

Projektarbeit

Einflussfaktoren und Ansätze zur Optimierung des Energieverbrauchs in
der Distributionslogistik im Kontext der Nachhaltigkeit

vorgelegt von:

Gerriet Janßen (130652)

Lars Birkholz (129605)

ausgegeben am:

13.12.2013

eingereicht am:

03.04.2014

Betreuer:

Dipl.-Wirt.-Ing. M. Umut Sari

I. Inhaltsverzeichnis

I. Inhaltsverzeichnis	1
II. Abbildungsverzeichnis	3
III. Tabellenverzeichnis	3
IV. Autorenübersicht	3
1 Einleitung	4
1.1 Aufgabenstellung	4
1.2 Gliederung	5
2 Distributionslogistik	6
2.1 Transportlogistik	7
2.1.1 Transportgüter	7
2.1.2 Transportmittel	7
2.1.3 Der Transportprozess	9
2.1.4 Touren- und Routenplanung	10
2.2 Lagerlogistik	12
2.2.1 Aufgaben und Funktionen von Lagern	12
2.2.2 Grundtypen und Arten von Lagern	13
2.2.3 Ladeeinheiten	15
2.2.4 Lagermittel	15
2.2.5 Fördermittel im Lager	17
3 Betrachtung von Kennzahlen im Kontext der Nachhaltigkeit	18
3.1 Energiemanagement	18
3.1.1 Abgrenzung der Begriffe Energiemanagement, -bilanz und -effizienz	18
3.1.2 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen	20
3.2 Nachhaltigkeit	22
3.2.1 Historische Entwicklung der Definition von Nachhaltigkeit	22
3.2.2 Triple Bottom Ansatz	23
3.3 Kennzahlen	26
3.3.1 Der Begriff der Kennzahlen	26
3.3.2 Aufgaben und Funktion von Kennzahlen	27
3.4 Kennzahlen im Kontext der Nachhaltigkeit	28
3.4.1 Ressourcen-Verbrauchsniveau	28
3.4.2 Ressourcen-Einsparungsgrad	28
3.4.3 Sustainable Value	29

4 Einflussfaktoren auf die Energiebilanz der Distributionslogistik.....	30
4.1 Einflussfaktoren auf die Energiebilanz im Transportwesen	31
4.2 Einflussfaktoren auf die Energiebilanz im Lagerwesen	32
4.2.1 Lager-, Förder- und Kommissioniertechnik	33
4.2.2 Heizungs- und Lüftungstechnik.....	35
4.2.3 Beleuchtungstechnik	37
4.2.4 Sonstige Einflussfaktoren	39
5 Optimierungsansätze zur Reduzierung des Energieverbrauchs	40
5.1 Energieeinsparmaßnahmen im Transportwesen.....	40
5.2 Energieeinsparmaßnahmen im Lagerwesen	43
5.2.1 Lager-, Förder- und Kommissioniertechnik	44
5.2.2 Heizungs- und Lüftungstechnik.....	46
5.2.3 Beleuchtungstechnik	48
5.2.4 Sonstige Einflussfaktoren am Beispiel der Reinigungstechnik	50
6 Fazit	51
V. Quellenverzeichnis.....	52
VI. Eidesstattliche Versicherung	57

II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel für ein vierstufiges Warenverteilssystem	9
Abbildung 2: Darstellung von Clustering- und Routingproblemen bei der Tourenplanung.....	10
Abbildung 3: Verbraucherpreisindizes Kraftstoff	20
Abbildung 4: Verbrauchspreisindex Strom	21
Abbildung 5: Entwicklung des Begriffes der Nachhaltigkeit.....	22
Abbildung 6: Drei-Säulen-Modell nach Elkington	24
Abbildung 7: Aufteilungen der Energiekosten in der Logistik und in der Intralogistik.....	30
Abbildung 8: Spezifischer Energieverbrauch verschiedener Transportmittel.....	32
Abbildung 9: Vereinfachte Darstellung des Warenflusses in einem Lager	33
Abbildung 10: Bedeutung einer effektiven und effizienten Kommissioniertechnik	35
Abbildung 11: Gründe für und gegen eine Anpassung des Raumklimas an den Mitarbeiter ..	36
Abbildung 12: Bedeutung der Beleuchtungstechnik aus Sicht der Mitarbeiter	37
Abbildung 13: Energiesparmaßnahmen während des Transportprozesses	43
Abbildung 14: Anforderungen an Bestandsgebäude und Gebäudekonzepte	44
Abbildung 15: Energiesparmaßnahmen der Lager-, Förder- und Kommissioniertechnik.....	46
Abbildung 16: Energiesparmaßnahmen der Heizungs- und Lüftungstechnik.....	47
Abbildung 17: Energiesparmaßnahmen der Beleuchtungstechnik bestehender Gebäude....	49
Abbildung 18: Energiesparmaßnahmen der Reinigungstechnik des Bodens	50

III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verkehrsleistung 2009 - 2012	8
Tabelle 2: Beleuchtungsstärken verschiedener Bereiche nach DIN 5035 / EN 12454	38

IV. Autorenübersicht

Lars Birkholz	Kapitel 1, 2, 3
Gerriet Janßen	Kapitel 4, 5, 6

1 Einleitung (Lars Birkholz)

Nachhaltigkeit: oftmals wird mit diesem Begriff auch das Attribut Grün verbunden.

„Green Procurement“ – also das grüne und somit nachhaltige Beschaffungswesen – ist nur eine der vielen Phrasen, die derzeit benutzt werden. „Grün hingegen ist eine Farbe, mit der man vieles anstreichen kann“ ([BB12], S.13) und somit genügt es nicht immer, nur dieses Wort als Präfix mit einzubinden. Dabei umfasst der Nachhaltigkeitsbegriff viel mehr als nur das. Nachhaltigkeit im übergeordneten Sinne ist eine „Idee der Generationengerechtigkeit“ ([BB12], S.17).

Dies bedeutet, dass wir unseren Kindern und Enkel dieselbe Chance zu leben geben sollten, wie auch wir sie haben bzw. hatten. Derzeit leben wir auf dieser Erde jedoch, als ob wir 1,2 Erden zur Verfügung haben (vgl. [BB12], S.17). Dies bedeutet, dass unser Verbrauch von Ressourcen so hoch ist, dass für unsere Nachfahren nicht derselbe Ausgangspunkt gegeben ist. Anders ausgedrückt: derzeit erhalten wir nicht den Ist-Zustand, sondern verbrauchen Ressourcen, die kommenden Generationen zustehen. Somit besteht die Notwendigkeit, Ressourcen und Bestände zu konservieren bzw. verantwortungsvoll und sparsam mit ihnen umzugehen.

Um diese Forderung zu erfüllen, ist es gerade in der Logistik notwendig, systemtheoretisch und themenübergreifend zu denken und verschiedenste Ansatzpunkte zum nachhaltigen Wirtschaften, zum effizienten Energiemanagement und zur Ressourcenkonservierung in Betracht zu ziehen. [BB12] Um diesem Ziel gerecht zu werden, kann schon im Kleinen angefangen werden.

1.1 Aufgabenstellung

So liegt der Fokus dieser Projektarbeit auf der Energiebilanz in der Distributionslogistik, mit der Absicht, Einflussfaktoren auf die Energiebilanz der Distributionslogistik zu ermitteln und anhand dieser Optimierungsmöglichkeiten zu erarbeiten, die zur Verminderung des Energieverbrauchs beitragen. Letztendlich soll auf diese Weise aufgezeigt werden, dass die oben beschriebenen Aspekte der Nachhaltigkeit durch ein nachhaltiges Wirtschaften erfüllt werden können.

1.2 Gliederung

Diese Projektarbeit ist im Wesentlichen in zwei Teile gegliedert. Der erste Teil – die Kapitel 2 und 3 – befassen sich mit der Theorie, die mit der Materie einhergeht, der zweite Teil – die Kapitel 4 und 5 – beschreiben die derzeitigen Einflussfaktoren in der Distributionslogistik sowie mögliches Optimierungspotenzial und bilden so den praxis- und lösungsorientierten Teil dieser Projektarbeit. Im Rahmen dieser Arbeit fiel es mir zu, die theoretischen Grundlagen zu ermitteln und aufzuarbeiten.

Eingehend wird in Kapitel 2 beschrieben, worum es sich bei dem Begriff der Distributionslogistik handelt. Die Unterkapitel 2.1 und 2.2 gehen hierbei genauer auf die Teilgebiete der Transport- und Lagerlogistik ein. Im Rahmen der Transportlogistik werden dabei die Begriffe des Transportguts (Kap. 2.1.1), des Transportmittels (Kap. 2.1.2), des Transportprozesses (Kap. 2.1.3) und der Touren- und Routenplanung (Kap. 2.1.4) näher beleuchtet. Die Lagerlogistik umfasst die Aufgaben- und Funktionen von Lagern (Kap. 2.2.1), die Grundtypen und Arten von Lagern (Kap. 2.2.2), Ladeeinheiten und Lademittel (Kap. 2.2.3 bzw. 2.2.4) sowie die im Lager eingesetzten Fördermittel (Kap. 2.2.5). Da im Praxisteil die Notwendigkeit besteht, die derzeitige ökonomische und ökologische Situation zu quantifizieren, ist es unabdingbar, im vorangehenden Teil die elementaren Begriffe der Praxis zu definieren und Möglichkeiten aufzuzeigen, diese in Zahlen zu fassen, was den Schwerpunkt des dritten Kapitels darstellt. So werden in Kapitel 3.1 bzw. im Unterkapitel 3.1.1 die Begriffe des Energiemanagements, der Energiebilanz und der Energieeffizienz erläutert und voneinander abgegrenzt. Kapitel 3.1.2 beschäftigt sich derweil mit den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, die die Logistikbranche als solches und die Distributionslogistik als spezielles umgibt. In Kapitel 3.2 wird der Begriff der Nachhaltigkeit näher erläutert. Dabei wird beginnend die historische Entwicklung des Nachhaltigkeitsbegriffes in Kapitel 3.2.1 beschrieben und der daraus resultierenden Triple Bottom Ansatz in Kapitel 3.2.2 näher betrachtet. Das Kapitel 3.3 beschäftigt sich mit dem allgemeinen Begriff der Kennzahl und welche Aufgaben und Funktionen diese beinhalten. In Kapitel 3.4 werden darauf aufbauend Kennzahlen beschrieben, die gerade im Kontext der Nachhaltigkeit und im weiteren Verlauf dieser Arbeit eine wichtige Rolle spielen. Darunter fällt das in Kapitel 3.4.1 beschriebene Ressourcen-Verbrauchsniveau, der Ressourcen-Einsparungsgrad in Kapitel 3.4.2 und die Sustainable Value – also die Nachhaltigkeitsleistung in einem Unternehmen – in Kapitel 3.4.3.

2 Distributionslogistik

Die Distribution ist der Produktion nachgelagert und „verknüpft die Absatzseite des Unternehmens mit ihren nachfragenden Kunden“ ([BCV98], S.12). Die Aufgabe der Distributionslogistik ist somit die „Planung, Organisation und Durchführung von Prozessen der Warenverteilung zur jeweils nachgelagerten Wirtschaftsstufe bzw. zum Endverbraucher“ ([KK08], S. 123) unter Berücksichtigung des Material- und Informationsflusses ([BCV98], S.12).

Das Ziel der Distributionslogistik ist demnach die Kundennachfrage art- und mengenmäßig unter Berücksichtigung der Zeit sicherzustellen. Somit also die Sicherstellung eines, zumeist vorgegebenen, Lieferserviceniveaus. An dieser Stelle besteht jedoch ein Zielkonflikt zwischen (erforderlicher) Kostensenkung und gewünschter Serviceverbesserung, da beide Größen diametral zueinander stehen. Als Lösungsansatz wird somit versucht beide Zielgrößen in Einklang zu bringen (vgl. [BCV98], S.12). Der Lieferservice bestimmt dementsprechend die Prozessleistung des Distributionssystems, anhand derer die logistische Leistungsfähigkeit gemessen werden kann (vgl. [KK08], S. 125).

Das Distributionssystem umfasst drei Elemente: die Auftragsabwicklung, die Lagerhaltung und den Transport. Die Auftragsabwicklung ist dabei zuständig für die Koordination sämtlicher Einzelvorgänge und für die Steuerung des gesamten Materialflusses. Die Aufgaben die der Auftragsabwicklung zugeordnet sind, bestehen in der „Aufnahme, Aufbereitung, Umsetzung, Weitergabe und Dokumentation von Auftragsdaten sowie in der Information und Kommunikation der Kunden und der internen Funktionsbereiche, die mit der Abwicklung des Auftrages betraut sind.“ ([BCV98], S.13). Weiterhin ergeben sich in der Distributionslogistik verschiedene Gestaltungsmöglichkeiten zur Organisation und Abwicklung. Darunter fallen die Auswahl und Gestaltung von Distributionsprozessen und der Distributionsstufen (s. Kapitel 2.1.3), die Planung und Auslegung von Distributionslagern und die Planung und Durchführung der Kundenbelieferung (s. Kapitel 2.1.4) (vgl. [Koe12], S. 27).

Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden die Elemente des Transportes und der Lagerhaltung näher betrachtet.

2.1 Transportlogistik

Die Transportlogistik umfasst die direkte Beförderung von Gütern auf allen Verkehrsträgern und die damit verbundenen Transportnetzwerke und –strukturen ([BCV98], S.12). Die Aufgabe des Elements Transport ist der räumliche Ausgleich von Gütern innerhalb des Distributionssystems. Dabei besteht ein Transportsystem aus Transportgut, Transportmittel und Transportprozess (vgl. [BCV98]; [KK08]). Bestandteil des Transportprozesses ist dabei die Touren- & Routenplanung.

2.1.1 Transportgüter

Um ein geeignetes Transportmittel für die geplante Transportaufgabe auszuwählen, ist die Art des Transportgutes von zentraler Bedeutung. Transportgut lässt sich unterteilen in Schütt- und Stückgut. Schüttgut sind solche stückigen, körnigen oder staubigen Güter, die eine Fließfähigkeit aufweisen und während des Transportes ihre Gestalt verändern. Zu Schüttgütern zählen bspw. Kohle, Erz, Sand, Getreide oder Kaffee. Stückgüter sind dementsprechend alle festen Güter, die ihre Gestalt während des Transportvorganges nicht verändern und einzeln gehandhabt werden können. Stückgüter können verpackt oder unverpackt sein, aus einem oder mehreren Materialien bestehen oder kleinste bis größte Abmessungen haben. Beispiele für Stückgüter sind Fertigungs- und Montageteile, Pakete, Kisten, Dosen, Ballen oder Behälter (vgl. [Mar11], S. 64ff).

2.1.2 Transportmittel

Zur Durchführung von Transporten werden Transportmittel benötigt. Diese lassen sich in ortsfeste Transportmittel und fahrbare Transportmittel unterteilen. Unter ortsfeste Transportmittel fallen Fördermittel (vgl. Kapitel 2.3.5), die in Lager- oder Umschlagpunkten eingesetzt werden. Fahrbare Transportmittel umfassen Fahrzeuge, mit denen die räumliche Entfernung in Distributionssystemen überbrückt wird. Diese lassen sich abermals innerhalb der vier verschiedenen Verkehrsträger – Straße, Schiene, Wasser, Luft – unterteilen. Im Straßengüterverkehr kommen unterschiedliche Transportmittel zum Einsatz, die sich nach Nutzklassen und Volumenmaßen abgrenzen lassen. Darunter fallen bspw. Sprinter (bis 3,5t Zuladung), LKW mit einer Ladefläche bis zu 12t Zuladung, Gliederzüge mit bis zu 22t Zuladung, Sattelzüge mit bis zu 24t Zuladung sowie weitere Transportmittel wie Tieflader für Schwertransporte, Tankwagen für Flüssig- oder Gastransport oder Kippfahrzeuge für Schüttgüter. Im Schienenverkehr existieren Güterwagen, die eine Vielzahl unterschiedlicher Regel- und Aufbauarten aufweisen. Beispiele hierfür sind: offene (Schüttgut-)Wagen, gedeckte Güterwagen, Flachwagen, Drehgestellwagen, Schientiefladewagen oder Wagen für den kombinierten Verkehr. In der Seeschifffahrt wird überwiegend das Containerschiff als Transportmittel eingesetzt. In der Binnenschifffahrt werden Motorschiffe, Schubschiffe,

Schubleichter als auch Schleppschiffe, Schleppleichter und Schleppkähne eingesetzt. Der Luftverkehr unterteilt die Transportmittel in Passagierflugzeuge, bei denen die Unterflur-Ladekapazitäten begrenzt für den Gütertransport genutzt werden können, Nurfrachter, die ausschließlich für den Frachttransport verwendet werden und Quick-Change-Flugzeuge (vgl. [GF08], S. 70ff).

Um die Bedeutung der Transportlogistik im gesamtheitlichen logistischen Kontext eines Unternehmens einzuordnen, ist es hilfreich, die aufeinander aufbauenden, quantifizierenden Größen des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung heranzuziehen. Das Verkehrsaufkommen beschreibt die Menge an Gütern in Tonnen, die in einem bestimmten Zeitraum außerhalb von Produktionsstandorten befördert werden. Davon abgeleitet wird die Verkehrsleistung als Produkt aus dem Verkehrsaufkommen und der zurückgelegten Weglänge in km dargestellt. Die physikalische Einheit der Verkehrsleistung sind Tonnenkilometer (tkm). Der Vorteil dieser Nenngröße besteht in der engen Verknüpfung von Entfernungsbezug zu Ressourcenverbrauch des Verkehrsgeschehens (vgl. [BCV98], S.3).

Menge/Leistung	Einheit	2009	2010	2011	2012
Beförderungsmenge					
Eisenbahnverkehr	1.000 Tonnen	312.087	355.715	374.737	366.140
Binnenschifffahrt	1.000 Tonnen	203.868	229.607	221.966	223.170
Seeverkehr	1.000 Tonnen	259.445	272.868	292.788	295.103
Luftverkehr	1.000 Tonnen	3.398	4.164	4.436	4.317
Straßengüterverkehr	1.000 Tonnen	3.113.770	3.125.800	3.402.500	3.311.100
Beförderungsleistung					
Eisenbahnverkehr	Millionen TKM	95.834	107.317	133.317	110.065
Binnenschifffahrt	Millionen TKM	55.497	62.278	55.027	58.488
Straßengüterverkehr	Millionen TKM	415.600	441.900	465.600	453.900

Tabelle 1: Verkehrsleistung 2009 - 2012 (vgl. [Sta13a])

Tabelle 1 gibt einen Überblick über das Verkehrsaufkommen und die daraus resultierende Verkehrsleistung in den Jahren 2009 bis 2012 auf den Verkehrsträgern Schiene, Straße und Wasser (hier Binnenschifffahrt). Insgesamt sind eine Erhöhung des Verkehrsaufkommens und daraus resultierend auch eine Erhöhung der Verkehrsleistung vom Jahr 2009 bis zum Jahr 2012 auf allen Verkehrsträgern zu beobachten. Speziell der Straßengüterverkehr verzeichnet einen Anstieg um 9 % in 2012 im Vergleich zu 2009. Dieser Anstieg lässt auf einen Trend im Zuwachs des Transportaufkommens schließen.

2.1.3 Der Transportprozess

Der Transportprozess ist abhängig vom Aussehen der vorhandenen Distributionsstruktur bzw. der Struktur des Distributionsnetzwerkes. Die Struktur beinhaltet zwei wesentliche Parameter: die vertikale Struktur und die horizontale Struktur. Die vertikale Struktur gibt einen Überblick über die Zahl der Lagerstufen vom Produktionsstandort bis hin zum Endkunden. Hierbei wird zwischen ein- und mehrstufigen Warenverteilsystemen unterschieden. Die horizontale Struktur gibt die Anzahl der einzelnen Lagerstandorte der jeweiligen Lagerstufe an (vgl. [Sil10], S. 11). Eine hohe Stufigkeit der vertikalen oder auch der horizontalen Struktur bedingt eine hohe Anzahl von Lagern, was auf der einen Seite zu kurzen Transportwegen zwischen den Lagern und dem Endkunden führt und somit niedrige Lieferzeiten und Transportkosten ermöglicht, auf der anderen Seite jedoch die Lagerhaltungskosten durch hohe Bestände im gesamten Distributionsnetzwerk anhebt. Ferner führt eine hohe Stufigkeit zu komplexeren Material- und Informationsflüssen ([BCV98], S.14). Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für ein vierstufiges Warenverteilsystem.

