

Antje Rosenthal

Ganzheitliche Bewertung modularer Ladungsträgerkonzepte

Eine Lebenszyklusbetrachtung

AutoUni – Schriftenreihe

Band 93

Herausgegeben von / Edited by
Volkswagen Aktiengesellschaft
AutoUni

Die Volkswagen AutoUni bietet den Promovierenden des Volkswagen Konzerns die Möglichkeit, ihre Dissertationen im Rahmen der „AutoUni Schriftenreihe“ kostenfrei zu veröffentlichen. Die AutoUni ist eine international tätige wissenschaftliche Einrichtung des Konzerns, die durch Forschung und Lehre aktuelles mobilitätsbezogenes Wissen auf Hochschulniveau erzeugt und vermittelt.

Die neun Institute der AutoUni decken das Fachwissen der unterschiedlichen Geschäftsbereiche ab, welches für den Erfolg des Volkswagen Konzerns unabdingbar ist. Im Fokus steht dabei die Schaffung und Verankerung von neuem Wissen und die Förderung des Wissensaustausches.

Zusätzlich zu der fachlichen Weiterbildung und Vertiefung von Kompetenzen der Konzernangehörigen, fördert und unterstützt die AutoUni als Partner die Doktorandinnen und Doktoranden von Volkswagen auf ihrem Weg zu einer erfolgreichen Promotion durch vielfältige Angebote – die Veröffentlichung der Dissertationen ist eines davon. Über die Veröffentlichung in der AutoUni Schriftenreihe werden die Resultate nicht nur für alle Konzernangehörigen, sondern auch für die Öffentlichkeit zugänglich.

The Volkswagen AutoUni offers PhD students of the Volkswagen Group the opportunity to publish their doctor's theses within the "AutoUni Schriftenreihe" free of cost. The AutoUni is an international scientific educational institution of the Volkswagen Group Academy, which produces and disseminates current mobility-related knowledge through its research and tailor-made further education courses. The AutoUni's nine institutes cover the expertise of the different business units, which is indispensable for the success of the Volkswagen Group. The focus lies on the creation, anchorage and transfer of new knowledge.

In addition to the professional expert training and the development of specialized skills and knowledge of the Volkswagen Group members, the AutoUni supports and accompanies the PhD students on their way to successful graduation through a variety of offerings. The publication of the doctor's theses is one of such offers.

The publication within the AutoUni Schriftenreihe makes the results accessible to all Volkswagen Group members as well as to the public.

Herausgegeben von / Edited by

Volkswagen Aktiengesellschaft

AutoUni

Brieffach 1231

D-38436 Wolfsburg

<http://www.autouni.de>

Antje Rosenthal

Ganzheitliche Bewertung modularer Ladungsträgerkonzepte

Eine Lebenszyklusbetrachtung

 Springer

Antje Rosenthal
Wolfsburg, Deutschland

Zugl.: Dissertation, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, unter dem Originaltitel „Lebenszyklusbetrachtung zur Einsatzbewertung modularer Ladungsträgerkonzepte“, 2016

Die Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse der im Rahmen der AutoUni Schriftenreihe veröffentlichten Doktorarbeiten sind allein die der Doktorandinnen und Doktoranden.

OnlinePlus Material zu diesem Buch finden Sie auf
<http://www.springer.com/978-3-658-15676-3>

AutoUni – Schriftenreihe
ISBN 978-3-658-15675-6 ISBN 978-3-658-15676-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-658-15676-3

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist Teil von Springer Nature
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Strasse 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist im Zeitraum von April 2010 bis Januar 2013 im Rahmen meiner Tätigkeit als Doktorandin im Behältermanagement der Volkswagen AG in Wolfsburg entstanden. Nachdem sich Überarbeitung und Fertigstellung der Dissertation aufgrund unvermeidbarer Ablenkung im Zuge von Haussanierung, Schwangerschaft und Elternzeit weitere 2 Jahre hingezogen haben, wurde das Promotionsverfahren schließlich im September 2015 von der Fakultät für Maschinenbau der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg eröffnet.

All jenen, die mich in dieser herausfordernden Zeit auf meinem Weg begleitet und mir Rückhalt und Unterstützung geboten haben, möchte ich an dieser Stelle von ganzem Herzen danken.

