise können bereits am Markt verfügbare Systeme angepasst werden, so dass keine komplette Neuentwicklung stattfinden muss. Der Umsetzungsaufwand wird auf weniger als ein Jahr geschätzt.

Sensorsysteme zum Echtzeit-Monitoring

Wie die Untersuchungen und Recherchen gezeigt haben, existieren am Markt modular aufgebaute Sensorknotensysteme, die mit überschaubarem Aufwand an individuelle Anforderungen angepasst werden können. Hardwareseitig sind damit alle erforderlichen Komponenten zur Realisierung eines Echtzeit-Monitorings verfügbar. Allein im Bereich der Energieversorgung müssen effizientere Techniken entwickelt werden, um einen längerfristigen Einsatz von Sensorsystemen inkl. Ortungs- und Kommunikationstechnik zu ermöglichen. Das Potenzial der Kombination von Sensorknoten mit „Energy Harvesting“-Modulen muss vertieft untersucht werden. Parallel dazu sollten Steuerungsalgorithmen für Sensorknoten entwickelt werden, die den Energieverbrauch des Sensorknotensystems senken. Der Realisierungsaufwand hierfür wird auf ca. zwei bis drei Jahre geschätzt.

Es ist davon auszugehen, dass für bestimmte Einsatzszenarien im direkten Anschluss an den erfolgreichen Abschluss des Forschungsprojektes multifunktionale Behälter in verschiedenen Anwendungen z.B. für die Distribution von hochwertigen Nanosuspensionen seinen Einsatz finden werden. Es sind weitere Interessensbekundungen von Firmen für den Umgang mit Gefahrstoffen vorhanden, bei Vorlage geeigneter Behälter und logistischer Abwicklungskonzepte diese einzusetzen. Die Finanzierbarkeit des Behälterereinsatzes sollte sich aus den deutlich verbesserten Servicegraden hinsichtlich Behälterverfügbarkeit, Reduzierung des erforderlichen Behälterbestandes und Transparenz innerhalb der Prozesse ergeben.

11 Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Nachfolgend ist der fortgeschriebene Plan zum Ergebnistransfer in Tabellenform aufgeführt.

Maßnahme	Ziel	Rahmen	Datum/ Zeitraum
Projekt-Website	Regelmäßiger Bericht über den aktuellen Fortschritt und erlangte Ergebnisse	Internet	Dezember 2011
Newsletter per Email-Verteiler	Versorgung von Interessenten mit Informationen und Ergebnissen	Email	Halbjährlich ab Projektbeginn
Projektbegleitender Ausschuss	Fortlaufende Diskussion der Ergebnisse im Projektbegleitenden Ausschuss, Festlegung und Abstimmung von Maßnahmen	Ausschustreffen am Ort der Forschungsstelle	1. Treffen: 07.03.2012 2. Treffen: 07.03.2013
Veröffentlichung in praxisnahen Fachzeitschriften	Ergebnistransfer primär an die Wirtschaft	Fachzeitschriften aus den Bereichen Logistik und Produktion	Veröffentlichung in DI-Ingenieurforum Dezember 2012 Veröffentlichung in Schweizer Logistikkatalog Mai 2013 Veröffentlichung in Der Gefahrgutbeauftragte Mai 2013 Veröffentlichung in IT & Production Juni 2013 Veröffentlichung in Logistik entdecken September 2013
Fachvorträge und Messestände auf Messen	Vorstellung des Projekts und der erzielten Ergebnisse	Fachpack 2012	Fachpack 2012 (Vorstellung eines ersten Demonstrators sowie Vorstellung der erzielten Ergebnisse in Form einer Standpräsentation und Flyer)

Abb. 11.1: Ergebnistransfer in die Wirtschaft

12 Veröffentlichungen

Im Rahmen des Vorhabens wurden die erzielten Ergebnisse in Fachzeitschriften sowie auf Messen veröffentlicht. Folgend sind die Veröffentlichungen zusammengefasst.

Pelka, Michael; Thiele, Björn; Lammers Wolfgang: Integriertes Behältermanagement für multifunktionale Behältersysteme - Forschungsprojekt zeigt neue Wege auf. In: Schweizer Logistikkatalog 2013, Laufenburg/Schweiz: Binkert Medien AG, Mai 2013.

