

**IB 131-2015/047**

**Kalkulation der Massen und Kosten von  
Luftfrachtcontainern**

I. Bartsch, C. Ückert



**Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik  
Braunschweig**

August/2015



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtzgemeinschaft  
Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

IB 131-2015/047

## Kalkulation der Massen und Kosten von Luftfrachtcontainern

Braunschweig, August 2015

Der Bericht umfasst:

75 Seiten

*I. Bartsch*

Institutsleiter:  
Prof. Dr.-Ing. M. Wiedemann

Verfasser:  
Dipl.-Ing Ivonne Bartsch



Leiter der Abteilung:  
Prof. Dr.-Ing C. Hühne



Dipl.-Ing Christian Ückert





# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	I
Abbildungsverzeichnis .....	II
Tabellenverzeichnis .....	IV
1. Bezeichnungen.....	VI
Lateinische Buchstaben .....	VI
Griechische Buchstaben .....	VI
Abkürzungen.....	VII
2. Motivation .....	1
3. Stand der Technik .....	2
4. Flächen.....	3
4.1. Profile .....	5
5. Kalkulation Version 1 .....	7
5.1. Umsetzung der Kalkulation.....	7
5.1.1 Flächen .....	8
5.1.2 Profile.....	11
5.2. Ergebnisse .....	12
5.2.1 Massen .....	13
5.2.2 Kosten.....	14
5.3. Weitere Beispiele Version 1 .....	15
5.3.1 AAX des Herstellers Satco (AAX PC Satco) .....	15
5.3.2 AKE allgemein Version 1 .....	18
5.3.3 AKE des Herstellers DoKaSch (AKE Alu DoKaSch).....	19
5.3.4 AKE des Herstellers Driessen (AKE Alu Driessen) .....	23
5.3.5 AKE des Herstellers Nordisk (AKE Alu Nordisk) .....	26
6. Kalkulation Version 2.....	31
6.1. AAX allgemein Version 2.....	31
6.2. AAX des Herstellers Nordisk (AAX PC Nordisk).....	32
6.3. AKE allgemein Version 2.....	36
6.4. AKE des Herstellers Nordisk (AKE PC Nordisk).....	37
7. Validierung .....	42
7.1. Vergleich der Versionen miteinander.....	42
7.2. Vergleich mit einem echten Luftfrachtcontainer AKE Alusingen.....	49
7.2.1 Vergleich Original mit Kalkulation .....	50
8. Zusammenfassung.....	54
9. Anhang.....	55
10. Literaturverzeichnis.....	67

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Maximalabmessungen eines Luftfrachtcontainers, links AAX [2] und rechts AKE [3], beides nach [9] .....	2
Abbildung 2: Haupt-Bestandteile Luftfrachtcontainer AAX nach [20].....	3
Abbildung 3: Bodenplatte.....	4
Abbildung 4: Seite links .....	4
Abbildung 5: Seite links unten .....	4
Abbildung 6: Seite rechts.....	4
Abbildung 7: Seite vorne klein .....	4
Abbildung 8: Seite hinten klein .....	4
Abbildung 9: Seite hinten.....	4
Abbildung 10: Dach .....	4
Abbildung 11: Seite vorne .....	4
Abbildung 12: Türvariationen AKE links [23], rechts [21].....	5
Abbildung 13: Türvariationen AAX links [10], rechts [20].....	5
Abbildung 14: Profil-Boden.....	6
Abbildung 15: Profil-Boden-Tür .....	6
Abbildung 16: Profil-Dach.....	6
Abbildung 17: Profil-Senkrechte .....	6
Abbildung 18: Profil-Diagonal .....	6
Abbildung 19: Profil-Bogen.....	6
Abbildung 20: Profil-Horizontale .....	6
Abbildung 21: Foto des betrachteten Luftfrachtcontainers Typ AAX von der Firma Nordisk [13] .....	7
Abbildung 22: Angaben der Abmessungen eines AAX-Containers vom Hersteller Nordisk [13] .....	7
Abbildung 23: Allgemeine Bezeichnung der Abmessungen des Luftfrachtcontainers AAX für die Kalkulation.....	8
Abbildung 24: Flächenaufteilung für Berechnung (Seite linke und Seite rechts) .....	9
Abbildung 25: Zusammenfassung der einzelnen Luftfrachtcontainer-Bestandteile ..	13
Abbildung 26: Prozentuale Gewichtsaufteilung (AAX Version 1).....	14
Abbildung 27: Prozentuale Kostenaufteilung (AAX Version 1) .....	15
Abbildung 28: Massenaufteilung (AAX PC Satco Version 1).....	17
Abbildung 29: Kostenaufteilung AAX PC Satco Version 1.....	18
Abbildung 30: Abmessungen des Luftfrachtcontainers in der Excel-Tabelle (AKE allgemein Version 1).....	18
Abbildung 31: AKE Aluminium der Firma DoKaSch [5].....	19
Abbildung 32: Massenaufteilung (AKE Alu DoKaSch Version 1) .....	22
Abbildung 33: Kostenaufteilung (AKE Alu DoKaSch Version 1).....	23
Abbildung 34: Massenaufteilung (AKE Driessen Version 1).....	25
Abbildung 35: Kostenaufteilung (AKE Driessen Version 1) .....	26
Abbildung 36: AKE aus Aluminium der Firma Nordisk [11].....	27

Abbildung 37: Massenaufteilung (AKE Alu Nordisk Version1).....	29
Abbildung 38: Kostenaufteilung (AKE Alu Nordisk Version1) .....	30
Abbildung 39: Allgemeine Bezeichnung (AAX allgemein Version 2) .....	31
Abbildung 40: AAX Nordisk eigenes Foto.....	32
Abbildung 41: Massenaufteilung (AAX PC Nordisk Version 2).....	35
Abbildung 42: Kostenaufteilung (AAX PC Nordisk Version 2) .....	36
Abbildung 43: Allgemeine Bezeichnung (AKE Nordisk Version 2).....	36
Abbildung 44: AKE Nordisk, eigenes Foto.....	37
Abbildung 45: Massenaufteilung (AKE PC Nordisk Version 2).....	41
Abbildung 46: Kostenaufteilung (AKE PC Nordisk Version 2) .....	41
Abbildung 47: Vergleich der Massen Version 1 .....	42
Abbildung 48: Vergleich der Massen Version 2.....	43
Abbildung 49: Vergleich der Kosten Version 1 .....	43
Abbildung 50: Vergleich der Kosten Version 2 .....	44
Abbildung 51: Anteil der einzelnen Komponenten am Gesamtgewicht Version 1 [%] .....	45
Abbildung 52: Anteil der einzelnen Komponenten an den Gesamtkosten Version 1 [%] .....	45
Abbildung 53: Prozentualer Anteil der Komponenten am Gesamtgewicht [%] Version 2 .....	46
Abbildung 54: Luftfrachtcontainer Alusingen; eigenes Foto.....	49
Abbildung 55: Massenaufteilung (AKE Alusingen Echtdaten) .....	50
Abbildung 56: AAX Alu Nordisk Version 1 .....	55
Abbildung 57: Flächengewicht des Bodens .....	56
Abbildung 58: Flächengewichte der Seitenwände .....	57
Abbildung 59: AAX PC Satco Version 1 .....	58
Abbildung 60: AKE Alu DoKaSch Version 1.....	59
Abbildung 61: AKE Alu Driessen Version 1 .....	60
Abbildung 62: AKE Alu Nordisk Version 1 .....	61
Abbildung 63: AAX PC Nordisk Version 2 .....	62
Abbildung 64: AKE PC Nordisk Version 2 .....	63
Abbildung 65: Vergleich aller vorgestellten AAX.....	64
Abbildung 66: Vergleich aller vorgestellten AKE.....	65
Abbildung 67: Alusingen Echtdaten.....	66

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispielhafte Darstellung der verschiedenen Höhen für die beiden Luftfrachtcontainertypen AAX und AKE .....	3
Tabelle 2: Definition der Flächen .....	4
Tabelle 3: Definition Profile .....	6
Tabelle 4: Für die Rechnung verwendete Abmessungen (AAX Alu Nordisk Version 1) [13] .....	8
Tabelle 5: Berechnung der Flächen (AAX Alu Nordisk Version 1) .....	9
Tabelle 6: Flächengewichte und Massen (AAX Alu Nordisk Version 1) .....	10
Tabelle 7: Kosten der Flächen (AAX Alu Nordisk Version 1) .....	11
Tabelle 8: Längenberechnung der Profile (AAX Alu Nordisk Version 1) .....	11
Tabelle 9: Längengewichte und Massen (AAX Alu Nordisk Version 1) .....	12
Tabelle 10: Kosten der Profile (AAX Alu Nordisk Version 1) .....	12
Tabelle 11: Massenaufteilung (AAX Alu Nordisk Version 1) .....	14
Tabelle 12: Kostenaufteilung (AAX Alu Nordisk Version 1) .....	14
Tabelle 13: Für die Kalkulation verwendete Abmessungen (AAX PC Satco Version 1) [20] .....	15
Tabelle 14: Flächengewichte und Massen (AAX PC Satco Version 1) .....	16
Tabelle 15: Längengewichte und Massen (AAX PC Satco Version 1) .....	16
Tabelle 16: Kosten der Flächen (AAX PC Satco Version 1) .....	16
Tabelle 17: Kosten der Profile (AAX Alu Satco Version 1) .....	17
Tabelle 18: Massenaufteilung (AAX PC Satco Version 1) .....	17
Tabelle 19: Kostenaufteilung (AAX PC Satco Version 1) .....	18
Tabelle 20: Berechnung der Flächen (AKE allgemein Version 1) .....	19
Tabelle 21: Längenberechnung der Profile (AKE allgemein Version 1) .....	19
Tabelle 22: Für die Kalkulation verwendete Abmessungen (AKE Alu DoKaSch Version 1) [5]{ .....	20
Tabelle 23: Flächengewichte und Massen (AKE Alu DoKaSch Version 1) [5] .....	20
Tabelle 24: Abgeschätzte Längengewichte und Massen (AKE Alu DoKaSch Version 1) .....	21
Tabelle 25: Kosten der Flächen (AKE Alu DoKaSch Version 1) .....	21
Tabelle 26: Kosten der Profile (AKE Alu DoKaSch Version 1) .....	21
Tabelle 27: Massenaufteilung (AKE Alu DoKaSch Version 1) .....	22
Tabelle 28: Kostenaufteilung (AKE Alu DoKaSch Version 1) .....	22
Tabelle 29: Für die Kalkulation verwendete Abmessungen (AKE Driessen Version 1) [8] .....	23
Tabelle 30: Flächengewichte und Massen (AKE Driessen Version 1) [8] .....	24
Tabelle 31: Abgeschätzte Längengewichte mit Massen (AKE Driessen Version 1) .	24
Tabelle 32: Kosten der Flächen (AKE Driessen Version 1) .....	25
Tabelle 33: Kosten der Profile (AKE Driessen Version 1) .....	25
Tabelle 34: Massenaufteilung (AKE Driessen Version 1) .....	25
Tabelle 35: Kostenaufteilung (AKE Driessen Version 1) .....	26

Tabelle 36: Für die Kalkulation verwendete Abmessungen (AKE Alu Nordisk Version1) [11] .....	27
Tabelle 37: Flächengewichte und Massen (AKE Alu Nordisk Version1) [11].....	28
Tabelle 38: Abgeschätzte Längengewichte und Massen (AKE Alu Nordisk Version1) .....	28
Tabelle 39: Kosten der Flächen (AKE Alu Nordisk Version1) .....	28
Tabelle 40: Kosten der Profile (AKE Alu Nordisk Version1) .....	29
Tabelle 41: Massenaufteilung (AKE Alu Nordisk Version1).....	29
Tabelle 42: Kostenaufteilung (AKE Alu Nordisk Version1) .....	30
Tabelle 43: Berechnung der Flächen (AAX) Version 2 .....	32
Tabelle 44: Längenberechnung der Profile (AAX allgemein Version 2).....	32
Tabelle 45: Für die Kalkulation verwendete Abmessungen der Flächen (AAX PC Nordisk Version 2) [15], [14] .....	33
Tabelle 46: Flächengewichte und Massen (AAX PC Nordisk Version 2) [15], [14]...	33
Tabelle 47: Für die Kalkulation verwendete Abmessungen Profile (AAX PC Nordisk Version 2) .....	33
Tabelle 48: Abgeschätzte Längengewichte (AAX PC Nordisk Version 2) .....	34
Tabelle 49: Kosten der Flächen (AAX PC Nordisk Version 2) .....	34
Tabelle 50: Kosten der Profile (AAX PC Nordisk Version 2).....	34
Tabelle 51: Massenaufteilung (AAX PC Nordisk Version 2) .....	35
Tabelle 52: Kostenaufteilung (AAX PC Nordisk Version 2) .....	35
Tabelle 53: Berechnung der Flächen (AKE allgemein Version 2).....	37
Tabelle 54: Berechnung der Profile (AKE allgemein Version 2) .....	37
Tabelle 55: Für die Kalkulation verwendete Abmessungen Flächen (AKE PC Nordisk Version 2) [17] .....	38
Tabelle 56: Flächengewichte und Massen (AKE PC Nordisk Version 2) [17].....	38
Tabelle 57: Für die Kalkulation verwendete Abmessungen Profile (AKE PC Nordisk Version 2) [17] .....	39
Tabelle 58: Abgeschätzte Längengewichte (AKE PC Nordisk Version 2) .....	39
Tabelle 59: Kosten der Flächen (AKE PC Nordisk Version 2) .....	39
Tabelle 60: Kosten der Profile (AKE PC Nordisk Version 2).....	40
Tabelle 61: Massenaufteilung (AKE PC Nordisk Version 2) .....	40
Tabelle 62: Kostenaufteilung (AKE PC Nordisk Version 2) .....	41
Tabelle 63: Prozentualer Anteil der Komponenten an den Gesamtkosten [%] Version 2 .....	47
Tabelle 64: Flächenvergleich von Version 1 und 2 für den Typ AKE .....	48
Tabelle 65: Flächenvergleich von Version 1 und 2 für den Typ AAX.....	48
Tabelle 66: Abmessungen AKE Alusingen .....	49
Tabelle 67: Massenaufteilung (AKE Alusingen Echtdaten) .....	50
Tabelle 68: Vergleich der Massen aus Kalkulation und Echtdaten AKE gesamt [%]	51
Tabelle 69: Mittelwert der Massenanteile AKE gesamt .....	51
Tabelle 70: Massenaufteilung AKE gesamt im Vergleich [kg] .....	52
Tabelle 71: Mittleres Gewicht AKE gesamt [kg].....	53

## Bezeichnungen

### Lateinische Buchstaben

Symbol	Einheit	Bedeutung
A	m <sup>2</sup>	Fläche
b	mm	Breite
b1	mm	1. Teilbreite
b2	Mm	2. Teilbreite
h	mm	Gesamthöhe des Luftfrachtcontainers
h1	mm	1. Teil-Höhe des Luftfrachtcontainers
h2	mm	2. Teil-Höhe des Luftfrachtcontainers
L	mm	Länge
l	mm	Länge
l1	mm	1. Teillänge
l2	mm	2. Teillänge
t	mm	Dicke

### Griechische Buchstaben

$\rho$	g/cm <sup>3</sup>	Dichte
--------	-------------------	--------

## Abkürzungen

ATA	Air Transportation Association of America
CMM	Component Maintenance Manual
DHL	Paket- und Brief-Express-Dienst, benannt nach den Begründern Adrian Dalsey, Larry Hillblom und Robert Lynn, gehört zur zum Konzern der Deutschen Post AG
IATA	International Air Transportation Association
LD	Lower Deck
PU	Polyurethan
PC	Polycarbonat
ULD	Unit Load Device

## 2. Motivation

Um die Akzeptanz neuer Materialien in der Luftfahrt zu erhöhen, muss der Nutzen dieser deutlich und belegbar gemacht werden. Obwohl das Thema Leichtbau in der Luftfahrt eine große Rolle spielt, dürfen insbesondere Luftfrachtcontainer dennoch nicht zu teuer sein. Anforderungen an einen Luftfrachtcontainer sind im Vergleich zu Struktur und Kabinen-Bauteilen eines Flugzeuges relativ gering. So ist aus Sicht der Anwender auch nur ein geringer Anschaffungspreis gerechtfertigt.

Eine Möglichkeit, um das Gewicht bestehender Strukturen zu reduzieren ist es, diese durch Werkstoffe mit einer geringeren Dichte zu substituieren. Die neu eingesetzten Materialien können im Vergleich zu herkömmlichen Werkstoffen teurer im Anschaffungspreis sein. Längerfristig kann ein geringeres Gewicht aber Vorteile wie einen geringeren Kraftstoffverbrauch bewirken.

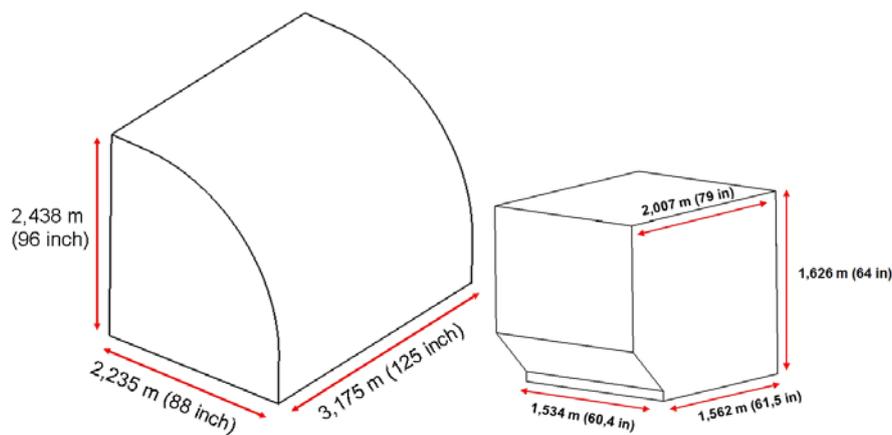
Bei Luftfrachtcontainern handelt es sich um eine Struktur mit einer vorgegebenen Geometrie, die je nach Typ variiert. Die relativ konstanten Abmessungen lassen eine direkte Vergleichbarkeit der verschiedenen Materialien zu. Die Kalkulation ermittelt die voraussichtlichen Massen und Kosten bezogen auf einen Luftfrachtcontainer-Typ. Nach Festlegung einer Referenz kann diese mit einer neuen Material-Auswahl verglichen werden.

Es sind zwei Versionen der Kalkulation vorhanden, die beide vorgestellt werden. Zum Schluss werden die Ergebnisse dieser validiert, indem sie untereinander und mit Echtdaten verglichen werden.

Dieser Bericht soll auch dazu dienen, die frei verfügbaren Daten für Luftfrachtcontainer zusammenzufassen.

### 3. Stand der Technik

Zunächst soll auf das Thema Luftfrachtcontainer eingegangen werden. Viele unterschiedliche Typen von Luftfrachtcontainern sind auf dem Markt von verschiedenen Herstellern erhältlich, was einer eindeutigen Identifikation bedarf. Ein Identifikationssystem stellt der so genannte IATA Identification Code for Unit Load Devices (ULD ID Code) dar [9]. Dieser beginnt mit drei Buchstaben, welche die Ladeeinheit, das Ausmaß der Bodenfläche und die Kontur beschreiben. Im Bericht werden die beiden Luftfrachtcontainer des Typs AKE (zertifizierter Luftfrachtcontainer, Bodengröße 1.534 mm x 1.562 mm; Unterflur) und AAX (zertifizierter Luftfrachtcontainer, Bodengröße 2.235 mm x 3.175 mm; Hauptdeck) betrachtet. Der Vollständigkeit wegen sei hier kurz erwähnt, dass es einen weiteren Code zur Identifikation gibt. Der sogenannte ATA<sup>1</sup>-Code ist dreistellig. So ist der AKE auch LD<sup>2</sup>3 genannt. Im Folgenden werden die Typen nur nach dem ULD ID Code benannt.



**Abbildung 1: Maximalabmessungen eines Luftfrachtcontainers, links AAX [2] und rechts AKE [3], beides nach [9]**

Exemplarisch werden in Abbildung 1 die Maximalabmessungen eines AAX- und AKE Luftfrachtcontainers gemäß [9] angegeben. Während die Dimensionen des Bodens immer gleich sind, variiert insbesondere die Höhe von Hersteller zu Hersteller, vergleiche Tabelle 1.

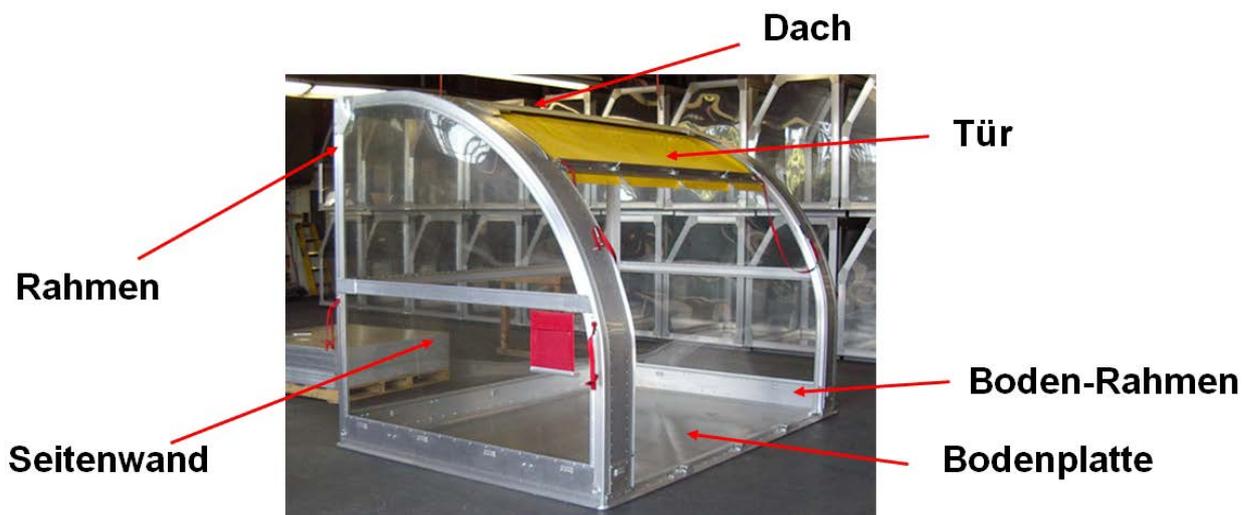
<sup>1</sup> Air Transportation Association of America

<sup>2</sup> Lower Deck

Typ	Höhe [m]	Hersteller	Quelle
AAX	2,373	Nordisk	[13]
	2,438	Satco	[20]
AKE	1,624	Nordisk	[12]
	1,626	DoKaSch	[5]
	1,614	Driessen	[8]
	1,613	Nordisk	[17]
	1,625	Nordisk	[11]

**Tabelle 1: Beispielhafte Darstellung der verschiedenen Höhen für die beiden Luftfrachtcontaintertypen AAX und AKE**

Wie schon mehrfach in anderen Berichten und Präsentationen beschrieben, sind Luftfrachtcontainer bis auf wenige Ausnahmen gleich aufgebaut [3], {Bartsch November 2012 #710}. Einen prinzipiellen Aufbau zeigt Abbildung 2. Die Bestandteile lassen sich grob in Flächen und Profile unterteilen. Die Flächen sind das Dach, die Seitenwände, die Bodenplatte und die Tür. Umschlossen werden alle Flächen von Profilen. Das Vorhandensein dieser unterschiedlichen Bestandteile erfordert eine eindeutige Definition dieser, welche im Anschluss erfolgt.