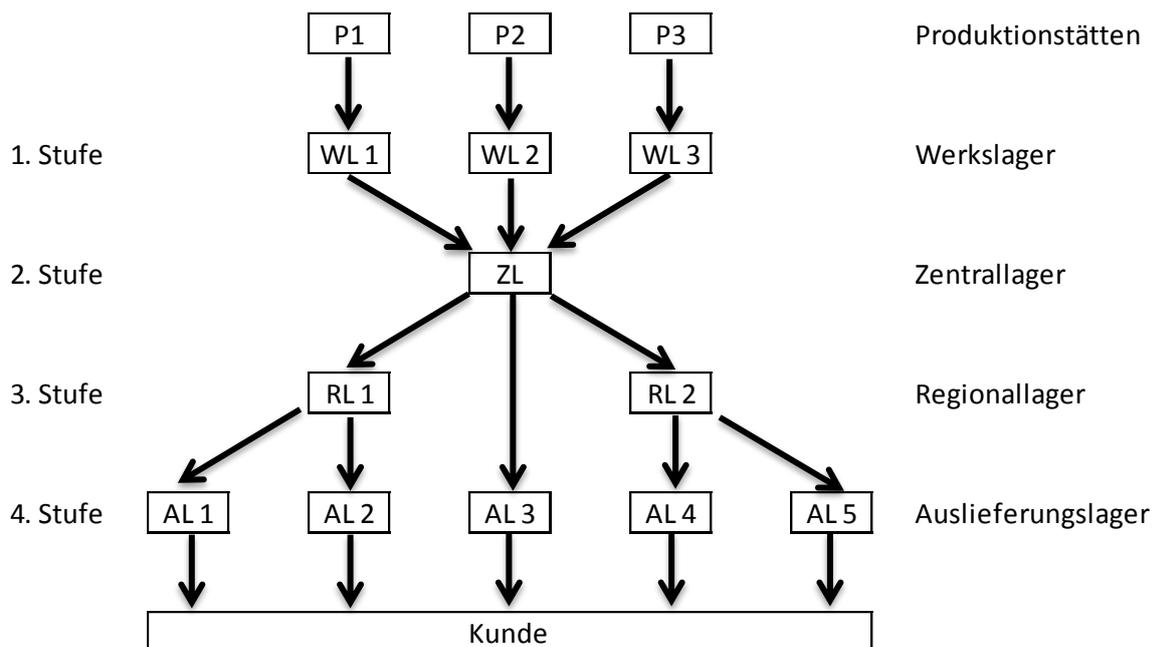


Abbildung 1: Beispiel für ein vierstufiges Warenverteilsystem (nach [BCV98], Abb. 1.4)

Um eine hohe Wirtschaftlichkeit der Distribution zu erreichen, ist nicht nur die Wahl eines geeigneten Distributionssystems nötig, sondern auch die Planung der physischen Warenverteilung von hoher Wichtigkeit. Zur Gewährleistung dieser dient die Touren- und Routenplanung.

2.1.4 Touren- und Routenplanung

Viele Branchen sind dadurch gekennzeichnet, dass es eine Vielzahl an Aufträgen gibt, die im Durchschnitt kleine Auftragsmengen aufweisen. Um die Kosten für den Transport in diesem Zusammenhang klein zu halten, ist es notwendig, (Transportmittel-)Touren zusammenzustellen. In diesem Kontext finden mathematisch statistische Verfahren Eingang in die Planung, die unter dem Begriff der Touren- und Routenplanung zusammengefasst werden können. Dabei beschäftigt sich die Tourenplanung mit der geeigneten Tourenzusammenstellung. „Geeignet“ bedeutet hierbei, „dass die Zusammenstellung unter Beachtung einer Reihe relevanter Restriktionen zu erfolgen hat und es gleichzeitig bestimmte Zielvorgaben möglichst gut zu erfüllen gibt. Dabei gilt es, die bestehende Menge an Aufträgen zu Touren zu gruppieren und diese in möglichst optimaler Reihenfolge zu bedienen. Ein Tourenplan ist hierbei definiert als eine Menge von Touren, wobei die Reihenfolge der Bedienung der Touren durch die Tourenrouten wiedergegeben wird. Der Plan einer Tour wird in zwei Kategorien bzw. Probleme unterteilt: das Clusteringproblem und das Routingproblem. Das Clusteringproblem umfasst die Zuordnung von Aufträgen zu einzelnen Touren, das Routingproblem die Festlegung der Auftragsreihenfolge je Tour. Diese beiden Probleme können auf drei verschiedene Herangehensweisen gelöst werden: zum einen kann sukzessive zuerst das Cluster angelegt werden und anschließend die Route geplant werden (Cluster-First-Route-Second). Zum anderen ist es möglich diese beiden Schritte zu tauschen, so dass zuerst eine Route geplant wird und erst im zweiten Schritt darauf aufbauend ein Cluster angelegt (Route-First-Cluster-Second). Die dritte Möglichkeit besteht in einem simultanen Vorgehen (vgl. [Wen10], S. 40). Als Beispiel zum Vorgehen Cluster-First-Route-Second dient Abbildung 2.

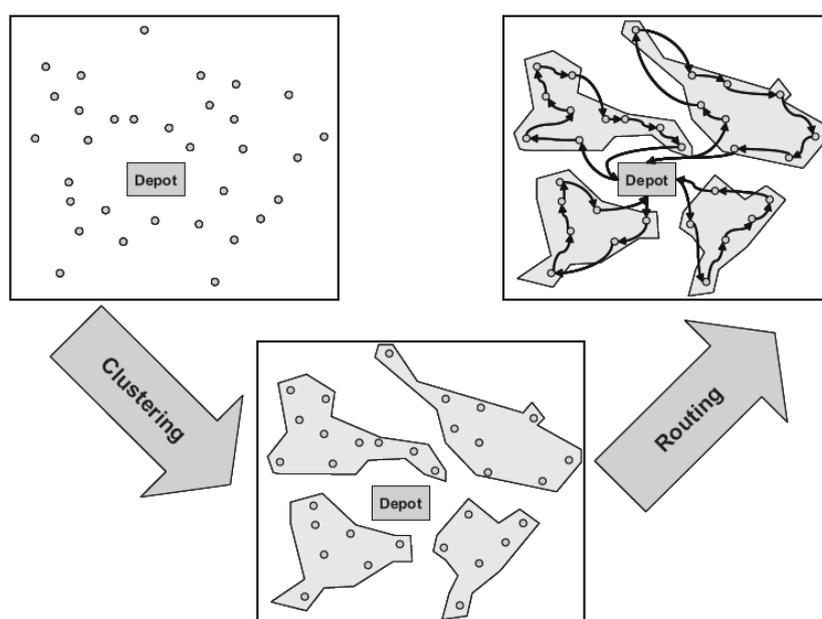


Abbildung 2: Darstellung von Clustering- und Routingproblemen bei der Tourenplanung (nach [Wen10], Abb. 3.1)

Die Durchführung der Tourenplanung bedingt eine mathematische Formulierung eines Standardproblems, von dem aus weitere Varianten von Tourenproblemen abgeleitet werden können. Die Basis dieses Standardproblems ist eine dreigeteilte Annahme:

- innerhalb einer Periode sind n Kunden von einem Depot aus mit einem homogenen Gut zu beliefern,
- es stehen beliebig viele gleichartige Fahrzeuge zur Verfügung,
- die Distanz bzw. die Fahrzeit zwischen den $(n+1)$ Orten sind in der Matrix $D = (d_{ij})$ mit $i, j = 0, 1, \dots, n$ angegeben.

Daneben werden kunden- und fahrtenbezogene Restriktionen aufgestellt.

- Kundenbezogen
 - der Bedarf des i -ten Kunden beträgt in der Periode b_i Mengeneinheiten (ME),
 - der Bedarf eines Kunden ist in einer Beziehung zu decken, d.h. Teillieferungen sind nicht erlaubt.
- Fahrtenbezogen
 - jede Fahrt beginnt und endet im Depot,
 - die Fahrzeugkapazität U darf nicht überschritten werden.

Das Ziel bei diesem Problem ist die Minimierung der Gesamtdauer bzw. der Gesamtwegstrecke und somit der linear verbundenen Kosten. Dabei ergeben sich aus dem Standardproblem zwei untergeordnete Probleme. Das Zuordnungsproblem betrachtet die Frage, welche Kunden auf den einzelnen Touren unter Berücksichtigung der Restriktionen bedient werden. Das bekanntere Travelling-Salesman-Problem hinterfragt die Reihenfolge der zu bedienenden Kunden [Wen10].

Um dieses Standardproblem und die daraus abgeleiteten spezifizierteren Probleme zu lösen, dienen als Werkzeuge mathematisch heuristische oder konstruierende Verfahren. Um einen Überblick über die Verfahren zu geben, werden nachfolgend nochmals die bekanntesten Verfahren genannt. Darunter fallen der Savings-Algorithmus (Parallelverfahren), das Sweep-Verfahren (Route-First-Cluster-Second), der Fisher-Algorithmus (Cluster-First-Route-Second) oder das r -opt-Verfahren (Verbesserungsverfahren) (vgl. [Wen10], S. 41ff).

2.2 Lagerlogistik

Das Element der Lagerhaltung beinhaltet zum einen die klassische statische Lagerung von Gütern zur zeitlichen Überbrückung von Angebot und Nachfrage, zum anderen aber auch die dynamische Komponente der physischen Auftragsabwicklung, also die Kommissionierung, die Bündelung und die Verpackung. (vgl. [KK08], S.125)

Im folgenden Kapitel werden die Aufgaben und Funktionen von Lagern sowie die Grundtypen beschrieben. Darauf aufbauend werden die Elemente eines Lagersystems näher beschrieben. Darunter fallen die Ladeeinheiten, die Lagermittel und die Fördermittel.

2.2.1 Aufgaben und Funktionen von Lagern

In einem Lager werden Güter bereitgestellt, die für einen späteren Zeitpunkt benötigt werden. Der Lagerzufluss wird über die Fertigung oder den Einkauf mit festgelegten Bestellmengen geregelt, wohin sich der Abfluss aus einem Lager hingegen nach dem Abrufverhalten richtet. Dies hat zur Folge, dass bei der Bereitstellung von Gütern, die nicht mit dem Verbrauch synchronisiert sind, die Flüsse durch eine Lagerhaltung entkoppelt werden (vgl. [Lan12]; [AF07]). Nach dem Gabler Lexikon der Logistik befindet sich im Lager der „Bestand an beweglichen Sachmitteln (Produktionsfaktoren, Halbfertig- und Fertigerzeugnisse), der für eine bestimmte Zeit nicht in das Leistungsgeschehen einbezogen wird.“ ([KK08], S. 293). Somit erfüllt die Lagerhaltung den Zweck der Zeit- und Zustandsüberbrückung bei geplanten Prozessen (vgl. [HSN⁺07], S. 50). Der Anstoß im Bau von Lagern unterliegt einer Vielzahl von Gründen:

- Asynchrone Zu- und Abgänge zwischen Bereichen oder Anlagen
- Mengenausgleich, z.B. im Rahmen der Fertigung wirtschaftlicher Losgrößen
- Sicherstellung der Auslastung kostenintensiver Produktionsanlagen, z.B. bei Störungen, Lieferengpässen, Verkehrsproblemen usw.
- Nutzung kostenoptimierter Bestellmengen durch die Gewährung von Rabatten
- Nutzung von Transportkapazitäten
- Saisonale Schwankungen im Absatzverhalten
- Schaffung eines hohen Lieferservices durch schnelle Befriedigung von Aufträgen oder Kundenwünschen bzw. Sicherstellung der Lieferfähigkeit insgesamt
- Sicherstellung der Auslastung kostenintensiver Produktionsanlagen, z.B. bei Störungen, Lieferengpässen, Verkehrsproblemen usw.
- Lagerung zur Wertsteigerung (durch Reifung) oder zwecks spekulativer Absichten
- Erfüllung von Zusatzaufgaben, wie z.B. die Bereitstellung zur Kommissionierung

Aus diesen Gründen lassen sich drei, im weiteren Sinne fünf, allgemeine Funktionen ableiten, die ein Lager übernimmt:

- zeitliche und mengenmäßige Ausgleichsfunktion
- Sicherungsfunktion
- Assortierungsfunktion (Sortimentsbildung).

In einzelnen Fällen allerdings auch:

- Veredelungsfunktion
- Spekulative Zwecke ([KK08], S.293).

Diesen Ausgleichsmaßnahmen stehen die Lagerkosten u.a. in Form von gebundenem Kapital, Betriebsmitteln und Personal sowie der Verwaltung gegenüber. Um diesen Zielkonflikt zwischen benötigter Lagerhaltung und Bestandskosten zu relativieren, ist als allgemeines Ziel angegeben, die „vorgehaltenen Güter auf ein erforderliches Minimum zu reduzieren und somit einen so genannten optimalen Lagerbestand zu erreichen“ ([HSN⁺07], S. 51).

2.2.2 Grundtypen und Arten von Lagern

Durch die oben angeführte Definition der Aufgaben von Lagern ist es möglich, vier verschiedene Grundtypen von Lagern zu definieren (vgl. [HSN⁺07], S. 52):

- Sammellager
- Verteillager
- Pufferlager
- Vorratslager

In Verteillagern (auch Distributionslager genannt) sind neben der Bevorratung ebenfalls Aktivitäten bezüglich einer Zusammensetzungsveränderung von Ladeeinheiten zwischen Zu- und Abgängen üblich. Um diesem nachzukommen, wird in diesen Lagern kommissioniert, sortiert und konsolidiert. Verteillager werden in Industrieunternehmen eingesetzt, wenn Teilmengen einzelner Ladeeinheiten benötigt werden. Dadurch weisen solche Lager regelmäßige Zu- und Abgänge auf, wobei die Ladeeinheiten sehr unterschiedlich sein können. Invers dazu stehen die Sammellager, in denen Teilmengen einer Transportladung zu einer größeren Gesamtladung zusammengefügt werden. Pufferlager dienen zum Ausgleich von Schwankungen zwischen Zu- und Abgängen in kürzeren Zeitintervallen und werden oftmals als Zeitüberbrückung zwischen verschiedenen Arbeitsgangfolgen in der Produktion verwendet. Charakteristisch bei Pufferlagern sind die geringen Schwankungen in der Zahl der Ein- und Auslagerungsvorgängen pro Zeiteinheit, was zu einer hohen Umschlagshäufigkeit dieser Lager führt. Dagegen dienen Vorratslager dazu, Bedarfsschwankungen auszugleichen und in regelmäßigen Abständen Material für die Produktion bereitzustellen. Auffallend bei diesen Lagern sind die unregelmäßigen Ein- und

Auslagerungen sowie – im Gegensatz zu den Pufferlagern – die niedrigen Umschlagshäufigkeiten (vgl. [HSN⁺07]; [HH11]).

Neben der oben betrachteten ersten Einteilung der Lager nach grundlegenden Aufgaben und Funktionen, ist es ebenfalls möglich Lager über ihren Bestimmungszweck hinaus nach folgenden Kriterien klassifizieren (vgl. [HSN⁺07], S.55; [AIK⁺08], S. B4-2):

- Stellung des Lagers in einem logistischen System
- Zuordnung zu Fertigungsprozessen, gelagerten Materialien und Gutklassen
- Grad der Zentralisierung
- Bauform und Bauhöhe sowie
- organisatorische bzw. technologische Notwendigkeiten.

In „Materialflusssysteme – Förder- und Lagertechnik“ erweitert *ten Hompel* die Kriterien um

- Lagergut
- Lagermittel
- Lagerhilfsmittel
- Gefahrklassen und
- Art des Betriebes (Handel, Industrie)

Nach diesen Kriterien ist es demnach nicht möglich, ein Lager genau und eindeutig einer Lagerart zuzuordnen.

Eine weitere Möglichkeit Lager nach ihrer Art zu charakterisieren ergibt sich aus der Betrachtung des ganzheitlichen Produktionsprozesses. Wird der Wertschöpfungsprozess innerhalb einer Produktionsstätte betrachtet, so ergibt sich nach dem Gabler Lexikon folgende Unterscheidung der Lager (vgl. [KK08], S. 293):

- Wareneingangslager (Kontrolle eingegangener Anlieferungen)
- Quarantänelager (isolierte Aufbewahrung noch nicht qualitätsgeprüfter Materialien)
- Rohmateriallager (zeitliche Entkopplung von Materialanlieferung und Materialverbrauch)
- Produktionszwischenlager (zeitliche Entkopplung von Produktionsstufen sowie zur technisch bedingten Zwischenlagerung (bspw. Trocknung in Lackierstraßen)
- Fertigwarenlager (zeitliche Entkopplung von Produkten & Absatz und Kompensation von Nachfrageschwankungen)

Neben den angegebenen Lagerarten sind gleichzeitig auch die Aufgaben den jeweiligen Lagern zugeordnet.

Für die Betrachtung der Einflussfaktoren auf die Energiebilanz bzw. die Kennzahlen der Distributionslogistik ist nur die Betrachtung der Verteil- bzw. Fertigwarenlager notwendig.

2.2.3 Ladeeinheiten

Die Bildung von Ladeeinheiten wird vollzogen, um die TUL-Prozesse – Transport, Umschlag, Lagerung – von Stückgütern effizienter zu gestalten. Dies ist dann sinnvoll, wenn die einzelnen Güter geringe Abmessungen oder Gewichte aufweisen oder die Stückgutanzahl hoch ist (vgl. [Jün02], S. 21). Stellt die Zusammenstellung von Ladeeinheiten zwar einen weiteren Prozessschritt und somit einen höheren Aufwand dar, ist dieser Schritt im Zusammenhang des weiteren Transports in der Materialflussskette dennoch rationeller Natur, da das Handling einzelner (kleiner und kleinstgewichtiger) Stückgüter einen größeren Handlingsaufwand darstellen (vgl. [Mar11], S. 79). Um eine Ladeeinheitenbildung zu ermöglichen, werden Ladehilfsmittel eingesetzt. Diese sind unterteilbar in tragende, umschließende und abschließende Ladehilfsmittel. Tragende Ladehilfsmittel sind neben Tablaren Flachpaletten, die unterschiedliche Maße und Nennlasten aufweisen können. Die bekannteste Flachpalette ist die Europalette (Maße: 800 mm x 1200 mm), die nach dem Internationalen Eisenbahnverband (UIC-Norm 435-2) genormt ist (vgl. [HSN⁺07], S. 25). Umschließende Ladehilfsmittel zeichnen sich dadurch aus, dass sie das Stückgut von allen vier Seiten umschließen. Diese werden häufig für nicht stapelbare Kleingüter verwendet. Beispiele sind Boxpaletten, Paletten mit faltbaren Aufsetzrahmen, aber auch (Kunststoff-) Behälter (Kleinladungsträger) (vgl. [Jün02], S. 25f). Beispiele für abschließende Ladehilfsmittel sind Container oder Wechselbehälter, die ihren Inhalt komplett umschließen (vgl. [HSN⁺07], S. 29f).

2.2.4 Lagermittel

Um die verschiedenen Typen von Lägern zu unterscheiden, ist es nötig, eine Systematisierung der Lagermittel durchzuführen. Zuerst wird zwischen Lägern mit Regal und Lägern ohne Regal unterschieden. Hierbei wird nochmals unterteilt zwischen statischer und dynamischer Lagerung. Bei der statischen Lagerung verbleiben die Ladeeinheiten von der Ein- bis zu Auslagerung auf einem Platz im Lager. Es findet somit keine Ortsveränderung des Lagergutes statt. Die statische Lagerung kann auf einer oder auf mehreren Ebenen, soweit die Ladeeinheiten stapelbar sind, erfolgen. Zuletzt wird hier nochmals zwischen Block- oder Zeilenlagerung unterschieden [HSN⁺07].

Die Lagerung ohne Regale umfasst die Bodenlagerung, bei der das Lagergut auf dem Boden abgestellt wird, was diese Lagerung nicht nur zur simpelsten, sondern auch ältesten Art der Lagerung macht. Diese Lagerung kann nur statisch erfolgen. Die Vorteile dieser Lagerung sind die geringen Investitionskosten sowie die Anpassbarkeit an die örtlichen Gegebenheiten. Abhängig von den Eigenschaften der Güter, können Bodenblockläger oder Bodenzeilenläger als Ordnungsschemata angewandt werden [JS00].

Bodenblockläger haben durch die Lagerung über-, hinter- und nebeneinander einen hohen Raumnutzungsgrad. Sie sind jedoch nur für die Auslagerungsstrategie Last-In-First-Out

geeignet, da durch das nebeneinander Abstellen und übereinander Stapeln immer nur die am äußersten Rand befindlichen Ladeeinheiten zugänglich sind.

Bei Bodenzeilenlagern ähneln die angeordneten Artikel auf dem Boden liegenden Säulen. Dabei liegt jede Säule an einem Bediengang, so dass auf alle Artikel gleichzeitig zugegriffen werden kann. Im Vergleich zum Bodenblocklager sinkt jedoch der Raumnutzungsgrad [HSN⁺07].

