

**„Konzeption einer wasserlosen Toiletteneinrichtung
für den Luftverkehr“**

Von der Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen
Technischen Hochschule Aachen zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt

von

Diplom-Ingenieur Sascha Axel Wilfert

aus

Leverkusen

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Paul Beiss
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter W. Gold

Tag der mündlichen Prüfung: 04. Juli 2005

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde bei der EADS Deutschland GmbH – Abteilung LG-AS in Hamburg, im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms 2003-2007 ("Lufo3"), durchgeführt.

An dieser Stelle ist es leider nicht möglich, alle Personen namentlich zu erwähnen, die mich während der Projektbearbeitung und der anschließenden schriftlichen Ausarbeitung unterstützt haben. Dennoch sollen hier die wichtigsten Personen kurz namentlich erwähnt werden.

Ich danke Herrn Dr. rer. nat. Hans Lobentanzer für sein Vertrauen, mir das Projekt zur eigenständigen Bearbeitung übertragen zu haben. Darüber hinaus stand er mir auch bei fachlichen Fragen stets zur Seite.

Ein besonderer Dank gilt ebenfalls Herrn Dipl.-Des. Marc Velten, der neben einer engen fachlichen Zusammenarbeit auch stets aufbauende Worte für die Höhen und Tiefen während meiner Arbeit hatte.

Des Weiteren danke ich Herrn Univ. Prof. Dr.-Ing P. Beiss für die optimale Betreuung dieser externen Disertation.

Ich danke weiterhin Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. P. W. Gold, der freundlicherweise als Richter dieser Arbeit tätig war, und Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. E. Schmachtenberg für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Abschließend möchte ich noch den nachfolgenden Personen für ihre fachlichen und sprachlichen Ratschläge danken: Saskia Golimowski, Sven Michael Golimowski, Frank Schuldt, Oliver Meins, Maret Friebel, Nina Adrian, Margarete Semenowicz und Maike Heimrich.

Zu guter Letzt danke ich meiner Mutter, meinem Vater und meinen Großeltern für die Unterstützung.

Hamburg, im Juli 2005

Sascha Axel Wilfert

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Gesellschaftliche und wirtschaftliche Gründe	1
1.2	Hygienische Gründe	2
1.3	Umweltaspekte	2
1.4	Das Vorhaben.....	3
2	Zielsetzung und Vorgehensweise im Projekt	4
3	Heutige Toilettensysteme	6
3.1	Rezirkulationstoilette.....	6
3.2	Vakuumtoilette.....	7
3.2.1	Rohrleitungssystem für Vakuumsystem.....	8
3.2.2	Bauelemente und Bauteile eines Vakuumtoilettensystems	10
3.2.2.1	Frischwassertank	10
3.2.2.2	Wasser- und Rückschlagventil.....	10
3.2.2.3	Toilettenschüssel	10
3.2.2.4	Sprühring	10
3.2.2.5	Spülventil	11
3.2.2.6	Spülvorgangssteuergerät.....	11
3.2.2.7	Abfallseparator und Entfeuchter	11
3.2.2.8	Abwassertank.....	11
3.2.2.9	Füllstandsanzeiger	12
3.2.2.10	Ablassventil.....	12
3.2.2.11	Rohrleitungssystem	13
3.2.2.12	Abwasserservicepaneel.....	13
3.2.2.13	Ausgleichsventil	13
3.2.2.14	Rückschlagventil	14
3.2.2.15	Vakuumgenerator	14
4	Stand der Technik	15
4.1	Patentrecherche für Toilettensysteme	15
4.1.1	Verschließbarer Behälter für eine Trockentoilette sowie Trockentoilette	15
4.1.2	Trockene Toilette.....	16
4.1.3	Automatische Trockentoilette.....	16

4.1.4 Klosett, insbesondere Fahrzeugklosett	17
4.1.5 Als transportable Einheit ausgebildete Abort-Einrichtung	18
4.1.6 Vakuum - Spültoilettensystem	19
4.1.7 Klosett mit einem Spender	20
4.1.8 Toiletteneinrichtung, insbesondere für Verkehrsmittel	21
4.2 Bewertung der Patente	23
4.3 Vorhandener Prototyp „wasserlose Toilette“	24
4.3.1 Konzept mit Spezialoberflächen	24
4.3.1.1 Nanotechnologie	24
4.3.2 Konzept Folien-Beutel mit beschichteter Oberfläche	25
4.3.3 Funktionen des Prototypen	26
5 Versuchsergebnisse mit ersten Prototypen	28
5.1 Versuchsaufbau	28
5.2 Versuchsdurchführung	29
5.3 Auswertung	29
5.3.1 Folien-Beutel-Einheiten	31
5.4 Verbesserungspotential des Prototypen	32
5.5 Entleerung des Waste Tanks	32
6 Problembereiche des heutigen Toilettensystems	33
6.1 Problembereiche des Vakuumsystems	33
6.1.1 Lautstärke und Druckregelung	33
6.1.2 Rohrreinigung	33
6.2 Bewertung des wasserlosen Toilettensystems	34
6.2.1 Problembereiche eines wasserlosen Toilettensystems	34
6.2.1.1 Einsparmöglichkeiten und daraus resultierende Probleme	35
6.2.1.2 Hygienischer Aspekt	36
6.2.1.3 Schutz der Toilettenbeschichtung	37
6.2.1.4 Wegfall des Sprührings	37
6.2.1.5 Einfluss der Tüten auf die Verschmutzung des Rohrsystems	38
6.2.1.6 Geräusentwicklung in der Toilettenkabine	39
6.2.1.7 Geräusentwicklung im Rohrsystem	39
6.2.1.8 Absaugventil- und Rohrleitungsblockierung durch Folientüten	39
6.2.1.9 Verstopfung des Ablassventils	40

6.2.1.10	Entsorgung des Schwarzwassers am Flughafen	40
6.2.1.11	Füllstandsanzeigerblockade	41
6.2.1.12	Stärkere Belastung des Rohrsystems	41
6.2.1.13	Verhalten der Tüten im Abfallseparator.....	42
6.3	Veränderungen durch das wasserlose Toilettensystem	43
7	Anforderungen an das neue System	44
7.1	Grundanforderungen an das Toilettensystem	44
7.1.1	Anforderungen an die Einheit Wasserlose Toilette	45
7.1.2	Anforderungen an die Architektur.....	45
7.1.3	Betriebsfunktionen und Betriebseigenschaften.....	46
7.1.4	Interface-Merkmale.....	49
7.1.5	Physikalische Anforderungen.....	49
7.1.6	Mechanische Anforderungen	49
7.1.7	Instandhaltungsanforderungen.....	50
7.1.8	Schnittstellen und Bauraum	50
7.2	Fäkalientransport durch Vakuum.....	52
7.2.1	Betriebsfunktionen und Betriebseigenschaften.....	52
7.3	Abwassertank und Fäkalienentsorgung	53
7.4	Anforderungen an das Folien-Beutel-Material.....	54
8	Konzeptfindung und -auswahl.....	55
8.1	Definition der Funktionsabläufe	55
8.2	Lösungsansätze.....	55
8.2.1	Funktionsübersicht der Variante A - Klemmrahmen.....	56
8.2.2	Funktionsübersicht Variante B	56
8.2.3	Funktionsübersicht der Variante C:	57
8.3	Variantenauswahl	58
9	Wirtschaftlichkeitsanalyse	62
9.1	Die Zielkostenplanung	62
9.1.1	Die Marktanalyse.....	62
9.1.1.1	Der Funktionsumfang des Produktes (Kundennutzen).....	62
9.1.1.2	Die Merkmale des Zielmarktes.....	63
9.1.1.3	Die Dauer des Produktlebenszyklus	64

9.1.1.4 Die erwartete Absatzmenge der Toiletteneinheit	65
9.1.1.5 Die erwartete Absatzmenge der Folien.....	69
9.1.1.6 Die Reaktion der Wettbewerber	71
9.1.2 Festlegung des Zielpreises für das Toilettensystem.....	72
9.1.3 Festlegung des Zielpreises für die Folien	72
9.1.3.1 Die Erhöhung der Reichweite.....	73
9.1.3.2 Die Treibstoffersparnis.....	75
9.1.3.3 Die Erhöhung der Passagieranzahl	76
9.1.3.4 Die Erhöhung des Frachtvolumens	77
9.1.4 Ermittlung der Zielkosten für die Toiletteneinheit	78
9.1.5 Ermittlung der Zielkosten für die Folien	78
9.1.6 Die Zielkostenaufspaltung	79
9.1.6.1 Die Zielkostenkontrolle	84
9.1.6.2 Zielkostenspaltung auf Teilebene.....	90
9.2 Zusammenfassung	94
10 Konstruktion des zweiten Prototypen	95
10.1 Detaillierung der ausgewählten Variante	95
10.1.1 Lösungsvariante A.1	96
10.1.2 Lösungsvarainte A.2	98
10.1.3 Lösungsvariante A.3	100
10.2 Bewertung der Lösungsvarianten A.1, A.2, A.3	102
10.2.1.1Erstellung eines Lösungsschemas	103
10.2.1.2Bauteillösungen	104
10.3 Lösungsfindung für die Teilfunktionen	105
10.3.1 Folie bevorraten.....	105
10.3.2 Folie in Ausgangsposition bringen.....	106
10.3.3 Folie mit der Transportvorrichtung aufnehmen.....	107
10.3.4 Folie transportieren.....	108
10.3.5 Folie in Gebrauchsposition fixieren.....	109
10.3.6 Deckel öffnen.....	110
10.3.7 Deckel schliessen	110
10.3.8 Folie trennen.....	111
10.3.9 Fixierung der Folie lösen.....	112

10.3.10 Spülvorgang.....	112
10.4 Konstruktive Auslegung der Bauteile	112
10.4.1 Magazingehäuse mit Zuführung.....	113
10.4.1.1Magazingehäuse	113
10.4.1.2Die Zuführung	114
10.4.2 Deckel mit Fördervorrichtung.....	115
10.4.2.1Der Foliengreifer	115
10.4.3 Das Technikgehäuse	119
10.4.4 Die Toilettenbrille	120
10.4.4.1Der Klemmrahmen mit Steuerung.....	121
10.4.4.2Der Schneidenhalter mit kombiniertem Folienniederhalter.....	123
10.4.4.3Deckelverriegelung.....	124
10.4.5 Zusammenbau der Baugruppen.....	126
10.5 Betriebszustände des Toilettenmoduls.....	126
10.5.1 Normalbetrieb.....	126
10.5.2 Reinigungsstellung	127
10.5.3 Nachfüllen von Folienmaterial.....	128
10.6 Steuerung des Toilettenmoduls	129
11 Entsorgung der Bordfäkalien	133
11.1 Entsorgungswege der Bordfäkalien	133
11.2 Das bisher verwendete Folienmaterial	134
11.3 Probleme des bisher verwendeten Folienmaterials bei der Entsorgung	135
12 Umweltrechtliche Entsorgungsrichtlinien	139
12.1 Umweltrechtliche Anforderungen - national.....	139
12.1.1 Regelungen für die Abwasserbeseitigung in Hamburg und Bayern.....	140
12.1.2 Gesetzestechnischer Abwasser-Begriff.....	141
12.1.3 Abwasserbeseitigung.....	145
12.1.4 Abwasserbeseitigungskonzepte	147
12.1.5 Genehmigung der Indirekt-Einleitung	147
12.1.6 Vorüberlegungen	147
12.1.7 Staatliche Genehmigungspflicht.....	148
12.2 Umweltrechtliche Grundlagen-international.....	150
12.2.1 Schweiz.....	150

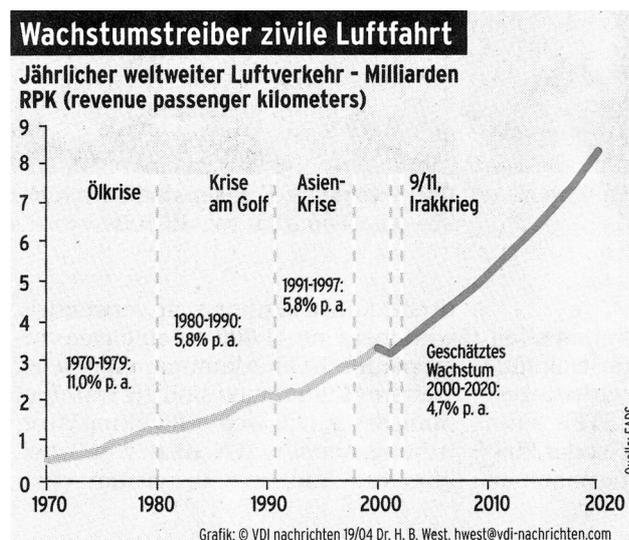
12.2.2 Österreich	152
13 Folienmaterial.....	154
13.1 Bewertung der verschiedenen Materialien.....	154
Folienmaterial	155
13.2 Auswertung	155
14 Testanforderungen.....	156
14.1 Einstelltests	156
14.1.1 Ermittlung der Öffnungsdauer des Spülventils beim Einsaugen des Beutels	156
14.1.2 Öffnungsdauer des Spülventils beim Absaugen der Folie	157
Testaufbau und Testablauf:.....	158
14.2 Nachweis der Betriebssicherheit	158
14.3 Lebensdauernachweis	160
15 Zusammenfassung und Ausblick	161
15.1 Ausblick.....	161
16 Literaturverzeichnis	162
17 Abbildungsverzeichnis	167
18 Tabellenverzeichnis	170
19 Abkürzungsverzeichnis	171
19.1 Symbolverzeichnis.....	172
19.2 Indizes.....	172
20 Anhangverzeichnis.....	173

1 EINLEITUNG

Die heutigen Toiletten in Passagierflugzeugen weisen in Bezug auf Hygiene, Umweltverträglichkeit und Kosten erhebliche Defizite auf. Das Ziel des Projektes ITK (Innovatives Toilettenkonzept-wasserlose Toilette) ist es, die vorher genannten Defizite, aufbauend auf dem ersten Prototyp einer wasserlosen Toilette (entstanden bei Airbus Deutschland und der EADS im Rahmen von LUFO II), zu verbessern. Im Weiteren werden die Gründe für ein neues Toilettensystem näher erläutert.

1.1 GESELLSCHAFTLICHE UND WIRTSCHAFTLICHE GRÜNDE

Von 1980 bis 2000 haben sich die Passagierzahlen im Bereich Luftverkehr nahezu verdreifacht. Auch heute geht man noch davon aus, dass die Passagierzahlen pro Jahr circa um 5 % steigen. Wie die nachfolgende Abbildung (siehe Abb. 1-1) zeigt, nutzten im Jahr 2000 3 Milliarden Passagiere das Verkehrsmittel Flugzeug, 2010 werden es hingegen schon über 5 Milliarden Passagiere sein.



Quelle: [VDI]

Abb. 1-1: Jährlicher weltweiter Luftverkehr-Milliarden RPK

Durch diese steigenden Passagierzahlen und durch den damit verbundenen Trend hin zu größeren Flugzeugen wird auch das Thema Hygiene im Toilettenbereich zunehmend wichtiger.

Es sollen beispielsweise in dem neuen Großraumflugzeug A380-800 circa 600 Passagiere unterschiedlicher Kulturen Platz finden können, wodurch eine erhöhte Anzahl von Toiletten benötigt wird. Geplant ist bisher, durchschnittlich 17 Toiletten in den „Riesen-Airbus“ einzubauen.

Statistisch gesehen nutzt auf einem Langstreckenflug jeder Passagier durchschnittlich sechsmal die Toilette. Wenn man davon ausgeht, dass heute für eine Toilettenspülung

mindestens 0,2 l Wasser verbraucht werden, so ergibt sich beispielsweise ein Minimalbedarf an Frischwasser von ungefähr 720 l für die Toilettenreinigung im Airbus A380-800. Zu diesen 720 l Wasser müssen noch ca. 280 l Wasser als Reservebedarf hinzugerechnet werden. Daraus ergibt sich ein Gesamtvolumen an Frischwasserbedarf von 1000 l, das einem Gewicht von 1 Tonne entspricht. Pro Tonne Fluggewicht werden in einer Flugstunde ca. 36 l Kerosin verbraucht (Beispiel A380-800), d. h., dieser Wasserbedarf für die Toiletten kostet die Fluggesellschaften pro Jahr ca. 216.000 l Kerosin (Kerosinverbrauch pro Stunde * Flugstunden pro Jahr) für ein Flugzeug.

1.2 HYGIENISCHE GRÜNDE

Nicht nur aus diesem wirtschaftlichen Grund ist es notwendig, über eine Umgestaltung der Toilette nachzudenken. Auch hygienische und umweltspezifische Aspekte spielen bei diesem Thema eine zentrale Rolle.

Im Mittelalter war Hygiene im westlichen Kulturkreis ebenso unbekannt wie die Benutzung der Toilette. Die Fäkalien wurden einfach aus dem Fenster entleert. Wie man heute weiß, entstand daraus ein ideales Umfeld für Krankheitserreger und somit auch für Seuchen. Erst im Jahre 1750 wurden in Frankreich die ersten Wasserklosetts eingeführt. In den darauffolgenden Jahren beschränkte man sich darauf, ein zugiges Toilettenhäuschen im Hof aufzustellen. Nach und nach wich der sogenannte „Donnerbalken“ einem Holzdeckel mit kreisrundem Ausschnitt, weil dieser auch den Gestank eindämmen sollte. In den letzten Jahrzehnten hat sich dieses Bild stark gewandelt, da wir um die Gefahren von Infektionen und Seuchen wissen. Aus diesem Grund ist in den meisten Industrieländern mindestens eine Toilette pro Wohnung selbstverständlich geworden. [LAMITSCHKA, S.5-7]

Dadurch, dass eine Toilette auf einem Langstreckenflug im Durchschnitt 225 mal benutzt und erst wieder nach jedem Flug gereinigt wird, erklärt sich der Bedarf nach einem sicheren Hygienesystem. Zwar können die Passagiere selbst mit Toilettenpapier die Toilettenbrille reinigen bzw. mit Papierauflagen abdecken, doch zeigt die Praxis, dass kaum ein Passagier sich dieser Methoden bedient.

1.3 UMWELTASPEKTE

Weiter muss der Umweltaspekt große Berücksichtigung bei der entstehenden Konzeptentwicklung finden. In Zeiten immer knapper werdender Rohstoffe, wie z. B. Öl und Frischwasser, wird es immer wichtiger, diese einzusparen. Dies kann zum einen wirtschaftliche Vorteile für die Fluggesellschaften mit sich bringen, zum anderen ergibt sich daraus auch ein positives Image für die Fluggesellschaften, welches sich dann wiederum in höheren Fluggastzahlen widerspiegeln könnte. Generell wird heute von den Unternehmen eine ökologische Ausrichtung ihrer Produkte gesellschaftlich erwartet.

1.4 DAS VORHABEN

Aus den vorgenannten Gründen wird deutlich, dass es notwendig ist, ein neues Toilettensystem zu konzipieren und so schnell wie möglich einzuführen.

In diesem Projekt soll der erste Prototyp (siehe Kapitel 4.3) weiter entwickelt werden. Aus hygienischen Gründen ist es notwendig, die Toilette mit einem Beutel auszukleiden, der vollautomatisch in die Schüssel eingeführt wird. Aus Umweltschutzgründen soll dieser Beutel nicht aus einem konventionellen (aus Erdöl hergestellt) Kunststoff bestehen. Ziel ist ein Toilettenbeutel, welcher überwiegend auf Basis nachwachsender Rohstoffe hergestellt wird, wie Kartoffeln, Mais oder Zucker. Man spart so beträchtliche Mengen der endlichen Ressource Erdöl.

2 ZIELSETZUNG UND VORGEHENSWEISE IM PROJEKT

Um einen systematischen Ablauf des Projektes „Innovatives Toilettensystem“ zu gewährleisten, wurde die folgende Vorgehensweise gewählt (siehe Abb. 2-1) (orientiert sich an Projektmanagement-Kriterien, soweit sinnvoll und realisierbar):

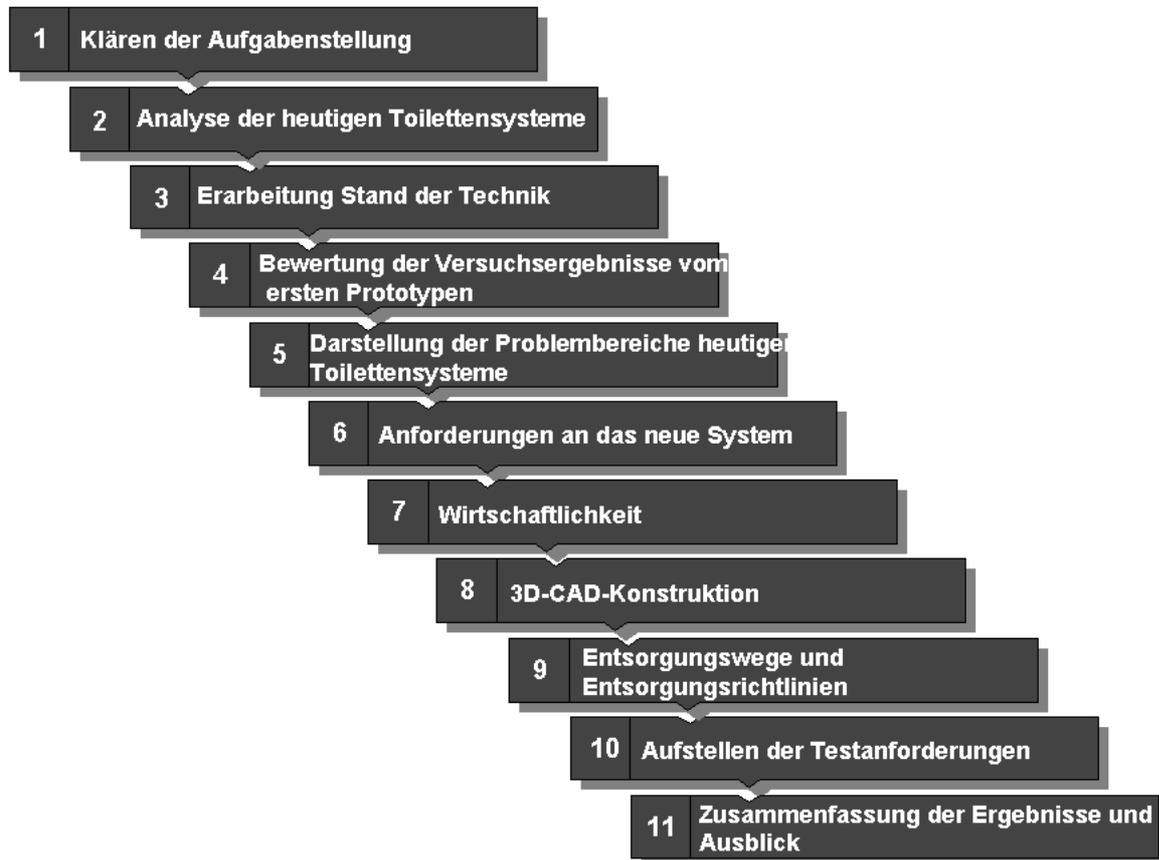


Abb. 2-1: Vorgehensweise im Projekt

Das Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung bildet die Grundlage für alle weiteren Schritte in einem Projekt. Die Aufgabenstellung muss zu Beginn eines Projektes möglichst umfassend und vollständig geklärt werden, damit während der Projektrealisierungsphase Ergänzungen und Korrekturen auf das Notwendigste beschränkt werden können. [PAHL; BEITZ S.65 ff.]

Im zweiten Schritt dieses Projektes werden die heutigen Toilettensysteme analysiert.

Anschließend findet eine Patentrecherche über verschiedene Toilettensysteme und Vorstellung des ersten Prototypen für eine wasserlose Toilette im Passagierflugzeug statt, um den aktuellen Forschungsstand aufzuzeigen und Anhaltspunkte für die Weiterentwicklung eines neuen Toilettensystems für Flugzeuge zu geben.

Weiterhin werden die Versuchsergebnisse mit dem ersten Prototypen ausgewertet und die Problembereiche der heutigen Toilettensysteme dargestellt, um Schwachstellen zu erkennen und diese bei der nächsten Entwicklung zu vermeiden bzw. zu verringern.

Im sechsten Schritt dieses Projektes muss eine Anforderungsliste erstellt werden. Die Anforderungsliste enthält die relevanten Daten für die Konstruktion, geometrische und technische Schnittstellen, technische Vorgaben des Flugzeugherstellers und auch die Forderungen der Airlines sowie alle erforderlichen Angaben für das Design. Diese Liste ist der Ausgangspunkt für die weiteren Konstruktionstätigkeiten und wird als erstes produktionsbeschreibendes Dokument angesehen. Aus der Anforderungsliste ergeben sich die zu erfüllenden Randbedingungen und Anforderungen, die für alle bearbeitenden Stellen verbindlich sind. Im Gegensatz zum statischen Pflichtenheft ist die Anforderungsliste als entwicklungsbegleitendes Dokument zu verstehen, das während des gesamten Entwicklungsprozesses ständig auf dem neuesten Stand gehalten werden muss. Werden falsche Angaben gemacht bzw. fehlen Angaben, kann sich dies später sehr kostspielig auf die weitere Produktentwicklung auswirken.

Nach der Patent- und Marktrecherche können dann verschiedene Konzepte erarbeitet werden. Dazu muss zunächst die Anforderungsliste abstrahiert werden, um die wesentlichen Probleme und kritischen Funktionen zu erkennen. Darauf aufbauend werden die Funktionsstrukturen, d. h. die Gesamtfunktion und die Teilfunktionen, aufgestellt. Im nächsten Schritt dieser Konzeptphase werden dann die Wirkprinzipien zum Erfüllen der Teilfunktion analysiert, die zu einer Wirkstruktur kombiniert werden. Abschließend wird die geeignetste Kombination ausgewählt. [PAHL; BEITZ, S. 74 ff.]

Im daran anschließenden Projektschritt wird eine Wirtschaftlichkeitsanalyse für die unterschiedlichen Konzepte und die Folien-Beutel-Einheiten angefertigt mit dem Ziel, das bestgeeignete Konzept herauszufinden und die Zielkosten für dieses und die Folien-Beutel-Einheiten festzulegen.

Das beste Konzept hinsichtlich Technik und Wirtschaftlichkeit wird dann in einer 3D-CAD-Konstruktion visualisiert.

Des Weiteren werden die heutigen Entsorgungswege für Flugzeugfäkalien erarbeitet und die rechtlichen Rand- und Rahmenbedingungen für das Folien-Material erstellt.

Anschließend werden die weiteren Testverfahren und Anforderungen für den Prototypen festgelegt.

Im letzten Schritt des zu bearbeitenden Projektes werden die Ergebnisse zusammengefasst und ein Ausblick über das Nutzungspotential des hier zu entwickelnden Toilettensystems gegeben.

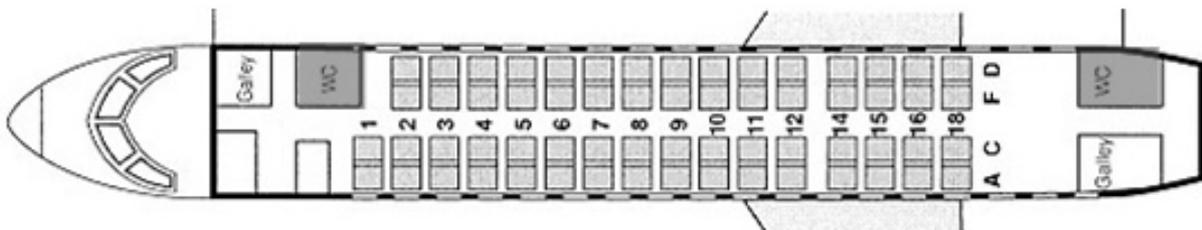
3 HEUTIGE TOILETTENSYSTEME

Die Grundlage des innovativen Toilettenkonzeptes für Passagierflugzeuge sollen die heute vorhandenen Toilettensysteme sein. Nur so ist es möglich, auch schon vorhandene Passagierflugzeuge mit dem neuen System auszustatten, ohne umfangreiche Änderungen am Flugzeugsystem bzw. den Flugzeugkomponenten vorzunehmen.

Die Anzahl der Toiletten in einem Passagierflugzeug hängen im Wesentlichen von der Passagierkapazität ab. Zur Zeit werden zwei verschiedene Systeme in Passagierflugzeugen eingesetzt: zum einen die Rezirkulationstoilette für kleinere Flugzeuge und zum anderen die Vakuumtoilette für größere Flugzeuge.

3.1 REZIRKULATIONSTOILETTE

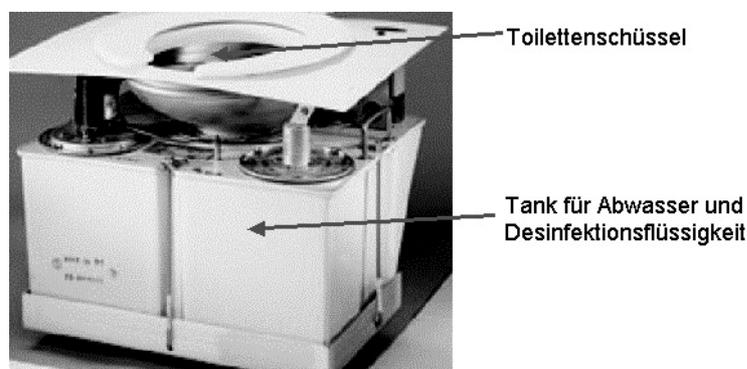
Die so genannte Rezirkulationstoilette oder auch Chemietoilette wird für Flugzeuge mit einer Passagierzahl unter 100 verwendet. Durch diese geringe Passagierzahl gibt es auch nur ein oder zwei dieser Toiletten im Flugzeug (siehe Abb. 3-1)



Quelle: [Lufthansa – 1]

Abb. 3-1: Layout Canadair Jet CRJ 700

Diese Rezirkulationstoilette besteht aus einer einfachen oder doppelten Toilettenschüssel, welche direkt auf einem Abwassertank befestigt ist. (siehe Abb. 3-2). Der Tank selbst ist mit einer Desinfektionsflüssigkeit vorgefüllt. Diese Flüssigkeit dient zum einen der Toilettenspülung und zum anderen zur Desinfektion der Fäkalien.



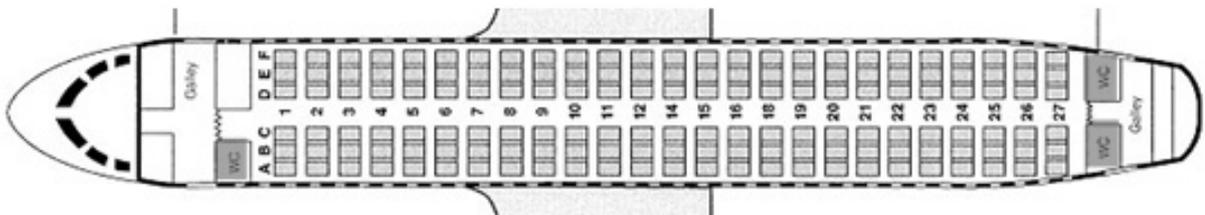
Quelle: [nach Monogram - 1]

Abb. 3-2: Rezirkulationstoilette

Der Ablauf der Rezirkulationstoilette ist relativ einfach. Zum Spülen der Toilette muss der Passagier den „Flush-Button“ betätigen. Dadurch wird eine Pumpe in Betrieb gesetzt, welche die Desinfektionsflüssigkeit im Tank in die Toilettenschüssel pumpt. Die Fäkalien werden durch einen eingebauten Filter im Abwassertank gehalten. Anschließend werden durch Öffnen der Ablassklappe in der Toilettenschüssel die Fäkalien und Desinfektionsflüssigkeit in den Abwassertank geleitet. Nach dem Flug werden die Abwassertanks der Rezirkulationstoiletten über Ventile in der Rumpfhaut des Flugzeuges abgelassen.

3.2 VAKUUMTOILETTE

Die Vakuumtoilette wird seit Mitte der 80er Jahre in Flugzeuge mit einer Kapazität von mehr als 100 Passagieren eingesetzt (siehe Abb. 3-3).



Quelle: [Lufthansa – 2]

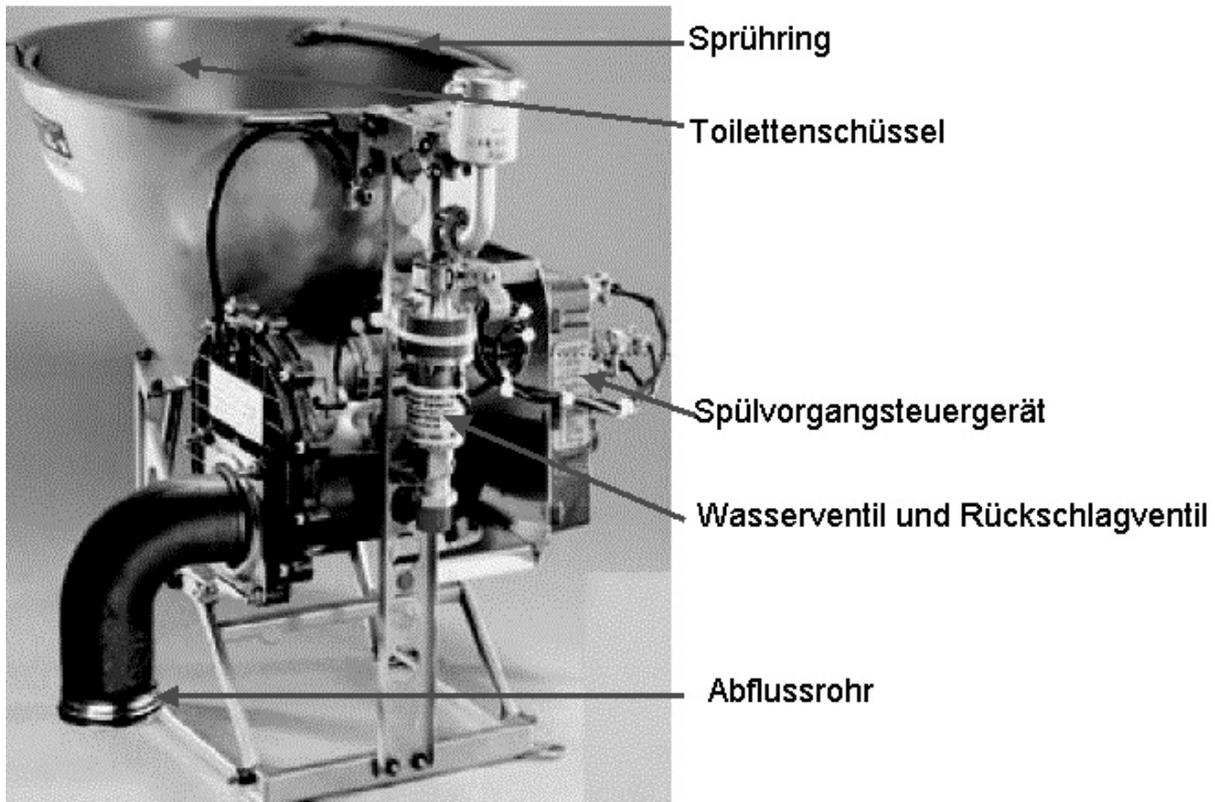
Abb. 3-3: Layout Airbus A320

Im Gegensatz zur Rezirkulationstoilette werden bei der Vakuumtoilette die Fäkalien aus allen Toiletten zentral in einem Abwassertank gespeichert. Ein Rohrleitungssystem ist so im Flugzeug angeordnet, dass alle Toiletten mit dem Abwassertank verbunden sind.

Für den Transport der Fäkalien von der Toiletteneinheit zum Abwassertank wird ein Druckunterschied von mindestens 0,3 bar genutzt. Im normalen Flugbetrieb macht man sich den in Bezug auf die druckbeaufschlagte Flugzeugkabine in der Umgebung herrschenden Unterdruck zunutze, indem das Rohrleitungssystem zur Atmosphäre hin geöffnet wird. Dadurch entsteht ein Druckunterschied (abhängig von der Flughöhe) zwischen 0,3 und 0,6 bar. In geringen Höhen bzw. am Boden sorgt ein Vakuumgenerator für den benötigten Druckunterschied.

Wie auch bei der Rezirkulationstoilette startet der Passagier durch Drücken des „Flush-Buttons“ die Säuberung der Toilette. Zuerst werden ca. 0,2 l Spülwasser über einen eingebauten Sprühling zur Reinigung der Toilette eingesprüht, und anschließend öffnet sich das Ventil am Ausgang der sogenannten Bowl. Die Fäkalien werden durch das anstehende Vakuum angesogen und in den Abwassertank befördert.

Der Aufbau einer Vakuumtoilette ist auf der nachfolgenden Abbildung (siehe Abb. 3-4) schematisch dargestellt.



Quelle: [nach Monogram - 1]

Abb. 3-4: Aufbau der Vakuumtoilette

Abschließend kann man sagen, dass der Hauptunterschied zwischen Rezirkulationstoilette und Vakuumtoilette in der Speicherung der Fäkalien liegt (siehe Tab. 3-1).

	Rezirkulationstoilette	Vakuumtoilette
Speicherung der Fäkalien	unterhalb der Bowl	zentral im Abwassertank
Einsatz in Flugzeugen	unter 100 PAX	über 100 PAX
Handling der Fäkalienentsorgung	über Ventile an der Außenhaut des Flugzeuges an jedem Abwassertank	zentrales Ablassen
Spülung	Zirkulierendes Desinfektionsmittel	Wasser

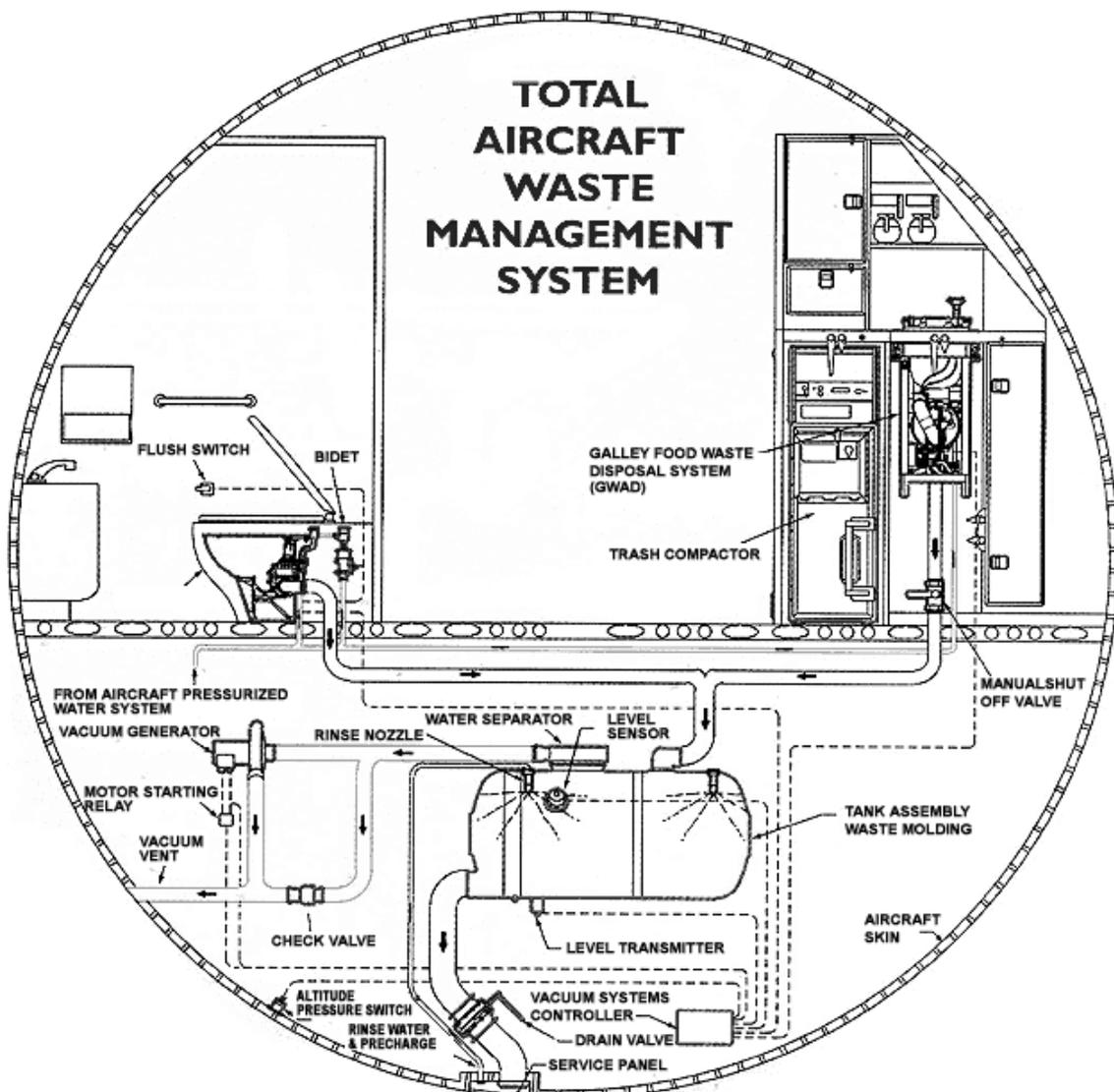
Tab. 3-1: Vergleich Rezirkulations- und Vakuumtoilette

3.2.1 ROHRLEITUNGSSYSTEM FÜR VAKUUMSYSTEM

Wie schon im vorigen Abschnitt erwähnt werden die Fäkalien bei einem Vakuumsystem über Rohre in den zentralen Abwassertank befördert.

Der Aufbau dieses Rohrleitungssystem ist in allen Flugzeugen ähnlich. Die Rohre haben einen Durchmesser von 2 in (=5,08 cm) und bestehen aus rostfreiem Stahl. Sie werden im Fußboden der Kabine verlegt, und es führen Anschlüsse aus dem Fußboden in die jeweilige Toilette bzw. Galley.

In kleineren Flugzeugen (Single Aisle) wird nur ein Rohrstrang für das gesamte Flugzeug verwendet. Bei einem Ausfall dieses Rohrstranges sind somit alle Toiletten in diesem Flugzeug außer Betrieb. In den größeren Flugzeugen (Long Range) werden schon zwei voneinander unabhängige Rohrsysteme eingebaut. Ein Rohrsystem versorgt jeweils die Toiletten auf einer Flugzeugseite. So kann auch bei einem Ausfall eines Rohrstranges die Verfügbarkeit der Toiletten auf einer Seite garantiert werden. Im Gegensatz zu den Long-Range-Flugzeugen ist es geplant, in Mehrdeckflugzeugen sogar vier voneinander unabhängige Rohrstränge einzubauen. Pro Passagierdeck sind zwei Rohrleitungsstränge vorgesehen, um die Verfügbarkeit der Toiletten so hoch wie möglich zu gestalten. In Abb. 3-5 ist der Aufbau des Vakuumsystems schematisch dargestellt.



Quelle: [Monogram - 2]

Abb. 3-5: Schematische Darstellung des Vakuumsystems mit Toiletteneinheit

3.2.2 BAUELEMENTE UND BAUTEILE EINES VAKUUMTOILETTENSYSTEMS

Auf den nächsten Seiten werden die Hauptbestandteile eines Vakuumsystems und deren Funktion bzw. Aufgabe kurz erläutert.

3.2.2.1 FRISCHWASSERTANK

Die Frischwassertanks, die aus Kunststoff, bzw. aus mit Kohlefaser umwickeltem PET bestehen, dienen der Speicherung des Frischwassers für die Küchen, die Waschbecken in den Toiletten und die Toilettenspülung. Sie befinden sich an den Außenwänden im Unterflurbereich des Flugzeuges. Anzahl und Größe der Tanks richten sich nach Flugzeuggröße und -einsatzort.

3.2.2.2 WASSER- UND RÜCKSCHLAGVENTIL

Das Wasserventil befindet sich „am oberen Eingang“ der Toiletteneinheit. Es sorgt für die Zuleitung des Spülwassers zum Sprühhing. Seine Aktivität wird vom Spülvorgangssteuergerät gesteuert, welches wiederum sein Einsatzsignal vom Spülknopf in der Toilette bekommt. Das Rückschlagventil ist dem Wasserventil nachgeschaltet. Es verhindert einen Rückfluss des Wassers aus der Toilette in die Frischwasserleitung. Die genaue Lage der Ventile ist in Abb. 3-4 gekennzeichnet.

3.2.2.3 TOILETTENSCHÜSSEL

Die Toilettenschüssel (siehe Abb. 3-4) dient dem Auffangen der Fäkalien. Außerdem erfüllt sie, bedingt durch das Gewicht des Passagiers, eine Krafteinleitungsfunktion in die Flugzeugstruktur und muss dementsprechend stabil ausgelegt werden. Die Toilettenschüssel besteht aus Tiefziehdedelstahl, der innen mit Teflon beschichtet ist. Diese Beschichtung hat die besondere Eigenschaft, durch ihre Oberflächenbeschaffenheit sehr schmutzabweisend zu sein. Dadurch wird der Bedarf an Spülwasser verringert. Die Toilettenschüssel wird auch als Aufgabeeinheit bezeichnet.

3.2.2.4 SPRÜHRING

Der Sprühhing befindet sich direkt unter der Oberkante der Toilettenschüssel (siehe Abb. 3-4). Es handelt sich dabei, wie der Name schon sagt, um einen Ring, der umlaufend um den Toilettenschüsselumfang angeordnet ist. Er besitzt über die gesamte Länge kleine, schräge Bohrungen, die dafür sorgen, dass das Spülwasser fein verteilt in einer Spiralbewegung in die Toilettenschüssel abgegeben wird. So wird ein bestmögliches Spülergebnis mit geringstem Wasserverbrauch erreicht.

3.2.2.5 SPÜLVENTIL

Das Spülventil (siehe Abb. 3-4) befindet sich am Ausgang der Aufgabereinheit (Toilettenschüssel). Beim Auslösen des Spülvorgangs durch Betätigung des Spülknopfes wird das Ventil geöffnet, und das dahinter anliegende Vakuum sorgt mittels Unterdruck für ein Absaugen des Toiletteninhalts. Die Funktionsweise des Ventils ist dabei sehr einfach. In seinem Inneren befindet sich eine rotierende Scheibe, welche mit einem Loch von der Größe des Rohrdurchmessers des Vakuumsystems von 2 in (= 5,08 cm) versehen ist. Während des Spülvorgangs befindet sich dieses Loch genau vor der Rohröffnung des Vakuumsystems und stellt so die Verbindung zur Toiletteneinheit her. Nach dem Öffnen des Ventils kann das von außen anliegende Vakuum wirken und den Inhalt der Toilettenschüssel absaugen.

3.2.2.6 SPÜLVORGANGSSTEUERGERÄT

Das Spülvorgangssteuergerät (siehe Abb. 3-4) steuert den Spül- und Absaugvorgang der Toilette. Es bestimmt die Öffnungsdauer von Spül- und Wasserventil. Dabei auftretende Fehler werden an den Vakuumsystemcontroller gemeldet und können dort abgelesen werden.

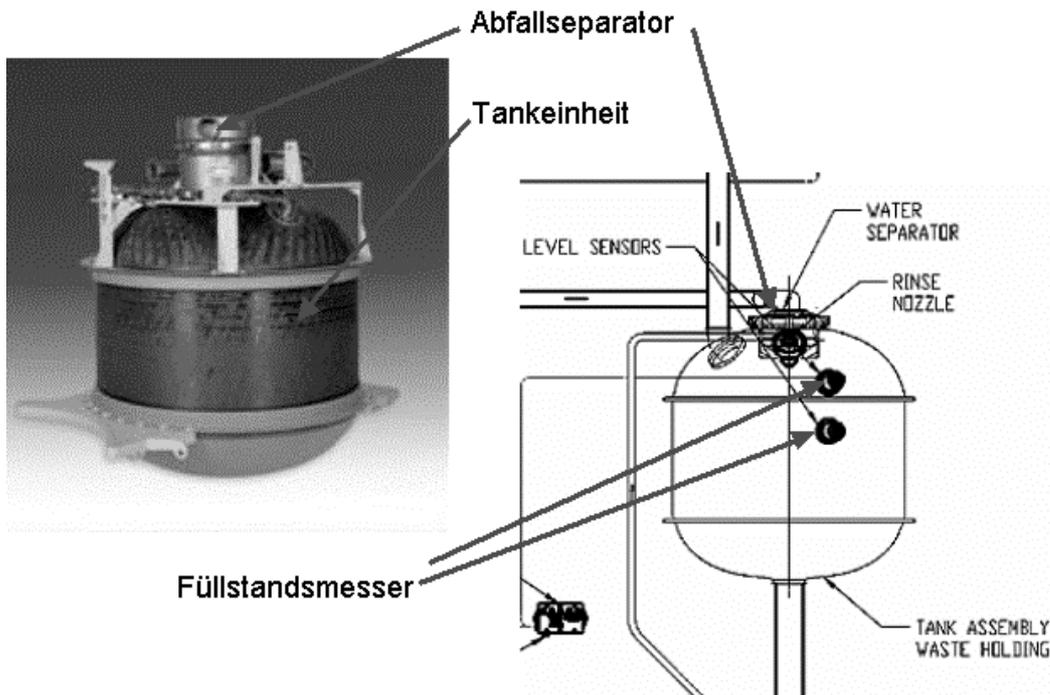
3.2.2.7 ABFALLSEPARATOR UND ENTFEUCHTER

Das Trägermedium für den Transport der Fäkalien in die Abwassertanks ist Luft. Sie wird an die Atmosphäre abgegeben. Bevor das geschehen kann, muss sie von allen Verunreinigungen gesäubert werden. Diese Aufgabe übernehmen zwei Bauteile, die direkt vor den Tanks sitzen: der Abfallseparator (siehe Abb. 3-5) und der Entfeuchter. Sie nutzen dafür die Zentrifugalkraft. Der Abfallseparator ist wie eine Spirale aufgebaut. Das Fäkalien-Luft-Gemisch wird an deren unterem Ende bei einer Geschwindigkeit von bis zu 40 m/s durch die Form gezwungen, Kreisbewegungen auszuführen. Dabei kommt die Zentrifugalkraft zum Tragen. Die festen und flüssigen Bestandteile des Gemischs werden durch sie nach außen getragen und lagern sich an der Spiralwand ab. Von dort fließen sie durch die Schwerkraft nach unten in den Abwassertank. Die Luft wird durch die Zentrifugalkraft aufgrund ihrer geringeren Dichte weniger nach außen gezogen und bewegt sich dadurch fast ungehindert nach oben. Die noch in der Luft verbliebenen Verunreinigungen werden durch einen Filter im Entfeuchter entfernt. Von dort verlässt die gereinigte Luft das Flugzeug über eine Rohrleitung.

3.2.2.8 ABWSSERTANK

Nach dem Abtransport der Fäkalien aus den Toiletten müssen diese gespeichert werden. Das geschieht im Abwassertank (siehe Abb. 3-6). Größere Flugzeuge verfügen meist über mehrere dieser Tanks. Sie befinden sich in der Regel im Unterflurbereich des Flugzeughecks. Form und Größe variieren je nach Flugzeugtyp und Einsatzart. Moderne Abwassertanks bestehen aus 0,25 bis 0,5 mm dickem rostfreiem Stahl, der

zur Stabilisierung mit Kohlefaser umwickelt ist. Ein 350-l-Tank für den A340 wiegt dabei beispielsweise 23 kg.



Quelle: [nach AOA - 1 und Monogram - 3]

Abb. 3-6: Abwassertank mit Abfallseparator

3.2.2.9 FÜLLSTANDSANZEIGER

In jedem Abwassertank befinden sich Füllstandsanzeiger. Sie sollen ein Überfüllen des Tanks verhindern. Ab einem bestimmten Füllstand geben sie ein Signal an das Kabineninterkommunikationssystem (CIDS) im Cockpit. Von dort kann das betroffene System dann durch ein Crewmitglied stillgelegt werden. Einer der Sensoren ermittelt den Flüssigkeitsstand über den auf ihm lastenden Druck, der durch das eingeleitete Wasser und die Fäkalien entsteht. Er befindet sich am Boden des Abwassertanks. Der andere Sensor ist in dessen oberen Bereich angebracht. Erreicht der Flüssigkeitspegel im Tank das Niveau, auf welchem sich der Sensor befindet, gibt er das Signal, dass der Tank voll ist. Da die Flüssigkeit im Tank durch die Flugbewegungen aber nie in Ruhe sein wird und so der obere Sensor auch bei Nicht-Überfüllung des Tanks Flüssigkeitskontakt haben kann, wird er vom zweiten Sensor kontrolliert. Dieser wird das Signal geben, dass der Tank noch Kapazitäten frei hat. Wenn die Flüssigkeit dann wieder in einen ruhigen Zustand zurückgekehrt ist, geben beide Sensoren wieder das gleiche Signal.

3.2.2.10 ABLASSVENTIL

Über das Ablassventil wird das Entleeren des Abwassertanks geregelt. Das direkt zwischen Tank und Außenhaut befindliche Ventil wird von außen über das

Abwasserservicepanel bedient. Es hat einen Durchmesser von 4 in (= 10,16 cm). Über das Ablassventil werden, unabhängig von deren Anzahl, alle Abwassertanks entleert.

3.2.2.11 ROHRLEITUNGSSYSTEM

Das Rohrleitungssystem dient dem Transport der Fäkalien innerhalb des Vakuumsystems. Die einzelnen Rohre haben einen Durchmesser von 2 in (= 5,08 cm). Sie bestehen aus rostfreiem Stahl. Nur das Rohrstück, welches direkt auf die Toilettenschüssel folgt, besteht aus besonders widerstandsfähigem Kunststoff, genannt Ultem®. Die Rohre, die vom Abwassertank zum Service Panel an der Flugzeugaußenhaut führen, die Ablassleitungen, sind mit 4 in (= 10,16 cm) doppelt so dick wie die restlichen Rohre. Auch sie bestehen aus rostfreiem Stahl.

3.2.2.12 ABWASSERSERVICEPANEEL

Das Abwasserservicepaneel befindet sich außen an der Unterseite des Flugzeughecks (siehe Abb. 3-7). Von hier wird die Entleerung der Tanks am Boden sowie die anschließende Reinigung und Wiederbefüllung mit Desinfektionsmitteln gesteuert. Es gibt einen 4 in großen Anschluss zum Ablassen der Fäkalien aus den Abwassertanks. Mehrere kleine Anschlüsse (je einer pro Tank) dienen dem Anschluss einer Wasserzuleitung. Mit dem Wasser werden die Tanks nach dem Entleeren gespült. Anschließend wird der Tank über dieselbe Leitung zu 5% mit einer Desinfektionsflüssigkeit vorgefüllt.

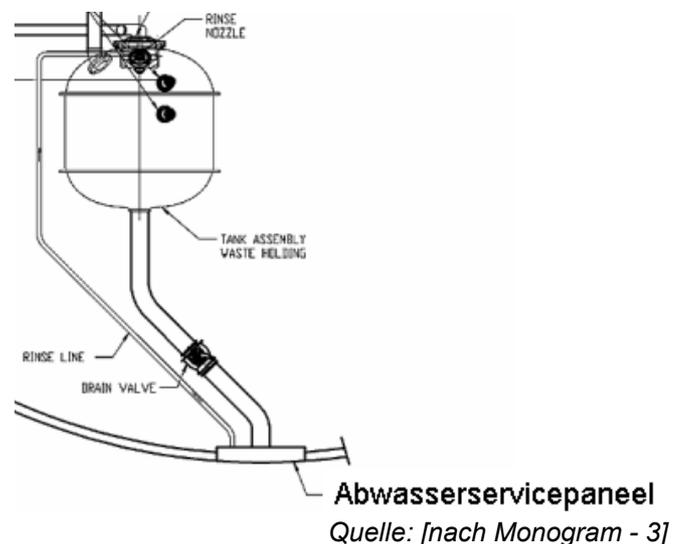


Abb. 3-7: Abwasserservicepaneel

3.2.2.13 AUSGLEICHSVENTIL

Das Ausgleichsventil ist eine Notfalleinrichtung. Es befindet sich zwischen zwei Abwassertanks und ermöglicht im Bedarfsfall, vor allem bei drohender Überfüllung eines Tanks, ein Ausgleichen des Inhalts zwischen den Tanks. In älteren Modellen der

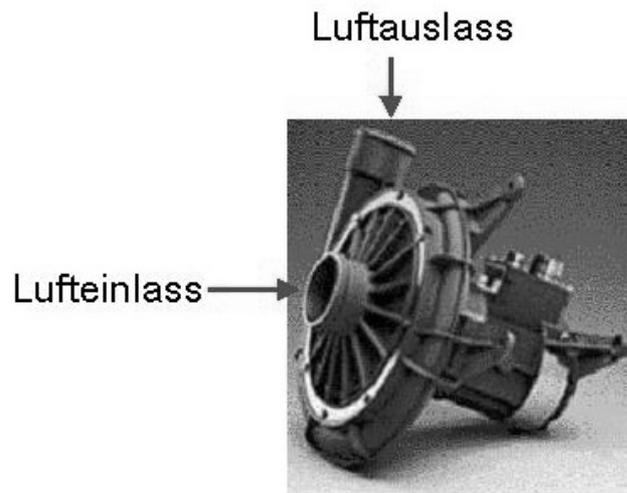
A340 ist das Ausgleichsventil noch zu finden. Es wird allerdings in aktuellen Flugzeugen nicht mehr eingebaut, da es sich nicht bewährt hat.

3.2.2.14 RÜCKSCHLAGVENTIL

Das Rückschlagventil befindet sich im Rohrleitungssystem zwischen dem Entfeuchter und der Außenhaut. Es ist dem Vakuumgenerator parallel geschaltet. Am Boden und in niedrigen Flughöhen, wenn der Vakuumgenerator für den nötigen Unterdruck sorgt, blockiert das Rückschlagventil die eigentliche Versorgungsleitung des Vakuumsystems. Wird die Arbeit des Generators nicht mehr benötigt, weil der Druckunterschied zwischen Kabine und Atmosphäre ausreichend ist, gibt das Ventil die parallele Leitung frei. Das Vakuumsystem ist dann direkt an die Außenluft gekoppelt.

3.2.2.15 VAKUUMGENERATOR

Da erst ab einer Flughöhe von 16000 ft die Differenz zwischen Außen- und Kabinendruck für den Betrieb der Toiletten ausreichend ist, wird für geringere Flughöhen und die Nutzung am Boden eine alternative Vakuumbereitstellung benötigt. Dies geschieht mit Hilfe eines Vakuumgenerators (siehe Abb. 3-8). Er befindet sich im hinteren Heckbereich in der Nähe der Abwassertanks. Die von ihm erzeugbare Druckdifferenz in Bezug auf den Kabinendruck liegt bei ca. $-0,3$ bar. Die Tätigkeit des Vakuumgenerators wird durch die Betätigung des Spülknopfes in einer der Toilettenkabinen hervorgerufen, wenn die Druckdifferenz nicht ausreicht.