**Abbildung 2: Haupt-Bestandteile Luftfrachtcontainer AAX nach [20]**

## 4. Flächen

Tabelle 2 zeigt die Definition der einzelnen Flächen. Beim AKE wird die entsprechende Fläche in blau und beim AAX in grün gekennzeichnet. Beide Containertypen verfügen über eine Bodenfläche (Abbildung 6), eine linke Seite (Abbildung 4), eine rechte Seite (Abbildung 6), eine hintere Seite (Abbildung 9), ein Dach (Abbildung 10) und einer vorderen Fläche (Abbildung 11). Der AKE hat im Gegensatz zum AAX eine vordere Seitenwand, siehe Abbildung 5. Beim AAX entsprechen die Daten der rechten Seiten, denen der linken Seite. Der AKE hat im Gegensatz zum

AAX eine vordere kleine Seite, siehe Abbildung 7, welche der vorderen Seite des AKE entspricht, siehe Abbildung 8.

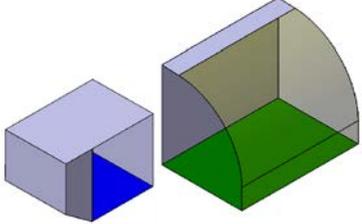
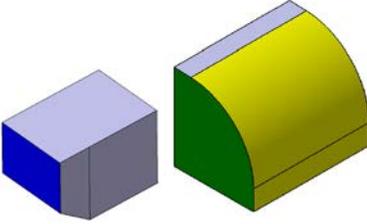
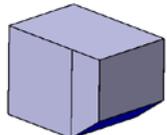
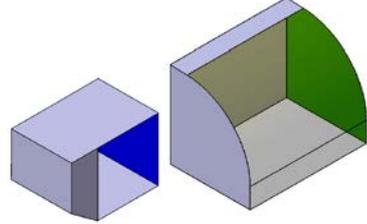
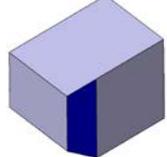
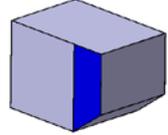
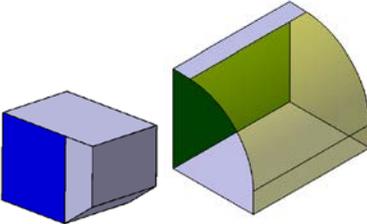
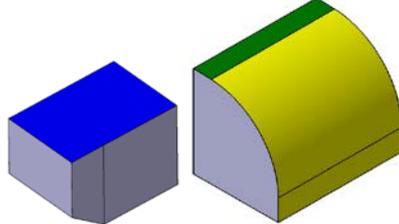
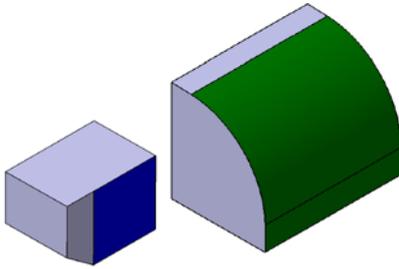
 <p>Abbildung 3: Bodenplatte</p>	 <p>Abbildung 4: Seite links</p>
 <p>Abbildung 5: Seite links unten</p>	 <p>Abbildung 6: Seite rechts</p>
 <p>Abbildung 7: Seite vorne klein</p>	 <p>Abbildung 8: Seite hinten klein</p>
 <p>Abbildung 9: Seite hinten</p>	 <p>Abbildung 10: Dach</p>
 <p>Abbildung 11: Seite vorne</p>	

Tabelle 2: Definition der Flächen

Der Ort der Tür kann sowohl für den AKE (Abbildung 13) als auch für den AAX (Abbildung 14), in seiner Position variieren. Dabei ist die Position in der jeweils rechten Abbildung die häufiger verwendete.



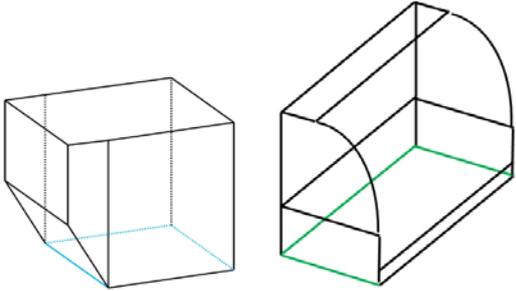
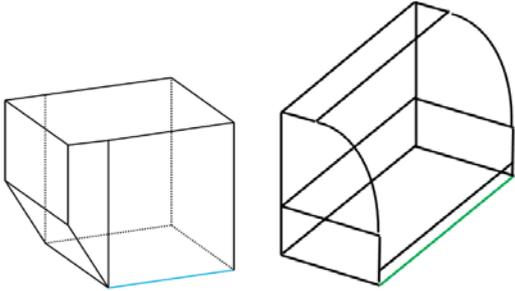
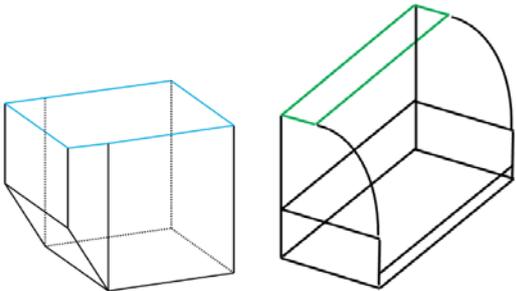
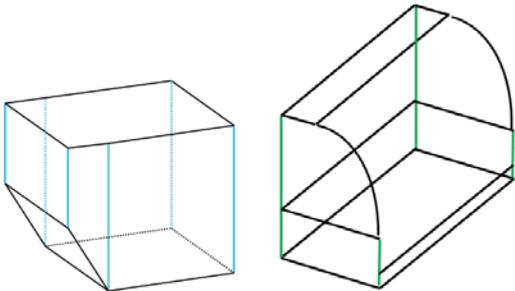
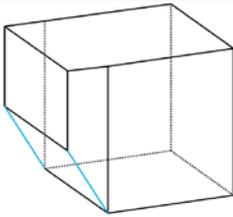
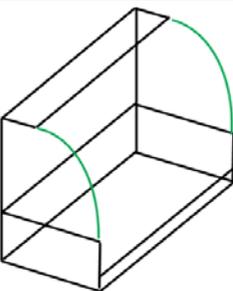
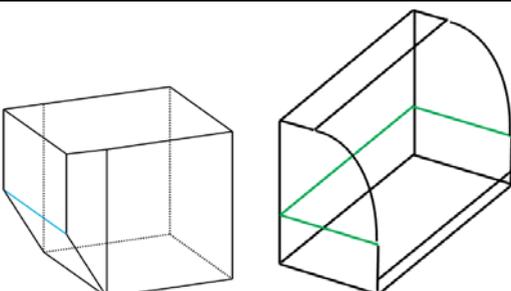
Abbildung 12: Türvariationen AKE links [23], rechts [21]



Abbildung 13: Türvariationen AAX links [10], rechts [20]

### 4.1. Profile

Tabelle 3 zeigt die einzelnen Profile der Luftfrachtcontainer. Beim AKE wird das entsprechende Profil in blau und beim AAX in grün gekennzeichnet. Beide Typen verfügen über Bodenprofile (Abbildung 15). Hierbei muss noch das Profil des Bodens an der Tür (Abbildung 16) gesondert betrachtet werden, denn das Profil an der Tür hat im Gegensatz zum Rest der Bodenprofile eine abweichende Geometrie. Sofern die Tür an einer anderen Position ist, muss diese auch für das Profil berücksichtigt werden. Beide Container-Typen haben senkrechte Profile (Abbildung 18), Dachprofile (Abbildung 17) und horizontale Profile (Abbildung 21). Der AKE verfügt noch über diagonale Profil-Elemente, siehe Abbildung 19. Der AAX hat gebogene Rahmenprofile, siehe Abbildung 20.

 <p><b>Abbildung 14: Profil-Boden</b></p>	 <p><b>Abbildung 15: Profil-Boden-Tür</b></p>
 <p><b>Abbildung 16: Profil-Dach</b></p>	 <p><b>Abbildung 17: Profil-Senkrechte</b></p>
 <p><b>Abbildung 18: Profil-Diagonal</b></p>	 <p><b>Abbildung 19: Profil-Bogen</b></p>
 <p><b>Abbildung 20: Profil-Horizontale</b></p>	

**Tabelle 3: Definition Profile**

## 5. Kalkulation Version 1

Diese Kalkulation wurde maßgeblich von Christian Ückert erstellt. Am Beispiel des Luftfrachtcontainers Typ AAX wird diese im Folgenden näher erläutert. Die Kalkulation hat für zwei Container-Typen schon Anwendung in Projekten gefunden [2], [3]. Für andere Typen ist eine solche Kalkulation aber ebenfalls vorhanden. Um eine möglichst große Transparenz und Erweiterbarkeit zu gewährleisten, ist die Kalkulation mit Microsoft Excel erstellt. Im Folgenden wird die Umsetzung der Kalkulation beschrieben.

### 5.1. Umsetzung der Kalkulation

Die Kalkulation basiert auf den Abmessungen des Luftfrachtcontainers und den dafür eingesetzten Materialien. Für den Typ AAX wird hier eine Ausführung aus Aluminium von der Firma Nordisk betrachtet, siehe Abbildung 21. Abbildung 22 zeigt eine 2-Seitenansicht dessen [13]. Im weiteren Text wird diese Ausführung als AAX Alu Nordisk bezeichnet.



Abbildung 21: Foto des betrachteten Luftfrachtcontainers Typ AAX von der Firma Nordisk [13]

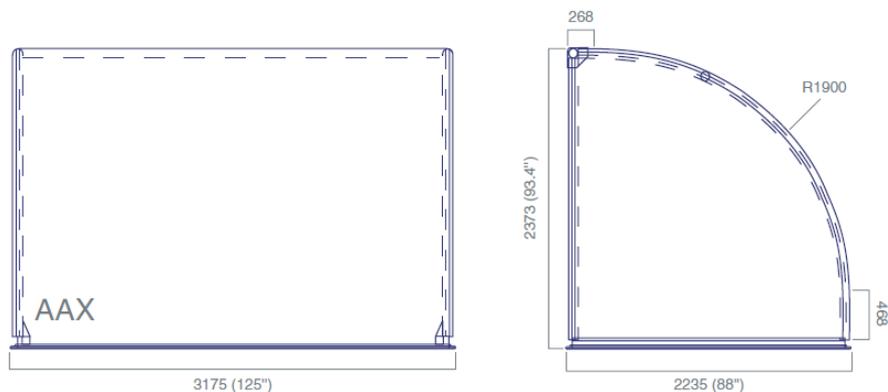
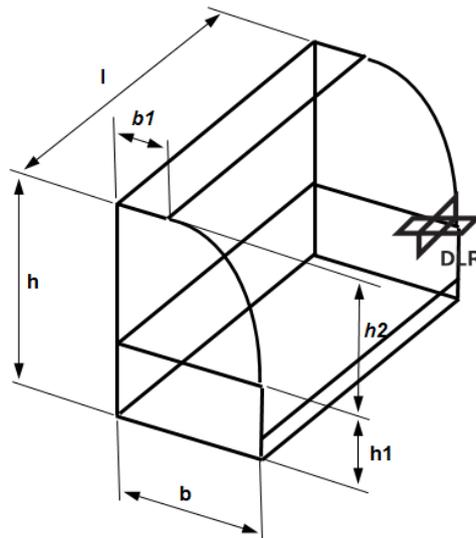


Abbildung 22: Angaben der Abmessungen eines AAX-Containers vom Hersteller Nordisk [13]



**Abbildung 23: Allgemeine Bezeichnung der Abmessungen des Luftfrachtcontainers AAX für die Kalkulation**

Abbildung 23 zeigt eine isometrische Ansicht des AAX-Containers mit einer allgemeinen Angabe der Abmessungen in Form von Buchstaben. Der Vorteil dieser Angabe ist die Anpassbarkeit auf die vom Hersteller abhängigen Abmessungen, vergleiche Tabelle 1. Der Buchstabe  $h$  kennzeichnet die Gesamthöhe des Luftfrachtcontainers, welche noch in zwei Teilhöhen  $h_1$  und  $h_2$  unterteilt ist. Die linke und rechte Seitenwand bestehen aus einem gekrümmten und einem geraden Abschnitt. Die Teilhöhe bis zur gekrümmten Fläche wird mit  $h_1$  angegeben. Zieht man diese von der Gesamthöhe ab, erhält man die zweite Teil-Höhe  $h_2$  (Radius). Die Angaben aus Tabelle 4 werden in der Excel-Tabelle (siehe rot umrandetes Feld der Abbildung 56) vom Benutzer eingetragen. Die gelb ausgefüllten Zellen mit einer blauen Schrift kennzeichnen die erforderlichen Eingaben des Nutzers. Eine grüne Schriftfarbe zeigt die automatisch daraus berechneten Werte an. Die Abmessungen werden in der Einheit mm angegeben.

Maß	Wert [mm]
$h$	2.373
$h_1$	468
$h_2$	1.905
$b$	2.235
$b_1$	268
$l$	3.175

**Tabelle 4: Für die Rechnung verwendete Abmessungen (AAX Alu Nordisk Version 1) [13]**

### 5.1.1 Flächen

Mit den Abmessungen der Tabelle 4 und den Formeln aus Tabelle 5 (zweite Spalte) werden die Flächen bestimmt. Abbildung 56 zeigt die Excel-Tabelle, die Flächenberechnung wird im blau umrandeten Feld durchgeführt.

Fläche	Formel	Ergebnis Fläche A [m <sup>2</sup> ]
Seite hinten	$h \cdot l$	7,53
Seite links	$h1 \cdot b + b1 \cdot h2 + 0,25 \cdot \pi \cdot h2^2$	Je 4,41
Seite rechts		
Seite vorne (Tür)	$(0,25 \cdot (2 \cdot \pi \cdot h2 \cdot l) + l \cdot h1) - b1 \cdot l$	10,99
Dach	$b1 \cdot l$	0,85
Boden	$b \cdot l$	7,1

Tabelle 5: Berechnung der Flächen (AAX Alu Nordisk Version 1)

Zur Verdeutlichung der Flächenberechnung für die linke und die rechte Seitenwand dient die Abbildung 24. Für den gekrümmten Teil wird geometrisch ein Viertelkreis angenommen. Es ist nicht bei jeder Ausführung des Luftfrachtcontainers ersichtlich, wo der Mittelpunkt des Kreises sein könnte, da der Radius auch nicht immer gegeben ist. Daher wird die Höhe  $h2$  als Radius angenommen.

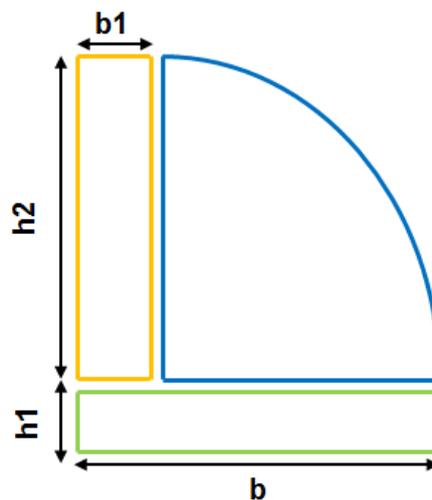


Abbildung 24: Flächenaufteilung für Berechnung (Seite linke und Seite rechts)

### 5.1.1.1 Flächengewichte

Mit den Angaben aus Tabelle 6 (insbesondere Material mit dazugehöriger Dichte  $\rho$  und den bauteilspezifischer Dicke  $t$ ) können die einzelnen Flächengewichte berechnet werden. In der Tabelle werden diese (orange umrahmten Bereich der Abbildung 56) vom Benutzer eingetragen. Unter Einbeziehung der errechneten Fläche, vergleiche Tabelle 5, kann dann die Masse der einzelnen Fläche berechnet werden, siehe letzte Spalte Tabelle 6. Dieser Wert ist im blau umrahmten Feld der Abbildung 47 in der dritten Spalte zu finden.

Fläche	Material	Dichte $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Dicke t [mm]	Flächenge- wicht [g/m <sup>2</sup> ]	Masse m [kg]
Seite hinten	Aluminium [25], [26]	2,7 [19]	1 [25], [26]	2.700	20,34
Seite links					Je 11,9
Seite rechts					
Seite vorne (Tür)	PU beschichte- tes Polyester	-	-	700	7,1
Dach	Aluminium [25], [26],	2,7 [19]	1 [25], [26]	2.700	2,3
Boden			4 [4]	10.800	76,6

Tabelle 6: Flächengewichte und Massen (AAX Alu Nordisk Version 1)

Laut der Firma Satco wird für den Boden entweder Aluminium der Legierung AA7021-T6 oder AA7075-T6 eingesetzt [22]. Das Material der Tür ist ein so genanntes technisches Textil. Das Trägermaterial ist Polyester, welches mit PU<sup>3</sup> beschichtet ist, zusätzlich gibt es beim AAX ein Polyester-Netz [15]. Das Flächengewicht dieses Materials beträgt 630 g/m<sup>2</sup> [18]. Zusätzliche Teile wie ein Netz oder andere Befestigungselemente der Tür sind vorhanden, weshalb das Flächengewicht mit 700 g/m<sup>2</sup> angegeben wird.

Um die Flächengewichte von infrage kommenden Verbundwerkstoffen zu berechnen, gibt es für die Flächen, welche in Boden (Abbildung 57) und Seitenwände (Abbildung 58) unterteilt sind, einen separaten Reiter. Die Unterteilung ist erforderlich, da sich Material, Dicke und Belastungsarten voneinander unterscheiden. Bei den hier betrachteten Materialkombinationen kommen diese Reiter nicht zum Tragen.

### 5.1.1.2 Kosten der Flächen

Die Kosten der einzelnen Bestandteile müssen größtenteils abgeschätzt werden. Ein Preis für das Rohmaterial kann nicht angenommen werden, da dieses noch nachbearbeitet wird, um für einen Luftfrachtcontainer eingesetzt zu werden. Hinzu kommt der preisreduzierende Effekt der Abnahme von großen Mengen. Tabelle 7 führt sowohl den Quadratmeterpreis als auch die Materialkosten, welche sich aus der Multiplikation von Quadratmeterpreis und Fläche ergeben, für das jeweilige Profil auf. Der Quadratmeterpreis wird vom Anwender in das dafür vorgesehene Feld eingegeben (orange eingerahmtes Feld der Abbildung 56). Die sich aus den Quadratmeterpreis und der Geometrie ergebenden Materialkosten, werden in der vierten Spalte des blau eingerahmten Feldes der Abbildung 47 geschrieben.

<sup>3</sup> Polyurethan

Fläche	Quadratmeterpreis [€/m <sup>2</sup> ]	Materialkosten [€]
Seite hinten	30	226,03
Seite links		Je 132,20
Seite rechts		
Seite vorne (Tür)	40	439,47
Dach	30	25,53
Boden	100	709,61

Tabelle 7: Kosten der Flächen (AAX Alu Nordisk Version 1)

Der Quadratmeterpreis für das Planen-Material in Höhe von 23 €/m<sup>2</sup> wurde telefonisch von der Firma Planen und Zelte mitgeteilt. Aufgrund des Vorhandenseins weiterer Elemente der Tür wie Befestigungen werden die Kosten mit 30 €/m<sup>2</sup> abgeschätzt.

### 5.1.2 Profile

Mit den Formeln der Tabelle 8 (zweite Spalte) können die Längen der Profile ermittelt werden. Diese stehen dann im grün eingerahmten Feld der Abbildung 47.

Profil	Formel	Längen [m]
Boden	$2 \cdot b + l$	7,65
Boden Tür	$l$	3,18
Senkrechte	$2 \cdot h1 + 2 \cdot h$	5,68
Bogen	$(0,25 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot h2)$	5,98
Horizontale	$l + 2 \cdot b$	7,65
Horizontale Dach	$2 \cdot b1 + 2 \cdot l$	6,89
Türbalken	$l$	3,18

Tabelle 8: Längenberechnung der Profile (AAX Alu Nordisk Version 1)

#### 5.1.2.1 Längengewichte

Da über die Längengewichte keine Informationen vorhanden sind, müssen diese abgeschätzt werden. Die Profile der einzelnen Hersteller von Luftfrachtcontainern unterscheiden sich voneinander. Sowohl eckige als auch runde Querschnitte werden verbaut. In den orange gerahmten Bereich der Abbildung 47 werden die Längengewichte vom Anwender eingetragen. Auf Basis derer werden dann die Massen bestimmt, vergleiche Tabelle 9. Ähnlich wie bei den Flächen werden diese dann in die dritte Spalte des grün eingerahmten Feldes der Abbildung 47 geschrieben.

Profil	Material	Dichte $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Längengewicht [kg/m]	Masse m [kg]
Boden	Aluminium	2,7	5	38,23
Boden Tür			3,5	11,11
Senkrechte			2	11,36
Bogen			2	11,97
Horizontale			2	15,29
Horizontale Dach			1,8	12,39
Türbalken			1,8	5,72

Tabelle 9: Längengewichte und Massen (AAX Alu Nordisk Version 1)

### 5.1.2.2 Kosten der Profile

Tabelle 10 führt sowohl den Preis pro Meter als auch die Materialkosten für das jeweilige Profil auf. Das Bodenprofil ist im Gegensatz zu den anderen Profilen komplexer, was auch zu einem höheren Preis führt. Der Meterpreis wird in die dafür vorgesehene Spalte, siehe orange gerahmtes Feld der Abbildung 56, vom Nutzer eingetragen. Die sich daraus ergebenden Kosten der Profile werden dann in die vierte Spalte des grün gerahmten Feldes der Abbildung 47 geschrieben.

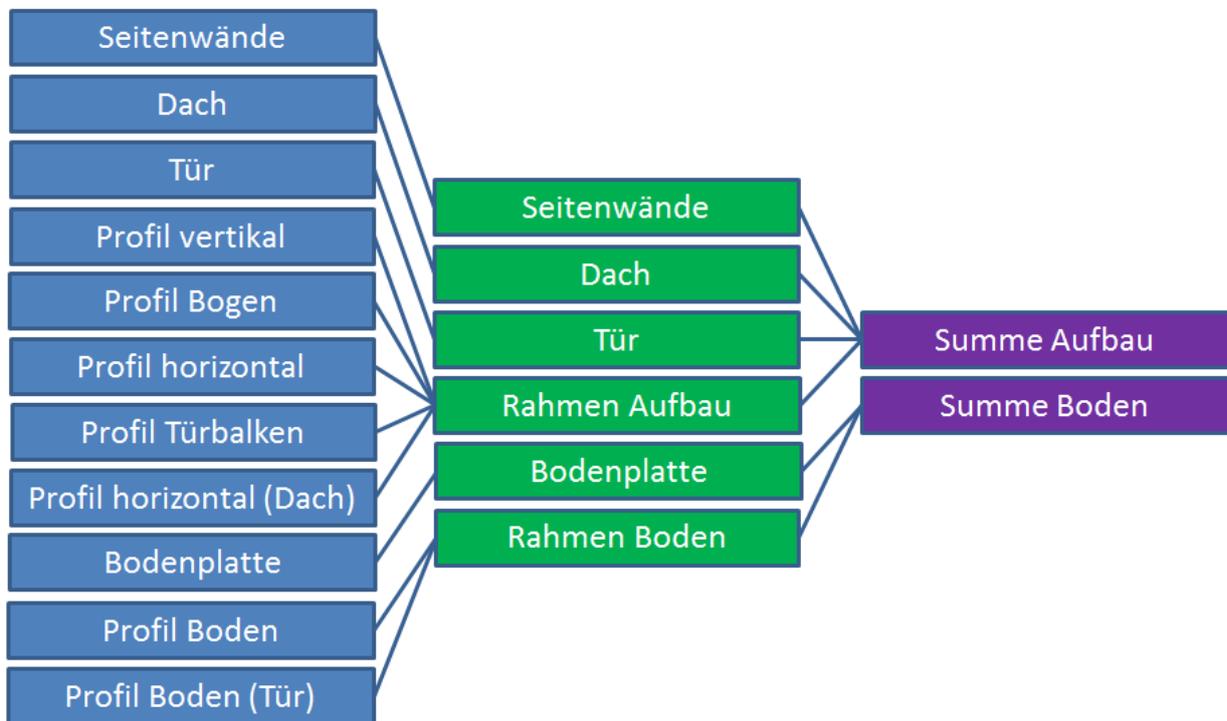
Profil	Meterpreis [€/m]	Materialkosten [€]
Boden	55	420,48
Boden Tür	45	142,88
Senkrechte	40	227,28
Bogen		239,39
Horizontale		305,80
Horizontale Dach	35	241,01
Türbalken	45	142,88

Tabelle 10: Kosten der Profile (AAX Alu Nordisk Version 1)

## 5.2. Ergebnisse

Die einzelnen Flächen und Profile des betrachteten Luftfrachtcontainers werden grob zusammengefasst, was Abbildung 25 verdeutlichen soll. So werden zunächst die Profile des Bodens zu „Rahmen Boden“ und die restlichen Profile zu „Rahmen Aufbau“ zusammengefasst. Die Aufteilung wird dann noch in weitere Gruppen zusammengefasst, so dass nur noch zwischen Aufbau und Boden unterschieden wird. Die Gruppe Boden beinhaltet die Bodenplatte und die um den Boden laufenden Profile. Die Gruppe Aufbau fasst den Rest des Luftfrachtcontainers zusammen. Grund für diese Einteilung ist, dass der Boden mit umlaufenden Rahmen auch mit wenigen Änderungen als Luftfrachtpalette eingesetzt werden kann. Erneuerungen, die für einen Luftfrachtcontainer sinnvoll sind, können so auch gleich für eine Palette infrage kommen.