Mein besonderer Dank gilt zunächst meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Michael Schenk, der sich sofort bereit erklärt hat, nach meiner Diplomarbeit auch mein Dissertationsvorhaben zu betreuen. Durch den regelmäßigen Austausch zum Fortschritt meiner Arbeit sowie die konstruktiven Anmerkungen und Hinweise hat er nicht zuletzt entscheidend zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen.

Ebenfalls herzlich bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Egon Müller für die Übernahme und rasche Erstellung des Zweitgutachtens sowie bei Herrn Prof. Dr. Karl-Heinrich Grote für den Vorsitz in der Promotionskommission.

Auch auf Unternehmensseite konnte ich stets auf die Unterstützung und den Rückhalt meiner Betreuer Lars Bäumann und Michael Stein sowie die Hilfe meiner Kollegen und Kolleginnen zählen. In zahlreichen Gesprächen und Diskussionen haben sie mich an ihrem Fachwissen und ihrer Erfahrung teilhaben lassen und meine Ansätze und Ideen kritisch hinterfragt. Aus Kollegen sind in dieser Zeit Freunde geworden – so möchte ich vor allem Stephanie Stolze danken, die mich mit ausgesprochener Beharrlichkeit regelmäßig an die ausstehende Fertigstellung meiner Dissertation erinnert hat.

Meinen Geschwistern Andreas und Alexander sowie dem ganzen großen Rest unserer Familie danke ich für die anhaltende Motivation und Zuversicht, die mir sehr bei der Bewältigung dieser „Mammutaufgabe“ geholfen haben.

Neben Freunden, Kollegen und der Familie gilt mein besonderer Dank meinem Mann Christoph. Seit nunmehr 13 Jahren ist er immer an meiner Seite, unterstützt und erträgt mich und baut mich auf, wenn ich an mir zweifle.

Meinen Eltern Heinz und Marlis Rosenthal danke ich von ganzen Herzen, dass sie mich bedingungs- und vorbehaltlos zu jeder Zeit während meines schulischen und beruflichen Werdegangs unterstützt und gefördert haben. Vor allem meiner Mutter danke ich für die Zeit, in der sie sich so liebevoll um unseren Sohn Phillip gekümmert hat, damit ich nach all den Verzögerungen endlich meine Dissertation fertigstellen konnte.

Antje Rosenthal

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XIII
Abkürzungsverzeichnis	XV
Formelzeichenverzeichnis	XVII
1 Einleitung	1
1.1 Auswirkungen steigender Komplexität auf die Ladungsträgerlogistik	2
1.2 Forschungsbedarf und Zielsetzung	5
1.2.1 Forschungsansatz	5
1.2.2 Forschungsbedarf und Zielsetzung der Arbeit	5
1.3 Aufbau der Arbeit und Vorgehensweise	7
1.3.1 Aufbau der Arbeit	7
1.3.2 Abgrenzung des Untersuchungsbereiches	8
2 Systematisierung der Ladungsträgerarten	11
2.1 Grundlegende Begriffe der Ladungsträgerlogistik	11
2.1.1 Begriffe des Verpackungswesens	11
2.1.2 Der Prozess der Ladeeinheitenbildung	12
2.1.3 Einordnung der Ladungsträgerlogistik in die Struktur der Unternehmenslogistik	13
2.1.4 Aufgaben und Ziele der Ladungsträgerlogistik	14
2.2 Merkmale zur Ladungsträgersystematisierung	16
2.2.1 Ladungsträgergröße	16
2.2.2 Universalität des Einsatzes	17
2.2.3 Gestaltung des Ladungsträgers	19
2.2.4 Unterfährbarkeit von Ladungsträgern	20
2.2.5 Material	20
2.2.6 Grad der Standardisierung	21
2.2.7 Poolfähigkeit	21
2.2.8 Handling	21
2.2.9 Deckel	22
2.2.10 Möglichkeit der Volumenreduktion	22
2.2.11 Formstabilität	25
2.2.12 Geometrische Form	25
2.2.13 Wiederverwendbarkeit	25
2.2.14 Zu transportierendes Gut	26
2.3 Grundlagen der Systematisierung	26
2.3.1 Die Clusteranalyse	27
2.3.2 Die hierarchische Klassenbildung	27
2.3.3 Der morphologische Kasten	27
2.3.4 Methodenauswahl	28
2.4 Ladungsträgersystematisierung im morphologischen Kasten	28
2.5 Zusammenfassung	29
3 Entwicklung modularer Ladungsträgerkonzepte	31
3.1 Grundlagen der Modularisierung	31