Quelle: [AOA - 2]

Abb. 3-8: Vakuumgenerator

4 STAND DER TECHNIK

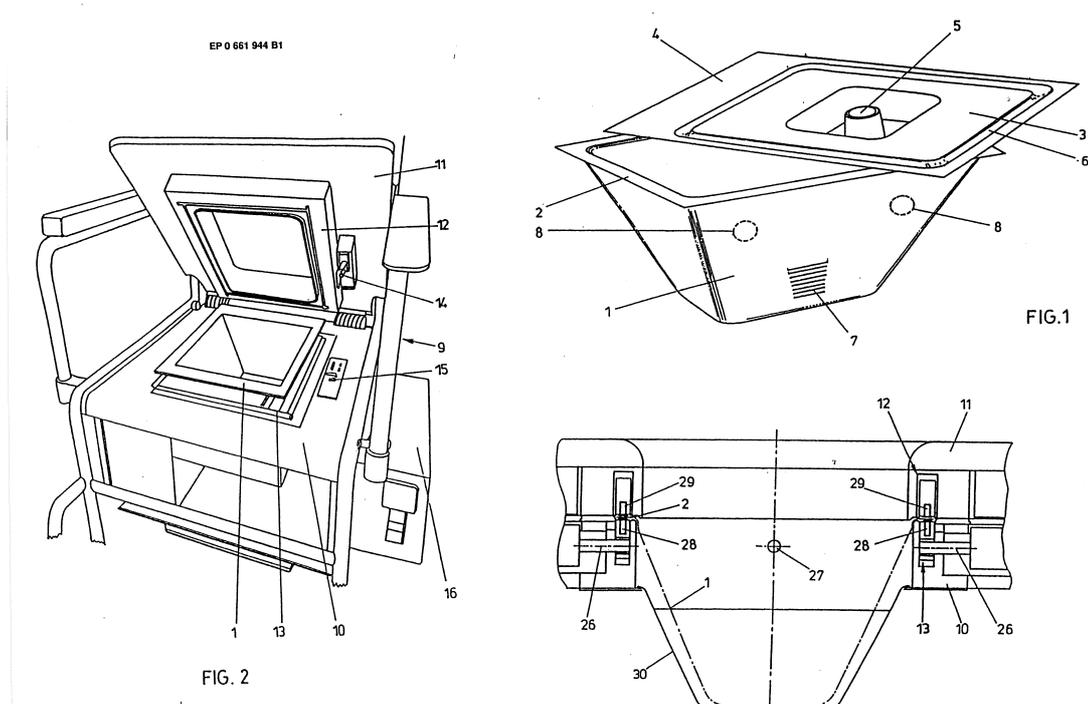
Im folgenden Kapitel werden die derzeit aktuellen Patente für verschiedene Toilettensysteme und der erste Prototyp für eine wasserlose Toilette im Passagierflugzeug dargestellt. Bei den Patenten handelt es sich um alternative Toilettensysteme, die möglicherweise auch in Flugzeugen eingesetzt werden können.

Außerdem soll geklärt werden, welche Teile der Toiletten patentiert sind, um bei einem eigenen Konzept einen Verstoß gegen das Patentgesetz zu vermeiden bzw. auf Teillösungen aufbauen zu können.

4.1 PATENTRECHERCHE FÜR TOILETTENSYSTEME

4.1.1 VERSCHLIEßBARER BEHÄLTER FÜR EINE TROCKENTOILETTE SOWIE TROCKENTOILETTE

Das Patent für „Verschließbare Behälter für eine Trockentoilette sowie Trockentoilette“ [Patent EP 0 661 944 B1] ist am 16.09.1993 von der Österreichischen Raumfahrt und Systemtechnik GmbH angemeldet worden. Die Innovation bei diesem Konzept besteht darin, dass der Behälter 1 (siehe Abb. 4-1), durch einen Folienbeutel mit einem am Rand befindlichen Schweißbord 2 zur Aufnahme der Fäkalien befüllt wird. Nach der Benutzung der Toilette wird ein Deckel mit einer Abdeckfolie 3 heruntergeklappt, die dann mit dem Folienbeutel 1 luftdicht verschweißt wird.



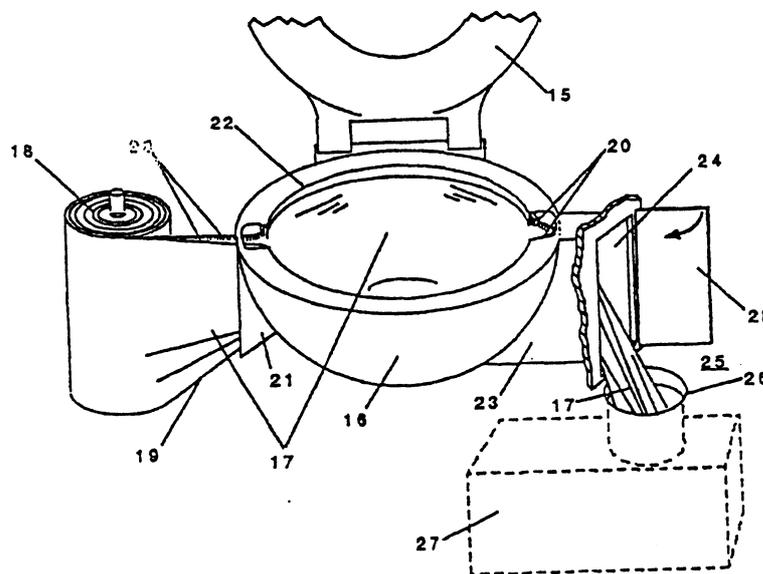
Quelle: [Patent EP 0 661 944 B1]

Abb. 4-1: Verschließbarer Behälter für eine Trockentoilette

Da keine Angaben zum Vorgang der Bestückung und Entleerung des Behälters angegeben wurden, scheint dieses manuell vonstatten zu gehen. Der Hauptanspruch bezieht sich auf den Verschweißvorgang der Elemente 1 und 3.

4.1.2 TROCKENE TOILETTE

Die „Trockene Toilette“ [Patent WO 95/24853] ist ein Toilettensystem mit Material zum Auslegen der Toilettenschüssel, wobei nach der Nutzung der Toilette das Material durch eine seitliche Öffnung entsorgt werden kann. Die Wirkungsweise mit einer seitlich durch die Toilettenschüssel fortbewegten V-förmig gestalteten Folie ist in Abb. 4-2 dargestellt. Die Folie ist bei dieser Toilette auf einer Rolle aufgewickelt und für mehr als 150 Benutzungszyklen ausgelegt.



Quelle: [Patent WO 95/24853]

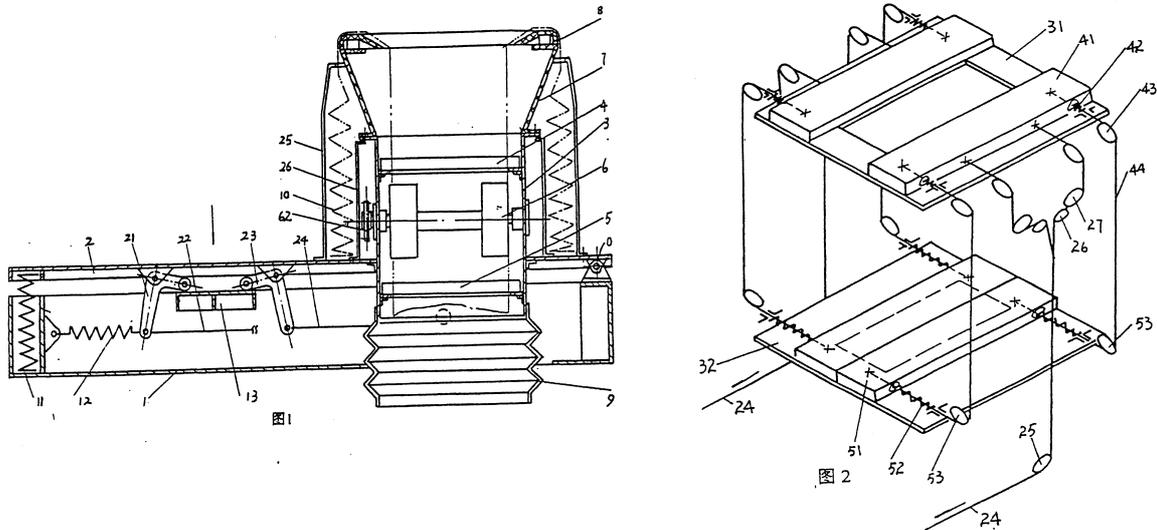
Abb. 4-2: Trockene Toilette

Die Patentansprüche der Firma Waterstate Ltd. (angemeldet am 13.05.1995) beziehen sich im Wesentlichen auf den Transport des Folienmaterials seitlich bzw. quer durch das Toilettenbecken. Pro Nutzung werden ca. 60 cm Folie benötigt. Außerdem sind in dem Patent verschiedene Ausführungsmöglichkeiten des Folien-Förderbandes im oberen Bereich des Beckens mit Leiteinrichtungen berücksichtigt. Auch die Folien-Zuführung auf der einen und Abführung auf der anderen Seite des Toilettenbeckens sowie die Folie selbst, welche von einer zylindrischen Rolle abgezogen wird und deren Material wasserlöslich ist, sind in diesem Falle patentiert.

4.1.3 AUTOMATISCHE TROCKENTOILETTE

Dieses aus China stammende Patent von HE Englong [Patent WO 97/39673] bezieht sich auf ein System bestehend aus einem Kasten, einer Schüssel und einem Sitz. Der Funktionsmechanismus des am 24.04.1996 veröffentlichten Systems wird wie folgt

beschrieben: Ein Plastikbeutel wird um den Kasten gelegt, der dann mit Hilfe eines Öffnungs- und Schließmechanismus entsorgt wird (siehe Abb. 4-3).



Quelle: Patent WO 97/39673

Abb. 4-3: Automatische Trockentoilette

Dieses Konzept soll in erster Linie dort eingesetzt werden, wo weder Wasser noch Strom vorhanden sind. Mit Hilfe einer Schieber-Mechanik - wobei die Kraftquelle das Körpergewicht des Benutzers ist - und einer schlauchförmigen Folie wird gewährleistet, dass die Fäkalien nach der Benutzung separiert in die Folie eingebunden und weitertransportiert werden. Durch dieses System findet der nächste Benutzer immer eine mit frischer Folie bedeckte Toilette vor, wobei auch die Toilettenbrille mit einer frischen Folie bedeckt ist.

4.1.4 KLOSETT, INSBESONDERE FAHRZEUGKLOSETT

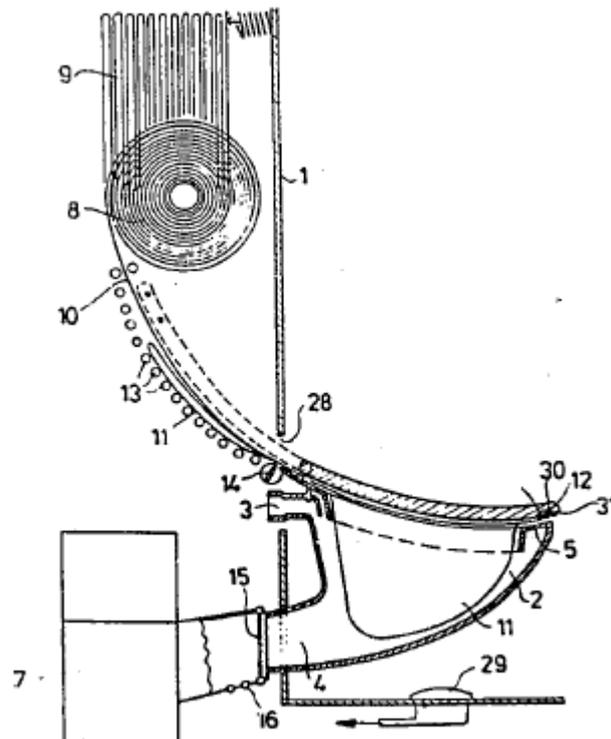
Das Patent auf dieses Toilettensystem liegt in den Händen der Firma Villeroy & Boch [Patent DE 2 105 078/1971]. Die Sitzbrille wird auch hier bei der Einbringung der Tüten (11) (siehe Abb. 4-4) vom Beutelrand abgedeckt, d. h. die Hygiene der Toilettenbrille ist garantiert. Anschließend wird nur eine geringe Menge Spülwasser verwendet, um den Beutel abzuspülen. Fraglich ist jedoch, wie viel Spülwasser wirklich benötigt wird, um den Beutel wegzuspülen.

Nach dem Gebrauch wird der Beutel mit einer Abschneidevorrichtung vom Rollenband getrennt, und mittels einer Förderschnecke wird der Weitertransport der Fäkalienbeutel in die Verbrennungsanlage sichergestellt. Die Auslösung der Beutelbeseitigung erfolgt durch einen Fußhebel. Als Alternative zur Wulst-Mitnahme des Beutels bei der Entnahme wird eine Saugvorrichtung vorgeschlagen bzw. Pressluft anstatt des Spülwassers für den erforderlichen Weitertransport.

Während dieser Vorgänge werden die Gerüche oberhalb der Toilettenschüssel abgesaugt.

Im Wesentlichen beziehen sich die Patentansprüche auf die Tüten (11), die dem Becken (2) angepasst sind und eine Vorratsfalte und einen Außenrand (Belag 10) besitzen. Dieser liegt am oberen Ende des Beckens (Sitzrand 5) auf.

Darüber hinaus werden im Patent der bewegliche Deckel (6) zur Mitnahme der Beutel über die Wulst, die Abschneidevorrichtung (14) für Folien/Beutel-Einheiten und die Festkörper -Vernichtungsanlage (7) mit elektrischer Heizwicklung berücksichtigt. Wegen der frühen Patentanmeldung im Jahre 1970 sind die vorher genannten Merkmale heute Stand der Technik.



Quelle: Patent DE 2 105 078/1971

Abb. 4-4: Klosett, insbesondere Fahrzeugklosett

4.1.5 ALS TRANSPORTABLE EINHEIT AUSGEBILDETE ABORT-EINRICHTUNG

Unter der Patentschrift CH 678 916 wird das Patent der Firma Huskvarna aus Schweden geführt. Hierbei geht es hauptsächlich um die Entsorgung von Fäkalien mit Hilfe von Kühlung, ein Konzept, das wie folgt in der Patentschrift kommentiert wird:

„Maßnahmen, die auch unabhängig von der Art der Beutelentnahme von erfinderischer Bedeutung sind, sind in den Ansprüchen 8 bis 11 beschrieben. Zwar ist das Kühlen der Fäkalien bereits in der DE-A 2 105 075 beschrieben, doch ist diese bekannte Konstruktion für die Praxis kaum geeignet.

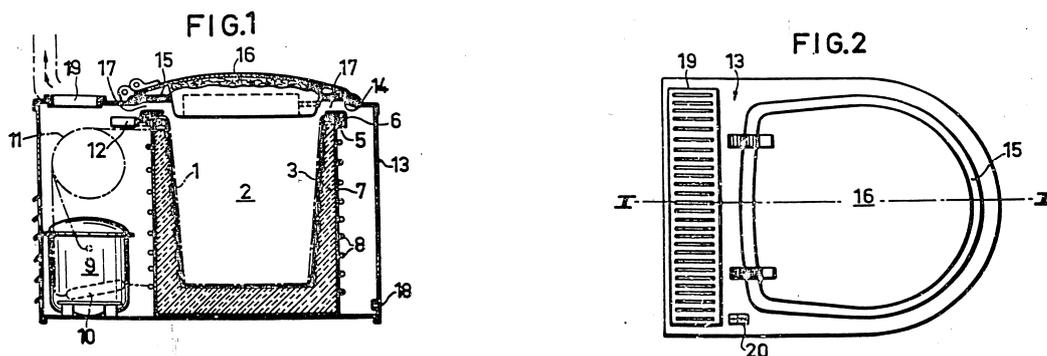
Der Grund ist einfach der, dass eine Abkühlung der Wandung der Klosettschüssel auf -15°C praktisch notwendigerweise zu einem unangenehmen Gefühl, wenn nicht sogar zu einer gesundheitlichen Gefahr für den Benutzer werden muss. Selbst wenn man in Betracht zieht, dass eine gleichzeitige Beheizung der

Außenflächen vorgeschlagen wird, kann mit einem derartig aufwendigen System (gleichzeitiges Heizen und Kühlen) kaum das erstrebte Ziel erreicht werden. Wenn die Erwärmung tatsächlich den Kühleffekt kompensieren soll, dann wird der Zweck der Kühlung, nämlich weitgehende Geruchsfreiheit, zunichte gemacht. Ganz abgesehen davon ist das Einsetzen relativ steifer Fäkalienbeutel von oben in die Klosettschüssel sowie die Entnahme von Hand umständlich, unhygienisch und unzuverlässig.

Man hat wohl auf Grund der schlechten Erfahrung mit obiger Konstruktion die Zweckmäßigkeit und Nützlichkeit einer Kühlbehandlung, die sich für gewisse Anwendungen eignet, wie Kühlschiffe oder andere Kühlfahrzeuge und vor allem Flugzeuge, die ja in großen Höhen mit einer Lufttemperatur von etwa -50°C fliegen, nicht erkannt, und die DE-A 2 902 476 beschreibt anhand eines Nassklosetts sogar Maßnahmen, um ein Gefrieren zu verhindern.

Dadurch, dass ein von der Klosettschüssel getrennter Kühlraum vorgesehen ist, wird die Gefahr einer Unterkühlung des Benutzers sowie eine unhygienische Handhabung der Beutel vermieden“. [Patentschrift CH 678 916]

Hinzuzufügen ist, dass die Toilettenbrille nicht vom Beutelrand abgedeckt wird (siehe Abb. 4-5). Hierdurch sind die Hygieneansprüche nicht ganz erfüllbar. Ein weiterer Nachteil ist die manuelle Bedienung der Aborteinheit, wodurch sich dieses Konzept nicht für den Einsatz in Flugzeugen eignet.



Quelle: Patent CH 678 916

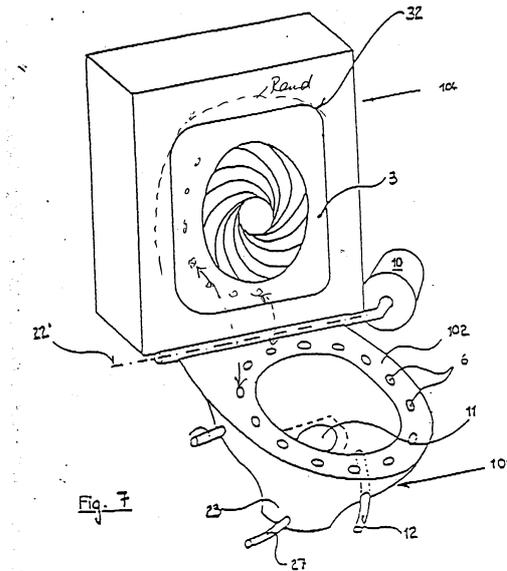
Abb. 4-5: Als transportable Einheit ausgebildete Abort-Einrichtung

4.1.6 VAKUUM - SPÜLTOILETTENSYSTEM

Bei dem Konzept der Firma Rogerson Aircraft Controls [Patent: DE 30 26 763/1990] „Vakuum - Spültoilettensystem“ wurde eine modulare Konstruktion gewählt (Toiletten- und Entsorgungs-Hauptmodule, vgl. Abb. 4-6).

Das Toilettenmodul selbst besteht aus vier weiteren, austauschbaren Modulen. Der Spülzyklus, ausgelöst durch einen Bedienknopf, läuft in Zeitintervalle gegliedert und automatisch ab.

Die Vorteile dieser Erfindung sind gegenüber einer Rezirkulationsanlage die wesentlich verbesserte Hygiene und der deutlich verringerte Wasserverbrauch. Die weitgehende Vermeidung von Filtern, Ventilen, Pumpen und Motoren sowie der Einsatz atmosphärischen Unterdrucks sind weitere Vorteile dieses Konzeptes.



Quelle: Patent CH 678 916 A5

Abb. 4-7: Klosett mit einem Spender

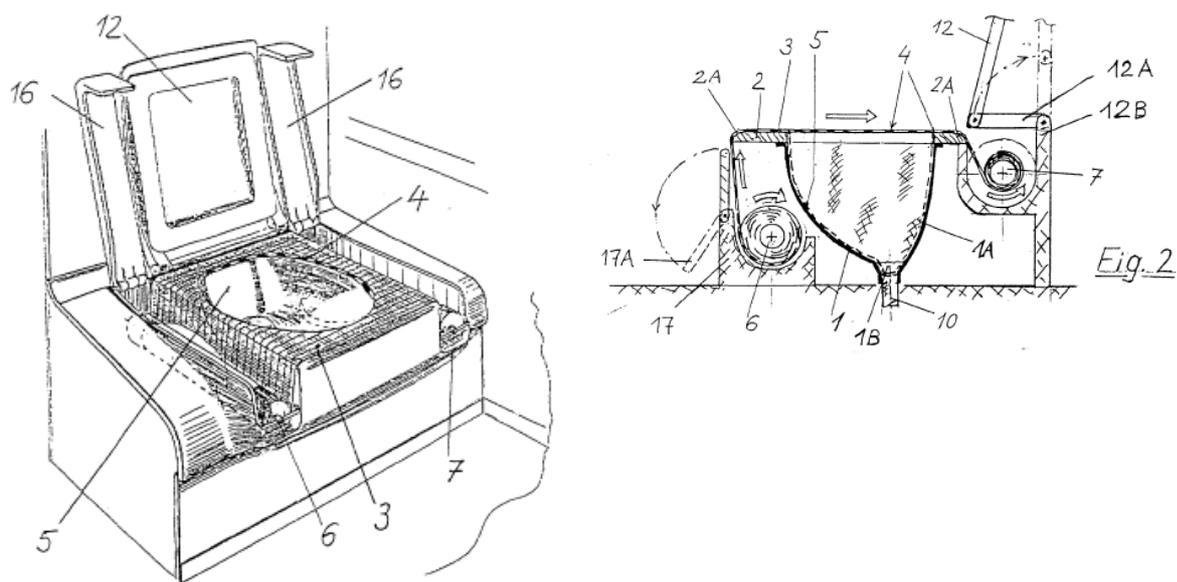
4.1.8 TOILETTENEINRICHTUNG, INSBESONDERE FÜR VERKEHRSMITTEL

Das Patent „Toiletteneinrichtung, insbesondere für Verkehrsmittel“ [Patent: DE 101 02 298 C1] von der Airbus Deutschland GmbH ist am 19.1.2001 angemeldet worden. Hierbei handelt es sich auch um eine wasserlose Toilette, welche für Flugzeuge konzipiert wurde. Wie man auf Abb. 4-8 sehen kann, wird eine Folienbeuteleinheit über die Toilettenbrille gezogen und der Beutel innerhalb der Toilettenschüssel positioniert. Im Folgenden werden die Patentansprüche dargestellt.

Patentansprüche:

1. „Toiletteneinrichtung, insbesondere für Verkehrsmittel, wobei mindestens ein Toilettenbecken (1) vorgesehen ist, welches über eine Entsorgungsöffnung (1B) und eine Absaugleitung (10) an einem Vakuumentorgungssystem anschließbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass oberhalb des Toilettenbeckens (1) eine Sitzauflage (3) vorgesehen ist, an der mittels einer Perforation (4) ein Folienbeutel (5) angeordnet ist, der für eine Toilettenbenutzung annähernd lotrecht oberhalb des Toilettenbeckens (1) positioniert ist und in das Toilettenbecken (1) zum Auskleiden der Beckeninnenoberfläche (1A) einbringbar ist.“
2. „Toiletteneinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Sitzauflage (3) mit integrierten, gefalteten Folienbeuteln (5C) aufgerollt auf einer Abzugsrolle (6) bevorratet ist, von der Abzugsrolle (6) abgerollt, oberhalb des Toilettenbeckens (1) verlaufend auf der gegenüberliegenden Seite des Toilettenbeckens (1) von einer Aufnahmerolle (7) aufgenommen wird.“
3. „Toiletteneinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass an der Aufnahmerolle (7) ein Antrieb (8) vorgesehen ist, der bei jedem Benutzungszyklus die Sitzauflage (3) um eine Teilungslänge dergestalt

- weiterbewegt, dass der Folienbeutel (5) mittig über dem Toilettenbecken (1) positioniert ist.“
4. „Toiletteneinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Folienbeutel (5) durch Aufbringen eines leichten Unterdrucks in das Toilettenbecken (1) über die Absaugleitung (10) und/ oder mindestens eine Saugleitung (14) entfaltet und an der Innenwand (1B) des Toilettenbeckens (1) anlegbar ist.“
 5. „Toiletteneinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Folienbeutel (5) eine dem Toilettenbecken (1) angepasste Formgebung aufweist.“
 6. „Toiletteneinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass durch Auslösung des Spülvorganges ein hoher Unterdruck im Toilettenbecken (1) entsteht und der Folienbeutel (5) aufgrund der entstehenden Saugkraft im Bereich der Entsorgungsöffnung (1B) an der Perforation (4) abreißt und der Folienbeutel (5) über die Absaugleitung (10) entsorgt wird.“
 7. „Toiletteneinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine Toilettenbrille (2) oberhalb des Toilettenbeckens (1) angeordnet ist, wobei die Seitenkanten (2A) der Toilettenbrille (1) im Querschnitt gerundete Ecken bilden und die obere Oberfläche der Toilettenbrille (2) die Gleitfläche zur Sitzauflage (3) bildet.“
 8. „Toiletteneinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Abzugsrolle (6) und die Aufnahmerolle (7) an gegenüberliegenden Seiten des Toilettenbeckens (1) angeordnet sind und durch Abdeckungen (16) und/oder Abdeckklappen (12A) verdeckbar sind.“
 9. „Toiletteneinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass über ein Betätigungselement (15) und ein Sensorelement (11) eine automatisierte Verschiebung der Sitzauflage (3) erfolgt.
 10. Toiletteneinrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Sensorelement (11) eine Lichtschranke ist, die bei entsprechenden Markierungen (3B) auf der Sitzauflage (3) Impulse zum Beenden der Verschiebewegung an das Betätigungselement (15) des Antriebs (8) meldet.“



Quelle: Patent DE 101 02 298 C1

Abb. 4-8: Toiletteneinrichtung, insbesondere für Verkehrsmittel

4.2 BEWERTUNG DER PATENTE

In der folgenden Tabelle (siehe Tab. 4-1) werden die im vorigen Abschnitt vorgestellten Patente noch einmal hinsichtlich:

- Hygiene
- Bedienung
- Vakuumadaption
- Technischer Realisierbarkeit im Flugzeug

bewertet.

Patent	Hygiene	Bedienung	Vakuumadaption	Technische Realisierbarkeit
EP 0 661 944 B1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beutel in Toilettenschüssel ▪ Brille nicht abgedeckt 	Halbautomatisch	Nicht möglich	Schwer realisierbar
WO 95/24853	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beutel in Toilettenschüssel ▪ Brille nicht abgedeckt 	Automatisch	Nicht möglich	Nicht realisierbar
WO 97/39673	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beutel in Toilettenschüssel ▪ Brille nicht abgedeckt 	Manuell	Nicht möglich	Nicht realisierbar
DE2105078/1971	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beutel in Toilettenschüssel ▪ Brille abgedeckt 	Automatisch	Eventuell möglich	Realisierbar, aber Bauraum zu groß.
CH 678 916	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beutel in Toilettenschüssel ▪ Brille nicht abgedeckt 	Manuell	Nicht möglich	Nicht realisierbar
DE3026763/1990	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wasserspülung 	Automatisch	Vakuum vorhanden	Realisiert
CH 678 916 A5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beutel in Toilettenschüssel ▪ Brille nicht abgedeckt 	Manuell	Möglich	Eventuell realisierbar
DE10102298C1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beutel in Toilettenschüssel ▪ Brille abgedeckt 	Automatisch	Vakuum vorhanden	Realisierbar, aber Bauraum zu groß.

Tab. 4-1: Bewertung der Patente

Abschließend kann man sagen, dass das Patent DE 101 02 298 C1 von der Airbus Deutschland GmbH am besten die Anforderungen hinsichtlich Hygiene, Bedienung, Vakuumadaption und technischer Realisierbarkeit im Flugzeug erfüllt. Jedoch ist der benötigte Bauraum für eine Flugzeugtoilette zu groß.

4.3 VORHANDENER PROTOTYP „WASSERLOSE TOILETTE“

Der erste Prototyp für eine wasserlose Toilette basiert auf dem Konzept Spezialoberflächen und dem Konzept Folien-Beutel. Diese Konzepte werden im Folgenden kurz dargestellt. Anschließend wird die Funktionsweise des Prototypen erläutert.

4.3.1 KONZEPT MIT SPEZIALOBERFLÄCHEN

Bei diesem Ansatz wird die Idee der selbstreinigenden Oberfläche eingesetzt. Dabei sind zwei verschiedene Varianten voneinander zu unterscheiden:

1. Lotuseffekt, der die Bionik nutzt und zur Folge hat, dass ca. 99 % der Verschmutzung direkt von der Oberfläche abperlen (siehe Abb. 4-9).
2. Beschichtung mit Hilfe der Nanotechnologie, wobei der Benetzungswinkel reduziert wird, wodurch die Haftung von Schmutzpartikeln auf der Toilettenschüssel nahezu ausgeschlossen wird.

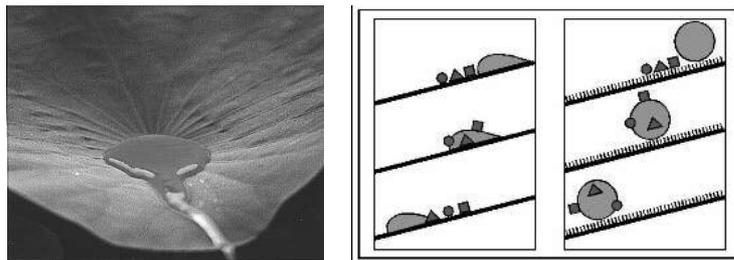


Abb. 4-9: Lotuseffekt

4.3.1.1 NANOTECHNOLOGIE

Durch die Beschichtung der Toilette mittels Nanotechnologie¹ wird der Benetzungswinkel stark reduziert, wodurch die Haftung von Schmutzpartikeln auf der Toilettenschüssel nahezu ausgeschlossen wird (siehe Abb. 4-10). Bedingt durch die Schwerkraft fallen die Schmutzpartikel in den ebenfalls beschichteten Auslauf der Toilettenschüssel, wo sie dann durch den anliegenden Unterdruck in den Wastetank (Fäkalienbehälter) gezogen werden. [ERDMANN]

¹ Nanotechnologie: Auftragung von Schichten im Nanometerbereich. [ERDMANN]

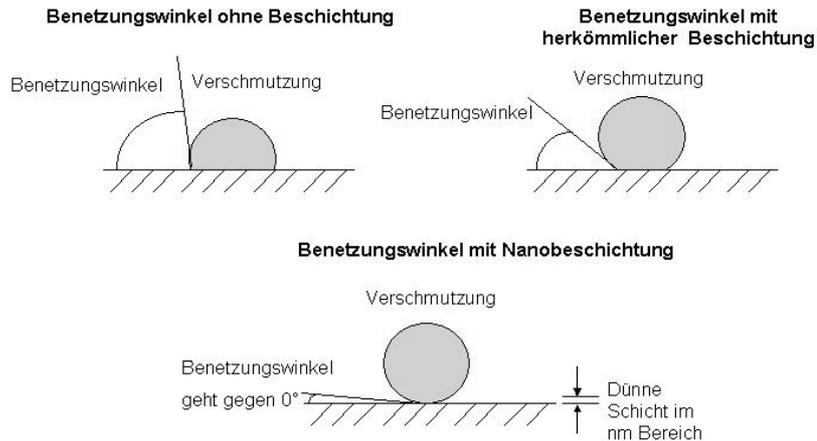


Abb. 4-10: Benetzungswinkel bei unterschiedlichen Beschichtungen

Mit Hilfe der sogenannten Nanotechnologie werden sehr „dünne Schichten“, d. h. im Nanometer-Bereich, auf eine Oberfläche aufgetragen, wodurch eine geordnete Oberfläche entsteht. Dadurch ist der Benetzungswinkel nahezu 0° , so dass man eine bestmögliche Antihaftbeschichtung erhält. [ERDMANN]

Das Auftragen dieser „dünnen Schichten“ im Hochvakuum kann durch unterschiedliche Verfahren geschehen, zu beachten ist jedoch, dass nicht alle Materialien zum Beschichten geeignet sind:

1. die klassische Methode des Aufdampfens mittels einer Widerstandsheizung;
2. Sputtertechnik (Plasmastrahlquelle, Magnetronzerstäubung, RF-Diodenzerstäubung)
3. Gasphasenabscheidung (Chemical Vapor Deposition, CVD). [ERDMANN]

4.3.2 KONZEPT FOLIEN-BEUTEL MIT BESCHICHTETER OBERFLÄCHE

Bei diesem Konzept wird von einer Rolle eine Folie mit Beuteln (siehe Abb. 4-11) über die Toilettenbrille gezogen. Durch das Anlegen des Unterdruckes wird dann der Beutel in die Toilettenschüssel gesogen (siehe Abb. 4-12).

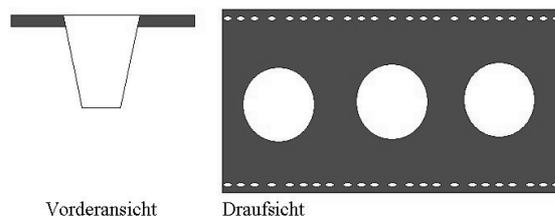


Abb. 4-11: Folien-Beutel-Konstruktion

Nach der Befüllung wird die Folie durchtrennt und die benutzte Folie zusammen mit dem gefüllten Beutel durch das Öffnen des Ventils im Rohrsystem abgesaugt (siehe

Abb. 4-12; Position 2 und Position 3). Die einwandfreie Hygiene wird dann wieder durch ein neues Folienstück mit Beutel hergestellt (siehe Abb. 4-12; Position 4).

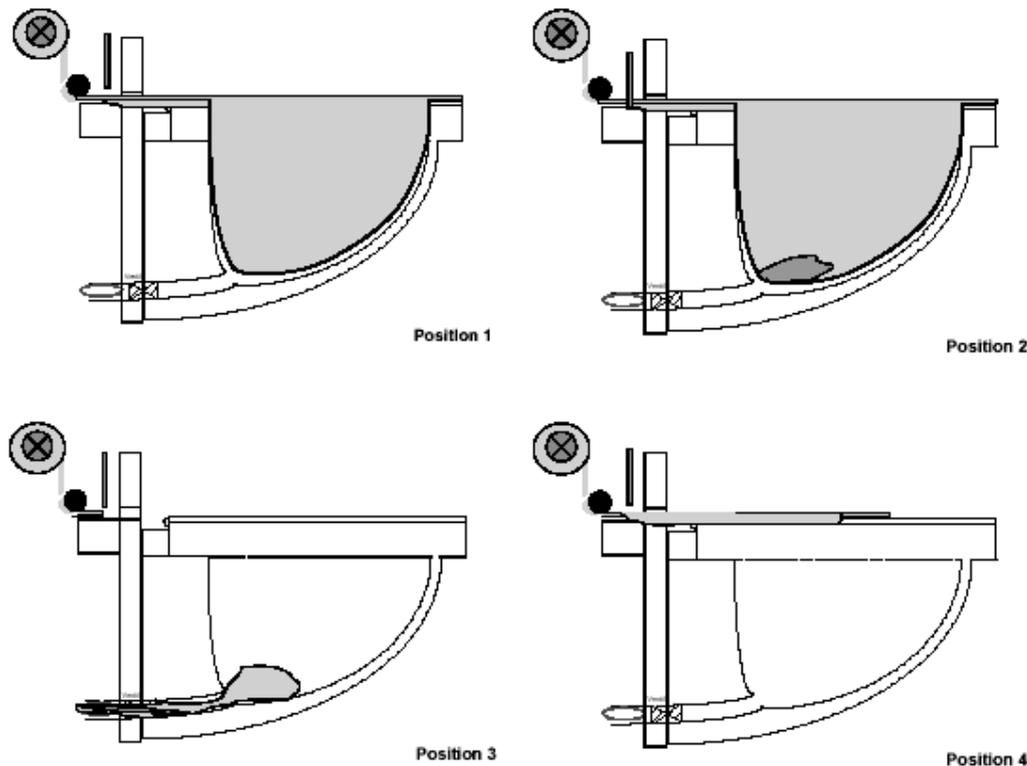


Abb. 4-12: Ablauf des Konzeptes Folien mit Beuteln

Weiterhin ist bei diesem Konzept angedacht, ein Reservesystem zu haben. Bei diesem System handelt es sich um die Beschichtung der Toilettenschüsseloberfläche, wie sie in Kapitel 4.3.1 „Konzept mit Spezialoberflächen“ vorgestellt worden ist, so dass bei einem Ausfall des Folien-Beutel-Systems der Selbstreinigungseffekt durch die beschichtete Oberfläche eintritt. Dadurch kann die Toilette auch nach dem Ausfall des Folien-Beutel-Systems weiter genutzt werden.

4.3.3 FUNKTIONEN DES PROTOTYPEN

Um das oben beschriebene Konzept Folien-Beutel zu realisieren, ist das Augenmerk bei der Konstruktion des ersten Prototypen auf das System zum Transport und Abtrennen der Folien-Beutel-Konstruktion gelegt. Als Ansaug- bzw. Absaugmechanismus wird das vorhandene Unterdrucksystem in Flugzeugen übernommen.

Die Folien-Beutel-Konstruktion ist auf einer Rolle aufgerollt und wird dann über die Toilettenbrille gezogen werden. Um die Folien-Beutel-Konstruktion über die Toilettenbrille ziehen zu können, werden zwei Zahnriemen (siehe Abb. 4-13) eingesetzt, die ebenfalls in die gewünschte Lage (unterhalb der Toilettenbrille) zu bringen sind. Hierzu werden Umlenkrollen eingesetzt. Eine Umlenkrolle muss den von der Antriebswelle vertikal kommenden Riemen in die horizontale Lage lenken. Die nächste Umlenkrolle verdreht den Riemen so, dass er schräg unterhalb der Toilettenbrille

verläuft. Zwei weitere Umlenkrollen führen den Riemen wieder zurück zur Antriebswelle.

Das Abtrennen der Folie geschieht mit einem Heißdraht. Dieser Draht befindet sich auf einem Trägerelement. Eine Lineareinheit führt dieses Trennelement in die Abtrennposition und zurück. Damit der Zahnriemen beim Trennen der Folie nicht beschädigt wird, muss dieser besonders geschützt werden.

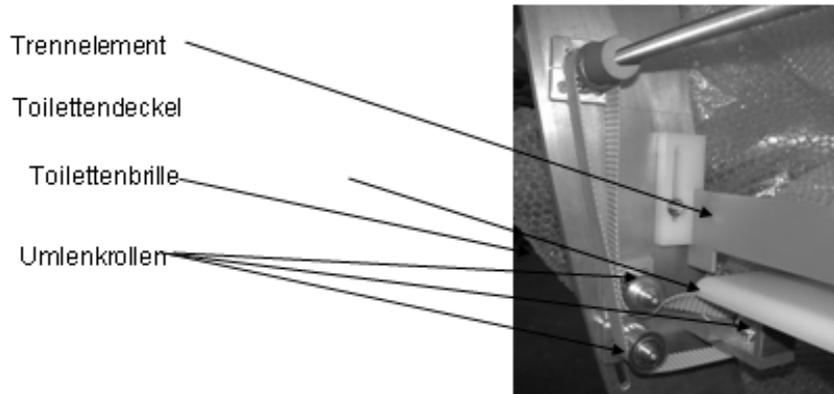


Abb. 4-13: Verdrehung des Zahnriementriebes

Wie man auf Abb. 4-14 sehen kann, wird der Antrieb der Folien-Beutel-Einheiten noch mit einer Kurbel gewährleistet.



Abb. 4-14: Prototyp wasserlose Toilette

5 VERSUCHSERGEBNISSE MIT ERSTEN PROTOTYPEN

Die Versuche wurden mit dem ersten fertig gestellten Prototyp durchgeführt und sollen das Verbesserungspotential aufzeigen.

5.1 VERSUCHSAUFBAU

Der Aufbau der Versuchstoilette entspricht einer Toilette im Unterflurbereich, welche allerdings nicht über Rohre, sondern über einen 20 Meter langen Schlauch mit dem Waste Tank verbunden ist. Bei dem Versuch wurde ein Unterdruck von 0,3 bar angelegt, der dem geringsten anliegenden Unterdruck im Flugzeug entspricht. Der Vakuumdruck innerhalb der Toilettenschüssel und des Vakuumrohrs wurde über die ganze Versuchsdauer durch zwei Drucksensoren gemessen (siehe Abb. 5-1).

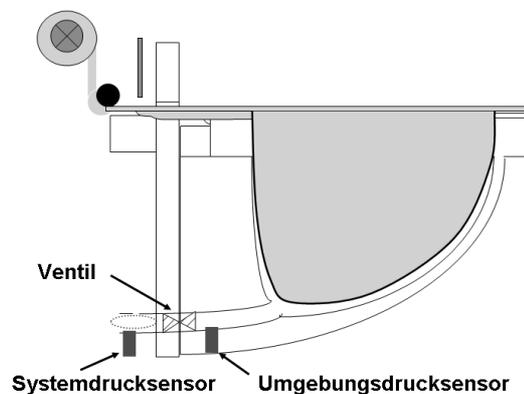


Abb. 5-1: Lage der Drucksensoren

Für den Versuch wurden Folien-Beutel-Einheiten auf Basis von Maisstärke mit einer Dicke von 25 μm von der Firma Natura verwendet:

Um das Verhalten der Toilette am besten testen zu können, wurden Versuche mit verschiedenen Befüllungen durchgeführt. Dabei wurden folgende Befüllungsgrade gewählt:

- ohne Befüllung
- 250 ml Gel
- 500 ml Gel
- 500 ml Wasser
- 2500 ml Gel
- 2500 ml Gel + 3000 ml Wasser

Das Gel wurde als Fäkalienersatz verwendet, weil es etwa die gleiche Dichte und Festigkeit besitzt.

Während und nach dem Test wurden folgende Sichttests vorgenommen:

- Nach dem Einsaugvorgang der Folien-Beutel-Einheit in die Toilettenschüssel, um festzustellen, ob der Beutel durch das Ansaugen zerstört wird.
- Nach jedem Versuch wurde die Toilettenschüssel einem Sichttest unterzogen, um festzustellen, ob die Toilettenschüssel sauber und trocken geblieben ist.
- Nach der Versuchsreihe wurden außerdem alle sich im Waste Tank befindlichen Folien-Beutel-Einheiten herausgenommen und auf vorhandene Löcher untersucht.

5.2 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Die Sichttests nach dem Einsaugen der Beutel in die Toilettenschüssel ergaben ein positives Ergebnis: der Beutel ist durch das Ansaugen nicht zerstört worden. Auch der Sichttest nach dem Absaugen der Folie-Beutel-Einheiten in den Waste Tank zeigte, dass die Toilettenschüssel immer sauber und trocken (siehe Tab. 5-1) geblieben ist.

Dagegen zeichnete der Sichttest der Tüten nach der Entleerung des Waste Tanks ein negatives Bild: alle Tüten wiesen ein Loch am Boden (in der Nähe des Ansaugrohres) auf (siehe Tab. 5-1).

Versuch	Befüllung	Sichttest nach Einsaugen	Sichttest nach Absaugen	Sichttest nach Versuch
1	ohne	Ohne Loch	trocken	Loch
2	250 ml Gel	Ohne Loch	trocken	Loch
3	500 ml Gel	Ohne Loch	trocken	Loch
4	500 ml Wasser	Ohne Loch	trocken	Loch
5	2500 ml Gel	Ohne Loch	trocken	Loch
6	2500 ml Gel + 3000 ml Wasser	Ohne Loch	trocken	Loch

Tab. 5-1: Versuchsreihe Folien-Beutel-Einheiten 25 µm

5.3 AUSWERTUNG

Selbst beim niedrigstmöglichen anliegenden Unterdruck (0,3 bar) sind die unbefüllten sowie befüllten Folienbeuteleinheiten durch einmaliges Öffnen des Flush-Ventils in den Waste Tank befördert worden.

Auch die Druckschaubilder mit Umgebungsdruck und Vakuumdruck während des gesamten Versuches ergeben ein positives Bild. Man kann erkennen, dass der Umgebungsdruck (rote Kurve) zu Beginn des Absaugvorganges umso länger gesenkt wird je mehr der Beutel in der Toilettenschüssel befüllt ist (siehe Abb. 5-2 bis Abb. 5-4). Außerdem erkennt man, dass sich der Umgebungsdruck und der Druck im System (graue Kurve) sich während des Absaugvorganges annähern.

pressure [bar]



Abb. 5-2: Druckbilder ohne Befüllung

pressure [bar]

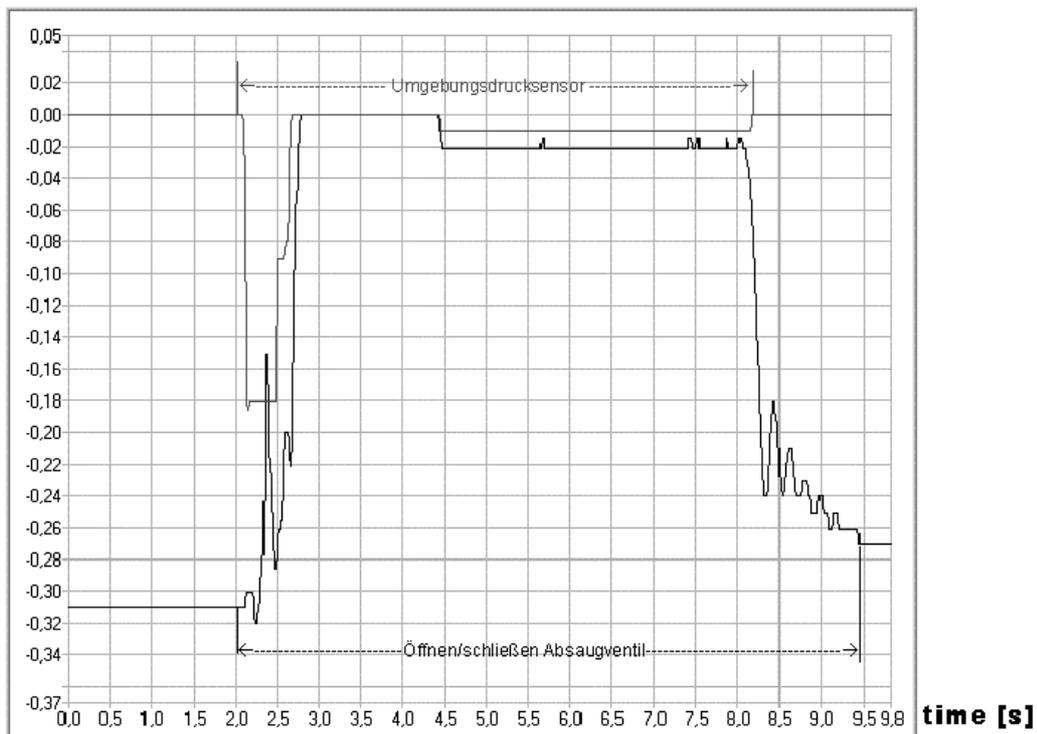


Abb. 5-3: Druckbilder bei 250 ml Gel-Füllung



Abb. 5-4: Druckbild bei 2500 ml Gel + 3000 ml Wasserfüllung

5.3.1 FOLIEN-BEUTEL-EINHEITEN

Alle Beutel-Varianten sind am Absaugstutzen beim Absaugen gerissen (siehe Abb. 5-5), wobei jedoch die Reinheit der Toilettenschüssel nie beeinträchtigt wurde.



Abb. 5-5: Sichttest nach Entleerung des Waste Tank - Loch im Beutel

Abschließend ist festzustellen, dass die Toilettenschüssel immer sauber geblieben ist. Diskussionswürdig sind folgende Themen:

1. ob die Reißfestigkeit der Tüten am Ansaugstutzen erhöht werden muss oder ob man

2. eventuell ein größeres und flacheres Absaugrohr verwendet, um die Löcher in den Tüten an den Absaugstutzen zu vermeiden.

5.4 VERBESSERUNGSPOTENTIAL DES PROTOTYPEN

Während der Versuchsreihe wurden die in Tab. 5-2 Erkenntnisse und Verbesserungspotentiale aufgenommen.

Erkenntnis	Mögliche Ursache	Verbesserungspotential
Vorschubantrieb: Folien-Beutel-Einheiten werden nicht immer durch die Noppen aufgenommen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dehnungsgrad der Folie zu hoch ▪ Lochperforation an der Seite der Folien-Beutel-Einheit nicht immer im gleichen Abstand 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Lochperforation und Noppenantrieb zum Vorschub ▪ Greifer zum Vorschubantrieb der Folien-Beutel-Einheiten nutzen
Trennung der Folien-Beutel-Einheiten nicht immer 100%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ U-förmige Form des Heißdrahtes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Änderung der Folien-Beutel-Einheiten an der Trennstelle → Überragende Enden der Folie an der Toilettenbrille bei der Fertigung ausstanzen und somit eine gerade Trennfläche auf der Toilettenbrille gewährleisten ▪ Trennung der Folien-Beutel-Einheiten durch ein Trennmesser
Abrollen der Folien-Beutel-Einheiten läuft nicht immer gleichmäßig ab	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Per Hand gefertigte und aufgerollte Folien-Beutel-Einheiten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Folien-Beutel-Einheiten maschinell konfektionieren und aufrollen

Tab. 5-2: Problembereiche des Prototypen

5.5 ENTLERUNG DES WASTE TANKS

Nach dem Abschluss der Versuchsreihe wurden noch weitere leere Folien-Beutel-Einheiten in den Waste Tank befördert, anschließend wurde das Entleerungsventil geöffnet. Dabei stellte sich heraus, dass sich die Folien-Beutel-Einheiten vor den Auslass legen und eine Schwerkraftentleerung nicht möglich ist. Eine Alternative wäre es, den Waste Tank mit Hilfe von Vakuum bzw. durch Einführen einer Kreiselpumpe zu entleeren. Besser wäre es jedoch, wenn sich die Folien-Beutel-Einheiten im Waste Tank auflösen und somit wieder eine breiige Masse zur Entsorgung vorliegt.

6 PROBLEMBEREICHE DES HEUTIGEN TOILETTENSYSTEMS

Nachdem nun heutige Toilettensysteme, der Stand der Technik und die Versuchsergebnisse mit dem ersten Prototypen dargestellt wurden, werden auf den folgenden Seiten die Problembereiche des Vakuumtoilettensystems dargestellt. Außerdem wird das wasserlose Toilettensystem zum einen allgemein bewertet und zum anderen eine Bewertung gegenüber den Problembereichen des Vakuumtoilettensystems vorgenommen. Weiterhin werden weitere erste Forschungsschritte in Verbindung mit der Entwicklung des wasserlosen Toilettensystems vorgeschlagen.

6.1 PROBLEMBEREICHE DES VAKUUMSYSTEMS

6.1.1 LAUTSTÄRKE UND DRUCKREGELUNG

Beim Öffnen des Spülventils kommt es zu einem schlagartigen Druckausgleich zwischen Toilettenschüssel und Vakuumsystem. Dadurch gerät die strömende Luft in starke Schwingungen und erzeugt ein saugendes Geräusch, dessen Lautstärke zwischen 90 dB(A) im vorderen und 106 dB(A) im hinteren Flugzeugbereich liegt. Es handelt sich um eine immense Belästigung und auch Belastung der Passagiere, von der nicht nur die jeweiligen Toilettennutzer, sondern auch Personen betroffen sind, die in der Nähe der Toilettenkabinen sitzen. Hier handelt es sich um einen Bereich des Flugzeugs, der einmal genauer untersucht werden sollte. Ein Ansatz wäre die Druckregelung, denn je höher der Druckunterschied, umso lauter ist auch das Geräusch beim Absaugen. Da bei maximaler Flughöhe eine Druckdifferenz von etwa 0,6 bar herrscht, für den optimalen Toilettenbetrieb aber nur 0,4 bar benötigt werden, könnte durch eine Druckregelung die Lautstärke gesenkt werden.

6.1.2 ROHRREINIGUNG

Ein sehr arbeitsintensives Problem sind die Rohre des Vakuumsystems. Sie müssen bei durchschnittlicher Flugzeugnutzung mindestens einmal pro Woche mit zerkleinertem Eis oder Essigsäure gespült werden, um ein vollständiges Zuwachsen mit Fäkalien und Resten des Toilettenpapiers zu verhindern (siehe Kapitel 6.2.1.5). Hier wäre ein Ansatz, sich zur Verbesserung mit neuen Reinigungsmethoden zu beschäftigen. Außerdem könnte es lohnend sein, alternative Materialien (z. B. flexible Rohre, die durch die Druckunterschiede ihre Form leicht verändern und so ein Ablagern verhindern) oder Beschichtungen für die Rohre zu untersuchen.

6.2 BEWERTUNG DES WASSERLOSEN TOILETTENSYSTEMS

Es ist nur sinnvoll, ein neues System einzuführen, wenn dieses gegenüber dem alten mindestens einen bedeutenden Vorteil aufweist und dieser nicht mit gravierenden Nachteilen einhergeht. Ein wasserloses System hat gegenüber dem herkömmlichen Vakuumtoilettensystem den offensichtlichen Vorteil der durch die Einsparung des Wassers hervorgerufenen Gewichtseinsparung. Doch es lassen sich auch noch andere positive Aspekte, wie beispielsweise die verbesserte Hygiene, erkennen.

Aber auch weitere Aufgaben ergeben sich durch ein wasserloses System. Im Folgenden sollen diese zum aktuellen Zeitpunkt noch theoretischen Aufgaben aufgezeigt werden. Im Anschluss an jeden Bewertungspunkt werden dann Untersuchungen benannt, die in späteren Arbeiten zur konkreten Bestimmung und damit auch Lösung führen können.

Bei verschiedenen Punkten werden gleiche Bedingungen für die Durchführung der Tests verlangt. Da sie nicht immer ausführlich beschrieben werden, soll hier geklärt werden, was sie im Einzelnen bedeuten.

Verschiedene Beladungszustände:

Mit verschiedenen Beladungszuständen ist gemeint, dass die Tüten sowohl im leeren als auch im vollen Zustand getestet werden müssen. Möglicher Inhalt der Tüten ist dabei alles, was an Gegenständen im Flugzeug zur Verfügung steht und in die 2 – inch - Öffnung des Absaugventils eingeleitet werden kann, wie zum Beispiel Schnapsflaschen, Damenbinden, Toilettenpapier, Pässe, Münzen und Knöpfe.

Verschiedene Fluglagen:

Dieser Punkt beinhaltet alle Fluglagen, die während eines normalen Fluges möglich sind, wie Sinkflug, Kurvenflug, Flug in Turbulenzen, Steigflug und Reiseflug.

Druckbereich:

Der Druckbereich des Vakuumsystems liegt zwischen -0,3 bar bei Vakuumgeneratorbetrieb und -0,6 bar in Reiseflughöhe.

6.2.1 PROBLEMBEREICHE EINES WASSERLOSEN TOILETTENSYSTEMS

Die Probleme werden in nachstehender Reihenfolge behandelt, wobei die Nummerierung keine Wertung darstellt:

- Einsparmöglichkeiten und daraus resultierende Probleme (siehe Kapitel 6.2.1.1)
- Hygienischer Aspekt (siehe Kapitel 6.2.1.2)

- Schutz der Toilettenbeschichtung (siehe Kapitel 6.2.1.3)
- Wegfall des Sprührings (siehe Kapitel 6.2.1.4)
- Einfluss der Tüten auf die Verschmutzung des Rohrsystems (siehe Kapitel 6.2.1.5)
- Geräuscentwicklung in der Toilettenkabine (siehe Kapitel 6.2.1.6)
- Geräuscentwicklung im Rohrsystem (siehe Kapitel 6.2.1.7)
- Absaugventil- und Rohrleitungsblockierung durch Folientüten (siehe Kapitel 6.2.1.8)
- Verstopfung des Ablassventils (siehe Kapitel 6.2.1.9)
- Entsorgung des Schwarzwassers am Flughafen (siehe Kapitel 6.2.1.10)
- Füllstandsanzeigerblockade (siehe Kapitel 6.2.1.11)
- Stärkere Belastung des Rohrsystems (siehe Kapitel 6.2.1.12)
- Verhalten der Tüten im Abfallseparator (siehe Kapitel 6.2.1.13)

6.2.1.1 EINSPARMÖGLICHKEITEN UND DARAUS RESULTIERENDE PROBLEME

Für einen einzigen Spülvorgang werden etwa 0,2 l Frischwasser benötigt. Geht man jetzt davon aus, dass ein Passagier auf einem Langstreckenflug von 8 Stunden ca. 6 mal die Toilette benutzt und sich beispielsweise im Airbus A380-800 annähernd 600 Passagiere an Bord befinden, so ergibt sich eine Wassereinsparung ΔV_w von

$$\Delta V_w = 0,2 \text{ l} \cdot 600 \cdot 6 = 720 \text{ l}$$

Diese 720 l bedeuten natürlich nicht nur Wassereinsparung, sondern sie stehen gleichzeitig für eine Gewichtseinsparung von $\Delta m_w = 720 \text{ kg}$ pro Flug. Diese kann jetzt auf verschiedene Weise genutzt werden. Entweder man belässt es dabei und spart für den Flug Treibstoff ein oder man erhöht den Anteil an gewinnbringender Nutzlast und kommt somit wieder auf das ursprüngliche Gewicht. Die Treibstoffeinsparmöglichkeiten ergeben sich wie folgt:

Die Auftriebskraft F_A , die für die eingesparte Masse nicht mehr benötigt wird, ist

$$F_A = 720 \text{ kg} * g = 720 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 7063,2 \text{ N}$$

Mit einer Gleitzahl von $E = 20,2$ ergibt sich eine Verringerung des Widerstandes ΔW von

$$\Delta W = \frac{7063 \text{ N}}{20,2} = 349,7 \text{ N}$$

Rechnet man nun mit einem durchschnittlichen Treibstoffverbrauch von

$$SFC = 16 * 10^{-6} \frac{kg}{s * N}$$

so erhält man für einen achtstündigen Flug eine mögliche Treibstoffeinsparung Δm_F von

$$\Delta m_F = \Delta W * SFC * 28800s = 161,1 kg$$

Diese Treibstoffeinsparung erscheint nicht besonders groß. Es wird sich für die Fluggesellschaften also eher rechnen, wenn sie anstelle des gesparten Wassers mehr Nutzlast mitnehmen. So könnte z. B. die Lufthansa bei einem durchschnittlichen Kilopreis von 3,28€/kg (bei einzelnen Frachtstücken unter 100 kg) für die freigewordenen 720 kg zusätzlich 2361€ Umsatz pro Flug machen (vgl. hierzu Kapitel 9.1.3). Diesen Umstand der erhöhten Nutzlast könnten Flugzeugbauer nutzen, indem sie bei neugebauten Flugzeugen, die mit der wasserlosen Toilette ausgestattet sind, eine im Vergleich zu mit herkömmlichen Toiletten versehenen Flugzeugen entsprechend höhere Zuladung ausweisen.

Neben den genannten positiven Effekten könnte sich ein gravierender negativer einstellen. Durch die Wassereinsparung sinkt der Flüssigkeitsgehalt im Abwassertank. Bei einem herkömmlichen Toilettengang fallen 0,3 bis 0,5 l Schwarzwasser an. Das ergibt im Durchschnitt 0,4 l. Davon sind 0,2 l Spülwasser. Ohne Spülwasser würde der Flüssigkeitsgehalt demnach um 50 % sinken. Im Abwassertank wird sich eine zähflüssige Masse befinden. Das Ablassventil des Tanks hat einen Durchmesser von 4 in (=10,16 cm). Es ist fraglich, ob sich die zähflüssige Masse inklusive darin enthaltener Tüten durch diese Öffnung problemlos entsorgen lässt, vor allem in der vorgegebenen Enttankszeit von maximal 20 min (Beispiel A380-800).