Die Zusammenfassung der Komponenten befindet sich innerhalb des violett eingerahmten Feldes der Abbildung 56.



**Abbildung 25: Zusammenfassung der einzelnen Luftfrachtcontainer-Bestandteile**

Zusätzlich zu den Flächen und Profilen werden noch Verbindungselemente berücksichtigt, siehe türkis eingerahmtes Feld der Abbildung 56. Wie schon zuvor geschrieben, kennzeichnen gelb ausgefüllte Zellen die Eingabe von Werte durch den Nutzer der Kalkulation. Hinter den einzelnen Teilergebnissen steht in blauer Schrift gekennzeichnet der prozentuale Anteil dieser an der Gesamtmasse bzw. den Gesamtkosten des Luftfrachtcontainers. Die Ergebnisse aller Bestandteile werden zu einer Gesamtmasse und einem Gesamtpreis zusammenaddiert.

### 5.2.1 Massen

Tabelle 11 zeigt die Massenaufteilung, welche auch als Tortendiagramm (Abbildung 27) dargestellt ist. Der Boden, bestehend aus Bodenplatte und Rahmen hat mit einer Masse von insgesamt 126 kg den größten Anteil (52 %) an der Gesamtmasse des Luftfrachtcontainers. Die Seitenwände und das Dach haben eine Masse von 46,4 kg (19 % der Gesamtmasse), dieser Wert liegt in derselben Größenordnung wie der Rahmen des Aufbaus mit einer Masse von 56,7 kg (23 % der Gesamtmasse). Die Verbindungselemente und Beschläge haben eine Masse von 12,2 kg, was einem Anteil von 5 % an der Gesamtmasse entspricht. Den kleinsten Anteil an der Gesamtmasse hat die Tür mit 7,7 kg (3 %).

Komponente	Masse m [kg]
Boden (Bodenplatte + Rahmen)	126,0
Seitenwände + Dach	46,4
Rahmen Aufbau	56,7
Verbindungselemente + Beschläge	12,2
Tür	7,7
<b>Summe</b>	<b>249,0</b>

Tabelle 11: Massenaufteilung (AAX Alu Nordisk Version 1)

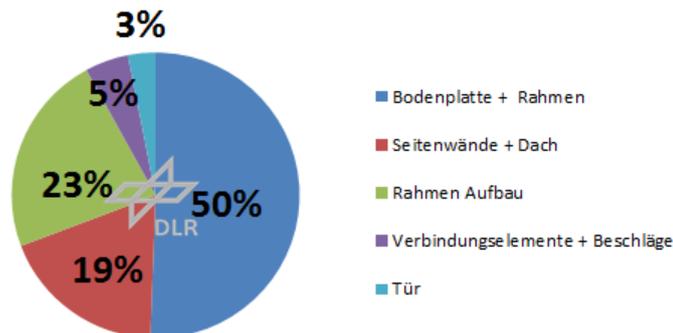


Abbildung 26: Prozentuale Gewichts aufteilung (AAX Version 1)

Die Gesamtmasse eines AAX Luftfrachtcontainers in Aluminium-Bauweise des Herstellers Nordisk wurde von DHL mit 245 kg angegeben [24]. Dieser Wert weicht um 1,6 % vom errechneten Betrag (249,0 kg) ab.

### 5.2.2 Kosten

Tabelle 12 zeigt die Kostenaufteilung, mit dazugehörigem Tortendiagramm auf Abbildung 27. Auch hier hat der Boden, bestehend aus Bodenplatte und Rahmen, mit 1.453 € den größten Anteil (35 %) an den Gesamtkosten. Die Kosten des Rahmens vom Aufbau betragen 1.156 € (29 %) und sind demnach zweitgrößter Kostenverursacher. Die Verbindungselemente und Beschläge tragen 20 % zu den Gesamtkosten bei, was einem Betrag von 820 € entspricht. Die Seitenwände und das Dach und haben mit 13 % und einem Wert von 516 € den geringsten Anteil am Luftfrachtcontainer.

Komponente	Kosten [€]
Boden (Bodenplatte + Rahmen)	1.273
Seitenwände + Dach	516,0
Rahmen Aufbau	1.156,4
Verbindungselemente + Beschläge	820,0
Tür	439,5
<b>Summe</b>	<b>4.204,7</b>

Tabelle 12: Kostenaufteilung (AAX Alu Nordisk Version 1)

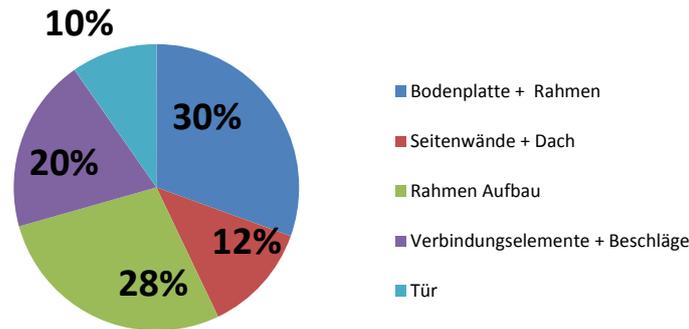


Abbildung 27: Prozentuale Kostenaufteilung (AAX Version 1)

Im Jahr 2011 betrug der Anschaffungspreis des AAX 4.000 € laut DHL [24]. Die prozentuale Abweichung dieser Angabe zum errechneten Wert (4.204,7) beträgt 5,1 %.

### 5.3. Weitere Beispiele Version 1

Ergänzend zu dem ausführlich beschriebenen Beispiel auf Basis des AAX Alu Nordisk werden hier noch andere Beispiele mit deren Ergebnissen aufgeführt.

#### 5.3.1 AAX des Herstellers Satco (AAX PC Satco)

Abbildung 2 zeigt den Luftfrachtcontainer vom Typ AAX des Herstellers Satco mit Seitenwänden aus Polykarbonat. Im weiteren Text wird dieser AAX PC Satco genannt. Das Excel-Tabellenblatt zu diesem kann Abbildung 59 entnommen werden. Wie schon in Tabelle 1 aufgeführt, ist hier die Höhe eine andere als beim zuvor vorgestellten AAX Alu Nordisk. Die Vorgehensweise für die Kalkulation ist hier dieselbe wie beim zuvor vorgestellten Beispiel. Daher werden im Folgenden nur die Ergebnisse aufgeführt. Die vollständigen Abmessungen fasst Tabelle 13 zusammen. Die Berechnung der Flächen erfolgt wie zuvor schon beschrieben gemäß Tabelle 5.

Maß	Wert [mm]
h	2.438
h1	468
h2	1.970
b	2.235
b1	268
l	3.175

Tabelle 13: Für die Kalkulation verwendete Abmessungen (AAX PC Satco Version 1) [20]

Tabelle 14 fasst die ermittelten Flächengewichte und die sich daraus ergebenden Massen zusammen.

Fläche	Fläche A [m <sup>2</sup> ]	Material	Dichte $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Dicke t [mm]	Flächengewicht [g/m <sup>2</sup> ]	Masse m [kg]
Seite hinten	7,74	Polykarbonat [26]	1,2 [1]	2 [26], [25]	2.400	18,58
Seite rechts	4,62					Je
Seite links						11,09
Tür	11,31	PU beschichtetes Polyester	-	-	700	10,63
Dach	0,85	Aluminium [26], [25]	2,7 [19]	1 [26], [25]	2.700	2,3
Bodenplatte	7,1			4 [4]	10.800	76,6

Tabelle 14: Flächengewichte und Massen (AAX PC Satco Version 1)

Die Längen berechnen sich auch hier gemäß Tabelle 8. Tabelle 15 fasst die Längengewichte und Massen zusammen.

Profil	Länge L [m]	Material	Dichte $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Längengewicht [kg/m]	Masse m [kg]
Boden	7,65	Aluminium	2,7	5	38,23
Boden (Tür)	3,18			3,4	10,8
Senkrechte	5,81			2	11,62
Bogen	6,19			2	12,38
Horizontale	7,65			2	15,29
Horizontale Dach	6,89			1,8	12,39
Türbalken	3,18			1,8	5,72

Tabelle 15: Längengewichte und Massen (AAX PC Satco Version 1)

Tabelle 16 führt die abgeschätzten Kosten der Flächen auf. Der Quadratmeterpreis ist identisch zum AAX Alu Nordisk, vergleiche Tabelle 7.

Fläche	Quadratmeterpreis [€/m <sup>2</sup> ]	Materialkosten [€]
Seite hinten	30	232,22
Seite links		Je 138,66
Seite rechts		
Seite vorne (Tür)	40	184,53
Dach	30	25,53
Boden	100	709,61

Tabelle 16: Kosten der Flächen (AAX PC Satco Version 1)

Tabelle 17 fasst die Kosten der Profile zusammen. Auch diese sind identisch zum AAX Alu Nordisk, vergleiche Tabelle 8.

Profil	Meterpreis [€/m]	Materialkosten [€]
Boden	55	420,48
Boden Tür	45	142,88
Senkrechte	40	232,48
Bogen		247,56
Horizontale		305,80
Horizontale Dach	35	241,01
Türbalken	45	142,88

Tabelle 17: Kosten der Profile (AAX Alu Satco Version 1)

Tabelle 18 und das dazugehörige Tortendiagramm der Abbildung 28 zeigen die Massenverteilung des AAX Alu Satco auf. Das ermittelte Gesamtgewicht beträgt 249 kg (um 1,6 % höheres Gewicht als das vom Hersteller angegebene Gewicht).

Komponente	Masse m [kg]
Boden (Bodenplatte + Rahmen)	125,7
Seitenwände + Dach	43,1
Rahmen Aufbau	57,4
Verbindungselemente + Beschläge	12,2
Tür	10,6
<b>Summe</b>	<b>249,0</b>

Tabelle 18: Massenaufteilung (AAX PC Satco Version 1)

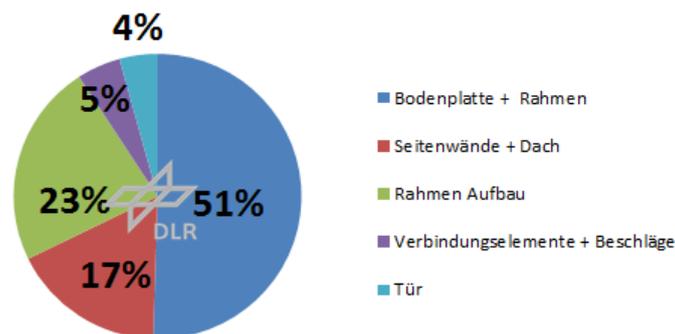


Abbildung 28: Massenaufteilung (AAX PC Satco Version 1)

Tabelle 19 mit Abbildung 29 beschreiben die Kostenaufteilung. Die realen Kosten betragen im Jahr 2011 4.000 € [24]. Der errechnete Wert liegt bei 4.250,2 € und weicht somit um 6,3 % ab.

Komponente	Kosten [€]
Boden (Bodenplatte + Rahmen)	1.273,0
Seitenwände + Dach	553,1
Rahmen Aufbau	1.169,7
Verbindungselemente + Beschläge	820,0
Tür	452,4
<b>Summe</b>	<b>4.250,2</b>

Tabelle 19: Kostenaufteilung (AAX PC Satco Version 1)

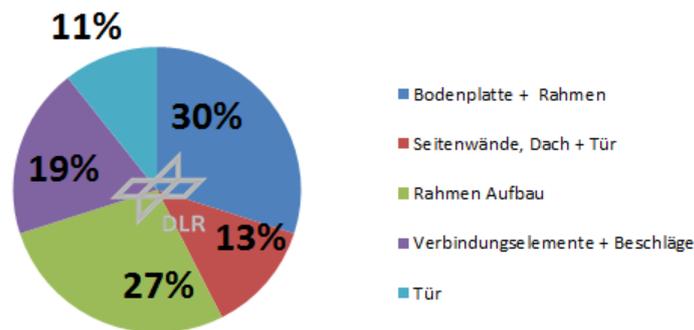


Abbildung 29: Kostenaufteilung AAX PC Satco Version 1

### 5.3.2 AKE allgemein Version 1

Die andere Geometrie des AKE, siehe Abbildung 30 erfordert eine andere Berechnung der Flächen, vergleiche Tabelle 5. Die für die Berechnungen zu Grunde gelegten Formeln für die Flächen und die Profile können Tabelle 20 und Tabelle 21 entnommen werden.

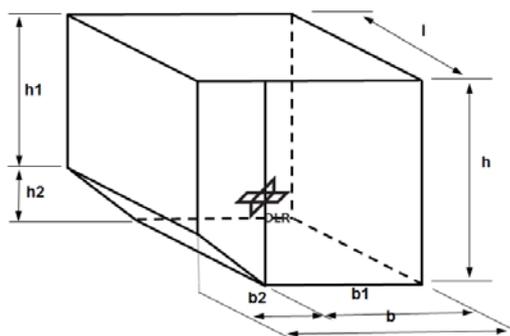


Abbildung 30: Abmessungen des Luftfrachtcontainers in der Excel-Tabelle (AKE allgemein Version 1)

Fläche	Formel
Seite rechts	$h \cdot l$
Seite links	$h1 \cdot l$
Seite links unten	$\sqrt{(h2^2 + b2^2)} \cdot l$
Seite vorne klein	$1/2 \cdot b2 \cdot h2 + h1 \cdot b2$
Seite vorne	$h \cdot b1$
Seite hinten	Seite vorne + Seite vorne klein
Dach	$b \cdot l$
Boden	$b1 \cdot l$

Tabelle 20: Berechnung der Flächen (AKE allgemein Version 1)

Profil	Formel
Boden	$2 \cdot b1 + 2 \cdot l$
Senkrechte	$2 \cdot h1 + 4 \cdot h$
Diagonale	$2 \cdot \sqrt{h2^2 + b2^2}$
Horizontale	$l$
Dach	$2 \cdot b + 2 \cdot l$

Tabelle 21: Längenberechnung der Profile (AKE allgemein Version 1)

### 5.3.3 AKE des Herstellers DoKaSch (AKE Alu DoKaSch)

Dieser Luftfrachtcontainer vom Typ AKE (siehe Abbildung 31) wird vom deutschen Hersteller DoKaSch produziert. Dieser spezifische Luftfrachtcontainer wird im weiteren Text als AKE Alu DoKaSch bezeichnet. Das Excel-Tabelleblatt zu diesem kann Abbildung 60 entnommen werden. Bis auf die Tür ist diese Ausführung vollständig aus Aluminium. Seine Abmessungen sind Tabelle 22 zu entnehmen.



Abbildung 31: AKE Aluminium der Firma DoKaSch [5]

Maß	Wert [mm]
h	1.626
h1	1.226
h2	400
b	2.010
b1	1.562
b2	448
l	1.534

**Tabelle 22: Für die Kalkulation verwendete Abmessungen (AKE Alu DoKaSch Version 1) [5]{**

Die ermittelten Gewichte und Massen der einzelnen Flächen und die dazugehörigen Daten sind in Tabelle 23 zusammengefasst.

Fläche	Fläche A [m <sup>2</sup> ]	Material	Dichte $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Dicke t [mm]	Flächengewicht [g/m <sup>2</sup> ]	Masse m [kg]
Seite rechts	2,49	Aluminium	2,7 [19]	0,8	2.160	5,39
Seite links	1,88					4,06
Seite links unten	0,92			1,2	3.240	2,99
Seite vorne klein	0,64			0,8	2.160	1,38
Seite hinten gesamt	3,18					6,87
Dach	3,08					6,66
Seite vorne (Tür)	2,54	PU beschichtet Polyester	-	-	700	1,78
Bodenplatte	2,4	Aluminium	2,7 [19]	2,7	7.290	17,5

**Tabelle 23: Flächengewichte und Massen (AKE Alu DoKaSch Version 1) [5]**

Die Längengewichte und Massen der Profilbauteile sind Tabelle 24 abzuleiten.

Profil	Länge L [m]	Material	Dichte $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Längengewicht [kg/m]	Masse m [kg]
Boden	6,19	Aluminium	2,7 [19]	1,85	11,46
Senkrechte	8,96			1	8,96
Diagonale	1,2				1,2
Horizontale links	1,53				1,53
Dach	7,09				7,09

Tabelle 24: Abgeschätzte Längengewichte und Massen (AKE Alu DoKaSch Version 1)

Die Kosten der Flächen sind Tabelle 25 und die der Längen der Tabelle 26 zu entnehmen. Im Vergleich zum AAX (vergleiche Tabelle 7 und Tabelle 16 bzw. Tabelle 10 und Tabelle 16) fallen diese Preise etwas geringer aus, da die Geometrien des AKE kleiner sind.

Fläche	Quadratmeterpreis [€/m <sup>2</sup> ]	Materialkosten [€]
Seite rechts	20	49,89
Seite links		37,61
Seite links untern	25	23,03
Seite vorne klein	20	12,78
Seite vorne (Tür)	30	76,19
Seite hinten gesamt	20	63,57
Dach		61,67
Bodenplatte	60	143,77

Tabelle 25: Kosten der Flächen (AKE Alu DoKaSch Version 1)

Profil	Meterpreis [€/m]	Materialkosten [€]
Boden	50	309,6
Senkrechte	20	179,12
Diagonale		24,02
Horizontale		30,68
Dach		141,76

Tabelle 26: Kosten der Profile (AKE Alu DoKaSch Version 1)

Eine zusammenfassende Massenaufteilung zeigt Tabelle 27 auf, das dazugehörige Tortendiagramm stellt Abbildung 32 dar. Die errechnete Gesamtmasse beträgt 81,1 kg. Die Herstellerangabe beträgt 80 kg [5]. Die prozentuale Abweichung beträgt demnach 1,4 %.

Komponente	Masse m [kg]
Boden (Bodenplatte + Rahmen)	28,9
Seitenwände + Dach	27,3
Rahmen Aufbau	18,8
Verbindungselemente + Beschläge	4,3
Tür	1,8
<b>Summe</b>	<b>81,1</b>

Tabelle 27: Massenaufteilung (AKE Alu DoKaSch Version 1)

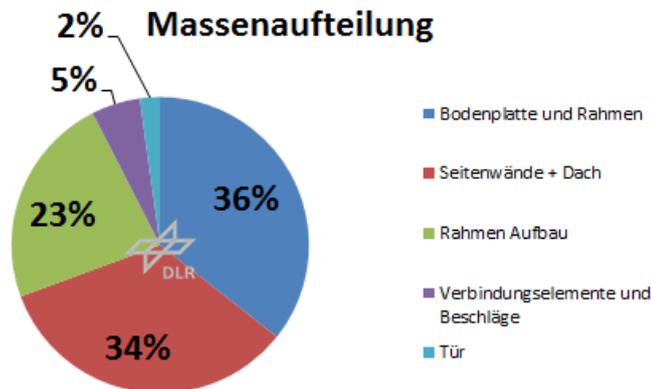


Abbildung 32: Massenaufteilung (AKE Alu DoKaSch Version 1)

Die Kostenaufteilung ist in Tabelle 28 zusammengefasst. Das dazugehörige Tortendiagramm ist in Abbildung 23 dargestellt.

Komponente	Kosten [€]
Boden (Bodenplatte + Rahmen)	453,4
Seitenwände + Dach	248,5
Rahmen Aufbau	375,6
Verbindungselemente + Beschläge	380
Tür	76,2
<b>Summe</b>	<b>1.533,7</b>

Tabelle 28: Kostenaufteilung (AKE Alu DoKaSch Version 1)

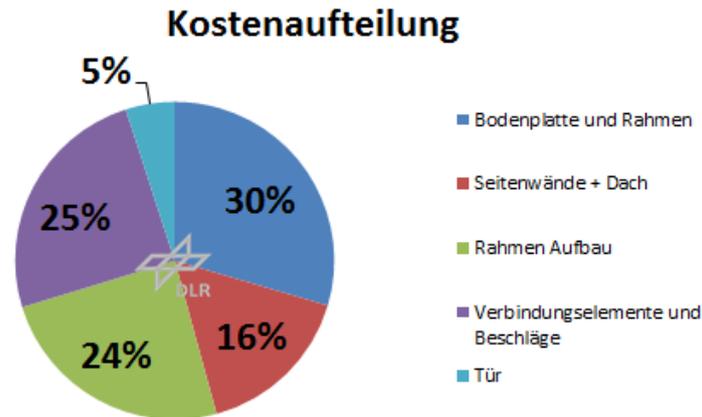


Abbildung 33: Kostenaufteilung (AKE Alu DoKaSch Version 1)

Die Kosten für einen AKE wurde mit 1.500 € angegeben [25]. Der errechnete Wert beträgt 1.533,7 €, was einer Abweichung von 2,2 % entspricht.

### 5.3.4 AKE des Herstellers Driessen (AKE Alu Driessen)

Von diesem Luftfrachtcontainer ist leider keine Abbildung vorhanden. Die im weiteren Text verwendete Abkürzung lautet AKE Alu Driessen. Das Excel-Tabellenblatt zu diesem kann Abbildung 61 entnommen werden. Tabelle 29 beinhaltet die Abmessungen dieses Luftfrachtcontainers.

Maß	Wert [mm]
h	1.614
h1	1.226
h2	400
b	2.010
b1	1.562
b2	448
l	1.534

Tabelle 29: Für die Kalkulation verwendete Abmessungen (AKE Driessen Version 1) [8]

Im Vergleich zu den Abmessungen des AKE Alu DoKaSch ist hier die Höhe h geringer. Hieraus ergibt sich eine unterschiedliche Höhe h1. Alle anderen Abmessungen sind identisch, vergleiche Tabelle 22. Tabelle 30 fasst die Daten der Flächen zusammen. Insbesondere die Dicken der Seitenwände unterschieden sich hier vom AKE Alu DoKaSch, vergleiche Tabelle 23.

Fläche	Fläche A [m <sup>2</sup> ]	Material	Dichte ρ [g/cm <sup>3</sup> ]	Dicke t [mm]	Flächengewicht [g/m <sup>2</sup> ]	Masse m [kg]
Seite rechts	2,48	Aluminium	2,7 [19]	0,7	1.890	4,68
Seite links	1,86					3,52
Seite links unten	0,92			1,2	3.240	2,99
Seite vorne klein	0,63			0,7	1.890	1,2
Seite hinten gesamt	3,15					5,96
Dach	3,08					6,66
Seite vorne (Tür)	2,52	PU beschichtetes Polyester	-	-	700	1,76
Bodenplatte	2,4	Aluminium	2,7 [19]	2,7	7.290	17,5

Tabelle 30: Flächengewichte und Massen (AKE Driessen Version 1) [8]

Tabelle 31 listet die Daten der Profile auf.