3.1.1 Begriffsbestimmung „Modularität“	31
3.1.2 Arten der Modularisierung	32
3.1.3 Potentiale und Grenzen der Modularisierung	34
3.2 Konzeptentwicklung	37
3.2.1 Modulare Koordination der Ladungsträgergröße	37
3.2.2 Größenvariation	38
3.2.3 Universalität des Einsatzes	41
3.2.4 Ladungsträger-Gestaltung	45
3.2.5 Material	45
3.2.6 Volumenreduktion	46
3.2.7 Nicht berücksichtigte Ladungsträgereigenschaften	47
3.2.8 Zuordnung zu den Arten der Modularisierung	48
3.3 Baukastensystem für modulare Ladungsträger	49
3.3.1 Definition Baukastensystem	49
3.3.2 Organisatorische Änderungen durch den Einsatz modularer Ladungsträger	52
4 Prozessanalyse des Ladungsträgerlebenszyklus	55
4.1 Kernelemente der Prozessanalyse	55
4.2 Grundlegende Betrachtungen zum Produktlebenszyklus	57
4.3 Prozessanalyse des Ladungsträgerlebenszyklus	59
4.3.1 Der Entstehungszyklus	60
4.3.2 Der Nutzungszyklus	64
4.3.3 Der Entsorgungszyklus	70
5 Entwicklung des Bewertungsmodells	73
5.1 Grundlagen der Modellierung	73
5.2 Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsbewertung	74
5.3 Entwicklung des Modells zur Konzeptbewertung	77
5.3.1 Kosten und Erlöse in der Entstehungsphase	78
5.3.2 Kosten und Erlöse in der Nutzungsphase	90
5.3.3 Kosten und Erlöse in der Entsorgungsphase	104
5.3.4 Verschiedene Kennzahlen	105
5.4 Modellvalidierung und -verifizierung	107
6 Anwendung des Modells zur Konzeptbewertung	111
6.1 Umsetzung des Modells in Microsoft Excel	111
6.1.1 Berechnung der Lebenszykluskosten für modulare Ladungsträger	112
6.1.2 Berechnung der Lebenszykluskosten für Spezialladungsträger	114
6.1.3 Berechnung der Lebenszykluskosten für Einwegverpackungen	114
6.2 Durchführung von Beispielrechnungen	117
6.2.1 Ermittlung der Lebenszykluskosten	118
6.2.2 Bewertung der Vorteilhaftigkeit gegenüber Einwegverpackung	118
6.2.3 Bewertung der Vorteilhaftigkeit gegenüber herkömmlichem Spezialladungsträger	119
6.2.4 Ermittlung der Potentiale bei Wiederverwendung	120
6.2.5 Bewertung von Konzeptalternativen	122
6.3 Erkenntnisse aus der Modellanwendung	123
7 Zusammenfassung und Ausblick	125
A Anlagen	129
A.1 Potentiale und Grenzen der Modularisierung	129
A.2 Prozessdarstellung des Entstehungszyklus	130
A.3 Prozessdarstellung des Nutzungszyklus	132

A.4 Exkurs Umlaufageermittlung	133
A.5 Preiskategorien für Reparaturkostensätze	135
A.6 Ergebnisblatt für die Berechnung der Lebenszykluskosten	136
A.7 Ergebnisblatt für die Berechnung der Kartonagekosten	137
A.8 Berechnung der Lebenszykluskosten für Spezialladungsträger	138
B Literaturverzeichnis	139
C Interviews	147