Forschungsschritte:

Im Bereich der Wassereinsparung sollte untersucht werden, ob es möglich ist, auch kleinere Wasser- und Abwassertanks einzubauen, sofern diese bereits auf dem Markt sind oder eine Neuentwicklung wirtschaftlich vertretbar ist. Vielleicht ist es sogar möglich, einige Tanks ganz einzusparen. Alternativ könnte das gesparte Wasser trotzdem mitgenommen werden und während des Fluges andere Aufgaben übernehmen. Beispielsweise wird über den Einsatz von Duschen oder Geschirrspülmaschinen im Flugzeug nachgedacht. Diese Möglichkeiten müssen genauer geprüft werden. Außerdem muss getestet werden, wie sich die Enttanksung mit dem geringen Flüssigkeitsgehalt tatsächlich gestaltet.

6.2.1.2 HYGIENISCHER ASPEKT

Ein sofort für die Passagiere sichtbarer Vorteil ist die gesteigerte Hygiene in den Toilettenkabinen und in der Toilette selbst. Da die Folientüten über den Toilettenrand gezogen werden, findet jeder Passagier eine saubere, „frisch bezogene“ Toilettenbrille vor. Die Toilettenschüssel wird nur noch minimal verschmutzt, z. B. beim Defekt einer

Tüte. Die Verbesserung der hygienischen Zustände wäre nicht nur subjektiv, sondern auch objektiv.

Forschungsschritte:

Im Bereich der Hygiene gilt es noch zu überprüfen, inwieweit die Passagiere das neue System akzeptieren würden. Es könnte möglich sein, dass einige von ihnen während des Toilettenganges nur ungern auf einer Tüte sitzen möchten. Eine gute Möglichkeit, dies zu ermitteln, sind Kundenbefragungen am Flughafen.

6.2.1.3 SCHUTZ DER TOILETTENBESCHICHTUNG

Das Toilettenbecken ist an der Innenseite mit Teflon beschichtet. Diese Schicht ist besonders schmutzabweisend und sorgt in einer herkömmlichen Toilette dafür, dass die geringe Spülwassermenge optimale Sauberkeit liefern kann. Bei dem wasserlosen System soll die Teflon- oder eine Alternativbeschichtung als Notfallsystem dienen, wenn z. B. eine Tüte reißen sollte. Die Haltbarkeit des Teflons dürfte dabei durch den Schutz der Folie höher sein. Die Toilettenbecken müssen nicht so oft wegen einer zerkratzten Oberfläche getauscht werden. Andererseits könnte es auch passieren, dass sich die Toilettenbeschichtung während der Tütenentsorgung sogar stärker abnutzt, als dies beim herkömmlichen Toilettengebrauch der Fall ist.

Forschungsschritte:

In Versuchen muss getestet werden, wie sich die Verwendung der Tüten tatsächlich auf die Beschichtung auswirkt. Es sollte besonders auf die Bestückung der Tüten mit harten, flugzeugtypischen Gegenständen wie Besteck oder Schnapsfläschchen geachtet werden. Sollte es sich so verhalten, dass die Beschichtung zerkratzt, muss eine weniger kratzanfällige, aber immer noch ausreichend schmutzabweisende, gefunden werden.

6.2.1.4 WEGFALL DES SPRÜHRINGS

Da die Toilette keine Wasserspülung mehr besitzt, kann der Sprühring eingespart werden. Dieser ist in herkömmlichen Toiletten besonders anfällig für Verkalkung. Dabei kann es passieren, dass sich die Düsen des Rings zusetzen und ein bestmögliches Spülen des Toilettenbeckens nicht mehr gewährleistet werden kann. Außerdem kann ein unansehnlicher Kalkring im oberen Toilettenbeckenbereich entstehen, welcher durchaus zum vorzeitigen Wechsel einer Toilette führen kann. Dieses Problem wird es bei der Einführung einer wasserlosen Toilette nicht mehr geben.

Forschungsschritte:

Dieser positive Aspekt wird sich in jedem Fall einstellen. Es sind also keine weiteren Untersuchungen nötig.

6.2.1.5 EINFLUSS DER TÜTEN AUF DIE VERSCHMUTZUNG DES ROHRSYSTEMS

Bei einem herkömmlichen Toilettensystem gibt es ein Problem, welches sich bei einer wasserlosen Toilette noch verstärken könnte. Durch den plötzlichen Druckabfall im Rohr gemessen an der Druckkabine wird den Fäkalien Flüssigkeit entzogen, da sie auf einmal weniger davon speichern können. Sie trocknen aus und lagern sich an den Rohrwänden als Sedimente ab. Dieses Gemisch aus Fäkalien und Toilettenpapier bildet eine äußerst massive, zementähnliche Masse, die sich nur schwer wieder entfernen lässt und dadurch zu einer Verengung und im Extremfall zur Verstopfung der Rohrleitung führen kann, so dass eine wöchentliche Behandlung mit Essigsäure oder zerkleinertem Eis nötig wird.

Ein positiver Nebeneffekt der Verwendung der Folietüten könnte die Reinigung der Rohre des Vakuumsystems werden. Die Verschmutzung des Systems entsteht durch die eingeleiteten Fäkalien. In der wasserlosen Toilette befinden sich diese aber in einer Tüte. Geht man nun davon aus, dass die Tüte den Absaugvorgang unbeschädigt übersteht und ihre obere Öffnung dabei durch das seitliche Verlassen der Aufgabeeinheit verdreht und somit verschlossen wird, dann kann es rein theoretisch nicht mehr zu einer Verschmutzung der Rohre kommen. Selbst wenn einige der Tüten kaputt gehen sollten, so ist davon auszugehen, dass nachfolgende allein durch ihre Beschaffenheit und ihre Reibung an den Rohren eine reinigende Wirkung auf diese ausüben. Verhalten sich die Tüten nicht wie erwartet und werden beim Absaugvorgang regelmäßig beschädigt mit der Konsequenz, dass Fäkalien austreten können, so ist zu befürchten, dass sich oben beschriebenes Verstopfungsproblem verstärken dürfte, es sei denn, die Tüten reinigen durch ihren Kontakt mit den Wänden die Rohre, obwohl sie beschädigt sind. Sollte das nicht eintreten, so wäre der Austrocknungsgrad der Fäkalien, wenn sie mit dem Vakuum direkt in Berührung kommen, in einer wasserlosen Toilette noch höher als beim herkömmlichen System, da dort von vornherein weniger Flüssigkeit vorhanden ist. Das Problem der Rohrverstopfung würde zunehmen.

Forschungsschritte:

Die Beeinflussung der Rohre muss auf jeden Fall im Langzeitversuch überprüft werden. Als erstes gilt es festzustellen, ob die Tüten beim Absaugen platzen. Da mit der Einleitung von harten Gegenständen, zum Beispiel Parfümflaschen, gerechnet werden muss, ist es wahrscheinlich, dass einige Tüten beschädigt werden. Ihr Inhalt kann somit das Rohrsystem kontaminieren. Es muss festgestellt werden, wie stark die Verschmutzung voraussichtlich sein wird und welche, eventuell reinigende, Wirkung nachfolgende Tüten haben. Diese Tests müssen unter variablen Bedingungen stattfinden. So sollte der Füllstand der Tüten unterschiedlich sein. Auch müssen maximaler und minimaler Unterdruck sowie verschiedene Flugzustände (Steig-, Sinkflug etc.) berücksichtigt werden.

6.2.1.6 GERÄUSCHENTWICKLUNG IN DER TOILETTENKABINE

Ein durch die Toilette verursachtes Problem ist die starke Geräusentwicklung während des Absaugvorgangs. Durch die Verwendung des wasserlosen Systems ist eine Verminderung der Lautstärke anzustreben, um die Lärmbelästigung der Passagiere zu senken. So könnte zur Erreichung einer Lärmdämmung der Deckel während der Absaugung automatisch geschlossen gehalten werden. Dies könnte gleichzeitig die Auswirkungen des zu erwartenden Tütenflatterns eindämmen.

Forschungsschritte:

Letztlich lässt sich nur im Versuch klären, wie genau das Verhalten der Tüten sein wird. Dieses sollte mit verschiedenen Befüllungen und auch leeren Tüten erfolgen. Außerdem sollte erforscht werden, ob ein automatisches Geschlossenhalten des Deckels während des Absaugvorgangs umsetzbar ist.

6.2.1.7 GERÄUSCHENTWICKLUNG IM ROHRSYSTEM

Ein Lärmproblem ist die Lautstärke der abgesaugten Fäkalien im Rohr, wenn die Tüten während des Absaugvorgangs nicht beschädigt werden. Die Fäkalien verbleiben dann in der Tüte und werden durch die Kraft des Vakuums nicht zerkleinert, sondern bewegen sich als kompakte Masse durch das Rohrsystem. Entsprechend verstärkt sich ihre kinetische Energie. Die Lärmemission ist dabei ähnlich wie in einem Rohrpostsystem.

Forschungsschritte:

Es wird nötig sein, die Lärmemission bei unterschiedlichen Befüllungszuständen (auch kleine Flaschen etc.) zu messen. Dabei sollte nicht vernachlässigt werden, dass im Reiseflug ein permanentes Hintergrundgeräusch auftretenden Lärm nicht so stark erscheinen lässt. Sollte die Lärmentwicklung zu stark sein, müsste eine Lärmdämmung der Rohre untersucht werden.

6.2.1.8 ABSAUGVENTIL- UND ROHRLEITUNGSBLOCKIERUNG DURCH FOLIENÜTEN

Besondere Merkmale der bisher verwendeten Folientüten sind ihre besondere Dehnbarkeit und ihre Reißfestigkeit. Bleibt eine Tüte an der Öffnung des Absaugventils hängen, kann das zur Blockierung des Ventils und damit zum Ausfall des Systems führen. Aber auch wenn durch eine Tüte noch keine Behinderung entsteht, so ist die Gefahr, dass sich weitere verfangen, sehr groß. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass sich zwei Tüten innerhalb des Vakuumsystems, zum Beispiel an einer Rohrgabelung, ineinander verfangen und so zu einer Blockade des nachfolgenden Abfalltransports führen.

Forschungsschritte:

Zur Klärung dieses Problems muss die Parallelentsorgung von Tüten getestet werden. Dabei müssen auch verschiedene Befüllungszustände berücksichtigt werden, um feststellen zu können, welche besonders stark zu Verstopfungen führen. Diese Untersuchungen, wie auch die zum Problem der Absaugventilblockierung, sollten bei unterschiedlichen Drücken und in verschiedenen Fluglagen durchgeführt werden.

6.2.1.9 VERSTOPFUNG DES ABLASSVENTILS

Durch den geringeren Flüssigkeitsgehalt der Masse im Abwassertank könnte es beim Ablassen der Fäkalien zu einer Verstopfung des Ablassventils kommen, da sich die jetzigen Tüten nicht auflösen und sich am Boden des Abwassertanks absetzen können. Dort bilden sie dann eine Schicht, die das Ablassventil blockieren könnte (siehe auch Kapitel 5.5). Eine mögliche Lösung wäre die Verwendung eines Tütenmaterials, welches sich im Tank auflöst und so eventuellen Verstopfungen vorbeugt.

Forschungsschritte:

Das Verhalten des Tütenmaterials im Tank muss getestet werden. So sollten Ablassversuche unter verschiedenen Bedingungen, wie variablen Temperaturen, unterschiedlichen Flüssigkeitsgehalten und einem veränderlichen Anteil von Toilettenpapier durchgeführt werden.

6.2.1.10 ENTSORGUNG DES SCHWARZWASSERS AM FLUGHAFEN

Ein weiteres Problem ist die Entsorgung. Als erstes stellt sich die Frage, ob der Abwassertank nach einem Langstreckenflug überhaupt noch entleert werden kann. (siehe Kapitel 6.2.1.9). Abgesehen von diesem ergibt sich ein weiteres. Die anfallenden Fäkalien müssen am Flughafen entsorgt werden. Nach heutiger Praxis werden sie an einem Sammelpunkt des Flughafens meist in die städtischen Kläranlagen eingeleitet, aber das ist nur für Flüssigkeiten und nicht Feststoffe, wie die Tüten, zulässig (siehe hierzu Kapitel 11). Eine Lösung wäre auch hier wie beim vorangegangenen Punkt die Verwendung eines Tütenmaterials, welches sich im Tank auflöst. Ansonsten müssten die Tüten vor der Einleitung in die Kanalisation entfernt oder so stark zerkleinert werden, dass sie nicht mehr als Feststoff gelten. Dabei sollten vor allem für die Flughäfen und die Entsorgungsunternehmen keine Mehrkosten und kein höherer Aufwand entstehen, da die bisherigen Entsorgungswege weiter Bestand haben sollen.

Forschungsschritte:

Zu diesem Problem gibt es zwei mögliche Herangehensweisen. Es könnte als erstes ein Tütenmaterial festgelegt werden und danach die Möglichkeiten seiner Entsorgung an allen Flughäfen weltweit überprüft werden. Aber es wäre auch möglich, erst die Entsorgungswege aller Flughäfen zu klären und dann ein passendes Tütenmaterial zu

finden (siehe Kapitel 12). Bei diesen Untersuchungen ist auf die örtliche Gesetzgebung zu achten.

6.2.1.11 FÜLLSTANDSANZEIGERBLOCKADE

In jedem Abwassertank befinden sich Füllstandsanzeiger. Sie sollen ein Überfüllen des Tanks verhindern, indem sie ab einem bestimmten Füllstand eine Meldung an das CIDS im Cockpit geben und von dort das betroffene System stillgelegt werden kann. Einer der Sensoren ermittelt den Flüssigkeitsstand über den auf ihm lastenden Druck. Er befindet sich am Boden des Abwassertanks. Der andere Sensor ist in dessen oberem Bereich angebracht. Er reagiert auf Flüssigkeiten (siehe hierzu auch Kapitel 3.2 „Bauelemente und –teile des Vakuumtoilettensystems“ Abschnitt „Füllstandsanzeiger“). Diese Füllstandsanzeiger machen natürlich nur Sinn, solange sie vor einem Überfüllen des Tanks warnen, wenn diese Gefahr auch tatsächlich besteht. Darum gilt es die Frage zu klären, wie sich die Tüten verhalten, wenn sie aus dem Abfallseparator in den Tank gelangen. Es muss ausgeschlossen werden können, dass sie, bedingt durch die vorangegangene Kreisbewegung, sich eventuell am oberen Füllstandsanzeiger des Abwassertanks verfangen. Das könnte dazu führen, dass sie diesem durch ihre feuchte Oberfläche das Signal geben, dass der Tank voll ist. Der zweite Sensor würde dann zwar Entwarnung geben können, aber es wäre natürlich nicht auszuschließen, dass vielleicht gerade da ein Defekt vorliegt. Im Zweifelsfall würde es zu einer Stilllegung des gesamten Systems kommen, auch wenn der Tank noch nicht maximal gefüllt ist.

Forschungsschritte:

Zur Überprüfung dieser Problematik muss das Einleiten der Tüten mit verschiedenen Beladungen bei unterschiedlichen Drücken und Fluglagen getestet werden. Sie dürfen dabei keinesfalls die Füllstandsanzeiger negativ beeinflussen oder gar zu deren Ausfall führen.

6.2.1.12 STÄRKERE BELASTUNG DES ROHRSYSTEMS

Die Fäkalien im Beutel stellen eine kompaktere Masse dar als die Fäkalien, wenn sie sich im heutigen Vakuumsystem befinden, was zu einer höheren kinetischen Energie führt. Das Rohrsystem wird vor allem in Biegungen stärker belastet. Hier stellt sich die Frage, ob das herkömmliche Rohrsystem diesen Belastungen gewachsen ist oder eventuell inklusive seiner Halterungen verstärkt werden muss.

Forschungsschritte:

Die Belastung des Rohrsystems muss vor allem mit maximal gefüllten Tüten getestet werden. Die auftretenden Kräfte in den Rohrbiegungen und Halterungen sind dabei mit Beschleunigungsaufnehmern zu messen. Sollte sich zeigen, dass einzelne Rohre oder deren Halterungen beschädigt werden, so muss deren Auslegung entsprechend verändert werden. Alternativ könnte der Einbau eines „Tütenaufschlitzers“ direkt nach der Toilette genauer untersucht werden. Dieses Gerät würde die Tüten beschädigen

und dadurch zum Austritt des Inhalts führen. Die Fäkalien könnten sich wie im herkömmlichen System verteilen, somit würde die Belastung der Rohre sinken.

6.2.1.13 VERHALTEN DER TÜTEN IM ABFALLSEPARATOR

Wie in Kapitel 3.2.2 „Baulemente und –teile des Vakuumtoilettensystems“ beschrieben, funktioniert der Abfallseparator nach dem Prinzip einer Zentrifuge. Dieses System hat sich bei dem im heutigen System anfallenden Abwasser bewährt. Fraglich ist, ob das auf die Tüten zutreffen wird. Im Separator befinden sie sich immer noch in einem ziemlich starken Luftstrom, für den sie eine große Angriffsfläche bilden. Es muss getestet werden, ob die entstehenden Zentrifugalkräfte auch bei Minimumunterdruck ausreichen, um die Tüten dem Luftstrom zu entreißen oder ob sie durch den bestehenden Luftstrom durch den Separator hindurch getragen werden und an dessen Ende den Entfeuchter verstopfen und somit das gesamte System blockieren. Außerdem muss sichergestellt werden, dass es für die Tüten keine Möglichkeit gibt, im Bereich des Separators hängen zu bleiben.

Forschungsschritte:

Für diesen Punkt muss speziell das Verhalten der leeren Tüten bei unterschiedlichem Unterdruck überprüft werden.

6.3 VERÄNDERUNGEN DURCH DAS WASSERLOSE TOILETTENSYSTEM

Die besprochenen Probleme und auch Verbesserungen sind für einen besseren Überblick in Tab. 6-1 zusammengefasst.

Veränderung durch das wasserlose System	Verbesserungen (m=möglich, d=definitiv)	Probleme (m=möglich, d=definitiv)
Wassereinsparung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wassereinsparung (d) ▪ Führt zu Gewichtseinsparung (d) 	
Bedeckung der Toilettenbrille	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbesserung der Hygiene (d) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unangenehmes Hautgefühl beim Draufsetzen (m)
Beeinflussung der Toilettenbeschichtung durch Tütenauskleidung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schutz vor aggressiven Flüssigkeiten (m) ▪ Schutz vor Zerkratzen durch harte Gegenstände (m) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zerkratzen durch die Tüten (m)
Wegfall des Sprührings	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vermeidung von Verkalkungen des oberen Toilettenrands (d) 	
Beeinflussung des Rohrsystems	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Säuberung der Rohre durch die Tüten (m) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stärkere Beanspruchung der Rohre und Halterungen durch Fäkalienpakete (d)
Geräuscentwicklung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dämpfung der Lautstärke durch geschlossenen und dickeren Toilettendeckel (m) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gesteigerte Geräuscentwicklung in den Rohren durch Fäkalienpakete (d) ▪ Lärm durch Flattern der Tüten beim Absaugen (m)
Beeinflussung der Ventile		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verstopfung des Spülventils (m) ▪ Verstopfung des Ablassventils (m)
Entsorgung in Kläranlagen		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entsorgung der Tüten als Ganzes nicht möglich (d)
Beeinflussung Füllstandsanzeiger		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Blockierung der Füllstandsanzeige (m)
Beeinflussung Abfallseparator		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Blockade des Abfallseparators (m) ▪ Behinderung der Abfalltrennung (m)

Tab. 6-1: Zusammenfassung Veränderungen durch das wasserlose Toilettensystem

7 ANFORDERUNGEN AN DAS NEUE SYSTEM

Ein Anforderungskatalog für die weitere Entwicklung der wasserlosen Toilette wird nun anhand von:

- Anforderungen an heutige Toilettensysteme
- Versuchsergebnissen mit dem ersten Prototypen
- Problembereichen des heutigen Toilettensystems

aufgestellt.

7.1 GRUNDANFORDERUNGEN AN DAS TOILETTENSYSTEM

Bei der Entwicklung des Systems einer wasserlosen Toilette sind folgende Grundanforderungen zu beachten:

- Die wasserlose Toilette soll entwickelt werden, um die Sanitäranlage innerhalb des Flugzeuges für Passagiere und Besatzung sicherzustellen
- Die Toilette muss während des gesamten Fluges benutzbar sein
- Die Toilette muss den Anforderungen der USPHS-Regeln (United States Public Health Services) folgen
- Die wasserlose Toilette mit Folien-Beutel-Einheiten muss unter folgenden Gesichtspunkten konstruiert werden:
 - Geringe Betriebskosten
 - Hohe Bauteilausfallsicherheit
 - Hohe Funktionsausfallsicherheit bei Inbetriebsetzung
 - Kompatibilität und Kommunalität bei der Bodenabfertigung zu anderen Airbus- Flugzeugen
 - Kompatibilität und Kommunalität zu der Standard BITE - (Built in Test Equipment) Philosophie
- Das Gerät muss unter der Prämisse entwickelt werden, dass die Einleitung von Vibrationen in die Flugzeugstruktur gering bleibt.
- Außerdem müssen folgende Gesichtspunkte beachtet werden:
 - Geringer Energieverbrauch
 - Geringes Gewicht
 - Geringer Installationsaufwand
 - Geringe Wartungskosten

7.1.1 ANFORDERUNGEN AN DIE EINHEIT WASSERLOSE TOILETTE

- Die Toilette muss:
 - Beutel zur Aufnahme der Fäkalien bereitstellen
 - Eine komplett selbständige, in sich geschlossene und frei stehende Einheit sein, die auf dem Toilettenboden befestigt werden kann
 - Einen 2“-Anschluss an das Vakuum-Abfall-Rohr haben
 - Anschlüsse an das elektrische System bieten
- Auf Befehl soll die Toilette eine „Flush Sequence“ ausführen. Während dieser „Flush Sequence“ muss:
 - Ein Weg zwischen Kabine und Abwasserrohr geöffnet werden, damit die Folien-Beutel-Einheiten durch die Druckdifferenz in das 2“-Abwasserrohr entsorgt werden können.
 - Der Weg für eine angemessene Zeitperiode geöffnet werden, um einen optimalen Transport der benutzten Folien-Beutel-Einheiten von der Toilette in den Waste Tank zu gewährleisten.
 - Eine neue Folien-Beutel-Einheit bereitgestellt werden.
 - Eine Überwachung der Funktionen möglich sein.

7.1.2 ANFORDERUNGEN AN DIE ARCHITEKTUR

- Die wasserlose Toiletteneinheit soll folgende Bauteile aufweisen:
 - Fäkalienbehälter
 - Elektronische Hilfsmittel zum Kontrollieren und Beobachten von allen Funktionen der Toiletteneinheit
 - Hilfsmittel zum Öffnen und Schließen des Weges zum Entsorgen der Fäkalien im 2“-Abwasserrohr
 - Hilfsmittel, um die Toiletteneinheit auf dem Toilettenboden zu befestigen
 - Hilfsmittel, um das Gewicht von 200 kg tragen zu können, eingeleitet durch die Schnittstellen der Toilettenabdeckung auf der Toilettenschüssel

7.1.3 BETRIEBSFUNKTIONEN UND BETRIEBSEIGENSCHAFTEN

- Die wasserlose Toiletteneinheit mit Folientütenmechanismus soll den zugehörigen Anforderungen des US-Public Health Service (USPHS) entsprechen.
- Die wasserlose Toiletteneinheit mit Folientütenmechanismus soll einleuchtend zu bedienen sein und sich wie eine normale Toilette verhalten.
- Die wasserlose Toiletteneinheit mit Folientütenmechanismus soll ähnlich aussehen wie bestehende A/C-Toiletten und ähnlich zu benutzen sein.
- Die wasserlose Toiletteneinheit mit Folientütenmechanismus und ihre Verkleidung sollen den zugehörigen hygienischen und anatomischen Anforderungen entsprechen.
- Die wasserlose Toiletteneinheit mit Folientütenmechanismus soll den entsprechenden Belastungen (200 kg Gewicht auf der Oberfläche der Ummantelung über dem Toilettenbecken) standhalten, wenn sie für die vorgesehene Funktion benutzt wird.
- Die wasserlose Toiletteneinheit mit Folientütenmechanismus soll Abfallmaterialien halten, welche in den Auffangbehälter eingeführt werden und zu einem Verstopfen führen könnten.
- Die wasserlose Toiletteneinheit mit Folientütenmechanismus soll das Verstopfen durch Abfallmaterialien, die nicht gespeichert werden, verhindern.
- Die wasserlose Toiletteneinheit mit Folientütenmechanismus soll einfach zu reinigen sein.
- Die wasserlose Toiletteneinheit mit Folientütenmechanismus soll den Belastungen und Kräften standhalten, die bei Reinigung, Wartung und Fehlerbehebung unter Verwendung von Hilfsmitteln zur Verstopfungsbeseitigung auftreten.
- Es soll keine Kabinenluft durch die wasserlose Toiletteneinheit mit Folientütenmechanismus entweichen, wenn die Einheit nicht in Betrieb ist.
- Die wasserlose Toiletteneinheit mit Folientütenmechanismus soll eine Einrichtung haben, die der wasserlosen Toiletteneinheit mit Folientütenmechanismus verschiedene Abflusszyklen durchzuführen erlaubt, je nachdem wo diese installiert ist (zum Beispiel verzögertes Abflussventilöffnen für Nutzung im Lower Deck). Um dieses zu erzielen, sollen keine zusätzlichen manuellen Eingaben (zum Beispiel Codieren oder Pin-Programming) notwendig sein, außer den bestehenden Eingaben, die für die Erkennung des Einbauortes vonnöten sind.

- Die Betriebsfunktionen der wasserlosen Toiletteneinheit mit Folientütenmechanismus sollen die folgenden sein:
 - Abfallmaterialienaufnahme
 - Control und Monitoring
- Die Funktion „Abfallmaterialienaufnahme“ soll die folgenden Unterfunktionen enthalten:
 - Aufnahme von Abfallmaterialien der menschlichen Ausscheidung
 - Mittelfristige Aufbewahrung von Abfallmaterialien
 - Auslassen von Abfallmaterialien
- Die Funktion „Abfallmaterialienaufnahme“ soll am Boden und während des Fluges zur Verfügung stehen.
- Das Nutzer-Feedback über die Spülauslösung soll sofort (<0,1 s) erfolgen. Es soll ein dazugehöriges elektrisches Signal erfolgen.
- Das Spülventil soll höchstens 2,5 s (3,5 s bei Einheiten auf dem Lower Deck) lang geöffnet sein, nachdem der Spülknopf gedrückt wurde. Eine Ausnahme dieses Spülzyklus soll für Einheiten auf dem Lower Deck in Betracht gezogen werden.
- Die Oberfläche der Toilettenschüssel, die mit Abfallmaterialien in Verbindung kommen kann, soll nach dem Spülvorgang sichtbar sauber sein.
- Der Folienmechanismus der Toilette soll keimfrei sein.
- Der Folienmechanismus soll keine Quelle unangenehmen Geruchs sein.
- Auf Anfrage soll der mittelfristig gespeicherte Abfall an die Abfalltransportanlage abgegeben werden.
- Der Folienmechanismus muss eine Verletzung des Nutzers ausschließen.
- Die Toilettenschüssel und der Folienmechanismus sollen so konstruiert sein, dass Spritzen während der Abfallaufnahme und -abgabe minimiert wird.
- Das Service-Personal soll einen leichten Zugang für Reinigungs- oder Wartungsarbeiten haben.
- Kontur und Ummantelung sollen ergonomische Nutzerbedürfnisse berücksichtigen.
- Die zur Verfügung stehende Mindestkapazität des Beckens soll 10 l sein.
- Die Oberfläche der Toilettenschüssel soll gegen Schäden durch Reinigung mit üblichen Hilfsmitteln -einschließlich Hochdruckreinigung und Wartungsarbeiten - widerstandsfähig sein.
- Die Oberfläche der Toilettenschüssel soll kratzfest und reparierbar sein.
- Es soll eine Funktion vorhanden sein, die den Verlust von Kabinenluft während eines Ventilversagens oder Verstopfen verhindert.

- Der mittelfristig gespeicherte Abfall soll während einer definierten Zeitspanne an die Abfalltransportanlage abgegeben werden.
- Der Spülzyklus soll bezüglich des bestmöglichen Transportes und auf minimierten Kabinenluftverlust optimiert werden.
- Angemessene Luftzufuhr soll gewährleistet sein, um gesundheitliche Beeinträchtigungen von Nutzern auszuschließen.
- Gegenstände, welche nicht durch das 2"-Rohrsystem passen, beziehungsweise dieses verstopfen könnten, sollen in der Toilettenschüssel festgehalten werden.
- Die Abgabe von Abfall soll nur erfolgen, wenn der Weitertransport gewährleistet ist.
- Es soll zu keinem Vakuumleck aufgrund von Abwasserfluss des Ventils kommen (Lower Deck Toiletten), wenn das Abgabeventil unter einem Druck von 0,25 bar (3,78 psig) geschlossen ist. Unter allen Nutzungsbedingungen soll ein mögliches Vakuumleck so minimiert werden, dass:
 - Keine Geräusche entstehen.
 - Die Leistung des Vakuumsystems nicht maßgeblich beeinträchtigt wird.
 - Die Klimaanlage nicht maßgeblich beeinträchtigt wird.
- Während des Spülens soll es zu keinem Spritzen oder Überlaufen kommen.
- Die Funktionen des Controllings/Monitorings sollen mindestens die folgenden enthalten:
 - Weiterleitung von Abfall nach der Aufnahme
 - Vakuumversorgung
 - Abfallaufbewahrung bis zur Abgabe
 - Klimaanlageanlagenmonitoring
 - Aufnahme und Erfassung von statistischen Daten (mindestens: Anzahl der Spülzyklen, spezielle Spülzyklen, wenn vorhanden, Anzahl spezifischer Fehler)
- Die Subfunktion Datenaustausch soll die folgenden Funktionen beinhalten:
 - Datenaustausch mit der Toilettensystemanlage, um Systemfunktionen zu erfüllen.
 - Datenaustausch mit der Toilettensystemanlage zur Wartung und Fehlerbehebung.
 - Datenaustausch mit der Toilettensystemanlage, um Informationen über den Status der Toilettenanlage zu erhalten.
- Alle Funktionen betreffend Control/Monitoring sollen während des Betriebs der Klimaanlage zur Verfügung stehen.

- Fehler sollen nicht als dauerhaft angesehen werden. Das Monitoring soll auch nach der Entdeckung eines Fehlers fortgeführt werden. Wenn ein Fehler behoben ist, so soll die Anlage den normalen Betrieb wieder aufnehmen.
- Die Funktion „Abfallmaterialienaufnahme“ soll auch unter den folgenden Bedingungen gewährleistet sein:
 - Verlust der Kommunikation mit dem zentralen Controller.
 - Datenaustausch mit der Klimanlage versagt / steht nicht bereit.
 - Die Funktion „Auslassen von Abfallmaterialien“ soll auch bei Verlust der Kommunikation über den Datenbus verfügbar sein.
- Es soll gesichert sein, dass der in der Toilette hängende Teil der Folientüte nicht mit dem Körper des Passagiers, der auf der Toilette sitzt, in Berührung kommt.
- Die Folientüte soll nicht in das Toilettenbecken gesaugt werden, während ein Passagier auf der Toilette sitzt.

7.1.4 INTERFACE-MERKMALE

- Der gesamte Stromverbrauch soll die folgenden Werte nicht überschreiten:
 - 0,1 A Ruhestrom
 - 4,5 A während des Spülzyklus
 - Die Spannungsquelle ist 28 V DC.
- Elektrische Anschlüsse der Toilettenanlage sollen ASNE0054 entsprechen.

7.1.5 PHYSIKALISCHE ANFORDERUNGEN

- Die für den Passagier sichtbaren Farben des Bereiches der wasserlosen Toilette werden während des Entwicklungsprozesses ausgewählt.
- Eine angemessene Sicherung elektrischer Anschlüsse gegen Flüssigkeiten und Fremdkörper soll vorgenommen werden.
- Es sollen Anschlüsse so gestaltet werden, wie zum Beispiel Kennzeichnung der Polarisierung, um falsche Installation an Bord zu vermeiden.
- Die Anschlüsse sollen alle belegt sein.

7.1.6 MECHANISCHE ANFORDERUNGEN

- Die wasserlose Toiletteneinheit mit Folientütenmechanismus soll mindestens 1.000.000 Zyklen ausführen. Die Spülfunktion und der Folienpackmechanismus sollen daher unter diesen Bedingungen durch Belastungsproben getestet

werden. Die Anforderungen für Belastungsproben sollen während des Entwicklungsprozess definiert werden.

- Der unten definierte Geräuschpegel soll während des Tests nicht überschritten werden, wenn das System unter den folgenden Bedingungen in Betrieb ist: bei einem maximalen Druckunterschied von 605 mbar +/- 7 mbar, bei einer Absaugleitungslänge von 2,5 m zwischen der Toilette und dem Abwassertank. Der maximale Geräuschpegel der Toiletteneinheit, gemessen unter Freifeldbedingungen in einem Bereich von 1 m um die Toilettenschüssel herum, soll die folgenden Pegel nicht überschreiten:
 - OASPL 83 dB
 - SIL 73 dB
- Der OASPL (Overall Sound Pressure Level: allgemeiner Schalldruckpegel) muss im Frequenzbereich von 44,7 Hz bis 11,2 KHz gemessen werden. Der SIL (Speech Interference Level: Sprach-Störpegel) wird als das arithmetische Mittel des Drei-Oktaven-Frequenzbereichs mit Mittelfrequenzen von 1 KHz, 2 KHz und 4 KHz definiert. Geräuschmessungen müssen im Modus „Schnelllauf“ der Messanlage gemessen werden.

7.1.7 INSTANDHALTUNGSANFORDERUNGEN

- Die wasserlose Toiletteneinheit mit Folientütenmechanismus soll keine Instandhaltungsarbeiten unterhalb der Zeit von A-Check-Intervallen benötigen (1000 Flugstunden).
- Die wasserlose Toiletteneinheit mit Folientütenmechanismus soll keine Wartung während des Fluges benötigen. Folientütenrollenwechsel sollen eine Dauer von 30 sec nicht überschreiten.
- Die Zeit, die für einen LRU-Wechsel (Line Replaceable Unit) benötigt wird, soll nicht mehr als 30 Minuten betragen.
- Die Komponenten der Toilette sollen einfach zu ersetzen sein.

7.1.8 SCHNITTSTELLEN UND BAURAUM

- Die Schnittstellen müssen den Gegebenheiten der Abb. 7-1 und der Abb. 7-2 entsprechen.

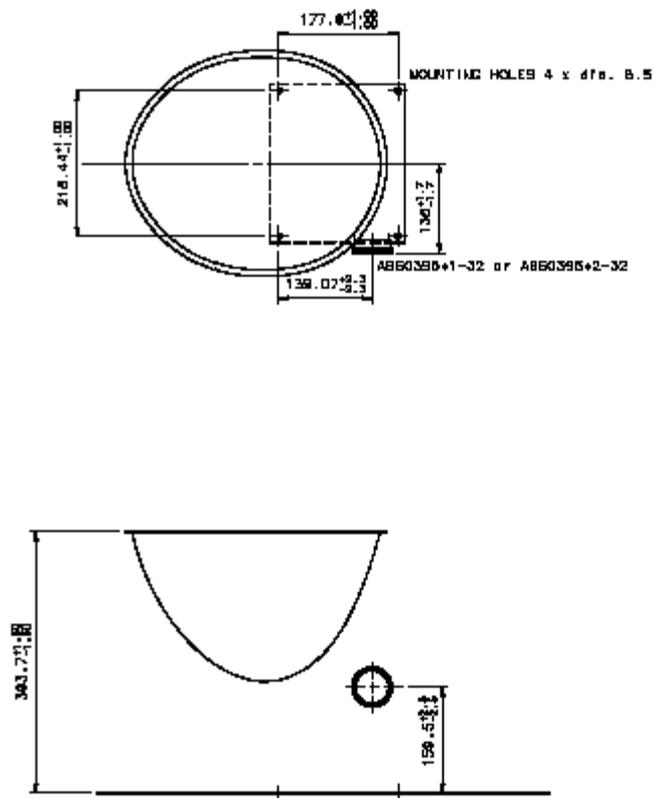


Abb. 7-1: Left Hand-Toiletteneinheit

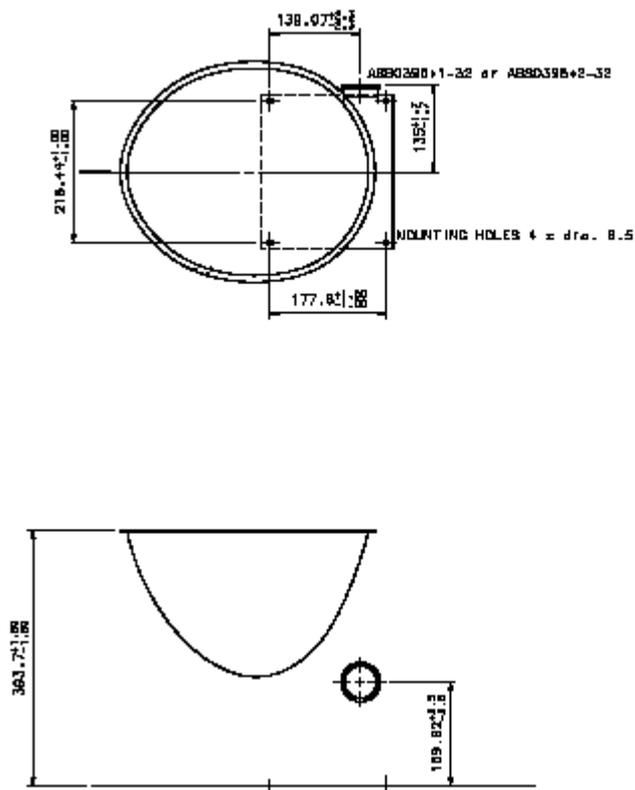


Abb. 7-2: Right Hand-Toiletteneinheit

- Die Absolutmaße des Bauraum sollen entsprechen der Abb. 7-3 eingehalten werden.

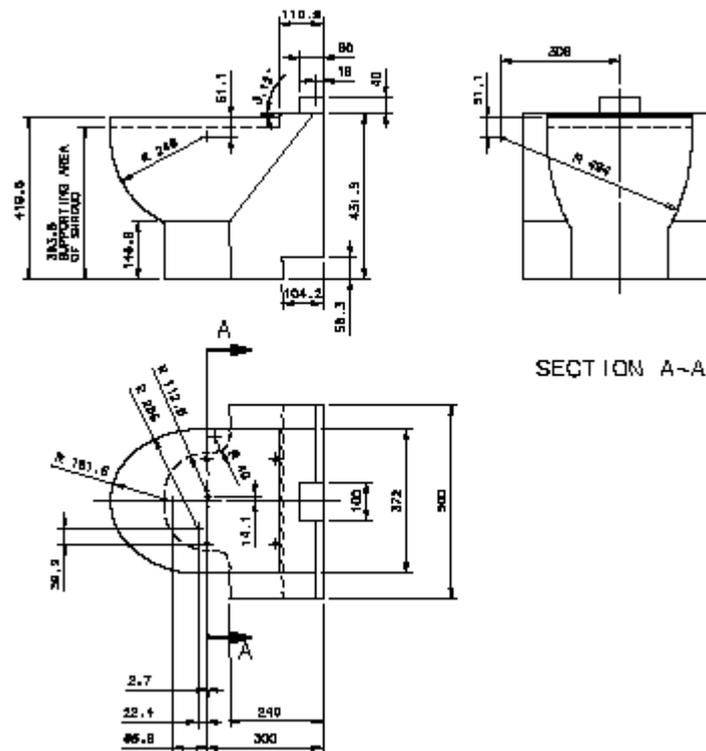


Abb. 7-3: Absolutmaße Bauraum

7.2 FÄKALIENTRANSPORT DURCH VAKUUM

7.2.1 BETRIEBSFUNKTIONEN UND BETRIEBSEIGENSCHAFTEN

- Die Funktion „Fäkalientransport“ beinhaltet die folgenden Subfunktionen:
 - Fäkalien in Folien-Beutel-Einheiten aufnehmen aus dem Fäkalienbehälter
 - Transport der mit Fäkalien gefüllten Folien-Beutel-Einheiten
 - Einleitung von mit Fäkalien gefüllten Folien-Beutel-Einheiten in das Fäkalien- Separation Equipment
- Die Funktion „Fäkalientransport“ soll mit Hilfe des pneumatischen Prinzips realisiert werden.
- Zur Erfüllung der Funktion „Fäkalientransport“ müssen die jetzigen Abfallrohre sowohl mit Fäkalien befüllte als auch leere Folien-Beutel-Einheiten aus der Toilettenschüssel aufnehmen.
- Die mit Fäkalien gefüllten Folien-Beutel-Einheiten dürfen sich nicht an Kupplungen und Biegungen der Abfallrohre öffnen.
- Mit Fäkalien gefüllte Folien-Beutel-Einheiten sollen nicht der Grund für Verstopfungen der Abfallrohre sein; besonders nicht an der Schnittstelle von zwei Abfallrohren.

- Die gefüllten Folien-Beutel-Einheiten sollen die jetzigen Dauerlasten von Abfallrohren und deren Halter nicht überschreiten.
- Der Transport der Folien-Beutel-Einheiten in den Abfallrohren soll nicht der Grund für eine überhöhte Geräusentwicklung der Halter und Abfallrohre bzw. in der Flugzeugstruktur sein.

7.3 ABWSSERTANK UND FÄKALIENENTSORGUNG

- Die gefüllten Folien-Beutel-Einheiten sollen den Abfalltankeingang und den Abfallseparator weder verstopfen noch zerstören.
- Die gefüllten Folien-Beutel-Einheiten sollen nicht die Abwassertank-Innenwand beschädigen.
- Die viskosere Fäkaliensubstanz (ohne Spülwasser) und die Folien-Beutel-Einheiten sollen nicht die Funktion der Tankspülwasserdüse beeinflussen.
- Die viskosere Fäkaliensubstanz (ohne Spülwasser) soll keinen Einfluss auf die Funktion des Entfeuchters bzw. Abfallseparators haben und nicht zur Verstopfung dieser Bauteile führen.
- Die viskosere Fäkaliensubstanz (ohne Spülwasser) und die Folien-Beutel-Einheiten sollen nicht die Füllstandssensoren des Abwassertanks beeinflussen.
- Die gesammelten Folien-Beutel-Einheiten im Abwassertank sollen durch menschliche Fäkalien innerhalb von 20 Minuten zersetzt werden. Bevor der Abwassertank entleert wird, sollen die hier gesammelten Folien-Beutel-Einheiten aufgelöst sein.
- Die Substanz der aufgelösten Folien-Beutel-Einheiten und die Desinfektionsflüssigkeit (Vorfüllung) soll nicht gefährlich für Anlagenteile im Abwassertank und in den Abfallrohren sein.
- Die Gasentwicklung der zersetzten Folien-Beutel-Einheiten im Abwassertank darf nicht entflammbar sein.
- Die viskosere Fäkaliensubstanz (ohne Spülwasser) und die Substanz der aufgelösten Folien-Beutel-Einheiten sollen keinen Einfluss auf das Entleeren und Reinigen des Abwassertanks, Ein- und Anbauten des Abwassertanks und die Entleerungsrohre haben.
- Die viskosere Fäkaliensubstanz (ohne Spülwasser) soll nicht die Funktion des Ablassventils der Ablassleitung beeinträchtigen.
- Die viskosere Fäkaliensubstanz (ohne Spülwasser) und die Substanz der aufgelösten Folien-Beutel-Einheiten sollen keinen Einfluss bei Entleerung des Abwassertanks auf die üblichen Entsorgungswege der Airlines und Flughäfen sowie auf die dortigen Fäkalienfahrzeuge haben.

- Die Fäkalien im Abwassertank sollen den nationalen und internationalen Regularien der einzelnen Länder entsprechen. Auch sollen die herkömmlichen Anlagen national und international zur Entsorgung weiter genutzt werden.

7.4 ANFORDERUNGEN AN DAS FOLIEN-BEUTEL-MATERIAL

- Das Folien-Beutel-Material muss besonders reißfest sein (Hand Loads sind noch zu definieren)
- Das Foliensackmaterial muss eine Wahrnehmung durch optische Sensoren zulassen, um die Möglichkeit einer Anzeige des baldigen Foliensackendes im Flugzeug offen zu halten.
- Die Foliensäcke müssen den internationalen Brandschutzmaßnahmen der Luft- und Raumfahrt entsprechen. Sie dürfen im Brandfall keine giftigen Gase entwickeln.
- Für die benötigten 300 Foliensäcke während eines Fluges steht ein Packvolumen entsprechend den Abmaßen 440x150x100 (mm) zur Verfügung. In diesem Fall liegt ein Volumen in Höhe von 6,6 l ($6,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3$) vor.
- Folgende Grobabmaße (konstruktionsabhängig) eines Foliensackes dürfen nicht überschritten werden (siehe Abb. 7-4).

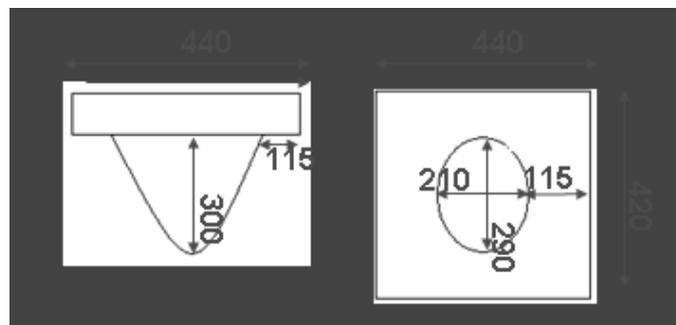


Abb. 7-4: Abmaße Folien-Beutel-Einheit

- Der für die Foliensäcke verwendete Werkstoff muss für die Luft- und Raumfahrt zertifiziert werden. Das Fäkalien-Foliensack-Gemisch muss Schwerkraftgetrieben aus einem 4-Zoll-Rohr austreten können. Das Folienmaterial muss dem Passagier bei Benutzung der Toilette ein angenehmes Hautgefühl vermitteln. Das Folienmaterial darf keine allergischen Reaktionen hervorrufen.
- Die Foliensäcke dürfen nicht statisch aufladbar sein.
- Die Foliensäcke müssen einem Temperaturbereich von -10 bis +80°C standhalten.
- Das Folienmaterial darf die Biologie der Kläranlage nicht beeinflussen.

8 KONZEPTFINDUNG UND -AUSWAHL

Aus den vorgegebenen Anforderungen an das neue System und den Versuchsergebnissen mit dem ersten Prototypen muss nun ein prinzipieller Ablauf für die Konzeptfindung des neuen Prototypen generiert werden. Dafür wird der komplette Ablauf des wasserlosen Toilettensystems in einzelne Teilschritte zerlegt. Aus den einzelnen Teilschritten werden dann mögliche neue Gesamtkonzepte entwickelt und anhand der Anforderungen bewertet.

8.1 DEFINITION DER FUNKTIONSABLÄUFE

Die einzelnen Teilschritte des Funktionsablaufes für die wasserlose Toilette sind in der nachfolgenden Abbildung (siehe Abb. 8-1) dargestellt.



Abb. 8-1: Prinzipielle Funktionsabläufe

8.2 LÖSUNGSANSÄTZE

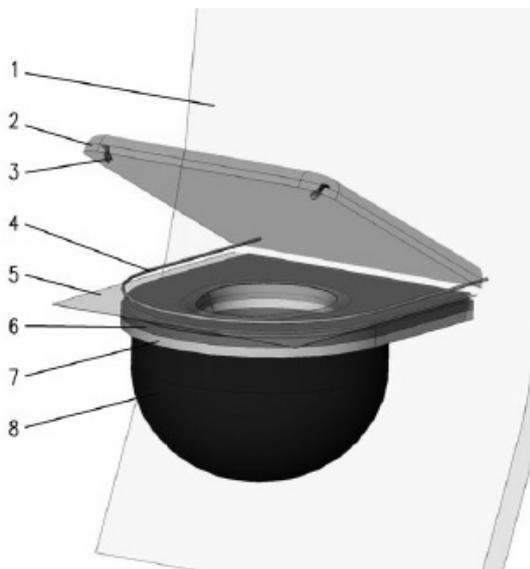
Für die zu entwickelnden Lösungsansätze werden hauptsächlich die Teilschritte:

- Folie transportieren
- Folie fixieren

beachtet. Der Beutel für die Aufnahme der Fäkalien soll in allen Varianten gleichermaßen durch das Toilettenvakuum in der Toilettenschüssel fixiert werden.

8.2.1 FUNKTIONSÜBERSICHT DER VARIANTE A - KLEMMRAHMEN

In der Variante A (siehe Abb. 8-2) wird die Folien-Beutel-Einheit aus dem hinteren Bereich über die Toilettenbrille gezogen. Der Vortransport selbst erfolgt über 2 mechanische Greifer, die sich im äußeren Bereich des Deckels bewegen. Ein Klemmrahmen zur Fixierung der Folien-Beutel-Einheit auf der Toilettenbrille ist so angeordnet, dass die Folien-Beutel-Einheit während dem Vortransport unter diesem geführt wird. Wenn die Folie ihre vorgesehene Endposition erreicht hat, fährt der Klemmrahmen in eine an der Außenseite der Toilettenbrille liegende Nut und fixiert dadurch die Folie.



- Position 1.:** Bordwand
- Position 2.:** Toilettendeckel
- Position 3.:** Mechanik für Zuführung
- Position 4.:** Klemmring für Fixierung
- Position 5.:** Folien-Beutel-Einheit
- Position 6.:** Brille (fixiert)
- Position 7.:** Unterbau
- Position 8.:** Toilettenschüssel

Abb. 8-2: Klemmrahmenvariante

8.2.2 FUNKTIONSÜBERSICHT VARIANTE B

Die Variante B (siehe Abb. 8-3) nutzt ebenso wie die Variante A den Deckel für die Unterbringung des Vortriebsmechanismus. Die Fixierung der Folie auf der Toilettenbrille erfolgt allerdings nicht über einen Klemmrahmen, sondern durch das Einklemmen der Folie zwischen einer zweigeteilten Toilettenbrille. Innerhalb dieser zweigeteilten Toilettenbrille befindet sich ein umlaufender Vakuumschlauch.

Nach dem Vortransport der Folien-Beutel-Einheit über die Toilettenbrille öffnen sich die Greifer und die Folie fällt über die Kanten der Toilettenbrille. Dann wird der obere Teil der Toilettenbrille nach oben gefahren und die überstehende Folie durch das anliegende Vakuum im Schlauch zwischen dem oberen und unteren Teil der Toilettenbrille angesogen. Anschließend wird der obere Teil der Brille heruntergefahren, wodurch die Folie zwischen den beiden Teilen der Toilettenbrille fixiert ist.



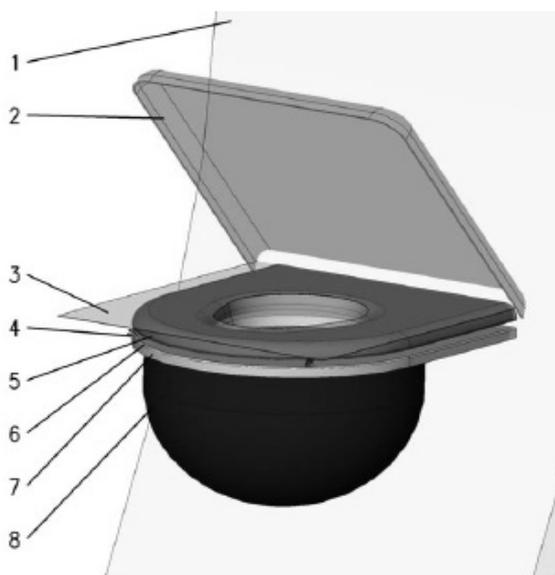
- Position 1.:** Bordwand
- Position 2.:** Toilettendeckel
- Position 3.:** Mechanik für Zuführung
- Position 4.:** Folien-Beutel-Einheit
- Position 5.:** Oberer Teil Toilettenbrille
- Position 6.:** Unterer Teil Brille (fixiert)
- Position 7.:** Unterbau
- Position 8.:** Toilettenschüssel

Abb. 8-3: Klemmbrillenvariante mit Folienzuführung im Deckel

8.2.3 FUNKTIONSÜBERSICHT DER VARIANTE C:

Im Gegensatz zu den Varianten A und B sieht das Konzept der Variante C folgendermaßen aus. Die Vortransporteinheit für die Folien-Beutel-Einheiten ist hier nicht im Toilettendeckel, sondern in der Toilettenbrille untergebracht.

Um diese Variante des Vortransportes umzusetzen, wird der Klemmmechanismus wie in Variante B umgesetzt. Zusätzlich muss in dem Spalt zwischen den beiden Toilettenbrillenhälften der Mechanismus für den Vortransport der Folie untergebracht werden. Den grundsätzlichen Aufbau der Variante C zeigt Abb. 8-4.



- Position 1.:** Bordwand
- Position 2.:** Toilettendeckel
- Position 3.:** Folien-Beutel-Einheit
- Position 4.:** Mechanik für Zuführung
- Position 5.:** Oberer Teil Toilettenbrille
- Position 6.:** Unterer Teil Brille (fixiert)
- Position 7.:** Unterbau
- Position 8.:** Toilettenschüssel

Abb. 8-4: Klemmbrillenvariante mit Folienzuführung in der Brille

8.3 VARIANTENAUSWAHL

Im ersten Schritt werden die Lösungsansätze Variante A, Variante B und Variante C anhand der Hauptanforderungen Hygiene, Komplexität und Brandgefahr bewertet. (siehe Tab. 8-1)

		Variante A	Variante B	Variante C
Brandgefahr		Lagerung der Folien-Beutel-Einheiten hinter der Toilette in geschlossener Box → Sicherung gegen Manipulation	Lagerung der Folien-Beutel-Einheiten hinter der Toilette in geschlossener Box → Sicherung gegen Manipulation	Lagerung der Folien-Beutel-Einheiten hinter der Toilette in geschlossener Box → Sicherung gegen Manipulation
	Bewertung	++	++	++
Hygiene		Vortriebsmechanismus im Deckel ermöglicht das Herausschwenken dieser Bauteile aus dem verschmutzungsgefährdeten Bereich während der Toilettenbenutzung. Im verschmutzungsgefährdeten Bereich befinden sich nur zwei geometrisch einfache Bauteile (Toilettenbrille; Klemmrahmen) die sich sehr einfach reinigen lassen.	Vortriebsmechanismus im Deckel ermöglicht das Herausschwenken dieser Bauteile aus dem verschmutzungsgefährdeten Bereich während der Toilettenbenutzung. Durch die zweigeteilte Bauform der Toilettenbrille ergibt sich eine komplizierte Geometrie und damit eine problematische Reinigung.	Vortriebsmechanismus in der Toilettenbrille → im verschmutzungsgefährdeten Bereich.
	Bewertung	++	0	--
Komplexität		Da sich der Klemmrahmen im Transportbereich der Folie befindet, muss die Folie an ihrem äußeren Rand gegriffen werden und dafür sehr genau für diesen Vorgang positioniert werden → möglicherweise aufwändige Umsetzung zur Erzeugung der notwendigen Betriebssicherheit	Der Prozess des Einsaugens der Folie in den Brillenschlitz ist schwer zu kontrollieren, da sich die Folie nicht immer gleich über den Einsaugschlitz legen wird. → Betriebssicherheit problematisch, ein hoher Luftverbrauch ist zu erwarten	Die Toilettenbrille soll eine abgerundete Form haben, die Folie muss aber linear in ihre Position transportiert werden, damit sie gestrafft in ihre Endposition gebracht werden kann. → Für die Umsetzung dieser Anforderung ist eine komplizierte Mechanik in dem relativ kleinen Raum in der Toilettenbrille unterzubringen. Der Deckel muss nur noch die Abdeckfunktion erfüllen → hohe gestalterische Freiheit
	Bewertung	0	--	--

Tab. 8-1: Erste Bewertung der Varianten

Anhand der ersten Bewertung der Varianten fällt auf, dass die Variante C die Hauptanforderungen am schlechtesten erfüllt. Somit werden für die weitere Analyse nur noch die Varianten A und B betrachtet.

Zur detaillierten Auswahl einer der vorgestellten Varianten müssen noch weitere Bewertungskriterien aus den Anforderungen gebildet werden.

Anhand der Anforderungen bilden sich folgende weitere Bewertungskriterien:

- Anzahl der Bauteile → geringere Anzahl von Bauteilen, entspricht einer einfacheren Fertigung
- Anzahl der Antriebe → geringe Anzahl von Antrieben, somit geringere Ausfallwahrscheinlichkeit
- Sicherheit → hier ist die Sicherheit des Passagiers gemeint, d. h. die Positionierung einer neuen Folien-Beutel-Einheit sollte außerhalb des Eingriffbereiches des Passagiers sein.

Die Anzahl der Bauteile und Antriebe der Varianten A und B ist in der folgenden Tabelle (siehe Tab. 8-2) aufgelistet. Für die Art der Antriebe werden folgende Abkürzungen genutzt:

M	Motoren	LS	Linearantriebe, Spindel	LZ	Linearantriebe, Zylinder
P	Pumpen	HP	Hubelemente, pneumatisch	HE	Hubelemente, elektrisch

Bezeichnung Bauteil	Variante A			Variante B		
	Anzahl Bauteile	Art Antriebe	Anzahl Antriebe	Anzahl Bauteile	Art Antriebe	Anzahl Antriebe
Magazingehäuse	1			1		
Zuführung	1			1		
Positionssensor	2			2		
Deckel	1			1		
Transporteinrichtung	2	LZ	2	2	LZ	2
Folienaufnahme	2	HE	2	1		
Technikgehäuse	1			1		
Abdichtung	1			1		
Trennschneide	1			1		
Schneidenhalter mit Führung	3					
Klemmrahmen	1					
Mimik des Klemmrahmens	6					
Schneidantrieb	1	LZ	1	1	LZ	1
Klemmbetätigungsantrieb	1	LZ	1			
Toilettenbrille mit Klemmrahmenaufnahme	1					
Deckelverriegelung	1	HP	1	1	HP	1
Deckelabsenktdämpfer	1			1		
Klemmleiste mit Führung				1		
Schneidenhalter				1		
Brillenoberteil				1		
Dichtung				1		
Brillenhubzylinder				8	HP	8
Brillenunterteil				1		
Kompressor	1	P	1	1	P	1
Ventilblock	1	HE	1	1	HE	1
	29		9	29		14

Tab. 8-2: Anzahl Bauteile und Antriebe für die Varianten A und B

Die Sicherheit der Variante A und Variante B ist als gleich einzustufen, da der Prozess der Reinigung der Toilette und Bestückung mit einer neuen Folien-Beutel-Einheit jeweils mit geschlossenem Deckel durchgeführt wird.

Im Folgenden werden alle Varianten noch einmal detailliert in der Bewertungsmatrix in Tab. 8-3 bewertet. Die vorher genannten Bewertungskriterien werden mit Gewichtungsfaktoren nach ihrer Wichtigkeit belegt. Das Bewertungsspektrum reicht von 1 (Kriterium nicht erfüllt) bis 10 (Kriterium voll erfüllt).