Profil	Länge L [m]	Material	Dichte ρ [g/cm <sup>3</sup> ]	Längengewicht [kg/m]	Masse m [kg]
Boden	6,19	Aluminium	2,7 [19]	2	12,38
Senkrechte	8,88			1,2	10,66
Diagonale	1,2				1,44
Horizontale links	1,53				1,84
Dach	7,09				8,51

Tabelle 31: Abgeschätzte Längengewichte mit Massen (AKE Driessen Version 1)

Den ermittelten Kosten für die Flächen (siehe Tabelle 32) und die Längen (siehe Tabelle 33) sind die gleichen Quadratmeter- und Meterpreise wie beim AKE Alu Do-KaSch zugrunde gelegt, vergleiche Tabelle 25 bzw. Tabelle 26.

Fläche	Quadratmeterpreis [€/m <sup>2</sup> ]	Materialkosten [€]
Seite rechts	20	49,52
Seite links		37,25
Seite links untern	25	23,03
Seite vorne klein	20	12,67
Seite vorne (Tür)	30	75,63
Seite hinten gesamt	20	63,09
Dach		61,67
Bodenplatte	60	143,77

Tabelle 32: Kosten der Flächen (AKE Driessen Version 1)

Profil	Meterpreis [€/m]	Materialkosten [€]
Boden	50	309,6
Senkrechte	20	177,68
Diagonale		24,02
Horizontale		30,68
Dach		141,76

Tabelle 33: Kosten der Profile (AKE Driessen Version 1)

Die sich aus den oben genannten Angaben ergebende Massenaufteilung stellt Tabelle 34 mit Abbildung 34 dar.

Komponente	Masse m [kg]
Boden (Bodenplatte + Rahmen)	29,9
Seitenwände + Dach	25
Rahmen Aufbau	22,4
Verbindungselemente + Beschläge	4,3
Tür	1,8
<b>Summe</b>	<b>83,4</b>

Tabelle 34: Massenaufteilung (AKE Driessen Version 1)

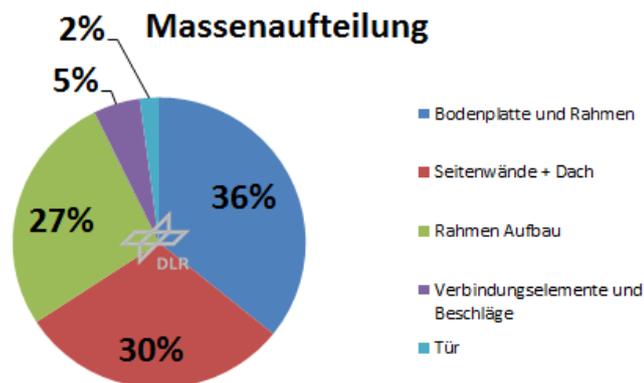


Abbildung 34: Massenaufteilung (AKE Driessen Version 1)

Tabelle 33 mit Abbildung 35 zeigt die Kostenverteilung dieses Luftfrachtcontainers auf.

Komponente	Kosten [€]
Boden (Bodenplatte + Rahmen)	453,4
Seitenwände + Dach	247,2
Rahmen Aufbau	374,1
Verbindungselemente + Beschläge	380
Tür	75,6
<b>Summe</b>	<b>1.530,4</b>

Tabelle 35: Kostenaufteilung (AKE Driessen Version 1)

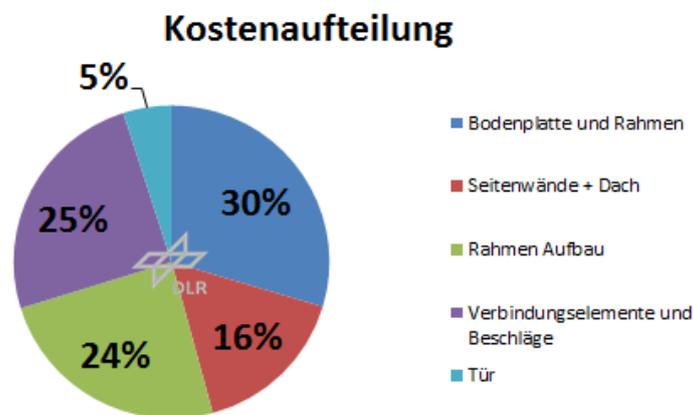


Abbildung 35: Kostenaufteilung (AKE Driessen Version 1)

Das vom Hersteller angegebene Gesamtgewicht beträgt 82 kg [8]. Das errechnete Gewicht beträgt 83,4 kg (Abweichung 1,07 %). Die realen Kosten von 1.500 € [25] werden mit den errechneten Kosten von 1.530,4 € um 2 % überschritten.

### 5.3.5 AKE des Herstellers Nordisk (AKE Alu Nordisk)

Abbildung 36 zeigt den Luftfrachtcontainer des Herstellers Nordisk. Die Abkürzung im weiteren Text lautet AKE Alu Nordisk. Das Excel-Tabellenblatt zu diesem kann Abbildung 62 entnommen werden. Seine Abmessungen sind Tabelle 36 zu entnehmen.



**Abbildung 36: AKE aus Aluminium der Firma Nordisk [11]**

Die Höhe  $h$  mit  $h_1$  und die Breite  $b$  unterscheidet sich hier von den beiden zuvor behandelten Luftfrachtcontainern AKE Alu DoKaSch und AKE Alu Driessen, vergleiche auch Tabelle 22 und Tabelle 29.

<b>Maß</b>	<b>Wert [mm]</b>
$h$	1.625
$h_1$	1.226
$h_2$	400
$b$	2007
$b_1$	1.562
$b_2$	448
$l$	1.534

**Tabelle 36: Für die Kalkulation verwendete Abmessungen (AKE Alu Nordisk Version1) [11]**

Die Gewichte und Massen der einzelnen Flächen sind in Tabelle 37 zusammengefasst. Hier unterscheidet sich sowohl die Dicke der Seitenwände als auch die Dicke der Bodenplatte, vergleiche Tabelle 23 und Tabelle 30.

Fläche	Fläche A [m <sup>2</sup> ]	Material	Dichte ρ [g/cm <sup>3</sup> ]	Dicke t [mm]	Flächengewicht [g/m <sup>2</sup> ]	Masse m [kg]
Seite rechts	2,49	Aluminium	2,7 [19]	0,8	2.160	5,38
Seite links	1,88					4,06
Seite links unten	0,92			1,5	4.050	3,72
Seite vorne klein	0,63			0,7	2.160	1,37
Seite hinten gesamt	3,17					6,85
Dach	3,08					6,65
Seite vorne (Tür)	2,54	Dyneema	1,04	0,9	940	2,29
Bodenplatte	2,4	Aluminium	2,7 [19]	2,8	7560	18,1

Tabelle 37: Flächengewichte und Massen (AKE Alu Nordisk Version1) [11]

Tabelle 38 zeigt die Massenberechnung der Profile.

Profil	Länge L [m]	Material	Dichte ρ [g/cm <sup>3</sup> ]	Längengewicht [kg/m]	Masse m [kg]
Boden	6,19	Aluminium	2,7 [19]	1,3	8,05
Senkrechte	8,95			1	8,95
Diagonale	1,2				1,2
Horizontale links	1,53				1,53
Dach	7,08				7,08

Tabelle 38: Abgeschätzte Längengewichte und Massen (AKE Alu Nordisk Version1)

Die Kosten für die Flächen (Tabelle 39) und die Profile (Tabelle 40) basieren auf dem gleichen Quadratmeter- bzw. Meterpreis, welcher schon bei dem AKE Alu DoKaSch und dem AKE Alu Driessen angewendet wurde, vergleiche Tabelle 25 und Tabelle 26 sowie Tabelle 32 und Tabelle 33.

Fläche	Quadratmeterpreis [€/m <sup>2</sup> ]	Materialkosten [€]
Seite rechts	20	49,86
Seite links		37,58
Seite links untern	25	22,95
Seite vorne klein	20	12,68
Seite vorne (Tür)	30	76,15
Seite hinten gesamt	20	63,45
Dach		61,57
Bodenplatte	60	143,77

Tabelle 39: Kosten der Flächen (AKE Alu Nordisk Version1)

Profil	Meterpreis [€/m]	Materialkosten [€]
Boden	50	309,6
Senkrechte	20	179
Diagonale		23,93
Horizontale		30,68
Dach		141,64

Tabelle 40: Kosten der Profile (AKE Alu Nordisk Version1)

Tabelle 41 mit Abbildung 37 zeigt die Massenaufteilung auf.

Komponente	Masse m [kg]
Boden (Bodenplatte + Rahmen)	26,2
Seitenwände + Dach	28
Rahmen Aufbau	18,8
Verbindungselemente + Beschläge	4,3
Tür	2,4
<b>Summe</b>	<b>79,6</b>

Tabelle 41: Massenaufteilung (AKE Alu Nordisk Version1)

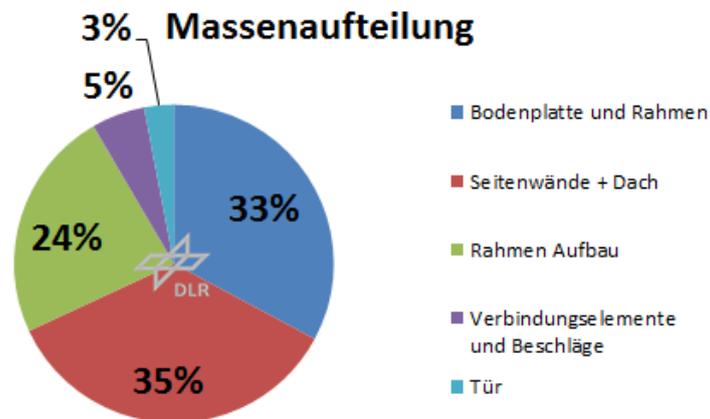


Abbildung 37: Massenaufteilung (AKE Alu Nordisk Version1)

Tabelle 42 mit Abbildung 38 geben die Kostenaufteilung wieder.

Komponente	Kosten [€]
Boden (Bodenplatte + Rahmen)	453,4
Seitenwände + Dach	248,1
Rahmen Aufbau	375,3
Verbindungselemente + Beschläge	380
Tür	76,1
<b>Summe</b>	<b>1.532,9</b>

Tabelle 42: Kostenaufteilung (AKE Alu Nordisk Version1)

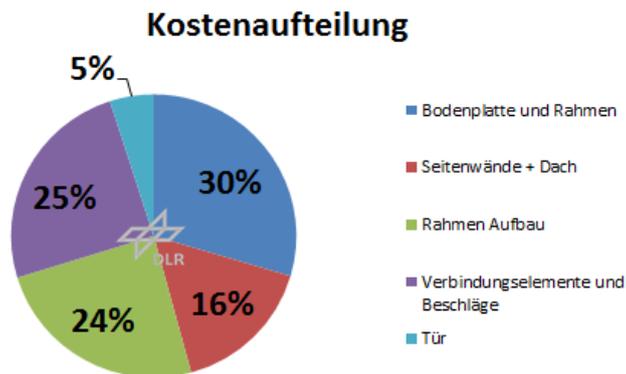


Abbildung 38: Kostenaufteilung (AKE Alu Nordisk Version1)

Das Herstellergewicht wird mit 76 kg [11] angegeben. Das errechnete Gewicht beträgt 79,6 kg. Die Abweichung beträgt hier 4,7 %. Die errechneten Kosten betragen 1.532,9 €. Die Abweichung zu den 1.500 € [25] beträgt 2,2 %.

## 6. Kalkulation Version 2

Diese Kalkulation wurde auf Basis der Version 1 von Ivonne Bartsch weiterentwickelt. Um genauere Ergebnisse zu erzielen, werden herstellerspezifische Abmessungen berücksichtigt. Oft sind diese nicht frei verfügbar. Dem DLR liegen zwei Component Maintenance Manuals (CMM) vor. Das CMM wird jedem Besitzer eines Luftfrachtcontainers zu Wartungs- und Reparaturzwecken zur Verfügung gestellt. Die für diese Version der Kalkulation erforderlichen Abmessungen sind im CMM der Firma Nordisk enthalten. Sowohl am Beispiel des Typ AKE als auch am Beispiel des AAX wird die Version 2 der Kalkulation verdeutlicht.

### 6.1. AAX allgemein Version 2

Abbildung 39 zeigt die allgemeinen Bezeichnungen der Abmessungen für einen AAX Luftfrachtcontainer. Bei dieser Version 2 unterscheiden sich die Abmessungen der Flächen und Profile, siehe auch Abbildung 63. So entspricht z. B. die Höhe  $h$  der Flächen nicht der Höhe  $h$  der Profile, so wie es bei der Version 1 der Fall ist. Im Gegensatz zu der Version 1, sind teilweise mehr Abmessungen erforderlich, vergleiche Abbildung 23 sind hier noch die Abmessungen  $l_1$ ,  $l_2$  und  $b_2$  hinzugekommen.

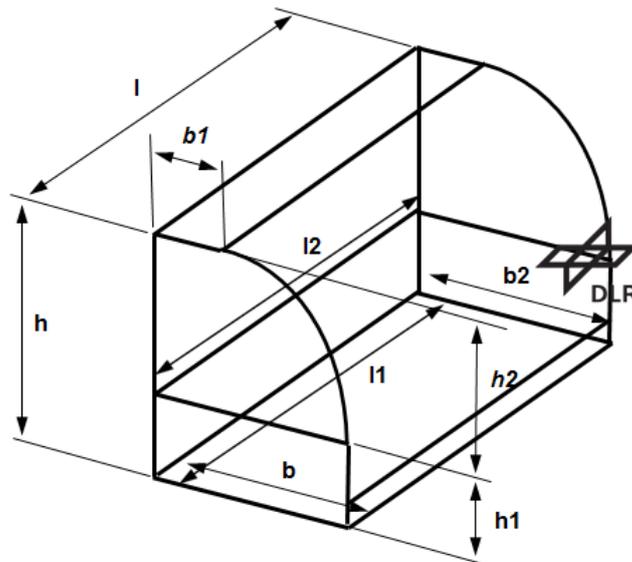


Abbildung 39: Allgemeine Bezeichnung (AAX allgemein Version 2)

Tabelle 43 fasst die für die Flächenberechnung erforderlichen Formeln auf. Die linke und die rechte Seite werden hier etwas anders als bei der Version 1 berechnet, vergleiche Tabelle 5. Die vorliegenden Abmessungen des CCM zeigen einen Radius über die ganze Fläche, daher wird hier ein Viertelkreis angenommen.

Fläche	Formel
Seite hinten	$h \cdot l$
Seite links	$0,25 \cdot \pi \cdot h^2$
Seite rechts	
Seite vorne (Tür)	$(0,25 \cdot (2 \cdot h \cdot \pi \cdot l) - b1 \cdot h)$
Dach	$b1 \cdot l2$
Bodenplatte	$b \cdot l1$

Tabelle 43: Berechnung der Flächen (AAX) Version 2

Die Profillängen werden gemäß Tabelle 50 berechnet. Im Vergleich zur Version 1, vergleiche Tabelle 8, werden hier andere Abmessungen zur Berechnung herangezogen.

Profil	Formel
Boden	$2b + l1$
Boden Tür	$l1$
Senkrechte	$2 \cdot h$
Bogen	$h2$
Horizontale	$2 \cdot b + l2$
Horizontale Dach	$2 \cdot l$
Türbalken	$l$

Tabelle 44: Längenberechnung der Profile (AAX allgemein Version 2)

## 6.2. AAX des Herstellers Nordisk (AAX PC Nordisk)

Abbildung 45 zeigt den AAX von der Firma Nordisk mit Seitenwänden aus Polycarbonat. Dieser wird im weiteren Text als AAX PC Nordisk betitelt. Das Excel-Tabellenblatt zu diesem kann Abbildung 63 entnommen werden.



Abbildung 40: AAX Nordisk eigenes Foto

Tabelle 45 erfasst die Abmessungen dieses Luftfrachtcontainers. Auf deren Basis und mit den Formeln aus Tabelle 43 lassen sich die Flächen und deren spezifische Masse berechnen, siehe Tabelle 46.

Maß	Wert [mm]
h	2.332,9
h1	1.407,4
h2	916,7
b	2.079
b1	1.165,5
b2	2.153,8
l	3.121,9
l1	3.017
l2	3103,8

**Tabelle 45: Für die Kalkulation verwendete Abmessungen der Flächen (AAX PC Nordisk Version 2) [15], [14]**

Fläche	Fläche A [m <sup>2</sup> ]	Material	Dichte $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Dicke t [mm]	Flächengewicht [g/m <sup>2</sup> ]	Masse m [kg]
Seite hinten	7,28	PC	1,2 [1]	2,0	2.400	17,48
Seite links	4,78					Je
Seite rechts						11,48
Seite vorne (Tür)	7,44	PU beschichtetes Polyester	1,04	0,9	940 [16]	6,99
Dach	3,62	5754-H26	2,7 [19]	1,0	2.700	9,77
Bodenplatte	6,27	Aluminium (AA7021-T6)	2,7 [19]	4	10.800	67,7

**Tabelle 46: Flächengewichte und Massen (AAX PC Nordisk Version 2) [15], [14]**

Die Abmessungen für die Profile sind Tabelle 47 zu entnehmen.

Maß	Wert [mm]
h	2.373,0
h2	3.567,0
b	2.079,0
b1	2.040,9
l	3.123,4
l1	3.009,5
l2	3.071,4

**Tabelle 47: Für die Kalkulation verwendete Abmessungen Profile (AAX PC Nordisk Version 2)**

Auf Basis der Tabelle 47 lassen sich die Längen der Profile und deren Massen berechnen, siehe Tabelle 48.

Profil	Länge L [m]	Material	Dichte $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Längengewicht [kg/m]	Masse m [kg]
Boden	7,17	Aluminium	2,7	3,4	35,84
Boden Tür	3,01			2	10,23
Senkrechte	4,75				9,49
Bogen	3,57				7,13
Horizontale	7,15			14,31	
Dach	6,25			1,8	11,24
Türbalken	3,12				5,62

**Tabelle 48: Abgeschätzte Längengewichte (AAX PC Nordisk Version 2)**

Die Kosten der Flächen werden wie in der Version 1 berechnet, vergleiche Tabelle 49 mit Tabelle 7 und Tabelle 16. Der Quadratmeterpreis ist identisch zu der Version 1.

Fläche	Quadratmeterpreis [€/m <sup>2</sup> ]	Materialkosten [€]
Seite hinten	30	218,49
Seite links		Je 143,48
Seite rechts		
Seite vorne (Tür)	45	334,73
Dach	30	108,52
Bodenplatte	100	627,23

**Tabelle 49: Kosten der Flächen (AAX PC Nordisk Version 2)**

Gleiches gilt für die Kosten der Profile, siehe Tabelle 50, welche mit Tabelle 10 und Tabelle 17 verglichen werden können. Der Meterpreis für das einzelne Profil ist identisch zu dem Meterpreis der Version 1.

Profil	Meterpreis [€/m]	Materialkosten [€]
Boden	55	394,21
Boden Tür	45	135,43
Senkrechte	40	189,84
Bogen		142,68
Horizontale		286,13
Horizontale Dach	35	218,64
Türbalken	45	140,55

**Tabelle 50: Kosten der Profile (AAX PC Nordisk Version 2)**

Tabelle 51 fasst die Aufteilung der Massen zusammen. Das dazugehörige Tortendiagramm zeigt Abbildung 41.

Komponente	Masse m [kg]
Boden (Bodenplatte + Rahmen)	113,8
Seitenwände + Dach	50,2
Rahmen Aufbau	47,8
Verbindungselemente + Beschläge	12,2
Tür	7,0
<b>Summe</b>	<b>231,0</b>

Tabelle 51: Massenaufteilung (AAX PC Nordisk Version 2)

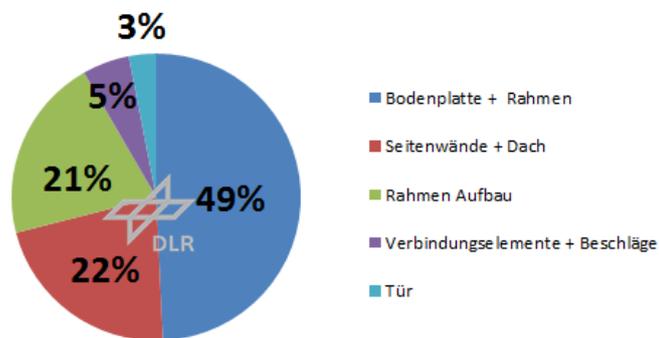


Abbildung 41: Massenaufteilung (AAX PC Nordisk Version 2)

Die Aufteilung der Kosten ist Tabelle 52 und Abbildung 42 zu entnehmen.

Komponente	Kosten [€]
Boden (Bodenplatte + Rahmen)	1.156,9
Seitenwände + Dach	614,0
Rahmen Aufbau	977,8
Verbindungselemente + Beschläge	820,0
Tür	334,7
<b>Summe</b>	<b>3.903,4</b>

Tabelle 52: Kostenaufteilung (AAX PC Nordisk Version 2)

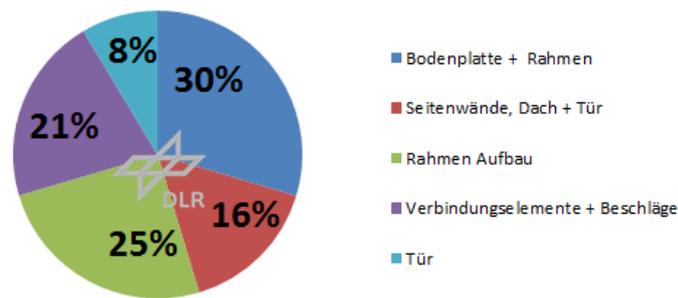


Abbildung 42: Kostenaufteilung (AAX PC Nordisk Version 2)

Die ermittelte Masse beträgt 231,0 kg und die Kosten werden mit 3.903,4 € berechnet. Beides fällt geringer als bei der Version 1 aus (245 kg und 4.204,7 € bzw. 4.250,2 kg). Die Abweichungen zu den realen Angaben betragen -5,7 % beim Gewicht und -2,4 % bei den Kosten.

### 6.3. AKE allgemein Version 2

Abbildung 43 zeigt die modifizierten Abmessungen, die für die Kalkulation des AKE erforderlich sind. Die roten Abmessungen sind nur für die Berechnung der Flächen notwendig.

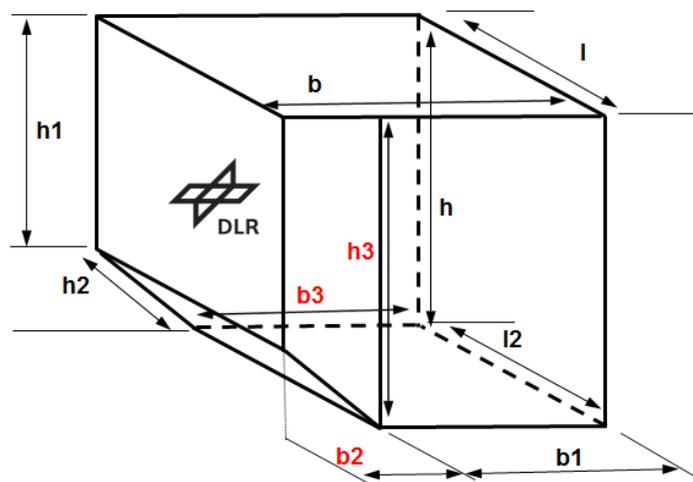


Abbildung 43: Allgemeine Bezeichnung (AKE Nordisk Version 2)

Tabelle 53 zeigt die Berechnungen der einzelnen Flächen. Die Formeln unterscheiden sich hier etwas von denen der Version 1 für den Typ AKE, vergleiche Tabelle 20. Insbesondere die Fläche links unten wird hier über die direkte Angabe des Herstellers ermittelt und nicht über eine Formel abgeschätzt. Tabelle 54 führt die Formeln der Profile auf.