Pelka, Michael; Lammers, Wolfgang; Thiele, Björn: Produktionsnahe Mehrwegsysteme optimieren. In: IT & Production, Ausgabe Juni, Marburg: Technik-Dokumentations-Verlag GmbH, 2013.

Pelka, Michael; Thiele, Björn; Lammers Wolfgang: Echtzeit-Monitoring - Die Ladung schlägt Alarm. In: Der Gefahrgutbeauftragte, Ausgabe Mai, Hamburg: Storck Verlag, 2013.

Lammers Wolfgang; Pelka, Michael; Thiele, Björn: Multifunktionale Behältersysteme - Service-orientiertes Logistikkonzept. In: VDI Ingenieur Forum, Ausgabe 4/2012 H45620, Münster: Münsterländer BV, 2012.

Pelka, Michael; Lammers Wolfgang; Thiele, Björn: Service-orientiertes Logistikkonzept - Integriertes Behältermanagement für multifunktionale Behältersysteme. In: Logistik entdecken, Dortmund: Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik, September 2013.

Weiterhin wurde auf der Messe Fachpack 2012 am Stand des Fraunhofer IML ein multifunktionaler Behälter der Firma ViscoTec mit integriertem Sensorknoten präsentiert. Zusätzlich wurde eine Projekt-Flyer erstellt und ausgelegt.

13 Verwendung der Zuwendung

Arbeitspaket: Anforderungsprofil der logistischen Lieferketten und Empfindlichkeitsprofil der Abfüllprodukte

In diesem Arbeitsschritt wurden die Rahmenbedingungen und Anforderungen logistischer Lieferketten und die zugehörigen logistischen TUL-Prozesse für unterschiedliche multifunktionale Behältersysteme und Branchen erhoben. Zielsetzung dieses Arbeitspakets war die Zusammenfassung der Anforderungen für verschiedene Anwendungsbereiche, Produktarten und -typen ebenso wie Distributions- und Verteilungsstrukturen.

Dazu benötigt und eingesetzt:

Der Arbeitsaufwand betrug 1 Personenmonat. Es wurde ein wissenschaftlicher Mitarbeiter mit abgeschlossenem Hochschulstudium der Logistik (Dipl.-Logist.) eingesetzt.

Arbeitspaket: Entwicklung von Organisationsmodellen zur Behältersteuerung und Verwaltung

Auf der Basis der aus dem Mehrwegmanagement bekannten Elemente einer Aufbau- und Ablauforganisation wurden spezifische Modelle für das Management von multifunktionalen Mehrwegbehältern entwickelt. Unter Berücksichtigung der spezifischen Rahmenbedingungen für das geplante Behältersystem wurden bekannte Organisationsformen analysiert und ihre Übertragbarkeit auf multifunktionale Behältersysteme geprüft und bewertet. Ziel war die Ableitung geeigneter Organisationsmodelle, die ein ganzheitliches Ladungsträgermanagement fokussieren.

Dazu benötigt und eingesetzt:

Der Arbeitsaufwand betrug 1 Personenmonat. Es wurde ein wissenschaftlicher Mitarbeiter mit abgeschlossenem Hochschulstudium der Logistik (Dipl.-Logist.) eingesetzt.

Arbeitspaket: Strukturierung der Daten- und Informationsschnittstellen

Im Rahmen des Arbeitspakets wurden in der Logistikkette existierende Datenschnittstellen analysiert und auf Funktionalität hinsichtlich der zu übertragenden Daten eingestuft. Das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes ist die strukturierte Abbildung verschiedener Datenschnittstellen. Ziel war eine allgemeine Darstellung der Möglichkeiten. In den folgenden Arbeitsschritten wurde sich dieser bedient, um für den betrachteten Anwendungsfall geeignete Datenschnittstellen in Abhängigkeit der Anforderungen auszuwählen.

Dazu benötigt und eingesetzt:

Der Arbeitsaufwand betrug 2 Personenmonate. Es wurde ein wissenschaftlicher Mitarbeiter mit abgeschlossenem Hochschulstudium der Logistik (Dipl.-Logist.) eingesetzt.