Bewertungskriterien	Gewichtung	Bewertung Variante A	Gewichtung Variante A	Bewertung Variante B	Gewichtung Variante B
Anzahl der Bauteile	0,06	8	0,48	8	0,48
Anzahl der Antriebe	0,11	6	0,66	4	0,44
Sicherheit	0,13	8	1,04	8	1,04
Ausfallsicherheit	0,13	8	1,04	7	0,91
Hygiene	0,15	10	1,50	8	1,20
einfache Fertigung	0,13	6	0,78	5	0,65
Ergebnis	1,00		5,5		4,72

Bewertungsspektrum von 1 bis max 10 Punkte

Tab. 8-3: Bewertungsmatrix der Varianten

Abschließend kann man festhalten, dass die Variante A und Variante B die Anforderungen am besten erfüllen und die Entscheidung, welche Variante nun weiter ausdetailliert wird, anhand einer Wirtschaftlichkeitsanalyse im nächsten Kapitel erfolgt.

9 WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSE

Das Ziel der vorliegenden Kapitels ist es, die Wirtschaftlichkeit der wasserlosen Toilette und somit auch der Varianten A und B zu analysieren. Dazu wurde das Target Costing als Instrument des Kostenmanagements herangezogen, da es sich bei dem Absatzmarkt um eine homogene Zielgruppe handelt. Weiterhin besteht die Innovation des Produktes darin, durch ein neues Konzept die Schwächen herkömmlicher Systeme zu eliminieren beziehungsweise die Funktionen herkömmlicher Systeme zu verbessern. Dies bedeutet, dass der Erfolg des Produktes zum einen von der marktgerechten Gestaltung des Produktes und zum anderen von einem Preis, den der Kunde (Fluggesellschaft) akzeptiert, abhängig ist. Hinzu kommt außerdem, dass das Produkt sehr strengen Anforderungen unterliegt, da es in der Luftfahrt eingesetzt werden soll. Ein weiteres Argument für das Target Costing ist, dass sich das Projekt zur Zeit in der Entwicklungsphase befindet; die Kostenbeeinflussung ist zu diesem Zeitpunkt am größten.

Flugzeugbauteile und -systeme werden üblicherweise in US-Dollar gehandelt. Aus diesem Grund werden alle in den folgenden Kapiteln aufgeführten Kosten und Preise in US-Dollar angegeben. Für die Umrechnung wird ein für 2005 prognostizierter durchschnittlicher Wechselkurs von 1,05 US-Dollar/Euro zugrunde gelegt [DIW].

9.1 DIE ZIELKOSTENPLANUNG

9.1.1 DIE MARKTANALYSE

Für die Zielkostenplanung muss zunächst der Zielpreis, den der Kunde zu zahlen bereit ist, ermittelt werden, um so später die erlaubten Herstellkosten durch Abzug einer Gewinnmarge zu errechnen. Für die Ermittlung des Zielpreises ist unter Anderem eine umfangreiche Marktanalyse erforderlich, die folgende Aspekte untersuchen soll:

- Den Kundennutzen
- Die Merkmale des Zielmarktes
- Die Dauer des Produktlebenszyklus
- Die erwartete Absatzmenge
- Die Reaktion der Wettbewerber

Die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Marktanalyse werden in den folgenden Kapiteln ausführlich dargestellt.

9.1.1.1 DER FUNKTIONSUMFANG DES PRODUKTES (KUNDENNUTZEN)

Die Marktanalyse hinsichtlich des Kundennutzen wird in der Praxis häufig unter Zuhilfenahme der Conjoint-Analyse durchgeführt. Bei diesem Projekt wird die

Anwendung der Conjoint-Analyse jedoch nicht für sinnvoll erachtet, da dieses Instrument eine hohe Komplexität aufweist und es sich aufgrund von airbuspolitischen Gegebenheiten schwierig gestaltet, mit solch einer komplexen Befragung an den Kunden heranzutreten. Auch das Quality Function Deployment kann aus den zuvor genannten Gründen nicht zur Anwendung kommen. Deshalb wurde eine Befragung mittels Fragebogen durchgeführt, die weniger komplex und umfangreich ist. Der Fragebogen enthält Fragen zur generellen Sichtweise innovativer Toilettenkonzepte, zu den einzelnen Funktionen und zum Kaufverhalten des Kunden. Es wurde die Form der geschlossenen Fragen gewählt, damit später eine eindeutige Gewichtung der Funktionen erfolgen kann. Dem Kunden wird allerdings die Möglichkeit gegeben, seine Entscheidungen in einem dafür vorgesehenen Feld zu kommentieren. Der Fragebogen befindet sich im Anhang A dieser Arbeit.

Anstatt des Kunden hat jedoch das Airbus Marketing den Fragebogen ausgefüllt. Dies reduziert zwar die Befragung auf eine minimale Stichprobe, es erscheint dennoch sinnvoll, da sich das Marketing tagtäglich mit den Bedürfnissen aller Kunden auseinandersetzt und so der Kunde Airline erst zu einem späteren Zeitpunkt von diesem Projekt erfährt. Nach der Auswertung des Fragebogens kann Folgendes festgehalten werden:

- Die Hygiene stellt die wichtigste Funktion mit 16 % vom Gesamtnutzen dar.
- Die Funktionen Komfort, Lautstärke, Gewicht, Wartungsfreundlichkeit und Wasserverbrauch haben direkt nach der Hygiene die zweite Priorität mit jeweils 13 % vom Gesamtnutzen des Produktes
- Die Reinigungskosten erhalten eine mittlere Priorität mit 10 %
- Die gestalterische Wirkung ist weniger wichtig mit 6 %
- Die Lebensdauer spielt mit 3 % fast gar keine Rolle

Des Weiteren kann aus den Antworten im Fragebogen geschlossen werden, dass die Fluggesellschaften generell an einem innovativen Toilettensystem dieser Art interessiert sind. Die wasserlose Toilette würde allerdings erst einmal ausschließlich auf Langstreckenflügen und in neu bestellten Flugzeugen zum Einsatz kommen. Der Preis dürfte den durchschnittlichen Preis herkömmlicher Systeme nicht übersteigen, wobei der Preis an sich nicht so ausschlaggebend ist wie der Preis der dauerhaft benötigten Folien sowie der Preis für Ersatzteile. Die Auswertung des Fragebogens befindet sich ebenfalls im Anhang A dieser Arbeit.

9.1.1.2 DIE MERKMALE DES ZIELMARKTES

Bei der Untersuchung des Zielmarktes wird zunächst festgestellt, dass es sich hier um einen homogenen Markt handelt, da die Zielgruppe ausschließlich aus Fluggesellschaften besteht. Zwar könnte ein Flugzeughersteller wie Airbus oder Boeing prinzipiell ein Marktsegment bilden, jedoch vertreten die Flugzeughersteller in diesem Falle wiederum die Meinung der Fluggesellschaften. Weiterhin muss untersucht werden, ob ein Marktwiderstand zu erwarten ist. Dieser ergibt sich bei der

Neueinführung eines innovativen Produktes, wenn die Kunden dem Produkt beziehungsweise der Vorteilhaftigkeit zunächst skeptisch gegenüberstehen. Mit einem erheblichen Marktwiderstand ist im Fall des innovativen Toilettenkonzeptes allerdings nicht zu rechnen, da die Kunden bereits vor Projektbeginn mehrmals ihr außerordentliches Interesse an dem wasserlosen Toilettensystem geäußert hatten.

9.1.1.3 DIE DAUER DES PRODUKTLEBENSZYKLUS

Im weiteren Verlauf muss die Produktlebensdauer betrachtet werden, da das Target Costing lebenszyklusbezogen angewendet wird. Die Produktlebensdauer bezieht sich auf den Lebenslauf des Produktes, der von der Idee über die Entwicklung, Fertigung, Nutzung bis hin zur Entsorgung reicht. Die Produktlebensdauer darf hierbei nicht mit der Marktlebensdauer verwechselt werden; diese gibt den Zeitraum, in dem ein Produkt vom Hersteller produziert und verkauft wird, an. Während der Produktlebensdauer fallen Kosten an, die der Nutzer meist direkt oder indirekt zu tragen hat.

Die Lebensdauer von herkömmlichen Toiletten wurde laut der Deutschen Lufthansa bisher für das gesamte System (Toilettenkabine, Toilettenschüssel, Vakuumsystem, Rohrleitungssystem und Abfalltank) auf einen Zeitraum von 20 Jahren beziehungsweise 80.000 Flugstunden festgelegt. In dieser Zeit werden Komponenten und Einzelteile je nach Verschleiß in bestimmten Zeitabständen gewartet und ausgewechselt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Komponenten einer Toiletteneinheit, die sich innerhalb der Kabine befindet, alle drei bis fünf Jahre ausgewechselt werden müssen. In dieser Arbeit sollen nur die Komponenten der Toiletteneinheit betrachtet werden, da sich die Konstruktion des neuen Systems nur auf diese Komponenten bezieht. Eingriffe in das Rohrsystem und in die Abfalltanks sollen verhindert werden; diese Komponenten bleiben in ihrer Konstruktion bestehen. Die Abb. 3-5 zeigt das gesamte Vakuumsystem herkömmlicher Toiletten. Daneben wird die Toiletteneinheit, die Gegenstand dieser Arbeit ist, anhand eines herkömmlichen Systems abgebildet.

In der Zeit der Produktlebensdauer fallen für den Nutzer Anschaffungskosten (diese beinhalten Planungs-, Entwicklungs- und Herstellkosten sowie Installationskosten), Wartungskosten und Kosten für den Folienverbrauch an. Diese Kosten werden nachfolgend anhand der Airbus-Kurzstreckenflugzeuge A320/319/321, die mit Toiletten der Firma Monogram ausgestattet sind, betrachtet. Die Kostenschätzungen basieren auf Daten der Lufthansa AG:

Der Anschaffungspreis für die Toiletteneinheit von herkömmlichen Systemen liegt je nach Hersteller zwischen 15.750 US-Dollar (15.000 Euro) und 23.100 US-Dollar (22.000 Euro). Die Wartungskosten setzen sich aus Routinewartungen und ungeplanten Reparaturen zusammen. Die Toiletten werden bei der Routinewartung alle 8000 Flugstunden ausgebaut. Dies bedeutet, dass die Routinewartung bei Lufthansa für Kurzstreckenflugzeuge alle 3,2 Jahre durchgeführt wird. Hierbei werden die ausgebauten Toiletten in ihre Bestandteile zerlegt, diese werden gewartet und im Lager der Fluggesellschaft deponiert. Die gelagerten Teile werden als Ersatzteile für spätere Reparaturen und Wartungen genutzt. Dabei entstehen oft gänzlich neue Toiletten aus

den Ersatzteilen. Bei der Routinewartung fallen durchschnittlich Kosten in Höhe von 470 US-Dollar pro Toilette für neue Austauschteile an. Die ungeplanten Reparaturen werden pro Jahr an ca. 30% der Toiletten durchgeführt und verursachen Kosten in Höhe von 260 US-Dollar pro Toilette für neue Ersatzteile.

Da die wasserlose Toilette vorerst in Langstrecken- und Großraumflugzeugen zum Einsatz kommt, ist anzustreben, dass die Routinewartungen innerhalb des C-Checks, der für diese Flugzeuge alle zwei Jahre stattfindet [BICS], absolviert wird. Der C-Check beinhaltet

„die detaillierte Inspektion der Flugzeugstruktur und gründliche Tests der Systeme. Teilweise Freilegung der Verkleidung für gründliche Überholung.“
[BICS]

Dabei sollen die Kosten für die Routinewartungen von herkömmlichen Toilettensystemen (470 US-Dollar) nicht überschritten werden. Auch die jährlichen Kosten für die ungeplanten Reparaturen (260 US-Dollar) an herkömmlichen Toilettensystemen sollen bei dem innovativen Toilettenkonzept nicht überschritten werden. Die Lebensdauer der Toiletteneinheit des neuen Systems kann zu diesem Zeitpunkt allerdings nicht eingeschätzt werden, da bisher keine Tests hinsichtlich der Langlebigkeit durchgeführt werden konnten.

9.1.1.4 DIE ERWARTETE ABSATZMENGE DER TOILETTENEINHEIT

Ein weiterer Bestimmungsgrund des Verkaufspreises ist die erwartete Absatzmenge. Um hier Einschätzungen vornehmen zu können, wird zum Einen der „Global Marketforecast 2001-2020“ von Airbus als Basis verwendet. Zum Anderen wird das Ergebnis des Fragebogens zugrunde gelegt. Nach diesem Ergebnis kommen, wie bereits erwähnt, nur Großflugzeuge und davon nur die Neubestellungen in Frage. Deshalb werden ausschließlich die Marktentwicklungen der 250-400-Sitz-Kategorien und der Großraumflugzeuge (über 400 Sitze) der voraussichtlichen Neubestellungen betrachtet. Gemäß dem Marketforecast werden in dem Zeitraum von 20 Jahren (2001-2020) 3842 neue Passagierflugzeuge in der Kategorie der 250-400-Sitzer von den Fluggesellschaften angefordert. In der Kategorie der Großraumflugzeuge werden es in diesem Zeitraum 1138 Neubestellungen sein. Daraus ergibt sich ein Gesamtdurchschnittswert von 249 Neubestellungen von Großflugzeugen pro Jahr. Dieser Wert spaltet sich auf in 192 Neubestellungen pro Jahr für die Kategorie der 250-400-Sitzer und 57 Neubestellungen pro Jahr für die Kategorie der Großraumflugzeuge. Im weiteren Verlauf muss untersucht werden, wie viele Toiletten in den jeweiligen Flugzeugen durchschnittlich eingebaut werden. Hierzu gibt es Vorschriften von der FAA (Federal Aviation Authorities), die zu beachten sind. Gemäß diesen Vorschriften muss in Langstreckenflugzeugen folgende Mindestanzahl an Toiletten vorhanden sein:

- In der First Class 1 Toilette auf 14 Passagiere [Scholz]
- In der Business Class 1 Toilette auf 25 Passagiere [Scholz]
- In der Economy Class 1 Toilette auf 45 Passagiere [Scholz]

Dabei hängt es von den jeweiligen Fluggesellschaften ab, ob eine Dreiklassenbestuhlung angestrebt wird oder nicht. Allerdings ist bei Langstreckenflugzeugen in der Regel davon auszugehen, dass alle drei Sitzkategorien angeboten werden. Es werden die Flugzeugtypen des Herstellers Airbus zugrunde gelegt, um die durchschnittliche Anzahl der eingebauten Toiletten bei einer Dreiklassenbestuhlung zu ermitteln. In der folgenden Tabelle (siehe Tab. 9-1) sind die Airbus-Großflugzeuge mit den entsprechenden Daten dargestellt.

<i>Flugzeugtyp</i>	<i>Durchschnittliche Anzahl der Passagiere</i>	<i>Durchschnittliche Anzahl der Toiletten pro Flugzeug</i>
A330	295	8
A340-200	261	8
A340-300	295	8
A340-500	313	10
A340-600	380	10
A380-800	600	17

Tab. 9-1: Passagier- und Toilettenanzahl nach Flugzeugtyp

Daraus ergibt sich für die Kategorie der Langstreckenflugzeuge mit 250-400 Sitzen ein Durchschnitt von 9 Toiletten pro Flugzeug und für die Großraumflugzeuge (A380-800) ein Durchschnitt von 17 Toiletten pro Flugzeug. Durch Multiplikation der durchschnittlichen Anzahl der Toiletten mit den Neubestellungen pro Jahr ergibt sich ein Marktpotential von 2697 Toiletten pro Jahr, wovon 969 Toiletten auf Großraumflugzeuge und 1728 auf 250-400-Sitzer entfallen würden. Das folgende Diagramm (siehe Abb. 9-1) stellt einen Vergleich der relativen Anteile der Langstrecken- und Großraumflugzeuge mit den relativen Anteilen der eingebauten Toiletten in diesen Flugzeugen dar.

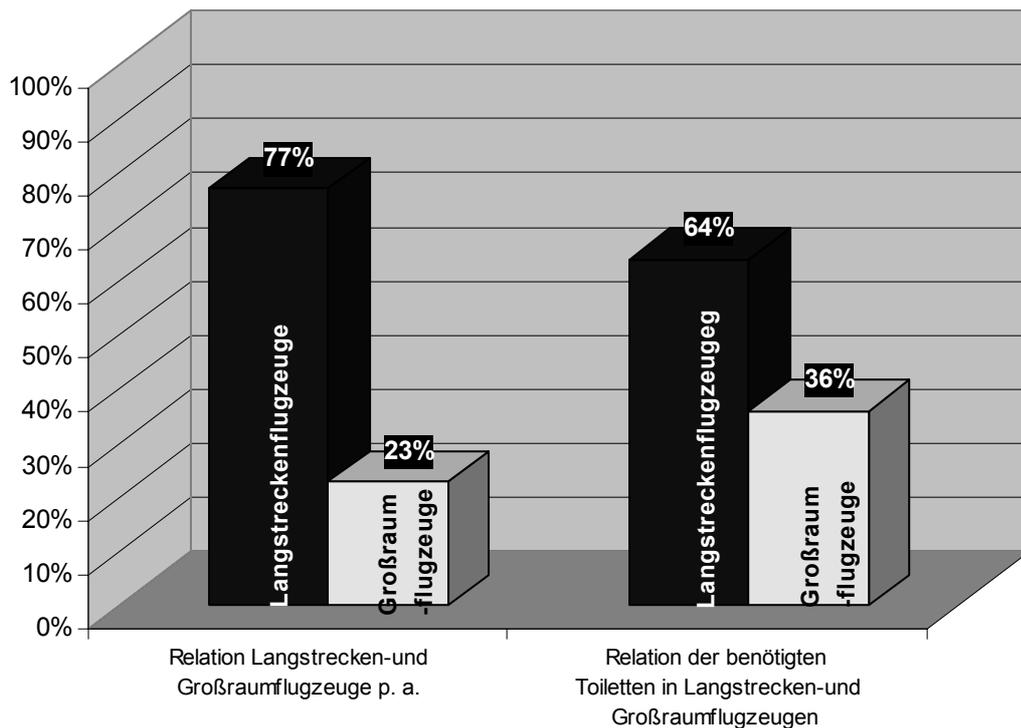


Abb. 9-1: Anteile Langstrecken- und Großraumflugzeuge und verbaute Toiletten

Aus dem oben stehenden Diagramm geht hervor, dass 77% der Neubestellungen auf dem Markt der Großflugzeuge pro Jahr auf Langstreckenflugzeuge entfallen und nur 23% auf Großraumflugzeuge. Legt man diese Werte allerdings auf die Anzahl der in diesen Flugzeugen benötigten Toiletten um, so ändert sich das Verhältnis: 64% aller Toiletten, die in Großflugzeugen eingebaut werden, entfallen auf Langstreckenflugzeuge und 36% entfallen auf Großraumflugzeuge. Dies liegt daran, dass in einem Großraumflugzeug wesentlich mehr Toiletten eingebaut werden als in einem Langstreckenflugzeug (siehe Tab. 9-1). Die Anzahl der Toiletten in den unterschiedlichen Flugzeugtypen ist von großer Bedeutung für die Einschätzung des Absatzpotentials, da hierfür im weiteren Verlauf Szenarien gebildet werden, die jeweils unterschiedliche Einsatzverhältnisse der Folientoilette zur Basis haben.

Für die Einschätzung der Erreichbarkeit des Marktpotentials wird jeweils ein optimistisches, ein realistisches und ein pessimistisches Szenario gebildet. Voraussetzung für die Erstellung der Szenarien ist unter anderem die Kenntnis der Flugzeugmarktanteile von den Herstellern Airbus und Boeing (siehe Abb. 9-2).

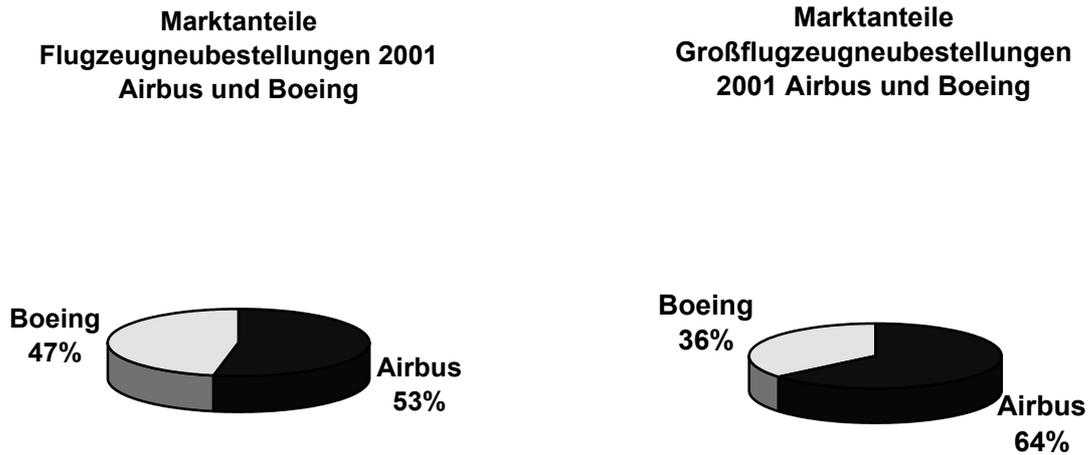


Abb. 9-2: Marktanteile Airbus und Boeing 2001

Der Markt der Passagierflugzeuge, die mit über 100 Sitzen ausgestattet sind, teilt sich zwischen den Herstellern Airbus und Boeing auf. Im Markt der großen Flugzeuge der Airbus 330/340er Klasse und der Boeing 777 konnte Airbus im Jahr 2001 mit seinen Fliegern bei den Neubestellungen einen Marktanteil von 64% aufweisen. Insgesamt hatte Airbus bei den Neubestellungen (Kurzstrecken- und Großflugzeuge) im Jahr 2001 einen Marktanteil von 53%. Im Jahr 2003 konnte Airbus bei den Neubestellungen insgesamt sogar einen Marktanteil von 56,1% aufweisen (Stand Oktober 2003). Die Anteile auf dem Markt der großen Flugzeuge liegen nicht für die Jahre 2002/03 vor, so dass für die Szenarien die Marktanteile der Langstreckenflugzeuge von 2001 zugrunde gelegt werden.

Szenariobericht	Optimistisch	Realistisch	Pessimistisch
Langstreckenflugzeuge p. a.	192	123	0
Großraumflugzeuge p. a.	57	36	36
Toilettenanzahl p. a.	2697	1719	612

Tab. 9-2: Szenariobericht für den Toilettenabsatz pro Jahr

In den drei Szenarien (siehe Tab. 9-2) werden durchschnittliche Absatzzahlen pro Jahr für die Folientoilette errechnet. Die Eingangswerte setzen sich aus den geschätzten Verkaufszahlen der Langstrecken- und Großraumflugzeuge und der Anzahl der darin integrierten Toiletten zusammen. Bei dem optimistischen Szenario wird davon ausgegangen, dass die Folientoilette in sämtlichen Neubestellten Langstrecken- und Großraumflugzeugen integriert wird, die sowohl von Airbus als auch von Boeing hergestellt werden. Bei dem realistischen Szenario wird der Marktanteil an den Langstrecken- und Großraumflugzeugen von Airbus (64%) zugrunde gelegt. Dies erscheint sinnvoll, da davon ausgegangen werden kann, dass die Toilette zunächst nur in den Airbus-Flugzeugen eingesetzt wird, da Airbus an der Forschung und Entwicklung

einer wasserlosen Toilette maßgeblich beteiligt ist. Bei dem pessimistischen Szenario wird angenommen, dass die wasserlose Toilette nur in Großraumflugzeugen bei Airbus (A380-800) zum Einsatz kommt. Die Annahme wird damit begründet, dass in diesem Falle kein Interesse seitens der Fluggesellschaften vorhanden sein würde, Airbus aber ein Interesse an der wasserlosen Toilette hätte, um das Gewicht des Großraumflugzeuges A380-800 zu reduzieren. Die Eingangswerte für die Berechnung der Szenarien sind im Anhang C zu finden.

Da die gesamten Flugzeugneubestellungen eines Jahres nicht zeitgleich vom Hersteller gefertigt und ausgeliefert, sondern sukzessive abgearbeitet werden, wird für den Absatz im ersten Verkaufsjahr nur jeweils die Hälfte der erreichbaren Absatzzahlen bei den Szenarien zugrunde gelegt. Daraus ergibt sich im ersten Jahr ein Absatz von 1349 Toiletten für den optimistischen Fall. Für den realistischen Fall können demnach 860 Toiletten und für den pessimistischen Fall 306 Toiletten im ersten Absatzjahr angenommen werden. Ab dem zweiten Produktionsjahr können die in den Szenarien dargestellten jährlichen Absatzzahlen zugrunde gelegt werden. Ein zusätzlicher Absatz würde sich nach Ablauf der Lebensdauer der Toiletteneinheit aus der Anzahl der Toiletten ergeben, die ersetzt werden müssen. Wie bereits erwähnt, kann die Lebensdauer für die Toiletteneinheit innerhalb der Flugzeugkabine jedoch nicht zu diesem Zeitpunkt bestimmt werden, da es sich um ein innovatives Produkt handelt, welches hinsichtlich seiner Lebensdauer noch nicht getestet werden konnte. Es kann lediglich festgestellt werden, dass die Lebensdauer des gesamten Toilettensystems 20 Jahre beträgt. Der Absatz würde sich aufgrund dessen kontinuierlich fortsetzen, es sei denn, das System ist bereits nach 20 Jahren durch technischen Fortschritt veraltet.

9.1.1.5 DIE ERWARTETE ABSATZMENGE DER FOLIEN

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der Absatz der Folien, denn auch hierfür muss ein Zielpreis bestimmt werden. Bei den Folien ist es besonders wichtig, auf den kundengerechten Preis zu achten, da die Fluggesellschaften bei Einsatz der Folientoilette gezwungen wären, die Folien in großen Mengen abzunehmen, da diese die Wasserspülung ersetzen. Um den Folienverbrauch einschätzen zu können, sind einige Eingangsdaten notwendig:

- Anzahl der neubestellten Langstrecken- und Großraumflugzeuge p. a.
- Anzahl der Passagiere in Langstrecken- und Großraumflugzeugen
- Durchschnittliche Flugdauer pro Langstreckenflug
- Anzahl der Langstreckenflüge pro Flugzeug p. a.
- Anzahl der Toilettengänge pro Passagier pro Langstreckenflug

Da der Folienverbrauch vollständig vom Absatz der Folientoilette abhängig ist, werden die drei Absatz-Szenarien der Folientoilette auch für die Einschätzung des Folienabsatzes zugrunde gelegt.

Die Anzahl der Passagiere in Langstreckenflugzeugen beträgt durchschnittlich 300. In Großraumflugzeugen kann durchschnittlich von 600 Passagieren ausgegangen werden

(siehe Tab. 9-1). Weiterhin wird angenommen, dass ein Langstreckenflug durchschnittlich acht Stunden dauert, die reine Flugzeit eines Flugzeuges pro Tag 16 Stunden beträgt und ein Flugzeug 360 Tage im Jahr eingesetzt wird. Das heißt, die durchschnittliche Gesamtflugzeit eines Langstrecken- oder Großraumflugzeuges beträgt 5760 Stunden im Jahr. Daraus ergeben sich 720 Langstreckenflüge pro Jahr für ein Großflugzeug. Ein Passagier benutzt während eines 8-stündigen Fluges ungefähr sechs mal die Toilette. Daraus lässt sich der jährliche Folienverbrauch für die drei Szenarien in der folgenden Tabelle (siehe Tab. 9-3) berechnen:

	Optimistisch	Realistisch	Pessimistisch
Toilettengänge/Passagier in 8 Std.	6	6	6
Neubestellungen Langstreckenflugzeuge p. a. mit Folientoilette	192	123	0
Passagieranzahl in Langstreckenflugzeugen	300	300	300
Neubestellungen Großraumflugzeuge p. a. mit Folientoilette	57	36	36
Passagieranzahl in Großraumflugzeugen	600	600	600
Anzahl der Passagiere gesamt	91.800	58.500	21.600
Langstreckenflüge p. a. pro Flugzeug	720	720	720
Folienverbrauch pro Jahr	396.576.000	252.720.000	93.312.000

Tab. 9-3: Szenarien für den Folienverbrauch

Beispielrechnung anhand des optimistischen Szenarios:

$$300 \text{ Passagiere} * 192 \text{ Langstreckenflugzeuge} + 600 \text{ Passagiere} * 57 \text{ Großraumflugzeuge} \\ = \underline{\underline{91.800 \text{ Passagiere}}}$$

$$91.800 \text{ Passagiere} * 6 \text{ Toilettengänge} * 720 \text{ Langstreckenflüge p. a.} \\ = \underline{\underline{396.576.000 \text{ Folien p. a.}}}$$

Der jährliche Folienverbrauch in den oben stehenden Rechnungen bezieht sich auf die nach dem Marketforecast 2001-2020 berechneten Großflugzeugneubestellungen. Da die Folientoilette voraussichtlich im Jahr 2007 zum Einsatz kommt, beträgt der zu betrachtende Zeithorizont 13 Jahre. Um eine genaue Absatzeinschätzung für den Folienverbrauch vornehmen zu können, muss dieser für die 13 Jahre kumuliert werden. Denn der Verbrauch steigt in den ersten 13 Jahren um die Anzahl der jährlich neu einzurüstenden Toiletten und deren Folienverbrauch an. Für das erste Verkaufsjahr wird analog zum Absatz der Folientoilette nur jeweils die Hälfte der erreichbaren Absatzzahlen zugrunde gelegt. Das folgende Bild (siehe Abb. 9-3) stellt das enorm ansteigende Absatzpotential der Folien in den nächsten 13 Jahren dar. Die genauen Berechnungen hierzu finden sich in Anhang C.

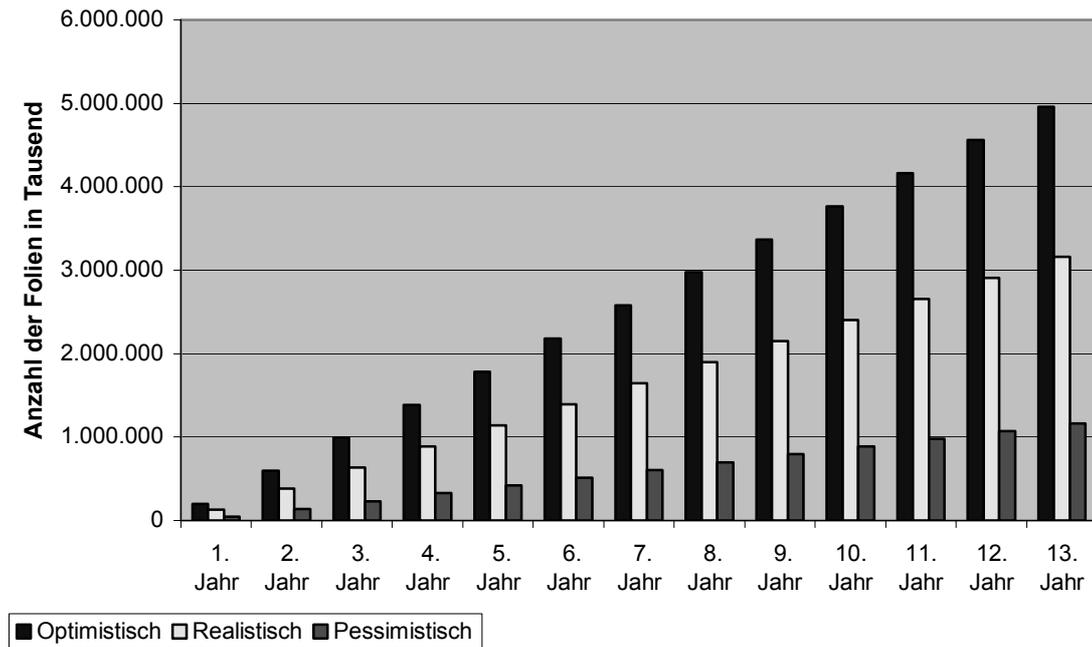


Abb. 9-3: Kumulierter Folienverbrauch

Würde der Absatzmarkt der Großflugzeuge nach 13 Jahren rückläufig sein, die Folientoilette aber in den Flugzeugen bestehen bleiben, so würde der jährliche Absatz der Folien ab dem 13. Jahr zumindest mit 4,9 Milliarden Folien für den optimistischen Fall, mit 3,1 Milliarden Folien für den realistischen Fall und mit 1,1 Milliarden Folien für den pessimistischen Fall konstant bleiben, bis die bereits integrierten Folientoiletten durch andere Systeme ersetzt werden. Ebenso verhält es sich, wenn ein weiterer Absatz der Folientoilette nach 13 Jahren nicht mehr gegeben wäre.

Ein mögliches Absatzpotential im Markt der Kurzstreckenflugzeuge und im Bereich der Nachrüstung von vorhandenen Flugzeugen findet in den Szenarien keine Berücksichtigung. Für eine Einschätzung dieses Marktpotentials liegen zum einen keine Daten vor, zum anderen lässt die Interpretation des Fragebogens ein solches Marktpotential nicht zu. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass ein Absatzpotential in diesen Märkten besteht, sobald sich das wasserlose Toilettensystem am Markt etabliert hat. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, das Konzept der wasserlosen Toilette in Bus und Bahn zu integrieren. Die Marktanalyse in diesem Bereich ist allerdings nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit, da es bisher nicht in Betracht gezogen wurde, das System für Bus und Bahn anzubieten. Die Überlegungen konzentrieren sich vorerst auf den Flugzeugmarkt.

9.1.1.6 DIE REAKTION DER WETTBEWERBER

Weiterhin muss die Reaktion der Wettbewerber betrachtet werden beziehungsweise der Markt auf vorhandene ähnliche Produkte untersucht werden. Dabei stellt sich heraus, dass es auf dem Markt der Toilettenhersteller bereits eine Mehrzahl von Patenten auf wasserlose Toiletten gibt (siehe Kapitel 4). Allerdings sind diese Toiletten nicht für den

Flugzeugmarkt bestimmt und erfüllen in keiner Weise die Anforderungen, die an Flugzeugsysteme gestellt werden. Die Untersuchung des Marktes der Flugzeugtoilettenhersteller ergibt, dass keine Patente und Konzepte für wasserlose Toiletten in diesem Bereich vorliegen. Allerdings gibt es Forschungsprojekte zum Thema wasserlose Toiletten bei dem Toilettenhersteller AOA Gauting in Zusammenarbeit mit Airbus. Dieses System beruht auf einer völlig anderen Funktionsweise als die Folientoilette, da die Toilette mit einer schmutzabweisenden Oberflächenbeschichtung ausgestattet wird und nicht mit einer Folie. Somit ist der hygienische Aspekt, der durch die Folie gewährleistet wird, nicht gegeben. Wie bereits erwähnt, wird in Betracht gezogen, das Konzept der Folientoilette und das Konzept der Toilette mit der schmutzabweisenden Oberfläche zu kombinieren, dennoch ist dieses System als Konkurrenzprodukt anzusehen. Ein Patent oder eine Zulassung ist für das Konkurrenzprodukt jedoch noch nicht vorhanden, es befindet sich ebenfalls in der Forschungs- und Entwicklungsphase. Informationen über weitere Konkurrenzprodukte anderer Hersteller können nicht gewonnen werden, da es sich in der Regel schwierig gestaltet, an Daten über Forschungs- und Entwicklungsprojekte anderer Unternehmen zu gelangen. Es ist aber davon auszugehen, dass die Flugzeugtoilettenhersteller in naher Zukunft eigene Forschungsprojekte vorantreiben werden, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Des Weiteren können herkömmliche Toilettensysteme, die hinsichtlich ihrer Hygiene verbessert werden, prinzipiell als Konkurrenzprodukte betrachtet werden. Damit würden die herkömmlichen Toilettensysteme zwar von der wasserlosen Funktionsweise der Folientoiletten völlig abweichen, aber die schwerwiegende Funktionsanforderung der Hygiene wäre erfüllt.

9.1.2 FESTLEGUNG DES ZIELPREISES FÜR DAS TOILETTENSYSTEM

Nachdem die Marktanalyse abgeschlossen ist, kann nun die Festlegung des Zielpreises für die Toiletteneinheit erfolgen. Die Marktanalyse brachte hervor, dass die Fluggesellschaften nicht bereit sind, mehr für das neue Produkt zu bezahlen als für herkömmliche Systeme. Die Preise der herkömmlichen Toilettensysteme variieren je nach Hersteller zwischen 15.750 und 23.100 US-Dollar. Da das innovative Toilettensystem die in Kapitel 4.3 beschriebenen Vorteile gegenüber den herkömmlichen Systemen bietet und das Folienantriebssystem in seiner Herstellung voraussichtlich höhere Kosten verursachen wird, vor allem in den ersten Produktionsjahren durch die mit einzubeziehenden Entwicklungskosten, orientieren sich die Betrachtungen zur Zielpreisfestlegung an der teuersten Variante herkömmlicher Systeme. Der Zielpreis wird deshalb mit 23.100 US-Dollar festgelegt.

9.1.3 FESTLEGUNG DES ZIELPREISES FÜR DIE FOLIEN

Wesentlich wichtiger als der Zielpreis für die Toiletteneinheit ist allerdings der Preis für die ständig benötigten Folien. Da die Folien das bei herkömmlichen Systemen zur Spülung benötigte Wasser ersetzen, stellt sich die Zielpreisfindung für die Folien

schwierig und komplex dar. Für einen Spülvorgang werden cirka 0,2 Liter Frischwasser benötigt, der durchschnittliche Frischwasserpreis in Deutschland beträgt 2,00 Euro pro Kubikmeter [KLAAS]. Es wird der Frischwasserpreis ohne Entsorgungskosten zugrunde gelegt, da die Entsorgungskosten auch bei dem wasserlosen Toilettensystem bestehen bleiben, denn die Folien sollen weiterhin mit den Fäkalien in die Kanalisation zur Entsorgung eingeleitet werden. Der durchschnittliche Frischwasserpreis pro Toilettenspülung beträgt somit 0,04 Euro Cent, dies entspricht 0,042 US-Cent. Wird nur die reine Kostenersparnis durch den Verzicht auf Frischwasser betrachtet, so hieße das, dass eine Folie nur 0,042 US-Cent für den Endverbraucher kosten dürfte. Da es nicht möglich ist, auch nur annähernd für diesen Preis die Folien zu produzieren eignet sich der Ansatz nicht als Basis für einen Folienpreis.

Die Wassereinsparung birgt jedoch gleichzeitig eine Gewichtsreduzierung. Diese Gewichtsreduzierung kann in wirtschaftlicher Hinsicht auf unterschiedliche Weise von den Fluggesellschaften genutzt werden:

1. Anstelle des Wassers wird mehr Treibstoff mitgeführt und somit die Reichweite des Flugzeuges erhöht.
2. Durch die Gewichtsreduzierung ergibt sich eine Treibstoffersparnis.
3. Entsprechend dem eingesparten Gewicht können mehr Passagiere mitfliegen.
4. Entsprechend dem eingesparten Gewicht kann zusätzliche Fracht an Bord genommen werden.

Im weiteren Verlauf gilt es, die Wirtschaftlichkeit der oben aufgeführten Möglichkeiten zu analysieren, um so einen Zielpreis für die Folien abzuleiten. Die Berechnungen werden am Beispiel des Großraumflugzeuges A380-800 durchgeführt. Für die Berechnung der Gewichtsreduzierung sind die Eingangsdaten aus Kapitel 1.1 notwendig

9.1.3.1 DIE ERHÖHUNG DER REICHWEITE

Anstelle der 720 kg Wasser kann die Fluggesellschaft 720 kg mehr Treibstoff mitnehmen. Die Reichweite des Flugzeugs erhöht sich folglich. Für die Berechnung der erhöhten Reichweite sind folgende Eingangsdaten notwendig:

Die Masse eines Airbus A380-800 beträgt durchschnittlich 510.000 kg (DBD, 2001, S. 58). Die Gleitzahl beträgt laut Aussagen von Airbus bei dem Großraumflieger 20,2. Die Gleitzahl gibt das Verhältnis zwischen Auftrieb und Widerstand an. Aus der Gleitzahl, der Masse und der Fallbeschleunigung ($9,81 \text{ m/sec.}^2$) lässt sich der Widerstand berechnen:

$$\frac{\text{Masse} * \text{Fallbeschleunigung}}{\text{Gleitzahl}} = \text{Widerstand}$$

$$\frac{510.000 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{20,2} = 247.678,2 \text{ Newton}$$

Der spezifische Treibstoffverbrauch für den Airbus A380-800 beträgt nach Aussagen von Airbus ungefähr 16 Milligramm/(N*s). Aus dem Treibstoffverbrauch und dem Widerstand lässt sich der Verbrauch pro Sekunde ermitteln:

$$\frac{\text{Spezifischer Treibstoffverbrauch}}{\text{Newton} * \text{Sekunde}} * \text{Widerstand} = \text{Treibstoffverbrauch pro Sekunde}$$

$$16 \text{ Milligramm}/(\text{N} * \text{s}) * 247.678,2 \text{ Newton} = 3,96 \text{ kg/s Treibstoffverbrauch}$$

Die Reisegeschwindigkeit im Verhältnis zur Schallgeschwindigkeit in der aktuellen Reisehöhe wird in der sogenannten Machzahl ausgedrückt. Die Machzahl wird bei dem Großraumflieger mit 0,85 beziffert (DBD, 2001, S. 62). Die Schallgeschwindigkeit beträgt in der normalen Reisehöhe 294 m/s. Daraus lässt sich die Geschwindigkeit des Flugzeuges ableiten:

$$\text{Machzahl} * \text{Schallgeschwindigkeit} = \text{Geschwindigkeit des Flugzeuges}$$

$$0,85 * 294 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 250,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$250,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 3,6 = 901,5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Weiterhin wird der Treibstoffverbrauch pro Stunde berechnet:

$$3,96 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 3600 \text{ s} = 14.266 \frac{\text{kg Treibstoff}}{\text{h}}$$

Der Verbrauch pro Kilometer ergibt sich aus der Division von Treibstoffverbrauch pro Stunde und der Geschwindigkeit :

$$\frac{\text{Treibstoffverbrauch pro Stunde}}{\text{Geschwindigkeit}} = \text{Treibstoffverbrauch pro Kilometer}$$

$$\frac{14266 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{901,4 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 15,83 \frac{\text{kg Treibstoff}}{\text{km}}$$

Ein Liter Treibstoff wiegt circa 0,8 Kilogramm, der Kehrwert ergibt, dass einem Kilogramm Treibstoff somit 1,25 Liter Treibstoff entsprechen. Daraus ergibt sich der Liter-Treibstoffverbrauch pro Kilometer:

$$15,83 \frac{\text{kg Treibstoff}}{\text{km}} * 1,25 \frac{\text{L}}{\text{kg}} = 19,8 \text{ L Treibstoffverbrauch/km}$$

Würde eine Fluggesellschaft die 720 kg Gewichtersparnis durch das wasserlose Toilettensystem für die zusätzliche Mitnahme von Treibstoff nutzen, so könnten zusätzlich 900 Liter Treibstoff mitgeführt werden. Daraus lässt sich die Erhöhung der Reichweite berechnen:

$$\frac{\text{Zusätzlicher Treibstoff}}{\text{Treibstoffverbrauch pro Kilometer}} = \text{erhöhte Reichweite}$$

$$\frac{900 \text{ L}}{19,8 \frac{\text{L}}{\text{km}}} = 45,5 \text{ km}$$

Die Reichweite würde sich um 45,5 km erhöhen. Der Ansatz der zusätzlichen Treibstoffmitnahme eignet sich nicht für die Ableitung eines Folien-Zielpreises, da die Erhöhung der Reichweite zu gering ausfällt, um einen wirtschaftlichen Nutzen daraus ziehen zu können.

9.1.3.2 DIE TREIBSTOFFERSPARNIS

Die zweite Möglichkeit einer wirtschaftlichen Nutzung der wasserlosen Toilette besteht in der reinen Treibstoffersparnis, die durch die Gewichtsreduzierung entsteht. Die Berechnung der Treibstoffersparnis wird analog zur Ermittlung der erhöhten Reichweite anhand des Airbus A380-800 durchgeführt. Folglich wird auch für diese Berechnung eine Gewichtersparnis von 720 kg zugrunde gelegt. Aus der Gewichtsreduzierung und der Fallbeschleunigung ergibt sich ein reduzierter Auftrieb:

$$\text{Gewichtsreduzierung} * \text{Fallbeschleunigung} = \text{reduzierter Auftrieb}$$

$$720 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 7063,2 \text{ Newton reduzierter Auftrieb}$$

Die Widerstandsreduzierung lässt sich aus dem Auftrieb und der Gleitzahl berechnen:

$$\frac{\text{Reduzierter Auftrieb}}{\text{Gleitzahl}} = \text{Widerstandsreduzierung}$$

$$\frac{7063,2 \text{ Newton}}{20,2} = 349,7 \text{ Newton}$$

Unter Berücksichtigung der Widerstandsreduzierung und des Treibstoffverbrauchs (16 Milligramm/(N*s)) kann die Treibstoffersparnis für einen achtstündigen Langstreckenflug ermittelt werden:

*Widerstandsreduzierung * Treibstoffverbrauch * Flugdauer = Treibstoffersparnis*

$$349,7 \text{ Newton} * 16 \frac{\text{mg}}{\text{N} * \text{s}} * 8 \text{ Std.} * 3600 \text{ s} = 161,1 \text{ kg Treibstoffersparnis}$$

Der Treibstoffpreis pro Kilogramm ist schwankend. Der durchschnittliche Preis für Kerosin lag im Jahr 2003 bei 0,22 US-Dollar pro Kilogramm. Bei Zugrundelegung dieses durchschnittlichen Kerosinpreises ergibt sich durch die Gewichtsreduzierung eine finanzielle Ersparnis:

$$161,1 \text{ kg} * 0,22 \text{ US \$} = 35,44 \text{ US \$ Ersparnis pro Langstreckenflug}$$

Bei sechs Toilettengängen pro Passagier in acht Stunden Flugzeit und einer Anzahl von 600 Passagieren im Airbus A380-800 werden 3600 Folien pro Flug benötigt. Sollen die Folien über die reine Treibstoffersparnis finanziert werden, so dürfte eine Folie nicht mehr als 0,98 US-Cent für die Fluggesellschaften kosten. Dies bedeutet, dass auch dieser Ansatz für die Folienzielpreisbildung verworfen werden muss, da zu diesem Preis zur Zeit nicht produziert werden kann.

9.1.3.3 DIE ERHÖHUNG DER PASSAGIERANZAHL

Eine weitere Alternative, das eingesparte Gewicht wirtschaftlich zu nutzen, ist die Passagieranzahl entsprechend der Gewichtsreduzierung zu erhöhen. Das durchschnittliche Passagiergewicht beträgt laut Angaben der deutschen Lufthansa 100 kg pro Passagier inklusive Gepäck. Bei einer Gewichtseinsparung von 720 kg könnten folglich sieben weitere Passagiere mitfliegen. Weiterhin kann zugrunde gelegt werden, dass ein Passagier durchschnittlich 630 US-Dollar für einen einfachen Langstreckenflug in der Economy Class bezahlt. Im Normalfall kann eine Fluggesellschaft dabei einen Gewinn vor Steuern von acht Prozent generieren [LUFTHANSA – 3]. Das würde einen absoluten Gewinn vor Steuern von 50,40 US-Dollar pro Passagier bedeuten. Im Fall der Kapazitätenerhöhung des Flugzeuges hat die Fluggesellschaft allerdings nicht die gleichen Aufwendungen, die bei einer achtprozentigen Gewinnmarge vorliegen. Denn im Falle einer Kapazitätenerhöhung müssen lediglich zusätzliche Sitze eingebaut werden, die einen Aufwand hervorrufen. Würden die zusätzlichen Sitze bei einer Flugzeugneubestellung mit berücksichtigt, so macht sich der Aufwand kaum bemerkbar. Auch ein zusätzlicher administrativer Aufwand für die Passagierabfertigung muss nicht berücksichtigt werden, da sich die Anzahl der potentiellen Passagiere allein durch diese Maßnahme nicht erhöht. Dies bedeutet zwar, dass kein weiterer umsatzbezogener Jahresgewinn durch diese Alternative erwirtschaftet wird, wohl aber die Aufwendungen für den Betrieb von Flugzeugen verringert werden können, da die Fluggesellschaft Flugzeuge einsparen kann. Der hierbei entstehende Gewinn kann durchaus die Basis für einen Folienzielpreis bilden. Bei dieser Alternative müsste allerdings das Kabinenlayout eines Flugzeuges der Kapazitätenerhöhung angepasst werden. Die Anpassung des Kabinenlayouts könnte zu Komplikationen hinsichtlich der Sicherheitsbestimmungen der Zulassungsbehörden führen, wenn zum Beispiel Sicherheitsabstände zwischen den Sitzreihen durch eine Kapazitätenerhöhung nicht mehr gegeben wären. Diese Alternative birgt zwar ein hohes Maß an finanziellem

Potential, könnte sich aber aufgrund der genannten technischen Gründe schwierig umsetzen lassen.

9.1.3.4 DIE ERHÖHUNG DES FRACHTVOLUMENS

Die vierte Möglichkeit, die Basis für den Folienzielpreis zu bilden, ist die zusätzliche Mitnahme von Fracht. Analog zu den anderen Möglichkeiten wird auch hier die Berechnung anhand des Airbus A380-800 durchgeführt. Eine Fluggesellschaft kann somit 720 kg zusätzliche Fracht an Bord nehmen. Wird dabei ein durchschnittlicher Kilogrammpreis für Standardfracht auf Langstreckenflügen von 3,44 US-Dollar zugrunde gelegt [LUFTHANSA – 4], so ergibt sich für die Fluggesellschaft ein zusätzlicher Umsatz von 2479,68 US-Dollar pro Langstreckenflug. Die Preislisten für Standardfracht der Deutschen Lufthansa und deren Auswertung sind im Anhang B zu finden. Analog zu der Erhöhung der Passagierkapazitäten fallen bei dieser Variante keine zusätzlichen hohen Aufwendungen für den Betrieb eines Flugzeuges an. Es muss lediglich eine Gewinnmarge für die Fluggesellschaft und Kosten für einen zusätzlichen logistischen Aufwand für die Verladung der Fracht am Flughafen abgezogen werden. Der logistische Aufwand ergibt sich daraus, dass ca. 720 kg zusätzliche Fracht in die Flugzeuge verladen werden muss. Da keine Daten für die Höhe der logistischen Aufwendungen vorliegen, muss der relative Wert geschätzt werden. Um eine Gewinnmarge abzuleiten, werden die Geschäftsberichte der Lufthansa Cargo zugrunde gelegt. Die erwünschte Gewinnmarge wird auf 15 % und die Kosten, die einer Fluggesellschaft bei der logistischen Abwicklung entstehen, werden auf 50 % geschätzt. Daraus ergibt sich ein verbleibender Ertrag von 867,88 US-Dollar pro Langstreckenflug. Dieser Ertrag dient normalerweise der Betriebskostendeckung für den Einsatz der zum Transport benötigten Flugzeuge. Da in diesem Fall der Einsatz von Flugzeugen reduziert wird, kann der Ertrag zur Finanzierung der Folien verwendet werden. Bei Umlegung des Ertrages auf die 3600 benötigten Folien entsteht ein Folienpreis von 0,24 US-Dollar pro Folie.

Diese Art der wirtschaftlichen Ausnutzung der Gewichtersparnis ist effektiv und einfach in ihrer Umsetzung. Die Fluggesellschaft kann bei dieser Möglichkeit zum einen die Folien ohne einen Mehraufwand finanzieren und zum anderen einen weiteren Gewinn (15 %) generieren. Darüber hinaus lässt sich hierbei ein real umsetzbarer Folienzielpreis ableiten. Die Gewinnmargen- und Kostenschätzungen wurden ausschließlich auf Basis von Lufthansa-Daten gebildet. Das bedeutet, dass dieses Szenario je nach Fluggesellschaft variieren kann. Aus diesem Grund sind die Einschätzungen für die Kosten und die Gewinnmarge hoch angesetzt worden, um einen real finanzierbaren Folienpreis für die Fluggesellschaften zu gewährleisten.

Weiterhin werden zur Festlegung des Folienzielpreises nicht die vollen 0,24 US-Dollar pro Folie herangezogen. Grund dafür sind zum Einen die bereits erwähnten Schwankungen der Kennzahlen zwischen den verschiedenen Fluggesellschaften, und zum Anderen muss davon ausgegangen werden, dass der Folienpreis den Absatz der wasserlosen Toilette erheblich beeinflussen wird. Darüber hinaus ist es nach Aussagen der Firma Natura möglich, nach dem derzeitigen Entwicklungsstand die Folien für circa

0,10 US-Dollar zu produzieren. Der Folienzielpreis wird deshalb auf 0,15 US-Dollar pro Folie festgelegt.

9.1.4 ERMITTLUNG DER ZIELKOSTEN FÜR DIE TOILETTENEINHEIT

Nachdem die Zielpreise für die wasserlose Toilette und für die Folien festgelegt wurden, müssen die Zielkosten durch Abzug einer Gewinnmarge der produzierenden Unternehmen ermittelt werden. Die Gewinnmargen werden dabei aus den vorliegenden Geschäftsberichten der jeweils produzierenden Gewerbe abgeleitet. Der umsatzbezogene Gewinn infrage kommender Firmen lag in den Jahren 2001 und 2002 durchschnittlich bei 5 %. Diese Gewinnmarge soll auch bei dem Folienantriebssystem zugrunde gelegt werden, da die Höhe der Gewinnmarge in der Maschinenbaubranche eine anzustrebende Größe darstellt. Ebenso verhält es sich mit den Gewinnen der Toilettenhersteller, so dass für das gesamte System (1 System entspricht 1 Toiletteneinheit mit 1 Folienantriebsmodul) eine Gewinnmarge von 5 % anzustreben ist. Bei Zugrundelegung des realistischen Absatzszenarios ergibt sich der folgende umsatzbezogene jährliche Gesamtgewinn:

$$23.100 \text{ US \$ Zielpreis} * 5\% \text{ Gewinnmarge} = 1.155 \text{ US \$ Gewinn/Stück}$$

$$1.719 \text{ Stück} * 1.155 \text{ US \$ Gewinn} = 1.985.445 \text{ US \$ jährlicher Gesamtgewinn}$$

Die Zielkosten auf Stückbasis lassen sich demnach wie folgt berechnen:

$$23.100 \text{ US \$ Zielpreis} - 1.155 \text{ US \$ Gewinn} = 21.945 \text{ US \$ erlaubte Herstellkosten}$$

Bevor die erlaubten Herstellkosten auf Komponenten und Funktionen aufgespalten werden können, muss noch ein marktgerechter Anteil für Gemeinkosten von den Zielkosten abgezogen werden. Die Gemeinkosten enthalten in diesem Falle Kosten für den Vertrieb und für produktbegleitende Dienstleistungen. Werbekosten können hier vernachlässigt werden, da für dieses Produkt kein ausschlaggebender Werbeaufwand vorgesehen ist.

Die Gemeinkosten für den Vertrieb und die produktbegleitenden Dienstleistungen müssen aufgrund fehlender Daten geschätzt werden. Sie werden mit 3 % vom Umsatz veranschlagt. Daraus ergeben sich die aufzuspaltenden Zielkosten:

$$23.100 \text{ US \$ Zielpreis} * 3\% \text{ Gemeinkostenanteil} = 693 \text{ US \$ Gemeinkosten}$$

$$21.945 \text{ US \$} - 693 \text{ US \$ Gemeinkosten} = 21.252 \text{ US \$ verbleibende Zielkosten}$$

9.1.5 ERMITTLUNG DER ZIELKOSTEN FÜR DIE FOLIEN

Analog zur Ermittlung der Zielkosten für die Toiletteneinheit muss für die Berechnung der Zielkosten für die Folien eine Gewinnmarge von dem Zielpreis abgezogen werden. Hier wird eine branchenübliche Gewinnmarge von 10 % (IKB Deutsche

Industriekreditbank) zugrunde gelegt. Der umsatzbezogene jährliche Gewinn ist nicht konstant, sondern steigert sich mit fortlaufender Zeit. Wie in Kapitel 9.1.1.5 ausführlich erläutert, nimmt der Absatz der Folien zumindest in den ersten 13 Jahren um die jährlich neu einzurüstenden Toiletten und deren Folienverbrauch zu. So lässt sich der umsatzbezogene Jahresgewinn für den realistischen Fall zum Beispiel für das 13. Jahr folgendermaßen berechnen:

$$0,15 \text{ US \$ Zielpreis} * 10 \% \text{ Gewinnmarge} = 0,015 \text{ US \$ Gewinn pro Folie}$$

$$0,015 \text{ US \$ Gewinn} * 3.159.000.000 \text{ Stück} = 47.385.000 \text{ US \$ Jahresgewinn im 13.Jahr}$$

Daraus ergeben sich die stückbezogenen Zielkosten für die Folien:

$$0,15 \text{ US \$ Zielpreis} - 0,015 \text{ US \$ Gewinn} = 0,135 \text{ US \$ erlaubte Herstellkosten}$$

Des Weiteren müssen auch bei den Folien die Zielkosten um den Gemeinkostenanteil für Werbung und Vertrieb bereinigt werden. Gemeinkosten fallen bei den Folien nur für den Vertrieb an. Mit Werbungskosten ist vor allem in den ersten Jahren aufgrund von geringer Konkurrenz nicht zu rechnen. Auch Kosten für produktbegleitende Dienstleistungen fallen für dieses Produkt voraussichtlich nicht an. Aus diesen Gründen ist der relative Gemeinkostenanteil mit 2 % vom Umsatz beziffert worden. Folglich können die verbleibenden Zielkosten ermittelt werden:

$$0,15 \text{ US \$ Zielpreis} * 2 \% \text{ Gemeinkostenanteil} = 0,003 \text{ US \$ Gemeinkosten}$$

$$0,135 \text{ US \$} - 0,003 \text{ US \$ Gemeinkosten} = 0,132 \text{ US \$ verbleibende Zielkosten}$$

9.1.6 DIE ZIELKOSTENAUFSPALTUNG

Die Zielkosten der Folien finden im weiteren Verlauf keine Betrachtung mehr, da sich die Folien hinsichtlich ihrer Funktionen oder Komponenten nicht weiter aufspalten lassen. So werden nur die Zielkosten der Toiletteneinheit zunächst auf Komponentenebene aufgespaltet. Dabei muss entschieden werden, ob die Zielkostenaufspaltung mit der Funktions- oder Komponentenmethode umgesetzt werden soll. Für die Funktionsmethode spricht, dass es sich hier um ein innovatives Produkt handelt und dass durch diese Methode die Zielkostenverteilung auf Komponentenebene sehr stark an den Kundenbedürfnissen ausgerichtet ist. Die Voraussetzung für diese Methode ist allerdings eine ausführliche Ermittlung der Kundenpräferenzen. Die Wünsche des Kunden wurden durch den Fragebogen bei der Marktanalyse zwar ermittelt, aber aus den bereits erwähnten Gründen nicht direkt bei den Kunden abgefragt. Die Komponentenmethode erscheint jedoch auch nicht als die richtige, da diese Methode lediglich für geringfügige Produktmodifikationen geeignet ist. Daher ist es sinnvoll, die Gesamtzielkosten sowohl nach kundenrelevanten Funktionen als auch nach bekannten Kostenstrukturen von Vorläuferprodukten aufzuspalten. Hierbei werden zwei unterschiedliche Kostenstrukturen ermittelt, die hinterher durch erarbeitete Kostensenkungspotentiale modifiziert werden. Durch diese Vorgehensweise der

Zielkostenspaltung sollen sowohl die Kundenwünsche berücksichtigt als auch die Realisierbarkeit gewährleistet werden.