Fläche	Formel
Seite rechts	$h \cdot l$
Seite links	$h_1 \cdot l$
Seite links unten	$h_2 \cdot l$
Seite vorne klein	$b_2 \cdot h_3 - (1/2 \cdot h_3 - h_1)$
Seite vorne	$h \cdot b_3$
Seite hinten klein	$b_2 \cdot h_3 - (1/2 \cdot h_3 - h_1)$
Seite hinten	$h \cdot b_3$
Dach	$b \cdot l$
Bodenplatte	$b_1 \cdot l_1$

Tabelle 53: Berechnung der Flächen (AKE allgemein Version 2)

Profil	Formel
Boden	$h \cdot l$
Boden Tür	$h_1 \cdot l$
Senkrechte	$h_2 \cdot l$
Diagonale	$b_2 \cdot h_3 - (1/2 \cdot h_3 - h_1)$
Horizontale links	$h \cdot b_3$
Dach	$b_2 \cdot h_3 - (1/2 \cdot h_3 - h_1)$

Tabelle 54: Berechnung der Profile (AKE allgemein Version 2)

#### 6.4. AKE des Herstellers Nordisk (AKE PC Nordisk)

Abbildung 44 zeigt einen Luftfrachtcontainer vom Typ AKE der Firma Nordisk mit Seitenwänden aus Polycarbonat und der Tür auf der rechten Seite. Dieser spezifische Luftfrachtcontainer wird im folgenden Text als AKE PC Nordisk bezeichnet. Das Excel-Tabellenblatt zu diesem kann Abbildung 64 entnommen werden. Die Abmessungen zu dieser Ausführung des AKE fasst Tabelle 55 zusammen.



Abbildung 44: AKE Nordisk, eigenes Foto

Maß	Wert [mm]
-----	-----------

h	1.467,3
h1	1.074,8
h2	579,5
h3	1.427,4
b	1.906
b1	1.440
b2	418
b3	1.457
l	1.444,6
l2	1.412

**Tabelle 55: Für die Kalkulation verwendete Abmessungen Flächen (AKE PC Nordisk Version 2) [17]**

Tabelle 56 legt die ermittelten Flächen und die zusätzlich für die Berechnung der Massen erforderlichen Werte dar.

Fläche	Fläche A [m <sup>2</sup> ]	Material	Dichte $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Dicke t [mm]	Flächengewicht [g/m <sup>2</sup> ]	Masse m [kg]
Seite rechts (Tür)	2,12	Dyneema	1,2 [1]	0,9 [16]	940 [16]	3,82
Seite links unten	0,84	5754-H26	2,7 [19]	1,5	4.050	3,39
Seite links	1,55	PC	1,2 [1]		1.800	2,79
Seite vorne klein	0,6	PC				1,07
Seite vorne	2,14	PC				2,01
Seite hinten klein	0,6	PC				1,07
Seite hinten	2,14	PC				3,85
Dach	2,75	Aluminium (5754-H26)	2,7 [19]	0,8	2.160	5,95
Bodenplatte	2,03	Aluminium (AA7021-T6)	2,7 [19]	2,8	7.560	15,4

**Tabelle 56: Flächengewichte und Massen (AKE PC Nordisk Version 2) [17]**

Tabelle 57 listet die verwendeten Abmessungen der Profile auf.

Maß	Wert [mm]
h	1.441,8
h1	1.042,4
h2	559
b	1.860
b1	1.454,5
l	1.398,6
l1	1.426,5

**Tabelle 57: Für die Kalkulation verwendete Abmessungen Profile (AKE PC Nordisk Version 2) [17]**

Tabelle 58 gibt die errechneten Werte der Längen mit den abgeschätzten Gewichten der Profile wieder.

Profil	Länge L [m]	Material	Dichte $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Längengewicht [g/m <sup>2</sup> ]	Masse m [kg]	
Boden	4,31	Aluminium	2,7 [19]	3	12,92	
Boden Tür	1,43			2		3,28
Senkrechte	5,77					13,26
Diagonale	0,56					1,29
Horizontale links	1,4					2,8
Dach	6,52					13,03

**Tabelle 58: Abgeschätzte Längengewichte (AKE PC Nordisk Version 2)**

Tabelle 59 stellt die Kosten der Flächen zusammen. Der Quadratmeterpreis entspricht dem Quadratmeterpreis der Version 1, vergleiche Tabelle 25, Tabelle 32 und Tabelle 39.

Fläche	Quadratmeterpreis [€/m <sup>2</sup> ]	Materialkosten [€]
Seite rechts (Tür)	30	42,39
Seite links unten	25	20,93
Seite links	20	31,05
Seite vorne klein		11,94
Seite vorne		42,76
Seite hinten klein		11,94
Seite hinten		42,76
Dach	20	55,07
Bodenplatte	60	61

**Tabelle 59: Kosten der Flächen (AKE PC Nordisk Version 2)**

Tabelle 60 legt die abgeschätzten Kosten der Profile dar. Der Meterpreis stimmt hier auch mit dem der Version 1 überein, vergleiche Tabelle 26, Tabelle 33 und Tabelle 40.

Profil	Meterpreis [€/m]	Materialkosten [€]
Boden	50	215,38
Boden Tür	30	42,8
Senkrechte	20	288,36
Diagonale		27,95
Horizontale		69,93
Dach		130,34

Tabelle 60: Kosten der Profile (AKE PC Nordisk Version 2)

### Massenaufteilung

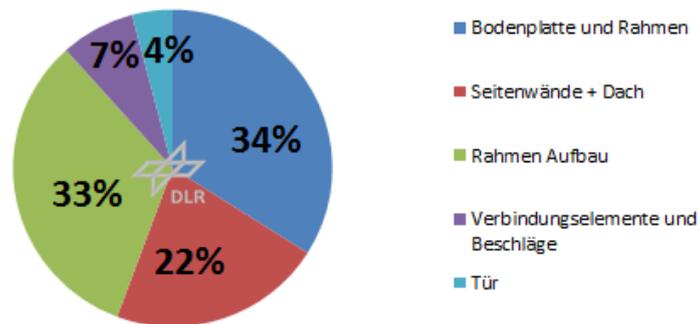


Abbildung 45 gibt einen Überblick über die Aufteilung der Masse.

Komponente	Masse m [kg]
Boden (Bodenplatte + Rahmen)	31,6
Seitenwände + Dach	20,1
Rahmen Aufbau	30,4
Verbindungselemente + Beschläge	7,0
Tür	3,8
<b>Summe</b>	<b>92,9</b>

Tabelle 61: Massenaufteilung (AKE PC Nordisk Version 2)

### Massenaufteilung

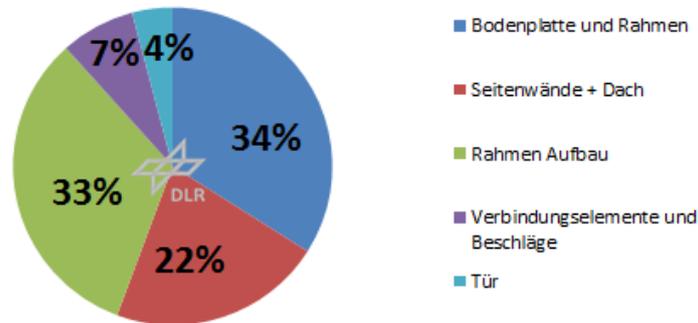


Abbildung 45: Massenaufteilung (AKE PC Nordisk Version 2)

Tabelle 62 mit Abbildung 46 fasst die Aufteilung der Kosten zusammen.

Komponente	Kosten [€]
Bodenplatte + Rahmen	276,4
Seitenwände + Dach	204,1
Rahmen Aufbau	516,6
Verbindungselemente + Beschläge	395,0
Tür	42,8
<b>Summe</b>	<b>1.434,9</b>

Tabelle 62: Kostenaufteilung (AKE PC Nordisk Version 2)

### Kostenaufteilung

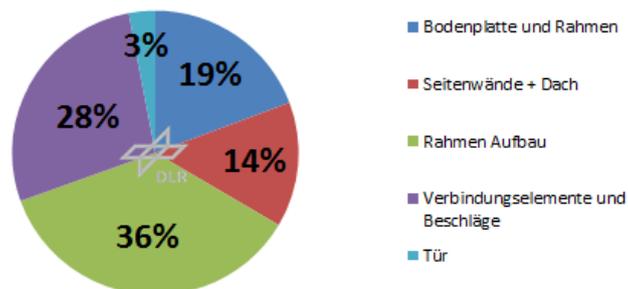


Abbildung 46: Kostenaufteilung (AKE PC Nordisk Version 2)

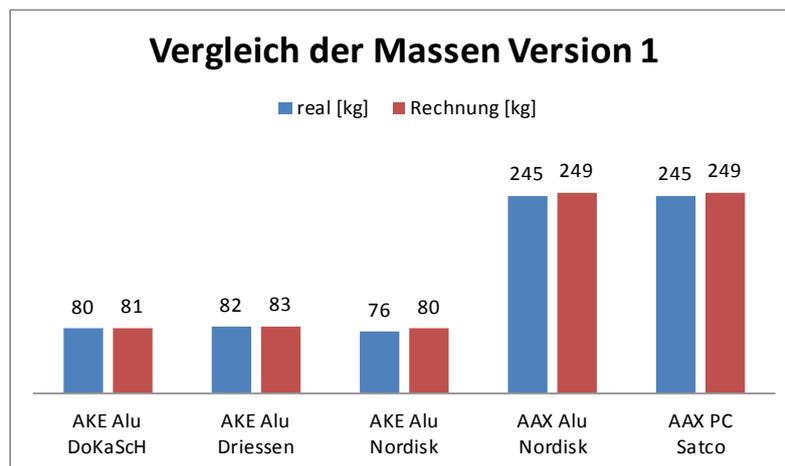
Die errechnete Masse beträgt 92,9 kg. Der Hersteller gibt ein Gewicht von 94 kg an [17]. Die Abweichung beträgt somit -1,2 %. Die errechneten Kosten betragen 1.434,9 €. Die Abweichung zu dem realen Wert von 1.500 € [25] beträgt -4,3 %. Auch diese errechneten Werte sind geringer als bei der Version 1.

## 7. Validierung

### 7.1. Vergleich der Versionen miteinander

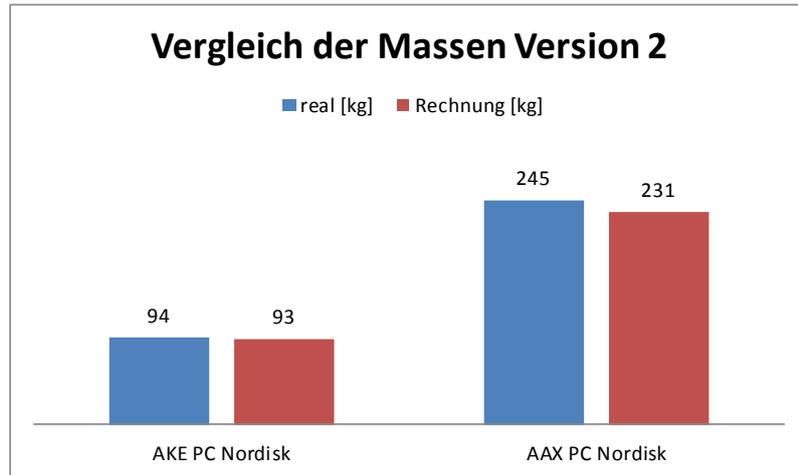
Ein Reiter innerhalb der Excel-Tabelle vergleicht jeweils einen Typ von Luftfrachtcontainer miteinander, siehe Abbildung 65 und Abbildung 66. Die errechneten Werte für Massen und Kosten werden für die jeweiligen Komponenten und deren Summe gegenübergestellt. Die minimalen (grün) und maximalen (rot) Werte sind farblich gekennzeichnet. Die Übersicht dient als zusätzliche Kontrolle. Im Folgenden soll eine detaillierterer Vergleich vorgenommen werden.

Abbildung 47 vergleicht die berechneten und realen Massen der vorgestellten Beispiele (AKE Alu DoKaSch, AKE Alu Driessen, AKE Alu Nordisk, AAX Alu Nordisk, AAX PC Satco) der Version 1. Blau sind die realen Angaben des Leergewichts, die der Hersteller angibt. Rot sind die Ergebnisse der Kalkulation dargestellt. Unabhängig vom Typ ist das Gewicht etwas höher errechnet worden als es tatsächlich ist. Die Abweichung beträgt zwischen minimal 1,3 % und maximal 5,3 %.



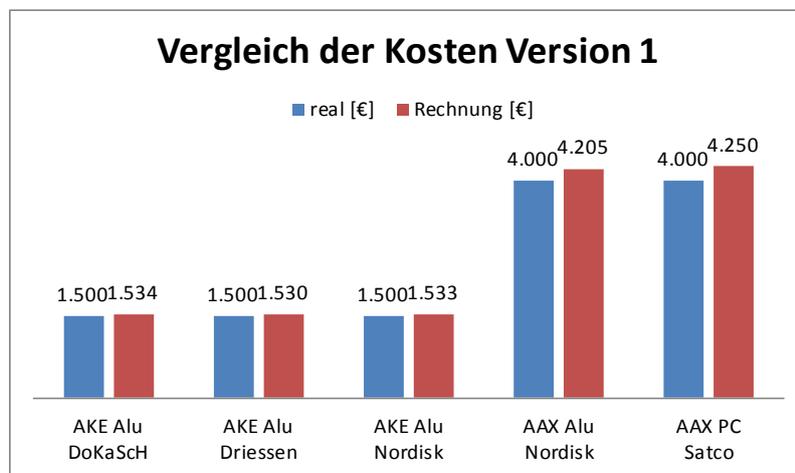
**Abbildung 47: Vergleich der Massen Version 1**

Abbildung 54 zeigt den Vergleich der Massen des AKE PC Nordisk und des AAX PC Nordisk der Version 2. Auch hier ist in blau das vom Hersteller veröffentlichte Gewicht gekennzeichnet. Der rote Balken visualisiert den kalkulierten Betrag. Beide errechneten Werte liegen unter den realen Werten. Für den AKE PC Nordisk ergibt sich so eine Abweichung von -1,17 % und für den AAX PC Nordisk von -5,7 %. Die Ursachen für die Differenz zwischen Version 1 und 2 sind die zu Grunde gelegten Abmessungen in Version 2, welche von Version 1 abweichen, vergleiche auch Tabelle 64 und Tabelle 65.



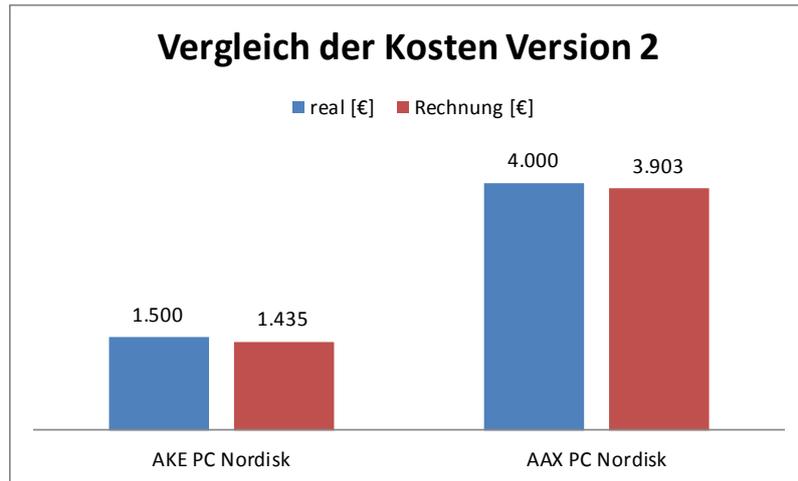
**Abbildung 48: Vergleich der Massen Version 2**

Abbildung 49 vergleicht die Kosten der vorgestellten Beispiele (AKE Alu DoKaSch, AKE Alu Driessen, AKE Alu Nordisk, AAX Alu Nordisk und AAX PC Satco). Die Kosten sind bei allen betrachteten Luftfrachtcontainern über den realen Angaben der Hersteller. Die Abweichungen des AKE sind mit minimal 2 % bis maximal 2,2 % sowie des AAX minimal 5,1 % und maximal 6,3 %.



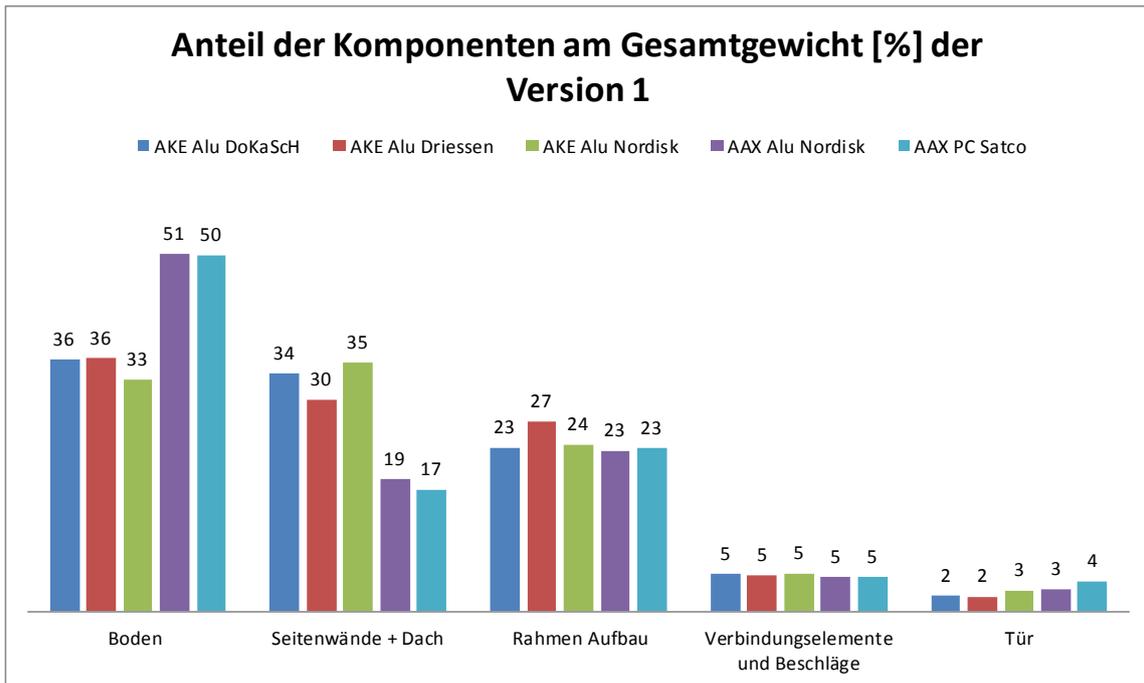
**Abbildung 49: Vergleich der Kosten Version 1**

Abbildung 50 verdeutlicht den Vergleich der Kosten der Version 2. Beide errechneten Beträge sind hier geringer als vom Hersteller angegebenen. Die Abweichung beläuft sich beim AKE PC Nordisk auf -4,3 % und beim auf AAX PC Nordisk auf -2,4 %.



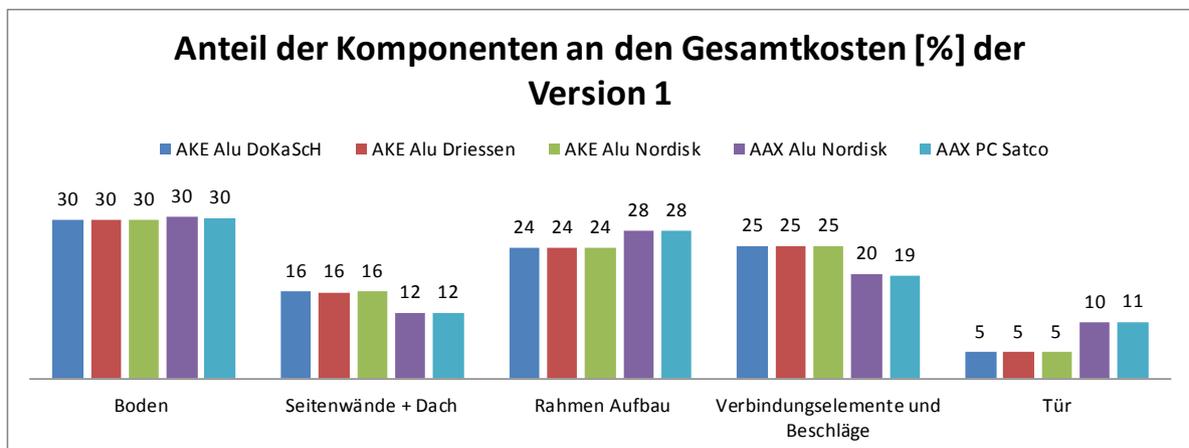
**Abbildung 50: Vergleich der Kosten Version 2**

Abbildung 51 fasst den Anteil der einzelnen Komponenten am Gesamtgewicht der Version 1 zusammen. Der Boden hat dabei unabhängig vom Typ, bis auf eine Ausnahme (AKE Alu Nordisk), den größten Anteil am Gesamtgewicht. Beim AKE Alu DoKaSch und AKE Alu Driessen beträgt der Anteil 36 %, währenddessen der Anteil beim AAX Alu Nordisk und AAX PC Satco mit 50 % bzw. 51 % wesentlich größer ist. Der Boden des AKE Alu Nordisk hat einen Anteil von 33 %. Die Seitenwände tragen bei diesem Luftfrachtcontainer mit 35 % am Gesamtgewicht am meisten zum Anteil bei. Mit 34 % ist der Anteil am Gesamtgewicht des AKE Alu DoKaSch nur 1 % geringer. 30 % beträgt der Anteil des AKE Alu Driessen am Gesamtgewicht. Die Anteile der Seitenwände und des Daches sind mit 19 % bzw. 17 % am Gesamtgewicht eines AAX wesentlich geringer. Die restlichen Komponenten sind größenordnungsmäßig ähnlich, was unabhängig vom Typ des Luftfrachtcontainers ist. Der Anteil vom Rahmen des Aufbaus beträgt zwischen minimal 23 % (AKE Alu DoKaSch, AAX Alu Nordisk und AAX PC Satco) und maximal 27 % (AKE Alu Driessen). Dazwischen liegt der Anteil des AKE Alu Nordisk mit 24 %. Die Verbindungselemente und Beschläge tragen für alle betrachteten Luftfrachtcontainer-Varianten 5 % am Gesamtgewicht bei. Die Tür hat einen Anteil von 2 % (AKE Alu DoKaSch und AKE Alu Driessen), 3 % (AKE Alu Nordisk, AAX Alu Nordisk) und 4 % (AAX PC Satco) am Gesamtgewicht.