Bei der statischen Lagerung mit Regalen wird die optimale Flächennutzung durch das Einbeziehen der Höhendimension erreicht. Gleichzeitig bieten Regale die Möglichkeit, nicht stapelfähige Güter effizient zu lagern. Die Auswahl von Regaltechnik erfolgt nach der Lagerorganisation, wobei die Regale eine Höhe von 2m (bei manueller Bedienung) bis 55m Metern (bei Bedienung durch Regalbediengeräte) haben können. Die Lagerung von Gütern in Regalen bietet den Vorteil, eine eindeutige Zuordnung von der Ladeeinheit zum Lagerort vorweisen zu können. Die Anordnung von Regalen kann in Zeilen oder Blöcken erfolgen. Blockregale bieten eine kompakte Lagerung und hohe Raumnutzung, jedoch ist kein Zugriff auf jede einzelne Lagereinheit möglich. Zeilenregale dagegen bieten den Vorteil, durch über und nebeneinander angeordnete einzelne Fächer auf beliebige einzelne Lagereinheiten zugreifen zu können, soweit diese einfachtief gelagert sind. Ferner können bei dieser Art der Lagerung alle Lagerstrategien angewendet werden. Bei zweifach- und dreifachtiefer Lagerung ist es notwendig, bei Zugriff auf hintere Lagereinheiten umzulagern. Die Bauformen von Zeilenlagern richten sich nach dem Lagergut, wobei der Name nach der Bauform (z.B. Kragarmlager) oder auch nach dem Ladehilfsmittel (z.B. Paletten- oder Behälterregal) gewählt ist. Die Bedienung kann bei Zeilenregalen je nach Größe durch Gabelstapler, Regalbediengeräte oder Krane erfolgen.

Bei der dynamischen Lagerung hingegen werden die Ladeeinheiten nach der Einlagerung bewegt. Dabei wird nochmals zwischen folgenden Bewegungen differenziert [HSN⁺07]:

- Bewegung der Ladeeinheiten in einem feststehenden Regal,
- Bewegung der Ladeeinheiten mit dem Regal sowie
- Bewegung der Ladeeinheiten auf Fördermitteln.

Die Lage des Ein- und Ausgabeortes ist dabei irrelevant. Er kann identisch sein oder auch an einer anderen Stelle im Lager liegen.

2.2.5 Fördermittel im Lager

Fördermittel werden in Stetig- und Unstetigförderer unterteilt, die gleichsam nochmals eine Unterteilung in flurgebunden, aufgeständert und flurfrei erfahren. Flurgebunden beschreibt hierbei die Eigenschaft von Fördermitteln, Verkehrswege am Boden zu nutzen oder über Einrichtungen verfahren zu können, die im Boden eingelassen sind. Das Gegenteil dazu sind flurfreie Fördermittel, die an der Hallendecke befestigt sind. Ein kontinuierlich oder diskret kontinuierlicher Fördergutstrom wird durch Stetigförderer erreicht. Diese „arbeiten während eines längeren Zeitabschnittes, wobei ihre Antriebe, falls vorhanden, im stationären Dauerbetrieb laufen“ ([HSN⁺07], S.122). Die Be- und Entladung erfolgt dabei während des Betriebes. Auf Grund ortsfester Einrichtungen wie Führungen oder Ständerwerken, besitzen Stetigförderer keine große Flexibilität und stellen für andere Arbeitsmittel häufig ein Hindernis dar [HSN⁺07]. Beispiele für Stetigförderer sind Rollenbahnen oder Bandförderer.

Ein unterbrochener Fördergutstrom wird von Unstetigförderern erzeugt, wie bspw. Gabelstaplern oder Kränen. Lastfahrten, Leerfahrten, Anschlussfahrten und Stillstandszeiten stellen hierbei Zeitanteile dar, die sich in unterschiedlichen Längen miteinander abwechseln. Im Gegensatz zu Stetigförderern erfolgt die Be- und Entladung im Stillstand und die Antriebe laufen im Aussetz- oder Kurzzeitbetrieb. Unstetigförderer können ortsfest oder frei verfahrbar sein, was zu einer hohen Flexibilität und einem geringen Grad der Hindernisbildung führt. Im Vergleich zu Stetigförderern, ist der Durchsatz eines Unstetigförderers auf Grund der oben genannten Zeitanteile geringer, was jedoch durch die Bildung größerer Ladeeinheiten und die Erhöhung der Anzahl an Unstetigförderern kompensiert werden kann [HSN⁺07].

3 Betrachtung von Kennzahlen im Kontext der Nachhaltigkeit

Die vorliegende Projektarbeit behandelt die Einflussfaktoren der Energiebilanz auf Kennzahlen im Fokus des Energiemanagements und der Nachhaltigkeit, wodurch es nötig ist, die Begriffe des Energiemanagements, der Nachhaltigkeit und der Kennzahl zu beleuchten. Kapitel 3.1 behandelt das Thema Energiemanagement und die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Der Begriff der Nachhaltigkeit wird in Kapitel 3.2 eingeführt. Kapitel 3.3 beschreibt die Kennzahlen und ihre Funktionen und in Kapitel 3.4 werden drei mögliche Kennzahlen im Kontext der Nachhaltigkeit näher betrachtet.

3.1 Energiemanagement

Das Energiemanagement umfasst die Planung und den Betrieb von energietechnischen Erzeugungs- und Verbrauchseinheiten. Die Ziele des Energiemanagements sind die Ressourcenschonung, der Klimaschutz, die Kostensenkung und die Sicherstellung des Energiebedarfs der Nutzer. Zu den Anwendungsbereichen des Energiemanagements gehören das gewerbliche und industrielle Energiemanagement in Produktion und Logistik und das Energiemanagement für Wohnungsbau. Des Weiteren das Gebäudeenergiemanagement für (komplexe) Funktionsgebäude wie Krankenhäuser, Polizeiwachen und Kaufhäuser. Weitere Themengebiete, die der Begriff Energiemanagement umfasst, sind die Energiebilanz und die Energieeffizienz. Ferner sind für das Energiemanagement die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen von Bedeutung. [Wik14]

3.1.1 Abgrenzung der Begriffe Energiemanagement, -bilanz und -effizienz

Nach der VDI-Norm 4602 ist Energiemanagement definiert als „die vorausschauende, organisierte und systematisierte Koordination von Beschaffung, Wandlung, Verteilung und Nutzung von Energie zur Deckung der Anforderungen unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Zielsetzungen“ ([Vdi07] S. 3.).

Ferner sind im Kontext des Energiemanagements die Begriffe „Energiemonitoring“ und „Energiecontrolling“ von Bedeutung. Dabei legt Ersteres den Fokus auf die Erfassung der Daten, wohingegen letzteres den Schwerpunkt auf die Auswertung der Daten legt. [Heg02]

In der Logistik spielt das Energiemanagement gerade bei der Transportlogistik eine wichtige Rolle. Durch ein effizientes Energiemanagement können nicht nur Kosten eingespart, sondern auch die Umwelt geschont werden.

Das Schlagwort „Green Logistics“ rückt hierbei immer mehr in den Fokus. Das Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik hat in diesem Kontext die vier Optimierungsbereiche Transport, Logistikkimmobilie, Intralogistik und Logistikplanung und –strategie für die „Grüne Logistik“ aufgeführt (vgl. [Im14]):

Im Transportbereich können hierbei durch ein reduziertes Transportaufkommen durch gebündelte Transportströme, Routenoptimierung, Transportverlagerung auf Umweltfreundliche Verkehrsträger sowie den Einsatz energieeffizienter Fahrzeuge und Fahrzeugschulungen Energie und Treibhausgasemissionen eingespart werden.

Der Bereich der Logistikkimmobilie umfasst die „energieeffiziente Beleuchtung, Heizungs- und Lüftungstechnik, die Nutzung von Tageslicht oder erneuerbarer Energien, der Einsatz von Bewegungsmeldern oder Wärmedämmung“ (vgl. [Im14]). In der Intralogistik besteht Optimierungspotenzial in der Vermeidung von Leerläufen und Leerfahrten sowie in der Verwendung effizienter Fördertechnik.

Unter dem Begriff der Logistikplanung und -strategie fallen neben dem ökoeffizienten Behälter- und Flottenmanagement sowie der Touren-, Netz- und Standortplanung, der Bereich der kooperativen Transporte. (vgl. [Im14]).

Unter dem Begriff der Energiebilanz versteht sich der Nachweis des Aufkommens, der Umwandlung und der Verwendung von Energieträgern. Ziel ist es dabei, eine Auskunft über den Verbrauch von Energieträgern zu bekommen, die eine Grundlage für Unternehmen für eine energieeffiziente Gestaltung von Wertschöpfungsprozessen und Transportketten bilden (vgl. [Lak14]).

In der Energiebilanz werden Aufwand und Nutzen gegenübergestellt, mit dem Ziel Einsparpotenziale zu identifizieren. Dabei wird nach Energieträgern und Verbrauchsort aufgeteilt ([Kal10] S. 25ff).

Energieeffizienz ist das Maß für den Energieaufwand zur Erreichung eines festgelegten Nutzens. Die Energieeffizienz ist umso höher, je geringer die Energieverluste für das Erreichen des jeweiligen Nutzens sind ([Bun14]). Somit „bezieht sich die Effizienz auf das Verhältnis zwischen Nutzen und Aufwand“ ([Wup14], S.1), genauer auf das Verhältnis von erzieltm Nutzen zu eingesetzter Energie. Die Messung der Energieeffizienz erfolgt dabei nicht in absoluten Zahlen, sondern über deren prozentuale Steigerung oder deren Kehrwert, die prozentuale Energieeinsparung (vgl. [Wup14]).

Um die Energieeffizienz zu erhöhen dienen Energiesparmaßnahmen. Diese können technisch, organisatorisch-institutionell oder strukturverändernd wirken. Beispiele für Energiesparmaßnahmen sind Industrieprozesse mit einem hohen Wirkungsgrad und Betriebsoptimierung von Lüftungs- und Klimaanlage. Dabei führt die Durchführung von Energiesparmaßnahmen „sowohl zu Energieeinsparungen mit entsprechend positivem Umweltnutzen als auch zu Kosteneinsparungen“ ([Wup14], S.3).

3.1.2 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen

Neben der Automobil-Wirtschaft und dem Handel ist die Logistik-Branche mit 223 Milliarden Euro Umsatz (Stand: 2012) der drittgrößte Wirtschaftsbereich in Deutschland. Auf dem europäischen Logistik-Markt besitzt Deutschland einen Anteil von 20 %. Dies ist zurückzuführen auf die zentrale Lage Deutschlands in Europa sowie das flächendeckende und ausgebaute Infrastrukturnetz. In etwa 50 % der Logistik-Branche in Deutschland werden durch die Bewegung von Gütern durch Dienstleister eingenommen. [Bun13]

Insgesamt sind in Deutschland 49.676 Unternehmen im gewerblichen Güterverkehr registriert (Stand: 31.10.2010). Dabei besitzen 57 % der Unternehmen eine Größe bis zu 5 Beschäftigten und 29 % eine Größe von 6 bis 19 Beschäftigten. Lediglich 14 % beschäftigen 20 oder mehr Mitarbeiter. Durch diese hohe Zahl an kleinen Unternehmen, herrscht auf nationaler und europäischer Ebene eine hohe Wettbewerbsintensität. (vgl. [Hol05], S. 30). Hinzukommen weitere Entwicklungen, die den Wettbewerb abermals verschärfen. Dies sind der wachsende Wettbewerb durch den Integrationseffekt, z.B. durch neue Wettbewerber aus osteuropäischen Niedriglohnländern, unterschiedliche Steuerbelastungen der verschiedenen Verkehrsträger und unterschiedliche Förderungspolitiken in den EU-Ländern, Angebote von kompletten logistischen Lösungen durch Großspeditionen oder die Bildung von Netzwerken (strategische Allianzen) (vgl. [Hol05], S. 31). Insgesamt wird der Wettbewerb somit immer intensiver und es besteht die Notwendigkeit, gerade auch für die kleineren Unternehmen, sich wirtschaftlich gut aufzustellen.

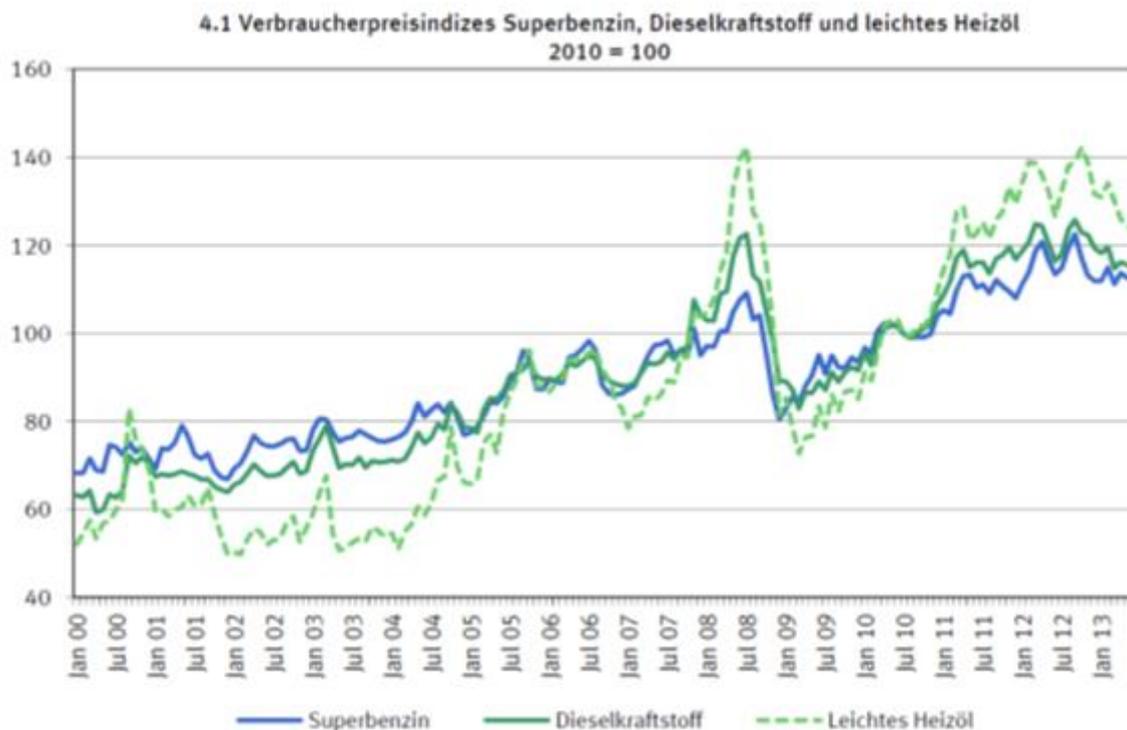


Abbildung 3: Verbraucherpreisindizes Kraftstoff (nach [Sta13b], Abb. 4.1)

Neben den oben genannten Entwicklungen, die zu einem intensiveren Wettbewerb führen, sind noch weitere Faktoren relevant, die maßgeblich in die wirtschaftliche Leistung eines Unternehmens miteinspielen. Einer dieser Faktoren sind die steigenden Energiepreise. Werden die Verbraucherpreise für Superbenzin und Dieselkraftstoff betrachtet, so ist zu erkennen, dass seit Januar 2000 die Preise kontinuierlich bis Januar 2013 ansteigen (vgl. Abbildung 3). Wird als preisliche Grundlage das Jahr 2010 genommen (2010 = 100 %), so ist ein Anstieg um ca. 14 Prozentpunkte bis zum Jahr 2013 zu verzeichnen.

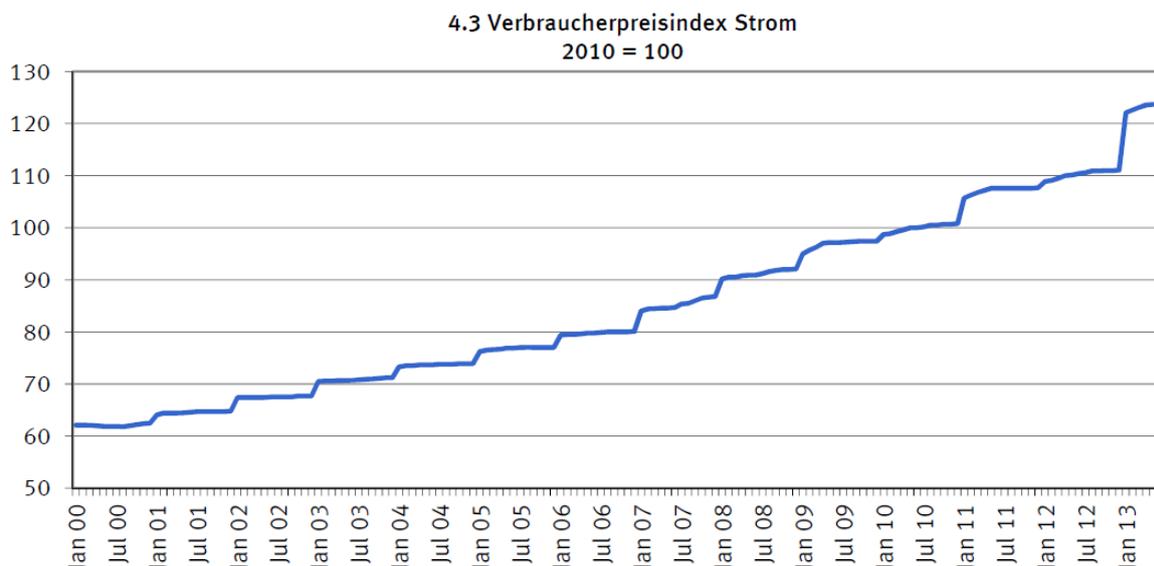


Abbildung 4: Verbrauchpreisindex Strom (nach [Sta13b], Abb. 4.3)

Ein ähnliches Verhalten zeigt der Verbraucherpreisindex beim Strom (vgl. Abbildung 4). Der Preisanstieg verläuft hierbei stufenähnlich. Jedes Jahr wird der Strom um ca. 2,5 % teurer. Wird als preisliche Grundlage wieder vom Jahr 2010 (2010 = 100%) ausgegangen, so ist in dem Zeitraum von Januar 2000 bis zum Januar 2010 – also einem Zeitraum von 10 Jahren - ein Anstieg von ca. 40 % zu verzeichnen. Von Januar 2010 bis Januar 2013 steigt der Strompreis nochmals um 28 %.

Durch die Erhöhung der Energiepreise – speziell der Kraftstoff- und Strompreise – werden die nachhaltige und sparsame Nutzung dieser Ressourcen immer mehr zum Wettbewerbsfaktor. Dadurch gewinnt die Einleitung von Optimierungsmaßnahmen zur Einsparung von Ressourcen und Energie immer mehr an Bedeutung für Unternehmen.

3.2 Nachhaltigkeit

Für eine genaue Definition der Nachhaltigkeit ist es zunächst notwendig die Entwicklung des Begriffes historisch zu betrachten. Im Anschluss daran wird der „Triple Bottom Ansatz“ erläutert, der die Umsetzung einer normativen Idee der Nachhaltigkeit in die Praxis behandelt.

3.2.1 Historische Entwicklung der Definition von Nachhaltigkeit

Die erste Verwendung des Begriffs der Nachhaltigkeit führt ins 18. Jahrhundert zurück und entstammt der Forstwirtschaft. Die Grundidee dabei war die wirtschaftlich langfristige Nutzung des Waldes in der Art, dass nicht mehr Holz geschlagen wird als nachwachsen kann (vgl. [Nag11], S.45). Dieses Prinzip wurde erstmals 1713 durch *von Carlowitz* in seiner forstwissenschaftlichen Abhandlung „*Sylvicultura oeconomica*“ (dt. ökonomische Warenbewirtschaftung) - einem Handlungsleitfaden gegen unkontrollierten Ressourcenabbau - beschrieben und schriftlich erfasst (vgl. [Hut12]; [Car00]). Zu Beginn war dieses Prinzip nur auf die Ressource Holz beschränkt, wurde im weiteren Verlauf jedoch sukzessive auf andere Ressourcen, bspw. Fischbestände, ausgeweitet (vgl. [Hut12], S.21).

Der Grundgedanke „der Nachhaltigkeit im ökologischen Sinne eine Schonung der Ressourcen, wurde dann viel später, wenn auch nicht unter diesem Begriff im Jahr 1972 mit dem ersten Bericht von Meadows et al. an den Club of Rome propagiert“ ([Hut12], S. 22).