Für die Zielkostenspaltung muss das Produkt zunächst in seine Komponenten zerlegt werden, um eine Kostenverteilung auf dieser Ebene vornehmen zu können. Dabei werden die Konstruktionszeichnungen von herkömmlichen Toilettensystemen verwendet, da bis zu diesem Zeitpunkt keine Konstruktionszeichnungen des innovativen Systems erstellt wurden und das herkömmliche System in seinen Grundzügen bestehen bleibt. Die Toiletteneinheit herkömmlicher Systeme lässt sich dabei in vier Komponenten aufteilen:

- Die Wasserversorgungskomponente, die den Sprühhing und die Wasserventile beinhaltet (K1)
- Das Spülsteuergerät (Flush Control Unit) (K2)
- Das Absaugventil (K3)
- Die Toilettenschüssel (K4)

Bei dem innovativen Toilettensystem bleibt die Toilettenschüssel in ihrer Konstruktion bestehen. An dem Spülsteuergerät und an dem Absaugventil werden leichte Modifizierungen vorgenommen. Die Wasserversorgungskomponente entfällt und wird durch das Folienantriebssystem und einen Folienspender ersetzt. Für die Verteilung der Zielkosten bedeutet dies, dass die Kosten für die Herstellung des Folienantriebssystems und des Folienspenders nicht die Herstellkosten der Wasserversorgungskomponente bei herkömmlichen Systemen überschreiten dürfen. Die Kosten der drei anderen Komponenten sollen ebenfalls nicht die Komponentenkosten herkömmlicher Systeme überschreiten.

Für die Zielkostenspaltung anhand der Funktionsmethode werden im ersten Schritt die durch den Fragebogen ermittelten Bedeutungsgewichte der Funktionen entsprechend der Kundenwünsche in die Funktionskostenmatrix übertragen. Im nächsten Schritt müssen die Beiträge der einzelnen Komponenten zur Funktionserfüllung ermittelt und eingetragen werden. Die Beiträge der Komponenten zur Funktionserfüllung werden in enger Zusammenarbeit mit einem möglichen Zulieferer geschätzt.

Um den relativen Zielkostenanteil der einzelnen Komponenten zu ermitteln, werden die Funktionsgewichte mit dem Beitrag der Komponente zur Funktionserfüllung multipliziert. Die folgende Tabelle (siehe Tab. 9-4) zeigt die Ermittlung der relativen Zielkostenanteile der Komponenten unter Zuhilfenahme der Funktionskostenmatrix.

Funktionen	Funktionsbeschreibung	100,00%	K1	K2	K3	K4					
			Folienantriebskomponente	Spülsteuergerät	Absaugventil	Toilettenschüssel	Summe				
											%
harte Funktionen		41,94%									
h1	Lebensdauer	* 3,24%	*** 1,94%	** 60,00%	0,16%	5,00%	0,32%	10,00%	0,81%	25,00%	3,24%
h2	Lautstärke	12,90%	10,32%	80,00%	0,00%	0,00%	2,58%	20,00%	0,00%	0,00%	12,90%
h3	Gewicht	12,90%	10,32%	80,00%	2,58%	20,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	12,90%
h4	Wartungsfreundlichkeit	12,90%	5,81%	45,00%	0,65%	5,00%	3,23%	25,00%	3,23%	25,00%	12,90%
weiche Funktionen		58,06%									
si Funktionsgruppe I: Design (Optik)		6,45%									
si1	Gestalterische Wirkung	6,45%	6,45%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	6,45%
sII Funktionsgruppe II: Gebrauchskomfort (Haptik)		38,71%									
sII1	Reinigungskosten	9,68%	4,84%	50,00%	2,42%	25,00%	0,00%	0,00%	2,42%	25,00%	9,68%
sII2	Hygiene	16,13%	9,68%	60,00%	4,84%	30,00%	0,00%	0,00%	1,61%	10,00%	16,13%
sII3	Komfort	12,90%	9,03%	70,00%	3,87%	30,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	12,90%
sIII Funktionsgruppe III: Umweltverträglichkeit (Recycling/Entsorgung)		12,90%									
sIII1	Wasserverbrauch	12,90%	7,74%	60,00%	3,23%	25,00%	0,00%	0,00%	1,94%	15,00%	12,90%
Anteil an Zielkosten			66,13%		17,74%		6,13%		10,00%		100,0%

* Funktionsgewicht

** Beitrag der Komponente zur Funktionserfüllung

*** Beiträge gewichtet mit Funktionserfüllung

Tab. 9-4: Funktionskostenmatrix für die Folientoilette

Daraus ergibt sich, dass 66,13 % der Zielkosten auf die Folienantriebskomponente, 17,74 % auf das Spülsteuergerät, 6,13 % auf das Absaugventil und 10,00 % auf die Toilettenschüssel entfallen. Durch die Umrechnung der relativen Zielkostenanteile in absolute Zielkostenanteile bei Zugrundelegung der Gesamtzielkosten in Höhe von 21.252 US-Dollar ergibt sich:

$$21.252 \text{ US \$} * 66,13\% = 14.053,95 \text{ US \$ Zielkosten Folienantriebskomponente}$$

$$21.252 \text{ US \$} * 17,74\% = 3.770,10 \text{ US \$ Zielkosten Spülsteuergerät}$$

$$21.252 \text{ US \$} * 6,13\% = 1.302,75 \text{ US \$ Zielkosten Absaugventil}$$

$$21.252 \text{ US \$} * 10,00\% = 2.125,20 \text{ US \$ Zielkosten Toilettenschüssel}$$

Werden die auf diese Weise ermittelten Zielkosten mit der Kostenstruktur herkömmlicher Toilettensysteme verglichen, so stellt sich heraus, dass eine realistische Umsetzung dieser Kostenstruktur nicht möglich ist. Die Kostenstruktur herkömmlicher Systeme wird anhand von Preisen für Einzelteile der Flugzeugtoilettenhersteller Rogerson Aircraft und Envirovac Inc. ermittelt. Die Preislisten der beiden Firmen mit den ermittelten relativen Anteilen sind im Anhang B dieser Arbeit zu finden. Die Struktur der Preise spiegelt dabei die Kostenstruktur der herkömmlichen Toilettensysteme wider, die sich wie folgt darstellt:

- Auf die Wasserversorgungskomponente, die von der Folienantriebskomponente (K1) ersetzt werden soll, entfallen 23 % der Kosten.
- Auf das Spülsteuergerät (K2) entfallen 14 % der Kosten.
- Das Absaugventil (K3) verursacht Kosten in Höhe von 51 %.
- Bei der Toilettenschüssel (K4) entsteht ein Kostenanteil von 12 %.

Bei der grafischen Gegenüberstellung der verschiedenen Kostenstrukturen (siehe Abb. 9-4) werden die Konflikte zwischen der rein marktorientierten Kostenausrichtung und der Kostenverteilung bei herkömmlichen Systemen deutlich.

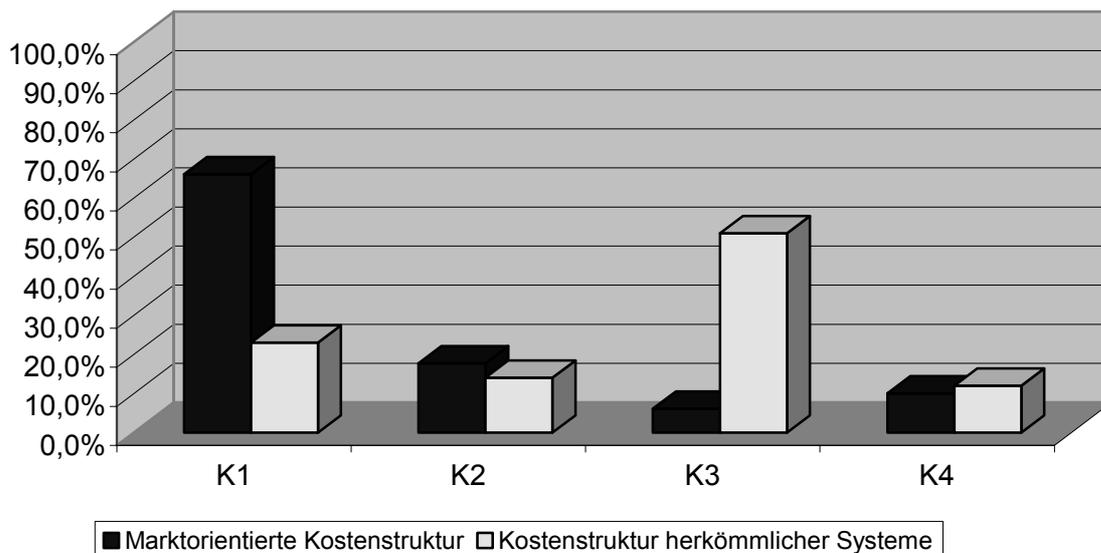


Abb. 9-4: Vergleich der Kostenstrukturen

Die Zielkosten der Folienantriebskomponente und des Absaugventils müssen demnach durch Kostensenkungspotentiale stark modifiziert werden, während die Zielkosten der beiden anderen Komponenten unter Betrachtung der verschiedenen Kostenstrukturen Ähnlichkeiten aufweisen. Hier sind allenfalls leichte Modifizierungen an den Zielkosten vorzunehmen.

Mögliche Kostensenkungspotentiale für die Folienantriebskomponente und das Absaugventil bestehen in den unterschiedlichen Preisen für herkömmliche Toilettensysteme der verschiedenen Hersteller. Wie bereits erwähnt, liegen die Preise für herkömmliche Systeme zwischen 15.750 US-Dollar und 23.100 US-Dollar je nach Hersteller. Bei der Ermittlung des Zielpreises für die Toiletteneinheit wurde der Preis herkömmlicher Systeme zugrunde gelegt. Die Fertigung der Toiletteneinheit soll bei zwei verschiedenen Herstellern stattfinden:

- Die Folienantriebskomponente wird von der Firma Timmer gefertigt.
- Die Herstellung der anderen Komponenten wird von erfahrenen Flugzeugtoilettenherstellern übernommen.

Da das Absaugventil und die Toilettenschüssel in ihrer Konstruktion allenfalls leichten Modifizierungen unterzogen werden, besteht die Möglichkeit, die absoluten Zielkosten

dieser Komponenten an den Kosten günstigerer Hersteller auszurichten, zumal diese Komponenten bei Flugzeugtoilettenherstellern gefertigt werden sollen, die auch hinsichtlich ihrer Preispolitik ausgewählt werden können. Dies betrifft auch das Spülsteuergerät, das zwar verändert wird, aber ebenfalls bei dem Flugzeugtoilettenhersteller gefertigt werden soll; hier muss lediglich ein Mehraufwand eingeplant werden. Konkret heißt dies, dass bei der Auswahl der Toilettenhersteller nur solche in Frage kämen, die ihre herkömmlichen Systeme durchschnittlich für 15.750 US-Dollar anbieten. Daraus ergibt sich ein Kostensenkungspotential, welches auf die Folienantriebskomponente und das Absaugventil verteilt werden kann.

Hinsichtlich des Spülsteuergerätes und der Toilettenschüssel differieren die unterschiedlichen Kostenstrukturen nicht besonders ausschlaggebend. Daher wird für diese Komponenten ein Kompromiss eingegangen, wonach der Zielkostenanteil für das Spülsteuergerät 16 % und für die Toilettenschüssel 11 % beträgt. Unter Berücksichtigung der Kostenstruktur herkömmlicher Systeme beträgt der relative Zielkostenanteil des Absaugventils 51 %, während der Anteil unter Berücksichtigung der marktorientierten Kostenstruktur nur 6,13 % betragen dürfte. Da sich ein Kostenanteil in Höhe von 50 % für das Absaugventil in der Realität allerdings nicht vermeiden lässt, muss die Marktausrichtung für die Kosten dieser Komponente vernachlässigt werden. Die absoluten Zielkostenanteile für das Spülsteuergerät, das Absaugventil und die Toilettenschüssel errechnen sich dabei allerdings auf Basis niedrigerer Zielkosten durch die Produktion bei günstigeren Herstellern. Die Zielkosten der Folienantriebskomponente ergeben sich dann aus der Differenz, die sich aus der Summe der Zielkosten für das Spülsteuergerät, das Absaugventil und die Toilettenschüssel und den Gesamtzielkosten errechnen lässt.

Der Zielpreis für die Toiletteneinheit eines günstigen Toilettenherstellers beträgt 15.750 US-Dollar. Durch Abzug der Gewinnmarge (5 %) und der Gemeinkosten (3 %) ergeben sich die Gesamtzielkosten in Höhe von 14.490 US-Dollar.

Daraus errechnen sich die Zielkosten für das Spülsteuergerät, das Absaugventil und die Toilettenschüssel:

$$14.490 \text{ US \$} * 16 \% = 2.318,40 \text{ US \$} \text{ Zielkostenanteil Spülsteuergerät}$$

$$14.490 \text{ US \$} * 50 \% = 7.245,00 \text{ US \$} \text{ Zielkostenanteil Absaugventil}$$

$$14.490 \text{ US \$} * 11 \% = 1.593,90 \text{ US \$} \text{ Zielkostenanteil Toilettenschüssel}$$

Die Zielkosten für die Folienantriebskomponente lassen sich somit wie folgt berechnen:

$$2.318,40 \text{ US \$} + 7.245,00 \text{ US \$} + 1.593,90 \text{ US \$} = 11.157,30 \text{ US \$} \text{ Zielkosten für das Spülsteuergerät, das Absaugventil und die Toilettenschüssel}$$

$$21.252 \text{ US \$} \text{ Gesamtzielkosten} - 11.157,30 \text{ US \$} = 10.094,70 \text{ US \$} \text{ Zielkosten für die Folienantriebskomponente}$$

Der relative Zielkostenanteil der Folienantriebskomponente beträgt nunmehr 47,5 %. Durch diese Vorgehensweise ist zum Einen die realistische Umsetzung der Zielkosten gewährleistet und zum Anderen die Marktorientierung für die Folienantriebskomponente, die primär zur Funktionserfüllung des innovativen Systems und damit zur Erfüllung der Kundenwünsche beiträgt, gegeben. Die relativen Zielkostenanteile der anderen drei Komponenten betragen hierbei 10,9 % für das Spülsteuergerät, 34,1 % für das Absaugventil und 7,5 % für die Toilettenschüssel.

9.1.6.1 DIE ZIELKOSTENKONTROLLE

Nachdem die Zielkosten auf Komponentenebene feststehen, müssen im weiteren Verlauf Kostenschätzungen auf Teilebene vorgenommen werden, um so die Komponentenkosten abschätzen zu können. Dabei müssen die Komponenten auf ihre enthaltenen Baugruppen untersucht werden.

Eine Untersuchung der in den Baugruppen enthaltenen Einzelteile entfällt, da für Komponente eins zu diesem Zeitpunkt keine Kostenschätzung für die Einzelteile, wohl aber für die in der Komponente enthaltenen Baugruppen gemacht werden kann.

Für das Spülsteuergerät, das Absaugventil und die Toilettenschüssel kann man sich an herkömmlichen Systemen orientieren. Für die Folienantriebskomponente hingegen können herkömmliche Systeme nicht als Grundlage dienen, da in dieser Komponente beinahe die gesamte technische Innovation des Produktes liegt. So dient bei der Folienantriebskomponente der derzeitige Entwicklungsstand als Ausgangspunkt. Daraus lassen sich für die Komponenten folgende Baugruppen ableiten:

- Für die Folienantriebskomponente gibt es wie in Kapitel 8.3 beschrieben zwei Konstruktionsvorschläge (Variante A und Variante B). Variante A setzt sich nach dem derzeitigen Entwicklungsstand aus acht Baugruppen zusammen, während Variante B aus elf Baugruppen besteht. Da diese Komponente gänzlich neu entwickelt wird, können für beide Varianten nur Kostenschätzungen unter Vorbehalt vorgenommen werden.
- Das Spülsteuergerät ist für die elektronische Steuerung des Absaugventils und im Fall des innovativen Systems zusätzlich für die Steuerung des Folienantriebes und des Toilettendeckels zuständig. Das Spülsteuergerät besteht aus einer Baugruppe.
- Das Absaugventil besteht aus einem Zugventil, einem Rohrbogen, einem Rohrventil, einem Ausgangsrohrbogen und einem Auslassrohrbogen.
- Die Toilettenschüssel kann nicht weiter in Einzelteile zerlegt werden.

Danach werden die geschätzten Komponentenkosten mit den Zielkosten verglichen und die Abweichungen mit Hilfe des Zielkostenindex in dem Zielkostenkontrolldiagramm dargestellt. Für die Kostenschätzungen auf Baugruppenebene werden für das Spülsteuergerät, das Absaugventil und die Toilettenschüssel die Preislisten der Firma

Envirovac Inc. zugrunde gelegt, da diese Komponenten bei einem Hersteller mit günstigeren Kostenstrukturen gefertigt werden sollen. Die Firma Envirovac Inc. ist ein Flugzeugtoilettenhersteller, der seine Produkte zu günstigeren Preisen anbietet als Konkurrenzunternehmen und somit die entsprechenden Kostenstrukturen bietet. Für die Folienantriebskomponente gestaltet sich die Abschätzung der Kosten sehr schwierig, da in dieser Komponente beinahe die gesamte technische Innovation des Produktes liegt. Erschwerend kommt hinzu, dass in der Folienantriebskomponente keine herkömmlichen Teile verbaut werden, die Grundlage für eine Kostenschätzung sein können. Für diese Komponente werden die Kostenschätzungen auf Baugruppenebene für Variante A und Variante B anhand der Preisliste von der Firma Timmer vorgenommen. In der folgenden Tabelle (siehe Tab. 9-5) werden die Komponenten-Zielkosten mit den Komponenten-Ist-Kosten auf Basis der geschätzten Baugruppenkosten der Variante A verglichen. Die Baugruppenkosten für die Folienantriebskomponente werden dabei auf Basis des realistischen Absatzszenarios für die Toiletteneinheit geschätzt. Weiterhin wird bei Variante A für die Folienantriebskomponente eine Investitionskostenschätzung von 320.250 US-Dollar (Abschätzung Firma Timmer) für die Anschaffung von Maschinen mit einbezogen, die sich innerhalb von zwei Jahren amortisieren soll und so zu den anteiligen Maschinenkosten in Höhe von 93,45 US-Dollar führt.

Komponente eins (Folienantriebskomponente) Variante A			
Baugruppen Nr.	Baugruppe	Komponenten-Zielkosten in US \$	Kostenanteil nach Fa. Timmer in US \$
1.1	Deckel (Abdeckung)		42,00
1.2	Brille (mit Saugschlitz)		21,00
1.3	Klemmrahmen (komplett) incl. Vormontage		21,00
1.4	Antrieb Klemmrahmen		210,00
1.5	Antrieb-Folien-Greifer-Transport, Greifer		1680,00
1.6	Antrieb (Deckel)		157,50
1.7	Antrieb (Folientrennung)		735,00
1.8	Folienmagazin		210,00
	Gesamtmontage		68,25
	Anteilige Maschinenkosten		93,45
	Summe	10094,7	3238,20
Komponente zwei (Spülsteuergerät)			
Baugruppen Nr.	Baugruppe	Komponenten-Zielkosten in US \$	Kostenanteil nach Envirovac in US \$
2.1.	Spülsteuergerät		1706,6
	Summe	2318,40	1706,60
Komponente drei (Absaugventil)			
Baugruppen Nr.	Baugruppe	Komponenten-Zielkosten in US \$	Kostenanteil nach Envirovac in US \$
3.1.	Zugventil		5218,24
3.2.	Rohrbogen		278,76
3.4.	Rohrventil		26,68
3.5.	Ausgangsrohrbogen		588,8
3.6.	Auslassrohrbogen		676,2
	Summe	7245,00	6788,68
Komponente vier (Toilettenschüssel)			
Baugruppen Nr.	Baugruppe	Komponenten-Zielkosten in US \$	Kostenanteil nach Envirovac in US \$
4.1.	Toilettenschüssel		1733,28
	Summe	1593,90	1733,28

Tab. 9-5: Absolute Kostenanteile Variante A

Anhand der obigen Kostenvergleiche kann nun eine Zielkostenkontrolle auf Komponentenbasis erfolgen. Die Kostenkontrolle wird mit dem Zielkostenkontrolldiagramm visualisiert. Die Toleranzbreite (q) wird dabei mit 20 % beziffert. Die Höhe der Toleranzbreite wird mit der hohen Innovation und dem daraus resultierenden Risiko, dass Abweichungen auftreten können, begründet. Die berechneten Zielkostenindizes der Variante A befinden sich in Anhang C.

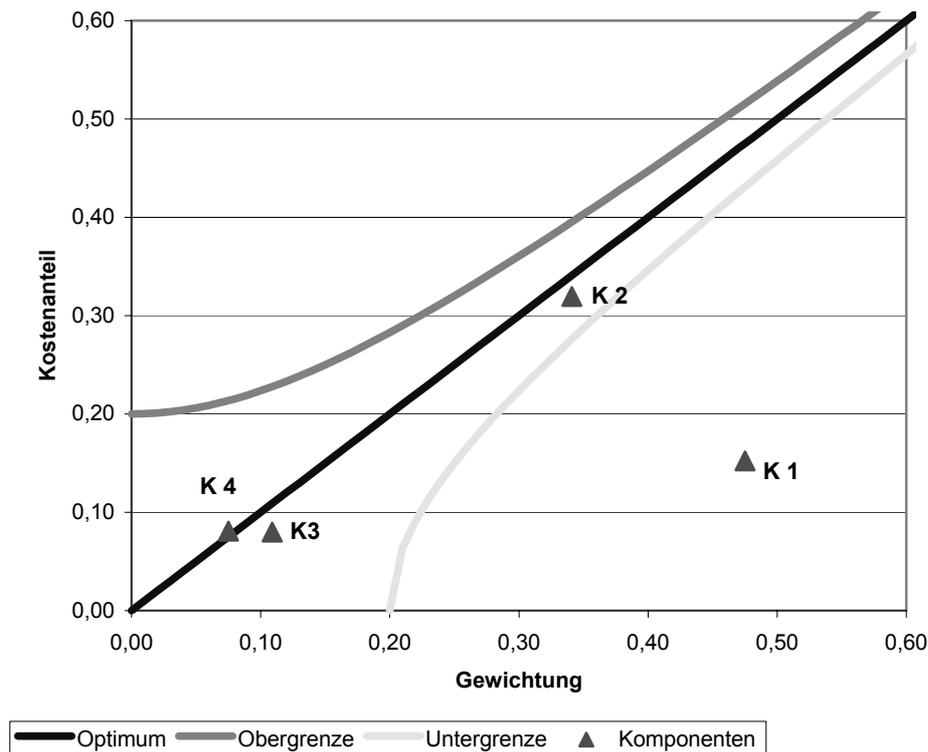


Abb. 9-5: Zielkostenkontrolldiagramm Variante A

Aus dem Zielkostenkontrolldiagramm (siehe Abb. 9-5) kann abgeleitet werden, dass die Folienantriebskomponente (K1) hinsichtlich ihrer Ist-Kosten im Vergleich zu den Zielkosten „zu billig“ ist. Sie liegt weit außerhalb der Toleranzzone. Soll die Marktausrichtung bei den Herstellkosten noch weiter berücksichtigt werden, so muss der Wert dieser Komponente deutlich erhöht werden. Allerdings muss hier berücksichtigt werden, dass Entwicklungs-, Zulassungs- und Patentkosten nicht in den geschätzten Komponentenkosten enthalten sind und sich folglich die Herstellkosten im Entwicklungsverlauf erhöhen werden. Das Spülsteuergerät (K2) und das Absaugventil (K3) liegen ein wenig unterhalb des Optimums, aber innerhalb der Toleranzzone. Diese Komponenten müssen somit nicht zwingend modifiziert werden. Eine Werterhöhung mit Hilfe von Wertanalysen könnte dennoch erfolgen. Die Toilettenschüssel (K4) hingegen erreicht fast das Optimum und muss somit hinsichtlich der Kosten nicht verändert werden.

Bei der Zielkostenkontrolle für Variante B (siehe Tab. 9-6) wird analog zu Variante A vorgegangen. In Tabelle 7.6 werden die Komponenten-Zielkosten den Komponenten-Ist-Kosten auf Basis der geschätzten Baugruppenkosten der Variante B gegenübergestellt. Die anteiligen Maschinenkosten in Höhe von 52,50 US-Dollar pro Einheit ergeben sich aus den geschätzten Investitionskosten von 178.500 US-Dollar für die Folienantriebskomponente bei Variante B, die sich bei Zugrundelegung des realistischen Absatzszenarios nach zwei Jahren amortisiert haben sollen.

Komponente eins (Folienantriebskomponente) Variante B			
Baugruppen Nr.	Baugruppen	Komponenten-Zielkosten in US \$	Kostenanteil nach Fa. Timber in US \$
1.1	Deckel (Abdeckung)		15,75
1.2	Brille-Oberteil		12,60
1.3	Brille-Unterteil		10,50
1.4	Vakuummithnehmer		3,15
1.5	Antrieb-Vakuummithnehmer		231,00
1.6	Antrieb (Deckel)		157,50
1.7	Antrieb (Folientrennung)		115,50
1.8	Ventile		105,00
1.9	Kompressor		157,50
1.10	Mechanik Hubwerk-Deckel		84,00
1.11	Folienmagazin		210,00
	Gesamtmontage		68,25
	Anteilige Maschinenkosten		52,50
	Summe	10094,7	1223,25
Komponente zwei (Spülsteuergerät)			
Baugruppen Nr.	Baugruppe	Komponenten-Zielkosten in US \$	Kostenanteil nach Envirovac in US \$
2.1.	Spülsteuergerät		1706,6
	Summe	2318,40	1706,60
Komponente drei (Absaugventil)			
Baugruppen Nr.	Baugruppe	Komponenten-Zielkosten in US \$	Kostenanteil nach Envirovac in US \$
3.1.	Zugventil		5218,24
3.2.	Rohrbogen		278,76
3.4.	Rohrventil		26,68
3.5.	Ausgangsrohrbogen		588,8
3.6.	Auslassrohrbogen		676,2
	Summe	7245,00	6788,68
Komponente vier (Toilettenschüssel)			
Baugruppen Nr.	Baugruppe	Komponenten-Zielkosten in US \$	Kostenanteil nach Envirovac in US \$
4.1.	Toilettenschüssel		1733,28
	Summe	1593,90	1733,28

Tab. 9-6: Absolute Kostenanteile Variante B

Aus dem Kostenvergleich für Variante B können nun wieder die Zielkostenindizes, die sich ebenfalls im Anhang C befinden, ermittelt und im Zielkostenkontrolldiagramm dargestellt werden. Auch hier wird analog zu Variante A vorgegangen.

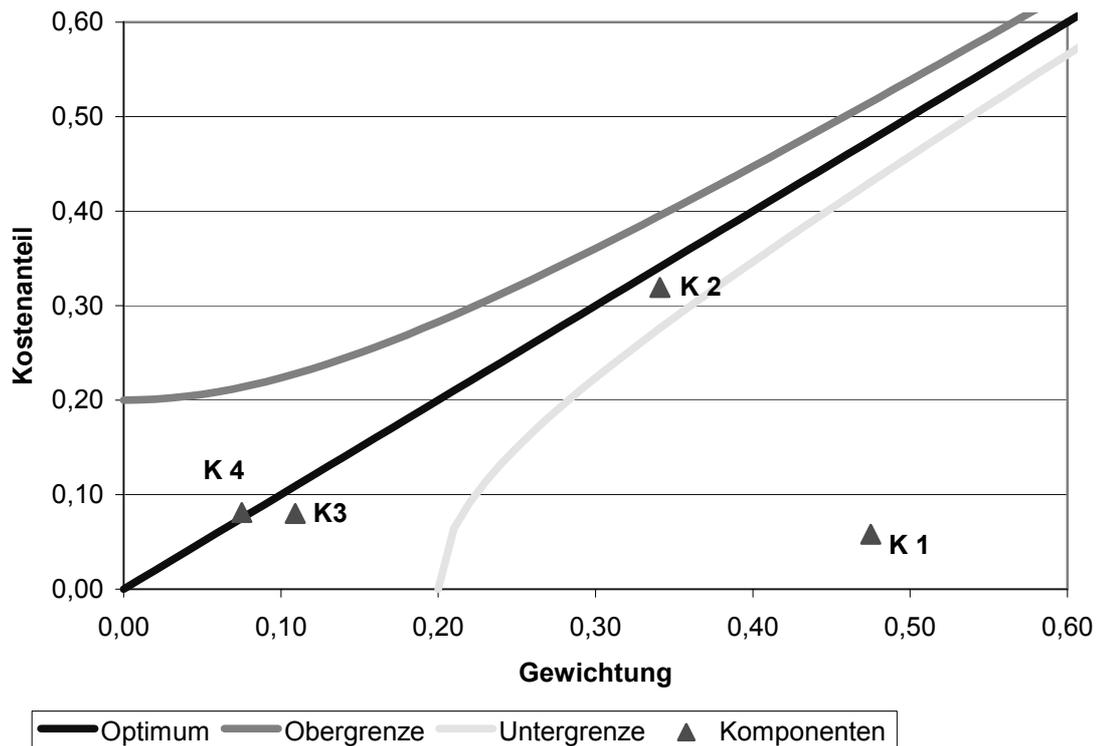


Abb. 9-6: Zielkostenkontrolldiagramm Variante B

Das Zielkostenkontrolldiagramm für Variante B (siehe Abb. 9-6) entspricht hinsichtlich des Spülsteuergerätes (K2), des Absaugventils (K3) und der Toilettenschüssel (K4) dem Diagramm für Variante A. Die Folienantriebskomponente (K1) liegt ebenfalls außerhalb der Toleranzzone, jedoch ist die Folienantriebskomponente bei dieser Variante noch weiter vom Optimum entfernt als bei Variante A. Das heißt, für diese Variante gilt stärker als bei Variante A, dass der Wert der Folienantriebskomponente deutlich erhöht werden muss, wenn die Marktausrichtung beibehalten werden soll.

Bei der Entscheidung für die Variante, die weiterentwickelt werden soll, spielen jedoch nicht nur die Kosten eine wesentliche Rolle. Auch die technische Umsetzbarkeit und die Komplexität des Systems müssen unter Zuhilfenahme von Wertanalysen untersucht werden und bilden eine Entscheidungsgrundlage für die Wahl der richtigen Variante. Werden nur die Kosten betrachtet, so könnten beide Varianten zum Einsatz kommen, wobei Variante A näher an den vom Markt geforderten Zielkosten liegt. Es ist allerdings auch möglich von dem Marktgedanken Abstand zu nehmen und die Absatzchancen zu erhöhen, indem die Kosten und damit auch der Verkaufspreis möglichst gering gehalten werden, anstatt den Wert der Komponente entsprechend der Kundenforderungen zu erhöhen. In diesem Fall müsste man sich bei der reinen Kostenbetrachtung für Variante B entscheiden.

Die in Kapitel 9.1.6 ermittelten Komponentenzielkosten sollen trotz der starken Abweichung der Folienantriebskomponente bei beiden Varianten beibehalten werden. Dies begründet sich zum Einen damit, dass die Zielkostenindizes des Spülsteuergerätes, des Absaugventils und der Toilettenschüssel nahe am Optimalwert liegen, und zum Anderen sind für die Folienantriebskomponente die Entwicklungs-,

Zulassungs- und Patentkosten bei der Kostenschätzung für die Baugruppen nicht berücksichtigt worden. Diese Aufwendungen werden die Herstellkosten der Folienantriebskomponente wesentlich ansteigen lassen. Die Höhe der Zulassungs- und Patentkosten konnte bisher nicht festgelegt werden, da diese von der Anzahl der durchzuführenden Zulassungstests abhängig sind. Die Anzahl der Tests hängt dabei von der Güte des Prototyps ab. Lediglich die Entwicklungskosten sind von der Firma Timmer bisher auf eine Höhe von 1.050.000 US-Dollar geschätzt worden.

9.1.6.2 ZIELKOSTENSPALTUNG AUF TEILEBENE

Nachdem die Zielkosten auf Komponentenebene feststehen, sollen im weiteren Verlauf die Zielkosten auf Teilebene gespalten werden. Wie in Kapitel 9.1.6.1 bereits erläutert, kann eine Kostenschätzung beziehungsweise Zielkostenspaltung auf Teilebene nicht stattfinden, jedoch kann diese auf Baugruppenebene erfolgen. Hierbei kommt der Marktorientierung keine besondere Bedeutung zu; die Gewichtung erfolgt vielmehr nach Wertanalyseaspekten. Dabei wird der relative Wert einer Baugruppe an der Komponente ermittelt. Für die Folienantriebskomponente wird die Kostenschätzung der Baugruppen für die Ableitung der relativen Wertanteile zugrunde gelegt, da diese Kostenschätzung bereits nach Wertanalyseaspekten erfolgt ist. Für das Spülsteuergerät, das Absaugventil und die Toilettenschüssel werden die relativen Wertanteile der einzelnen Baugruppen aus den Kostenstrukturen der Firma Envirovac Inc. abgeleitet. Daraus ergeben sich die in Tab. 9-7 dargestellten Werte.

Komponente eins (Folienantriebskomponente) Variante A			
Baugruppen Nr.	Baugruppe	relativer Zielkostenanteil	absoluter Zielkostenanteil in US \$
1.1	Deckel (Abdeckung)	0,42%	42,00
1.2	Brille (mit Saugschlitzen)	0,21%	21,00
1.3	Klemmrahmen (komplett) inkl. Vormontage	0,21%	21,00
1.4	Antrieb Klemmrahmen	2,08%	210,00
1.5	Antrieb-Folien-Greifer-Transport, Greifer	16,64%	1680,00
1.6	Antrieb (Deckel)	1,56%	157,50
1.7	Antrieb (Folientrennung)	7,28%	735,00
1.8	Folienmagazin	2,08%	210,00
	Gesamtmontage	0,68%	68,25
	Anteilige Maschinenkosten	0,93%	93,45
	Entwicklungs-, Zulassungs- und Patentkosten	67,92%	6856,32
	Summe	100,00%	10094,7
Komponente zwei (Spülsteuergerät)			
Baugruppen Nr.	Baugruppe	relativer Zielkostenanteil	absoluter Zielkostenanteil in US \$
2.1.	Spülsteuergerät	100,00%	2318,40
	Summe		2318,40
Komponente drei (Absaugventil)			
Baugruppen Nr.	Baugruppe	relativer Zielkostenanteil	absoluter Zielkostenanteil in US \$
3.1.	Zugventil	77,00%	5227,28
3.2.	Rohrbogen	4,00%	271,55
3.4.	Rohrventil	0,40%	27,15
3.5.	Ausgangsrohrbogen	8,70%	590,62
3.6.	Auslassrohrbogen	9,90%	672,08
	Summe	100,00%	6788,68
Komponente vier (Toilettenschüssel)			
Baugruppen Nr.	Baugruppe	relativer Zielkostenanteil	absoluter Zielkostenanteil in US \$
4.1.	Toilettenschüssel	100,00%	1593,90
	Summe		1593,90

Tab. 9-7: Relative Wertanteile Variante A

Bei Variante A sind die Kostentreiber der Folienantriebskomponente die Baugruppen 1.5 (Antrieb-Folien-Greifer-Transport) und 1.7 (Antrieb für die Folientrennung). Die Zulassungs- und Patentkosten können, wie bereits erwähnt, zu diesem Zeitpunkt nicht bestimmt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass diese Kosten einen erheblichen Einfluss auf die Herstellkosten haben werden. Dies begründet sich damit, dass die Zulassungs- und Patentkosten für Systeme, die in der Luftfahrt eingesetzt werden sollen, extrem hoch ausfallen, da für die Luftfahrt besondere Bestimmungen eingehalten werden müssen. Somit errechnet sich der relative Anteil für Zulassungs- und Patentkosten aus der Differenz zwischen der Summe der Baugruppen-, Maschinen- und Montagekosten und den Gesamtzielkosten der Komponente. Die geschätzten Entwicklungskosten sind in diesem Kostenblock ebenfalls enthalten. Dies bedeutet allerdings nicht, dass der Anteil für Entwicklungs-, Zulassungs- und Patentkosten voll ausgeschöpft werden sollte; es wird im weiteren Entwicklungsverlauf mit großer

Wahrscheinlichkeit zu Veränderungen der Komponente (Wertsteigerungen) kommen, so dass ein Teil dieser Differenz als Kostenpuffer dienen kann. Für das Absaugventil stellt die Baugruppe 3.1 (Zugventil) einen Kostentreiber dar. Die Entwicklungs-, Zulassungs- und Patentkosten sind für das Spülsteuergerät, das Absaugventil und die Toilettenschüssel nicht gesondert ausgewiesen, da diese Komponenten bereits zugelassen sind. Außerdem gehen die Entwicklungs-, Patent- und Zulassungskosten nicht aus der Kostenstruktur der Firma Envirovac Inc. hervor.

Für Variante B kann hinsichtlich der Entwicklungs-, Zulassungs- und Patentkosten die gleiche Aussage getroffen werden. Der Anteil für diese Kosten innerhalb der Folienantriebskomponente fällt allerdings bei Variante B noch höher aus als bei Variante A. Dies ergibt sich aus den geringeren Baugruppen-, Maschinen- und Montagekosten. Bei dieser Variante lassen sich für die Folienantriebskomponente keine separaten Kostentreiber identifizieren. Die relativen Wertanteile der in den anderen drei Komponenten enthaltenen Baugruppen sind identisch mit den Wertanteilen bei Variante A. Die relativen Wertanteile sind im Detail der folgenden Tabelle (siehe Tab. 9-8) zu entnehmen.

Komponente eins (Folienantriebskomponente) Variante B			
Baugruppen Nr.	Baugruppe	relativer Zielkostenanteil	absoluter Zielkostenanteil in US \$
1.1	Deckel (Abdeckung)	0,16%	15,75
1.2	Brille-Oberteil	0,12%	12,60
1.3	Brille-Unterteil	0,10%	10,50
1.4	Vakuummitnehmer	0,03%	3,15
1.5	Antrieb-Vakuummitnehmer	2,29%	231,00
1.6	Antrieb (Deckel)	1,56%	157,50
1.7	Antrieb (Folientrennung)	1,14%	115,50
1.8	Ventile	1,04%	105,00
1.9	Kompressor	1,56%	157,50
1.10	Mechanik Hubwerk-Deckel	0,83%	84,00
1.11	Folienmagazin	2,08%	210,00
	Gesamtmontage	0,68%	68,25
	Anteilige Maschinenkosten	0,52%	52,50
	Entwicklungs-, Zulassungs- und Patentkosten	87,88%	8871,22
	Summe	100,00%	10094,7
Komponente zwei (Spülsteuergerät)			
Baugruppen Nr.	Baugruppe	relativer Zielkostenanteil	absoluter Zielkostenanteil in US \$
2.1.	Spülsteuergerät	100,00%	2318,40
	Summe		2318,40
Komponente drei (Absaugventil)			
Baugruppen Nr.	Baugruppe	relativer Zielkostenanteil	absoluter Zielkostenanteil in US \$
3.1.	Zugventil	77,00%	5227,28
3.2.	Rohrbogen	4,00%	271,55
3.4.	Rohrventil	0,40%	27,15
3.5.	Ausgangsrohrbogen	8,70%	590,62
3.6.	Auslassrohrbogen	9,90%	672,08
	Summe	100,00%	6788,68
Komponente vier (Toilettenschüssel)			
Baugruppen Nr.	Baugruppe	relativer Zielkostenanteil	absoluter Zielkostenanteil in US \$
4.1.	Toilettenschüssel	100,00%	1593,90
	Summe		1593,90

Tab. 9-8: Relative Wertanteile Variante B

Da für beide Varianten die Baugruppenkosten bereits nach Wertanalyseaspekten geschätzt wurden, konnten diese Kosteneinschätzungen als Basis für die Ermittlung der relativen Wertanteile herangezogen werden. Somit ist die Kostenschätzung den Wertanteilen auf Baugruppenebene gleich, und es kann deshalb nicht zu Abweichungen zwischen den Ist- und den Sollkosten kommen. Im weiteren Projektverlauf gilt es nun, die errechneten Zielkostenvorgaben zu erreichen beziehungsweise einzuhalten.

9.2 ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel der vorangegangenen Kapitel war es, die Wirtschaftlichkeit des innovativen Toilettensystems für Hersteller und Nutzer zu analysieren. Hierfür kam das Target Costing als Instrument des Kostencontrollings zum Einsatz. Dabei stellte sich heraus, dass nicht alle Aspekte des Target Costing in der Praxis so zum Einsatz kommen können, wie es in der Literatur vorgesehen ist. Weiterhin wurde die Wirtschaftlichkeitsanalyse zu einem sehr frühen Zeitpunkt, nämlich in der Entwicklungsphase, durchgeführt. Es bildeten ausschließlich Daten des Airbus Marketing, der Firma Timmer, der Firma Natura und der Deutschen Lufthansa sowie Daten der Flugzeugtoilettenhersteller Rogerson Aircraft und Envirovac Inc. die Basis für die Wirtschaftlichkeitsanalyse. Dennoch konnte ein Ergebnis erzielt werden.

Das innovative System birgt auf der Nutzerseite ein relativ hohes wirtschaftliches Potential. Dieses Potential liegt in der Gewichtsreduzierung, die aus der Wassereinsparung resultiert. Durch die Erhöhung des Frachtvolumens kann eine Fluggesellschaft zum Einen die dauerhaft benötigten Folien finanzieren und zum Anderen einen weiteren Gewinn durch Betriebskosteneinsparungen für Flugzeuge erzielen. Weiterhin kommt es durch die Gewichtsreduzierung zu Treibstoffeinsparungen, die sich positiv auf die Umwelt auswirken. Eine Imagesteigerung, die sich aus der erheblichen Hygieneverbesserung und der Umweltfreundlichkeit ergeben kann, ist dabei noch nicht berücksichtigt worden. Die Installation des neuen Systems würde bei den Fluggesellschaften keinen Mehraufwand verursachen, denn das innovative System wird im Vergleich zu herkömmlichen Systemen für den Kunden nicht teurer sein.

Für die Hersteller ist bei Zugrundelegung des realistischen Absatzszenarios für die Toiletteneinheit eine branchenübliche Erlösfähigkeit gegeben. Der Absatz der Folien ist vollständig abhängig von dem Absatz des innovativen Toilettensystems. Für die Folien liegt jedoch ein außerordentlich hohes Absatzpotential vor, sofern sich das innovative Toilettensystem etabliert. Die Erlösfähigkeit der Folien hängt dabei von dem endgültigen Folienmaterial ab, welches zur Zeit erforscht wird. Kommt das derzeitig erforschte Maisstärkematerial zum Einsatz, so ist ein hohes Gewinnpotential bei den Folien zu erwarten. Ein zusätzliches Absatzpotential im Bereich der Kurzstreckenflugzeuge und in der Nachrüstung von vorhandenen Flugzeugen sowie der Einsatz des innovativen Systems in Bus und Bahn finden in den Absatzszenarien keine Berücksichtigung, so dass in diesen Märkten sowohl für das System als auch für die Folien ein weiteres Absatzpotential läge.

Die in Kapitel 8.3 ausgewählten Varianten A und B sind beide wirtschaftlich vertretbar. Jedoch fällt im weiteren Verlauf die Entscheidung für Variante A, da diese Variante eine geringfügig höhere technische Bewertung erhalten hat.

10 KONSTRUKTION DES ZWEITEN PROTOTYPEN

Die in Kapitel 9.2 ausgewählte Variante A mit Klemmrahmen, wird im folgenden Kapitel weiter detailliert. In Abb. 10-1 ist das grundsätzliche weitere Vorgehen schematisch dargestellt.

Dazu werden drei Untervarianten gebildet, die alle den prinzipiellen Aufbau der favorisierten Variante wiedergeben. Diese Untervarianten werden in ihrem Ablauf definiert und mögliche Probleme analysiert. Dabei liegt die Unterscheidung der einzelnen Untervarianten in der Anzahl und der Kombination der Antriebe sowie in der Ablaufreihenfolge.

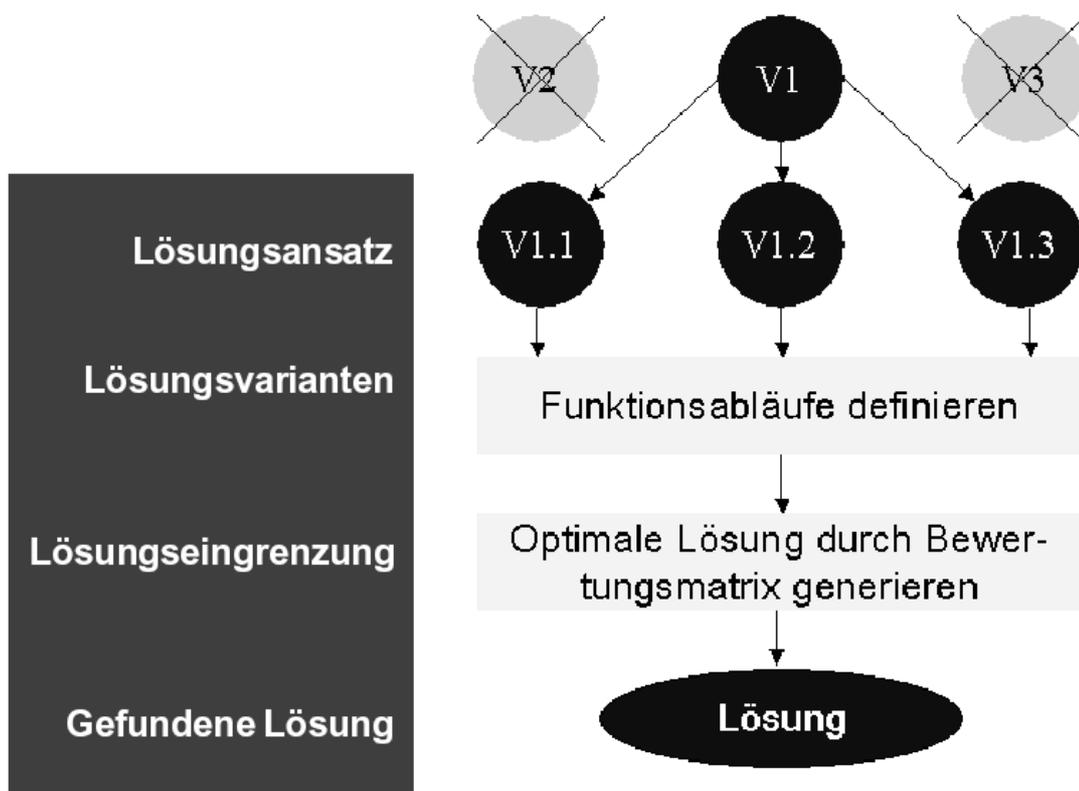


Abb. 10-1: Lösungsschema Teil 1

10.1 DETAILLIERUNG DER AUSGEWÄHLTEN VARIANTE

Die Festlegung der einzelnen Ablaufschritte bildet die Grundlage, jedem Schritt ein Bauteil oder eine Bauteilgruppe zuzuordnen. Mit diesen Bauteilen wird eine mögliche Steuerung des gesamten Ablaufs für jede der drei Untervarianten entworfen, um so die Vor- und Nachteile der Untervarianten zu erkennen. Die detaillierten Darstellungen der Abläufe und Steuerungen der Untervarianten befinden sich in den Tab. 10-1 bis Tab. 10-3 und in den Abb. 10-2 bis Abb. 10-4. Um die Vergleichbarkeit der Untervarianten zu erleichtern, werden die Schrittnummern aus Untervariante A.1 in den nachfolgenden Varianten beibehalten. Die Steuerungen der drei Lösungsvarianten sind in den Abb. 10-2 bis Abb. 10-4 dargestellt. Die Antriebe werden im Inneren der Darstellung mit

ihren Verbindungen zu den Bauteilen (Pfeile) gezeigt. Die grauen Felder sind so im Uhrzeigersinn angeordnet, wie sie im Ablauf ihre Funktionen erfüllen müssen. Die Signale der notwendigen Sensoren zur Positionserkennung sind im äußeren Bereich der Darstellung rot dargestellt. Wenn es eine mechanische Verbindung zwischen den Bauteilen gibt, sind diese grau mit einem Pfeil kenntlich gemacht.

10.1.1 LÖSUNGSVARIANTE A.1

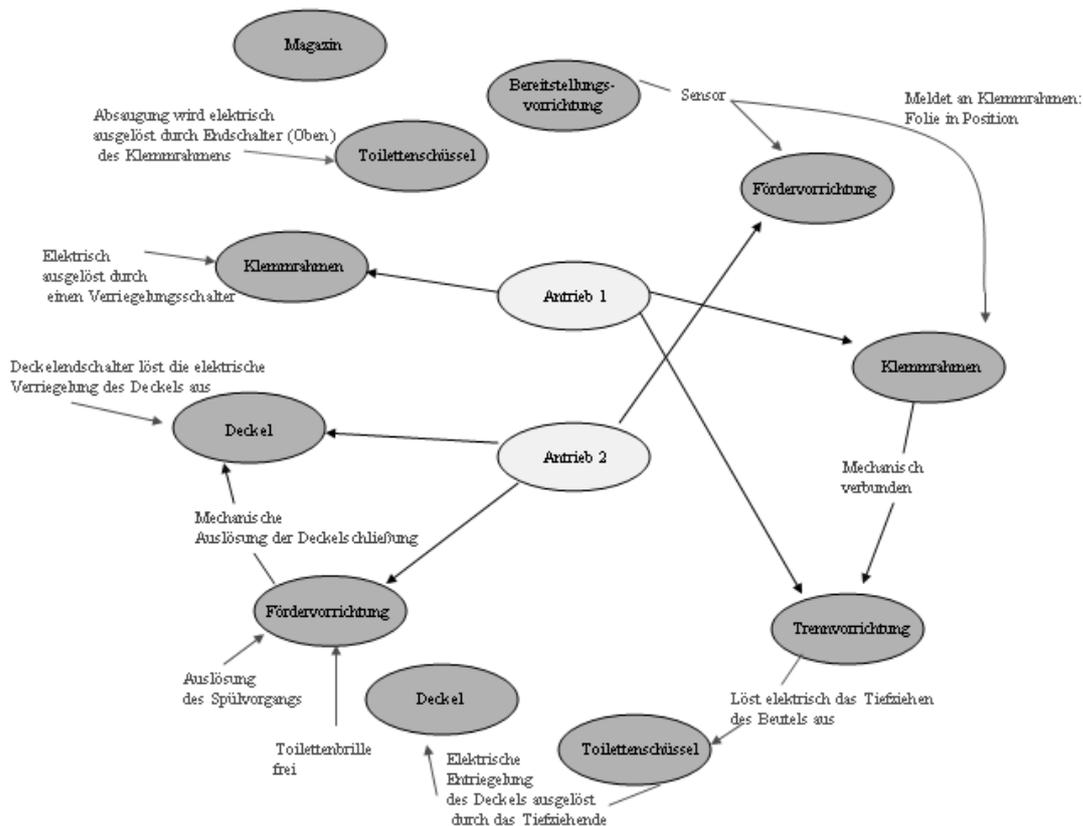


Abb. 10-2: Steuerung der Lösungsvariante A.1

Bewertung der Variante A.1:

Der Klemmrahmen muss mechanisch mit der Trennvorrichtung verbunden sein, wodurch ein erhöhter Aufwand in der Mechanik nötig ist. Die Fördervorrichtung wird dazu genutzt, den Deckel zu betätigen, was bei offenem Deckel bedeutet, dass sich die Fördervorrichtung bewegen muss. Daraus ergibt sich eine problematische Betriebssicherheit.

Variante A.1						
Schritt	Ablauf	Ablaufbeschreibung	Voraussetzungen	Anmerkungen	Probleme	Idee
1	Folie in Ausgangsposition bringen	Folie wird nach dem Einlegen eines neuen Magazins manuell oder durch die Vorpositionierung der Folie im Magazin in die Anfangsposition gebracht	Letzte Folie des Vorgängermagazins hat ein Signal zum Auffüllen gegeben	Fördervorrichtung in hinterer Position	Schleifer des Greifers geschlossen	Fördervorrichtung bleibt in der geöffneten Position stehen und fährt erst nach dem Einlegen eines neuen Magazins in die geschlossene Position
2	Folie greifen	Die Aufnahmevorrichtung (Greifer, Stifte, Haken) greift die Folie in einer klar definierten Position (Es muss gewährleistet sein, dass die Folie in dieser Phase in dieser Position liegt)	Folie muss vorhanden sein Folie muss sich in einer klar definierten Position befinden Folie in dieser Phase in dieser Position liegt	Könnte nach dem Positionieren der Folie erfolgen	Dann wäre es schwer möglich, die Funktion "Deckel schließen" mit dem Zurückfahren des Antriebes zu kombinieren	Sensor stellt Positionierung sicher
3	Folie transportieren (positionieren)	Folie wird linear an 2 Punkten über die Sitzfläche gezogen, bis die folgende Folie in der Ausgangsposition ist (hier könnte schon eine Straffung erfolgen)	Deckel muss geschlossen sein Folie darf nicht mehr eingeklemmt sein		Der Schliesser muss an verschiedenen Positionen geöffnet werden können (elektrisch)	
4	Folie an Brille übergeben	Der Klemmrahmen befindet sich oberhalb der Folie und streift diese von der Transportvorrichtung ab, um sie dann über den Brillenrand zu streifen (falls notwendig, könnte die Folie hier auch gestrafft werden)	Klemmrahmen muss sich oberhalb der Folie befinden Die Folie muss bis über den vorderen Rand der Brille und der Klemmlänge gezogen sein	Vor dem Übergeben muss die Folie ausreichend gestrafft sein	Das könnte bedeuten, dass ein Extrabauteil benötigt wird	Die Folie könnte mit einem Niederhalter im Bereich des Folienendes gehalten werden, um vor dem Klemmen der Folie eine optimale Spannung zu erreichen

5	Folie klemmen	Klemmrahmen fährt nach dem Überstreifen der Folie über den Brillenrand weiter in Richtung Klemmposition auf der Verkleidung, um die Folie hier zu klemmen	Folie muss sich überall unter dem Rahmen befinden	Die Folie muss mit einer klar definierten Kraft geklemmt werden	Ein Einklemmen des Benutzers muss ausgeschlossen werden	
6	Folie trennen	Die Abwärtsbewegung des Klemmrahmens wird genutzt, um den Trennvorgang durchzuführen	Folie muss sich in der richtigen Position für den nächsten Greifvorgang befinden	Die Folie muss eine sichere Trennung mit einem Messer, welches nur eine Bewegung nach unten macht, könnte schwierig sein	Die Folie sollte vor dem Trennen gespannt sein (mittels Klemmvorrichtung)	
7	Folie tiefziehen	Mit dem gesteuerten Toilettenvakuum				
8	Deckel öffnen	Manuell durch den Benutzer				
Toilettenebenbenutzung						
10	Fördervorrichtung zurückfahren	Auslösung des Spülvorgangs aktiviert die Fördervorrichtung	Es darf sich niemand im Gefahrenbereich befinden, der Spülvorgang muss ausgelöst worden sein	Schwer zu definierendes Benutzerverhalten erfordert eine ausreichende Sensorik	Drucksensor im Sitz Photosensor Maximalstromgesteuerter Fördermechanismus Beim Zurückfahren sollten die Greifer geschlossen im Deckel fahren	
9	Deckel schließen	Fördervorrichtung aktiviert die Deckelschliessung. In der geschlossenen Position muss er verriegelt werden	Siehe Schritt 10	Bewegung nur über den Totpunkt; Restweg wird über die Schwerkraft angetrieben	Siehe Schritt 10	
11	Klemmung lösen	Klemmrahmen wird in den Deckel zurückgefahren	Deckel muss verriegelt sein			
12	Spülvorgang	Mit dem Toilettenvakuum	Klemmung muss gelöst sein	Endschalter des Rahmens muss das Signal zum Absaugen geben		

hell grau: Antrieb 1 schwarz: Antrieb 2 grau: manuell

Tab. 10-1: Ablauf Lösungsvariante A.1

10.1.2 LÖSUNGSVARIANTE A.2

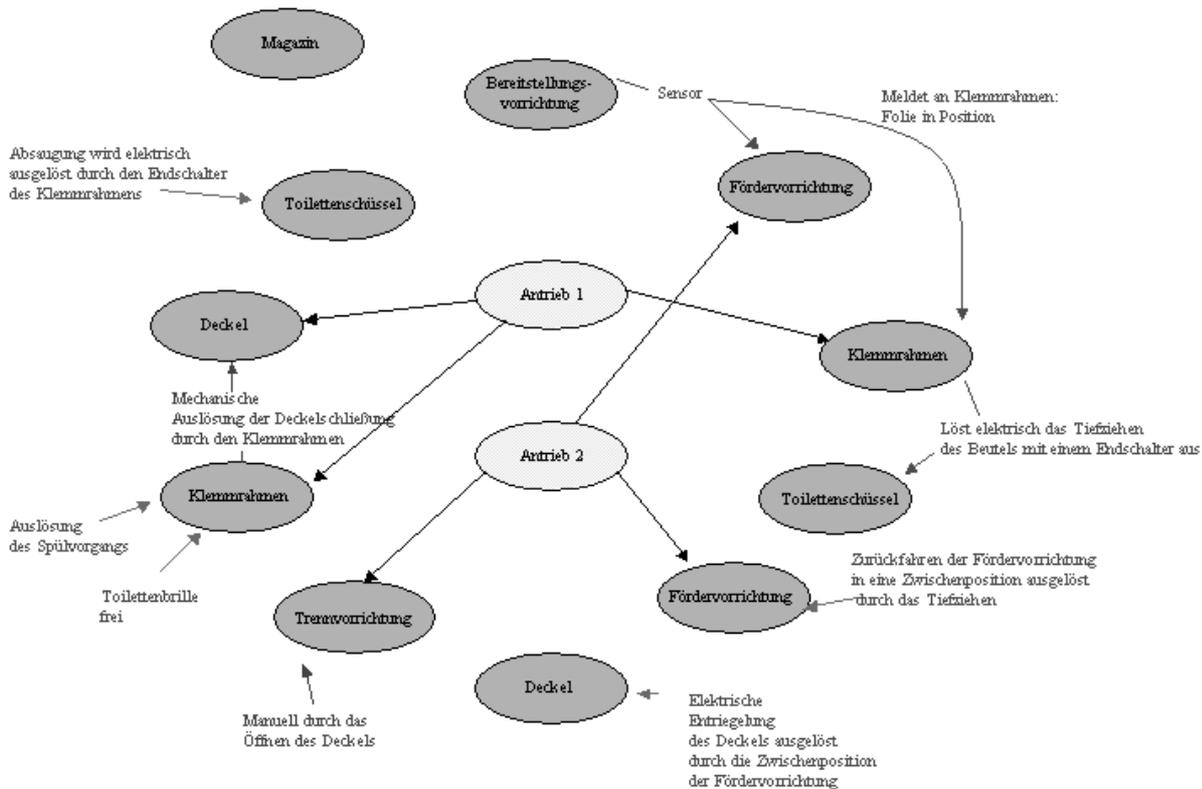


Abb. 10-3: Steuerung der Lösungsvariante A.2

Bewertung der Variante A.2:

Der Klemmrahmen wird dazu genutzt, den Deckel zu betätigen. Dies hat zur Folge, dass sich bei offenem Deckel der Klemmrahmen bewegen muss. Daraus wiederum ergibt sich eine problematische Betriebssicherheit für den Passagier.