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Dissertation	8
Abbildung 2: Ladungsträgerlogistik im Produktionsunternehmen	14
Abbildung 3: Größenverhältnisse von Kleinst-, Klein- und Großladungsträgern	17
Abbildung 4: Verschiedene Ausprägungen von Universalladungsträgern	18
Abbildung 5: Verschiedene Ausprägungen von Spezialladungsträgern	18
Abbildung 6: Beispiel für einen speziellen Universalladungsträger	19
Abbildung 7: Beispiel für einen universellen Spezialladungsträger	19
Abbildung 8: Beispiele für tragende, umschließende und abschließende Ladungsträger	20
Abbildung 9: Beispiel für Volumenreduktion bei einem faltbaren Ladungsträger	23
Abbildung 10: Beispiel für Volumenreduktion bei einem halbfaltbaren Ladungsträger	23
Abbildung 11: Beispiel für Volumenreduktion bei einem klappbaren Ladungsträger	24
Abbildung 12: Beispiel für Volumenreduktion bei einem nestbaren Ladungsträger	24
Abbildung 13: Systematisierung der Ladungsträgerarten im morphologischen Kasten	29
Abbildung 14: Modularisierungsarten nach der Produktstruktur	33
Abbildung 15: Beispiel für unterschiedliche Höhen bei Stahl-Rungengestellen	39
Abbildung 16: Größenvariation von Leicht-GLT durch verschiedene Ringhöhen	40
Abbildung 17: Beispiel für Größenvariation bei EPP-Behältern	41
Abbildung 18: Beispiel für einen speziellen Universalladungsträger mit eingelegter Tiefziehfolie	42
Abbildung 19: Beispiel für einen speziellen Universalladungsträger mit Textil-Gefache	42
Abbildung 20: Modularer Frontscheibenladungsträger (Volkswagen AG)	44
Abbildung 21: Modularer Frontscheibenladungsträger - Details	44
Abbildung 22: Prinzipdarstellung des Übergangs von tragender zu abschließender Funktion	45
Abbildung 23: Einsatz verschiedener Materialien für Bauteilaufnahmen	46
Abbildung 24: Stahl-Rungengestell mit starren und klappbaren Rungen	47
Abbildung 25: Prinzipdarstellung Slot & Bus Modularity bei einem Ladungsträger	49
Abbildung 26: Grundmodule eines Ladungsträgers am Beispiel eines Stahlbehälters	51
Abbildung 27: Grundmodule eines Ladungsträgers am Beispiel eines Rungengestells	51
Abbildung 28: Grundmodule eines Ladungsträgers am Beispiel eines Spezialgestells	51
Abbildung 29: Integrierter Produktlebenszyklus	59
Abbildung 30: Erste Ebene des Ladungsträgerlebenszyklus	60
Abbildung 31: Entstehungszyklus des Ladungsträgerlebenszyklus	61
Abbildung 32: Vereinfachter Nutzungszyklus eines Ladungsträgers	65
Abbildung 33: Vorgehensweise bei der Modellierung	74
Abbildung 34: Verlauf der Reparaturkosten über eine Nutzungsdauer von 7 Jahren	99

Abbildung 35: Startmenü des Berechnungstools	111
Abbildung 36: Dialogfeld zur Abfrage der Grundeinstellungen (MLT).....	112
Abbildung 37: Dialogfeld zur Eingabe der Grunddaten (MLT).....	113
Abbildung 38: Dialogfeld zur Überprüfung und Änderung der hinterlegten Daten	113
Abbildung 39: Dialogfeld zur Ermittlung der Transportkosten	115
Abbildung 40: Dialogfeld zur Dateneingabe für die Berechnung der Kartonagekosten.....	116
Abbildung 41: Dialogfeld zur Überprüfung und Änderung der hinterlegten Daten (Kartonage)	116
Abbildung 42: Dialogfeld zur Ermittlung der Kartonage-Transportkosten	117
Abbildung 43: Ladungsträger BSP001 für Beispielrechnung	117
Abbildung 44: Lebenszykluskosten für modularen Ladungsträger BSP001.....	118
Abbildung 45: Gesamtkosten für alternative Einwegverpackung für BSP001	119
Abbildung 46: Vergleich der Lebenszykluskosten für Spezial- und modularen Ladungsträger BSP001	120
Abbildung 47: Übersicht der Lebenszykluskosten für BSP001 nach Prozessvarianten.....	121
Abbildung 48: Auswertung Lebenszykluskosten Ladungsträger BSP001 (Teileanzahl).....	123
Abbildung 49: Prozessdarstellung des Entstehungszyklus.....	131
Abbildung 50: Prozessdarstellung des Nutzungszyklus.....	132
Abbildung 51: Einflussfaktoren auf die Umlauftageermittlung	133
Abbildung 52: Abschätzung der Umlauftage	134
Abbildung 53: Dialogfeld zur Abfrage der Grundeinstellungen (SLT)	138
Abbildung 54: Dialogfeld zur Eingabe der Grunddaten (SLT).....	138