Arbeitspaket: Technologieauswahl und Test der Hardwarekomponenten

Die Auswahl von geeigneten Hardwarekomponenten und Datenschnittstellen orientierte sich an dem in Arbeitsschritt eins erstellten Anforderungsprofil sowie an weiteren Anforderungen, die sich aus den entwickelten Organisationmodellen (Arbeitsschritt 2) ergaben. Weiterhin wurde die Funktionalität ausgewählter Komponenten getestet. Abschließend wurden die positiv getesteten Hardwarekomponenten strukturiert.

Dazu benötigt und eingesetzt:

Der Arbeitsaufwand betrug 2 Personenmonate. Es wurde ein wissenschaftlicher Mitarbeiter mit abgeschlossenem Hochschulstudium der Logistik (Dipl.-Logist.) eingesetzt.

Arbeitspaket: Integration in den Behälter und Anbindung an das Steuerungsmodul des Behälters

Im ersten Arbeitsschritt wurde ein Anforderungsprofil in organisatorischer wie auch technischer Hinsicht an ausgewählte multifunktionale Behältersysteme erstellt. Im zweiten Arbeitsschritt wurden geeignete Organisationsmodelle entwickelt. Die Umsetzung dieser Modelle in ein Logistikkonzept erfordert den Einsatz von technischen Komponenten wie auch die Nutzung geeigneter und kompatibler Datenschnittstellen. Arbeitsschritte drei und vier haben dazu Grundlagen vorbereitet. Ziel dieses Arbeitsschrittes war es, für definierte Anwendungsszenarien Hardwarekomponenten in einen exemplarischen Behälter zu integrieren.

Dazu benötigt und eingesetzt:

Der Arbeitsaufwand betrug 10 Personenmonate. Es wurden zwei wissenschaftliche Mitarbeiter mit abgeschlossenem Hochschulstudium der Logistik (Dipl.-Logist.) eingesetzt.

Arbeitspaket: Aufbau eines Demonstrators in einer repräsentativen Lieferkette

In Abstimmung mit den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses wurde eine repräsentative Lieferkette für den Einsatz eines Demonstrators auf Basis der beiden in Arbeitsschritt fünf entwickelten Szenarien definiert. Ziel war es, die Funktion der entwickelten Organisationsmodelle in Zusammenwirken mit technischen Hardwarekomponenten zu ver-

anschaulichen.

Dazu benötigt und eingesetzt:

Der Arbeitsaufwand betrug 4 Personenmonate. Es wurden zwei wissenschaftliche Mitarbeiter mit abgeschlossenem Hochschulstudium der Logistik (Dipl.-Logist.) eingesetzt.

14 Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 17285 N der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie



ALLIANZ
INDUSTRIE
FORSCHUNG

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Literaturverzeichnis

- [BBG⁺06] Baumann, Gerd; Baumgart, Michael; Geltinger, Alfred; Kähler, Volker; Le-
werenz, Wolfgang; Schliebner, Inka: *Logistische Prozesse*. 14. Aufl. Troisdorf:
Bildungsverlag EINS, 2006. – ISBN 978-3-441-00360-1
- [BH09] Benra, Juliane T.; Halang, Wolfgang A.: *Software-Entwicklung für Echt-
zeitsysteme*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2009. – ISBN 978-3-642-
01595-3
- [Bir99] Birk, Dietrich: *Entwicklung, Beurteilung und Auswahl alternativer Trans-
portverpackungskonzepte als integraler Bestandteil der Unternehmenslogistik*.
Aachen: Shaker Verlag, 1999
- [Boe94] Boeckle, Udo: *Modelle von Verpackungssystemen - Lebenszyklusorientier-
te Untersuchung*. Wiesbaden: DUV Deutscher Universitäts-Verlag, 1994. –
ISBN 978-3-824-46070-0
- [Bog12] Bogaschewsky, Ronald: *Supply Management Research: Aktuelle Forschungs-
ergebnisse 2012*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2012
- [Bus11] Busch, Rudolf: *Elektrotechnik und Elektronik - Für Maschinenbauer und
Verfahrenstechniker*. 6. Aufl. Wiesbaden: Vieweg und Teubner, 2011. – ISBN
978-3-8348-0998-8
- [Cra12] Crastan, Valentin: Chemische Energiespeicher. In: *Elektrische Energiever-
sorgung 2* (2012)
- [DH10] Dodel, Hans; Häupler, Dieter: *Satellitennavigation*. Berlin, Heidelberg: Sprin-
ger Verlag, 2010. – ISBN 978-3-540-79443-1
- [DIN44300] Deutsches Institut für Normung DIN: *DIN-Norm 44300: Informationsverar-
beitung*. Berlin: Beuth-Verlag, 1985
- [DIN55405] Deutsches Institut für Normung DIN: *DIN-Norm 55405: Verpackung - Ter-
minologie - Begriffe*. Berlin: Beuth-Verlag, 2006
- [Dor01] Dornbusch, Peter: *Location-based Services in zellularen Netzen*. Aachen:
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule RWTH Aachen, 2001
- [DPC08] US Department of Defense: Positioning, Navigation; Committee, Timing E.:
Global Positioning System Standard Positioning Service Signal Specification.
Washington, DC, USA, 2008
- [ETS00] ETSI, European Telecommunication Standards I.: *Digital cellular telecom-
munications system (Phase 2); Location Services (LCS); (Functional descrip-
tion) - Stage 2*. 2000