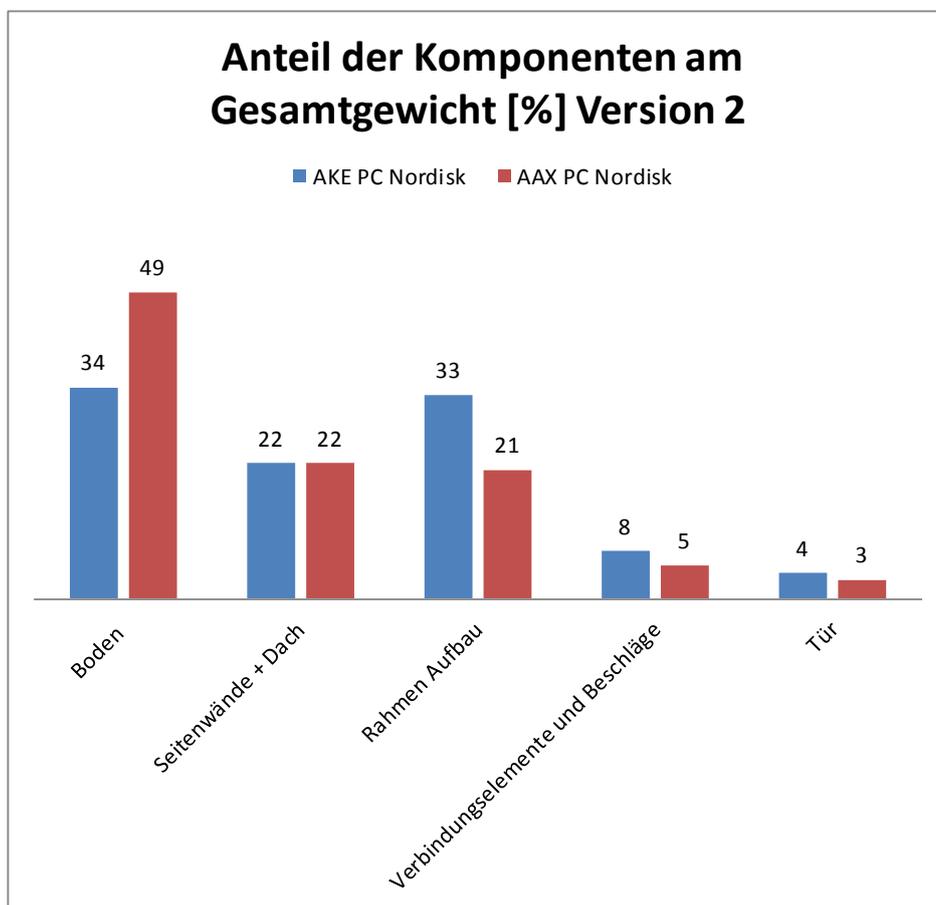
**Abbildung 51: Anteil der einzelnen Komponenten am Gesamtgewicht Version 1 [%]**

Abbildung 52 zeigt, dass die Anteile der Gesamtkosten für den jeweiligen Luftfrachtcontainertyp nahezu gleich sind. So beträgt der Gesamtkostenanteil des Bodens für den AKE 30 % und für den AAX 35 % und ist jeweils der verhältnismäßig größte Betrag. Die Seitenwände und des Dachs haben mit einem Anteil von 16 % für den AKE und 13 % für den AAX den zweitgeringsten Beitrag. Der Rahmen des Aufbaus trägt für den AAX mit 28 % am zweitgrößten zu den Gesamtkosten bei. Für den AKE gilt ein etwas geringerer Anteil von 24 %. Wobei die Verbindungselemente und Beschläge für diesen Typ den zweitgrößten Kostentreiber mit einem Wert von 25 % darstellen. Beim AAX haben die Verbindungselemente und Beschläge nur einen Anteil von 19 % (AAX Alu Nordisk) und 20 % (AAX PC Satco) an den Gesamtkosten. Der Anteil der Tür beträgt beim AKE 5 % und beim AAX 10 % - 11 %.



**Abbildung 52: Anteil der einzelnen Komponenten an den Gesamtkosten Version 1 [%]**

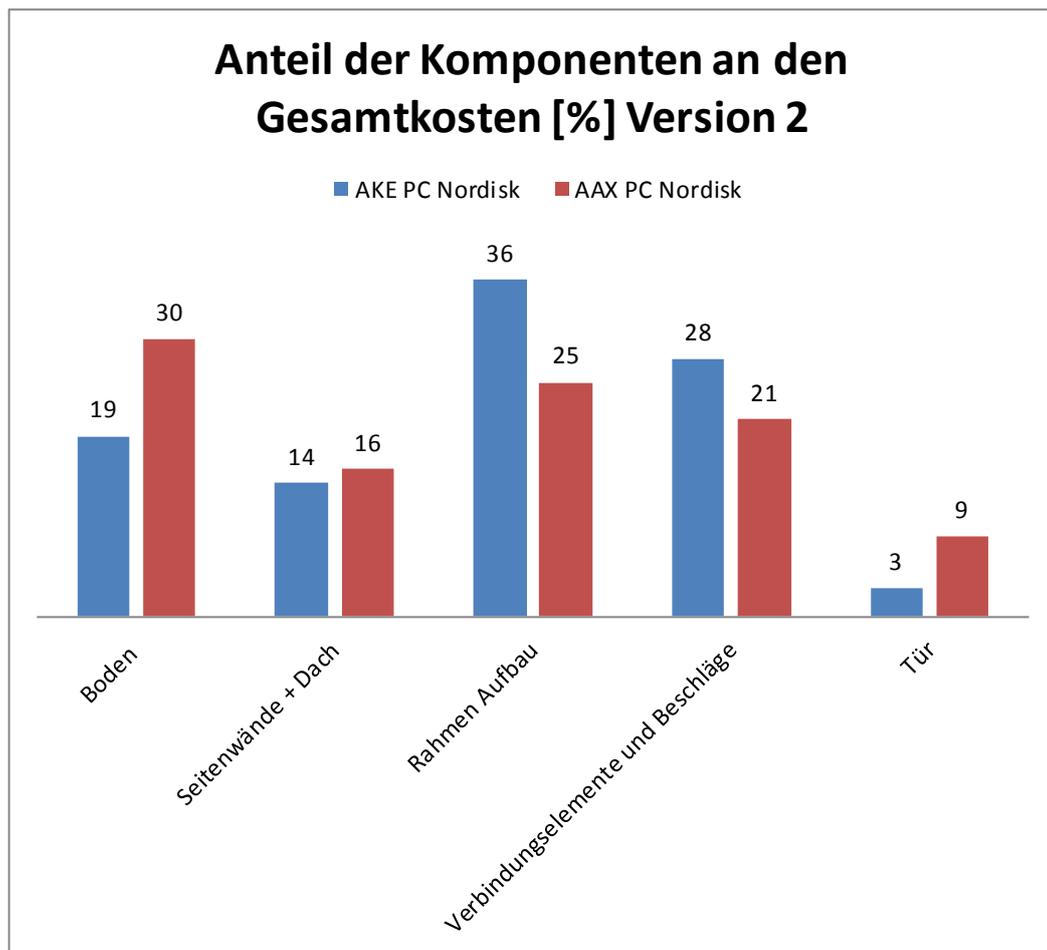
Abbildung 53 stellt den Anteil der Komponenten am Gesamtgewicht der Version 2 dar. Die Größenordnung der Werte entspricht für die Komponente Boden der, der Version 1. Der Anteil der Seitenwände und des Dachs haben hier unabhängig vom Typ einen identischen Beitrag von 22 %. Dieser ist für den AKE PC Nordisk kleiner und für den AAX PC Nordisk größer als bei der Version 1. Ähnlich sieht es bei den Werten für den Rahmen des Aufbaus aus. Auch hier ist der Beitrag mit 33 % für den AKE PC Nordisk höher (vergleiche 23 % - 27 % Version 1) und beim AAX mit 21 % geringer (vergleiche 23 % - 24 % Version 1) als bei der Version 1. Beim AAX ist der Anteil der Verbindungselemente und Beschläge (5 % Version 1 und 2) sowie der Tür (3 % -4 % Version 1 und 3 % bei der Version 2) ähnlich hoch. Für den AKE sind beide Anteile für Verbindungselemente und Beschläge (8 %) und Tür (4 %) bei der Version 2 höher als bei der Version 1.



**Abbildung 53: Prozentualer Anteil der Komponenten am Gesamtgewicht [%] Version 2**

Tabelle 63 veranschaulicht den prozentualen Anteil der Komponenten an den Gesamtkosten der Version 2. Im Vergleich zur Version 1 sind hier die größten Unterschiede zu verzeichnen. Der Boden hat hier nicht wie in der Version 1 den größten Anteil an den Gesamtkosten. Beide Anteile sind hier für den AKE mit 19 % geringer und für den AAX identisch (30 %) zum Wert der Version 1. Die Größenordnung für

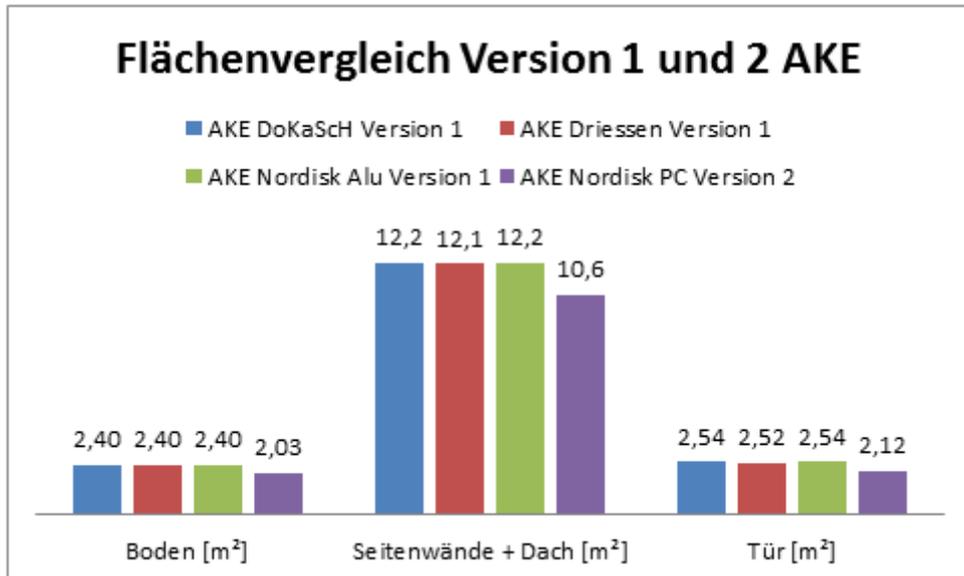
den Anteil der Seitenwände und des Daches ist gleich. Der Anteil des AKE ist geringer (14 % Version 2 und 16 % bei der Version 1) und der des AAX größer (16 % Version 2 und 12 % bei der Version 1) als bei der Version 1. Umgekehrt verhält es sich bei dem Rahmen des Aufbaus. Hier ist für den AKE der Anteil größer (36 % Version 2 und 24 % Version 1) und beim AAX kleiner (28 % Version 1 und 25 % Version 2) als bei der Version 1. Der Anteil der Verbindungselemente und Beschläge ist bei beiden Typen und der Version 2 (AKE 28 % Version 1 statt 25 % Version 2; AAX 21 % Version 2 statt 19 % bzw. 20 % Version 1) größer als bei der Version 1. Der Anteil der Tür hat für den AKE mit 3 % einen niedrigeren Wert als bei der Version 1. Beim AAX ist der Anteil der Tür mit 9 % kleiner als bei der Version 1.



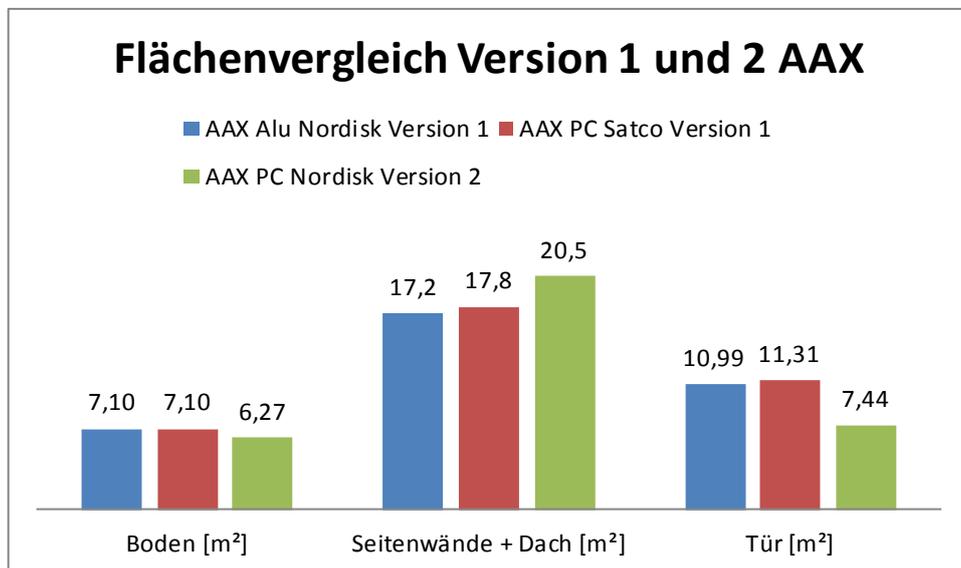
**Tabelle 63: Prozentualer Anteil der Komponenten an den Gesamtkosten [%] Version 2**

Wie man Tabelle 64 entnehmen kann, sind die berechneten Flächen beim AKE der Version 2 geringer als bei der Version 1. Die realen Abmessungen und so auch die der Version 2 sind geringer als bei der Version 1. Version 1 nimmt an, dass die Abmessungen (Höhe, Breite, Länge) für Flächen und Profile identisch sind. In Wirklichkeit ist aber jede Fläche von einem Profil umschlossen, was nur mit einer geringeren Abmessung Fläche im Vergleich zum Profil möglich ist. Tabelle 65 zeigt den Flächenvergleich für den Typ AAX. Die Version 2 errechnet für den Boden und die Tür geringere Werte als bei der Version 1. Die größere Fläche des Seitenwände und des Daches bei der Version 2 kommen über eine verhältnismäßig große Dachfläche zu-

stande, welche bei der Version 1 geringer angenommen wurde. Der verhältnismäßig größere Anteil reduziert dann die Fläche der Tür, da sich beide Komponenten Teil der vorderen Seiten des AAX sind. Dieser Zusammenhang ist auch in der Tabelle zu erkennen.



**Tabelle 64: Flächenvergleich von Version 1 und 2 für den Typ AKE**



**Tabelle 65: Flächenvergleich von Version 1 und 2 für den Typ AAX**

## 7.2. Vergleich mit einem echten Luftfrachtcontainer AKE Alusingen

Ein aus dem Betrieb genommener Luftfrachtcontainer des Typs AKE wurde komplett demontiert und seine Einzelteile gewogen sowie vermessen. Mithilfe der so gewonnenen Angaben kann die Massenberechnung für einen AKE validiert werden. Der Luftfrachtcontainer stammt vom Hersteller Alusingen, siehe Abbildung 54 und wurde vom Flughafen Hannover bezogen. Sein Leergewicht wird mit 80 kg angegeben. Die Tür befindet sich auf der vorderen Seite. Der gesamte Container ist aus Aluminium hergestellt. Die Dicken der einzelnen Komponenten wurden nicht vermessen. Die Firma Alusingen existiert leider nicht mehr, weshalb ein direkter Vergleich von Original, den Herstellerangaben durch ein Datenblatt und der Kalkulation leider nicht möglich ist.



Abbildung 54: Luftfrachtcontainer Alusingen; eigenes Foto

Die zugrunde gelegten Abmessungen sind Tabelle 66 zu entnehmen.

Maß	Wert [mm]
h	1.610
h1	1.100
h2	500
b	1.980
b1	1.525
b2	455
l	1.500

Tabelle 66: Abmessungen AKE Alusingen

Wie bei den zuvor vorgestellten Ergebnissen wird auch hier eine Übersicht der Massenaufteilung in tabellarischer Form, siehe Tabelle 67 und als Tortendiagramm siehe Abbildung 55, vorgenommen. Auch hier ist der Anteil des Bodens an der Gesamtmasse mit 40 % bzw. 32 kg am größten. Der Rahmen des Aufbaus kommt mit 26 % und 21 kg an zweiter Stelle. Dieser Wert ist dicht gefolgt von den Komponenten Sei-

tenwände und Dach mit 20 kg bzw. 25 %. Die Verbindungselemente und Beschläge sowie die Tür haben auch einen nahezu gleichen Wert (3,4 kg bzw. 4 kg).

Komponente	Masse m [kg]
Boden (Bodenplatte + Rahmen)	32
Seitenwände + Dach	20
Rahmen Aufbau	21
Verbindungselemente + Beschläge	3,4
Tür	4
<b>Summe</b>	<b>80,4</b>

Tabelle 67: Massenaufteilung (AKE Alusingen Echtdaten)

Die Kosten konnten nicht validiert werden. Das Mehrgewicht kommt aufgrund der Reparaturpatches zustande.

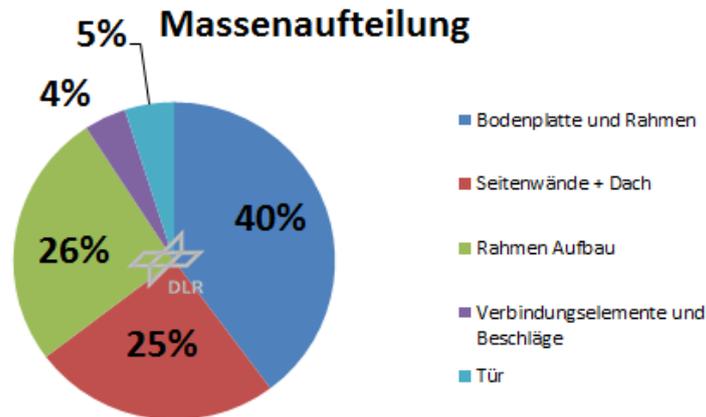
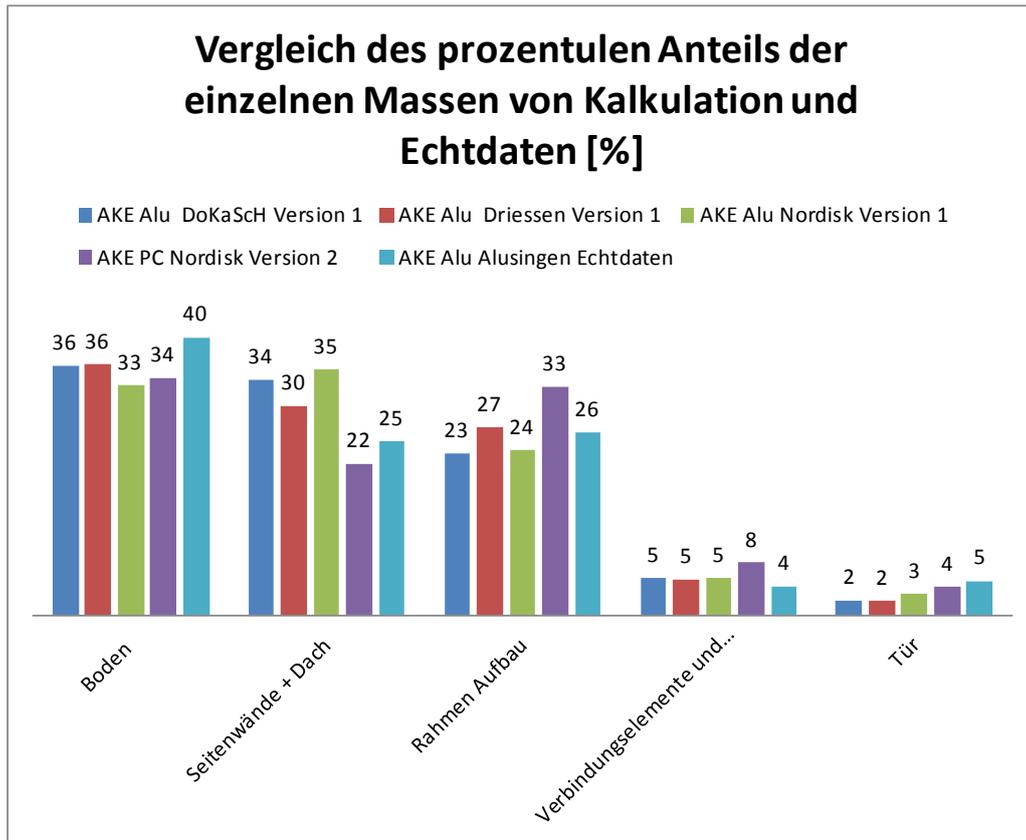


Abbildung 55: Massenaufteilung (AKE Alusingen Echtdaten)

### 7.2.1 Vergleich Original mit Kalkulation

Zuvor wurde nur immer das Gesamtgewicht der Kalkulation mit der Angabe des Herstellers verglichen. Um einen direkten Vergleich zu ziehen, werden im Folgenden die errechneten Daten der Masse des AKE aus den Kalkulationen mit den Echtdaten des AKE Alusingen gegenübergestellt.



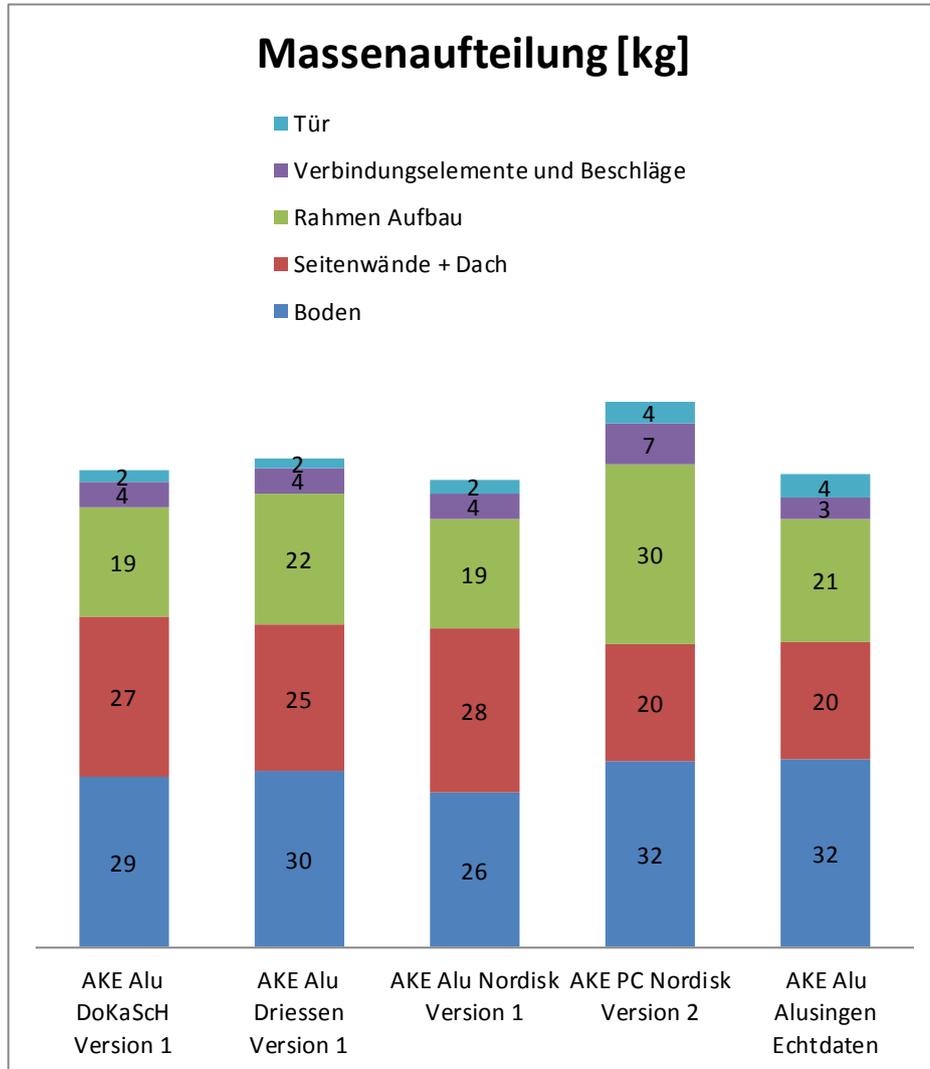
**Tabelle 68: Vergleich der Massen aus Kalkulation und Echtdate[n] AKE gesamt [%]**

Tabelle 68 macht deutlich, dass ein realer Boden einen höheren prozentualen Anteil am Gesamtgewicht hat, als bei den errechneten Versionen. Der Anteil von realen Seitenwänden und Dach, Rahmen, Aufbau sowie der Verbindungselemente und der Beschläge ist geringer im Vergleich zu den errechneten Werten. Der Anteil der Tür stimmt mit dem errechneten Wert der Version 2 überein. Da von 5 verschiedenen Luftfrachtcontainern des Typs AKE die Massen vorliegen, kann ein Mittelwert berechnet werden, siehe Tabelle 69. Hier ist ein klares Ranking zu erkennen. Den größten Anteil hat der Boden mit 35,8 %, den zweitgrößten Anteil haben die Seitenwände und das Dach (29,2 %). Diesem Anteil wird dicht gefolgt vom Rahmen des Aufbaus mit 26,6 %. Den zweitkleinsten Anteil haben die Verbindungselemente und Beschläge (5,4 %). Die Tür hat den kleinsten Anteil an der Gesamtmasse (3,2 %).

Komponente	Mittlerer Anteil [%]
Boden	35,8
Seitenwände und Dach	29,2
Rahmen Aufbau	26,6
Verbindungselemente + Beschläge	5,4
Tür	3,2

**Tabelle 69: Mittelwert der Massenanteile AKE gesamt**

Tabelle 70 vergleicht die Massen der Kalkulation mit den Echtdateen. Die Vergleichbarkeit ist nicht vollständig gegeben, da die verschiedenen Luftfrachtcontainer unterschiedliche Gesamtgewichte haben. Dennoch hat die Version 2 mit den Echtdateen bei drei der insgesamt fünf Komponenten Übereinstimmungen. Die Größenordnungen sind aber bei allen gleich.