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Morphologie der Modellarten	73
Tabelle 2: Kosten- und Erlösstruktur über den Ladungsträgerlebenszyklus	78
Tabelle 3: Arbeitsaufwand für Musterabnahmen und Stichprobenprüfung	86
Tabelle 4: Reparaturbedürftiger Anteil der Ladungsträger nach der Materialart	98
Tabelle 5: Verlustraten durch Beschädigung und Schwund.....	100
Tabelle 6: Kriterien der Validierung und Verifizierung.....	108
Tabelle 7: Potentiale und Grenzen der Modularisierung.....	129
Tabelle 8: Übersicht Preiskategorien und Reparaturkostensätze	135

Abkürzungsverzeichnis

BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
CAD	Computer Aided Design
CKD	Completely Knocked Down
DIN	Deutsches Institut für Normung
EOP	End of Production
EPP	Expandiertes Polypropylen
GLT	Großladungsträger
ISO	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunication Union
KLT	Kleinladungsträger
LKW	Lastkraftwagen
MKD	Medium Knocked Down
MTV	Mehrwegtransportverpackung
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
SKD	Semi Knocked Down
SLT	Spezialladungsträger
SOP	Start of Production
SULT	Spezieller Universalladungsträger
ULT	Universalladungsträger
UNIMAG	Universelles Motor-Adapter-Gestell
USLT	Universeller Spezialladungsträger
Vs.	Versus

Formelzeichenverzeichnis

$A_{AM}(m)$	Arbeitsaufwand Abnahme Entwicklungsmuster [h]
$A_{ASM}(m)$	Arbeitsaufwand Abnahme Serienmuster [h]
A_i	Arbeitsaufwand in Arbeitsschritt i [h]
A_j	Arbeitsaufwand in Arbeitsschritt j [h]
$A_{SPA}(m)$	Arbeitsaufwand Stichprobenprüfung Automatikbehälter [h]
$A_{SPS}(m)$	Arbeitsaufwand Stichprobenprüfung Standard [h]
$b(m)$	Verlustrate durch Beschädigung [%]
B_{BL}	Breite des Ladungsträgers (Leergut) [mm]
B_{BV}	Breite des Ladungsträgers (Vollgut) [mm]
B_{GL}	Breite des Gebindes (Leergut) [mm]
B_{GV}	Breite des Gebindes (Vollgut) [mm]
B_P	Breite der Palette [mm]
EBR	Einbaurrate [%]
EP	Einstandspreis [EUR]
E_E	Erlöse aus der Entsorgung [EUR]
E_{ENP}	Erlöse der Nutzungsphase [EUR]
E_{ER}	Erlöse aus Entsorgung nur reparaturfähiger Ladungsträger [EUR]
E_{Ges}	Gesamterlös [EUR]
E_{NP}	Erlöse der Nutzungsphase [EUR]
E_V	Erlös aus Ladungsträgervermietung [EUR/Jahr]
ET_B	Eintauchtiefe des Ladungsträgers [mm]
ET_D	Eintauchtiefe des Deckels [mm]
ET_P	Eintauchtiefe der Palette [mm]
G_{Ges}	Gesamterfolg [EUR]
GK_{ZA}	Gemeinkostenzuschlag absolut [EUR/Jahr]
GK_{ZP}	Gemeinkostenzuschlag prozentual [%]
H_{BL}	Höhe des Ladungsträgers (Leergut) [mm]
H_{BV}	Höhe des Ladungsträgers (Vollgut) [mm]
H_D	Höhe des Deckels [mm]
H_{GL}	Höhe des Gebindes (Leergut) [mm]
H_{GV}	Höhe des Gebindes (Vollgut) [mm]
H_P	Höhe der Palette [mm]
i	Arbeitsschritt ($i = 1, \dots, n$)
I	Ladungsträgerinhalt [Teile/Ladungsträger]
j	Arbeitsschritt ($j = 1, \dots, m$)
$k_E(m)$	Verrechnungspreis Entsorgung [EUR/kg]