Die Trennung der Folie wird manuell beim Öffnen des Deckels durchgeführt. Dadurch kann die Abgrenzung der in Gebrauch befindlichen Folie vom Folienstrang realisiert werden, und ein zusätzlicher angetriebener Trennmechanismus entfällt.

7	Folie 7 Förder- vorrichtung zurückfahren	Mit dem gesteuerten Toilettenvakuum	Folie muss sicher aus dem Fahrbereich des Greifers entfernt sein	Fördervorrich- tung muss in eine Warteposi- tion gefahren werden und kann erst nach der Trennung der Folie die neue Folie greifen	
10		Fördervorrichtung fährt bis in den nichtsichtbaren Bereich zurück			
8	Deckel öffnen	Manuell durch den Benutzer	Fördervorrich- tung muss in der definierten Position sein		
6	Folie trennen	manuell durch das Öffnen des Deckels		Hierdurch werden die Folien vor der Benutzung voneinander getrennt; Vorteil: Gute Hygiene	
Toilettenbenutzung					
11	Klemmung lösen	Klemmrahmen wird aus der Klemmposition herausgefahren		Klemmvorrich- tung aktiviert die Deckelschlie- ßung	Klemmrahmen ist in dieser Phase nicht vom Deckel geschützt → Gefahr für den Benutzer!
9	Deckel schließen	Klemmrahmen aktiviert die Deckelschließung; in Gefahrenbereich der geschlossenen Position muss der Deckel verriegelt werden	Es darf sich niemand im Gefahrenbereich befinden		Schwer zu definierendes Benutzerverhal- ten erfordert eine ausreichende Sensorik
12	Spülvorgang	Mit dem Toilettenvakuum			

hell grau: Antrieb 1 schwarz: Antrieb 2 grau: manuell

Variante A.2						
Schritt	Ablauf	Ablaufbe- schreibung	Voraus- setzungen	Anmer- kungen	Probleme	Idee
1	Folie in Ausgangs- position bringen	Folie wird nach dem Einlegen eines neuen Magazins manuell oder durch die Vorpositionierung der Folie im Magazin in die Anfangsposition gebracht	Letzte Folie des Vorgängerma- gazins hat ein Signal zum Auffüllen gegeben Deckel ist geschlossen und verriegelt	Fördervorrich- tung in hinterer Position	Schliesser des Greifers geschlossen	Fördervorrichtung bleibt in der geöffneten Position stehen und fährt erst nach dem Einlegen eines neuen Magazins in die geschlossene Position
2	Folie greifen	Die Aufnahmevorrich- tung (Greifer, Stifte, Haken) greift die Folie in einer klar definierten Position(Es muss gewährleistet sein, dass die Folie in dieser Phase in dieser Position liegt)	Folie muss vorhanden sein Folie muss sich in einer klar definierten Position befinden	Könnte nach dem Positionieren der Folie erfolgen	Dann wäre es schwer möglich, die Funktion "Deckel schließen" mit dem Zurückfahren des Antriebes zu kombinieren	Sensor stellt Positionierung sicher
3	Folie transportieren (positionieren)	Folie wird linear an 2 Punkten über die Sitzfläche gezogen, bis die folgende Folie in der Ausgangsposition ist	Deckel muss geschlossen sein Folie darf nicht mehr eingeklemmt sein	Hier könnte schon eine Straffung erfolgen		
4	Folie an Brille übergeben	Klemmrahmen fährt nach dem Überstreifen der Folie über den Brillenrand weiter in Richtung Klemmposition auf der Verkleidung, um die Folie hier zu klemmen	Klemmrahmen muss sich oberhalb von der Folie befinden Die Folie muss bis über den vorderen Rand der Brille und der Klemmlänge gezogen sein	Vor dem Übergeben muss die Folie ausreichend gestrafft sein	Das könnte bedeuten, dass ein Extrabauteil benötigt wird	Die Folie könnte mit einem Niederhalter im Bereich des Folienendes gehalten werden, um vor dem Klemmen der Folie eine optimale Spannung zu erreichen
5	Folie klemmen	Klemmrahmen fährt nach dem Überstreifen der Folie über den Brillenrand weiter in Richtung Klemmposition auf der Verkleidung, um die Folie hier zu klemmen	Folie muss sich überall unter dem Rahmen befinden			

Tab. 10-2: Ablauf Lösungsvariante A.2

10.1.3 LÖSUNGSVARIANTE A.3

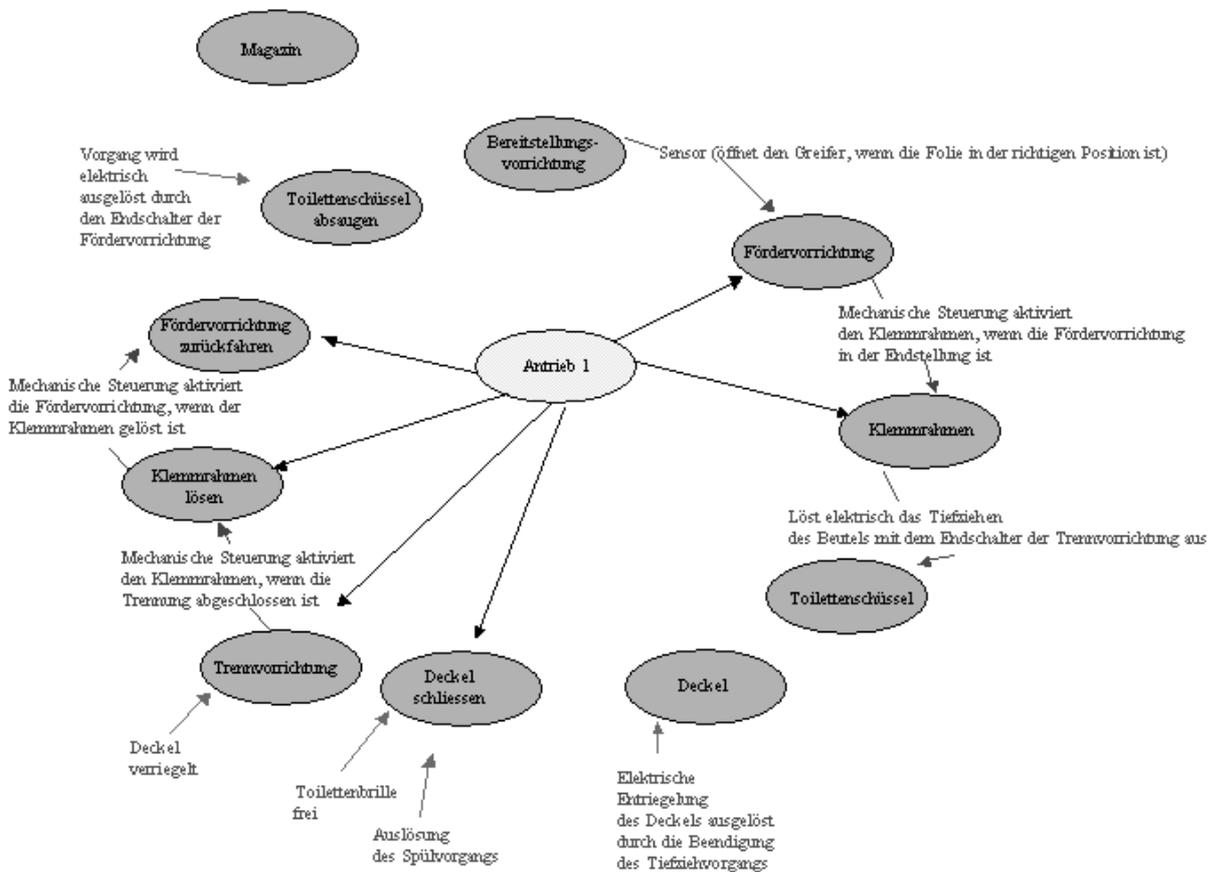


Abb. 10-4: Steuerung der Lösungsvariante A.3

Bewertung der Variante A.3:

Ein wesentlicher Vorteil dieser Lösungsvariante ist, dass ein Antrieb für alle Funktionen genutzt wird. Dadurch ergibt sich ein Gewichtersparnis. Die mechanische Steuerung des Ablaufs wird möglich durch den Einsatz eines Getriebes. Dazu wird aber ein hoher Konstruktionsaufwand erforderlich sein.

Durch die mechanische Verbindung aller Funktionen könnten fast alle Sensoren in dem Getriebe untergebracht werden, was eine hohe Betriebssicherheit zur Folge hat.

Ablauf	Ablaufbeschreibung	Voraussetzungen	Anmerkungen	Probleme	Idee
Schritt 1	Folie in Ausgangsposition bringen	Letzte Folie des Vorgänger magazins hat ein Signal zum Auffüllen gegeben			Der Antrieb und die Steuerung der Einzelfunktionen sollte im Bereich der Deckeldrehachse als eine Uhrwerkähnliche Mechanik ausgeführt werden. Mögliche Elemente: Zahnräder; Planetengetriebe; Mitnehmerscheibe; Lochscheibe; Spindel
2	Folie greifen	Die Aufnahmevorrichtung (Greifer, Stifte, Haken) greift die Folie in einer klar definierten Position (Es muss gewährleistet sein, dass die Folie in dieser Phase in dieser Position liegt)			Sensor stellt Positionierung sicher und könnte das Signal geben, den Greifer elektrisch zu öffnen
3	Folie transportieren (positionieren)	Folie wird linear an 2 Punkten über die Sitzfläche gezogen, bis die folgende Folie in der Ausgangsposition ist			
4	Folie an Brille übergeben	Klemmrahmen fährt nach dem Überstreifen der Folie über den Brillenrand weiter in Richtung Klemmposition auf der Verkleidung, um die Folie hier zu klemmen	Vor dem Übergeben muss die Folie ausreichend gestrafft sein	Das könnte bedeuten, dass ein Extrabauteil benötigt wird	Die Folie könnte mit einem Niederhalter im Bereich des Folienendes gehalten werden, um vor dem Klemmen der Folie eine optimale Spannung zu erreichen

Ablauf	Ablaufbeschreibung	Voraussetzungen	Anmerkungen	Probleme	Idee
5	Folie klemmen	Klemmrahmen fährt nach dem Überstreifen der Folie über den Brillenrand weiter in Richtung Klemmposition auf der Verkleidung, um die Folie hier zu klemmen	Folie muss sich überall unter dem Rahmen geklemmt werden	Die Folie muss mit einer klar definierten Kraft des Benutzers eingeschlossen werden	Die Folie sollte vor dem Trennen gespannt sein (mittels Klemmvorrichtung)
6	Folie trennen	Die Abwärtsbewegung des Klemmrahmens wird genutzt, um den Trennvorgang durchzuführen	Folie muss sich in der richtigen Position für den Greifvorgang befinden	Eine sichere Trennung mit einem Messer, welches nur eine Bewegung nach unten macht, könnte schwierig sein	
7	Folie tiefziehen	Mit dem gesteuerten Toilettenvakuum			
8	Deckel öffnen	Manuell durch den Benutzer			
9	Deckel schließen	Benutzer löst Spülvorgang aus; Deckel wird geschlossen und verriegelt	Benutzer löst Spülvorgang aus; Deckel wird geschlossen und verriegelt	Es darf sich niemand im Gefahrenbereich befinden	Bewegung nur über den Totpunkt; Rest-Benutzerverhalten erfordert eine angetriebene Sensorik
11	Klemmung lösen	Klemmrahmen wird in den Deckel zurückgefahren			
12	Spülvorgang	Fördervorrichtung			
10	Fahren				

hell grau: Antrieb 1 schwarz: manuell

Tab. 10-3: Ablauf Lösungsvariante A.3

10.2 BEWERTUNG DER LÖSUNGSVARIANTEN A.1, A.2, A.3

Für das Ausfüllen der zweiten Bewertungsmatrix (siehe Tab. 10-4) liegen durch die Kapitel 10.1.1 bis Kapitel 10.1.3 genügend Informationen vor.

Bewertungs-kriterien	Ge-wich-tung	Variante A.1	Variante A.1 gewichtet	Variante A.2	Variante A.2 gewichtet	Variante A.3	Variante A.3 gewichtet
Anzahl der Bauteile	0,03	6	0,18	7	0,21	8	0,24
Anzahl der Antriebe	0,05	5	0,25	5	0,25	10	0,5
Sicherheit	0,06	5	0,3	5	0,3	9	0,54
Ausfallsicherheit	0,06	4	0,24	7	0,42	8	0,48
Hygiene	0,06	5	0,3	5	0,3	8	0,48
einfache Fertigung	0,03	8	0,24	6	0,18	3	0,09
Wartbarkeit	0,03	7	0,21	5	0,15	8	0,24
benötigter Bauraum	0,05	6	0,3	5	0,25	3	0,15
Bedienbarkeit	0,06	7	0,42	6	0,36	6	0,36
Komplexität der Konstruktion	0,04	5	0,2	6	0,24	3	0,12
Herstellkosten	0,06	7	0,42	7	0,42	5	0,3
Folie in Ausgangsposition	0,03	6	0,18	5	0,15	7	0,21
Folie greifen	0,05	7	0,35	7	0,35	7	0,35
Folie transportieren	0,06	6	0,36	7	0,42	6	0,36
Folie an Brille übergeben	0,04	7	0,28	8	0,32	7	0,28
Folie klemmen	0,04	7	0,28	6	0,24	8	0,32
Folie trennen	0,04	8	0,32	8	0,32	7	0,28
Folie tiefziehen	0,03	7	0,21	8	0,24	8	0,24
Deckel öffnen	0,03	8	0,24	7	0,21	7	0,21
Deckel schliessen	0,04	3	0,12	5	0,2	7	0,28
Fördervorrichtung zurückfahren	0,06	3	0,18	5	0,3	6	0,36
Klemmung lösen	0,03	6	0,18	6	0,18	7	0,21
Spülvorgang	0,02	5	0,1	5	0,1	5	0,1
Ergebnis	1		5,61		6,11		6,7

Tab. 10-4: Bewertungsmatrix 2

Als beste Lösungsvariante ergibt sich die Variante A.3. Diese wird nun im weiteren Verlauf weiter detailliert.

10.2.1.1 ERSTELLUNG EINES LÖSUNGSSCHEMAS

Durch die zweite Bewertungsmatrix hat sich die Variante A.3 als die beste herausgestellt. Mit dieser soll im Lösungsschema Teil 2 weitergearbeitet werden. In diesem teilt sich die Lösung in Baugruppen und diese wiederum in Bauteile auf. Bauteillösungsvarianten bilden, wie im Lösungsschema Teil 1 die Lösungsvarianten, eine Grundlage für eine Bewertung und die daraus folgende optimale Lösung (siehe Abb. 10-5).

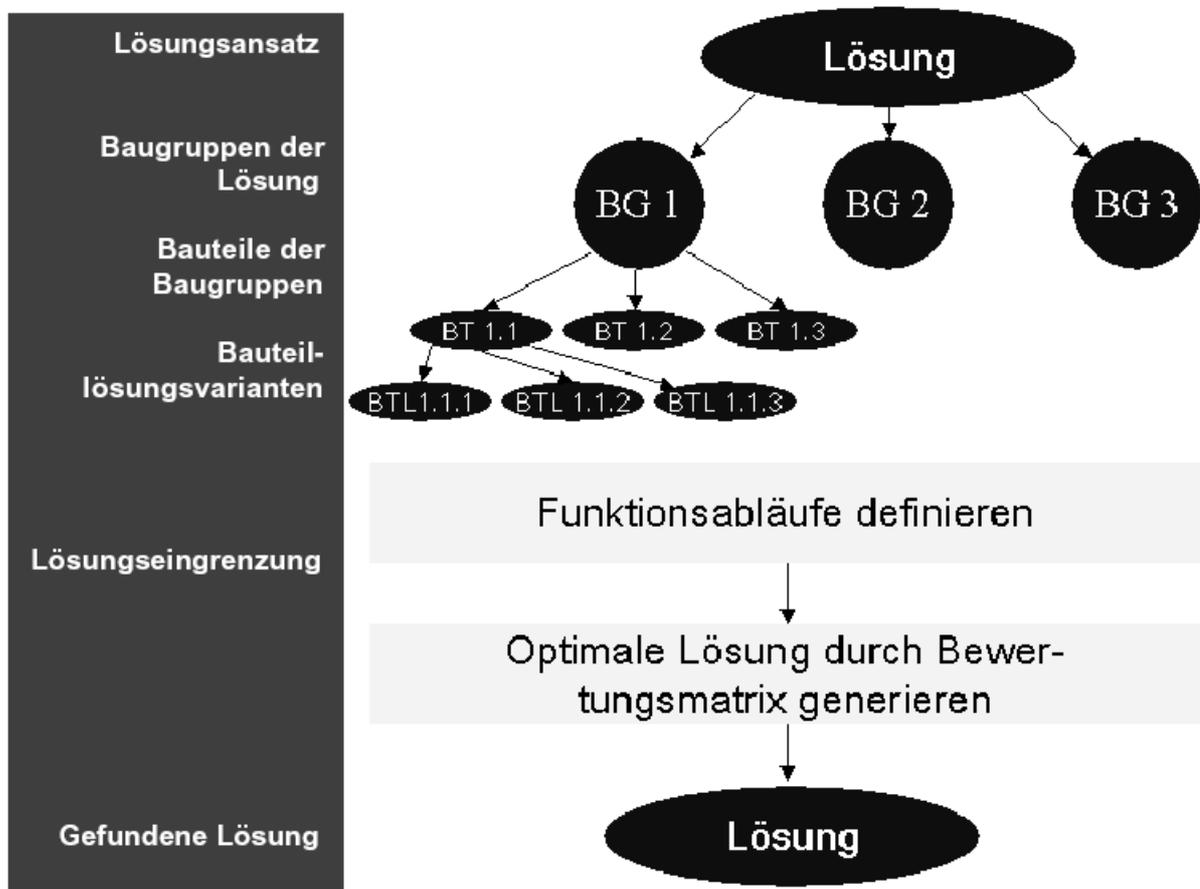


Abb. 10-5: Lösungsschema Teil 2

Folgende Baugruppen bilden die Gesamtkonstruktion:

Baugruppe	Funktion der Baugruppe
<u>Baugruppe 1</u>	- bevorratet die Folie und stellt sie in einer klar definierten Position bereit
<u>Baugruppe 2</u>	- beinhaltet den Toilettendeckel mit der Transportvorrichtung für die Folie
<u>Baugruppe 3</u>	- umfasst die Toilettenbrille mit dem Klemmrahmen und seine Betätigung, sowie die Schneidvorrichtung für die Folie. Des Weiteren sind hier alle notwendigen Sensoren und die Steuerung für den Toilettendeckel in einem abgeschlossenen Raum untergebracht.

Tab. 10-5: Baugruppen und deren Funktion

10.2.1.2 BAUTEILLÖSUNGEN

In diesem Entwicklungsschritt werden jeder Baugruppe die für die Erfüllung der Funktionen in Unterkapitel 4.1 erforderlichen Bauteile zugeordnet (siehe Abb. 10-6).

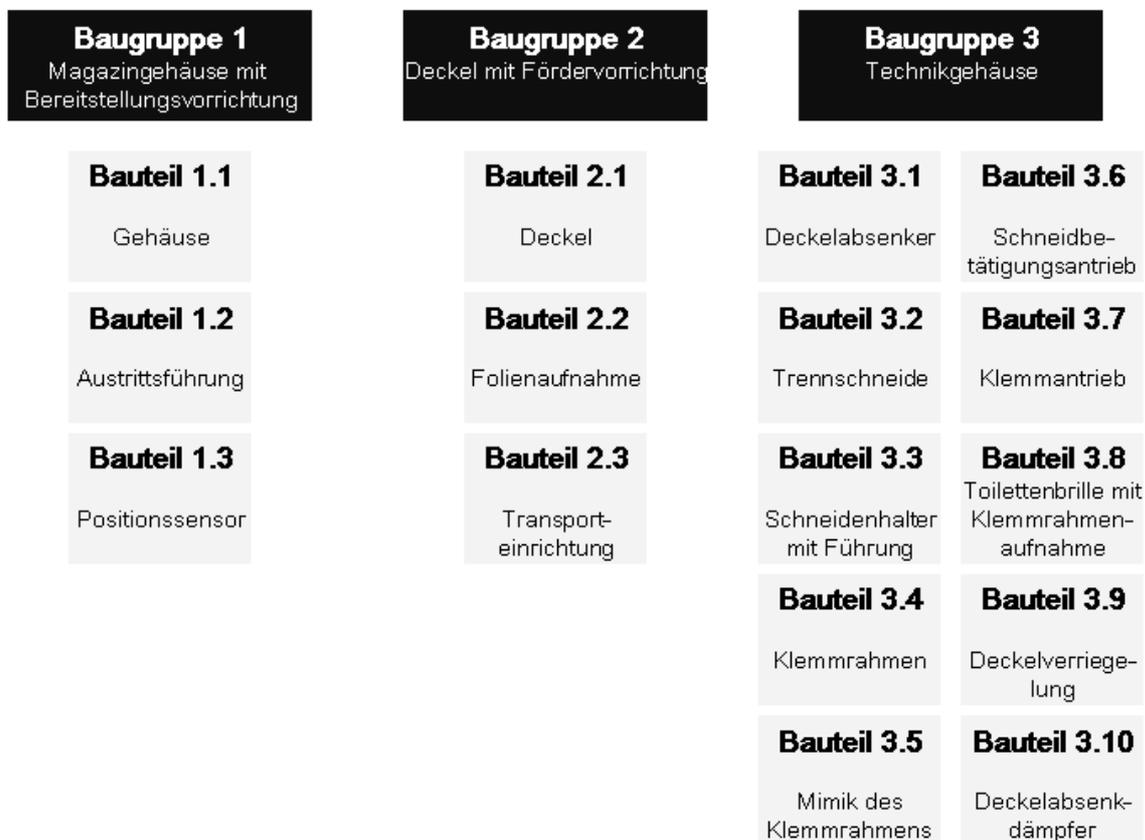


Abb. 10-6: Baugruppen mit ihren Bauteilen

Die Entwicklung ist hier soweit vorangeschritten, dass im Folgenden Lösungen für die Teilfunktionen, und damit für die einzelnen Bauteile, zusammengetragen werden können. Die im Lösungsschema Teil 2 geplante Bewertung erfolgt in jeder Teilfunktion separat.

10.3 LÖSUNGSFINDUNG FÜR DIE TEILFUNKTIONEN

In diesem Kapitel erfolgt die Untersuchung der Teilfunktionen, um die optimalen Bauteile auswählen zu können. Dabei sind die teilfunktionsübergreifenden Zusammenhänge zu beachten und Synergien in soweit zu nutzen, wie sie zu einem Mehrfachnutzen von Bauteilen führen oder Redundanzen erzeugen. Eine Zusammenstellung von möglichen Lösungen für die Teilfunktionen und Bauteile befindet sich im Anhang A. Die gewählten Lösungen sollen mit Begründung hier dargestellt werden.

10.3.1 FOLIE BEVORRATEN

Da der Bauraum (siehe Abb. 10-7) für ein Folienmagazin in der Toilettenkabine sehr begrenzt ist, muss der vorhandene Raum optimal genutzt werden (siehe Abb. 10-8). In Behindertentoiletten ist der Bereich neben der Toilette für Rollstühle vorgesehen und steht folglich nicht für das Magazin zur Verfügung. Der Bereich vor der Toilette ist ebenfalls nicht verfügbar, da an dieser Stelle ausreichend Platz für die Beine des Benutzers bleiben muss. Also steht nur der Raum hinter der Toilette zur Verfügung. Um die Technik des Folienantriebes auf dem Magazin unterbringen zu können, sollte dieses nach Möglichkeit nicht höher gebaut werden als die Toilettenbrillenoberkante. Somit scheiden die Variante des Magazins oberhalb der Brille und die Variante, die das Magazin sowohl oberhalb als auch unterhalb der Brille vorsieht, aus. Nach den Maßen in Abb. 10-7 steht bei einer Folienbreite von 430 mm ein Volumen von 10,3 Liter zur Verfügung.

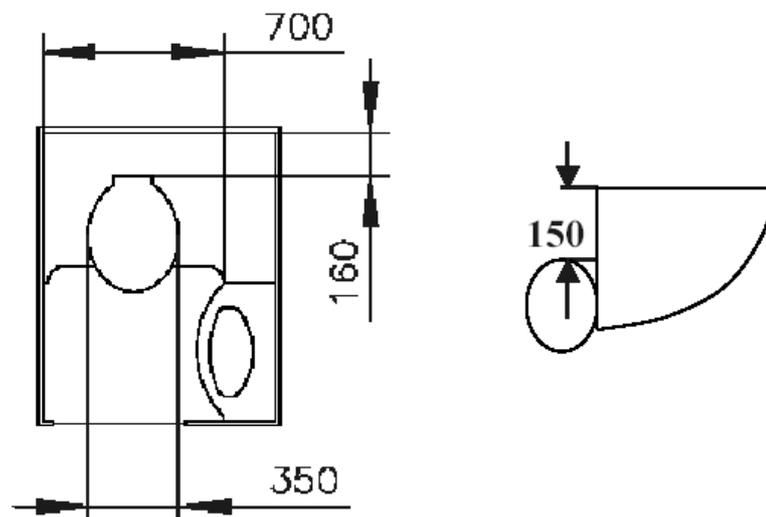


Abb. 10-7: Bauraum in der Toilettenkabine

Bei den Folienmaßen von 430 mm x 440 mm und einer Stärke von 23 µm wird bei der großzügigen Annahme, dass der Folienbeutel das Folienvolumen verdoppelt, für 300 Beuteleinheiten ein Raum von 2,6 l benötigt. Das bedeutet, dass die bei der Verpackung zwangsläufig eingeschlossene Luft ein Volumen von 7,7 l einnehmen darf. Nach Aussage des erfahrenen Herstellers von Folienkonfektioniermaschinen, Lemo Maschinenbau GmbH, ist dieses Packszenario ohne Probleme möglich. Die Abb. 10-8 zeigt die prinzipiellen Anordnungsmöglichkeiten für das Magazin.

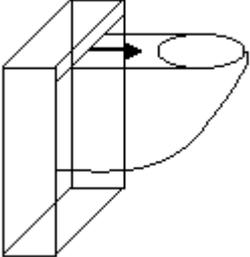
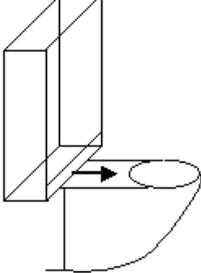
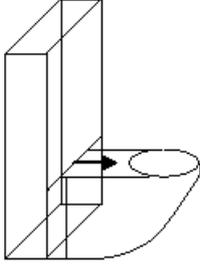
BTL 1.1.1. Gehäuse unterhalb der Brille	BTL 1.1.2. Gehäuse oberhalb der Brille	BTL 1.1.3. Gehäuse oberhalb und unterhalb der Brille
		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ relativ kleiner Raum für die geforderte Tütenanzahl ▪ Aufwändige Montage ▪ Magazin verschwindet hinter der Toilette 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unterhalb des Magazins entsteht Raum für die Mimik des Klemmrahmens ▪ Der Auffüllvorgang gestaltet sich einfach durch die gute Zugänglichkeit ▪ Raum für den geöffneten Deckel sehr gering 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grosses Magazinvolumen ▪ Beste Raumausnutzung für eine große Folienanzahl ▪ Schwierige Realisierung der Austrittsführung, weil der Foli austritt in der Mitte des Magazins benötigt wird ▪ Raum für den geöffneten Deckel sehr gering

Abb. 10-8: Magazinanordnung

10.3.2 FOLIE IN AUSGANGSPOSITION BRINGEN

Der Vorgang „Folie in Ausgangsposition bringen“ beinhaltet zum Einen das Positionieren der ersten Folie in die Greifposition durch das Servicepersonal. Dieser Vorgang sollte möglichst einfach und frei von Fehlerquellen sein. Zum Anderen muss jede Folie bis zum Ende des Vorrates sicher in die Gebrauchsposition gebracht werden können. Diese Anforderungen verlangen eine gute Führung des Folienstranges, eine Fixierung in der Ausgangsposition und eine sensorische Erfassung der Folienposition. Für die Zuführung wird ein Profil gewählt, das gleichzeitig zur Abdeckung des Magazins genutzt wird. Um die Fixierung der Folie zu unterstützen, werden als sekundäres System zwei gedämpfte Rollen vorgesehen. Diese Lösung stellt eine Kombination der Lösungsvarianten 1.3.1 und 1.3.2 aus Abb. 10-9 dar. Da die Folie aus der

Ausgangsposition aufgenommen werden soll, kommt die Lösung, komplett auf eine Zuführung zu verzichten, nicht in Frage.

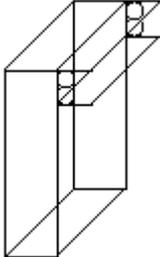
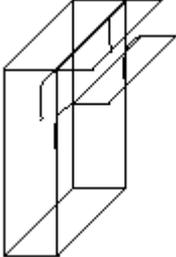
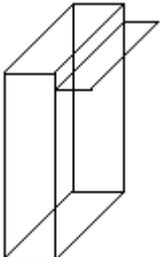
BTL 1.2.1. Rolle(n)	BTL 1.2.2. Führungsprofil	BTL 1.2.3. keine Führung
		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rollen könnten leicht gedämpft laufen, damit die Positionierung der Folie erleichtert wird ▪ Beim Nachladen eines Folienmagazins könnte die obere Rolle hochgeklappt werden und somit die Folie einfach zwischen die Rollen positioniert werden 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einfache Realisierbarkeit ▪ Folie wird schlecht gehalten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einfachste Lösung ▪ Foliennachzug könnte missglücken

Abb. 10-9: Folienführung

10.3.3 FOLIE MIT DER TRANSPORTVORRICHTUNG AUFNEHMEN

Die Transportvorrichtung soll sich im Deckel befinden, damit sie während der Benutzung der Toilette durch das Hochklappen des Deckels aus dem verschmutzungsgefährdeten Bereich entfernt werden kann. Um ein ausfallsicheres Aufnehmen der Folie an immer derselben Folienposition zu gewährleisten, ist es notwendig, diese Position mittels einer geeigneten Sensorik abzufragen. Die Lösungsvariante, die Folie mit einem Sauger aufzunehmen, erfordert eine Vakuumquelle und ein flexibles Leitungssystem, welches das Vakuum an den sich bewegenden Sauger leitet. Der magnetische Greifer benötigt als Energiequelle elektrischen Strom, der wiederum mittels Kabel dem Greifer zugeführt werden muss. Die einfachste und am meisten Erfolg versprechende Lösung stellt ein rein mechanischer Greifer dar (siehe Abb. 10-10), der seine Energie zur Erfüllung seiner Funktionen durch die Bewegung der Transportvorrichtung erhält.

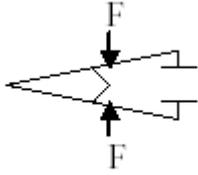
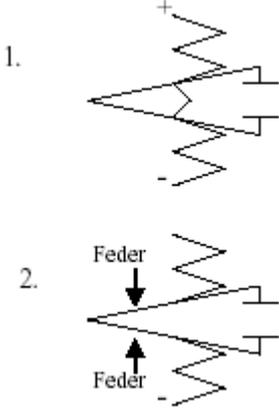
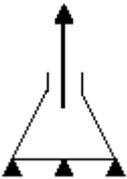
BTL 2.2.1. mechanischer Greifer	BTL 2.2.2. magnetische Greifer	BTL 2.2.3. Sauger
		
<ul style="list-style-type: none"> Die Betätigung könnte hier durch die Führung im Deckel erfolgen, indem der Greifer nur beim Greifen und beim Loslassen geöffnet wird. Dabei wird es allerdings schwierig, die Folie auf eine bestimmte Position zu ziehen. 	<ol style="list-style-type: none"> Indem die beiden Platten des Greifers elektrisch magnetisiert werden, fahren diese zusammen und klemmen damit die Folie ein. Als Nachteil ist hier zu sehen, dass an den sich bewegenden Greifer ein Kabel angebracht werden muss. Der Greifer ist mechanisch geschlossen und wird nur am Anfang und am Ende über Schleifkontakte mit dem Öffnungsstrom versorgt 	<ul style="list-style-type: none"> Der Sauger muss hier nicht unter die Folie greifen sondern nur oberhalb der Folie positioniert werden. Hier benötigt man eine Leitung für das Vakuum, die an den sich bewegenden Sauger herangeführt werden muss.

Abb. 10-10: Mechanischer Greifer und Sauger

10.3.4 FOLIE TRANSPORTIEREN

Das Transportieren der Folie in die Gebrauchslage erfolgt zwischen dem Deckel und der Brille mit einem Greifer, der durch einen Pneumatikzylinder bewegt wird. Für den Transportvorgang findet dieses Standardbauteil Verwendung, da es preiswert ist und in einem späteren Entwicklungsstadium leicht gegen eine andere Komponente, wie zum Beispiel eine elektrisch angetriebene Spindel, austauschbar ist. Abb. 10-11 zeigt die möglichen Lösungen für den Folientransport.

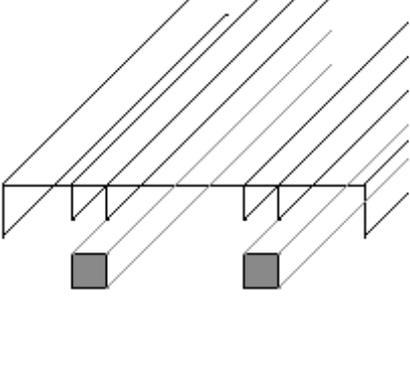
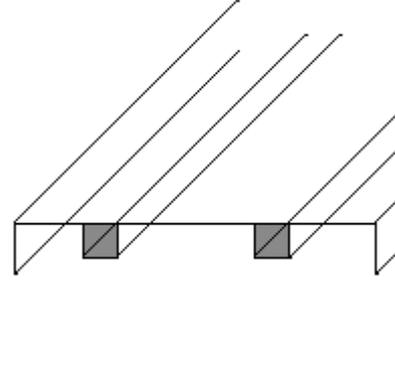
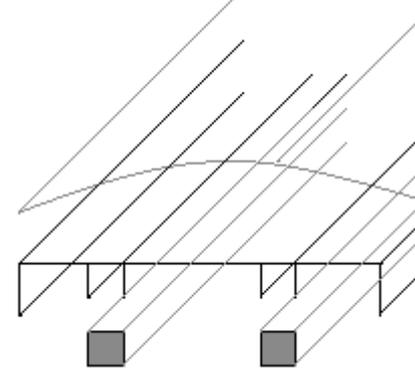
BTL 2.3.1. Deckel mit Aufnahmen für die Transportvorrichtung	BTL 2.3.2. Deckel mit integrierter Fördervorrichtung	BTL 2.3.3. Abdeckung und Aufnahme für die Transportvorrichtung
		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deckeldesign ist unabhängig von der Funktion ▪ einzeln austauschbare Verschleißteile 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ wenige Bauteile ▪ wartungsunfreundlich durch in den Deckel integrierte Verschleißteile 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grosse Unabhängigkeit zwischen Funktion und Design

Abb. 10-11: Deckel mit Transporteinrichtung

10.3.5 FOLIE IN GEBRAUCHSPOSITION FIXIEREN

Die Fixierung der Folie in der Gebrauchsposition erfolgt in zwei Stufen. Zuerst muss die Folie außen an der Toilettenbrille fixiert werden. Dieser Vorgang soll mit einem „Klemmrahmen“ erfolgen. Die Fixierung innerhalb der Toilettenschüssel geschieht durch das gesteuerte Evakuieren der Schüssel mit dem flugzeugseitig vorhandenen Vakuum. Der Klemmrahmen muss während des Verfahrens immer seine waagerechte Position beibehalten und einen kreisbogenförmigen Weg um die obere Toilettenbrillenaussenkante beschreiben. Die Erfüllung dieser Anforderungen gewährleisten alle drei Lösungsvarianten in Abb. 10-12. Da die Varianten 3.1.2 und 3.1.3 aber jeweils eine aufwendige Synchronisierung der beiden Bewegungen benötigen, wird das Parallelogramm gewählt. Um eine einfache Reinigung des im verschmutzungsgefährdeten Bereich liegenden Klemmrahmens zu gewährleisten, wird für diesen ein Ellipsenprofil gewählt. Diese Form hat den weiteren Vorteil, dass sie beim Klemmvorgang in der Toilettenbrille eine selbsttätige Zentrierung ermöglicht.

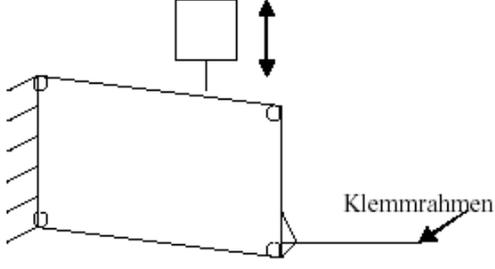
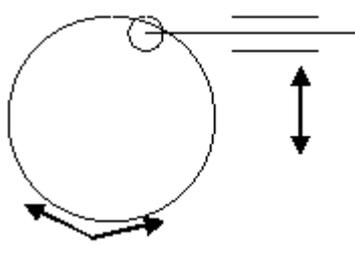
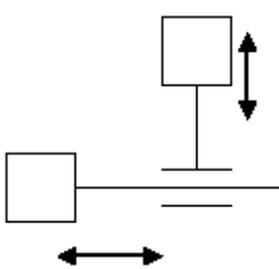
BTL 3.1.1. linear angesteuertes Parallelogramm	BTL 3.1.2. Kreisscheibe mit Parallelführung	BTL 3.1.3. Je ein Antrieb für je eine Bewegungsrichtung
		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diese Geometrie ermöglicht ein Verfahren des Klemmrahmens auf einer Kreisbahn mit wenigen Bauteilen. Weiter kann gewährleistet werden, dass der Rahmen in jeder Position seine waagerechte Lage beibehält 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei dieser Anordnung wird es relativ einfach sein, die Scheibe in Drehung zu versetzen. Für die Beibehaltung der waagerechten Position des Rahmens wird aber eine zusätzliche lineare Verfahrbarkeit des Klemmrahmens benötigt 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Das Aufteilen der Bewegung in die waagerechte und senkrechte Komponente ermöglicht eine relativ simple Mechanik. Hier werden aber zwei Antriebe benötigt, die synchronisiert werden müssten.

Abb. 10-12: Klemmrahmenansteuerung

10.3.6 DECKEL ÖFFNEN

Das Öffnen des Deckels geschieht manuell durch den Benutzer, um ihm gewohnte Abläufe bieten zu können und um eine Sicherheitsgefährdung zu vermeiden, die durch eine automatische Öffnung des Deckels gegeben wäre. Da die geöffnete Position kurz vor dem oberen Totpunkt liegen soll, muss der Deckel hier durch eine Deckelverriegelung gehalten werden. Dieser Vorgang erfolgt über einen federbelasteten Stift, der über eine schiefe Ebene vom Deckel betätigt wird (siehe Abb. 10-13).

10.3.7 DECKEL SCHLIESSEN

Das Schließen des Deckels kann entweder manuell durch den Benutzer erfolgen oder wird durch das Betätigen des Spülknopfes ausgelöst (siehe Abb. 10-13), indem der Deckel, der in seiner geöffneten Stellung in einem Winkel von 85° (kurz vor dem oberen Totpunkt) verweilt, elektrisch entriegelt wird. Die Wahl fällt hier zugunsten der elektrischen Entriegelung, weil dadurch der Deckel völlig unabhängig von allen anderen Bauteilen betätigt werden kann und somit alle Vorgänge der Folieneubestückung nur bei geschlossenem Deckel stattfinden können.

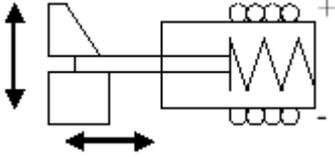
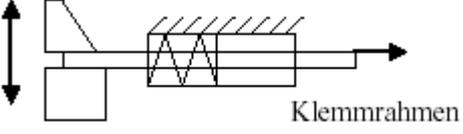
BTL 3.8.1. Mechanische Verriegelung- elektromagnetische Entriegelung	BTL 3.8.2. Mechanische Verriegelung- mechanische Entriegelung aktiviert durch den Klemmrahmenantrieb
	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beim Schließen des Deckels schnappt ein federbelasteter Stift in ein Verriegelungsloch des Deckels- entriegelt wird elektrisch. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beim Schließen des Deckels schnappt ein federbelasteter Stift in ein Verriegelungsloch des Deckels- entriegelt wird durch das Fahren des Klemmrahmens in die Klemmposition.

Abb. 10-13: Deckelverriegelung

10.3.8 FOLIE TRENNEN

Um ein einwandfreies Absaugen der Folie inklusive der darin enthaltenen Fäkalien mit dem Toilettenvakuum gewährleisten zu können, muss diese komplett von den nachfolgenden getrennt werden. Zu diesem Zweck ist ein linear verfahrenes festes Messer vorgesehen, welches von einem Pneumatikzylinder angetrieben die komplette Breite der Folie einmal abfährt und diese dabei trennt. Das Messer selbst muss leicht auszutauschen sein, da es ein Verschleißteil ist. Für den Antrieb wird aus Kostengründen wieder der Pneumatikzylinder gewählt, der genauso wie beim Transportzylinder in einem späteren Entwicklungsstadium leicht durch ein anderes Element ausgetauscht werden kann. Die zur Verfügung stehenden Lösungsideen sind in Abb. 10-14 dargestellt.

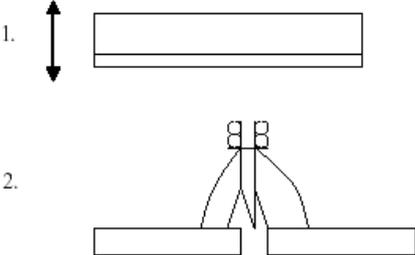
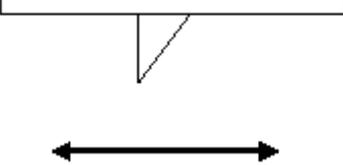
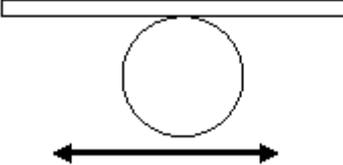
BTL 3.2.1. herunterfahende feste Schneide	BTL 3.2.2. seitlich fahende feste Schneide	BTL 3.2.3. seitlich fahende, rollende Schneide
		
<p>1. Hierbei wäre nur ein relativ kurzer Fahrweg erforderlich, außerdem könnte die Schneidposition zur Klemmung der Folie beim Spülvorgang genutzt werden. Es muss noch ermittelt werden, ob diese Bewegung ausreicht, um die Folie zufriedenstellend zu trennen.</p> <p>2. Hier wird die Folie mit Niederhaltern eingeklemmt, um dann gestanzt zu werden.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sicheres Trennen der Folie ist gewährleistet -Aber: Eine relativ große geführte Bewegung ist erforderlich (rechts - links) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sicheres Trennen der Folie ist gewährleistet - Aber: Eine relativ grosse geführte Bewegung ist erforderlich (rechts - links)

Abb. 10-14: Folie trennen

10.3.9 FIXIERUNG DER FOLIE LÖSEN

Die äußere Fixierung der Folie an der Toilettenbrille wird durch das Verfahren des Klemmrahmens in seine obere Position gelöst. Die Fixierung in der Toilettenschüssel muss nicht gelöst werden, da die Folie beim Absaugen über die Schüsseloberseite gezogen wird.

10.3.10 SPÜLVORGANG

Der Spülvorgang wird, wie bei der herkömmlichen Vakuumtoilette, erfolgen, indem das Absaugventil geöffnet wird und das Toilettenvakuum die Folie mit dem Fäkalieninhalt absaugt.

10.4 KONSTRUKTIVE AUSLEGUNG DER BAUTEILE

Die konstruktive Auslegung der Bauteile ist die systematische Weiterführung der in den vorangegangenen Kapiteln erarbeiteten Lösungen und ergibt am Ende eine funktionsfähige Konstruktion. Die Firma Timmer Pneumatik fertigt den Prototypen und führt notwendige Versuche durch. Das bedeutet, dass in diesem Kapitel die Geometrien

und Funktionsweisen der Bauteile genau beschrieben werden sollen, nicht aber die Maschinenelemente, die für die Funktion der gesamten Konstruktion notwendig sind, da diese von der Firma Timmer in die Fertigungszeichnungen eingebracht werden.

Um den modularen Aufbau der Gesamtkonstruktion gewährleisten zu können, soll die Bauteilaufteilung in Baugruppen aus Kapitel 10.2.1.2 herangezogen werden.

10.4.1 MAGAZINGEHÄUSE MIT ZUFÜHRUNG

Die Baugruppe 1 beinhaltet das Magazingehäuse und die Zuführung mit der unteren Führungsrolle für die Folie. Für diesen Prototypen wird das Magazingehäuse noch ohne Funktion sein, da die ersten Folien nach ihrer Handfertigung auf einer Rolle geliefert werden. Die Zuführung muss nach vorne aufklappbar sein, um die Neubefüllung des Magazins zu ermöglichen (siehe Abb. 10-15).

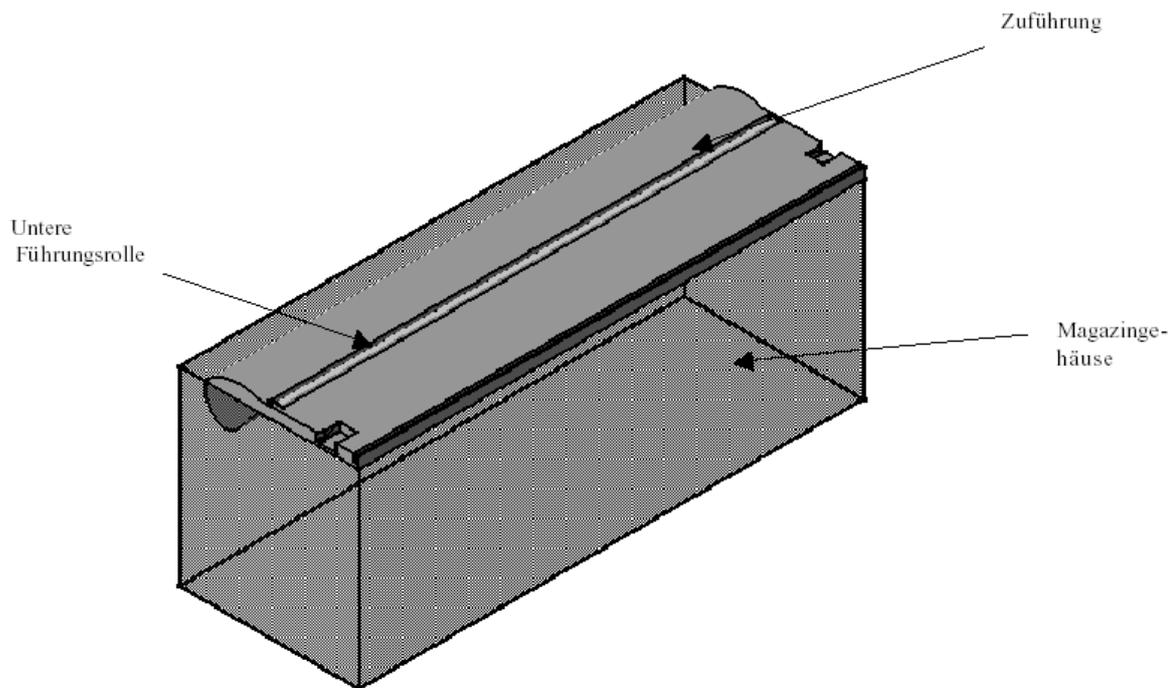


Abb. 10-15: Magazingehäuse mit Zuführung

10.4.1.1 MAGAZINGEHÄUSE

Wenn die Folien später maschinell hergestellt werden, sollen sie in gefalteter Form in einem Einwegmagazin vorliegen und dann komplett ins Magazingehäuse (siehe Abb. 10-16) eingelegt werden.

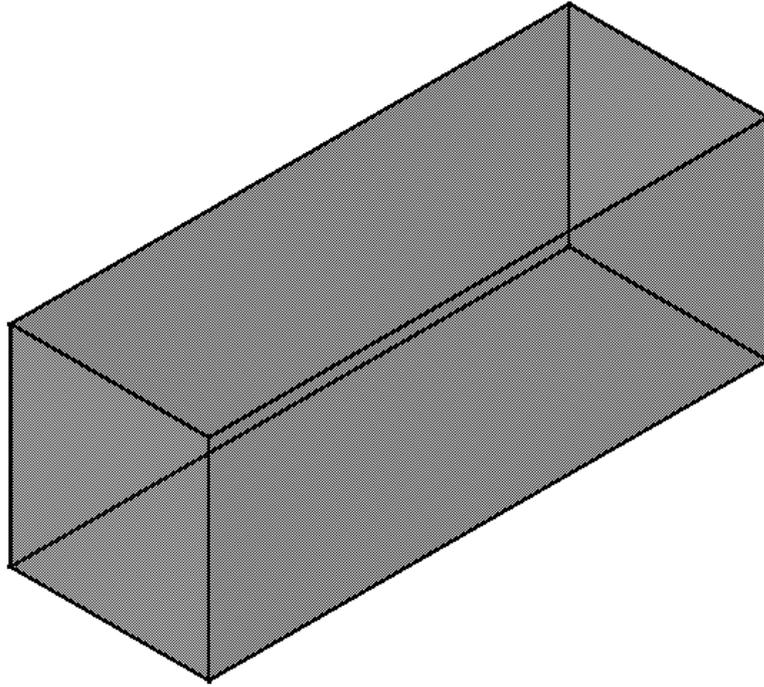


Abb. 10-16: Magazingehäuse

10.4.1.2 DIE ZUFÜHRUNG

Die Zuführung bildet die Abgrenzung des Magazingehäuses zum Technikgehäuse, welches sich oberhalb des Magazingehäuses befindet. Die Hauptaufgabe dieses Bauteiles ist es, die sichere Bereitstellung des Folienstranges zu gewährleisten. Weiter muss hier die untere Führungsrolle aufgenommen werden und die Führung des Trennmessers in einem Schlitz gewährleistet sein. Die Folieneaufnahme ist der Bereich, in dem die Folie von den Greifern aufgenommen wird (siehe Abb. 10-17).

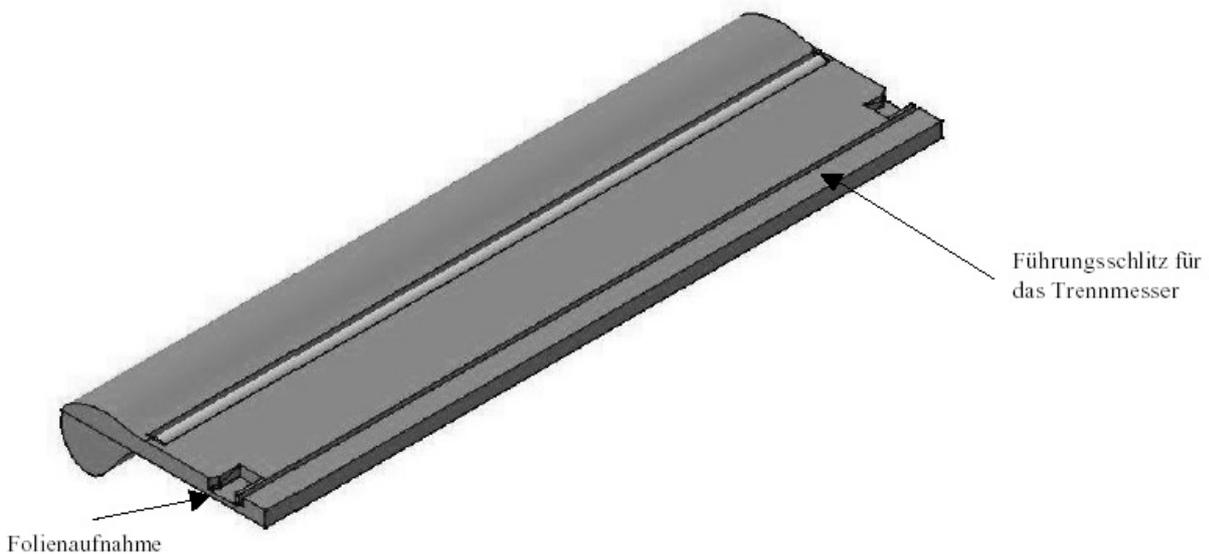


Abb. 10-17: Zuführung

10.4.2 DECKEL MIT FÖRDERVORRICHTUNG

Der Toilettendeckel (siehe Abb. 10-18) übernimmt im Toilettenmodul verschiedene Funktionen. Er soll den Mechanismus für den Transport der Folien über die Toilettenbrille aufnehmen. Weiter muss er beim Absaugen der gebrauchten Folie und dem Neubestücken der Toilettenbrille mit einer neuen Folie diese komplett abdecken, damit dieser Vorgang für den Benutzer kein Verletzungsrisiko darstellen kann und die jetzt bei Vakuumtoiletten vorhandene Lärmbelastung gedämmt wird. Zu diesem Zweck ist es erforderlich, dass der Deckel in seiner unteren Stellung verriegelbar ist. Diese Verriegelung soll am Scharnier des Deckels erfolgen.

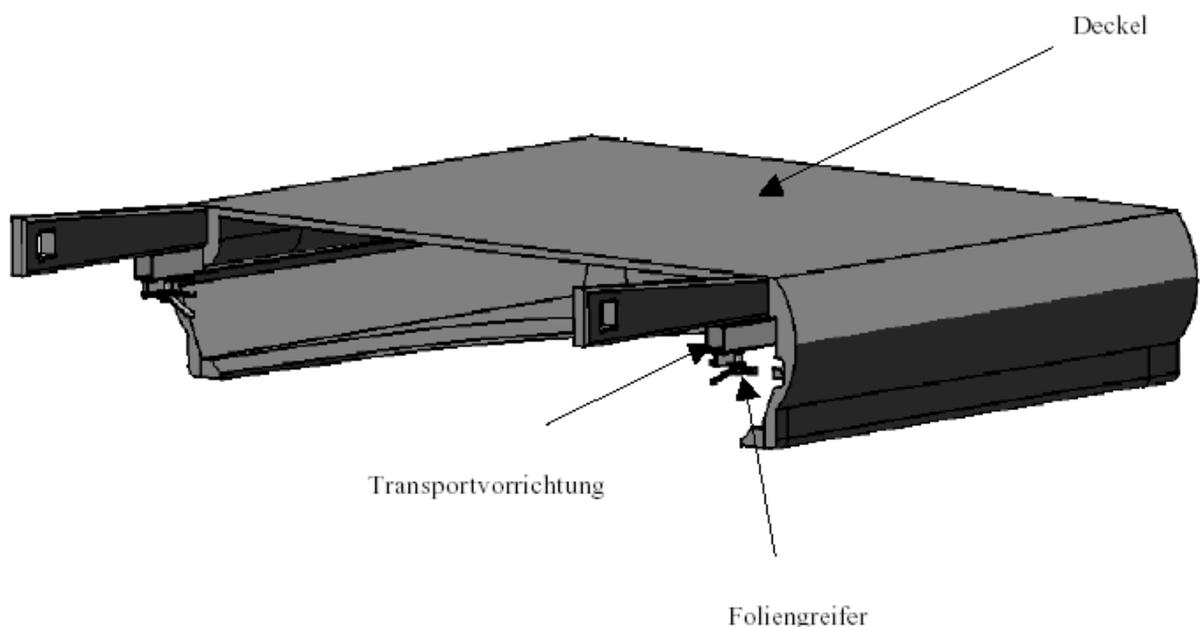
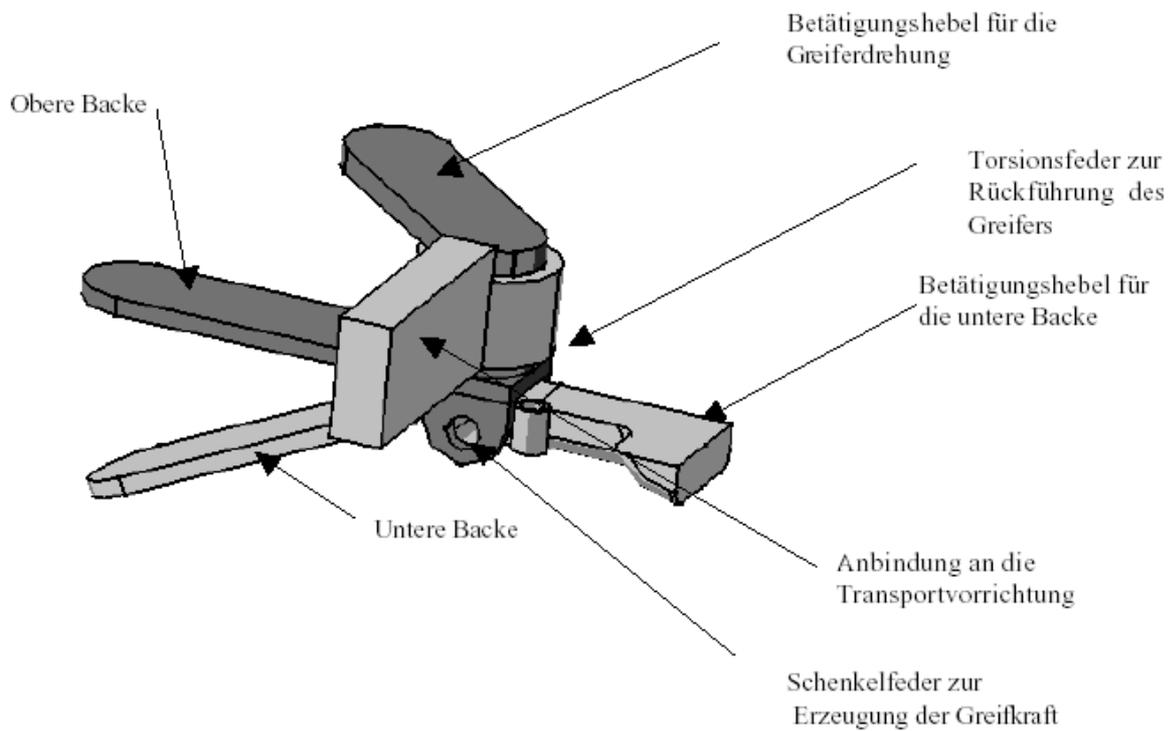


Abb. 10-18: Deckel mit Transportvorrichtung

10.4.2.1 DER FOLIENGREIFER

Der Foliengreifer (siehe Abb. 10-19) wird auf beiden Seiten an der Transportvorrichtung befestigt. Dieser wird beim Prototyp durch einen kolbenstangenlosen Pneumatikzylinder realisiert und soll hier nicht näher beschrieben werden. In späteren Baustufen kann diese Funktion auch zum Beispiel durch eine elektrisch angetriebene Spindel realisiert werden.

**Abb. 10-19: Foliengreifer**

Die Aufgaben des Foliengreifers in Zusammenarbeit mit der Transportvorrichtung sind:

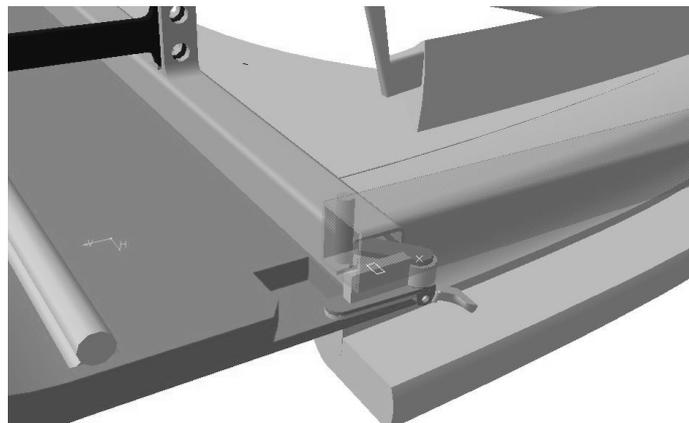
- Die Folie aufnehmen
- Die Folie im vorderen Bereich beim Transport straffen
- Transport der Folie in ihre Endposition
- Positionierung der folgenden Folie in der Greifposition

Alle vorgenannten Aufgaben sollen rein mechanisch realisiert werden. Die dazu notwendigen Schritte sind in Abb. 10-20 bis Abb. 10-23 dargestellt.