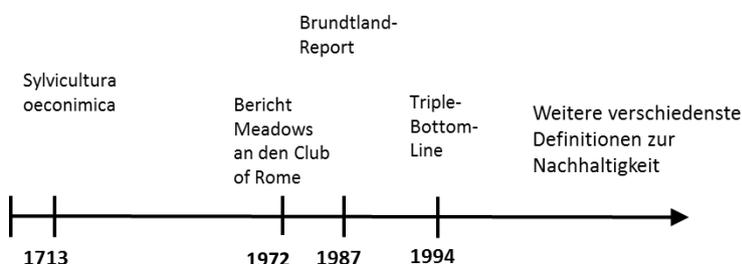


Abbildung 5: Entwicklung des Begriffes der Nachhaltigkeit (eigene Darstellung)

Der derzeitige Begriff der Nachhaltigkeit gewann durch die Arbeit der World Commission on Environment and Development (WCEO) an Popularität in der Öffentlichkeit (vgl. [Hut12], S. 22). Die ursprüngliche Aufgabe dieser Kommission war es, ein „weltweites Programm des Wandels mit langfristigen Umweltstrategien vorzulegen“ mit der gleichzeitigen Formulierung von Zielen und Maßnahmen (vgl. [Ins12], S. 8). Dieser geläufig als Brundtland-Report bezeichnete Bericht, vorgelegt 1987 unter dem Namen „Our Common Future“, beschreibt die Nachhaltigkeit wie folgt:

„Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.“ ([NGO13], S.41)

(dt. „Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass zukünftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.“)

Der Begriff der Nachhaltigkeit umschreibt „also die Grundidee einer dauerhaften Entwicklung im Sinne der Generationengerechtigkeit.“ ([Hut12], S.22).

Dieser Definition folgten im Laufe der nächsten Jahre immer weitere verschiedene Definitionen der Nachhaltigkeit, so dass derzeit mehrere hundert verschiedene Definitionen existieren (vgl. Abbildung 5). Zurückzuführen ist dies auf unterschiedliche Gesinnungen und Wertevorstellungen als auch auf die abweichenden Bedeutungen des Begriffs der Nachhaltigkeit in verschiedenen Disziplinen der Wissenschaft, wodurch keine verbindliche und einheitliche Theorie entstehen kann, sondern nur ein komplexes und unübersichtliches Konzept ([Nag11], S.46).

3.2.2 Triple Bottom Ansatz

Um Nachhaltigkeit in seiner Gänze zu betrachten reicht es nicht aus nur den ökologischen Aspekt zu berücksichtigen. Vielmehr ist es nötig zwei weitere Felder mit in die Betrachtung einzubeziehen: das ökonomische als auch das soziale. Diese drei Gebiete gehören untrennbar zusammen und ergänzen und beeinflussen sich in gegenseitiger Wechselwirkung, so dass die Nachhaltigkeit aus ökologischer, ökonomischer und sozialer Sicht die Zukunft der heutigen und auch der kommenden Gesellschaft lokal, national und global langfristig zu sichern vermag. Dies bedeutet, dass die Gesellschaft nicht auf Dauer von der Grundlage von etwas leben darf, sondern vielmehr nur die Zinsen dessen, was die Natur abwirft, verbrauchen sollte. In gewisser Hinsicht ist die Idee bzw. der Begriff der Nachhaltigkeit also eine normative Idee, die folgende Aspekte umfasst: (vgl. [Hut12], S.23)

- intergenerationale Gerechtigkeit: ein Mehr an Wohlstand heute darf nicht auf Kosten künftiger Generationen erwirtschaftet werden.

und die

- intragenerationale Gerechtigkeit: im Fokus stehen die Grundbedürfnisse der Ärmsten. Der „Umwelttraum“ muss gerecht geteilt werden, um allen die gleichen Lebenschancen zu ermöglichen. (vgl. [Hut12]; [Spa05])

Die Zusammenfassung der drei Prinzipien Ökonomie, Ökologie und Soziales zu einem allgemeinen Managementansatz wurde erstmals 1994 von Elkington durchgeführt. Diesen Managementansatz zugrunde gelegt, entstand darauf aufbauend die Triple Bottom Line bzw. das Drei-Säulen-Modell.

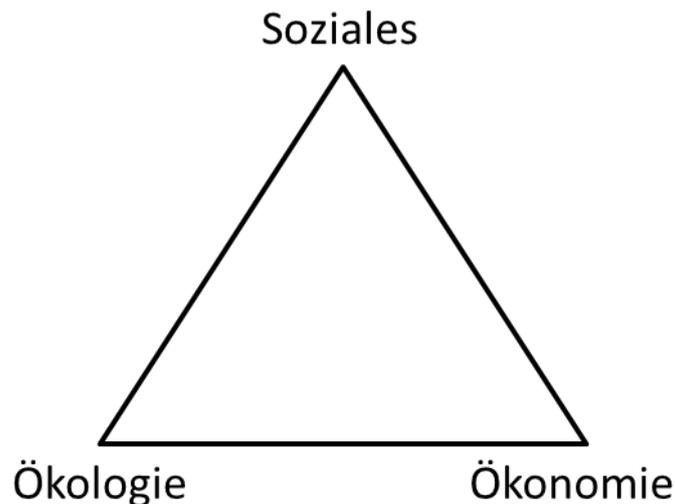


Abbildung 6: Drei-Säulen-Modell nach Elkington [Hut12]

Dieses Modell, dargestellt in Abbildung 6, veranschaulicht die Wechselbeziehungen zwischen den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit, wobei alle drei Handlungsfelder gleichberechtigt auftreten und keines unabhängig von den anderen betrachtet werden kann (vgl. [Hut12], S. 24).

Bei der ökonomischen Dimension der Nachhaltigkeit soll keine Rivalität zwischen Umweltschutzmaßnahmen und wirtschaftlichen Erfolg bestehen. Vielmehr zeigt diese Dimension auf, wie „Unternehmen von ökologischen und gesellschaftlichen Ansprüchen und deren Erfüllung langfristig den Unternehmens- bzw. Organisationserfolg sichern und Gewinne erwirtschaften können.“ ([Hut12], S.24). Ein Beispiel hierfür ist die Anforderung, für die Produktion benötigte Ressourcen optimal einzusetzen und durch den geringen Ressourceneinsatz nicht nur finanzielle Vorteile zu erwirtschaften, sondern auch gleichzeitig schonend mit der Umwelt umzugehen.

Die ökologische Dimension bezieht sich auf alle umweltrelevanten Themen, wie schonender Umgang mit Ressourcen, Abfallvermeidung oder ökologische Ausgleichsmaßnahmen. Die Schnittmenge mit der ökonomischen Dimension ist schon im oben genannten Beispiel sichtbar geworden. Die Wechselbeziehung zum gesellschaftlichen Aspekt des Triple-Bottom-Ansatzes spiegelt sich dagegen im Engagement für die Natur und die Umwelt wider, z.B. durch Spenden an Naturschutzorganisationen. Die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit verfolgt das Ziel, Umweltbelastungen, die durch Unternehmen entstehen durch Optimierungsmaßnahmen zu vermeiden oder zu verringern. Ist dies nicht möglich, sollte das Unternehmen durch entsprechende Maßnahmen einen ökologischen Ausgleich schaffen. Bei der unternehmensseitigen Betrachtung der Mitarbeiter, die täglich mit einem Kraftfahrzeug zur Arbeit fahren und dadurch den Emissionsausstoß erhöhen, empfiehlt es

sich Anreize für eine ökologischere Anfahrt zu schaffen. Als Beispiel kommen finanzielle Zuschüsse für den Öffentlichen Personennahverkehr in Betracht, so dass die Mitarbeiter eher durch Nutzung dieser zur Arbeit kommen. Alternativ bieten sich auch Fahrgemeinschaften an.

Die soziale Dimension der Nachhaltigkeit umfasst den „verantwortungsbewussten Umgang mit Mitarbeitern, der sich bspw. in Form von leistungsgerechter Entlohnung oder der Schaffung von mitarbeiterfreundlichen Arbeitsbedingungen zeigen kann.“ ([Hut12], S.26). Wird in dieser Dimension die Schnittstelle mit der Ökonomie betrachtet, ist dafür die „Sozial verantwortliche Lieferkette“ ein Beispiel, wo bei der Beschaffung von Waren keine Zulieferer gewählt werden, die Kinderarbeit bei der Produktion einsetzen. Ferner ist ebenso der Fairtradehandel ein Beispiel für eine ausgewogene Beziehung zwischen der ökonomischen und sozialen Verantwortung. Zentrale Aussagen der sozialen Dimension sind somit durch Schlagwörter wie „Fairness“, „Vertrauen“ und „Gerechtigkeit“ zu definieren (vgl. [Hut12], S. 26f).

Trotz dieses Versuches Überschneidungen zwischen den einzelnen Dimensionen zu definieren, ist es schwierig über den Triple-Bottom-Ansatz konkrete Handlungsempfehlungen auszusprechen. Dies liegt darin begründet, dass „konfliktäre, komplementäre und neutrale Beziehungen der einzelnen Ziele“ ([Nag11], S. 47) die Operationalisierung erschweren und komplexe Wechselwirkungen oftmals in Gänze vernachlässigt werden. Somit ist dieses Modell nicht ganz frei von Kritik (vgl. [Nag11], S. 47).

3.3 Kennzahlen

Das primäre Ziel eines Unternehmens ist die Senkung der Kosten und die Steigerung der Gewinne zur Gewährleistung der Wettbewerbs- und Konkurrenzfähigkeit. Jedoch ist es gerade bei der immer vielschichtiger werdenden Unternehmensstruktur und den komplexer werdenden unternehmensinternen und –externen Abläufen schwierig, einen generellen Überblick über alle Funktionen und Bereiche zu bekommen. An dieser Stelle setzt das Controlling an, an dem Informationen aus allen Bereichen des Unternehmens zusammenlaufen. Ein Bereich des Controllings sind die Kennzahlen, mit deren Hilfe unternehmensspezifische Daten aufbereitet und in verdichteter Form wieder dem Unternehmen zur Informationsinterpretation bereitgestellt werden. Im folgenden Kapitel werden der Begriff der Kennzahl und ihre Funktionen erläutert.

3.3.1 Der Begriff der Kennzahlen

Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit bzw. Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens über qualitative Aussagen ist durchaus möglich, jedoch ist es schwierig anhand dieser Aussagen Verbesserungsmaßnahmen einzuleiten. Somit besteht die Notwendigkeit, die Abläufe eines Unternehmens in Zahlen zu fassen. Hierfür stehen die so genannten Kennzahlen zur Verfügung. Unter Kennzahlen werden Zahlen verstanden, die quantitative Sachverhalte in konzentrierter Form erfassen und durch bewusste Verdichtung der komplexen Realität über betriebswirtschaftliche Sachverhalte informieren sollen. (vgl. [KA10], S.24; [REI11], S. 173) Da Kennzahlen weitestgehend früh im angloamerikanischen Raum eingeführt wurden, ist der englische Begriff der „Key Performance Indicators“ (KPI) auch im deutschsprachigen Raum üblich.

Eine Kennzahl besteht aus drei verschiedenen Elementen: dem Informationscharakter, der Quantifizierbarkeit und der spezifischen Form der Information. Der Informationscharakter bezeichnet die Urteilsfähigkeit von KPIs über wichtige Sachverhalte und Zusammenhänge. Die Quantifizierbarkeit beschreibt die Möglichkeit von Kennzahlen, Sachverhalte und Zusammenhänge auf metrischem Skalenniveau zu messen und relativ präzise Aussagen zu formulieren. Die spezifische Form der Information soll dazu beitragen, komplexe Strukturen und Prozesse auf relativ einfache Weise darzustellen, um dadurch gerade auch leitenden Angestellten einen schnellen und präzisen Überblick zu ermöglichen (vgl. [Rei11], S.24).

3.3.2 Aufgaben und Funktion von Kennzahlen

Durch die gebündelten Informationen, die KPIs darstellen, wird deutlich, dass Kennzahlen eine informative Funktion aufweisen und somit für konkrete Entscheidungssituationen zweckgebundenes Wissen bereitstellen. Innerhalb dieser Funktion fallen den Kennzahlen somit nicht nur die rein beschreibenden Aufgaben zu, sondern auch die Bereitstellung von Informationen für die normative Ebene, anhand derer Vorgaben an untergeordnete Instanzen vermittelt werden können, wodurch ein Kontrollprozess ermöglicht wird, bei dem die vorgegeben Soll-Werte mit den tatsächlichen Ist-Werten verglichen werden können. Durch diese Eigenschaft von Kennzahlen werden sie also zu „Instrumenten [der] Durchführung aussagekräftiger und wirksamer Kontrollen.“ ([Rei11], S.25). Neben dieser Vorgabe- und Kontrollfunktion, können KPIs auch weitere Funktionen aufweisen. Die Anregungsfunktion dient dabei zur Erkennung von Auffälligkeiten und Veränderungen. Eine Operationalisierungsfunktion liegt vor, wenn die Kennzahlen gebildet werden, um eine konkrete Messung der Ziele zu ermöglichen. Werden komplexe Steuerungsprozesse anhand einer oder mehreren Kennzahlen vereinfacht, wird von einer Steuerungsfunktion gesprochen (vgl. [Rei11], S. 174f).

3.4 Kennzahlen im Kontext der Nachhaltigkeit

Aus den steigenden Energiepreisen und dem wachsenden Verkehrsaufkommen (vgl. Kapitel 2.1.2) resultiert die Notwendigkeit die Kennzahlen in einem nachhaltigen Kontext zu betrachten. Im folgenden Unterkapitel werden dazu Kennzahlen beschrieben, die es ermöglichen das nachhaltige Wirtschaften eines Unternehmens zu quantifizieren. In diesem Zusammenhang werden die Kennzahlen des Ressourcen-Verbrauchslevels, des Ressourceneinsparungsgrads und des Sustainable Value beschrieben und bewertet. Diese KPIs ermöglichen es, den Energieverbrauch in Relation und periodenübergreifend darzustellen und zu bewerten, wodurch es erforderlich ist, gerade den Energieverbrauch in Unternehmen zu betrachten und Möglichkeiten der Reduzierung darzustellen. Dies wird in Kapitel 4 und 5 dieser Projektarbeit beschrieben.

3.4.1 Ressourcen-Verbrauchsniveau

Das Ressourcen-Verbrauchsniveau gibt an, wie hoch der mengenmäßige Einsatz bestimmter Ressourcen im Unternehmen ist. Die Kennzahl des Ressourcen-Verbrauchslevels kann dabei in zwei Varianten aufgestellt werden. Die erste Variante ist die zeitraumbezogene Kennzahlen-Variante. Diese kann nach verschiedenen Ressourcenarten (Input z.B. Energie, Wasser, Material) aufgegliedert werden, wobei diese nochmals unterteilt werden können (z.B. Energie mit Gas, Strom, usw.).

$$RV(\text{zeitraumbezogen}) = \text{Menge des Ressourcenverbrauchs pro Periode}$$

Als Maßzahl für die Mengeneinheit der jeweiligen betrachteten Ressourcen kommen die Stückzahl, Längen-, Flächen- und Volumeneinheiten oder Gewichtsangaben in Frage.

Die zweite Variante ist die stückbezogene-Kennzahl, die nach Output-Einheiten (Stückzahl Endprodukte, Zahl der gefahrenen Transportkilometer usw.) gegliedert ist.

$$RV(\text{stückbezogen}) = \frac{\text{Menge des Ressourcenverbrauchs pro Periode}}{\text{Menge der erstellten Outputeinheiten}}$$

Die Maßzahlen für die Mengeneinheiten im Nenner wie auch im Zähler können Stückzahl, Längen-, Flächen- und Volumeneinheiten oder Gewichtsangaben sein. Je nach Kombination ergeben sich entsprechende Dimensionen z.B. als Energieeinsatz pro Tonne Stahl oder Wasserverbrauch pro Fertigprodukt (vgl. [KA10], S. 252).

3.4.2 Ressourcen-Einsparungsgrad

Der Ressourcen-Einsparungsgrad ist eine Größe die angibt, wie sich der mengenmäßige Einsatz bestimmter Ressourcen zum vorherigen Betrachtungszeitraum (bspw. ein Jahr) verändert hat. Zur Berechnung des Ressourcen-Einsparungsgrades wird als Basisgröße

das Ressourcen-Verbrauchsniveau herangezogen. Somit ergeben sich für den Ressourcen-Einsparungsgrad wiederum eine zeitraum- und eine stückbezogene Variante.

$$RE(\text{zeitraumbezogen}) = 1 - \frac{\text{Ressourcen} - \text{Verbrauchsmenge pro Periode in } t}{\text{Ressourcen} - \text{Verbrauchsmenge pro Periode in } t - 1}$$

und

$$RE(\text{stückbezogen}) = 1 - \frac{\text{Ressourcen} - \text{Verbrauchsmenge pro Outputeinheit in } t}{\text{Ressourcen} - \text{Verbrauchsmenge pro Outputeinheit in } t - 1}$$

Beide Kennzahlen werden ohne Dimension bzw. physikalische Größe oder bei einer Multiplikation mit dem Faktor 100 als Prozentzahl angegeben (vgl. [KA10], S. 266).

3.4.3 Sustainable Value

Die Nachhaltigkeitsleistung eines Unternehmens kann über die Kennzahl des Sustainable Value formuliert werden. Mit dieser KPI wird versucht, die Nachhaltigkeitsleistung eines Unternehmens über einen einzelnen monetären Wert abzubilden. Die Berechnung erfolgt dabei auf der Grundlage des Opportunitätskosten-Prinzips. „Der *Preis* pro Einheit einer ökonomischen, ökologischen oder sozialen Ressource entspricht somit dem entgangenen Ertrag einer nicht realisierten alternativen Verwendung dieser Ressource.“ ([KA10], S. 271). Das Sustainable Value-Konzept integriert somit eine monetäre „Triple-Bottom-Line-Bewertung“ von Unternehmen, da soziale und ökologische Aspekte ebenso gemessen werden können wie ökonomische. Somit ist es für die Unternehmen möglich, neben der Zielsetzung einer hohen Kapitalverzinsung, auch eine Nachhaltigkeitseffizienz zu messen und durch gezielte Maßnahmen zu beeinflussen.

$$SV = \frac{\text{Summe der Ressourcen} - \text{Wertbeiträge}}{\text{Zahl der berücksichtigten Ressourcen (Indikatoren)}}$$

Die KPI Sustainable Value wird in Geldeinheiten angegeben.

4 Einflussfaktoren auf die Energiebilanz der Distributionslogistik

Die steigenden Energiekosten (vgl. Kapitel 3.1.2), die Intensivierung des Wettbewerbs (vgl. Kapitel 3.1.2) und das wachsende Verkehrsaufkommen (vgl. Kapitel 2.1.2) bewirken eine höhere Nachfrage nach Nachhaltigkeit in der Logistik. Dementsprechend gewinnt die Identifikation von Einflussfaktoren auf die KPIs beziehungsweise auf die Energiebilanz (vgl. Kapitel 3.1.1) der Distributionslogistik zur Entwicklung von Energieeinsparpotenzialen, zur Steigerung der Energieeffizienz (vgl. Kapitel 3.1.1) und zur Verbesserung des Energiemanagements (vgl. Kapitel 3.1) eine immer zentralere Bedeutung.