k_P	Stundensatz Personalkosten [EUR/h]
$k_R(P)$	Kosten je Reparaturfall in Abhängigkeit von der Preiskategorie P [EUR/Reparatur]
k_{SA}	Stückkosten Serienaufnahmen [EUR/Ladungsträger]
$k_{S\bar{A}}$	Stückkosten Änderung Serienladungsträger [EUR/Ladungsträger]
k_{SB}	Stückkosten Serien-Außenbehälter [EUR/Ladungsträger]
k_{SZ}	Stückkosten Zusammenbau Außenbehälter und Aufnahmen [EUR/Ladungsträger]
k_V	Stückkosten Vorserienladungsträger [EUR/Ladungsträger]
K_{AM}	Kosten für Abnahme Entwicklungsmuster [EUR]
K_{ASM}	Kosten für Abnahme Serienmuster [EUR]
K_{BV}	Kosten für Brandversuch [EUR]
K_{EP}	Kosten der Entstehungsphase (Vorlaufkosten) [EUR]
K_{Ges}	Gesamtkosten [EUR]
K_{HM}	Herstellkosten Musterladungsträger [EUR]
K_{HMA}	Herstellkosten Muster Aufnahmen [EUR]
K_{HMB}	Herstellkosten Muster Außenbehälter [EUR]
K_{HS}	Herstellkosten Serienladungsträger [EUR]
K_{HSA}	Herstellkosten Serienaufnahmen [EUR]
$K_{HS\bar{A}}$	Herstellkosten technische Ladungsträgeränderung [EUR]
K_{HSB}	Herstellkosten Serien-Außenbehälter [EUR]
$K_{HSM\bar{A}}$	Herstellkosten Serienmuster Aufnahmen [EUR]
$K_{HSM\bar{B}}$	Herstellkosten Serienmuster Außenbehälter [EUR]
K_{HSN}	Herstellkosten Nachbeschaffung Serienladungsträger [EUR]
K_{HV}	Herstellkosten Vorserienladungsträger [EUR]
K_{HWA}	Herstellkosten Werkzeug Aufnahmen [EUR]
$K_{H\bar{W}B}$	Herstellkosten Werkzeug Außenbehälter [EUR]
K_{NP}	Kosten der Nutzungsphase (Betriebskosten) [EUR]
K_{PE}	Personalkosten der Produktentwicklung [EUR]
K_{PS}	Personalkosten in der Serienbetreuung [EUR]
K_R	Reparaturkosten [EUR]
K_{SP}	Kosten für Stichprobenprüfung [EUR] mit $K_{SP} = \{K_{SPA}; K_{SPS}\}$
K_{SPA}	Kosten für Stichprobenprüfung Automatikbehälter [EUR]
K_{SPS}	Kosten für Stichprobenprüfung Standard [EUR]
K_{SW}	Kosten für Wiederbeschaffung entsorgter und verschwundener Ladungsträger [EUR]
K_{TA}	Transportkosten für Auslieferung der Ladungsträger [EUR]
K_{TJ}	Transportkosten pro Jahr [EUR/Jahr]
K_{TL}	Transportkosten Leerguttransport [EUR/Umlauf]