Schritt 1:

Heranfahen des Greifers an den Anschlag für die Drehung und die Kulisse für die Öffnung des Greifers.

(Die Kulisse für die Öffnung des Greifers ist in diesem Bild nicht zu sehen, da sie im Deckel integriert ist.)

**Abb. 10-20: Greifschritt I**

Schritt 2:

Öffnen und Drehen des Greifers

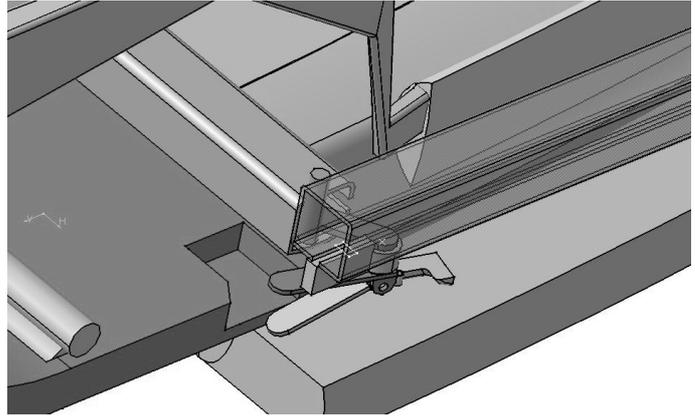


Abb. 10-21: Greifschritt II

Schritt 3:

In der Endstellung ist die Kulissee im Deckel so konturiert, dass der Greifer federgetrieben zuschnappt und damit die Folie greift.

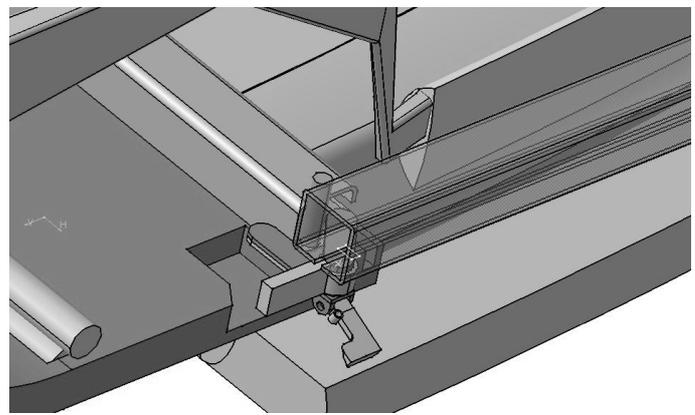


Abb. 10-22: Greifschritt III

Schritt 4:

Da die Folie auf beiden Seiten gegriffen wird, bleiben die Greifer auch nach dem Verlassen der Anschläge in der Transportstellung. Wenn die Endstellung der Folie erreicht ist, wird der Klemmrahmen heruntergefahren und dadurch die Folie aus dem Greifer herausgezogen. Die Greifer drehen sich dann von der Torsionsfeder getrieben in ihre Neutralstellung

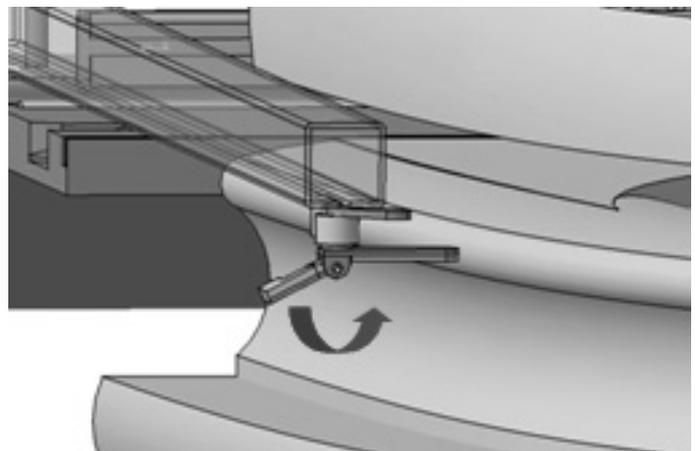


Abb. 10-23: Greifschritt IV

Beim Vortransportieren der Folie wird der Greifer das Bestreben haben, sich wieder in seine Ruhestellung zu drehen (siehe Abb. 10-24). Um das Maß dieser Verdrehung bestimmen zu können, soll diese mit der folgenden Rechnung bestimmt werden.

$$F_{Folie,quer} = F_{Pneumatikzylinder} \times \tan(\alpha)$$

$$F_{Folie,Zug} = F_{Pneumatikzylinder} \times \cos(\alpha)$$

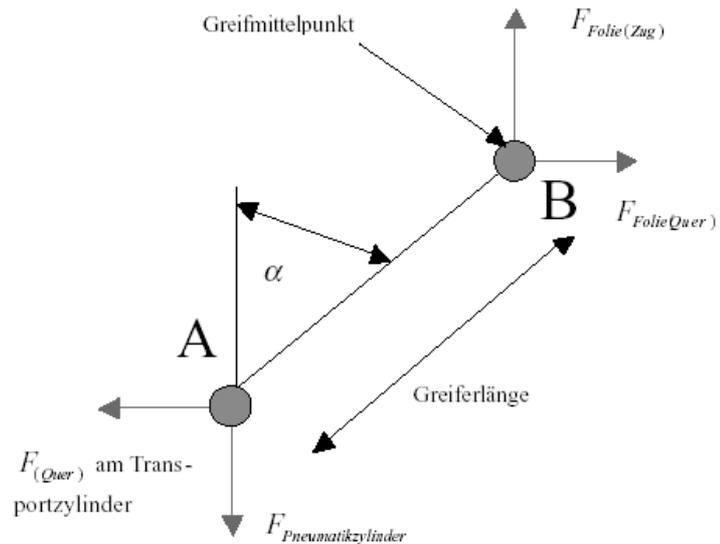


Abb. 10-24: Kräfteverhältnisse am Greifer

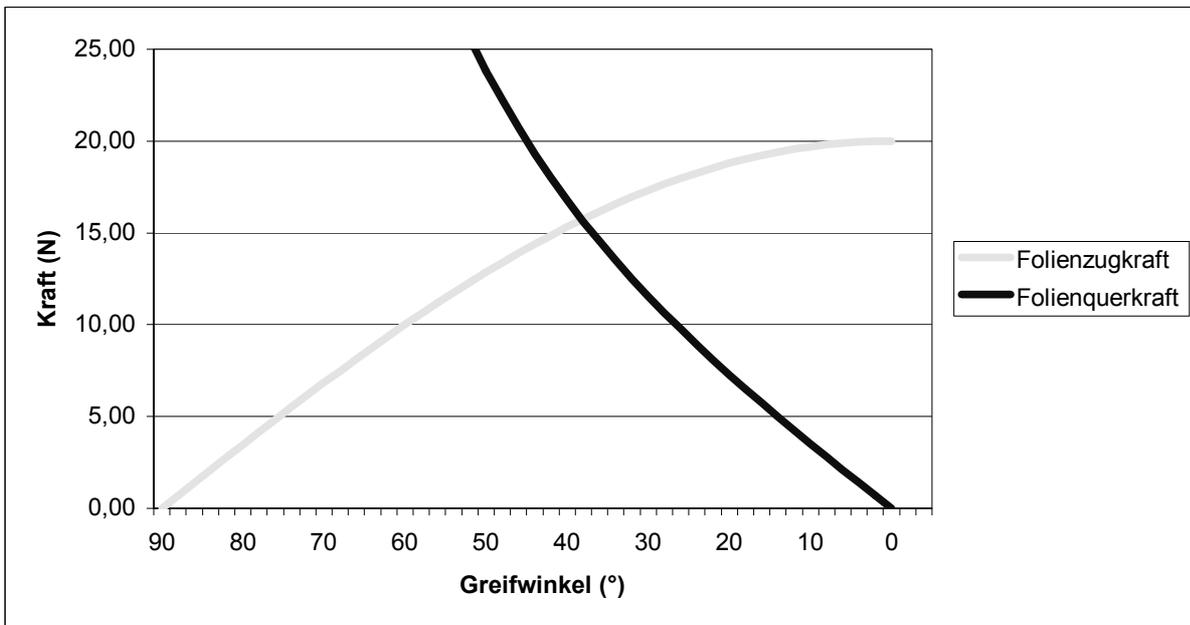


Abb. 10-25: Greiferkräfte an der Folie bei 20 N Zugkraft am Pneumatikzylinder

Der Graph in Abb. 10-25 zeigt, dass bei einem Greifwinkel von $\alpha = 90^\circ$ die Folie einer starken Querkraft ausgesetzt sein wird. Da die Folie aber eine Dehnfähigkeit von ca. 6 % aufweist, kann dieses für die ersten Versuche akzeptiert werden. Wenn sich bei diesen Versuchen herausstellen sollte, dass es bei den auftretenden Kräften während des Transports zu einer Überdehnung ($>6\%$) der Folie kommt, könnte der Greifwinkel α insoweit angepasst werden, dass die Überdehnung vermieden wird. Bei einer Veränderung des Greifwinkels von $\alpha = 90^\circ$ auf $\alpha = 80^\circ$ ergibt sich nach Abb. 10-26 ein maximal möglicher Verdrehwinkel von 44° . Dieser ermöglicht nach Abb. 10-25 eine Folienzugkraft von 14 N pro Greifer.

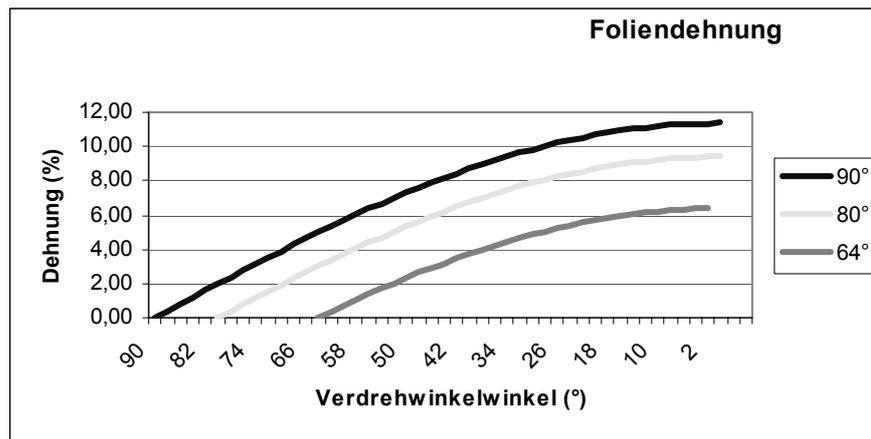


Abb. 10-26: Foliendehnung

10.4.3 DAS TECHNIKGEHÄUSE

Die dritte Baugruppe ist das Technikgehäuse. Es beinhaltet alle Bauteile, die das Klemmen der Folie ermöglichen und die Verriegelung des Deckels in der offenen und in der geschlossenen Stellung verwirklichen. Da der Klemmrahmen mit der dazugehörigen konturierten Toilettenbrille fest mit der Mechanik im Technikgehäuse verbunden ist, wird er auch in diese Baugruppe mit eingereiht. Die Antriebe für die Betätigung des Klemmrahmens, des Niederhalters und des Messers gehören auch in diese Baugruppe. Sie sollen hier jedoch nicht dargestellt werden, da sie beim Prototypen mit Standardpneumatikbauteilen realisiert werden sollen, die von der Firma Timmer in die Fertigungszeichnungen eingefügt werden. Eine Übersicht aller Bauteile ist in Abb. 10-27 zu sehen.

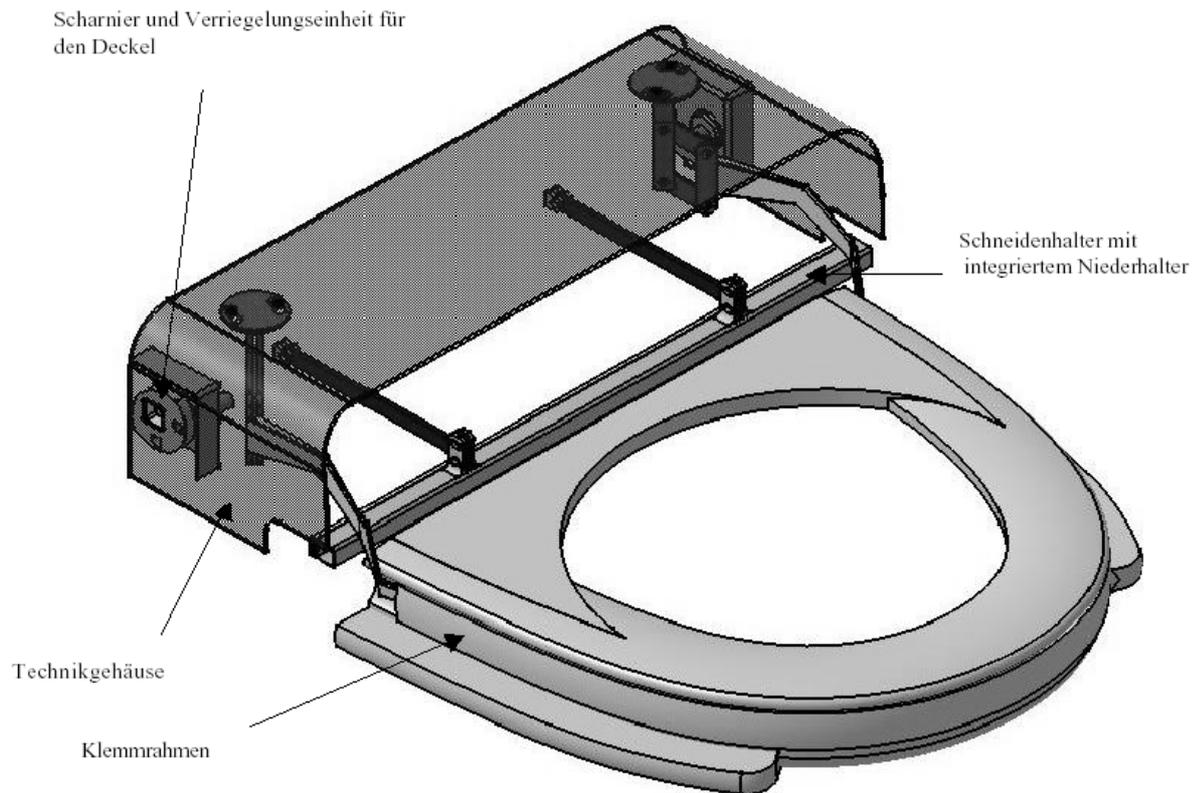


Abb. 10-27: Technikgehäuse mit Toilettenbrille

10.4.4 DIE TOILETTENBRILLE

Die Toilettenbrille (siehe Abb. 10-28) soll in erster Linie die Funktion einer herkömmlichen Brille erfüllen. Des Weiteren muss sie die Aufnahme des Klemmrahmens ermöglichen und eine Auflage für den Deckel enthalten, damit dieser während des Greifens der Folie eine klar definierte Position hat. Außerdem muss die Einleitung der Gewichtskraft des Benutzers in die Toilettenschüssel durch die Toilettenbrille erfolgen.

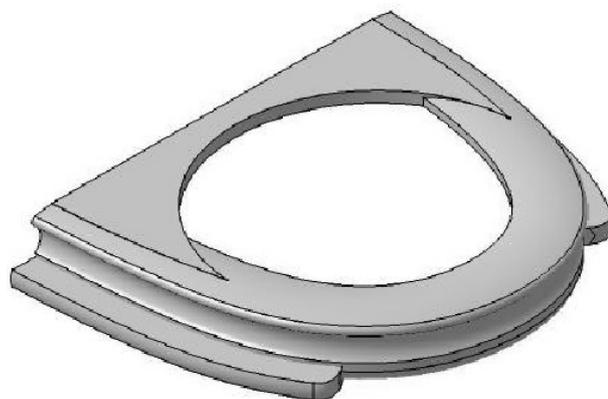


Abb. 10-28: Toilettenbrille

10.4.4.1 DER KLEMMRAHMEN MIT STEUERUNG

Der Klemmrahmen soll die wichtige Funktion des Fixierens der Folie auf der Außenkontur der Toilettenbrille erfüllen. Bei der Auslegung des Rahmens ist zu beachten, dass er sich in der Klemmstellung der Kontur der Toilettenbrille anpasst, um den Benutzer nicht zu stören und ein angenehmes Aussehen abzugeben. Um wenig Bauraum zu beanspruchen, soll er in seiner obersten Stellung nicht zu weit nach vorn und zur Seite über die Kontur der Brille herausragen.

Diese Forderungen werden am besten mit einer Parallelogrammmechanik erfüllt. Die Abb. 10-29 bis Abb. 10-32 zeigen den Klemmrahmen mit seiner Ansteuerung durch das Parallelogramm. Mit einer Excel-Tabelle (siehe Tab. 10-6) soll jetzt die Geometrie und die Anordnung der Ansteuerungsmechanik des Klemmrahmens ermittelt werden.

Die Breite des Klemmrahmens beträgt ca. 8mm. Da er in der Klemmposition um dieses Maß in die Brille hineinragt, muss er also mindestens um diesen Wert in horizontaler Richtung aus seiner Klemmlage herausgefahren werden. In dem Prototyp ist es angedacht, dass die Nut in der Brille rundum dieselbe Geometrie hat, und damit nach vorn und seitlich den gleichen horizontalen Fahrweg fordert. Daraus folgt ein Einbauwinkel des Parallelogramms von 45° (siehe Abb. 10-27). Um den horizontalen und vertikalen Fahrweg des Klemmrahmens zu bestimmen, kann in dem Excel-Programm die Hebellänge variiert werden und dann in Abhängigkeit von dem Winkel des Hebels in der Klemmposition der vertikale und der horizontale Fahrweg abgelesen werden. Durch Variation der Parameter hat sich herausgestellt, dass eine Hebellänge von 50 mm und ein Hebelwinkel von 40 ° in der Klemmposition für die Konstruktion ideal ist. Wenn das Parallelogramm aus dieser Stellung dann um 80 Grad nach oben fährt, ergibt sich ein vertikaler Fahrweg von 75,4 mm. Daraus folgt in dieser oberen Stellung ein ausreichender Platz unter dem Rahmen für den Vortransport der Folie.

Winkel in ° und RAD		x	y	x1	y1	Verfahrweg horizontal (nach vorn)	Verfahrweg horizontal (zur Seite)	Verfahrweg vertikal
-60°	-1,05	25,02	-43,29	17,70	17,69			
-50°	-0,87	32,16	-38,29	22,75	22,73			
Klemmposition:								
-40°	-0,70	38,31	-32,13	27,10	27,08			
-30°	-0,52	43,31	-24,99	30,64	30,61	3,53mm	3,53mm	7,14mm
-20°	-0,35	46,99	-17,09	33,24	33,21	6,14mm	6,13mm	26,20mm
-10°	-0,17	49,24	-8,68	34,83	34,80	7,73mm	7,72mm	34,61mm
0°	0,00	50,00	0,00	35,37	35,34	8,27mm	8,26mm	43,29mm
10°	0,17	49,24	8,68	34,83	34,80	7,73mm	7,72mm	51,97mm
20°	0,35	46,99	17,09	33,24	33,21	6,14mm	6,13mm	60,38mm
30°	0,52	43,31	24,99	30,64	30,61	3,53mm	3,53mm	68,28mm
40°	0,70	38,31	32,13	27,10	27,08	0,00mm	0,00mm	75,41mm
50°	0,87	32,16	38,29	22,75	22,73			
60°	1,05	25,02	43,29	17,70	17,69			

Ergebnis:

Hebellänge:	50mm
Einbauwinkel:	45mm

Tab. 10-6: Bestimmung der Parallelogrammgeometrie

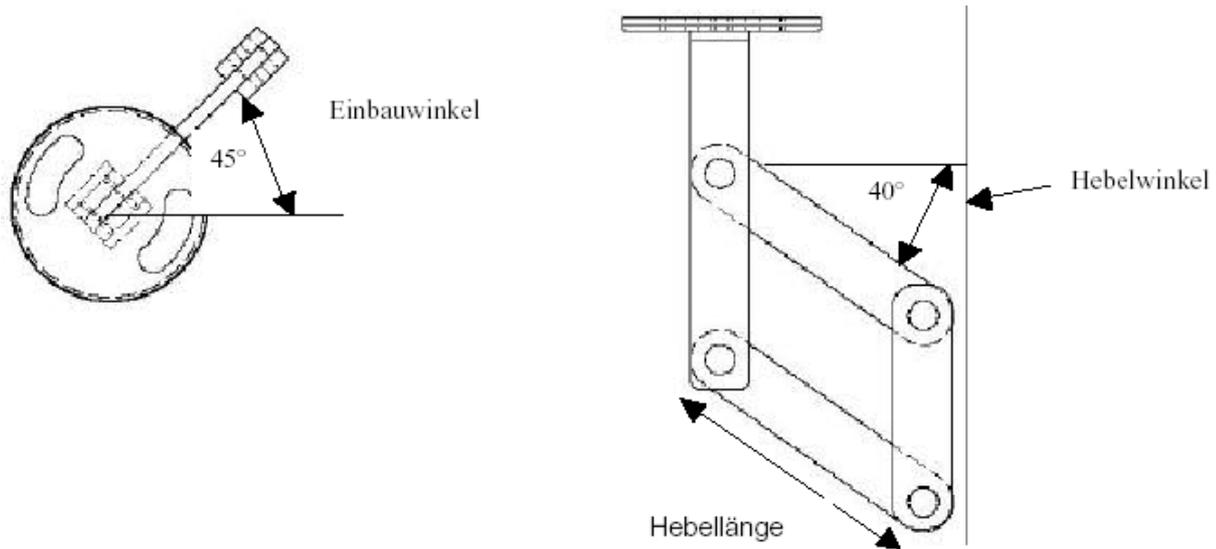


Abb. 10-29: Parallelogrammgeometrie

In Abb. 10-30 ist der Klemmrahmen mit seiner Ansteuerung in seiner Klemmposition (-40 °) dargestellt.

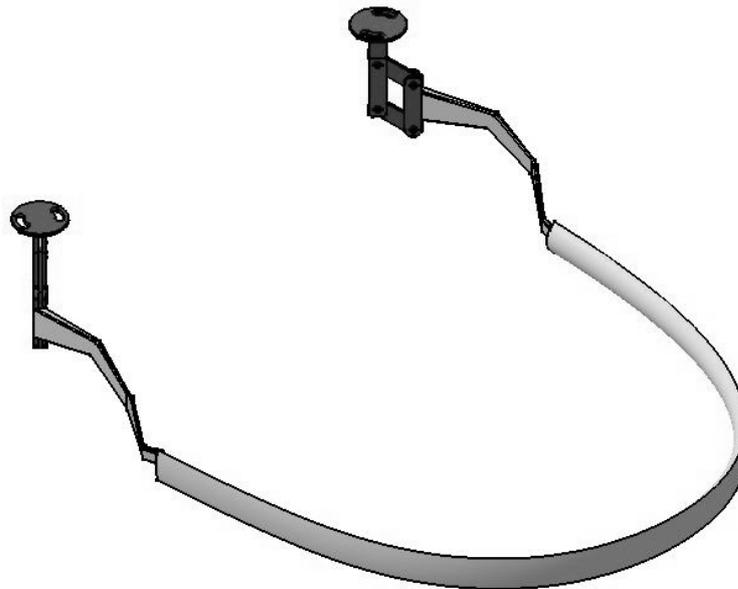


Abb. 10-30: Klemmrahmen mit Steuerung

Die Abb. 10-31 zeigt den Klemmrahmen in seiner oberen Stellung (40 °). In dieser Position kann die frische Folie unter dem Rahmen durch die Transportvorrichtung in die Klemmposition gezogen werden.

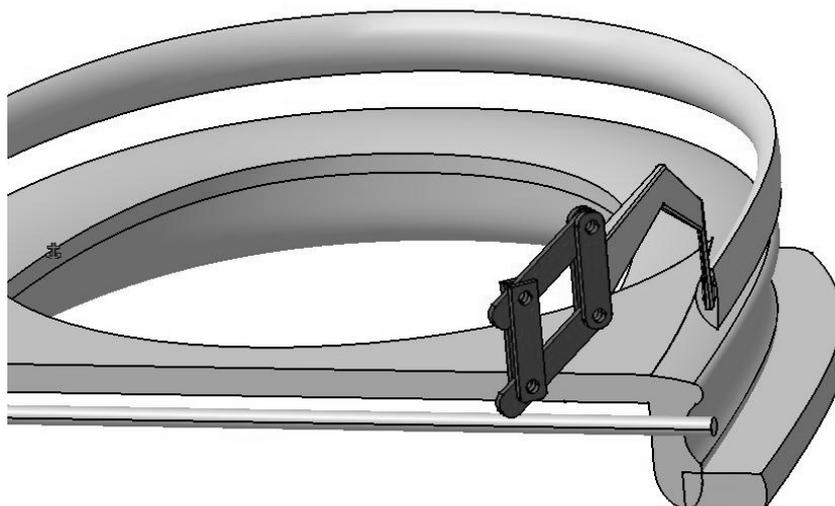


Abb. 10-31: Klemmrahmen in der oberen Stellung

Die Bauteillage im Zusammenspiel zwischen Klemmrahmen und Toilettenbrille beim Klemmen der Folie gibt Abb. 10-32 wieder.

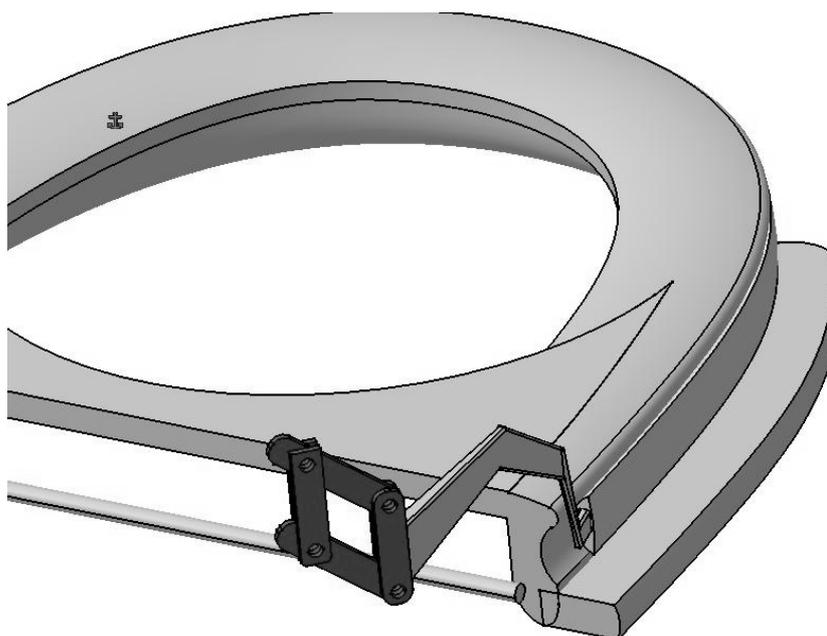


Abb. 10-32: Klemmrahmen in der Klemmstellung

10.4.4.2 DER SCHNEIDENHALTER MIT KOMBINIERTEM FOLIENNIEDERHALTER

Der Schneidenhalter (siehe Abb. 10-33) beinhaltet einen kolbenstangenlosen Pneumatikzylinder, der das Messer für die Folientrennung bewegen soll. Der gesamte Schneidenhalter wird mit einem zweiten Pneumatikzylinder um den Drehpunkt des Schneidenhalters rauf und runter bewegt. In der oberen Stellung befindet er sich nur während des Transportvorgangs der Folie. Durch den zweigeteilten Aufbau des Niederhalters ist es möglich, die Schneide für die Trennung der Folie zwischen den

beiden Teilen anzuordnen, und damit gleichermaßen die Trennung der sich in Gebrauch befindenden Folie vom Folienstrang und das sichere Halten aller nach der Trennung vorhandenen Folienteile zu gewährleisten.

Um eine Verschmutzung des Technikgehäuses während der Benutzung der Toilette zu verhindern, kann an dem Niederhalter eine flexible Abdeckung angebracht werden, die beim Herunterfahren das Gehäuse nach vorn abdichtet.

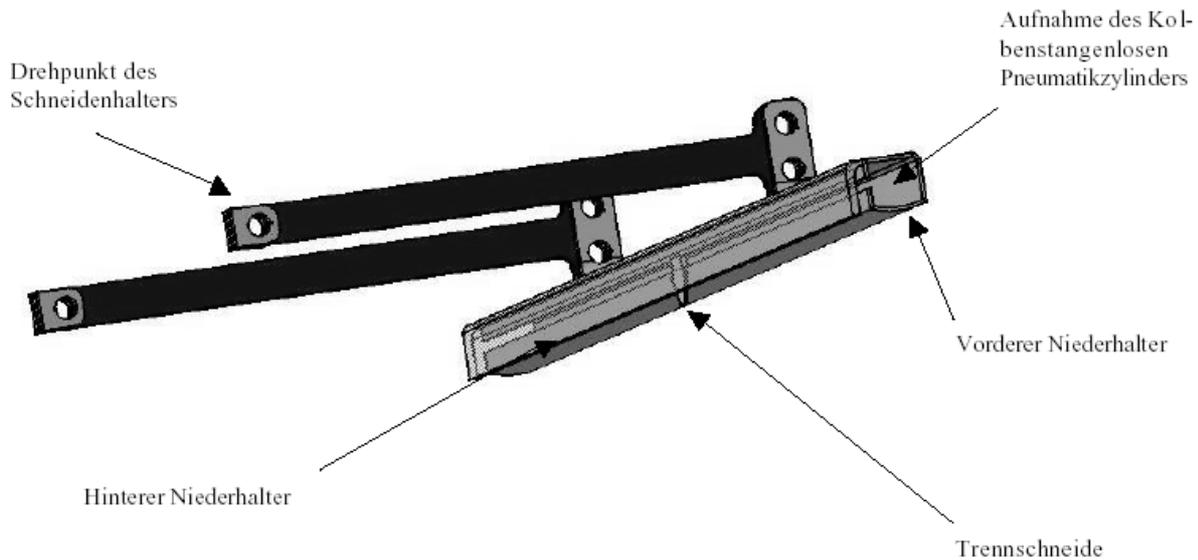


Abb. 10-33: Niederhalter mit Schneidenaufnahme

10.4.4.3 DECKELVERRIEGELUNG

Die Deckelverriegelung (siehe Abb. 10-34) hat in erster Linie die Aufgabe, den Toilettendeckel in seiner unteren Stellung gegen nicht autorisiertes Öffnen zu sichern, damit eine Verletzung des Benutzers ausgeschlossen werden kann und der Prozess des Folienaustausches nicht gestört wird. Da der Deckel in seiner oberen Position vor dem Todpunkt (85° Öffnungswinkel) mit der Verriegelung gehalten werden soll, kann mit dem Verriegelungsbolzen als weitere Funktion der Absenkvorgang des Deckels eingeleitet werden. Die Betätigung der Verriegelung soll über einen Elektromagneten erfolgen, der von der Toilettensteuerung seine Signale erhält.

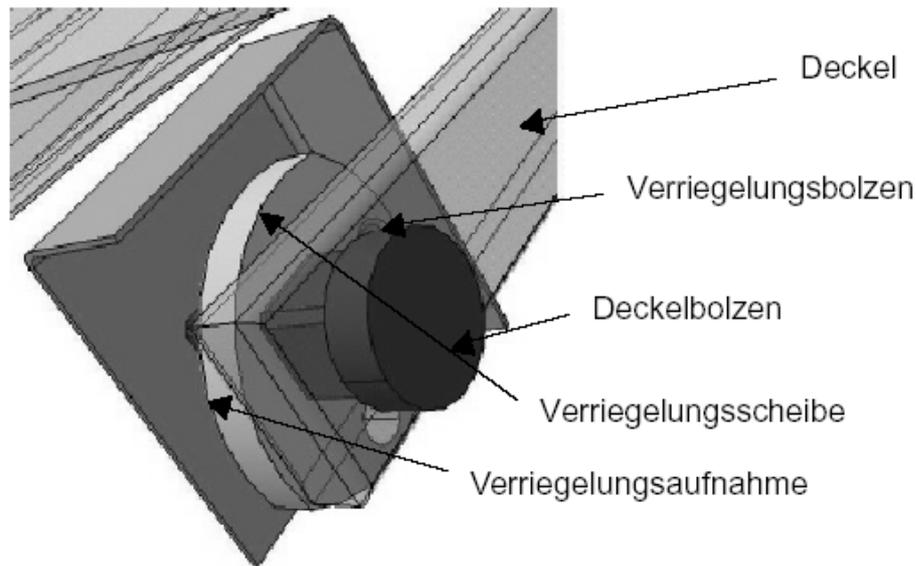


Abb. 10-34: Deckelverriegelung

Dimensionierend für die Verriegelung ist das Moment, welches auf den Deckelbolzen wirkt, während ein Benutzer mit den üblichen Handkräften versucht, den verriegelten Deckel zu öffnen (siehe Abb. 10-35). Um zu überprüfen, ob mit der geplanten Kantenlänge a des Deckelbolzens das zu erwartende Moment übertragbar ist, soll der Nachweis hier nun für das Bolzenmaterial 17CrNiMo6 (Einsatzstahl nach DIN EN 10084) geführt werden. Laut *Airbus 2000 Technical Note EMA-663/99* ist am Toilettendeckel mit einer maximalen Handkraft von 900 N auszugehen.

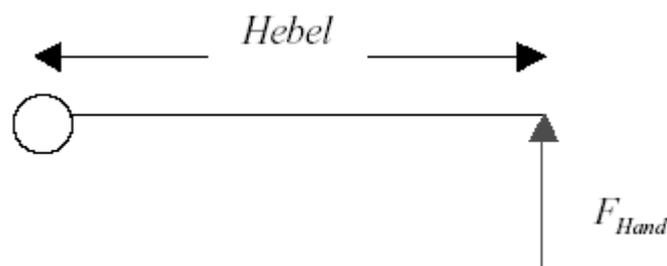


Abb. 10-35: Kräftegleichgewicht Deckelverriegelung

$$\tau_{Zul.} = 575 \frac{N}{mm^2}$$

$$Hebel = 493mm$$

$$F_{Hand} = 900N$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{F_{Hand} * Hebel}{0,208 * \tau_{Zul.}}} = \sqrt[3]{\frac{900N * 493mm}{0,208 * 575 \frac{N}{mm^2}}} = 15,48mm$$

In der Konstruktion wird von einem Bolzen mit einer Kantenlänge von 16mm ausgegangen. Dies führt bei der Verwendung des Einsatzstahls zu einer Sicherheitsreserve von 10%. Da im Technikgehäuse noch Platz für einen Bolzen mit einer größeren Kantenlänge vorhanden ist, könnte auch ein Material mit einer geringeren Festigkeit zum Einsatz kommen.

10.4.5 ZUSAMMENBAU DER BAUGRUPPEN

In Abb. 10-36 werden jetzt alle Baugruppen in ihrem zusammengebauten Zustand dargestellt. Wie am Anfang dieses Kapitels erwähnt, sind die Antriebe hier nicht vorhanden, da diese von der Firma Timmer beim Bau des Prototypen integriert werden.

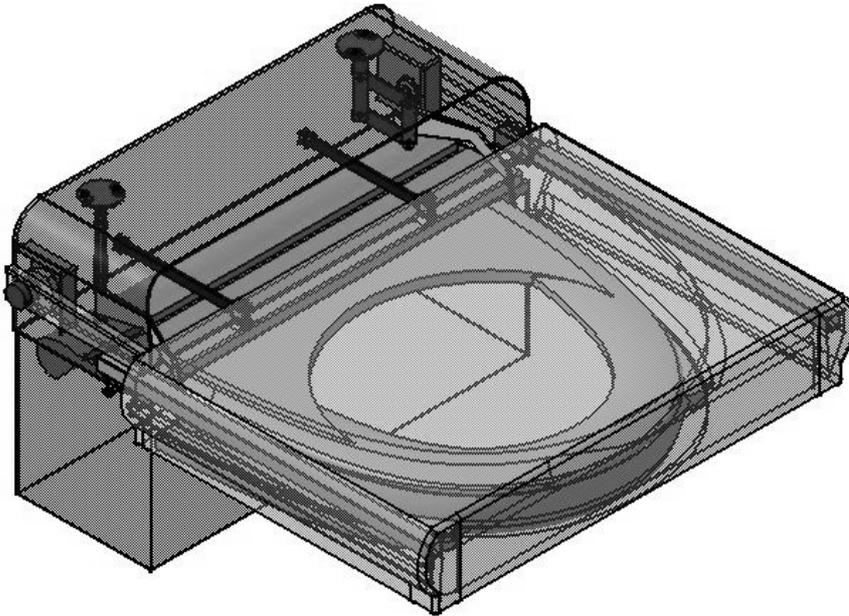


Abb. 10-36: Geschlossenes Toilettenmodul

10.5 BETRIEBZUSTÄNDE DES TOILETTENMODULS

Die folgenden drei Betriebszustände muss das Toilettenmodul ermöglichen:

10.5.1 NORMALBETRIEB

Der Normalbetriebszustand gibt im Wesentlichen die Funktionsschritte aus Kapitel 10.1 wieder:

- Der Benutzer findet die Toilette im einsatzklaren Zustand vor (Deckel ist entriegelt; die Folie bedeckt die Toilettenbrille und die Toilettenschüssel).
- Das Betätigen des Spülknopfes löst die Absenkung des Deckels aus (wenn dieser nicht schon manuell geschlossen wurde).
- Der Deckel wird in seiner unteren Stellung verriegelt.
- Verfahren der Greifer in ihre Greifposition.
- Der Klemmrahmen wird in seine obere Position gefahren.
- Bewegung des Niederhalters in seine obere Position.
- Die gebrauchte Folie wird abgesaugt.

- Transport der neuen Folie über die Toilettenbrille.
- Der Niederhalter klemmt die Folie ein.
- Die Folie wird abgetrennt.
- Der Klemmrahmen zieht die Folie durch Herunterfahren aus den Greifern heraus und streift sie über die Toilettenbrille bevor er sie hier einklemmt.
- Der Folienbeutel wird durch kurzes Öffnen des Toilettenabsaugventils mit dem flugzeugseitig vorhandenen Vakuum in die Toilettenschüssel gezogen.
- Die Verriegelung wird freigegeben.

Neben dem Normalbetriebszustand, welcher im Wesentlichen aus der Benutzung des Toilettenmoduls und dem Wechsel der Folie besteht, müssen jetzt noch einige Zustände betrachtet werden, die für den Service notwendig sind:

10.5.2 REINIGUNGSSTELLUNG

Da die Toilette in ihrer geöffneten Stellung im Normalzustand mit einer Folie überzogen sein wird und der Klemmrahmen dann in seiner unteren Stellung ist, muss für die Reinigung eine spezielle Stellung vorgesehen werden. Diese muss vom Reinigungspersonal mit einem Schlüsselschalter eingestellt werden können und eine Stellung der Bauteile wie in Abb. 10-37 bewirken:

- Verfahren des Klemmrahmens in seine obere Stellung
- Absaugen der vorhandenen Folie
- Verfahren des Niederhalters in seine obere Stellung
- Entriegelung des Deckels (Deckel wird manuell geöffnet)

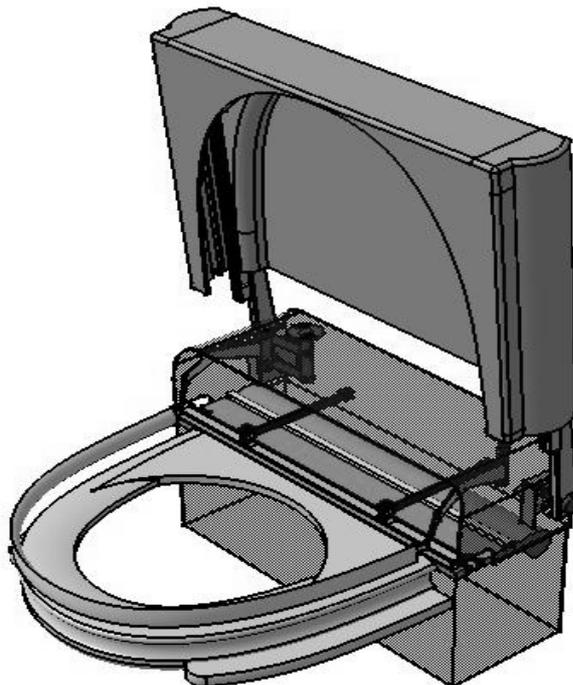


Abb. 10-37: Toilettenmodul in der Reinigungsposition

10.5.3 NACHFÜLLEN VON FOLIENMATERIAL

Ein weiterer Betriebszustand ist das Neubefüllen des Toilettenmoduls mit neuem Folienmaterial. Die dafür notwendigen Stellungen der einzelnen Bauteile sind in Abb. 10-38 dargestellt. Diese Funktion darf ebenso wie die Reinigungsfunktion nur mit einem Schlüssel aktivierbar sein, um einen Missbrauch ausschließen zu können. Das Auffüllen soll wie folgt ablaufen:

- Verfahren des Klemmrahmens in seine obere Stellung.
- Wenn das Magazin noch nicht ganz leer ist, muss die vorhandene Folie abgesaugt werden (Das Vorhanden- bzw. Nicht-Vorhandensein muss sensorisch erfasst werden).
- Das Technikgehäuse wird nach seiner Entriegelung inklusive dem Deckel und dem Klemmrahmen zur Seite geklappt.
- Die Zuführung wird nach vorn geklappt.
- Das Magazingehäuse liegt frei → Das verbrauchte Magazin kann durch ein neues ersetzt werden, wobei der Folienanfang aus dem Magazingehäuse herausragt.
- Die Zuführung wird heruntergeklappt.
- Der Folienbeginn wird auf die Zuführung in Greifposition gelegt.
- Das Technikgehäuse wird wieder heruntergeklappt (Hierbei erfolgt die Fixierung der Folie zwischen der oberen und der unteren Führungsrolle und zwischen dem Niederhalter und der Zuführung).
- Der erste Folienbeutel wird wie beim Normalbetriebszustand in Benutzungsstellung gebracht.

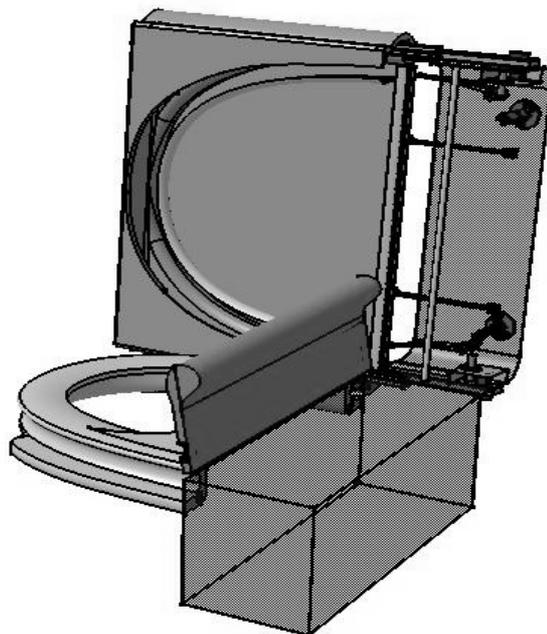


Abb. 10-38: Toilettenmodul in der Foliennachfüllposition

Die Nachfüllfunktion kann gleichfalls als Störbehebungsfunktion verwendet werden, da in dieser Stellung alle Bauteile des Moduls gut zugänglich sind.

10.6 STEUERUNG DES TOILETTENMODULS

Die Steuerung des Toilettenmoduls soll durch die Steuerungssoftware DasyLab in Verbindung mit dem Messkoffer Mmkof – 16S12 von IBD realisiert werden. Dieses System verfügt über eine Reihe digitaler und analoger Ein- und Ausgänge, die für die Ansteuerung der Antriebe und die Abfrage der Sensoren genutzt werden sollen. Weiter können in der Testphase verschiedene physikalische Größen wie beispielsweise Drücke oder Kräfte aufgenommen werden, um mit diesen Werten dann später die Steuerung optimieren zu können.

Für die Realisierung der Steuerung des Prototypen sollen jetzt die einzelnen Ablaufschritte des Prototypen im Standardbetrieb analysiert werden.

1.Schritt: Automatisches Absenken des Deckels durch das Lösen seiner Arretierung in der oberen Stellung.

Aktiviert wird die Absenkung des Deckels durch den Benutzer beim Betätigen des Spülknopfes. Da der Deckel schwerkraftgetrieben seine geschlossene Stellung erreichen soll, ist eine Sicherheitsabfrage nach einer möglichen Belegung der Toilettenbrille nicht notwendig. Wenn bei besetzter Toilette ein Spülvorgang ausgelöst werden sollte, würde sich der relativ leichte Deckel in Richtung des Benutzers bewegen. Dieser könnte dann mit wenig Kraftaufwand den Deckel zurück in seine obere Position bringen und ihn dort in seine gesicherte Position einrasten lassen.

2.Schritt: In der geschlossenen Position muss der Deckel gegen nicht autorisiertes Öffnen verriegelt werden.

Dieser Vorgang kann erst eingeleitet werden, wenn der Toilettendeckelpositionsschalter das Signal „geschlossen“ gegeben hat.

3.Schritt: Verfahren der Greifer in ihre Greifposition.

Sobald die Verriegelung des Deckels sensorisch erfasst worden ist, bewegen sich die Greifer bis in ihre hinterste Stellung, wo sie dann durch ihre Mechanik die neue Folie aufnehmen. Dieser Vorgang muss vor dem Entfernen der gebrauchten Folie erfolgen, weil durch den noch abgesenkten Niederhalter zu diesem Zeitpunkt die Folie noch sicher in der Greifposition liegt.

4. Schritt: Der Klemmrahmen wird in seine obere Position gefahren.

Der Antrieb des Klemmrahmens darf erst aktiviert werden, wenn sich die Greifer in der Greifstellung befinden.

5.Schritt: Bewegung des Niederhalters in seine obere Position.

Dieser Schritt kann entweder nach dem Lösen des Klemmrahmens erfolgen oder gleichzeitig mit diesem Schritt.

- 6. Schritt:** Das Spülventil wird kurz geöffnet, um die benutzte Folie abzusaugen.
- Der auslösende Impuls kommt vom oberen Endschalter des Niederhalters. Die Öffnungszeit des Ventils richtet sich nach dem anliegenden Vakuum, welches in Abhängigkeit von der Flughöhe zwischen 0,3 bar und 0,6 bar variiert. Weiter muss die Position der Toilette im Flugzeug bei der Einstellung der Absaugzeit beachtet werden. Dabei gilt grundsätzlich: Je weiter die Toilette vom Wastetank entfernt ist, desto länger muss das Spülventil geöffnet sein.
- 7. Schritt:** Transport der neuen Folie über die Toilettenbrille.
- Sobald das Spülventil seine geschlossene Stellung signalisiert hat, werden die Pneumatikzylinder angesteuert, um mit den daran befestigten Greifern die Folie über die Toilettenbrille zu transportieren. Das Transportende der Zylinder wiederum wird durch Markierungen auf dem Folienstrang ausgelöst, die sicherstellen sollen, dass die nachfolgende Folie innerhalb noch zu bestimmender Toleranzen in ihrer Greifposition liegt. Hierbei soll es möglich sein, beide Zylinder einzeln anzusteuern, um Toleranzen bei der Folienfertigung auszugleichen.
- 8. Schritt:** Herunterfahren des Niederhalters in die Halteposition.
- Das Folienpositionssignal, welches in Schritt 7 das Stoppen der Transportzylinder auslöst, aktiviert in diesem Schritt den Niederhalter.
- 9. Schritt:** Abtrennen der vortransportierten Folie vom Folienstrang.
- Wenn der zweigeteilte Niederhalter seine Halteposition erreicht hat und sein Endschalter sein Signal gegeben hat, kann die vortransportierte Folie vom Folienstrang abgetrennt werden, weil sie vom vorderen Teil des Niederhalters fixiert wird. Die Trennung zu diesem Zeitpunkt hat den weiteren Vorteil, dass eine mögliche Verschiebung der Folie auf der Toilettenbrille beim Klemmvorgang mit dem Klemmrahmen keinen Einfluss auf die nächste Folie in Greifposition hat (Erhöhung der Betriebssicherheit).
- 10. Schritt:** Herunterfahren des Klemmrahmens.
- Die Endposition des Messerantriebspneumatikzylinders löst den Antrieb des Klemmrahmens aus. Dieser zieht dann beim Herunterfahren die Folie aus den Greifern heraus und streift diese über die Toilettenbrille, wo er sie dann einklemmt.
- 11. Schritt:** Öffnen des Spülventils zum Positionieren des Folienbeutels in der Toilettenschüssel.
- Der untere Endschalter des Klemmrahmens aktiviert für eine vordefinierte Zeit die Öffnung des Spülventils, um mit dem dann in der Toilettenschüssel wirkenden Vakuum den Folienbeutel hier zu positionieren. Die Öffnungszeit des Ventils muss in den noch durchzuführenden Tests ermittelt werden. Dabei wird diese Zeit in Abhängigkeit von der Flughöhe und damit von dem anliegenden Vakuum variieren müssen.

12. Schritt: Entriegeln des Deckels

Das Signal für diesen letzten Schritt kommt vom Endschalter des Spülventils in seiner geschlossenen Position.

In der Tab. 10-7 sind alle Sensoren aufgelistet, die für die Umsetzung der Steuerung benötigt werden. Bei der Realisierung des Prototypen sollen möglichst viele Mikroschalter zum Einsatz kommen, da diese eine einfache Einstellung der einzelnen Funktionen durch Verschieben ermöglichen. In der Serienfertigung sollte später jedoch vermehrt auf berührungslose Sensoren zurückgegriffen werden.

Nr.	Sensor	Sensortyp		Anzahl
		Mikroschalter	optischer Sensor	
1	Deckelposition oben	X		1
2	Deckelposition unten	X		1
3	Deckelverriegelungspositionsschalter verriegelt	X		1
4	Deckelverriegelungspositionsschalter entriegelt	X		1
5	Greiferendschalter vorn	X		2
6	Greiferendschalter hinten	X		2
7	Klemmrahmenendschalter oben	X		1
8	Klemmrahmenendschalter unten	X		1
9	Niederhalterendschalter oben	X		1
10	Niederhalterendschalter unten	X		1
11	Folienpositionssensor		X	2
12	Messerpositionssensor	X		3
13	Spülventilstellungssensor geschlossen			1
14	Spülventilstellungssensor offen	X		1

Tab. 10-7: Sensoren

Der gesamte Steuerungsvorgang wird in Abb. 10-39 als Schaubild dargestellt und soll als Grundlage für die Programmierung des Prototypen dienen.

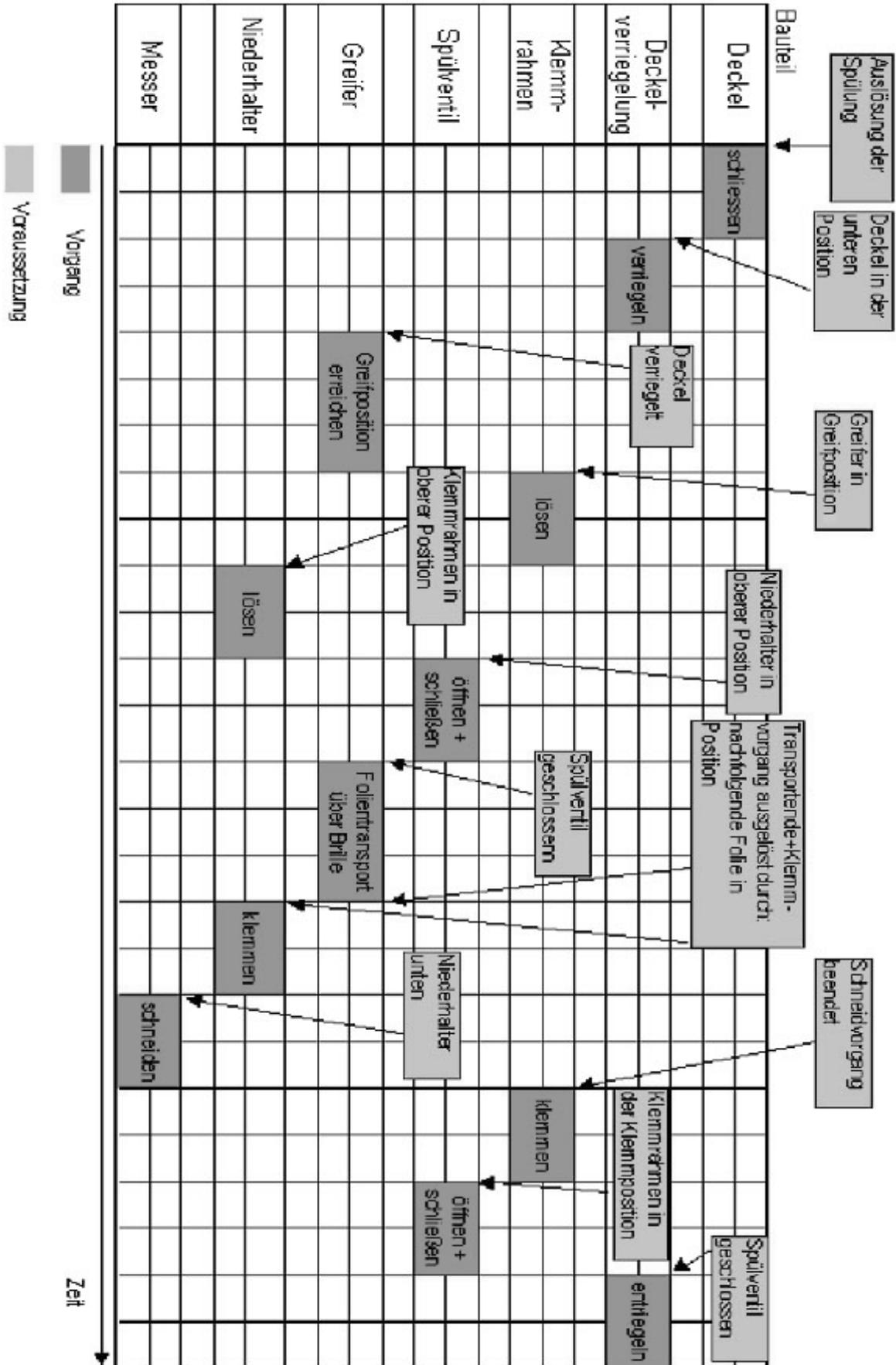


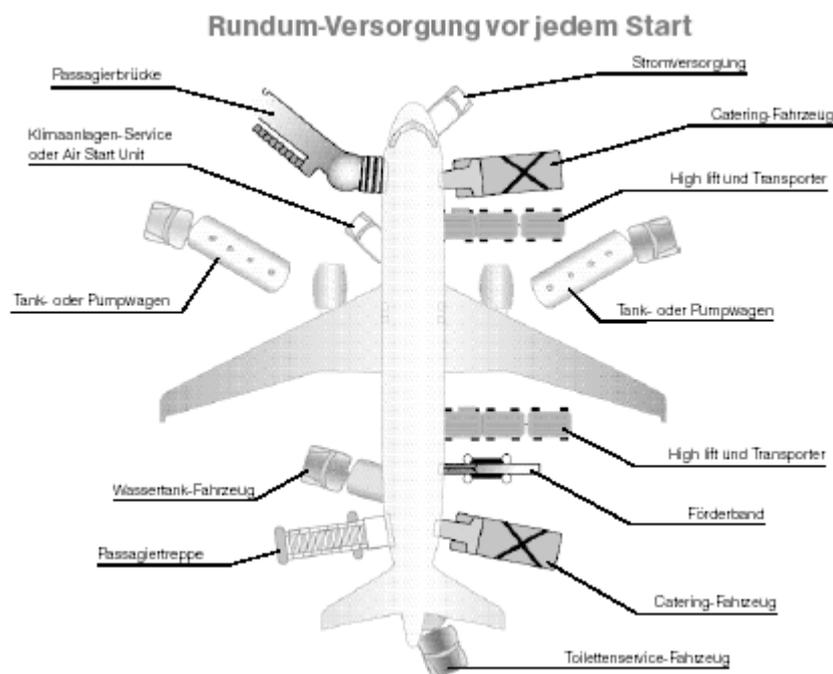
Abb. 10-39: Steuerung

11 ENTSORGUNG DER BORDFÄKALIEN

In diesem Kapitel wird ein allgemeiner Überblick der heutigen Entsorgungswege von Bordfäkalien gegeben. Des Weiteren erfolgt eine Darstellung der Eigenschaften des bisher verwendeten Folienmaterials und eine Auflistung erster Probleme mit dem Material, wobei die umweltrechtliche Seite vorerst ausgeklammert werden soll. Eine umweltrechtliche Betrachtung hinsichtlich der Entsorgung des bisherigen Folienmaterials erfolgt in Kapitel 12.

11.1 ENTSORGUNGSWEGE DER BORDFÄKALIEN

Nach der Landung eines Flugzeuges findet die so genannte Abfertigung statt, bevor die Maschine erneut startet (siehe Abb. 11-1).



Quelle: [Lufthansa – 5]

Abb. 11-1: Rundum- Versorgung vor jedem Start

Ein Punkt auf der Versorgungsliste beinhaltet die Entleerung der Abwasser- oder auch Waste Tanks, die sich im hinteren Bereich des Flugzeuges befinden. Ein spezielles Fäkalienfahrzeug (siehe Abb. 11-2) wird dazu mittels eines Schlauches an das so genannte Waste Service Panel angeschlossen (siehe Abb. 3-7). Dieses befindet sich außen am hinteren Teil des Flugzeugrumpfes an der Unterseite und ist seinerseits durch ein 4-Zoll- Rohr mit den im Flugzeug befindlichen Abwassertanks verbunden. Oft handelt es sich dabei um zwei bis drei Abwassertanks mit jeweils einem Fassungsvermögen von 200 l bis 350 l, wie in der A320 - (zwei), A330 – (optional drei) oder A340 – Familie (drei). In der A380-800 hingegen ist es sogar geplant, vier Abwassertanks einzubauen. Zwei der Tanks werden 350 l fassen können und die anderen zwei jeweils 700 l.



Quelle: [AccuFleet]

Abb. 11-2: Fäkalienfahrzeuge

Im nächsten Schritt bieten sich zwei Möglichkeiten der Verfahrensweise an:

- a) Das Fäkalienfahrzeug entleert die Abwassertanks nach Anschluss an das Waste Service Paneel mit Hilfe der Schwerkraft, d. h. der Inhalt der Tanks wird dem Weg der Schwerkraft folgend abgelassen.
- b) Die Entleerung durch das Fäkalienfahrzeug erfolgt anhand eines angelegten Unterdruckes, mit dessen Hilfe der Inhalt der Abwassertanks herausgesaugt wird.

An vielen Flughäfen wird derzeit noch Variante a realisiert. Das heißt, die Bordfäkalien erreichen nur unter Einfluss der Schwerkraft das Fäkalfahrzeug.