Die allgemeinen Energiekosten (entsprechend der Energiebilanz (vgl. Kapitel 3.1.1)) der Distributionslogistik lassen sich in die Transportkosten mit einem Anteil von 76 % und in die Kosten für die Intralogistik (24 %) aufteilen. Letztere setzen sich zu 48 % aus der Förder-, der Lager- und der Kommissioniertechnik, zu 35 % aus der Heizungs- und der Lüftungstechnik, zu 15 % aus der Beleuchtungstechnik und zu 2 % aus sonstigen energetischen Ausgaben zusammen (vgl. Abbildung 7). (vgl. [GTG09], S. 2)

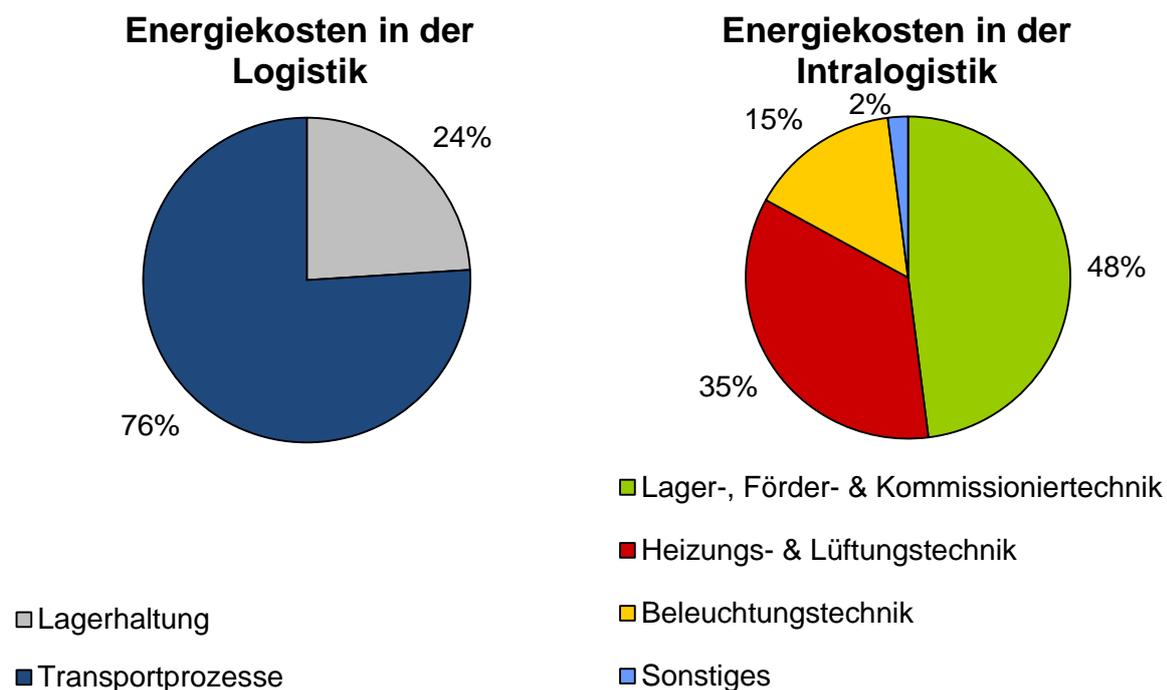


Abbildung 7: Aufteilungen der Energiekosten in der Logistik und in der Intralogistik (vgl. [GTG09], S. 2)

In diesem Kapitel werden die genannten Einflussfaktoren auf die Energiebilanz näher beschrieben und im Anschluss in diesem Kontext bewertet.

4.1 Einflussfaktoren auf die Energiebilanz im Transportwesen

Wie schon in den vorherigen Kapiteln beschrieben, handelt es sich bei dem Gütertransport um ein Element der Distributionslogistik, deren Aufgabe es ist die art- und mengenmäßige Erfüllung der Kundennachfrage unter Beachtung der zeitlichen Restriktionen zu gewährleisten. (vgl. [BCV98], S. 12) Daraus lässt sich ableiten, dass der Transport der Ware ein essenzieller Bestandteil der Distributionslogistik ist. Durch das wachsende Verkehrsaufkommen (vgl. Kapitel 2.1.2), die steigenden Energiepreise (vgl. Kapitel 3.1.2) und einen Anteil von 76 % am Energieverbrauch eines Distributionszentrums (vgl. Kapitel 4), nimmt die Beförderung von Gütern eine immer zentralere Bedeutung für die Logistik und die Gesamtwirtschaft im Allgemeinen an. Der Transport ist aus diesen Gründen einer der Hauptansatzpunkte für den Einsatz von Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs und somit auch zur Reduzierung der Gesamtkosten. Im Folgenden werden die Einflussfaktoren dieses Prozesses auf die Energiebilanz bzw. auf die KPIs der Distributionslogistik beschrieben.

Die Kosten eines Transportmittels setzen sich neben den fixen Kosten für die Anschaffung aus den variablen Kosten wie den „Abschreibungen und Zinsen [..., den] Treibstoff-, Energie- und Betriebsmittelkosten [..., den] Personalkosten [..., den] Wartungs- und Instandhaltungskosten [..., den] Steuerungskosten [... und den] Flottenmanagementkosten“ ([Gud10], S. 839) zusammen. Als Einflussfaktoren auf die Energiebilanz lassen sich somit die Kosten für den Verbrauch von Treibstoff und Energie identifizieren.

Schiffe, Flugzeuge und Straßenfahrzeuge generieren die für die Fortbewegung benötigte Energie mithilfe von Verbrennungsmotoren aus den verwendeten Treibstoffen, wohingegen die Lokomotiven der Bahn häufig durch elektrischen Strom angetrieben werden. Durch den Heizwert eines Treibstoffes lässt sich aus dem Treibstoffverbrauch der Energieverbrauch eines Fördermittels in kJ pro tkm ermitteln, der wiederum in Liter Diesel pro 100 km umgerechnet werden kann. Folglich ist der Treibstoffverbrauch mit dem Energieverbrauch gleichzusetzen, der aus den genannten Gründen von der Zahl der zurückzulegenden Kilometer abhängig ist. (vgl. [Koe12], S. 188-190)

Schiffe verbrauchen im Vergleich zu den anderen Transportmitteln am wenigsten Energie (vgl. Abbildung 8), da sie sich durch eine niedrige „Flüssigkeitsreibung bei geringen Geschwindigkeiten“ ([Koe12], S. 189) auszeichnen. Der verglichen mit den LKW niedrige Energieverbrauch der Bahn resultiert aus dem Haftreibungswert der Räder auf den Schienen. Dieser fällt deutlich niedriger aus als der der LKW-Reifen aus Gummi auf der Straße. Flugzeuge weisen in der Gegenüberstellung den höchsten Energieverbrauch für den Transport von 1t Fracht über 100 km aus und sind somit das energetisch ineffizienteste Transportmittel. (vgl. [Koe12], S. 189)

Energieverbrauch pro t Fracht umgerechnet in Liter Diesel pro 100km

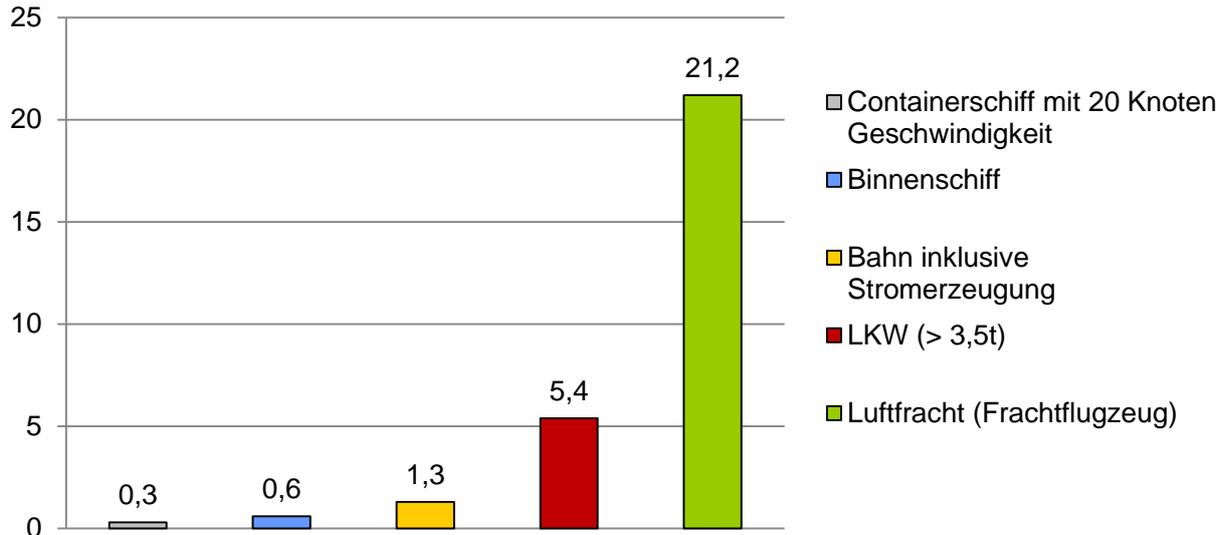


Abbildung 8: Spezifischer Energieverbrauch verschiedener Transportmittel (vgl. [Koe12], S. 188)

Der letztendliche Energieverbrauch bei der Durchführung eines Transportprozesses ist dementsprechend abhängig von der Wahl des Transportmittels und von der zurückgelegten Entfernung. Diese beiden Kenngrößen gelten somit als die Einflussfaktoren auf die Energiebilanz und auf die KPIs der Distributionslogistik.

4.2 Einflussfaktoren auf die Energiebilanz im Lagerwesen

Das „geplante Liegen des Arbeitsgegenstandes im Materialfluss“ ([HSN⁺07], S. 49) wird allgemein als Lagern bezeichnet. Lagern setzt sich, wie in Kapitel 2.2 beschrieben, aus den Prozessen der Einlagerung, der Aufbewahrung, der Bereithaltung und der Auslagerung von Waren zusammen. (vgl. [Gud10], S. 565). Als zentrale Funktionen eines Lagers gelten somit die „Warenannahme und [der] –eingang, [... die] Einlagerung, [... die] Auslagerung, [... der] Konsolidierungspunkt, [... die] Kommissionierung, [... die] Verpackung [... und der] Versand“ ([HS10], S. 22-53).

Zur Ausführung dieser Prozesse und zur Ausübung dieser Funktionen wird die Lagertechnik benötigt, zu der die „Lagereinheiten, [die] Ladungsträger, [die] Lagerplätze, [die] Regale, [die] Lagergeräte, [die] Lastaufnahmemittel, [das] Zu- und Abfördersystem, [die] Lagersteuerung, [die] Lagerverwaltung, [der] Wareneingang, [der] Warenausgang, [der] Lagerbau [... und zusätzliche wie] Sprinkler- und Rauchabzugsanlagen, Klima- und Heizungsanlagen, haustechnische Anlagen und Sozialräume für das Lagerpersonal“ ([Gud10], S. 585-586) gehören.

Zu der Lagertechnik und den Funktionen, die den größten Teil der aufzuwendenden Energie verbrauchen (vgl. Kapitel 4), zählen dabei die Lagersteuerung und -verwaltung, die Förder- und die Kommissioniertechnik, die Klima- und Heizungsanlagen und die haustechnischen Anlagen wie beispielsweise die Beleuchtung.

4.2.1 Lager-, Förder- und Kommissioniertechnik

Die Lagersteuerung, -koordination und -verwaltung erfolgt über ein Warehouse Managementsystem, das zur Verwendung die entsprechende Technik voraussetzt. Die Lagerverwaltung des Systems fasst die Lager-, die Waren- und die Bestandsinformationen in einer Datenbank zusammen, für die regelmäßig Daten erfasst und aufbereitet werden müssen. Über die Datenbank, die eingehenden Aufträge und die Ein- und Auslagerstrategien wird das Lager automatisiert koordiniert. Die Lagerverwaltung leitet dafür Anweisungen an die Fördermittelverwaltung weiter, die wiederum mithilfe eines Leitsystems die Transportaufträge bzw. die Auftragsreihenfolgen an die Fördermittel übermittelt und diese im Anschluss steuert. Zusätzlich zur Koordination des Lagers kann das Warehouse Managementsystem bei einer permanente Inventur die Bewegungs- und die veränderten Lagerdaten direkt verarbeiten und in die Datenbank einpflegen. Aus diesen Informationen können verschiedene Kennzahlen zur Qualität des Lagers generiert und der aktuelle Status eines Auftrages abgerufen werden. In regelmäßigen Abständen wird bei einer geringen Auslastung auf Basis der veränderten Bestands- und Bewegungsdaten, sowie den ermittelten Kennzahlen, wie beispielsweise der Zugriffshäufigkeit, eine automatisierte Neuordnung der eingelagerten Waren durchgeführt. Dies geschieht zur Anpassung an die neuen Rahmenbedingungen, um so die Abläufe innerhalb des Lagers zu optimieren und damit die durchschnittlichen Transportwege zu minimieren. (vgl. [HS10], S. 54-64)

Die Fördertechnik, die das Warehouse Managementsystem steuert und koordiniert, wird in einem Lager eingesetzt, um die Transporte während des kompletten Warenfluss (vgl. Abbildung 9) in der Intralogistik abzuwickeln. Dazu zählen die Ein-, Um- und Auslagerungsprozesse sowie die Leerfahrten. (vgl. [HS10], S. 90-96)



Abbildung 9: Vereinfachte Darstellung des Warenflusses in einem Lager (eigene Darstellung)

Die zur Verknüpfung von verschiedenen Bereichen eingesetzte Fördertechnik ist dementsprechend eine elementare Grundfunktion eines Lagers. Die Auswahl des passenden

Fördermittels erfolgt in diesem Fall auf Basis der Daten der verschiedenen Förderer und der der eingelagerten Ware. (vgl. [HSN⁺07], S. 120; [HSN⁺07] S. 223-230)

Unter dem Begriff „Kommissionierung“ wird der Wertschöpfungsprozess verstanden, der das eingelagerte Warensortiment auftragsbezogen zusammenstellt, so dass der Auftrag im Ganzen ausgeliefert bzw. der Produktion bereitgestellt werden kann. Das Hauptziel der Kommissionierung ist eine fehlerfreie Zusammenstellung von Waren für einen Kunden oder für die Produktion, so dass durch die Lieferung möglichst wenige Reklamationen und Produktionsverzögerungen verursacht werden. (vgl. [HSB11], S. 43-59)

Kommissioniersysteme bestehen dabei aus dem Lagergut, der Fördertechnik, der Handlingstechnik und den Ladehilfsmitteln, die erforderlich sind, um die kommissionierte Ware zu bündeln, und werden nach dem Bereitstellprinzip und der Ablauforganisation unterschieden. Die Varianten „Person-zur-Ware“, bei der sich der Kommissionierer zu Fuß oder mit einem Fördermittel zur eingelagerten Ware hin bewegt, und „Ware-zur-Person“, bei der Güter in Behältern oder auf Paletten über die Fördertechnik zu dem Kommissionierer hin in einen stationären Bereich transportiert werden, gelten als Bereitstellprinzipien der Kommissionierung. Bei „Ware-zur-Person“ werden die nicht benötigten Lagergüter im Anschluss wieder eingelagert. Als Ablauforganisationsformen werden die ein- und die zweistufige Kommissionierung bezeichnet. Bei der einstufigen Kommissionierung bearbeitet der Kommissionierer die Aufträge seriell (der Reihe nach), während bei der zweistufigen Kommissionierung die Teilmengen mehrerer Aufträge parallel kommissioniert und in einem zweiten Prozess auftragsweise sortiert werden. Für die zweistufige Kommissionierung wird dementsprechend zusätzlich ein Sortiersystem benötigt, das wiederum zusätzliche Energie verbraucht, aber die Leistungsfähigkeit eines Kommissioniersystems steigert. (vgl. [HSB11], S. 43-59)

Eine hohe Kommissionierqualität zum Erreichen des Hauptziels kann über eine effektive und effiziente Informationsbereitstellung für die Kommissionierer erreicht werden. Diese kann in Form einer Pickliste oder papierlos über Anzeigen an den Regalfächern (Pick-by-Light), über stationäre Bildschirme, über mobile Anzeigegeräte (Handscanner) und über akustische Anweisungen (Pick-by-Voice) erfolgen. Die papierlosen Bereitstellungsmethoden bieten zudem die Möglichkeit die Entnahme von dem Kommissionierer direkt im Warehouse Managementsystem bestätigen zu lassen und somit weitere Fehlerursachen zu vermeiden. (vgl. [HSN⁺07], S. 251-269) Fehlerhafte Lieferungen wirken sich durch eine höhere Zahl an Reklamationen direkt auf die Kundenzufriedenheit bzw. auf den anschließenden Produktionsablauf aus. Aus diesem Grund ist die Kommissioniertechnik ein entscheidender Qualitätsfaktor eines Lagers (vgl. Abbildung 10) und der Kommissionierprozess ein essenzieller Bestandteil der Materialflussskette. (vgl. [HSB11], S.3)

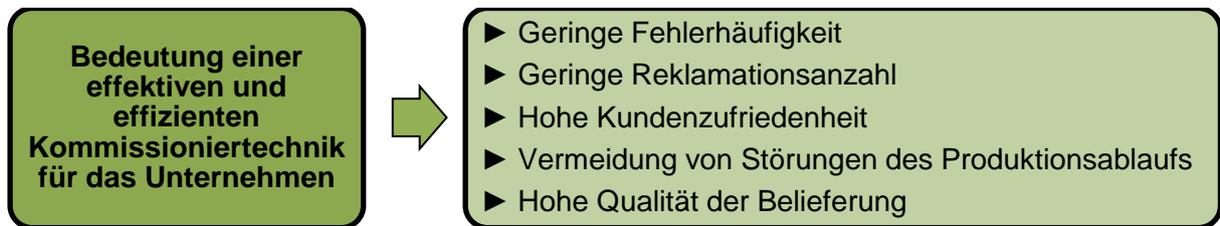


Abbildung 10: Bedeutung einer effektiven und effizienten Kommissioniertechnik (eigene Darstellung)

Durch die Lager-, die Förder- und die Kommissioniertechnik werden folglich elementare Funktionen und Prozesse ausgeführt, ohne die ein Lager nicht den heutigen Anforderungen gerecht wird und somit nicht wirtschaftlich arbeiten kann. Da viele Informationen elektronisch verarbeitet werden und die eingesetzte Technik wie beispielsweise die Fördermittel, die Kommissioniertechnik, die „Telematik, [die] Aktorik, [die] Sensorik, [die] Robotik, [die] Logistiksoftware, [die] Identifizierungssysteme und [die] Bildverarbeitungstechnologien“ ([GW11], S. 53) eine bestimmte Energieversorgung benötigt, lässt sich ein entsprechender Energieverbrauch nicht vermeiden. Dieser kann aber, wie im weiteren Verlauf dieser Projektarbeit beschrieben, durch Optimierungsmöglichkeiten reduziert werden.

4.2.2 Heizungs- und Lüftungstechnik

Durch die Heizungs- und Lüftungstechnik wird die eingelagerte Ware vor Einflüssen aus der Umgebung geschützt. (vgl. [Fit08], S. 1) Dafür wird in den Lagerräumen „die Temperatur, die Feuchte, der Druck, die Luftgeschwindigkeit, die Ladung und die Luftqualität“ ([Fit08], S. 1) kontrolliert und geregelt, so dass das Raumklima den verschiedenen Ansprüchen des Lagerguts gerecht wird und die Erhaltung der Qualität der Ware gewährleistet werden kann. (vgl. [Fit13], S. 7)

Ein Lager dient allerdings nicht nur als Lagerort für die eingelagerten Güter, sondern auch als Arbeitsplatz für die Mitarbeiter, der somit den Anforderungen einer angenehmen Arbeitsumgebung entsprechen muss. Als Einflüsse auf die Arbeitsbedingungen gelten der „Lärm bzw. Schall, [die] mechanischen Schwingungen, [die] Strahlung, [das] Klima, [die] Beleuchtung und [die] Arbeitsstoffe“ ([SBL10], S. 769). Das Raumklima wiederum setzt sich aus den Faktoren der „Lufttemperatur, [der] Luftfeuchtigkeit, [der] Windgeschwindigkeit [und der] Wärmestrahlung“ ([SBL10], S. 861) zusammen, die einen körperlichen und einen geistigen Einfluss auf den Menschen haben. Widrige Klimaverhältnisse führen bei dem Menschen zu einer höheren Arbeitsbelastung, zu einer verminderten kognitiven und physiologischen Leistungsfähigkeit, zur Schädigung des menschlichen Organismus und als Konsequenz zu häufigeren Arbeitsunfällen. Folglich ist das Wohlfühlklima der Arbeitsumgebung sehr wichtig, da es die Grundvoraussetzung für das Erbringen der maximalen Leistung einer Arbeitskraft ist. Die individuellen Unterschiede in der Empfindung

des Raumklimas können dabei über die Kleidung des Einzelnen kompensiert werden. (vgl. [SBL10], S. 861; [SBL10], S. 871-872) Als Teil der Lüftungstechnik werden in Lagern zudem häufig Entstaubungsanlagen eingesetzt, die den Staub aus der Luft entfernen und somit eine präventive Wirkung auf Erkrankung der Atemwege der Mitarbeiter besitzen. (vgl. [Kob11], S. 3) Die Heizungs- und Lüftungstechnik hat folglich einen erheblichen Einfluss auf die Arbeitsbelastung, die Leistungsfähigkeit und die Gesundheit der Mitarbeiter.