**Tabelle 70: Massenaufteilung AKE gesamt im Vergleich [kg]**

Tabelle 70 zeigt die Massen der einzelnen Komponenten für die jeweils 5 verschiedenen Luftfrachtcontainer auf. Deutlich werden hier noch einmal die unterschiedlichen Gesamtgewichte dieser. der Einzelgewichte sind miteinander verglichen aber in der selben Größenordnung. Tabelle 71 gibt daher ein mittleres Gewicht der einzelnen Komponenten und des Gesamtgewichtes über die fünf betrachteten Luftfrachtcontainer des Typs AKE wider.

<b>Komponente</b>	<b>Mittleres Gewicht [kg]</b>
Boden	29,8
Seitenwände und Dach	24
Rahmen Aufbau	22,2
Verbindungselemente	4,4
Tür	2,8
Gesamtgewicht	83,4

**Tabelle 71: Mittleres Gewicht AKE gesamt [kg]**

Das Ranking fällt wie bei Tabelle 69 aus.

## 8. Zusammenfassung

Dieser Bericht beschreibt die Vorgehensweise einer Kalkulation zur Ermittlung der Massen und Kosten von Luftfrachtcontainern. Die Kalkulation wird prinzipiell an zwei unterschiedlichen Typen (AKE und AAX) demonstriert. Es werden 2 Versionen für die Kalkulation vorgestellt, die sich in ihrem Detaillierungsgrad unterscheiden. An insgesamt fünf Beispielen (zwei AAX und drei AKE von jeweils unterschiedlichen Herstellern) wird die Kalkulation vorgestellt. Version 2 ist wesentlich detaillierter als die erste Version, benötigt aber mehr Informationen, die meistens nur Herstellern oder Anwendern bekannt sind. Daher ist diese Version auch insbesondere für Hersteller oder Anwender von Interesse. Zur Validierung wurden beide Versionen miteinander verglichen. Version 1 liefert geringfügig höhere und Version 2 ermittelt geringfügig niedrigere Werte als die Angaben des Herstellers. Die Abweichungen für die Gesamtmasse verglichen zu den Herstellerangaben liegt für die Version 1 bei maximal 5 % und minimal 1,07 % für die Version 2 bei maximal -5,7 % und minimal -1,2 %. Die Gesamtkosten weichen bei der Version 1 maximal 6,3 % und minimal 2,2 % sowie für die Version 2 maximal -4,3 % und minimal -2,4 % von den Angaben des Herstellers ab. Die Kosten werden somit etwas ungenauer berechnet als die Massen. Beide Versionen liefern dennoch verlässliche Werte. Es wurde ein Vergleich der Kalkulationen mit den realen Daten eines Luftfrachtcontainers, welcher in seine Einzelteile zerlegt und anschließend gewogen und vermessen wurde, durchgeführt. Durch die Anzahl der Beispiele konnte ein Ranking der einzelnen Gewichtstreiber festgestellt werden. Der Boden hat immer den größten Anteil am Gesamtgewicht. Die Seitenwände und das Dach sind zweitgrößte Gewichtstreiber, gefolgt vom Rahmen des Aufbaus. Verbindungselemente und Beschläge sowie die Tür haben einen geringen Anteil am Gesamtgewicht. Die Kalkulation kann noch mit einem vorhandenen Materialkatalog und einer CLT-Berechnung verbunden werden, um insbesondere einen Link für Alternative Materialien zu schaffen. So kann das Flächengewicht noch schneller ermittelt werden. Die hier betrachteten Luftfrachtcontainer bestehen überwiegend aus Aluminium oder Polykarbonat. Als Erweiterung kann man hier auf dem Markt erhältliche Varianten aus anderen Werkstoffen miteinbeziehen. Bei diesen wird in erster Linie das Material der Seitenwände substituiert ([6], [7] und [12]), daher ist auch bei diesen der Boden weiterhin der größte Gewichtstreiber.

# 9. Anhang

AAX Alu Nordisk

Längen		Seitenwände: 2.700 g/m <sup>2</sup> 30 €/m <sup>2</sup>		Seitenwände: 44,1 kg 18 % 490 € 12 % Summe Aufbau 110,9 kg 45 %	
Höhe		Dach: 2.700 g/m <sup>2</sup>	30 €/m <sup>2</sup>	Dach: 2,3 kg 1 %	26 € 1 % 2.112 € 50 %
h	2.373 mm	Tür: 700 g/m <sup>2</sup>	40 €/m <sup>2</sup>	Tür: 7,7 kg 3 %	439 € 10 %
h1	468 mm	Bodenplatte: 10.800 g/m <sup>2</sup>	100 €/m <sup>2</sup>	Bodenplatte: 76,6 kg 31 %	710 € 17 %
h2, (R)	1.905 mm	Profil Boden: 5 kg/m	55 €/m	Rahmen Aufbau: 56,7 kg 23 %	1.156 € 28 % Summe Boden 126,0 kg 51 %
Breite		Profil Boden (Tür): 3,5 kg/m	45 €/m	Rahmen Boden: 49,3 kg 20 %	563 € 13 % 1.273 € 30 %
b	2.235 mm	Profil vert.: 2 kg/m	40 €/m		
b1	268 mm	Profil Bogen: 2 kg/m	40 €/m		
Länge		Profil hor.: 2 kg/m	40 €/m		
	3.175 mm	Profil Türbalken: 1,8 kg/m	45 €/m		
		Profil hor. (Dach): 1,8 kg/m	35 €/m		
Verbindungselemente					
Nieten	450 Stck.	Nieten	0,012 kg/Stck. 1,20 €/Stck.	Nieten:	5,4 kg 2 % 540 € 13 %
Eckverbinder	12 Stck.	Eckverbinder	0,15 kg/Stck. 15,00 €/Stck.	Eckverbinder:	1,8 kg 1 % 180 € 4 %
		Beschläge	5 kg 100,00 €	Beschläge:	5 kg 2 % 100 € 2 %

Struktur: 236,8 kg 95 % 3.385 € 80 %  
 Verbindungselemente: 7,2 kg 3 % 720 € 17 %  
 Beschläge: 5,0 kg 2 % 100 € 2 %

**Summe gesamt 249,0 kg 4204,7 €**

Flächen	Fläche	Masse	Materialkosten
Seite hinten	7,53 m <sup>2</sup>	20,34 kg	226,03 €
Seite links	4,41 m <sup>2</sup>	11,90 kg	132,20 €
Seite rechts	4,41 m <sup>2</sup>	11,90 kg	132,20 €
Seite vorne (Tür)	10,99 m <sup>2</sup>	7,69 kg	439,47 €
Dach	0,85 m <sup>2</sup>	2,30 kg	25,53 €
<b>Summe</b>	<b>28,19 m<sup>2</sup></b>	<b>54,13 kg</b>	<b>955,43 €</b>
Bodenplatte	7,10 m <sup>2</sup>	76,6 kg	769,61 €
<b>Summe</b>		<b>130,8 kg</b>	<b>1.665,04 €</b>

Profile	Länge	Masse	Materialkosten
Boden	7,65 m	38,23 kg	420,48 €
Boden (Tür)	3,18 m	11,11 kg	142,88 €
Senkrechte	5,68 m	11,36 kg	227,28 €
Bogen	5,98 m	11,97 kg	239,39 €
Horizontale	7,65 m	15,29 kg	305,80 €
Horizontale Dach	6,89 m	12,39 kg	241,01 €
Türbalken	3,18 m	5,72 kg	142,88 €
<b>Summe</b>	<b>40,19 m</b>	<b>106,07 kg</b>	<b>1.719,70 €</b>
<b>Gesamtsumme</b>		<b>236,84 kg</b>	<b>3384,74 €</b>

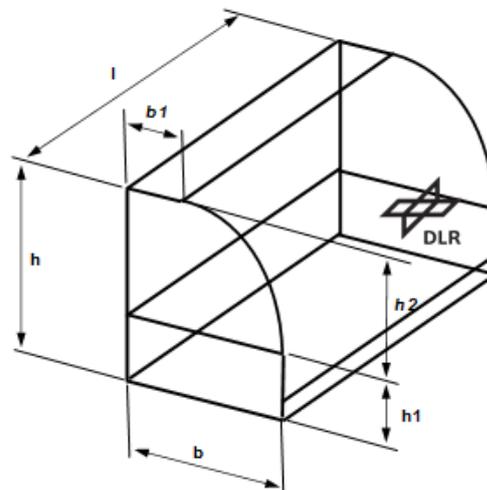


Abbildung 56: AAX Alu Nordisk Version 1

## 9. Anhang

Berechnung von Laminatdicken												
		$\phi_F$	Harzdichte:									
		0,55	1,1									
Schicht	Anzahl [-]	Flächengewicht [g/m²]	Mat.	Faserdichte $\rho_F$ [g/cm³]	Laminat-Dicke t [mm]	Laminat-Dichte $\rho_L$ [g/cm³]	Laminat-Flächengewicht [g/m²]	Fläche [m²]	Laminat-Masse [g]	Faser-Masse [g]	Harz-Masse [g]	Fasergewicht [-]
1	4	280	GfK CfK	1,78	1,14	1,47	1686,3	1	1686,3	1120,0	566,3	0,664
2	0	500	GfK CfK	1,78	0,00	1,47	0,0	1	0,0	0,0	0,0	0,000
3	0	163	GfK CfK	1,78	0,00	1,47	0,0	1	0,0	0,0	0,0	0,000
4	0	200	GfK CfK	1,78	0,00	1,47	0,0	1	0,0	0,0	0,0	0,000
5	0	290	GfK CfK	1,78	0,00	1,47	0,0	1	0,0	0,0	0,0	0,000
6	0	500	GfK CfK	1,78	0,00	1,47	0,0	1	0,0	0,0	0,0	0,000
7	0	61	Aramid	1,44	0,00	1,29	0,0	1	0,0	0,0	0,0	0,000
Schicht	Dicke [mm]	Raumgewicht [kg/m³]	Mat.	Dichte $\rho_F$ [g/cm³]	Dicke t [mm]	Dichte $\rho_L$ [g/cm³]	Flächengewicht [g/m²]	Fläche [m²]	Masse [g]			
8	6	85	Schaum	0,09	6,00	0,09	510	1	510,0			
9	0	150	Balsa	0,15	0,00	0,15	0	1	0,0			
10	0	900	Sperholz	0,90	0,00	0,90	0	1	0,0			
11	0	940	PE	0,94	0,00	0,94	0	1	0,0			
12	0,5	1500	Gummi	1,50	0,50	1,50	750	1	750,0			
13	0	2700	Alublech	2,70	0,00	2,70	0	1	0,0			
14	0	1200	Polykarbonat	1,2	2,00	1,20	0	1	0,0			
Ref 1	4	2700	Alublech	2,70	4,00	2,70	10800	1	10800,0	Satco		
Ref 2	3,7	2700	Alublech	2,70	3,70	2,70	9990	1	9990,0	DoKaSch		
gesamt:					t [mm]		[g/m²]		[g]	[g]	[g]	
					7,64		2946,3		2946	1120	566	
							Ref 1					
							27,3%					
							Ref 2					
							29,5%					
Sandwich-Plattenbiegesteifigkeit (nur Steiner-Anteil)				Plattenbiegesteifigkeit monolithisch								
t1	0,75 mm	E1	70000 MPa	t	Ref 1	4 mm	t	Ref 2	3,7 mm			
t2	0,75 mm	E2	70000 MPa	E		70000 MPa	E		70000 MPa			
tk	2 mm			v		0,3	v		0,3			
e	2,75 mm											
K	199 Nm²/m			K		410 Nm²/m	K		325 Nm²/m			

Abbildung 57: Flächengewicht des Bodens

## 9. Anhang

Berechnung von Laminatdicken				$\phi_F$	Harzdichte:								
Schicht	Anzahl	Flächengewicht	Mat.	Faserdichte	Laminat-Dicke	Laminat-Dichte	Laminat-Flächengewicht	Fläche	Laminat-Masse	Faser-Masse	Harz-Masse	Fasergewichtsanteil	
	[-]	[g/m <sup>2</sup> ]		$\rho_F$ [g/cm <sup>3</sup> ]	t [mm]	$\rho_L$ [g/cm <sup>3</sup> ]	[g/m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[g]	[g]	[g]	[-]	
1	4	280	CFK	1,78	1,14	1,47	1686,3	1	1686,3	1120,0	566,3	0,664	
2	0	500	CFK	1,78	0,00	1,47	0,0	1	0,0	0,0	0,0	0,000	
3	0	163	CFK	1,78	0,00	1,47	0,0	1	0,0	0,0	0,0	0,000	
4	0	200	CFK	1,78	0,00	1,47	0,0	1	0,0	0,0	0,0	0,000	
5	0	290	CFK	1,78	0,00	1,47	0,0	1	0,0	0,0	0,0	0,000	
6	0	500	CFK	1,78	0,00	1,47	0,0	1	0,0	0,0	0,0	0,000	
7	0	61	Aramid	1,44	0,00	1,29	0,0	1	0,0	0,0	0,0	0,000	
Schicht	Dicke	Raumgewicht	Mat.	Dichte	Dicke	Dichte	Flächengewicht	Fläche	Masse				
	[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]		$\rho_F$ [g/cm <sup>3</sup> ]	t [mm]	$\rho_L$ [g/cm <sup>3</sup> ]	[g/m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[g]				
8	6	85	Schaum	0,09	6,00	0,09	510	1	510,0				
9	0	150	Balsa	0,15	0,00	0,15	0	1	0,0				
10	0	900	Sperholz	0,90	0,00	0,90	0	1	0,0				
11	0	940	PE	0,94	0,00	0,94	0	1	0,0				
12	0,5	1500	Gummi	1,50	0,50	1,50	750	1	750,0				
13	0	2700	Alublech	2,70	0,00	2,70	0	1	0,0				
14	2	1200	Polykarbonat	1,2	2,00	1,20	2400	1	2400,0				
Ref 1	1	2700	Alublech	2,70	1,00	2,70	2700	1	2700,0				
Ref 2	2	1200	Polykarbonat	1,20	2,00	1,20	2400	1	2400,0				
gesamt:					t [mm]		[g/m <sup>2</sup> ]		[g]	[g]	[g]		
					7,64		2946,3		2946	1120	566		
							Ref 1						
							Ref 2						
							109,1%						
							122,8%						
Sandwich-Plattenbiegesteifigkeit (nur Steiner-Anteil)				Plattenbiegesteifigkeit monolithisch									
t1	0,75 mm	E1	70000 MPa	t	1 mm	t	2 mm						
t2	0,75 mm	E2	70000 MPa	E	70000 MPa	E	2300 MPa						
tk	2 mm			v	0,3	v	0,3						
e	2,75 mm												
K	199 Nm <sup>2</sup> /m			K	6 Nm <sup>2</sup> /m	K	2 Nm <sup>2</sup> /m						

Abbildung 58: Flächengewichte der Seitenwände



# 9. Anhang

AKE Alu DoKaSCH Version 1

Flächen-Bauteile	Profil-Bauteile	Seitenwände: 2.160 g/m <sup>2</sup>	20 €/m <sup>2</sup>	Seitenwände 20,7 kg 25 % 186,9 € 12 %	Summe Aufbau 47,9 kg 59 %
Höhe	Höhe	Seitenwand schräg: 3.240 g/m <sup>2</sup>	25 €/m <sup>2</sup>	Dach 6,7 kg 8 % 61,7 € 4 %	700,3 € 46 %
h	h	Dach: 2.160 g/m <sup>2</sup>	20 €/m <sup>2</sup>	Tür 1,8 kg 2 % 76,2 € 5 %	
h1	h1	Tür: 700 g/m <sup>2</sup>	30 €/m <sup>2</sup>	Bodenplatte 17,5 kg 22 % 143,8 € 9 %	Summe Boden 28,9 kg 36 %
h2	h2	Bodenplatte: 7.290 g/m <sup>2</sup>	60 €/m <sup>2</sup>	Rahmen Aufbau 18,8 kg 23 % 375,6 € 24 %	453,4 € 30 %
Breite	Breite	Profil Boden: 1,85 kg/m	50 €/m	Rahmen Boden 11,5 kg 14 % 309,6 € 20 %	
b	b	Profil vert.: 1 kg/m	20 €/m		
b1	b1	Profil hor. (Dach): 1 kg/m	20 €/m		
b2	b2				
Länge	Länge				
l	l				
Verbindungselemente					
	Nieten 300 Stck.	Nieten 0,01 kg/Stck.	1,0 €/Stck.	Nieten: 3,0 kg 4 % 300,0 € 20 %	
	Eckverbinder 8 Stck.	Eckverbinder 0,1 kg/Stck.	7,5 €/Stck.	Eckverbinder: 0,8 kg 1 % 60,0 € 4 %	
		Beschläge 0,5 kg	20,0 €	Beschläge 0,5 kg 1 % 20,0 € 1 %	

Struktur: 76,8 kg 95 % 1153,7 € 75 %  
 Verbindungselemente: 3,8 kg 5 % 360,0 € 23 %  
 Beschläge: 0,5 kg 1 % 20,0 € 1 %

Summe gesamt 81,1 kg 1.533,7 €  
 Summe real 80,0 kg

Flächen	Fläche	Masse	Materialkosten
Seite rechts	2,49 m <sup>2</sup>	5,39 kg	49,89 €
Seite links	1,88 m <sup>2</sup>	4,06 kg	37,61 €
Seite links unten	0,92 m <sup>2</sup>	2,99 kg	23,03 €
Seite vorne klein	0,64 m <sup>2</sup>	1,38 kg	12,78 €
Seite vorne	2,54 m <sup>2</sup>	1,78 kg	76,19 €
Seite hinten gesamt	3,18 m <sup>2</sup>	6,87 kg	63,57 €
Dach	3,08 m <sup>2</sup>	6,66 kg	61,67 €
Summe	14,74 m <sup>2</sup>	29,12 kg	324,74 €
Bodenplatte	2,40 m <sup>2</sup>	17,5 kg	143,77 €
Summe		46,6 kg	468,5 €
<b>Profile</b>			
Boden	6,19 m	11,46 kg	309,60 €
Senkrechte	8,96 m	8,96 kg	179,12 €
Diagonale	1,20 m	1,20 kg	24,02 €
Horizontale	1,53 m	1,53 kg	30,68 €
Dach	7,09 m	7,09 kg	141,76 €
Summe	24,97 m	30,23 kg	685,18 €
Gesamtsumme		76,82 kg	1153,69 €

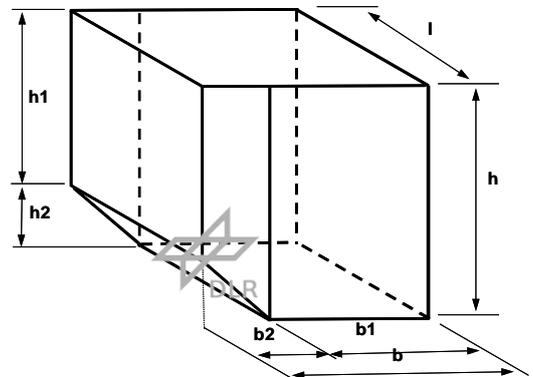


Abbildung 60: AKE Alu DoKaSCH Version 1

# 9. Anhang

AKE Alu Driessen Version 1

Flächen-Bauteile	Profil-Bauteile	Seitenwände: 1.890 g/m <sup>2</sup>	20 €/m <sup>2</sup>	Seitenwände 18,3 kg 22 % 185,6 € 12 %	Summe Aufbau 49,2 kg 59 %
Höhe	Höhe	Seitenwand schräg: 3.240 g/m <sup>2</sup>	25 €/m <sup>2</sup>	Dach 6,7 kg 8 % 61,7 € 4 %	697,0 € 46 %
h	h	Dach: 2.160 g/m <sup>2</sup>	20 €/m <sup>2</sup>	Tür 1,8 kg 2 % 75,6 € 5 %	
h1	h1	Tür: 700 g/m <sup>2</sup>	30 €/m <sup>2</sup>	Bodenplatte 17,5 kg 21 % 143,8 € 9 %	Summe Boden 29,9 kg 36 %
h2	h2	Bodenplatte: 7.290 g/m <sup>2</sup>	60 €/m <sup>2</sup>	Rahmen Aufbau 22,4 kg 27 % 374,1 € 24 %	453,4 € 30 %
Breite	Breite	Profil Boden: 2 kg/m	50 €/m	Rahmen Boden 12,4 kg 15 % 309,6 € 20 %	
b	b	Profil vert.: 1,2 kg/m	20 €/m		
b1	b1	Profil hor. (Dach): 1,2 kg/m	20 €/m		
b2	b2				
Länge	Länge				
l	l				
Verbindungselemente					
	Nieten 300 Stck.	Nieten 0,01 kg/Stck.	1,0 €/Stck.	Nieten: 3,0 kg 4 % 300,0 € 20 %	
	Eckverbinder 8 Stck.	Eckverbinder 0,1 kg/Stck.	7,5 €/Stck.	Eckverbinder: 0,8 kg 1 % 60,0 € 4 %	
		Beschläge 0,5 kg	20,0 €	Beschläge 0,5 kg 1 % 20,0 € 1 %	

Struktur: 79,1 kg 95 % 1.150,4 € 75 %  
 Verbindungselemente: 3,8 kg 5 % 360,0 € 24 %  
 Beschläge: 0,5 kg 1 % 20,0 € 1 %

Summe gesamt 83,4 kg 1.530,4 €  
 Summe real 82,0 kg

Flächen	Fläche	Masse	Materialkosten
Seite rechts	2,48 m <sup>2</sup>	4,68 kg	49,52 €
Seite links	1,86 m <sup>2</sup>	3,52 kg	37,25 €
Seite links unten	0,92 m <sup>2</sup>	2,99 kg	23,03 €
Seite vorne klein	0,63 m <sup>2</sup>	1,20 kg	12,67 €
Seite vorne	2,52 m <sup>2</sup>	1,76 kg	75,63 €
Seite hinten gesamt	3,15 m <sup>2</sup>	5,96 kg	63,09 €
Dach	3,08 m <sup>2</sup>	6,66 kg	61,67 €
Summe	14,65 m <sup>2</sup>	26,77 kg	322,85 €
Bodenplatte	2,40 m <sup>2</sup>	17,5 kg	143,77 €
Summe		44,2 kg	466,6 €
<b>Profile</b>	<b>Länge</b>	<b>Masse</b>	
Boden	6,19 m	12,38 kg	309,60 €
Senkrechte	8,88 m	10,66 kg	177,68 €
Diagonale	1,20 m	1,44 kg	24,02 €
Horizontale links	1,53 m	1,84 kg	30,68 €
Dach	7,09 m	8,51 kg	141,76 €
Summe	24,90 m	34,83 kg	683,74 €
Gesamtsumme		79,07 kg	1.150 €