- [ETZ05] Eissfeller, Bernd; Teuber, Andreas; Zucker, Peter: *Indoor-GPS: Ist der Satellitenempfang in Gebäuden möglich*. Neubiberg: Institut für Erdmessung und Navigation, Universität der Bundeswehr München, 2005
- [HB06a] Hofmann, Erik; Bachmann, Harald: Behälter-Management - Konzept zur Steuerung von Ladungsträgerkreisläufen. In: *Jahrbuch der Logistik 2006* (2006)
- [HB06b] Hofmann, Erik; Bachmann, Harald: *Behälter-Management in der Praxis - State-of-the-art und Entwicklungstendenzen bei der Steuerung von Ladungsträgerkreisläufen*. Hamburg: Deutscher Verkehrs-Verlag, 2006
- [HBF08] ten Hompel, Michael; Büchter, Hubert; Franzke, Ulrich: *Identifikationssysteme und Automatisierung*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. – ISBN 9783540758808
- [HBM⁺04] Hähner, Jörg; Becker, Christian; Marron, Pedro J.; Rothermel, Kurt: *Drahtlose Sensornetze - Fenster zur Realwelt*. Stuttgart: Institut für Parallele und Verteilte Systeme, Universität Stuttgart, 2004
- [Hei13] Heise: *heise mobil Länderliste Deutschland*. http://www.heise.de/mobil/laenderliste/details/mobil_land_327392.html, 2013
- [Her10] Hering, Ekbert: *Sensoren: Funktionsweise und Einsatzgebiete*. 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg, 2010
- [HH11] Hompel, Michael; Heidenblut, Volker: *Taschenlexikon Logistik: Abkürzungen, Definitionen und Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. – ISBN 978-3-642-19945-5
- [HS11] Hesse, Stefan; Schnell, Gerhard: *Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation: Funktion - Ausführung - Anwendung*. 5. Aufl. Wiesbaden: Vieweg und Teubner, 2011
- [Jan05] Jann, Ben: *Einführung in die Statistik*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2005. – ISBN 978-3-486-57687-0
- [JS00] Jünemann, Reinhardt; Schmidt, Thorsten: *Materialflußsysteme: Systemtechnische Grundlagen*. 2. Aufl. Berlin: Springer, 2000. – ISBN 3-540-65076-8
- [Kam11] Kammerath, Jan: *Weltweit mobiles Internet*. <http://www.kammerath.net/weltweit-mobiles-internet.html>, 2011
- [Lan97] Lange, Volker: *Dissertation: Integration und Implementierung von Mehrweg-Transport-Verpackungssystemen in bestehende Logistikstrukturen*. Dortmund: Universität Dortmund, Fachbereich Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, 1997
- [Lec02] Leclerc, Matthias: Behälterlogistik als zentrale Aufgabe des Supply Chain Management. In: *Supply Chain Management* (2002)