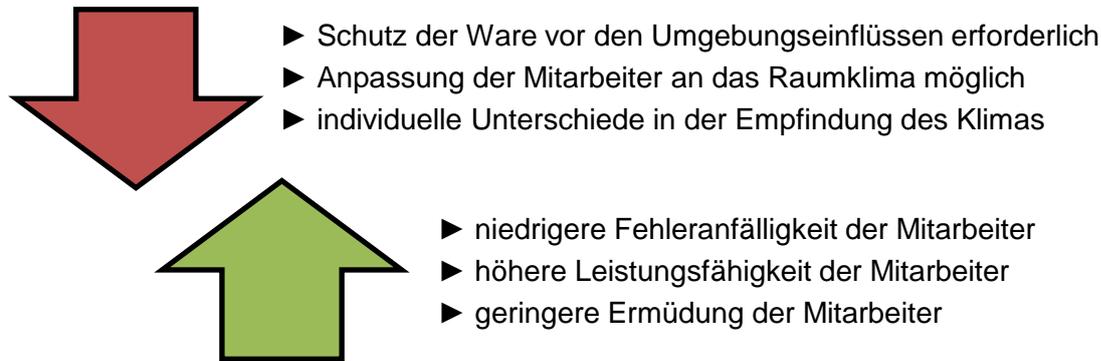


Abbildung 11: Gründe für und gegen eine Anpassung des Raumklimas an den Mitarbeiter (eigene Darstellung)

Da der Mensch sich besser an die klimatischen Bedingungen innerhalb des Lagers anpassen kann als die eingelagerten Güter und unter den Mitarbeitern individuelle Unterschiede in der Empfindung der Umgebungseinflüsse existieren, wird das Raumklima auf die Ware abgestimmt. Dem Mitarbeiter stehen durch die Arbeitstechnik, die Raumklimastechnik, die Wahl der Kleidung und die individuellen Verhaltensweisen in bestimmten Situationen verschiedene Ansatzmöglichkeiten zur Verfügung sich an widrige Bedingungen anzupassen bzw. sich diese angenehmer zu gestalten. Die Gründe für und gegen eine Anpassung des Raumklimas an den Mitarbeiter werden in der Abbildung 11 zusammengefasst dargestellt. (vgl. [SBL10], S. 881-884)

4.2.3 Beleuchtungstechnik

Die Einstrahlung von Licht auf die eingelagerte Ware kann zu einer chemischen Reaktion der Inhaltsstoffe und somit zu einem massiven Qualitätsverlust führen. Bei Lebensmitteln äußert sich dies beispielsweise durch eine Veränderung des Geschmacks. Diesem Einflussfaktor wird in der Praxis mit der Nutzung von geeigneten Verpackungen entgegengewirkt. Durch den daraus entstehenden Schutz gegen Lichteinflüsse wird die Beleuchtungstechnik im Lager für die menschlichen Arbeitskräfte eingesetzt. (vgl. [GK07], S. 41-44)

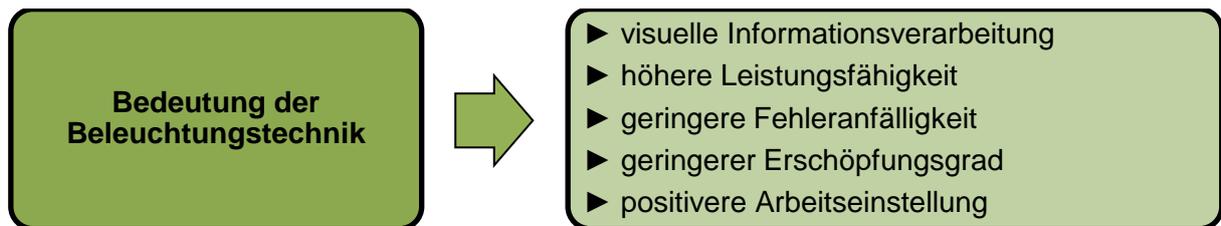


Abbildung 12: Bedeutung der Beleuchtungstechnik aus Sicht der Mitarbeiter (eigene Darstellung)

Dies liegt in der elementaren Bedeutung (vgl. Abbildung 12) guter Lichtverhältnisse für die Mitarbeiter, da über 80% aller Informationen visuell aufgenommen werden. Neben dem Erkennen von Gegenständen und der Verarbeitung von Bildern gibt es Wechselwirkungen zwischen der Beleuchtung und der Arbeitsqualität, die sich in der Fehlerhäufigkeit, in der Erschöpfung und in der allgemeinen Leistung der Mitarbeiter widerspiegeln. Eine ausreichende Beleuchtungsstärke der Arbeitsfläche (in Lux) ist aus diesem Grund für das Lager von entscheidender Bedeutung und muss dementsprechend zu jedem Zeitpunkt gewährleistet sein. (vgl. [SBL10], S. 885-887; [SBL10], S. 900) Allgemein wird in den Kommissioniergängen und in den Bereichen mit Lesetätigkeiten der Mitarbeiter eine Beleuchtungsstärke zwischen 100 und 300 Lux empfohlen. Bei automatisierten Lagern oder bei einer reinen Nutzung der Gänge durch Stapler gilt ein Wert von etwa 50 Lux als ausreichend. Neben den allgemeinen Empfehlungen existieren in der DIN 5035 / EN 12464 gesetzlich vorgeschriebene Beleuchtungsstärken für die verschiedenen Bereiche, die zwingend eingehalten werden müssen. Diese Werte werden in der Tabelle 2 zusammengefasst. (vgl. [Koh08], S. 1)

Bei der Wahl der Beleuchtungstechnik gilt es neben der allgemeinen Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter, den Anschaffungskosten und den variablen Kosten die spezifische Wirkung der Beleuchtung auf den Mitarbeiter zu berücksichtigen. Licht mit einem erhöhten Blau-Anteil führt beispielsweise zu einer höheren Leistungsfähigkeit, zu einer geringeren Fehleranfälligkeit, zu geringeren Ermüdungserscheinungen und zu einer positiveren Arbeitseinstellung. (vgl. [Koh08], S. 1-3)

Beleuchtungsstärken nach DIN 5035 / EN 12464	
Verkehrszonen in Abstellräumen	50 Lux
Lagerräume für gleichartiges und großteiliges Gut	50 Lux
Lagerräume mit Suchaufgabe bei nicht gleichartigem Gut	100 Lux
Lagerräume mit Leseaufgabe	200 Lux
Automatische Hochregallager, Gänge	50 Lux
Automatische Hochregallager, Bedienungsstand	200 Lux
Automatische Hochregallager, Versand	200 Lux
Verkehrswege für Personen	50 Lux
Verkehrswege für Personen und Fahrzeuge	100 Lux
Treppen, Fahrtreppen und geneigte Verkehrswege, Verloaderampen, automatische Fördereinrichtungen oder Transportbänder im Bereich von Verkehrswegen	100 Lux
Büroräume	500 bis 1500 Lux
Reparaturwerkstätten für Maschinen und Apparate	500 Lux

Tabelle 2: Beleuchtungsstärken verschiedener Bereiche nach DIN 5035 / EN 12454 (vgl. [Koh08], S. 5)

Die Beleuchtungstechnik ist insgesamt ein elementarer Faktor für die Mitarbeiter und dadurch ein unverzichtbarer Bestandteil eines Lagers. Das Einsparpotenzial in diesem Bereich liegt in der Optimierung der vorhandenen Beleuchtung beziehungsweise in der optimalen Gestaltung der Beleuchtungstechnik neuer Gebäude.

4.2.4 Sonstige Einflussfaktoren

Der restliche Energieaufwand verteilt sich auf weitere Energieverbraucher innerhalb des Gebäudes. Ein Beispiel, das in diesem Unterkapitel betrachtet wird, ist die Reinigungstechnik, die in einem Lager verwendet wird.

Um die hohen Belastungen der Fördermittel zu berücksichtigen ist häufig ein mehrschichtiger Boden erforderlich, der regelmäßig durch das „Imprägnieren, Versiegeln, Beschichten oder Verdichten“ ([Kie12], S. 2) behandelt und unter Verwendung von Wasser gereinigt werden muss. Dies ist zwingend erforderlich, um die Dauer der Haltbarkeit zu erhöhen und um den Zustand des Bodenbelages zu verbessern. Eine gründliche Reinigung, die turnusmäßig erfolgt, ist zudem die Voraussetzung zur Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen an die Hygiene in Lagern. (vgl. [Kie12], S. 2)

Zur Durchführung dieser Prozesse werden verschiedene Maschinen verwendet, wie beispielsweise eine Reinigungsmaschine. Da die Reinigung in regelmäßigen Abständen erfolgen muss, lässt sich ein Energieverbrauch in diesem Bereich nicht vermeiden, aber es besteht die Möglichkeit ihn durch verschiedene Optimierungsansätze zu reduzieren.

5 Optimierungsansätze zur Reduzierung des Energieverbrauchs

Aus den stetig steigenden Energiekosten (vgl. Kapitel 3.1.2), der fortschreitenden Intensivierung des Wettbewerbs (vgl. Kapitel 3.1.2) und dem wachsenden Verkehrsaufkommen (vgl. Kapitel 2.1.2) steigt die Nachfrage nach Nachhaltigkeit in der Logistik. Durch diese Entwicklung müssen die verschiedenen Einflussfaktoren auf die KPIs beziehungsweise auf die Energiebilanz (vgl. Kapitel 3.1.1) der Distributionslogistik auf Optimierungsansätze zur Reduzierung des Energieverbrauchs untersucht werden. Dies führt zu einer verbesserten Energieeffizienz (vgl. Kapitel 3.1.1) und zu einem verbesserten Energiemanagement (vgl. Kapitel 3.1).

Bei den Optimierungsmöglichkeiten der Einflussfaktoren auf die Energiekosten eines Logistik-Unternehmens wird zwischen denen im Zusammenhang mit den Transporten und denen mit dem Lagerwesen unterschieden (vgl. Kapitel 4).

5.1 Energieeinsparmaßnahmen im Transportwesen

Der hohe Anteil von 76 % an der Energiebilanz der Distributionslogistik (vgl. Kapitel 4), das wachsende Verkehrsaufkommen (vgl. Kapitel 2.1.2), die Steigerung des Wettbewerbs (vgl. Kapitel 3.1.2) und die stetig steigenden Energiepreise (vgl. Kapitel 3.1.2) erhöhen die Notwendigkeit einer Betrachtung der Optimierungsmöglichkeiten des Energieverbrauchs während des Transportprozesses. Im Fokus der Untersuchungen stehen dabei die ermittelten Einflussfaktoren aus dem Kapitel 4.1, also die Entfernung, die für die Kundenbelieferung zurückgelegt werden muss, und die Wahl des Transportmittels, das für die Belieferung eingesetzt wird.

Dabei gilt es zwei grundlegende Rahmenbedingungen zu unterscheiden. Es gibt Gebäude im Bestand mit feststehenden Charakteristiken, an die eine Anpassung erfolgen muss und Gebäude in Planung, bei denen der Handlungsspielraum größer ist und so eine sofortige energieeffiziente Gestaltung der Prozesse ermöglicht wird. (vgl. [Jör11], S. 42) Der Ansatz, der nur bei Gebäuden, die sich in der Planung befinden, angewendet werden kann, ist die Wahl des Standortes, den die minimale Gesamttransportentfernung zu den Kunden kennzeichnet. Die optimale Lage eines Standortes wird über eine Gewichtung der mittleren Kundenentfernung mit dem Transportbedarf ermittelt. Dabei gilt es den Umwegfaktor von 1,2 zu berücksichtigen, der erforderlich ist, da die Straßenführungen und die regionalen Gegebenheiten keine direkten Verbindungen in Form der Luftlinie zulassen. (vgl. [Gud10], S. 825-827; [Gud10], S. 946)

Bei Bestandsgebäuden gibt es vielfältige Ansätze, die allerdings auch bei Neubauten in der Planungsphase angewandt werden können. (vgl. [Jör11], S. 42) Es existieren beispielsweise verschiedene Möglichkeiten zur Reduzierung der zurückzulegenden Entfernung in der

Distributionslogistik. Die Umstellung der Transportstrategie von Ganzladungsverkehren, die über Direkttransporte abgewickelt werden, auf Teilladungstransporte, bei denen die Transporte nach einer Bündelung gesammelt ausgeliefert werden, kann die zurückzulegende Strecke und damit auch den Energieverbrauch und die Energiekosten reduzieren. (vgl. [Gud10], S. 825; [Koe12], S. 231) Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der für die Belieferung der Kunden benötigten Transportentfernung ist die Verwendung von Verfahren zur Touren- und Routenplanung (vgl. Kapitel 2.1.4). Eine gute Tourenplanung, die die Kunden auf die verschiedenen Touren zuordnet, kann durch die Nutzung von Heuristiken ermittelt werden. (vgl. [Gud10], S. 829-831) Eine Heuristik ist die Theorie und die Anwendung von Problemlösungsverfahren. Die Verwendung erfolgt unter einer spezifischen Vorgehensweise, die vorher schrittweise festgelegt wird. (vgl. [Dud13], Suchbegriff: „Heuristik“) Diese Verfahrensschritte sind eine „Faustregel“, die durch eine vorherige Abstraktion unter Umständen die optimale Lösung ausschließt. Aus diesem Grund ist das Ergebnis einer Heuristik gut, aber meistens nicht optimal. (vgl. [GZ08], S. 304) Für die Tourenplanung prädestiniert ist daher die Anwendung des Sweep-Verfahren (vgl. Kapitel 2.1.4). (vgl. [Gud10], S. 829-830) Im Rahmen der Routenplanung hingegen kann zu den ermittelten Touren mithilfe von „mathematischen Verfahren, die in die Routenplanungssoftware integriert sind“ ([Koe12], S. 190) die verbrauchsoptimierte und damit energieeffizienteste Reihenfolge zur Bedienung der Kundennachfrage berechnet werden. (vgl. [Gud10], S. 831-832)

Neben den Maßnahmen mit direktem Einfluss auf die Zahl der für die Kundenbelieferung zurückzulegenden Kilometer, existieren Optimierungsansätze mit einer indirekten Auswirkung. Eine bessere Auslastung der Laderäume bewirkt eine höhere Effizienz in der Nutzung der Transportfahrzeuge. Dadurch können Fahrten entweder mit kleineren, energieeffizienteren Fahrzeugen abgewickelt oder ganz eingespart werden, so dass der Energieverbrauch reduziert werden kann. Ein solcher Effekt kann ebenfalls durch eine gewichts- und platzminimale Gestaltung der Verpackungen und der Produkte und durch die Nutzung einer Computersoftware zur Optimierung des Beladungsprozesses erzielt werden. (vgl. [Koe12], S. 190); [BB12], S. 149-153)

Die Wahl des Transportmittels bietet zwei Ansätze zur Minimierung des Energieverbrauchs. Die interne Perspektive, also der Vergleich innerhalb einer Klasse der Transportmittel, bietet Optimierungsmöglichkeiten bezüglich der eingesetzten Fahrzeugklasse und der Technik. „Die Reifenwahl, niedrige Luftwiderstandsbeiwerte durch einen aerodynamischeren Fahrzeugbau, eine Start-Stopp-Technik [...], eine Leichtbauweise [... und die] Bremsenergieerückgewinnung“ ([BB12], S. 137-138) sind nur einige Beispiele für das Energieeinsparungspotenzial, das in der Technik der Transportprozesse liegt. In den vergangenen Jahren wurden zudem zahlreiche technische Verbesserungen und Innovationen zur Effizienzsteigerung der Antriebe und der Ladekapazität von Transportmitteln entwickelt. (vgl. [Koe12], S. 189) Die Entwicklung von Hybridfahrzeugen mit

Elektro- und Verbrennungsantrieben und die Fortschritte bei Elektroantrieben konnten eine Verringerung des Treibstoff- und Energieverbrauchs bewirken und somit die Effizienz der Transportmittel verbessern. (vgl. [Bor08], S. 32-38) Eine Steigerung der Ladekapazität konnte beispielsweise durch den Bau immer größerer Containerschiffe, durch die Entwicklung des Gigaliners und durch die Einführung der Doppelstockverladung erreicht werden. (vgl. [Sch09], S. 27-29; [Möl08], S. 11-14) Auch zukünftig wird eine Trendfortsetzung zu effizienteren Antrieben und größeren Ladekapazitäten erwartet. (vgl. [Koe12], S. 189)

Die externe Betrachtung erfolgt durch einen qualitativen und einen quantitativen Vergleich der verschiedenen Transportmittel. Bei einem qualitativen Vergleich werden die Vor- und Nachteile nach rechtlichen, infrastrukturellen und leistungsorientierten Kriterien gegenübergestellt. Der große Vorteil des Straßengüterverkehrs ist die Flexibilität durch die Netzfähigkeit, während beim Schienen-, Luft- und Wassergüterverkehr häufig ein Vor- und Nachlauf über die Straße erforderlich ist. Im Anschluss daran wird bei der Wahl der Transportmittel unter Berücksichtigung aller genannten Kriterien eine Entscheidung getroffen, da niedrigere Energiekosten im Hauptlauf beispielsweise durch höhere Opportunitätskosten wie etwa durch Lieferverzögerungen kompensiert werden können. (vgl. [Koe12], S. 190-208; [Wan10], S. 411-432) Das größte Energiesenkungspotenzial im Bereich der Transportmittelwahl liegt folglich in der Technik des eingesetzten Transportmittels.

Abgesehen von technischen Verbesserungen und Maßnahmen mit Einfluss auf die Länge der zurückzulegenden Strecken, sind Schulungen des Personals, das für die Durchführung der Transportprozesse zuständig ist, für einen verantwortungsbewussten und energiesparenden Umgang mit dem jeweiligen Transportmittel ein effizienter Ansatzpunkt für die Einsparung von Energiekosten. Der Treibstoff- bzw. Energieverbrauch kann beispielsweise durch vorausschauendes Fahren zur Vermeidung von unnötigen Bremsvorgängen oder durch eine Änderung des Fahrverhaltens gesenkt werden, womit eine Effizienzsteigerung der Fahrzeugnutzung einhergeht. (vgl. [Chr08], S. 17-48)

Zusätzlich zu den bisherigen Optimierungsmöglichkeiten können unternehmensübergreifende Kooperationen die Energieeffizienz der Unternehmen verbessern. Eine Form der horizontalen Kooperation sind sogenannte Frachtbörsen durch die Transportaufträge für den Rückweg einer Auslieferung generiert werden können, um somit ineffiziente Leerfahrten zu vermeiden. (vgl. [BB12], S. 325-327) Leerfahrten sind für die Unternehmen durch die Kosten, die unter anderem durch den Energieverbrauch entstehen, und den nicht-existenten Mehrwert unwirtschaftlich. (vgl. [Seb13], S. 181-182) Verladerkooperationen sind eine weitere Ausprägung der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit, die sowohl horizontale als auch vertikale Ausprägungen entlang der Wertschöpfungskette auszeichnen können. Dabei erfolgt eine Koordination der Transporte verschiedener Unternehmen, die bei einer horizontalen Kooperation zudem noch in einem direkten Wettbewerb stehen. Durch diese Form der Zusammenarbeit können Synergien

gehoben, Leerfahrten vermieden und somit die Energiekosten aller Beteiligten gesenkt werden. (vgl. [BB12], S. 365)

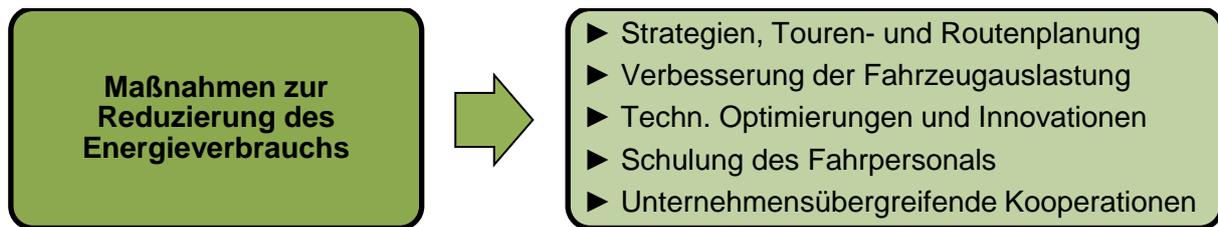


Abbildung 13: Energiesparmaßnahmen während des Transportprozesses (eigene Darstellung)

Mit einem Anteil von 76 % an der Energiebilanz in der Distributionslogistik ist der Transport der Hauptkostenreiber und somit der Ansatzpunkt mit dem höchsten Energieeinsparungspotenzial. Die Optimierungsmöglichkeiten (vgl. Abbildung 13) bestehen aus organisatorischen und technischen Maßnahmen mit direktem und indirektem Einfluss auf die Gesamtstrecke, die für die Belieferung der Kunden zurückgelegt werden muss, sowie aus technischen Verbesserungen und personellen Schulungen zur Senkung des Energieverbrauchs während des Transportprozesses.

5.2 Energieeinsparmaßnahmen im Lagerwesen

Obwohl der Anteil der Intralogistik an der Energiebilanz in der Distributionslogistik im Vergleich zu den Transporten gering ist (24 %, vgl. Kapitel 4), existieren sinnvolle Optimierungsmöglichkeiten zur Senkung des Energiebedarfs in Lagergebäuden. Dabei sind wie bei dem Transportprozess zwei Varianten zu unterscheiden.