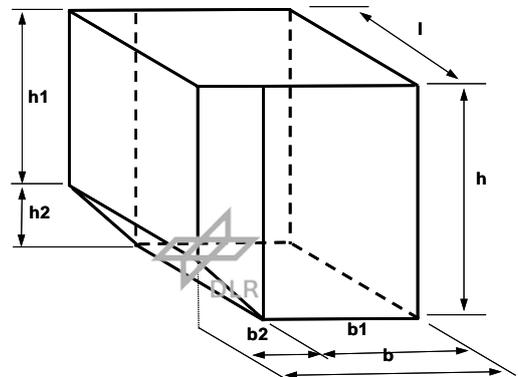


Abbildung 61: AKE Alu Driessen Version 1

# 9. Anhang

AKE Alu Nordisk Version 1

Flächen-Bauteile	Profil-Bauteile	Seitenwände: 2.160 g/m <sup>2</sup>	20 €/m <sup>2</sup>	Seitenwände 21,4 kg 27 %	186,5 € 12 %	Summe Aufbau 49,2 kg 62 %
Höhe	Höhe	Seitenwand schräg: 4.050 g/m <sup>2</sup>	25 €/m <sup>2</sup>	Dach 6,7 kg 8 %	61,6 € 4 %	699,5 € 46 %
h	h	Dach: 2.160 g/m <sup>2</sup>	20 €/m <sup>2</sup>	Tür 2,4 kg 3 %	76,1 € 5 %	
h1	h1	Bodenplatte: 7.560 g/m <sup>2</sup>	60 €/m <sup>2</sup>	Bodenplatte 18,1 kg 23 %	143,8 € 9 %	Summe Boden 26,2 kg 33 %
h2	h2	Profil Boden: 1,3 kg/m	50 €/m	Rahmen Aufbau 18,8 kg 24 %	375,3 € 24 %	453,4 € 30 %
Breite	Breite	Profil vert.: 1 kg/m	20 €/m	Rahmen Boden 8,0 kg 10 %	309,6 € 20 %	
b	b	Profil hor. (Dach): 1 kg/m	20 €/m			
b1	b1					
b2	b2					
Länge	Länge					
l	l					
Verbindungselemente						
	Nieten 300 Stck.	Nieten 0,01 kg/Stck.	1,0 €/Stck.	Nieten: 3,0 kg 4 %	300,0 € 20 %	
	Eckverbinder 8 Stck.	Eckverbinder 0,1 kg/Stck.	7,5 €/Stck.	Eckverbinder: 0,8 kg 1 %	60,0 € 4 %	
		Beschläge 0,5 kg	20,0 €	Beschläge 0,5 kg 1 %	20,0 € 1 %	

Struktur: 75,3 kg 95 % 1.152,9 € 75 %  
 Verbindungselemente: 3,8 kg 5 % 360,0 € 23 %  
 Beschläge: 0,5 kg 1 % 20,0 € 1 %

Summe gesamt 79,6 kg 1.532,9 €  
 Summe real 76,0 kg

Flächen	Fläche	Masse	Materialkosten
Seite rechts	2,49 m <sup>2</sup>	5,38 kg	49,86 €
Seite links	1,88 m <sup>2</sup>	4,06 kg	37,58 €
Seite links unten	0,92 m <sup>2</sup>	3,72 kg	22,95 €
Seite vorne klein	0,63 m <sup>2</sup>	1,37 kg	12,68 €
Seite vorne	2,54 m <sup>2</sup>	2,39 kg	76,15 €
Seite hinten gesamt	3,17 m <sup>2</sup>	6,85 kg	63,45 €
Dach	3,08 m <sup>2</sup>	6,65 kg	61,57 €
Summe	14,71 m <sup>2</sup>	30,42 kg	324,24 €
Bodenplatte	2,40 m <sup>2</sup>	18,1 kg	143,77 €
Summe		48,5 kg	468,0 €
<b>Profile</b>			
Boden	6,19 m	8,05 kg	309,60 €
Senkrechte	8,95 m	8,95 kg	179,00 €
Diagonale	1,20 m	1,20 kg	23,93 €
Horizontale links	1,53 m	1,53 kg	30,68 €
Dach	7,08 m	7,08 kg	141,64 €
Summe	24,95 m	26,81 kg	684,85 €
Gesamtsumme		75,35 kg	1.152,86 €

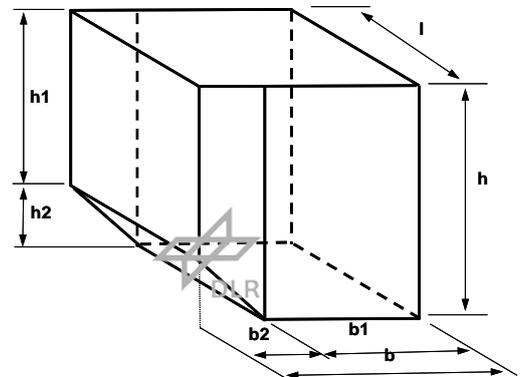


Abbildung 62: AKE Alu Nordisk Version 1

# 9. Anhang

AAX PC Nordisk

Flächen	Profile	Seitenwände: 2.400 g/m <sup>2</sup>	Dach: 2.700 g/m <sup>2</sup>	Tür: 940 g/m <sup>2</sup>	Bodenplatte: 10.800 g/m <sup>2</sup>	Profil Boden: 5 kg/m	Profil Boden (Tür): 3,4 kg/m	Profil vert.: 2 kg/m	Profil Bogen: 2 kg/m	Profil hor.: 2 kg/m	Profil Türbalken: 1,8 kg/m	Profil hor. (Dach): 1,8 kg/m	Seitenwände: 40,4 kg 18 %	Dach: 9,8 kg 4 %	Tür: 7,0 kg 3 %	Bodenplatte: 67,7 kg 29 %	Rahmen Aufbau: 47,8 kg 21 %	Rahmen Boden: 46,1 kg 20 %	Nieten: 5,4 kg 2 %	Eckverbinder: 1,8 kg 1 %	Beschläge: 5 kg 2 %	Struktur: 218,8 kg 95 %	Verbindungselemente: 7,2 kg 3 %	Beschläge: 5,0 kg 2 %	Summe Aufbau 105,0 kg 45 %	Summe Boden 113,8 kg 49 %	Summe 3.903,4 €
Höhe h	2.332,9 mm	2.400 g/m <sup>2</sup>	2.700 g/m <sup>2</sup>	940 g/m <sup>2</sup>	10.800 g/m <sup>2</sup>	5 kg/m	3,4 kg/m	2 kg/m	2 kg/m	2 kg/m	1,8 kg/m	1,8 kg/m	40,4 kg 18 %	9,8 kg 4 %	7,0 kg 3 %	67,7 kg 29 %	47,8 kg 21 %	46,1 kg 20 %	5,4 kg 2 %	1,8 kg 1 %	5 kg 2 %	218,8 kg 95 %	7,2 kg 3 %	5,0 kg 2 %	105,0 kg 45 %	113,8 kg 49 %	3.903,4 €
h1	1.407,4 mm																										
h2, (R)	925,5 mm																										
Breite b	2.079,0 mm																										
b1	1.165,5 mm																										
b2	2.153,8 mm																										
Länge l	3.121,9 mm																										
l1	3.017,0 mm																										
l2	3.103,8 mm																										
Verbindungselemente		Nieten 450 Stck.		Eckverbinder 12 Stck.		Nieten 0,012 kg/Stck.		Eckverbinder 0,15 kg/Stck.		Beschläge 5 kg		Nieten 5,4 kg 2 %		Eckverbinder 1,8 kg 1 %		Beschläge 5 kg 2 %											

■ ungleich Standard  
■ gleich Standard

Summe gesamt: 231,0 kg 3.903,4 €  
 Summe Standard: 249,0 kg 4.204,7 €  
 Reduktion: 7 % 7 %

Flächen	Fläche	Masse	Materialekosten
Seite hinten	7,28 m <sup>2</sup>	17,48 kg	218,49 €
Seite links	4,78 m <sup>2</sup>	11,48 kg	143,48 €
Seite rechts	4,78 m <sup>2</sup>	11,48 kg	143,48 €
Seite vorne (Tür)	7,44 m <sup>2</sup>	6,99 kg	334,73 €
Dach	3,62 m <sup>2</sup>	9,77 kg	108,52 €
<b>Summe</b>	<b>27,90 m<sup>2</sup></b>	<b>57,20 kg</b>	<b>948,70 €</b>
Bodenplatte	6,27 m <sup>2</sup>	67,7 kg	627,23 €
<b>Summe</b>		<b>124,9 kg</b>	<b>1.575,94 €</b>

Profile	Länge	Masse	Materialekosten
Boden	7,17 m	35,84 kg	394,21 €
Boden (Tür)	3,01 m	10,23 kg	135,43 €
Senkrechte	4,75 m	9,49 kg	189,84 €
Bogen	3,57 m	7,13 kg	142,68 €
Horizontale	7,15 m	14,31 kg	286,13 €
Horizontale Dach	6,25 m	11,24 kg	218,64 €
Türbalken	3,12 m	5,62 kg	140,55 €
<b>Summe</b>	<b>35,01 m</b>	<b>93,87 kg</b>	<b>1.507,48 €</b>
<b>Gesamtsumme</b>		<b>218,81 kg</b>	<b>3.083,42 €</b>

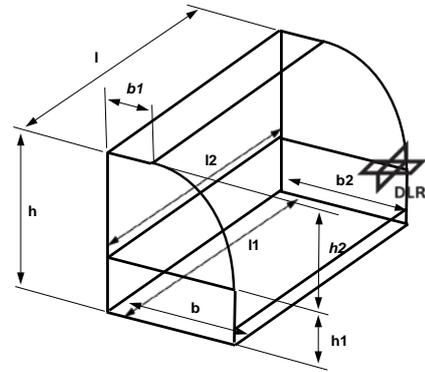


Abbildung 63: AAX PC Nordisk Version 2

# 9. Anhang

AKE PC Nordisk Version2

Flächen-Bauteile		Profil-Bauteile		Seite vorne/hinten		Komponente		Gewicht Anteil Kosten Anteil				
<b>Höhen</b>		<b>Höhen</b>		Seite links unten:	20 €/m <sup>2</sup>	Seitenwände	14,2 kg	15 %	149,1 € 10 %			
h	1.467,3 mm	h	1.441,8 mm	Seite links:	25 €/m <sup>2</sup>	Dach	5,9 kg	6 %	55,1 € 4 %			
h1	1.074,8 mm	h1	1.042,4 mm	Dach:	20 €/m <sup>2</sup>	Tür	3,8 kg	4 %	42,8 € 3 %			
h2	579,5 mm	h2	559,0 mm	Seite rechts (Tür):	30 €/m <sup>2</sup>	Bodenplatte	15,4 kg	17 %	61,0 € 4 %			
h3	1.427,4 mm	<b>Breite</b>		Bodenplatte:	60 €/m	Rahmen Aufbau	30,4 kg	33 %	516,6 € 36 %			
<b>Breite</b>		b	1.860,0 mm	Profil Boden:	3 kg/m	50 €/m	Rahmen Boden	16,2 kg	17 %	215,4 € 15 %		
b	1.906,0 mm	b1	1.454,5 mm	Profil Boden Tür:	2 kg/m	30 €/m	Summe Aufbau 54,3 kg 58 %					
b2	418,0 mm	<b>Länge</b>		Profil vert.:	2 kg/m	20 €/m	Summe Boden 31,6 kg 34 %					
b1	1.440,0 mm	l	1.398,6 mm	Profil hor. (Dach):	2 kg/m	20 €/m	Summe Aufbau + Boden 85,9 kg 92 %					
b3	1.457,0 mm	l1	1.426,5 mm	<b>Verbindungselemente</b>		Nieten:		5,5 kg	6 %	300,0 € 21 %		
<b>Länge</b>		<b>Verbindungselemente</b>		Nieten		0,01 kg/Stck.	1,0 €/Stck.	Eckverbinder:				
l	1.444,6 mm	Nieten		300 Stck.	Eckverbinder		0,1 kg/Stck.	7,5 €/Stck.	1,0 kg 1 % 75,0 € 5 %			
l1	1.412,0 mm	Eckverbinder		10 Stck.	Beschläge		0,5 kg	1 %	20,0 € 1 %	Summe gesamt 92,9 kg 1.434,9 €		
<b>Verbindungselemente</b>		Eckverbinder		10 Stck.	Beschläge		0,5 kg	1 %	20,0 € 1 %	94,0		
<b>Verbindungselemente</b>		Eckverbinder		10 Stck.	Beschläge		0,5 kg	1 %	20,0 € 1 %	Struktur: 85,9 kg 92 % 1.039,9 € 72 %		
<b>Verbindungselemente</b>		Eckverbinder		10 Stck.	Beschläge		0,5 kg	1 %	20,0 € 1 %	Verbindungselemente: 6,5 kg 7 % 375,0 € 26 %		
<b>Verbindungselemente</b>		Eckverbinder		10 Stck.	Beschläge		0,5 kg	1 %	20,0 € 1 %	Beschläge: 0,5 kg 1 % 20,0 € 1 %		

Flächen	Fläche	Masse	Materialkosten
Seite rechts (ggf. Tür)	2,12 m <sup>2</sup>	3,82 kg	42,39 €
Seite links	1,55 m <sup>2</sup>	2,79 kg	31,05 €
Seite links unten	0,84 m <sup>2</sup>	3,39 kg	20,93 €
Seite vorne klein	0,60 m <sup>2</sup>	1,07 kg	11,94 €
Seite vorne	2,14 m <sup>2</sup>	2,01 kg	42,76 €
Seite hinten klein	0,60 m <sup>2</sup>	1,07 kg	11,94 €
Seite hinten	2,14 m <sup>2</sup>	3,85 kg	42,76 €
Dach	2,75 m <sup>2</sup>	5,95 kg	55,07 €
<b>Summe</b>	<b>12,73 m<sup>2</sup></b>	<b>23,95 kg</b>	<b>258,84 €</b>
Bodenplatte	2,03 m <sup>2</sup>	15,4 kg	61,00 €
<b>Summe</b>	<b>39,3 kg</b>	<b>319,8 €</b>	
<b>Profile</b>			
Boden	4,31 m	12,92 kg	215,38 €
Boden Tür	1,43 m	3,28 kg	42,80 €
Senkrechte	5,77 m	13,26 kg	288,36 €
Diagonale	0,56 m	1,29 kg	27,95 €
Horizontale links	1,40 m	2,80 kg	69,93 €
Dach	6,52 m	13,03 kg	130,34 €
<b>Summe</b>	<b>19,98 m</b>	<b>46,59 kg</b>	<b>774,76 €</b>
<b>Gesamtsumme</b>	<b>85,91 kg</b>	<b>1.094,60 €</b>	

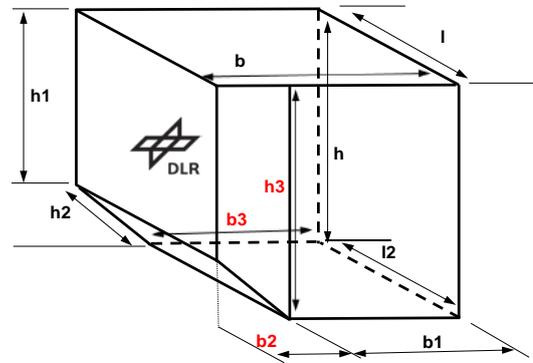


Abbildung 64: AKE PC Nordisk Version 2

Übersicht Massen	AAX Alu Nordisk	AAX PC Satco	AAX PC Nordisk	Min	Max
	Seitenwände	44,1 kg	40,8 kg	40,4 kg	40,4
Dach	2,3 kg	2,3 kg	9,8 kg	2,3	9,8
Tür	7,7 kg	10,6 kg	7,0 kg	7,0	10,6
Boden	76,6 kg	76,6 kg	67,7 kg	67,7	76,6
Rahmen Aufbau	56,7 kg	57,4 kg	47,8 kg	47,8	57,4
Rahmen Boden	49,3 kg	49,0 kg	46,1 kg	46,1	49,3
Summe Aufbau	103,2 kg	100,5 kg	98,0 kg	98,0	103,2
Summe Boden	126,0 kg	125,7 kg	113,8 kg	113,8	126,0
Summe gesamt	249,0 kg	249,0 kg	231,0 kg	231,0	249,0
Übersicht Kosten	AAX Alu Nordisk	AAX PC Satco	AAX PC Nordisk	Min	Max
Seitenwände	490,4 €	509,5 €	505,5 €	490,4	509,5
Dach	25,5 €	25,5 €	108,5 €	25,5	108,5
Tür	439,5 €	452,4 €	452,4 €	439,5	452,4
Boden	709,6 €	709,6 €	627,2 €	627,2	709,6
Rahmen Aufbau	1156,4 €	1169,7 €	977,8 €	977,8	1169,7
Rahmen Boden	563,4 €	563,4 €	529,6 €	529,6	563,4
Summe Aufbau	1672,3 €	1704,8 €	1591,8 €	1591,8	1704,8
Summe Boden	1273,0 €	1273,0 €	1156,9 €	1156,9	1273,0
Summe gesamt	4204,7 €	4250,2 €	3903,4 €	3903,4	4250,2
	Minimalwert				
	Maximalwert				

Abbildung 65: Vergleich aller vorgestellten AAX

Übersicht Massen	AKE Alu DoKaSch		AKE Alu Driessen		AKE Alu Nordisk		AKE PC Nordisk		Min	Max
		kg		kg		kg		kg		
Seitenwände:	20,7	kg	18,3	kg	21,4	kg	14,2	kg	14,2	21,4
Dach:	6,7	kg	6,7	kg	6,7	kg	5,9	kg	5,9	6,7
Tür:	1,8	kg	1,8	kg	2,4	kg	3,8	kg	1,8	3,8
Boden:	17,5	kg	17,5	kg	18,1	kg	15,4	kg	15,4	18,1
Rahmen Aufbau:	18,8	kg	22,4	kg	18,8	kg	30,4	kg	18,8	30,4
Rahmen Boden:	11,5	kg	12,4	kg	8,0	kg	16,2	kg	8,0	16,2
Summe Aufbau:	46,1	kg	47,5	kg	46,8	kg	50,5	kg	46,1	50,5
Summe Boden:	28,9	kg	29,9	kg	26,2	kg	31,6	kg	26,2	31,6
Summe gesamt:	81,1	kg	83,4	kg	79,6	kg	92,9	kg	79,6	92,9
<b>Übersicht Kosten</b>										
	AKE Alu DoKaSch		AKE Alu Driessen		AKE Alu Nordisk		AKE PC Nordisk		Min	Max
	€	€	€	€	€	€	€			
Seitenwände Aufbau:	186,9	€	185,6	€	186,5	€	149,1	€	149,1	186,9
Dach:	61,7	€	61,7	€	61,6	€	55,1	€	55,1	61,7
Tür:	76,2	€	75,6	€	76,1	€	42,8	€	42,8	76,2
Boden:	143,8	€	143,8	€	143,8	€	61,0	€	61,0	143,8
Rahmen Aufbau:	375,6	€	374,1	€	375,3	€	516,6	€	374,1	516,6
Rahmen Boden:	309,6	€	309,6	€	309,6	€	215,4	€	215,4	309,6
Summe Aufbau:	624,1	€	621,4	€	623,3	€	720,7	€	621,4	720,7
Summe Boden:	453,4	€	453,4	€	453,4	€	276,4	€	276,4	453,4
Summe gesamt:	1533,7	€	1530,4	€	1532,9	€	1434,9	€	1434,9	1533,7

Minimalwert  
 Maximalwert

Abbildung 66: Vergleich aller vorgestellten AKE



## 10. Literaturverzeichnis

- [1] Amsler & Frey AG: Polycarbonat (PC) - Technisches Datenblatt. URL [http://www.mercateo.com/pdf/Schuricht/uuPC\\_Data\\_D.pdf](http://www.mercateo.com/pdf/Schuricht/uuPC_Data_D.pdf) – Überprüfungsdatum 2013-11-19
- [2] BARTSCH, Ivonne; BARTSCH, Ivonne (Mitarb.): Bau eines Luftfrachtcontainer-Demonstrators vom Typ AAX. Braunschweig, November 2012 (IB 131-2012/74). INSTITUT FÜR FASERVERBUNDLEICHTBAU- UND ADAPTRONIK
- [3] BARTSCH, Ivonne ; ÜCKERT, Christian ; NICKEL, Jörg: Untersuchungen zu Luftfrachtcontainern vom Typ AKE in Leichtbauweise. Braunschweig, November 2011 (IB 131-2011/51). INSTITUT FÜR FASERVERBUNDLEICHTBAU- UND ADAPTRONIK
- [4] Deutsche Post DHL; VAN DUFFEL, Jan (Mitarb.): Technical Specification for the design of upperdeck ULDs imposed by regulating bodies in the Air Traffic Industry: Technical Specification for the design of upperdeck ULDs imposed by regulating bodies in the Air Traffic Industry. 29-AUG-2008
- [5] DoKaSch GmbH: Aluminium AKE – Datenblatt. Überprüfungsdatum 2014-12-17
- [6] DoKaSch GmbH: Lightweight AKE. URL <http://www.dokasch.com/de/produkte/lightweight-container/#1> – Überprüfungsdatum 2014-01-08
- [7] Driessen: Driessen Herculight Containers. URL [http://www.driessen.com/upload/comeleon/a660\\_Herculight\\_leaflet\\_11.pdf](http://www.driessen.com/upload/comeleon/a660_Herculight_leaflet_11.pdf) – Überprüfungsdatum 2011-11-23
- [8] Driessen: Technical Data Sheet AKE Container Canvas Door Standard Configuration – Überprüfungsdatum 2014-01-09
- [9] IATA: IATA ULD Regulations. 1ST Edition. Montreal : International Air Transport Association, 2013
- [10] Nordisk Aviation: AAX. URL <http://www.nordisk-aviation.com/main/en/md-containers/aax/> – Überprüfungsdatum 2014-01-09
- [11] Nordisk Aviation: LD3 (AKE). URL <http://www.nordisk-aviation.com/main/en/ld-containers/nordisk-classic/nordisk-ake/> – Überprüfungsdatum 2012-12-07
- [12] Nordisk Aviation: Nordisk Ultralite LD3 (AKE). URL <http://www.nordisk-aviation.com/main/en/ld-containers/nordisk-lite-family/nordisk-ultralite-ake/> – Überprüfungsdatum 2014-12-15
- [13] Nordisk Aviation: Maximum volume. URL <http://www.nordisk-aviation.com/admin/upload/files/view.aspx?id=125> – Überprüfungsdatum 2011-09-05
- [14] Nordisk Aviation: Component Maintenance Manual - Container P/N 127350-1(182) (2011). – Aktualisierungsdatum: 2010-12-08 – Überprüfungsdatum 2013-06-12
- [15] Nordisk Aviation: Component Maintenance Manual: Component Maintenance Manual. 26 Apr 2011

- [16] Nordisk Aviation Products: Nordisk D4000 flexi door. URL <http://www.nordisk-aviation.com/main/admin/upload/files/view.aspx?id=422> – Überprüfungsdatum 2015-01-07
- [17] Nordisk Aviation Products: Component Maintenance Manual with illustrates Parts List AKE Container P/N 11870-1: Component Maintenance Manual with illustrates Parts List AKE Container P/N 11870-1. 18.08.2008
- [18] P+Z Planen und Zelte GmbH: VALMEX 7828 FAR-JAR: VALMEX 7828 FAR-JAR. 29.07.2011
- [19] RUGE, Jürgen ; WOHLFAHRT, Helmut: Technologie der Werkstoffe : Für Studenten des Maschinenbaus und Bauingenieurwesens, der Verfahrenstechnik und der Werkstoffkunde ; mit 66 Tabellen. 6., vollst. neubearb. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2001
- [20] Satco Inc.: Abbildung AAX. URL <http://satco-inc.com/satco-products/air-cargo-containers/aax/> – Überprüfungsdatum 2011-07-29
- [21] Satco Inc.: Air Cargo Containers: AKE-LD3 Featherweight. URL <http://satco-inc.com/satco-products/air-cargo-containers/ake-ld3-featherweight/> – Überprüfungsdatum 2011-11-23
- [22] Satco Inc.: Pallet sheet materials - 7075T6 vs 7021-T6. URL <http://satco-inc.com/satco-products/air-cargo-pallets/advantages-7075t6/> – Überprüfungsdatum 2011-11-15
- [23] Satco Inc.: Air Cargo Containers: AKE-LD3. URL <http://satco-inc.com/satco-products/air-cargo-containers/ake-ld3/> – Überprüfungsdatum 2011-06-07
- [24] STEINERT, Frank: ULD Anfrage. E-Mail mit Anhang. 06.10.2011. Grobusch, Harald (Adressat)
- [25] STEINERT, Frank: Logo für Demonstrator. E-Mail. 2012-09-24. BARTSCH, Ivonne (Adressat)
- [26] VAN DUFFEL, Jan: Dimensions and weight. E-Mail. 30.09.2009. BARTSCH, Ivonne (Adressat)