- [Lip13a] Lipinski, Klaus: *ITWissen.info: Flashspeicher*. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Flash-Speicher-flash-memory.html>, 2013
- [Lip13b] Lipinski, Klaus: *ITWissen.info: Selbstentladung*. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Selbstentladung-self-discharge-sd.html>, 2013
- [LPBMG07] Lo-Piccolo, Francesca; Blefari-Melazzi, Nicola; Giustiniano, Domenico: Power-measurement-based relative localization in GSM cellular networks. In: *Satellite and Space Communications, 2007. IWSSC 2007. International Workshop on 13-14 Sept. 2007* (2007)
- [LS12] Lackes, Richard; Siepermann, Markus: *Serviceorientierte Architektur*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/76895/soa-v5.html>, 2012
- [Moc11] Mockenhaupt, Bruno: *Versuch 5 - Sensorversuchsstand*. http://www.mb.uni-siegen.de/lfa/lehre/v5_--_text_und_abbildungen.pdf, 2011
- [Nau04] Naundorf, Uwe: *Digitale Elektronik - Theoretische Grundlagen und Schaltungsanalysen*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2004. – ISBN 978-3-486-27598-8
- [Par08] Parthier, Rainer: *Messtechnik*. 4. Aufl. Wiesbaden: Friedr. Vieweg und Sohn Verlag, 2008
- [PMK00] Prasad, Ramjee; Mohr, Werner; Konhäuser, Walter: *Third Generation Mobile Communication Systems*. London: Artech House Books, 2000. – ISBN 978-1-58053-082-6
- [Rau13] für Luft-und Raumfahrt, Deutsches Z.: *Bis auf den Meter genau: Navigation mit Galileo*. http://www.dlr.de/next/desktopdefault.aspx/tabid-6804/11164_read-25462/, 2013
- [Sau11] Sauter, Martin: *Grundkurs Mobile Kommunikationssysteme*. 4. Aufl. Wiesbaden: Vieweg Teubner Verlag, 2011. – ISBN 978-3-8348-1407-4
- [SBH11] Schiffmann, Wolfram; Bähring, Helmut; Hönig, Udo: *Grundlagen der PC-Technologie*. Berlin: Springer, 2011
- [SBPT13] National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation; Timing: *Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics*. <http://www.gps.gov/systems/gps>, 2013
- [Sch03a] Schnabel, Patrick: *Computertechnik-Fibel: Grundlagen Computertechnik, Mikroprozessortechnik, Halbleiterspeicher, Schnittstellen und Peripherie*. Ludwigsburg, 2003. – ISBN 978-3831149162
- [Sch03b] Schnabel, Patrick: *Kommunikationstechnik-Fibel: Grundlagen, Festnetz, Mobilfunktechnik, Breitbandtechnik, Netzwerktechnik*. Ludwigsburg, 2003. – ISBN 978-3833005671

- [Sch12] Schnabel, Patrick: *Grundlagen Mobilfunk*. <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/0406221.htm>, 2012
- [SH06] Schöch, Robert; Hildebrand, Christian: Ein integrierter Ansatz für diskrete und stetige Sendungsverfolgung auf Stückgutebene mittels RFID und GSM. In: *Informationssysteme in Transport und Verkehr* (2006)
- [SH11] Skorna, Alexander; Hinz, Andreas: Warentransport ist risikoreich. In: *io management, Nr.4* (2011)
- [Stu08] Studer, Bruno: *Positionsbestimmung per GSM und Satelliten - Location-based Services*. Chur: Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW, 2008
- [Vah07] Vahrenkamp, Richard: *Logistik - Management und Strategien*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2007
- [VDA5007] Verband der Automobilindustrie: *VDA 5007: Leitfaden zum Behältermanagement*. Frankfurt: Verband der Automobilindustrie, 2006
- [VDI4460] Verein Deutscher Ingenieure VDI: *VDI-Richtlinie 4460: Mehrwegtransportverpackungen und Mehrwegsysteme zum rationellen Lastentransport*. Berlin: Beuth-Verlag, 2003
- [Vis12] ViscoTec: *ViscoTainer*. <http://www.viscotec.de/produkte/neue-seite>, 2012
- [Wil90] Wildemann, Horst: *Das Just-in-time-Konzept - Produktion und Zulieferung auf Abruf*. München: TCW Transfer-Centrum-Verlag GmbH, 1990
- [Wil95] Wildemann, Horst: *Behältersysteme - Konzepte zur Optimierung des Behälterkreislaufs*. München: TCW Transfer-Centrum für Produktions-Logistik und Technologie-Management, 1995
- [Wil01] Wildemann, Horst: *Das Just-in-time-Konzept - Produktion und Zulieferung auf Abruf*. München: TCW Transfer-Centrum-Verlag GmbH, 2001
- [WU07] Woitowitz, Robert; Urbanski, Klaus: *Digitaltechnik*. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2007