Bei Gebäuden, die sich in der Planungsphase befinden, können die Maßnahmen zur Energieeffizienz direkt in das Konzept einfließen und in der Umsetzungsphase realisiert werden (vgl. Abbildung 14). Bestehende Gebäude erfordern hingegen eine Anpassung der Maßnahmen an die vorhandenen Gegebenheiten. Änderungen müssen daher schnell durchgeführt werden, so dass eine Beeinflussung des täglichen betrieblichen Ablaufs ausgeschlossen wird. (vgl. [Jör11], S. 42)

Neben den Einflussfaktoren auf die Energiebilanz, die im vorherigen Kapitel beschrieben wurden, besteht die Möglichkeit die Nachhaltigkeit eines Lagers durch den Bau einer Photovoltaikanlage auf dem Dach des Gebäudes zu steigern. (vgl. [Kob11], S. 1) Mittels Photovoltaikanlagen wird die einfallende „Sonnenenergie in elektrischen [...] Strom umgewandelt“ ([SH08], S. 148). Gebäude, die sich noch in der Planungsphase befinden, können direkt für die Produktion von Solarenergie konzipiert werden, während bestehende Gebäude teilweise nachgerüstet werden können. Auf diese Weise können Teile des eigenen

Stromverbrauchs aus erneuerbaren Ressourcen hergestellt und somit Energiekosten eingespart werden. In Phasen in denen weniger Energie verbraucht als produziert wird, kann der Überschuss in das öffentliche Stromnetz eingespeist und somit ein finanzieller Zuschuss erzielt werden. (vgl. [Kob11], S. 1-3)

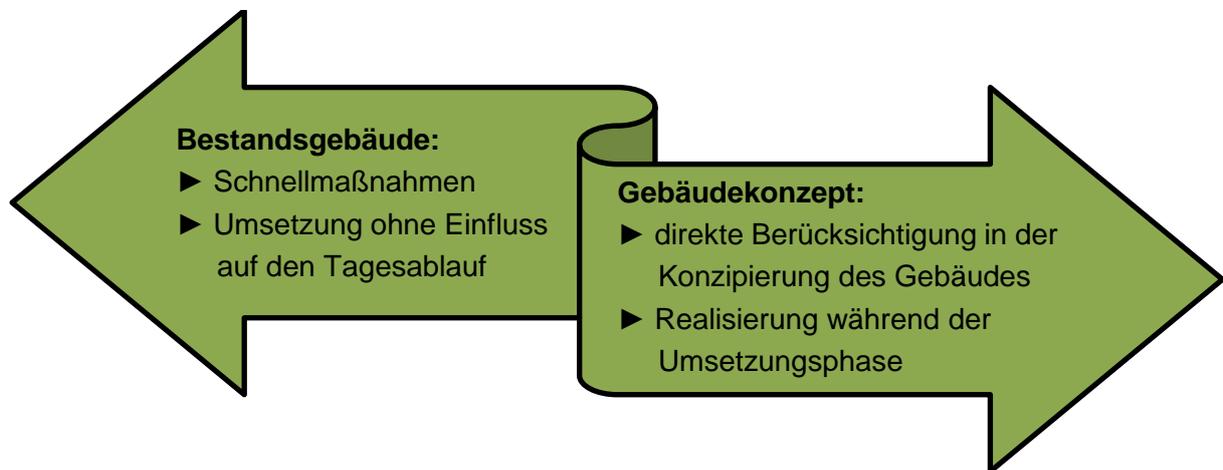


Abbildung 14: Anforderungen an Bestandsgebäude und Gebäudekonzepte (eigene Darstellung)

Einige Optimierungsmöglichkeiten zur Reduzierung des Energieverbrauchs werden in diesem Kapitel jeweils für die verschiedenen Einflussfaktoren beschrieben.

5.2.1 Lager-, Förder- und Kommissioniertechnik

Im Bereich der Lager-, Förder- und Kommissioniertechnik gibt es verschiedene Ansatzpunkte zur Senkung der Energiekosten.

Eine organisatorische Möglichkeit zur Reduzierung des Energieverbrauchs im Lager ist die Nutzung einer alternativen Einlagerungsstrategie. Eine energieeffiziente und streckenminimale Strategie zur Einlagerung der Ware kann durch eine Einteilung der Lagerfläche in verschiedene Zonen, in denen die Lagerplätze wiederum chaotisch oder nach der geringsten einzusetzenden Energie vergeben werden, in Kombination mit einer Lagerplatzorganisation nach der Zugriffshäufigkeit, die durch eine ABC-Analyse ermittelt wird, hergeleitet werden. Die ganzheitliche Betrachtung des Lagersystems kann dabei ebenfalls zu einem reduzierten Energieverbrauch führen, da durch den Einsatz abweichender technischer Systeme oder durch eine Änderung der vorgelagerten Prozesse ein weiteres Energiesparpotenzial ermittelt werden kann. Bei einer Änderung der vorgelagerten Prozesse können beispielsweise Ladeeinheiten aufgelöst und auf effizientere Weise neu gebildet werden. (vgl. [FSB12], S. 31-32)

Neben Änderungen in der Lagerorganisation ermöglicht die Nutzung eines Warehouse Managementsystem die Anwendung zusätzlicher Optimierungsfunktionen. Eine Möglichkeit ist dabei die Reduzierung der Fahrwege der Fördermittel, die beispielsweise über den Wechsel von Einzel- zu Doppelspielen oder über eine entfernungsminimierende Routenplanung erzielt werden kann. (vgl. [HS10], S. 131-146)

Im Bereich der Fördertechnik können die Fördermittel mit einer Funktion zur Rückeinspeisung der eingesetzten Energie ausgestattet werden. Auf diese Art und Weise kann der Verbrauch gesenkt werden, da die verbrauchte Energie zum Teil wiedergeneriert wird und auf diese Weise erneut genutzt werden kann. (vgl. [FSB12], S. 30-31) Des Weiteren kann eine Veränderung der Antriebsweise der Fördertechnik zu einer höheren Energieeffizienz im Lager beitragen. Durch die Nutzung von Automatisierungstechniken beispielsweise können bis zu 30 % der eingesetzten Energie eingespart und gleichzeitig die Leistung des Lagers erhöht werden. Zusätzlich können der Einsatz energiesparender Antriebsvarianten wie der Hybrid- und der Elektroantrieb, sowie die Funktion der automatischen Abschaltung bei Nicht-Benutzung, die Energieeffizienz des Lagergebäudes steigern. (vgl. [Kne11], S. 1-4)

Eine Methode zur Reduzierung der zurückgelegten Entfernungen der Kommissionierer und dem, bei der Verwendung von Fördermitteln entsprechend, einhergehendem geringerem Energieverbrauch, ist die Änderung der Kommissionierstrategie. Dies kann zum Beispiel durch das Überspringen von Lagergassen oder die Anwendung einer Heuristik erreicht werden. Ein weiterer Ansatzpunkt zur Verkürzung der Kommissionierstrecke ist die Zusammenfassung von Kommissionieraufträgen mit Hilfe eines Warehouse Managementsystems. Eine zweistufige Kommissionierung führt neben der eingesparten Kommissionierstrecke zu einer höheren Kommissionierleistung, erhöht allerdings auch die Energieaufwendung durch den zusätzlich erforderlichen Einsatz einer Sortieranlage. Eine sinnvolle Entscheidung kann diesbezüglich nur über eine qualitative und eine quantitative Analyse getroffen werden, bei denen die Kosten und der Nutzen miteinander verglichen werden. (vgl. [HS10], S. 131-146)

Die Kommissioniertechnik an sich besteht, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, aus dem Lagergut, der Fördertechnik, der Handlingstechnik, der Informationsbereitstellung und den Ladehilfsmitteln. Die technischen Optimierungen zur Reduzierung der eingesetzten Energie sind dabei hauptsächlich im Bereich der Fördertechnik möglich und werden analog zu denen der Fördertechnik im Lager angewendet.

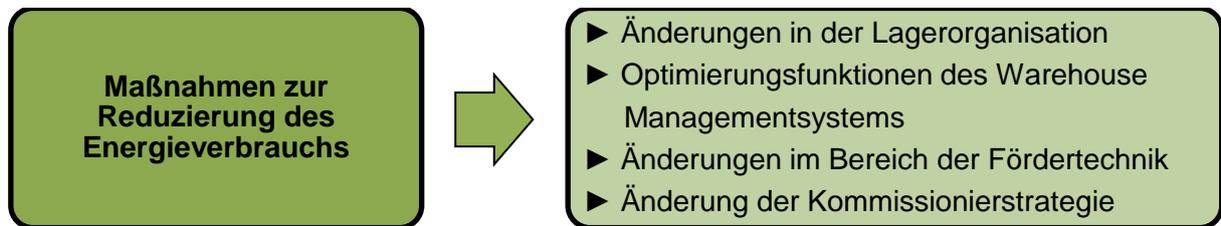


Abbildung 15: Energiesparmaßnahmen der Lager-, Förder- und Kommissioniertechnik (eigene Darstellung)

Die Lager-, Förder- und Kommissioniertechnik ist mit 48 % der Einflussfaktor in der Energiebilanz eines Lagers, den der höchste Energiebedarf auszeichnet. Folglich besitzt dieser das höchste Energiesenkungspotenzial und ist damit der Hauptansatzpunkt bei einer Optimierung zur Reduzierung des Energieverbrauchs im Lagerwesen. Die möglichen Einsparungsmaßnahmen dieses Kapitels sind in Abbildung 15 zusammengefasst dargestellt.

5.2.2 Heizungs- und Lüftungstechnik

Neben der Optimierung der Förder-, Lager- und Kommissioniertechnik gibt es Energieeinsparpotenziale im Bereich der Heizungs- und Lüftungstechnik, die mit einem Anteil von 35 % in die Energiebilanz des Lagers einfließen (vgl. Kapitel 4) und in diesem Kapitel beschrieben werden.

Durch die Nutzung der Wärme, die durch die Antriebstechnik der Fördermittel erzeugt wird, kann die aufzuwendende Energie für Heizzwecke reduziert werden. Der Vorteil dieser Methode ist eine Möglichkeit zur schnellen Umsetzung zur Einsparung von Energiekosten. (vgl. [Kie12], S. 33)

Die Gestaltung des Raumklimas kann durch die Temperatursteuerung des Lagers bzw. der Kühlräume über das Grundwasser aus einem Brunnen energiesparend neu ausgerichtet werden. Auf diese Weise ist der Betrieb des Lagers mit Temperaturen in einem Bereich zwischen 2°C und 25°C realisierbar. Zusätzlich zur normalen eingelagerten Ware können so die Voraussetzungen zur energieeffizienten Lagerung von temperaturempfindlichen und leicht verderblichen Produkten geschaffen werden. (vgl. [Kie12], S. 33)

Neben der Umstrukturierung bzw. Neuausrichtung der Heizungs- und Lüftungstechnik können bauliche Maßnahmen durchgeführt werden, die die Effizienz der bestehenden Anlage erhöhen. Die meiste Energie geht in einem Gebäude über die Außenwände, das Dach und die Fenster verloren. Durch eine verbesserte Wärmedämmung der Wände und Decken können die energetischen Verluste reduziert werden, was wiederum zu einer Verringerung des Energieaufwands zur Kompensation der verlorenen Wärme führt. (vgl. [SH08], S. 123-125) Abgesehen von einer Verbesserung der eingesetzten Wärmedämmung der Wände und Decken kann durch den Einbau von „Fenstern, Sektionaltoren und Isowandpaneelen [mit] niedrigen Wärmedurchgangskoeffizienten“

([Kob11], S. 2) eine weitere Energieeinsparung erzielt werden. Auch isolierte Sektionaltore besitzen den Nachteil hoher Energieverluste durch das häufige Öffnen bei Umschlagsprozessen im Warenein- und -ausgang. (vgl. [Kob11], S. 2-3) Diesem negativen Einflussfaktor auf die Energiebilanz kann durch eine Abgrenzung der kritischen Bereiche durch Schnellauftore entgegengewirkt werden. Das Öffnen und Schließen der Schnellauftore an den Verbindungsstellen erfolgt schnell, vermindert dadurch die Energieverluste durch die Be- und Entladeprozesse und senkt somit die Energiekosten des Gebäudes. (vgl. [PPZ07], S. 148-149)

Zusätzlich zu den internen Änderungen der Betriebsweise können auch externe Einflüsse die Energiekosten eines Gebäudes reduzieren. Es besteht die Möglichkeit das Gebäude über die Fernwärme von Produktionsbetrieben oder Biogasanlagen zu heizen oder mit einer „Absorberanlage [... die] Wärme in Kälte“ ([Kob11], S. 1) umzuwandeln, die dann zur Kühlung der Räumlichkeiten genutzt werden kann. Für den Einsatz zu Heizzwecken empfiehlt es sich die Fernwärme nicht erst für eine Fußbodenheizung abzukühlen, da die daraus entstehenden Energieverluste bei einer Heizung unter der Raumdecke nicht auftreten. (vgl. [Kob11], S.1) Wenn in der näheren Umgebung keine Fernwärmelieferanten angesiedelt sind, kann sich der Bau einer eigenen Biogas-Anlage rentieren. Wahlweise kann in diesem Fall eine Kooperation mit den benachbarten Gebäuden angestrebt werden, um zusätzliche Einnahmen als Lieferant zu generieren oder die Kosten für den Bau und den Betrieb durch eine gemeinsame Nutzung zu reduzieren. (vgl. [Kne11], S. 3)

Bei der Planung von neuen Gebäuden können die in diesem Kapitel genannten Optimierungsmöglichkeiten von Beginn an konzipiert und somit direkt in der Umsetzungsphase realisiert werden. Ein weiterer Ansatzpunkt bei Neubauten ist die Vermeidung von Fensterfronten, die nach Süden ausgerichtet sind, um das Aufheizen der Räumlichkeiten durch eine hohe Sonneneinstrahlung zu vermeiden. Idealerweise werden die Fenster entsprechend an der Nordseite des Gebäudes geplant, um einer Erwärmung durch die Sonne entgegenzuwirken und trotzdem das Tageslicht indirekt nutzen zu können. (vgl. [Koh08], S. 37)

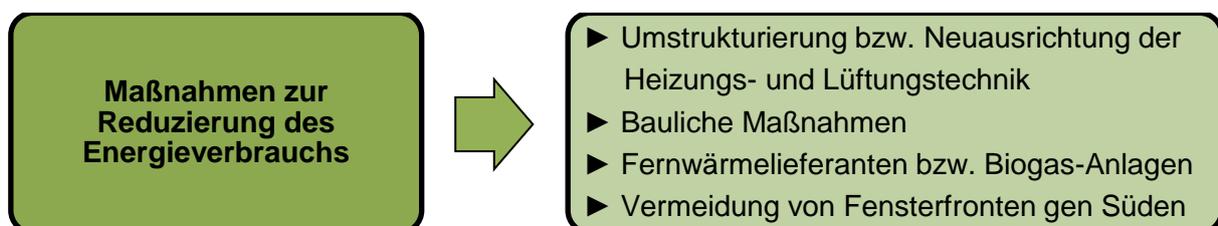


Abbildung 16: Energiesparmaßnahmen der Heizungs- und Lüftungstechnik (eigene Darstellung)

Ähnlich wie bei der Lager-, Förder- und Kommissioniertechnik existieren bei der Heizungs- und Lüftungstechnik verschiedene Ansatzpunkte zur Reduzierung des Energieverbrauchs. In der Abbildung 16 werden die möglichen Maßnahmen zusammengefasst.

5.2.3 Beleuchtungstechnik

Trotz des verhältnismäßig geringen Einflusses des Faktors Beleuchtung auf die Energiebilanz eines Lagers (Anteil von 15 %, vgl. Kapitel 4), bietet die Beleuchtungstechnik vielfältige Ansatzpunkte zur Reduzierung des Energieverbrauchs bestehender Gebäude und somit auch zur energieeffizienten Konzipierung von Neubauten.

Dabei gibt es einige schnell umzusetzende Maßnahmen mit einem direkten Einfluss auf die verbrauchte Energie und auf die Arbeitsqualität der Mitarbeiter. Die Staubschicht beispielsweise, die in einem Zeitraum von 2 Jahren entsteht, kann die Leuchtkraft einer Lampe halbieren. Der daraus entstehende Mehraufwand an Energie bewirkt einen Anstieg der Betriebskosten der Beleuchtungstechnik um bis zu 15 %. Dementsprechend kann der Stromverbrauch schon durch die regelmäßige Reinigung der Lampen erheblich reduziert werden. (vgl. [Jör11], S. 43)

Eine ebenfalls kurzfristige Methode, die aufzuwendende Energie zu senken, ist ein Auswechseln der Lampen. Abhängig von den bisher eingesetzten Lampen können die laufenden Kosten durch den Einsatz einer LED-Beleuchtung durch den geringeren Energieverbrauch und durch die niedrigeren Instandhaltungskosten aufgrund der längeren Lebensdauer zum Teil stark gesenkt werden. Die hohen Fixkosten bei der Umstellung der Beleuchtungstechnik können somit innerhalb weniger Jahre amortisiert werden. Abgesehen von dem hohen Einsparungspotenzial empfiehlt sich moderne LED-Technik durch die höhere Umweltverträglichkeit. Ein zusätzlicher Vorteil ist die geringere abgestrahlte Wärme, die LED-Lampen für den Einsatz in Bereichen, in denen Ware gekühlt wird, prädestinieren. (vgl. [Kie12], S. 32-33)

In Räumen, die bisher mit Leuchtstoffröhren beleuchtet werden, kann die Anschaffung von Adaptern, die die Nutzung von moderneren T5-Leuchtstoffröhren ermöglichen, eine Energieeinsparung im Bereich der Beleuchtungstechnik von bis zu 43 % bewirken. Wie bei einem Umstieg auf eine LED-Beleuchtungstechnik sinken die Instandhaltungskosten, wodurch weitere Einsparungen generiert werden und die abgestrahlte Wärme abnimmt, so dass ein Einsatz in Kühlbereichen ermöglicht wird. Die geschätzte Amortisationszeit der Anschaffungskosten der Adapter und der neuen Leuchtstoffröhren beläuft sich auf einen Zeitraum von etwa 2 Jahren. (vgl. [Koh08], S. 3-4)

Zusätzlich zum Wechsel der Lampenart können diese mit Reflektoren ausgestattet werden, um so einen höheren Wirkungsgrad durch eine bessere Steuerung und Streuung des Lichts zu erzielen. (vgl. [Reg13], S. 43)

Neben den Anpassungen im direkten Zusammenhang mit der Beleuchtungstechnik gibt es Optimierungsansätze hinsichtlich weiterer technischer Komponenten, die den Energieverbrauch der Beleuchtung senken können. Helligkeitsregler können abhängig von dem Tageslichteinfall die Beleuchtungsstärke der Beleuchtungstechnik steuern oder in einigen Bereichen sogar ganz ausschalten. (vgl. [Koh08], S. 37) Eine weitere Funktion der Helligkeitsregler ist das Einbeziehen der nachlassenden Beleuchtungsstärke durch die Alterung der Lampen. Auf diese Weise kann die Helligkeit in dem Zeitraum nach der Installation heruntergefahren werden. Ein Herunterfahren der Leistung einer Lampe senkt den Energieverbrauch und somit die Energiekosten für die Beleuchtung des Gebäudes und verlängert gleichzeitig die Lebensdauer der Lampen. (vgl. [Reg13], S. 43) Zusätzlich zu den Helligkeitsreglern können Bewegungsmelder installiert werden, die das Licht in gewissen Bereichen ausschalten, wenn es von niemandem benötigt wird. (vgl. [Koh08], S. 37) Die Beleuchtung kann zudem durch die Ergänzung automatisierter und helligkeitsgesteuerter Jalousien effizienter gestaltet werden. (vgl. [Kof09], S. 29) Eine weitere Erhöhung der Energieeffizienz der Beleuchtungstechnik kann durch einen weißen Wandanstrich erzielt werden, da das Kennzeichen dieser Farbe ein besonders hoher Reflexionsgrad ist und sich durch die höhere Ausschöpfung der erzeugten Helligkeit folglich der Energieverbrauch senkt. (vgl. [Koh08], S. 37) Durch die Kombination dieser verschiedenen technischen Komponenten kann bis zu 50 % der verbrauchten Energie im Bereich der Beleuchtungstechnik eingespart werden. (vgl. [Kof09], S. 29)

Im Vergleich zu den bisherigen Optimierungsansätzen dieses Kapitels, die auch in bestehenden Gebäuden umgesetzt werden können, existieren Einsparungsmöglichkeiten, die bei der Neuplanung eines Gebäudes miteinbezogen werden können. Wie im Kapitel 4.2 beschrieben, ist es sinnvoll die Fensterfront eines Gebäudes nach Norden auszurichten. Diese Maßnahme schafft Synergien für die Beleuchtungstechnik des Lagers. Durch die indirekte Nutzung des Tageslichts fällt das Licht gleichmäßiger in das Gebäude und schafft somit eine gleichbleibende Beleuchtungsstärke innerhalb der Arbeitsbereiche. Umgesetzt werden kann dies beispielsweise durch „stufige Dächer [mit] Fenster nach Norden“ ([Koh08], S. 37), die zudem die Installation einer Photovoltaikanlage ermöglichen, die wiederum Energie für den Eigenbedarf und zum Verkauf produziert und somit die Energiekosten reduziert. (vgl. [Koh08], S. 37)

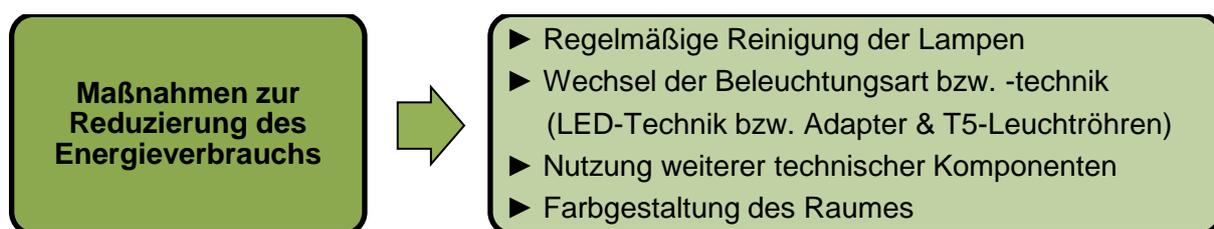


Abbildung 17: Energiesparmaßnahmen der Beleuchtungstechnik bestehender Gebäude (eigene Darstellung)

Die beschriebenen Maßnahmen für Bestandsgebäude (vgl. Abbildung 17) können zum Teil innerhalb weniger Tage auf eine Weise umgesetzt werden, die den täglichen Ablauf nur in geringem Maße stören. Bei der Neuplanung von Gebäuden hingegen können neben diesen Varianten weitere Optimierungsansätze hinzugezogen werden. Durch die Berücksichtigung von baulichen Maßnahmen können zusätzliche Synergien entstehen, durch die beispielsweise der Energieverbrauch zum Teil selbst zu produziert werden kann. Dadurch können die Energiekosten weiter gesenkt werden können.