K_{TU}	Transportkosten pro Umlauf [EUR/Umlauf]
K_{TV}	Transportkosten Vollguttransport [EUR/Umlauf]
L_{BL}	Länge des Ladungsträgers (Leergut) [mm]
L_{BV}	Länge des Ladungsträgers (Vollgut) [mm]
L_{GL}	Länge des Gebindes (Leergut) [mm]
L_{GV}	Länge des Gebindes (Vollgut) [mm]
L_P	Länge der Palette [mm]
m	Materialart
M	Tagesmietsatz [EUR/Tag]
M_B	Tara-Gewicht des Ladungsträgers [kg]
M_{BT}	Bauteilegewicht [kg/Teil]
M_D	Tara-Gewicht des Deckels [kg]
M_{GL}	Gewicht eines Gebindes (Leergut) [kg/Gebinde]
M_{GV}	Gewicht eines Gebindes (Vollgut) [kg/Gebinde]
M_i	Gewicht der Bauteile in einem Ladungsträger [kg]
M_P	Tara-Gewicht der Palette [kg]
M_{TA}	Transportgewicht Auslieferung [kg]
M_{TL}	Transportgewicht Leerguttransport [kg]
M_{TV}	Transportgewicht Vollguttransport [kg]
N_{AT}	Anzahl der Arbeitstage pro Jahr [Tage/Jahr]
N_B	Tagesbedarf Bauteile [Teile/Tag]
N_{BF}	Anzahl Bauteile pro Fahrzeug [Teile/Fahrzeug]
N_{BGL}	Anzahl der teileführenden Ladungsträger pro Gebinde (Leergut) [Ladungsträger/Gebinde]
N_{BGV}	Anzahl der teileführenden Ladungsträger pro Gebinde (Vollgut) [Ladungsträger/Gebinde]
N_{BL}	Anzahl der Ladungsträger im Leerguttransport [Ladungsträger]
N_{BV}	Anzahl der Ladungsträger im Vollguttransport [Ladungsträger]
N_{COP}	Stückzahl wiederzuverwendender Ladungsträger [Ladungsträger]
N_F	Tagesproduktion Fahrzeuge [Fahrzeuge/Tag]
N_{GA}	Anzahl der Gebinde Auslieferung [Gebinde]
N_{GL}	Anzahl der Gebinde im Leerguttransport [Gebinde]
N_{GV}	Anzahl der Gebinde im Vollguttransport [Gebinde]
N_L	Anzahl der Ladungsträger pro Lage [Ladungsträger/Lage]
N_{LL}	Anzahl der Lagen pro Gebinde (Leergut) [Lagen/Gebinde]
N_{LV}	Anzahl der Lagen pro Gebinde (Vollgut) [Lagen/Gebinde]
N_{MT}	Anzahl mietpflichtiger Tage [Tage/Jahr]
N_{MTU}	Anzahl mietpflichtiger Tage je Umlauf [Tage/Umlauf]
N_R	Anzahl der Reparaturfälle [Reparaturen]

N_S	Stückzahl Serienladungsträger [Ladungsträger]
N_{SN}	Stückzahl Nachbeschaffung Serienladungsträger [Ladungsträger]
N_{SW}	Stückzahl wiederzubeschaffender Ladungsträger [Ladungsträger]
N_U	Anzahl der Umläufe pro Jahr [Umläufe/Jahr]
N_V	Stückzahl Vorserienladungsträger [Ladungsträger]
P	Preiskategorie ($P = 1, \dots, 10$)
t_M	Zeitraum der Ladungsträgervermietung [Jahre]
t_N	Zeitraum der Ladungsträgernutzung [Jahre]
T_L	Transportdauer Leerguttransport [Tage/Umlauf]
T_S	Umlaufdauer beim Lieferanten [Tage/Umlauf]
T_V	Transportdauer Vollguttransport [Tage/Umlauf]
T_W	Umlaufdauer beim Werk [Tage/Umlauf]
UT	Umlaufzeit [Tage]
V_{BL}	Außenvolumen des Ladungsträgers (Leergut) [m^3]
V_{BV}	Außenvolumen des Ladungsträgers (Vollgut) [m^3]
V_{GL}	Volumen eines Gebindes (Leergut) [m^3]
V_{GV}	Volumen eines Gebindes (Vollgut) [m^3]
V_{TA}	Transportvolumen Auslieferung [m^3]
V_{TL}	Transportvolumen Leerguttransport [m^3]
V_{TV}	Transportvolumen Vollguttransport [m^3]
$\bar{\omega}V$	Volumenreduktionsgrad [%]
$\bar{\omega}V_S$	Volumenreduktionsgrad im Stapel [%]
W	Wirtschaftlichkeit
x_{BV}	= 0; Bauteil ist kein Gefahrgut = 1; Bauteil ist Gefahrgut
x_L	= 0; Mietpflicht besteht nicht = 1; Mietpflicht besteht
x_S	= 0; Mietpflicht besteht nicht = 1; Mietpflicht besteht
x_{TA}	= 0; Transportkosten Auslieferung in Stückpreis enthalten = 1; Transportkosten Auslieferung nicht in Stückpreis enthalten
x_V	= 0; Mietpflicht besteht nicht = 1; Mietpflicht besteht
x_W	= 0; Mietpflicht besteht nicht = 1; Mietpflicht besteht
$y(m)$	Anteil der Reparaturfälle in Abhängigkeit der Materialart [%]
$z(m)$	Verlustrate durch Schwund [%]