5.2.4 Sonstige Einflussfaktoren am Beispiel der Reinigungstechnik

Obwohl die sonstigen energetischen Ausgaben in der Energiebilanz nur einen Anteil von 2 % einnehmen, können in diesem Bereich Kosten gesenkt und somit Einsparungen generiert werden.

Für die Reinigung der Hallenböden werden Reinigungsmaschinen eingesetzt, bei denen die Funktionsweise optimiert werden kann. Bei einer größeren Aufnahmefähigkeit von Wasser und Reinigungsmitteln und einem effizienteren Wasserzuführungssystem können die Anzahl der Leerfahrten für die Auffüllung der Wasser- und Reinigungsmittel tanks und die damit verbundene Stillstandszeiten reduziert werden. Der daraus entstehende höhere Wirkungsgrad der Reinigungsmaschine führt zu einer höheren Effizienz und somit zu einem niedrigeren Energieverbrauch. (vgl. [Kie12], S. 33)

Eine weitere Möglichkeit diesen Effekt zu erzielen ist die Verwendung von „Wasserwiederaufbereitungssystemen, Reinigungsmittel-Dosiersystemen und anpassbaren Reinigungsprogrammen“ ([Kie12], S. 33). Diese Variante ermöglicht neben reduzierten Energiekosten die Nutzung einer Synergie zur Minimierung der Betriebsmittelkosten, da auch der Verbrauch von Wasser und Reinigungsmitteln sinkt. (vgl. [Kie12], S. 33)

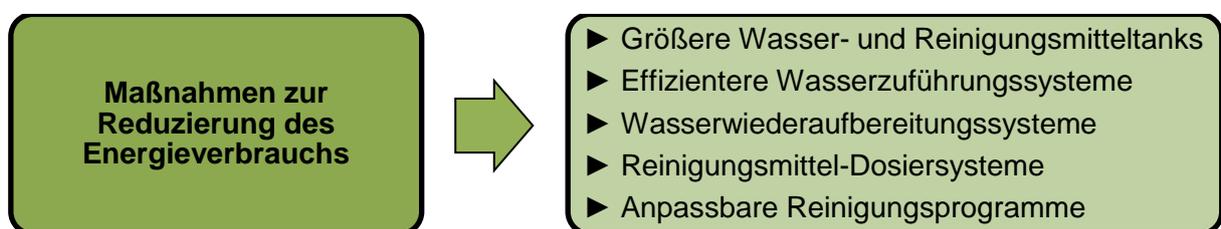


Abbildung 18: Energiesparmaßnahmen der Reinigungstechnik des Bodens (eigene Darstellung)

Die verschiedenen Maßnahmen (vgl. Abbildung 18) führen zu einer Reduzierung der Energiekosten, die für die regelmäßige Reinigung des Bodens aufgewendet werden müssen und erhöhen auf diese Weise die Nachhaltigkeit der eingesetzten Maschinen.

6 Fazit

Die stetig steigenden Energiepreise und das wachsende Verkehrsaufkommen der vergangenen Jahre, sowie die fortschreitende Intensivierung des Wettbewerbs, sind keine Trends, sondern Entwicklungen, die durch die zunehmende Verknappung der Rohstoffe und der Ressourcen, sowie durch die steigende Wettbewerberanzahl, weiter fortschreiten werden.

Aus diesen Gründen vollziehen die Unternehmen verschiedener Branchen, wie beispielsweise die der Logistik, zurzeit einen Wandel und richten ihren Fokus auf die Nachhaltigkeit und die Energieeffizienz, um auf diese Weise die zukünftige Wettbewerbs- und Konkurrenzfähigkeit zu gewährleisten. Dabei nehmen vor allem nachhaltige Kennzahlen und die energieeffiziente und nachhaltige Gestaltung der Prozesse und der Gebäude einen immer höheren Stellenwert in den Unternehmen ein.

Bei Gebäuden in der Konzipierungsphase können die verschiedenen Möglichkeiten zur Erreichung dieser Ziele direkt in das Konzept miteinbezogen und in der Realisierungsphase umgesetzt werden. Bestehende Gebäude schränken hingegen die Optimierungsansätze durch die vorliegenden Gegebenheiten ein und schließen einige Varianten von vornherein aus. Vor der Umsetzung von energieeinsparenden Maßnahmen sind Kosten- und Nutzenvergleiche zur Bewertung des Optimierungspotenzials der einzelnen Möglichkeiten notwendig. Auf Basis dieser Ergebnisse können wirtschaftliche, technische und unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit rationale Entscheidungen getroffen werden. Unternehmen, die sich nicht mit möglichen Energieeinsparmaßnahmen im Bereich des Transport- und Lagerwesens beschäftigen, schränken sich somit in ihrer zukünftigen Handlungsfreiheit ein, da die steigenden Energiekosten den erzielten Gewinn immer weiter senken.

Aus diesen Gründen gewinnen die Energieeffizienz, das Energiemanagement und die Nachhaltigkeit eines Unternehmens als Wettbewerbsfaktoren zunehmend an Bedeutung.

V. Quellenverzeichnis

- [AF07] Arnold, Dieter; Furmans, Kai: *Materialfluss in Logistiksystemen*. Springer Verlag, Berlin [u.a.], 2007.
- [AIK⁺08] Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst; Furmans, Kai: *Handbuch Logistik*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 3. Auflage, 2008.
- [Aug11] Augustin, Harald: *Im grünen Fluss*. In: *Logistik heute* 06/2011, HUSS-VERLAG GmbH, München, 2011, S.48-49.
- [BB12] Bretzke, Wolf-Rüdiger; Barkawi, Karim: *Nachhaltige Logistik – Antworten auf eine globale Herausforderung*. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2. Auflage, 2012.
- [BCV98] Buchholz, Jonas; Clausen, Uwe; Vastag, Alex (Hrsg.): *Handbuch der Verkehrslogistik*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1998.
- [Bor08] Borgeest, Kai: *Elektronik in der Fahrzeugtechnik*. Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2008.
- [Bun13] Bundesvereinigung Logistik (Hrsg.): *Logistik – Bedeutung für Deutschland*. URL: <http://www.tag-der-logistik.de/logistik-ist-mehr/bedeutung-fuer-deutschland> - Abrufdatum: 19.08.2013.
- [Bun14] *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit*, URL <http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/energieeffizienz/kurzinfo/>, Abrufdatum: 08.03.2014
- [Car00] von Carlowitz, Hans Carl: *Sylvicultura oeconomica – Anweisung zur wilden Baumzucht. Reprint der Ausgabe*. Leipzig, Freiberg, 1713.
- [Chr08] Christiansen, Marko: *Das ultimative Benzinspar-Buch*. CDM-Verlag, Hamburg, 2008.
- [Dud13] *Duden (Suchbegriffe: „Heuristik“ und „Transport“)*. URL: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Heuristik> und <http://www.duden.de/rechtschreibung/Transport>, Abrufdatum: 07.08.2013.
- [Fit08] Fitzner, Klaus: *Raumklimatechnik – Band 2: Raumluft- und Raumkühltechnik*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2008.
- [Fit13] Fitzner, Klaus: *Raumklimatechnik – Band 4: Physik des Gebäudes*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2013.

- [FSB12] Furmans, Kai; Schönung, Frank; Braun, Meike: *Energieeffizienz beim Lager- und Kommissioniervorgang*. In: ProductivITy Management 04/2012, Gito mbH Verlag, Berlin, 2012, S. 29-32.
- [GF08] Gleißner, H., Femerling, J.: *Logistik – Grundlagen – Übungen – Fallbeispiele*. Gabler, Wiesbaden, 2008.
- [GK07] Großmann, Gerhard; Kaßmann, Monika: *Transportsichere Verpackung und Ladungssicherung*. expert Verlag, Renningen, 2007.
- [GTG09] Günthner, W.A.; Tenerowicz, P.; Galka, S.: *Roadmap für eine nachhaltige Intralogistik*. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der TU München, München, 2009.
- [Gud10] Gudehus, Timm: *Logistik – Grundlagen, Strategien, Anwendungen*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 4. Aktualisierte Auflage, 2010.
- [GW11] Gregori, Gerald; Wimmer, Thomas: *Grünbuch der nachhaltigen Logistik – Handbuch für die ressourcenschonende Gestaltung logistischer Prozesse*. Bundesvereinigung Logistik (BVL) Österreich, Wien und Bremen, 2011.
- [GZ08] Gerrig, Richard J.; Zimbardo, Philip G.: *Psychologie*. Addison-Wesley Verlag, München, 13. Auflage, 2008.
- [Heg02] Hegner, Hans-Dieter: *Energieeinsparverordnung EnEV – für die Praxis kommentiert*. Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2002.
- [HH11] ten Hompel, Michael (Hrsg.); Heidenblut, Volker: *Taschenlexikon Logistik – Abkürzungen, Definitionen und Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 3. Auflage, 2011.
- [Hol05] Holderied, Cornelius: *Güterverkehr, Spedition und Logistik - Managementkonzepte für Güterverkehrsbetriebe, Speditionsunternehmen und logistische Dienstleister*. Oldenbourg, München, 2005.
- [HS10] ten Hompel, Michael; Schmidt, Torsten: *Warehouse Management – Organisation und Steuerung von Lager- und Kommissioniersystemen*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2010.
- [HSB11] ten Hompel, Michael; Sadowsky, Volker; Beck, Mario: *Kommissionierung – Materialflusssysteme 2 - Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2011.

- [HSN*07] ten Hompel, Michael; Schmidt, Torsten; Nagel, Lars; Jünemann, Reinhardt: *Materialflusssysteme – Förder- und Lagertechnik*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 3. Auflage, 2007.
- [Hut12] Hutter, Carolyn: *Nachhaltigkeitsstrategieentwicklung - das Spannungsfeld von Unternehmen und Stakeholdern in der automobilen Unternehmenspraxis*. Springer Verlag, Wiesbaden, 2012.
- [Im114] *Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik*, URL: http://www.iml.fraunhofer.de/de/themengebiete/umwelt_ressourcenlogistik/umwelt_ressourcen/Green_Logistics.html, Abrufdatum: 08.03.2014
- [Ins12] Institut der deutschen Wirtschaft Köln: *Auf dem Weg zu mehr Nachhaltigkeit – Erfolge und Herausforderungen 25 Jahre nach dem Brundtland-Bericht*. Köln, 2012.
- [Jör11] Jörgl, Thilo: *Lager in neuem Licht*. In: *Logistik heute* 12/2011, HUSS-VERLAG GmbH, München, 2011, S.42-43.
- [Jün02] Jünemann, Reinhardt: *Materialfluss und Logistik – Systemtechnische Grundlagen mit Praxisbeispielen*. Springer Verlag, Berlin, 2. Auflage, 2002.
- [KA10] Krause, Hans-Ulrich; Arora, Dayanand: *Controlling Kennzahlen – Key Performance Indicators – zweisprachiges Handbuch Deutsch/Englisch – Bilingual Compendium German/English*. Oldenbourg, München, 2. Auflage, 2010.
- [Kal10] Kals, J.: *Betriebliches Energiemanagement - Eine Einführung*. Kohlhammer, Stuttgart, 2010
- [Kie12] Kiewitt, Anja: *Weniger Verbrauch, weniger Kosten*. In: *Logistik heute Sonderheft 2012*, HUSS-VERLAG GmbH, München, 2012, S. 32-33.
- [Kne11] Kneer, Stefanie: *Green Warehousing – neue Techniken im Lager versprechen Energieeinsparungen*. In: *GENIOS WirtschaftsWissen* 09/2011, GBI-Genios Deutsche Wirtschaftsdatenbank GmbH, München, 2011.
- [KK08] Klaus, Peter; Krieger, Winfried: *Gabler Lexikon Logistik – Management logistischer Netzwerke und Flüsse*. Gabler, Wiesbaden, 4. Auflage, 2008.
- [Kob11] Koberstein, Sven: *Logistiklager klar zur Energiewende*. In: *DVZ* 06/2011, DVV Media Group GmbH, Hamburg, 2011.
- [Koe12] Koether, Reinhard: *Distributionslogistik*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2012.
- [Kof09] Kofler, Gerald: *Planen, steuern, sparen*. In: *a3-volt* 05/09, S.28-31, a3 Wirtschaftsverlag GmbH, Mödling, 2009.

- [Koh08] Kohagen, Jens: *Am Strom sparen nicht am Licht*. Logistik inside 03/2008, S. 36-38, Springer Transport Media GmbH, München, 2008.
- [Kri13] Krieger, Winfried: *Gabler Wirtschaftslexikon (Suchbegriff: „Transport“)*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/83378/transport-v6.html>, Abrufdatum: 07.08.2013.
- [Lak14] *Länderarbeitskreis Energiebilanzen*, URL: <http://www.lak-energiebilanzen.de/seiten/energiebilanzenMethodik.cfm>, Abrufdatum: 08.03.2014
- [Lan12] Langenbach, Maik; ten Hompel, Michael (Hrsg.): *Beitrag zur Systemfindung von Shuttle-Lagersystemen mit horizontaler Bedienebene*. Dissertation, Technische Universität Dortmund, Fakultät Maschinenbau, 2012.
- [LJ10] Lasch, Rainer; Janker, Christian G.: *Übungsbuch Logistik – Aufgaben und Lösungen zur quantitativen Planung in Beschaffung, Produktion und Distribution*. Gabler Verlag | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2010.
- [Mar11] Martin, Heinrich: *Transport- und Lagerlogistik – Planung, Aufbau und Steuerung von Transport- und Lagersystemen*. Vieweg und Teubner, 8. Auflage, 2011.
- [Möl08] Möller, Christian: *Kostenreduzierung in der Logistik*. GRIN Verlag, Norderstedt, 2008.
- [Nag11] Nagel, Arnfried: *Logistik im Kontext der Nachhaltigkeit - ökologische Nachhaltigkeit als Zielgröße bei der Gestaltung logistischer Netzwerke*. Dissertation, Technische Universität Berlin, 2011.
- [Ngo13] NGO Committee on Education (Hrsg.). *Our Common Future*. URL <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> - Abrufdatum: 02.06.2013.
- [PPZ07] Pech, Anton; Pommer, Georg; Zeininger, Johannes: *Türen und Tore*. Springer Verlag, Wien, 2007.
- [Reg13] Regiolux: *Gutes Licht lohnt sich*. In: Der Betriebsleiter 05/2013, Vereinigte Fachverlage GmbH, Mainz, 2013.
- [Rei11] Reichmann, Thomas: *Controlling mit Kennzahlen – die systemgestützte Controlling-Konzeption mit Analyse- und Reportinginstrumenten*. Vahlen, München, 8. Auflage, 2011.
- [SBL10] Schlick, Christopher; Bruder, Ralph; Luczak, Holger: *Arbeitswissenschaft*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2010.

- [Sch09] Schönknecht, Axel: *Maritime Containerlogistik*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2009.
- [Seb13] Sebastian, Hans-Jürgen: *Optimierung von Distributionsnetzwerken*. EAG.LE, Leipzig, 2013.
- [SH08] Schmidt, Manfred; Hertel, Günter: *Praxis energieeffizienter Gebäude – Leitfaden für sachverständige Beurteilung*. HUSS-MEDIEN GmbH, Berlin, 2008.
- [Sil10] Siller, Urban: *Optimierung globaler Distributionsnetzwerke – Grundlagen, Methodik, praktische Anwendung*. Dissertation, Technische Universität Dortmund, Gabler, 2010.
- [Spa05] Spangenberg, Joachim H.: *Die ökonomische Nachhaltigkeit der Wirtschaft – Theorien, Kriterien, Indikatoren*. Edition Sigma, Berlin, 2005.
- [Sta13a] Statistisches Bundesamt (Hrsg.) : *Verkehrsleistung – Güterbeförderung*. URL <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Gueterverkehr/Tabellen/Gueterbefoerderung.html> - Abrufdatum: 06.08.2013
- [Sta13b] Statistisches Bundesamt (Hrsg.): *Preise – Daten zur Energiepreisentwicklung – Lange Reihe von Januar 2000 bis Januar 2013*. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2013
- [Vdi07] *VDI-Richtlinie VDI 4602*, Beuth Verlag, Berlin 2007, S. 3
- [Wan10] Wannenwetsch, Helmut: *Integrierte Materialwirtschaft und Logistik*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2010.
- [Wen10] Wenger, Wolf: *Multikriterielle Tourenplanung*. Gabler, Wiesbaden, 2010.
- [Wik14] *Wikipedia (Suchbegriff: „Energiemanagement“)*.
URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Energiemanagement>, Abrufdatum: 14.02.2013.
- [Wup14] *Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH*, URL http://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/energieeffizienz_definition.pdf
Abrufdatum: 10.03.2014
- [WS08] Weber, Jürgen; Schäffer, Utz: *Einführung in das Controlling*. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 12. Auflage, 2008.

VI. Eidesstattliche Versicherung

Name, Vorname

Matr.-Nr.

Name, Vorname

Matr.-Nr.

Wir versichern hiermit an Eides statt, dass wir die vorliegende Projektarbeit mit dem Titel

**„Einflussfaktoren und Ansätze zur Optimierung des Energieverbrauchs in der
Distributionslogistik im Kontext der Nachhaltigkeit“**

selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erbracht haben. Wir haben keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Ort, Datum

Gerriet Janßen

Lars Birkholz

Belehrung:

Wer vorsätzlich gegen eine die Täuschung über Prüfungsleistungen betreffende Regelung einer Hochschulprüfungsordnung verstößt, handelt ordnungswidrig. Die Ordnungswidrigkeit kann mit einer Geldbuße von bis zu 50.000,00 € geahndet werden. Zuständige Verwaltungsbehörde für die Verfolgung und Ahndung von Ordnungswidrigkeiten ist der Kanzler/die Kanzlerin der Technischen Universität Dortmund. Im Falle eines mehrfachen oder sonstigen schwerwiegenden Täuschungsversuches kann der Prüfling zudem exmatrikuliert werden. (§ 63 Abs. 5 Hochschulgesetz - HG -) Die Abgabe einer falschen Versicherung an Eides statt wird mit Freiheitsstrafe bis zu 3 Jahren oder mit Geldstrafe bestraft. Die Technische Universität Dortmund wird ggfls. elektronische Vergleichswerkzeuge (wie z.B. die Software „turnitin“) zur Überprüfung von Ordnungswidrigkeiten in Prüfungsverfahren nutzen.

Die oben stehende Belehrung habe ich zur Kenntnis genommen:

Ort, Datum

Gerriet Janßen

Lars Birkholz