Nach der Entleerung der Abwassertanks erfolgt ebenfalls mit Hilfe des Fäkalfahrzeuges eine Reinigung und Vorfüllung der Waste Tanks mit einer Desinfektionsflüssigkeit. Für diesen Zweck besitzt das Fäkalfahrzeug einen weiteren Behälter, in dem sich eine desinfizierende Chemikalie, die stark verdünnt vorliegt, befindet. Am Flughafen Hamburg wird beispielsweise die Chemikalie „Urbaktol“ verwendet.

In der Regel werden mehrere Flugzeuge entleert, bevor das Fäkalfahrzeug zu einer Entleerungsstation auf dem Flughafengelände fährt. Dabei handelt es sich um eine Art Abwassergrube, über der der Inhalt des Abwasserbehälters abgelassen wird. Meist befindet sich an diesem Ort auch ein Tank mit verdünnter Desinfektionsflüssigkeit, die an dieser Stelle durch den Fahrer des Fäkalienfahrzeuges nachgefüllt werden kann. Die Abwassergrube ist an das öffentliche Kanalnetz angeschlossen, so dass die Abwässer des Flughafens letztendlich in die öffentliche oder städtische Kläranlage gelangen. In seltenen Fällen besitzen Flughäfen eigene Kläranlagen. Weitestgehend werden jedoch die Flughafenabwässer einschließlich der Bordfäkalien, sowohl national als auch weltweit, über öffentliche Kläranlagen entsorgt.

11.2 DAS BISHER VERWENDETE FOLIENMATERIAL

Bisher und in naher Zukunft, d. h. für den ersten und kommenden Prototypen der wasserlosen Toilette, wurden und werden die verwendeten Folien von der Firma Natura bezogen. Diese Folien bestehen aus Maisstärke (Datenblatt siehe Anhang D2), einem biologisch abbaubaren Werkstoff, und sind somit in einer Zeitspanne von ca. drei Wochen zu 100 Prozent kompostierbar. Während des Kompostiervorganges wird die Folie zu Biomasse, Kohlendioxid und Wasser abgebaut. Die Folien wurden durch die

Zertifizierungsgesellschaft DIN Certco nach DIN 54900 (siehe Anhang D3) zertifiziert, wodurch der Nachweis für die 100 Prozent biologische Abbaubarkeit erbracht wurde. Weitere Merkmale der Folie sind die hohe Wasserdampfdurchlässigkeit, eine Resistenz gegen Öl und Fett, die gute Schweißbarkeit und eine relativ hohe Reißfestigkeit. Des Weiteren erfährt das Folienmaterial keine statische Aufladung und vermittelt ein angenehmes Hautgefühl. Außerdem ist dieses Material nicht brennbar.

Die Schweißbarkeit beispielsweise ist wichtig, da die verwendeten Folienbeutel bisher aus zwei Teilen bestehen, der Auflage für die Toilettenbrille und dem Beutel in der Toilettenschüssel, welche durch eine Schweißnaht verbunden sind. Das Folienmaterial darf nicht statisch aufladbar sein, da es mit Haut in Berührung kommt.

Das Material der Folienbeutel hat sich in den Vorversuchen mit dem ersten Prototypen als positiv herausgestellt, ist aber bei näherer Betrachtung mit Problemen behaftet, welche im nächsten Kapitel dargestellt werden.

11.3 PROBLEME DES BISHER VERWENDETEN FOLIENMATERIALS BEI DER ENTSORGUNG

Um die Probleme des herkömmlichen Folienmaterials deutlich zu machen, sollte der gesamte Weg der Folie während des Fluges und nach der Landung betrachtet werden. Für ein besseres Verständnis soll zuerst durch eine Abbildung einen kompakter Überblick des Folienweges gegeben werden (siehe Abb. 3-5). Um die Übersicht zu wahren, wird anschließend eine Gegenüberstellung der einzelnen Wegabschnitte der Folie und der damit verbundenen Probleme in einer Tabelle erfolgen.

Je nachdem, in welchem Bereich sich die Toilette im Flugzeug befindet, kann der Weg, den der Folienbeutel samt Inhalt von der Toilette bis zum Abwassertank zurücklegt, länger oder kürzer ausfallen. In der Regel besitzen die Flugzeuge zwei Abwassertanks, die eher eine stehende zylindrische Form aufweisen. Das Auslassventil für die Fäkalien befindet sich größtenteils bei bisherigen Airbus-Flugzeugen zentral auf dem Boden des Abwassertanks, nicht, wie in Abb. 3-5 dargestellt, an der Seite. Die Abwassertanks der A380-800 werden jedoch das Ablassventil skizzengetreu an der Seite haben.

Wegabschnitte der Folie	Auftretende Probleme
1. Absaugvorgang der Folien-Beutel durch anliegendes Vakuum	Vorversuche mit dem ersten Prototypen haben keine Probleme aufgezeigt
2. Weg durch das Rohrsystem	Halterungen der Rohre können gelockert bzw. beschädigt werden
3. Eintritt des Folien-Beutels in den Abwassertank	Evtl. Verletzung der optischen Sensoren im Abwassertank
4. Entleerung Abwassertank am Flughafen	Verstopfungsgefahr im 4-Zoll-Rohr
5. Einleitung in Kanalisation	Gefahr des Hängenbleibens
6. Einführung in die Kläranlage	Gefahr des Hängenbleibens am Rechen der Kläranlage

Tab. 11-1: Auftretende Probleme in Bezug auf das bisher verwendete Folienmaterial

Im ersten Schritt des Absaugvorganges traten bei den ersten Vorversuchen keine Probleme auf. Der Folienbeutel wurde problemlos mit Hilfe des anliegenden Vakuums abgesaugt. Die 22 µm starken Folien-Beutel zerrissen nur in den seltensten Fällen.

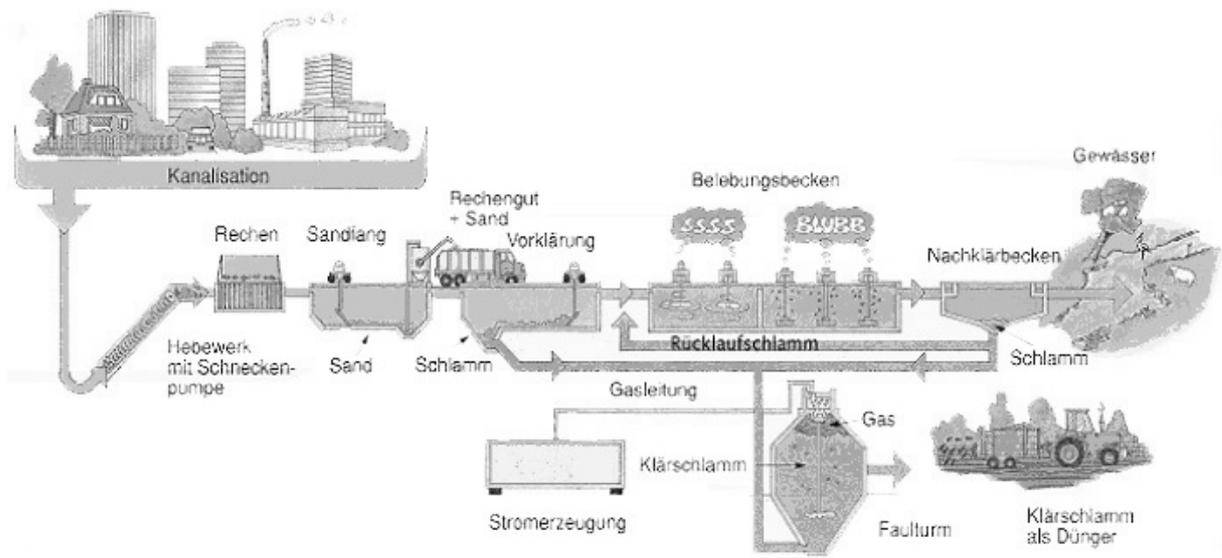
Erste Probleme wurden ersichtlich in Bezug auf das Rohrsystem. Die Folien durchkämmen das Rohrsystem mit einer hohen Geschwindigkeit, so dass die Halterungen des Rohrsystems Schaden nehmen könnten.

Beim Eintritt der Folienbeutel in den Abwassertank können optische Sensoren, beispielsweise für die Füllstandsanzeige, ebenfalls durch die beträchtliche Geschwindigkeit und damit verbundene hohe Kraft der Folienbeutel in Mitleidenschaft gezogen werden.

Ein erstes großes Entsorgungsproblem offenbart sich bei dem Entleerungsvorgang des Waste Tanks. Die Toilette funktioniert ohne Wasser. Das heißt, im Abwassertank befindet sich allein die vorgefüllte Desinfektionsflüssigkeit (entspricht ca. 10-15 % des Tankvolumens), Urin aus den geplatzten Folien und ein pastöses Folien-Beutel-Fäkal-Gemisch. Es ist kein Wasser vorhanden, da das Grauwasser aus den Handwaschbecken nicht in die Abwassertanks eingeleitet, sondern bereits während des Fluges „über Bord“ abgelassen wird. Sollte der Inhalt der Abwassertanks Vakuumgetrieben abgepumpt werden, verläuft die Entleerung mit großer Wahrscheinlichkeit problemlos. Da aber an vielen Flughäfen der Inhalt nur der Schwerkraft folgend abgelassen wird, erscheint es problematisch, die Abwassertanks überhaupt oder in vorgegebener Zeit zu entleeren. Derzeit dauert der Vorgang der Entleerung und Befüllung mit Desinfektionsflüssigkeit ca. fünf Minuten. Diese Zeit sollte zur Sicherung der schnellen Abfertigung eines Flugzeuges auch bei dem neuen System nicht überschritten werden.

Eine Lösung des Problems existiert in der Spülung der Abwassertanks mit Wasser vor der Entleerung durch das Fäkalfahrzeug. Diese Lösung erscheint jedoch indiskutabel, da in herkömmliche Entsorgungswege kein Eingriff erfolgen soll, der Entleerungsvorgang nicht länger dauern darf und das Ziel der Wassereinsparung weiterhin verfolgt wird.

Selbst wenn es möglich wird, die Abwassertanks zu entleeren, wird bereits das nächste Problem sichtbar. Die Folien werden in großen Stücken und zum Teil in ursprünglicher Form mit ihrem Inhalt in die Kanalisation eingeleitet. Da das oftmals sanierungswürdige Kanalnetz an vielen Stellen Risse aufweist, besteht die große Gefahr des Hängenbleibens der Folien-Beutel und daraus resultierend einer Verstopfung. Werden die Folien-Beutel in die Kläranlage eingeleitet, besteht die Gefahr der Verstopfung ebenfalls. In der ersten Reinigungseinheit einer Kläranlage (siehe Abb. 11-3) befindet sich ein so genannter Rechen oder eine Siebtrommel.



Quelle: [Kläranlage]

Abb. 11-3: Funktion einer Kläranlage

Beide Instrumente sorgen dafür, dass das Abwasser im Wesentlichen feststofffrei in die nächste Einheit der Kläranlage, den Sandfang, abläuft. Der Rechen „kämmt“ aus dem Schmutzwasser die festen Stoffe heraus. Auf ähnliche Weise arbeitet die Siebtrommel. Diese sich ununterbrochen drehende Trommel trennt das feststofffreie Abwasser, das durch das Sieb zur nächsten Einheit, den Sandfang, abläuft, von den Feststoffen, die durch eine in der Siebtrommel befindliche „Schnecke“ aus der Trommel heraus transportiert werden. Gerade bei dem in deutschen Kläranlagen weit verbreiteten Rechen wird die Verstopfungsgefahr deutlich. Die Folien können an den Stäben des Rechens hängen bleiben und somit eine Stauung verursachen. Im Fall der Siebtrommel scheint die Gefahr der Verstopfung geringer. Jedoch ist hier eine Abdichtung der Sieblöcher durch die Folien und damit nur noch eingeschränkter Ablauf des feststofffreien Schmutzwassers möglich.

Eine Lösung für diese Verstopfungsprobleme bietet sich mit dem Transport der Bordfäkalien direkt zum Faulturn (siehe Abb. 11-3) der Kläranlage an. Dort besteht die Möglichkeit, Fremdkörper wie Parfümfläschchen, Kugelschreiber oder sonstige Utensilien, die von Passagieren in Flugzeugtoiletten gespült werden, zu entfernen. Im anschließenden Prozess der Faulung wird das Folien- Fäkal- Gemisch getrocknet und kann einer Verbrennung oder Deponie zugeführt werden. Die Folien erweisen sich als wahre Energiespender, was sich bei einer Verbrennungsanlage mit Energiegewinnung als positiv herausstellt. Bei einer Deponierung zersetzen sich die Folien auf natürliche Weise. Der vollständige Abbau der Folien erfolgt in ca. drei Wochen. Dieser Kompromiss für die Entsorgung des Folien-Fäkal-Gemisches ist vorerst positiv zu beurteilen. Allerdings resultiert auch bei dieser Variante ein Eingriff in herkömmliche Entsorgungsstrukturen, zumal am Flughafen ein Fäkalienfahrzeug bereit gestellt werden muss, das ausschließlich Abwassertanks aus Flugzeugen mit wasserlosen Toiletten entleert. Dies führt zu einem hohen logistischen Aufwand und damit verbundenen erhöhten Kosten für die Airlines. Da die Toilette vorerst probeweise in Flugzeugen eingesetzt wird, scheint es aus heutiger Sicht eher unwahrscheinlich, jeweils ein

Fäkalien-Service-Fahrzeug für eine geringe Anzahl von Flugzeugen an allen Flughäfen weltweit bereit zu stellen. Obwohl diese Art der Entsorgung zukünftig, nach stärkerer Verbreitung der innovativen Toilette, eine Lösung darstellt, ist sie im Moment nicht durchsetzbar. Somit muss eine Variante gefunden werden, die bereits heute die Probleme löst.

Drei mögliche Lösungen für die vorhandenen Probleme wären denkbar:

1. Enzyme oder Mikroorganismen, die das Folienmaterial aus Maisstärke innerhalb einer bestimmten Zeit (20 Minuten) zersetzen.
2. Ein „Häcksler“ hinter der Toilette, oder im Abwassertank, der die herkömmlichen Folien zerkleinert.
3. Ein völlig neues Folienmaterial.

Die Möglichkeit, die Folien-Beutel-Einheiten aus Maisstärke mit Hilfe von Enzymen oder Mikroorganismen schneller zu zersetzen, scheidet nach Aussage von Chemikern aus. Bei einer solch schnellen Zersetzung der Folien-Beutel aus Maisstärke würde eine „Chemiebombe“ entstehen, die:

1. nicht für das Flugzeug zulassbar wäre.
2. nicht dem herkömmlichen Entsorgungsprozess zugeführt werden kann.

Die nächste denkbare Möglichkeit setzt einen Eingriff in das bestehende System voraus. Die Variante, einen Häcksler in die Abwassertanks zu integrieren, ist deshalb auszuschließen, da ein technischer Eingriff in das bestehende System nach dem Anforderungskatalog verboten ist. Ein Häcksler hinter der Toiletteneinheit, in das Abwasserrohr integriert, wäre möglich, stellt aber ebenfalls einen Eingriff in ein bestehendes System dar und würde das Gewicht einer Toiletteneinheit erheblich steigern.

Die letzte Lösung, ein neues Folienmaterial Idealerweise zeitverzögert wasser- oder urinlöslich zu entwickeln, stellt sich zum jetzigen Zeitpunkt als beste Lösung dar. Das Material müsste so gestaltet sein, dass es sich wie im Anforderungskatalog gefordert, innerhalb von 20 Minuten durch den Urin bzw. Fäkalien auflöst.

12 UMWELTRECHTLICHE ENTSORGUNGSRICHTLINIEN

Im folgenden Abschnitt soll geklärt werden, ob die bisher verwendeten Folien prinzipiell am Flughafen in die öffentliche Kläranlage eingeleitet werden können. Hierzu werden zum Einen die nationalen rechtlichen Anforderungen herangezogen. Um einen Einblick in rechtliche Entsorgungsstrukturen an internationalen Flughäfen zu gewinnen, soll anschließend anhand des Beispiels Österreich eine Überprüfung der Machbarkeit der Entsorgung erfolgen.

12.1 UMWELTRECHTLICHE ANFORDERUNGEN - NATIONAL

Wie bereits in Kapitel 11.1 erläutert, werden die Bordfäkalien eines Flugzeuges weltweit größtenteils über öffentliche Kläranlagen entsorgt. In diesem Fall handelt es sich bei den Betreibern der Flughäfen um Indirekteinleiter, d. h. das Abwasser wird in ein öffentliches jedermann zugängliches Kanalnetz eingeleitet. Dagegen spricht man von einer Direkteinleitung, wenn eine unmittelbare Ableitung von Abwasser in Gewässer erfolgt, unter anderem in das Grundwasser. Demzufolge handelt es sich bei Betreibern von Abwasseranlagen um Direkteinleiter. Durch sie wird das Abwasser der Indirekteinleiter nach der Reinigung in die Gewässer eingeleitet. Diese Gewässer bezeichnet man als Vorfluter. Beide Arten der Einleitung werden sowohl in der Definition, als auch rechtlich unterschiedlich behandelt, was an späterer Stelle der vorliegenden Arbeit noch geklärt werden soll.

Das Recht der Abwasserbeseitigung stellt kein selbständiges Rechtsgebiet dar, sondern ist Teil des allgemeinen Wasserrechts. Allgemein fungieren die Regelungen des WHG (Wasserhaushaltsgesetz), die sich mit der Abwasserbeseitigung beschäftigen, zumeist als Rahmenrecht (vgl. WHG vom 12.11.1996, §§ 7a, 18a-c). Aus diesem Grund wird das jeweilige Landeswasserrecht hinzugezogen. Da die Vorschriften des Landesrechts aus dem Bundesrecht abgeleitet wurden, stellen sich die Grundzüge des Abwasserrechts für alle Bundesländer gleich dar. Trotzdem sind Abweichungen der Landesrechtlichen Regelungen untereinander festzustellen, was sich etwa in der Definition des Abwasserbegriffs niederschlägt. Neben den landesrechtlichen Vorgaben existieren teilweise kommunale Abwasserverordnungen, deren Inhalt sich mit der Behandlung von kommunalem Abwasser beschäftigt und die Zuständigkeiten der Abwasserbeseitigung regelt.

Für eine funktionierende Abwasserbeseitigung werden unterstützend das Abwasserabgabengesetz (vgl. AbwAG vom 03.11.1994), die Kommunalverfassungen und das kommunale Abgabenrecht hinzugezogen. Des Weiteren, jedoch nur der Vollständigkeit halber erwähnt, bestehen allgemeine oder spezifische Organisationsgesetze, wie landesrechtliche Gesetze, die beispielsweise eine kommunale Zusammenarbeit regeln (vgl. vgl. Sander/Rosenzweig 1999). Da innerhalb der Landesrechtlichen und Kommunalen Regelungen Abweichungen existieren und die Darstellung aller Vorgaben zu unübersichtlich würde, sollen in dieser Arbeit die spezifischen Regelungen der Bundesländer Hamburg und Bayern herangezogen und

näher beleuchtet werden. Die Vorschriften des Bundeslandes Bayern werden dabei vergleichend hinzugezogen, wogegen die rechtliche Betrachtung der Abwasserbeseitigung in Hamburg ausführlicher erfolgt.

12.1.1 REGELUNGEN FÜR DIE ABWASSERBESEITIGUNG IN HAMBURG UND BAYERN

In diesem Kapitel soll eine Aufstellung der landesrechtlichen Regelungen für die Abwasserbeseitigung der Bundesländer Hamburg und Bayern erfolgen. Da sich diese Arbeit mit der Entsorgung der Folienbeutel an den Flughäfen beschäftigt, wurden diese Bundesländer gewählt, um letztendlich die Gesetzlichkeiten einer Abwassereinleitung der Flughäfen „Hamburg Fuhlsbüttel“ und „Munich Airport“ herbeizuführen.

Landesrechtliche Regelungen für die Abwasserbeseitigung, abgeleitet aus dem übergeordneten Rahmenrecht WHG (vgl. WHG vom 12.11.1996, §§ 7a, 18a-c) in Verbindung mit der Abwasserverordnung (AbwV), gelten in Hamburg in Form des Hamburgischen Abwassergesetzes (HmbAbwG) und des Hamburgischen Wasserrechts (HwaG). Weiterhin existiert die so genannte EPER- die Emissionserklärungsverordnung- Abwasser (EPER), welche auf §19a des Hamburgischen Wassergesetzes basiert. Vergleichend gelten in Bayern die Landes- Wasser- Gesetze Bayerisches Wassergesetz (BayWG), Bayerisches Gesetz zur Ausführung des Abwasserabgabengesetzes (BayAbwAG) und Eigenüberwachungsverordnung (EÜV) für die Abwasserbeseitigung. Weiterhin existiert in Hamburg eine Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie des Rates über die Behandlung von kommunalem Abwasser (KomAbwVO) und im Bayrischen Recht eine so genannte Indirekteinleiterverordnung (IndV). Um den Überblick zu wahren, werden die rechtlichen Vorgaben in der folgenden Tabelle (siehe Tab. 12-1) aufgelistet.

Regelungen auf Bundesebene	Landesrechtliche Regelungen Hamburg	Kommunale Regelungen Hamburg	Landesrechtliche Regelungen Bayern
WHG	HmbAbwG	KomAbwVO	BayWG
AbwV	HwaG		BayAbwAG
AbwAG	EPER		EÜV
KrW-/AbfG			IndV

Tab. 12-1: Rechtliche Regelungen zur Abwasserbeseitigung

Ebenfalls von Bedeutung hinsichtlich der Abwasserbeseitigung ist das Kreislaufwirtschafts-/ Abfallgesetz. Im Normalfall kommt es zur Anwendung, nachdem die Abwasserreinigung abgeschlossen ist und der anfallende Klärschlamm beseitigt wird. Dieser unterliegt dem Abfallbegriff und muss dementsprechend entsorgt werden.

12.1.2 GESETZESTECHNISCHER ABWASSER-BEGRIFF

Da es sich bei den Toiletteninhalten der innovativen Toilette um ein weitestgehend „wasserloses“ Abwasser handelt, muss zunächst sichergestellt werden, dass es sich hierbei tatsächlich um Abwasser für die Zuführung in eine Kanalisation handelt, um eine weitere Untersuchung nach Wasserrecht zu gewährleisten.

Der Begriff des „Abwassers“ wird im WHG nicht definiert, sondern als feststehend vorausgesetzt, anlehnend an die Rechtsprechung des Reichsgerichts vom 02.06.1886 (vgl. Nisipeanu, S. 142). Somit wird der Begriff des Abwassers nach dem WHG als

„sämtliches verunreinigte oder sonst in seinen Eigenschaften veränderte Wasser sowie sämtliche (damit) abgehenden Wassergemische“ [Nisipeanu: RG, Urteil vom 2.6.1886, RGZ 16, 180]

definiert. Dabei werden keine Aussagen zu Ursache, Ausmaß oder Schädlichkeit der Veränderungen oder Beimischungen gemacht. Nähere Angaben vermittelt § 7a WHG, in dem hinsichtlich der Schadstofffracht des Abwassers folgende Aussage getroffen wird:

„Eine Erlaubnis für das Einleiten von Abwasser darf nur erteilt werden, wenn die Schadstofffracht des Abwassers so gering gehalten wird, wie dies bei Einhaltung der jeweils in Betracht kommenden Verfahren nach dem Stand der Technik möglich ist.“ [WhG, § 7a Abs.1]

Der Stand der Technik wird von der Bundesregierung per Rechtsverordnung (Abwasserverordnung) festgelegt (vgl. WHG vgl. § 7a Abs. 1, Satz 3, vgl. AbwV). Weiterhin wird in Bezug auf die Beseitigung des Abwassers im WHG eine Aussage über das Wohl der Allgemeinheit getroffen (vgl. WHG § 18a Abs. 1), wobei es gilt, die Allgemeinheit und auch einzelne vor Gefahren zu schützen, die erfahrungsgemäß von Abwassereinleitungen ausgehen. Das Wohl der Allgemeinheit erfordert beispielsweise nutzbares Wasser in ausreichender Menge und Güte und saubere Gewässer. Zusammenfassend fungiert das WHG als Rahmenrecht, in welchem das Minimierungsgebot an Schadstoffen und das Wohl der Allgemeinheit primäre Anforderungen darstellen.

Die Abwasserverordnung (basierend auf WHG § 7a Abs. 1, Satz 3) bestimmt für einzelne branchenspezifische Herkunftsbereiche beispielsweise, welche Anforderungen an das Abwasser am Ort des Anfalls gestellt werden. Eine exakte Definition von „Abwasser“ erfolgt auch hier nicht. Dagegen lässt sich im bundesrechtlichen Abwasserabgabengesetz (AbwAG vom 03.11.1994) eine Erläuterung des Abwasserbegriffes nach Herkunftsorten finden. Abwasser wird unterteilt in Schmutzwasser, aus häuslichem, gewerblichen, landwirtschaftlichen und sonstigem Gebrauch, sowie in abfließendes Niederschlagswasser von bebauten oder unbebauten Flächen (vgl. AbwAG § 2 Abs.).

In den landesrechtlichen Regelungen obliegt der Begriff „Abwasser“ nur teilweise einer Definition. So wird er im niedersächsischen Wasserrecht (vgl. NWG §§ 148-155) nicht

weiter erläutert, sondern als feststehend, ebenso wie im WHG, betrachtet. Dahingegen existiert eine Definition des Abwasserbegriffes unter anderem im Bayerischen Wassergesetz (siehe BayWG § 41a Abs. 1) und im Hamburgischen Abwassergesetz (siehe HmbAbwG § 1 Abs. 2).

Im Sinne dieser beiden Gesetze handelt es sich bei Abwasser um

„Wasser, das durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch verunreinigt oder sonst in seinen Eigenschaften verändert ist oder das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen abfließt“ (vgl. § 41a Abs. 1 BayWG; vgl. § 1 Abs. 2 HmbAbwG)

Im Kern handelt es sich bei dieser Definition von Abwasser um eine genauere Wiedergabe des bundesrechtlichen Abwasserbegriffes. Die Unterteilung erfolgt ebenfalls in Schmutz- und Niederschlagswasser. Den Hauptanteil des Schmutzwassers bildet das durch Gebrauch in seinen Eigenschaften veränderte Wasser. Die durch den Gebrauch eingetretene Veränderung kann biologischer, chemischer oder physikalischer Art sein. Dabei muss es sich *nicht* um eine nachteilige Beeinflussung der Wasserqualität handeln. Bereits erwärmtes, nicht verunreinigtes Kühlwasser ist im Sinne dieser Definition Schmutzwasser.

Ein wesentliches Problem, das weitere Untersuchungen dieser Arbeit betrifft, ergibt sich aus der Frage, ob Abwasser, speziell Schmutzwasser nur dann vorliegt, wenn der Ausgangsstoff Wasser war, das auf beschriebene Weise verändert worden ist, oder ob es ausreicht, wenn ein Stoff oder eine Stoffmenge zu einem späteren Zeitpunkt mit Wasser versetzt wurde. Da man bei dem Endprodukt „Abwasser“ nicht beurteilen kann, wie es letztendlich entstanden ist und auch der zeitliche Ablauf der Abwasserentstehung (Ursprung) nicht definiert wird, wird man der zweiten Aussage zustimmen können. Letztlich ist für die Anwendung des Wasserrechts ausschlaggebend, dass Wasser enthalten ist, d. h. es handelt sich nicht um Abwasser, wenn ein Stoff oder Stoffgemisch zwar im flüssigen Zustand vorliegt, jedoch kein oder so gut wie kein Wasser enthält (z. B. Blut, Säuren, Laugen, Öl, Benzin). Da die Wasserlose Toilette auf der Nutzung von Folienbeuteln basiert, drängt sich der Gedanke auf, dass es sich bei dem Endprodukt zur Entsorgung um Abfall handeln könnte. Aus diesem Grund soll an dieser Stelle das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG vom 27.09.1994) herangezogen werden.

„Abfälle im Sinne dieses Gesetzes sind alle beweglichen Sachen, [...] deren sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss.“ (vgl. KrW-/AbfG § 3 Abs.

1)

Laut dieser Definition handelt es sich bei den eingesetzten Folien um Abfall, da ein Entledigungsziel besteht. Dieses in den Abwasserdefinitionen undefinierte Ziel besteht jedoch ebenfalls bei Abwasser und wird stillschweigend vorausgesetzt, da nicht jedes irgendwie veränderte Wasser gleich auch Abwasser ist (z. B. wasserverdünnte Desinfektionsflüssigkeit). Um zu vermeiden, dass Abwasser als Stoff, dessen sich sein Besitzer entledigen will, an sich als Abfall dem Abfallrecht unterliegt, legt § 2 Abs. 1 Nr.

6 KrW-/AbfG ausdrücklich fest, dass die Vorschriften des Abfallrechts keine Anwendung auf Stoffe finden, die tatsächlich

„in Gewässer oder Abwasseranlagen eingeleitet oder eingebracht werden“
(KrW-/AbfG § 2 Abs. 2 Nr. 6).

Dabei werden keine Aussagen getroffen über Schadstoffgehalt, Ursprung und Wasseranteil der Flüssigkeit.

Eine letzte, außerrechtliche Definition, wird durch die technische Regel DIN 4045 gegeben. Abwasser im Sinne dieser DIN- Norm ist

„das nach häuslichem oder gewerblichem Gebrauch veränderte, insbesondere verunreinigte, abfließende und von Niederschlägen stammende und in die Kanalisation gelangende Wasser“ [DIN 4045]

Um nun zu untersuchen, ob es sich bei dem Endprodukt der wasserlosen Toilette um Abwasser handelt, muss an dieser Stelle die Situation am Flughafen vor der Entsorgung der Bordfäkalien erläutert werden. Ausgangspunkt ist die Entleerung der Abwassertanks der Flugzeuge mit wasserlosen Toiletten. Bei Benutzung der herkömmlichen Folien befinden sich in dem Waste Tank meist eine Vorfüllung (an einigen Flughäfen erfolgt keine Vorfüllung mit verdünnter Desinfektionsflüssigkeit) mit wasserverdünnter Desinfektionsflüssigkeit (ca. 10 % bis 15 %, bei einem A340-Abwassertank mit 350 l Fassungsvermögen ca. 35 l bis 53 l) plus die befüllten Folien, welche in der Regel noch vollständig erhalten sind. Wasser ist lediglich in der Desinfektionsflüssigkeit vorhanden. Es besteht nunmehr ein Entledigungswille, wobei sich die Frage stellt, ob es sich um Abfall oder um verändertes Wasser zur Entsorgung handelt. Da die Desinfektionsflüssigkeit zu einem großen Teil Wasser enthält, liegt an sich verändertes Wasser durch gewerblichen Gebrauch vor. Da das Gemisch im Abwassertank jedoch nicht flüssig sein wird, sondern eher gelartig, bleibt fraglich, ob es sich um Abwasser handelt. Laut KrW-/AbfG handelt es sich nicht um Abfall, wenn Stoffe in Gewässer oder Abwasseranlagen eingebracht werden. Da herkömmliche Entsorgungsstrukturen eingehalten werden sollen, besteht der Wille der Einleitung in die Abwasseranlage. Des Weiteren ist unklar, wie hoch der Wasseranteil des Abwassers sein muss, da die Definitionen eine Anforderung diesbezüglich nicht enthalten. Ein Argument, das für das Vorliegen von Abwasser vor dem Einleiten in die Kanalisation spricht, ergibt sich daraus, dass ein Fäkalienfahrzeug mehrere Flugzeuge entleert. Da die Toilette vorerst nur in einigen Flugzeugen eingesetzt wird, kann man davon ausgehen, dass durch die Vermischung mit anderen Abwassertankfüllungen Wasser hinzukommt und somit letztlich ein flüssiger Zustand mit Feststoffen vorliegt. Trotzdem sollte diese Möglichkeit nicht die Voraussetzung für eine Entsorgung darstellen. Letztlich kann man davon ausgehen, dass der vorhandene Tankinhalt dem Abfallrecht unterliegt, wenn verändertes Wasser ganz fehlt und auch später nicht zugesetzt wird (da an einigen Flughäfen keine Vorfüllung des Abwassertanks mit verdünnter Desinfektionslösung erfolgt). Fehlt das Wasser ganz, handelt es sich um Abfälle,

„deren sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss“ (KrW-/AbfG §3, Abs. 1).

In diesem Fall werden die Abfälle verwertet (im Sinne des Anhangs II B KrW-/AbfG, z. B. R 1 Hauptverwendung als Brennstoff oder andere Mittel der Energieerzeugung) oder einer Beseitigung (im Sinne des Anhangs II A KrW-/AbfG, z. B. D 1: Ablagerung in oder auf dem Boden (Deponien), D 2: Behandlung im Boden (biologischer Abbau)) zugeführt. Sollte aufgrund wasserverdünnter Desinfektionsflüssigkeit verändertes Wasser im Abwassertank vorliegen, in dem die Folienbeutel gesammelt werden, kann man davon ausgehen, dass es sich um Abwasser zur Entsorgung handelt. Dies ist der Fall, da in keiner der Abwasserdefinitionen festgelegt wird, wie viel Prozent Wasseranteil das Abwasser haben muss.

Ebenso verlaufen die Überlegungen bei folgendem Zustand, die an dieser Stelle noch einmal näher ausgeführt werden sollen. Da der Tankinhalt (wie in Kapitel 5.5 beschrieben) nur schwer entleert werden kann, bestehen Überlegungen, die Folien während des Fluges im Abwassertank zu zersetzen. Dies soll entweder mit Hilfe der Desinfektionsflüssigkeit geschehen, welcher Enzyme zur Zersetzung beigefügt werden, oder mit Hilfe eines neuen Folienmaterials, das sich nach gegebenem Zeitpunkt von selbst auflöst. Ziel ist es, einen Aggregatzustand zu erreichen, der annähernd flüssig ist und nur noch geringfügig unaufgelöstes Folienmaterial enthält. Dabei stellt sich wieder die Frage, ob der erreichte Aggregatzustand ausreichend ist, um den Abwassertankinhalt als Abwasser zu definieren. Dazu werden noch einmal die Definitionen der Landesrechte hinzugezogen. Danach muss Wasser vorliegen, das durch menschliches Zutun in seinen Eigenschaften verändert wurde oder durch bestimmte Gebrauchsformen verunreinigt ist. Es wird keine Aussage über den Wasseranteil des Abwassers, die Schadstofffracht desselben oder auch den Ursprung getroffen (es wird nicht vorausgesetzt, dass als Ausgangsstoff eines Produktions- oder Gebrauchsvorgangs Wasser vorhanden war, laut Abwasserdefinition spricht nichts dagegen, wenn Wasser später zugefügt wird). Hinzu kommt die ungeschriebene subjektive Komponente des Entledigungswillens oder eines Entledigungsbedürfnisses von Abwasser, die letztendlich vorausgesetzt wird bei Abwasser zur Entsorgung, das nicht mehr gebraucht wird oder gebraucht werden kann. Geht man nun von dem Inhalt des Abwassertanks aus, der für eine Entledigung bestimmt ist, so spricht man von einer Masse mit mehr oder weniger schlammiger oder gelartiger Konsistenz, ähnlich der von Klärschlamm. Ausgangsstoff ist mit Desinfektionsmittel versetztes Wasser, so dass man letztlich Wasser vor sich hat, dessen man sich entledigen will und das durch menschliches Zutun einerseits in seinen Eigenschaften verändert wurde und andererseits verschmutzt ist. Da keine Aussagen über den Wasseranteil in den Abwasserdefinitionen getroffen wurden, kann man davon ausgehen, dass dieser Zweifelsfall dem „Abwasser“-Begriff unterfällt (vgl. Nisipeanu, 1991, S. 144f). Der Tankinhalt würde nicht dem „Abwasser“-Begriff unterfallen, wenn absolut kein Wasser enthalten wäre, flüssige Reststoffe wie Säuren oder Laugen vorlägen oder sich Urin als alleinige Flüssigkeit im Tank befände, da in den letzten beiden Fällen kein durch menschliches Zutun verändertes Wasser vorliegt. D. h. im Abwassertank des Flugzeuges muss entweder Wasser enthalten sein, es genügt laut Definition jedoch

eine schlammige Konsistenz, oder der Inhalt des Tanks wird im nachhinein am Boden mit Wasser versehen. In beiden Fällen erhält man Abwasser, das zur Einleitung in die Kanalisation geeignet ist.

Da die landesgesetzlichen Abwasser-Definitionen in verfassungskonformer Weise dahingehend ausgelegt werden, dass sie dem bundesrechtlichen Abwasser-Begriff nicht widersprechen, müssen dementsprechend sowohl der Ursprung (es kommt nicht darauf an, ob Wasser ursprünglich vorhanden war, oder ob es nachträglich zugeführt wurde. Würde der Ursprung bedeutend sein, kann die Möglichkeit eintreten, dass zwei identische Flüssigkeiten je nach ihrem Ursprung dem Abfallrecht oder dem Abwasserrecht unterfielen) als auch die Verwertungsmöglichkeiten, der Wasseranteil und der Schadstoffgehalt der zu behandelnden Gemische außer Betracht bleiben (Nisipeanu, 1991, S. 144). Somit unterfällt der Zweifelsfall „Abwasser der wasserlosen Toilette aus Passagierflugzeugen“ sowohl nach Bundes- als auch nach Landeswasserrecht dem „Abwasser“-Begriff (vgl. Nisipeanu, 1991, Kapitel D/ V Abwasser und Abwasserbeseitigung).

12.1.3 ABWASSERBESEITIGUNG

Der Begriff der Abwasserbeseitigung wird ebenso wie der „Abwasser“-Begriff bundes(rahmen)rechtlich vorgegeben. Anders als bei diesem existiert für den Begriff der „Abwasserbeseitigung“ in § 18 WHG eine Legaldefinition.

Im Sinne dieses Gesetzes umfasst Abwasserbeseitigung

„das Sammeln, Fortleiten, Behandeln, Einleiten, Versickern, Verregnen und Verrieseln von Abwasser sowie das Entwässern von Klärschlamm in Zusammenhang mit der Abwasserbeseitigung.“ [WHG, § 18a, Abs. 1, Satz 2]

Somit umfasst der Begriff „Abwasserbeseitigung“

„den gesamten Abwasserstrom, vom Abwasseranfall bis zur Einleitung oder sonstigen Übergabe in ein Gewässer, über das Medium „Boden“ oder „auf sonstige Weise“.“ [Nisipeanu, 1991, S. 181]

Aufgrund der bundesrechtlichen Vorgabe des Begriffes „Abwasserbeseitigung“ steht es den Ländern nicht frei, für den Geltungsbereich des § 18a im Rahmen der Landeswassergesetze abweichende Definitionen zu formulieren, welche im Umfang und der zeitlichen sowie örtlichen Geltung der Rechtspflicht „Abwasserbeseitigung“ inhaltlich geändert wurden. Auch den Kommunen steht es nicht frei, im Rahmen deren Ortsrechts (z. B. Entwässerungssatzung) den Inhalt des § 18a WHG zu verändern. Somit haben landesrechtliche Definitionen lediglich erklärenden Charakter.

So übernimmt das Hamburger Abwassergesetz den genauen Wortlaut des § 18a WHG, Abs. 1, Satz 2, dagegen wird der Begriff der „Abwasserbeseitigung“ im Bayerischen Wassergesetz nicht noch einmal definiert.

§18a Abs. 2 WHG überlässt den Ländern die Bestimmung der Abwasserbeseitigungspflichtigen. Somit obliegt es den Ländern einerseits, eine öffentlich-rechtliche Körperschaft mit der Abwasserbeseitigung zu beauftragen, andererseits erlaubt die Norm, auch anderen z.B. Privaten die Abwasserbeseitigungspflicht aufzuerlegen, indem sie die Länder ermächtigt, die Voraussetzungen festzulegen, unter denen andere abwasserbeseitigungspflichtig sein können:

„Die Länder regeln, welche Körperschaften des öffentlichen Rechts zur Abwasserbeseitigung verpflichtet sind und die Voraussetzungen, unter denen anderen die Abwasserbeseitigung obliegt.“ [WHG, § 18a, Abs.1, Satz 1]

Für das Bundesland Hamburg wird die Zuständigkeit für die Abwasserbeseitigung durch den §2 des HmbAbwG geregelt. Im Sinne dieses Paragraphen obliegt

„die Aufgabe der Abwasserbeseitigung der Freien und Hansestadt Hamburg [...] der Stadtentwässerung. Dieser stehen die damit verbundenen hoheitlichen Rechte zu. Das Abwasser ist der Stadtentwässerung zu übergeben.“ [HmbAbwG, § 2]

Das Bundesland Bayern regelt die Zuständigkeiten der Abwasserbeseitigung in § 41b BayWG. In dessen Sinne verpflichtet das Land die Gemeinden zur Abwasserbeseitigung einschließlich der Fäkalschlammentsorgung, soweit kein anderer nach dem Abwasserbeseitigungsplan oder nach den Absätzen 3 und 5 dieses Paragraphen verpflichtet wird. Die Abwasserbeseitigung der Gemeinden wird in kommunalen Satzungen festgelegt. Der Landkreis München unterteilt sich in mehrere Städte und Gemeinden, welche fast alle über eine zentrale Abwasserentsorgung mit Anschluss an eine Kläranlage verfügen. In Einzelfällen, wie den Hauptsiedlungsgebieten von Aying, Sauerlach und Straßlach-Dingharting existieren übergangsweise noch Hauskläranlagen. Durch einen Mangel an Vorflutern (es kommen lediglich Isar, Isarkanal und der Fluss Würm in Betracht), ist die interkommunale Zusammenarbeit im Landkreis München stark ausgeprägt [LKS-MUC]. Für die Gemeinden sind verschiedene Kanalbetreiber verantwortlich, die das Abwasser in ihrer Kläranlage reinigen. Oftmals handelt es sich dabei um Abwasserzweckverbände. Alle Schmutzwässer des Flughafens Franz-Josef-Strauß gelangen in die Großkläranlage Eitting. Betreiber dieser Kläranlage ist der Abwasserzweckverband „Erdinger Moos“. Diesem unterliegen neben dem Flughafen noch weitere 12 Kommunen des Landkreises München. Für das Gebiet „Erdinger Moos“ gilt die Entwässerungssatzung „Satzung für die öffentliche Entwässerungsanlage des Abwasserzweckverbandes Erdinger Moos“ (EWS vom 07.03.2003). Diese basiert auf den Artikeln 23 und 24 Abs. 1 Nr. 1 und 2 und Abs. 2 der Gemeindeordnung und auf dem Artikel 41 b Abs. 2 Satz 1 des Bayerischen Wassergesetz. Im Sinne dieser Satzung betreibt der Abwasserzweckverband eine Entwässerungsanlage als öffentliche Einrichtung innerhalb festgelegter Entwässerungsgebietsgrenzen [EWS vom 07.03.2003]. Diese Satzung gilt jedoch

„nicht für das Gebiet des Flughafens Franz-Josef-Strauß, sowie für die ausschließlich der Flughafenentwässerung dienenden Anlagen außerhalb des Flughafenbetriebes“ [EWS § 1, Abs. 4].

Speziell für den Flughafen wurden die Einleitungsbedingungen in einem gesonderten Vertrag zwischen der Flughafen München GmbH und dem Abwasserzweckverband Erdinger Moos geregelt.

12.1.4 ABWASSERBESEITIGUNGSKONZEPTE

Laut § 18a Abs. 2, Satz 2 und Abs. 3 des WHG (vom 19.08.2002) müssen die Länder einen verbindlichen Plan erstellen, sollten andere als die Gemeinde selbst die Abwasserbeseitigung übernehmen. Darin werden andere zur Abwasserbeseitigung verpflichtete Träger ausgewiesen. Somit entfällt die gemeindliche Pflicht zur Abwasserbeseitigung und wird, wie im Fall München, beispielsweise einem Abwasserzweckverband für ein bestimmtes Einzugsgebiet übertragen. In Bayern wird die Aufstellung eines Abwasserbeseitigungsplanes in Art. 41d des BayWG geregelt. Im Hamburger Abwassergesetz regelt § 3 die Aufstellung des Planes.

12.1.5 GENEHMIGUNG DER INDIREKT-EINLEITUNG

In den vorangehenden Abschnitten wurden die Grundbausteine der Abwasserbeseitigung gelegt. Im Folgenden wird der rechtskonforme Weg einer Indirekteinleitergenehmigung aufgezeigt, um schlussfolgernd eine Aussage zu einer Einleitungsgenehmigung der bisher verwendeten Folien im Projekt „wasserlose Toilette“ treffen zu können.

12.1.6 VORÜBERLEGUNGEN

Eine Indirekteinleitung stellt keine Gewässerbenutzung nach § 2 WHG dar. Die Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes beziehen sich nur auf Benutzungen, (vgl. WHG, § 3, Abs. 1, Nr. 4, 4a, 5) die sich mit der direkten Einleitung in Gewässer befassen. Dabei handelt es sich fast ausschließlich um öffentliche Abwasseranlagen, die von öffentlich-rechtlichen Körperschaften (Kommunen oder in ihrem Auftrag arbeitende Anlagenbetreiber, siehe Kap. 12.1.3) betrieben werden. Diese öffentlichen Abwasseranlagen, deren Abwasser letztlich in den Vorfluter gelangt, sind somit den Regelungen des Wasserhaushaltsgesetzes direkt unterworfen und bedürfen dadurch einer Direkteinleitergenehmigung nach § 7 WHG. Nach Paragraph 7a WHG Abs. 1 ist der Betreiber einer Anlage als Direkteinleiter in Gewässer verpflichtet, die Schadstofffracht des einzuleitenden Abwassers so gering wie möglich zu halten,

„wie dies bei der Einhaltung der jeweils in Betracht kommenden Verfahren nach dem Stand der Technik möglich ist“.

Somit obliegt es dem Betreiber der Anlage durch seine allgemeinen Einleitungsbedingungen, Regelungen hinsichtlich der Beschaffenheit des Abwassers zu treffen, um letztlich den Anforderungen des § 7a Abs. 1 zu genügen. Denn Qualität und Quantität der aus solchen Anlagen erfolgenden Direkteinleitungen in Gewässer sind abhängig von dem „was“ und „wieviel“ an Abwasser, welches zuvor in sie hineingelangt

ist. Das Aufstellen von Einleitungsbedingungen durch die Betreiber öffentlicher Anlagen wird legalisiert gemäß § 7a Abs. 4, in dessen Sinne die Länder sicherstellen,

„dass bei dem Einleiten von Abwasser in eine öffentliche Abwasseranlage die nach Absatz 1, Satz 4 maßgebenden Anforderungen eingehalten werden.“ [WHG, § 7a, Abs. 4]

Hierbei handelt es sich um eine staatliche Regelung hinsichtlich der Beschaffenheit von Abwässern der Indirekteinleiter und deren Genehmigungspflicht (es gilt § 6 WHG). Sie bezieht sich auf bestimmte gefährliche Inhaltsstoffe von Abwasser, die bei derzeitigem Technikstand der Abwasseranlage nur entfernt werden können, sollten sie in den Klärschlamm gelangen und damit einer Deponierung oder Verbrennung zugeführt werden. Verbleiben sie im Abwasser, können sie das Gleichgewicht der Anlage stören und gelangen mittels des gereinigten Abwassers in die Gewässer, was ebenfalls negative Auswirkungen zur Folge haben kann. Aus diesem Grund werden die Länder verpflichtet, in ihren Landeswasserrechten sicherzustellen, dass für solche Stoffe gleiche Anforderungen für Indirekteinleiter gelten, wie für Direkteinleiter. Das Land Hamburg genügt dieser wasserrechtlichen Regelung in den §§ 11 Einleitungsverbote, 11a Einleitungsgenehmigung und 11b Erteilung der Einleitungsgenehmigung, nachträgliche Anforderungen des Hamburger Abwassergesetzes. Das Land Bayern setzt die Anforderungen des § 7a Abs. 4 in Art. 41b, Abs. 2 Bayerisches Wassergesetz um. Die Kommunen als öffentlich-rechtliche Körperschaft, denen die Abwasserbeseitigungspflicht (vgl. WHG § 18a, Abs. 1) obliegt, sind demnach berechtigt, für ihre öffentlichen Anlagen Zulassungsbedingungen festzusetzen. Dies geschieht zum einen in Form von Satzungen (Satzung Erdinger Moos), aber auch in Form von Einleitungsbedingungen mit dem Charakter von allgemeinen Geschäftsbedingungen (Allg. Einleitungsbedingungen der Hamburger Stadtentwässerung, Vertrag zwischen dem Flughafen München und dem AZV Erdinger Moos). Trotz allem ist zu beachten, dass die Kommunen zur Beseitigung von Abwasser verpflichtet sind, jedoch können sie die Einleitung verweigern, sofern das Wohl der Allgemeinheit (vgl. WHG, § 18a, Abs. 1) beeinträchtigt werden kann (gefährliche Abwässer) oder dem Betrieb der Anlage geschadet wird. Die Einleitungsbedingungen müssen somit verhältnismäßig sein, was bedeutet, dass zu hohe Einleitungsschranken, beispielsweise bezüglich Stoffen, die durch eine moderne, den Anforderungen entsprechende Abwasseranlage bewältigt werden können, in keinem Verhältnis zur Abwasserbeseitigungspflicht stehen.

12.1.7 STAATLICHE GENEHMIGUNGSPFLICHT

Gemäß § 7a, Abs. 4 WHG ist von den Ländern sicherzustellen, dass bezüglich gefährlicher Stoffe im Abwasser ebenso mit Indirekteinleitern verfahren werden soll, wie dies bei den Direkteinleitern der Fall ist. Dabei steht es den Ländern frei, wie diese rahmenrechtliche Vorschrift länderrechtlich umgesetzt wird. In Hamburg wurde diese Vorschrift in den §§ 11a HmbAbwG-„Einleitungsgenehmigung“ und 11b - „Erteilung der Einleitungsgenehmigung, nachträgliche Anordnungen“ in Verbindung mit den

„Allgemeinen Einleitungsbedingungen“ umgesetzt. Im Bayerischen Wassergesetz erfolgte die Umsetzung in Art. 41c-„Genehmigungspflicht für Einleitungen in öffentliche Abwasseranlagen“. In beiden Bundesländern wird eine Genehmigung für eine Einleitung erteilt, sobald die entsprechenden Anforderungen erfüllt werden.

Art. 41c, Abs. 1 BayWG bestimmt, dass Indirekteinleitungen genehmigungspflichtig sind, sofern sie in einem der Anhänge der Abwasserverordnung nach § 7a, Abs. 1, Satz 3 oder in einem entsprechenden Anhang zur allgemeinen Rahmenverwaltungsverfahren (Rahmen-AbwasserVwV vom 31.07.1996, größtenteils durch Abwasserverordnung aufgehoben) erfasst sind. Nach § 11a HmbAbwG ist das gesamte Abwasser, das in die öffentlichen Abwasseranlagen eingeleitet werden soll, genehmigungspflichtig. Ausnahmen stellen gemäß § 11a Abs. 3 HmbAbwG häusliches Abwasser, nicht nachteilig verändertes Niederschlagswasser und eine bestimmte Art von Kondensat dar, sofern die „Allgemeinen Einleitungsbedingungen“ (gemäß § 11a Abs. 2 HmbAbwG sind die Allgemeinen Einleitungsbedingungen von der zuständigen Behörde festgelegt und im Amtlichen Anzeiger bekannt gemacht) eingehalten werden. Genehmigungsfähig ist die Indirekteinleitung dann, wenn sie alle Anforderungen, bezüglich gefährlicher Stoffe, wie sie in den genannten § 7a WHG ergänzenden Vorschriften formuliert sind, erfüllt.

In Paragraph 11a HmbAbwG und Art. 41c BayWG wird die Genehmigung einer Indirekteinleitung verfahrensrechtlich wie eine Erlaubnis ausgestaltet. Sie kann widerrufen werden und ist gemäß Art. 41c BayWG auch befristet zu erteilen oder laut § 11a HmbAbwG mit weiteren Nebenbestimmungen zum Wohle der Allgemeinheit erweiterbar. Jedoch ist an dieser Stelle zu klären, in wie fern die Genehmigungsentscheidung des § 11a HmbAbwG und Art. 41c BayWG eine Ermessensentscheidung darstellt. Diese Frage ist vor allem in Bezug auf die Einleitung der Folien keineswegs unwichtig. Zur Beantwortung dieser Frage sei auf den jeweiligen Genehmigungsparagraphen des HmbAbwG (§11a HmbAbwG) und des Bayerischen Wassergesetzes (Art. 41c BayWG) hingewiesen, welche die Ermächtigungsgrundlagen für die Genehmigung einer Indirekteinleitung darstellen. Allgemein steht dem indirekt Einleitenden ein Rechtsanspruch auf Abwassereinleitung in die öffentliche Kanalisation zu. Jedoch gilt dieser Anspruch gegenüber dem Betreiber der öffentlichen Anlage (Gemeinde oder ein Dritter durch die Gemeinde Befugter), nicht aber gegen die Behörde (oftmals erteilt die Genehmigung die Wasserbehörde), welche letztlich die Genehmigung erteilt. Laut Gesetz besteht aber ebenfalls ein Genehmigungsanspruch gegen die Behörde, sollten alle erforderlichen Voraussetzungen durch den Einleitenden erfüllt sein. Die Genehmigung soll im Wesentlichen sicherstellen, dass gefährliche Stoffe nur in tolerierbaren Grenzen in die Gewässer gelangen. Laut § 11a HmbAbwG liegt das Ermessen der Behörde insoweit vor, dass sie berechtigt ist zu bestimmen, inwiefern Abwasservermeidungsmaßnahmen durchzuführen sind, bestimmte Stoffe dem Abwasser fernzuhalten sind und welche Verfahren und Betriebsweisen bei der Herstellung oder Verarbeitung von Produkten bei einer Anwendung gefährlicher Stoffe einzuhalten sind. Des Weiteren kann sie Nebenbestimmungen auferlegen, die zu einer Reduktion gefährlicher Stoffe führen. Sind keine gefährlichen Stoffe im Abwasser enthalten, kann man von einer Ermessensreduzierung auf Null ausgehen, das heißt, die

zuständige Behörde kann bei Vorliegen der entsprechenden Voraussetzungen keine andere rechtmäßige Entscheidung treffen, als die Genehmigung zu erteilen, um den Rechtsanspruch des späteren Einleiters nicht zu beeinträchtigen

Auch in Art. 41c BayWG wird der Behörde ein Ermessen bezüglich gefährlicher Stoffe im Abwasser eingeräumt, wenn auch nicht so detailliert aufgelistet wie in § 11a HmbAbwG. Weiterhin kann die Behörde, ebenso wie in § 11a HmbAbwG, die Genehmigung widerrufen, sollten sich beispielsweise Änderungen in der Art des Abwassers ergeben. Sonst ist auch hier die Ermessensreduzierung auf Null denkbar, so dass bei Vorliegen aller Voraussetzungen die Genehmigung zu erteilen ist.

Wie bereits erwähnt obliegt die Indirekteinleitergenehmigung nicht der Zuständigkeit von Betreibern öffentlicher Anlagen, sondern den zuständigen Behörden. Im Fall Hamburg handelt es sich dabei um die Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, in Bayern um die Kreisverwaltungsbehörde (§ 41c BayWG).

12.2 UMWELTRECHTLICHE GRUNDLAGEN-INTERNATIONAL

Zusammenfassend lässt sich nun festhalten, dass das Entsorgen der aufgelösten Folien-Beutel-Einheiten und der Fäkalien aus dem Waste Tank prinzipiell in Deutschland möglich wäre. Da innerhalb von Europa die härtesten Umweltrichtlinien vorliegen, wird im Weiteren ein kurzer Überblick der umweltrechtlichen Anforderungen, speziell hinsichtlich der Abwasserentsorgung, anhand der Länder Schweiz und Österreich gegeben.

12.2.1 SCHWEIZ

Wesentliche Rahmenrechtliche Regelungen die Abwasserentsorgung der Schweiz betreffend stellen auf Bundesebene das Gewässerschutzgesetz (GSchG vom 24.01.1991 - Stand am 22.12.2003), ergänzend das Einführungsgesetz zum Gewässerschutzgesetz vom 08.12.1974,) und die Gewässerschutzverordnung (GSchV vom 28.10.1998 - Stand am 18.11.2003) dar. Die Gewässerschutzverordnung stützt sich auf den Artikel 9 des Gewässerschutzgesetzes und regelt somit unter anderem die Einleitung von Abwasser in Gewässer, die Versickerung von Abwasser und die Bestimmung für Gewässer und Abwasseranlagen gefährlicher Stoffe.

In der Schweiz wird gesetzlich eine genaue Abgrenzung zwischen verschmutztem und nicht verschmutztem Abwasser vorgenommen. Nicht verschmutztes Abwasser ist laut GSchG nach den Anordnungen der kantonalen Behörden versickern zu lassen. Eventuell ist es auch möglich, bei Bestehen bestimmter örtlicher Verhältnisse nicht verschmutztes Abwasser in ein oberirdisches Gewässer einzuleiten. Dies erfolgt ebenfalls mit Bewilligung der zuständigen kantonalen Behörde.

Gemäß Gewässerschutzgesetz ist verschmutztes Abwasser zu behandeln. Dabei ist es verboten, Industrieabwasser zu verdünnen oder mit anderen Abwässern zu vermischen. Die Indirekteinleitung von Industrieabwasser und anderem verschmutzten Abwasser ist

bewilligungspflichtig. Das zur Einleitung bestimmte Abwasser hat den Anforderungen der GSchV zu genügen. Die Bewilligung der Indirekteinleitung wird durch das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft in Zürich, kurz AWEL, erteilt (für den Kanton Zürich und somit auch zuständig für den Flughafen Zürich). Sollten die Anforderungen der GSchV bei einzuleitendem Industrieabwasser nicht eingehalten werden, resultiert eine Entsorgung als Sonderabfall, so dass keine Einleitung in die öffentliche Kanalisation mehr erfolgt. Die Entsorgung als Sonderabfall geschieht in einem gemäß VVS (Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen (VVS) vom 12.11.1986 Stand am 01.09.1998) bewilligten - Empfängerbetrieb. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, im Betrieb oder am Flughafen eine Abwasservorbehandlungsanlage zu errichten, in der gefährliche Stoffe entfernt werden.

Bedeutend für die Inhaber der Betriebe als Indirekteinleiter in öffentliche Kläranlagen sind die Artikel 7, 10 Abs. 1, 14, 15 und 17 Abs. 2. Artikel 7 verweist auf die Anhänge 3.2 oder 3.3 der GSchV, deren Anforderungen eingehalten werden müssen, um eine Bewilligung durch die zuständige Behörde (AWEL) zu erhalten. Weiterhin erlaubt Art. 7 der Behörde, verschärfte oder ergänzende Anforderungen bezüglich gefährlicher Stoffe einer Indirekteinleitung zu treffen. Artikel 10 erteilt das Verbot einer Einleitung fester oder flüssiger Abfälle. Artikel 14 enthält Aussagen über eine Meldung des Indirekteinleiter-Betriebes, nach Anordnung der zuständigen Behörde, zwecks Abwassermenge und Konzentrationen der eingeleiteten Stoffe. Artikel 15 regelt die periodische Überwachung der Indirekteinleiter durch die Behörde und Artikel 17 ordnet die Meldung außerordentlicher Ereignisse an.

Für den Flughafen Zürich ist der Anhang 3.2 der Gewässerschutzverordnung von wesentlicher Bedeutung. In diesem wird die Einleitung von Industrieabwasser in die öffentliche Kanalisation geregelt. Abschnitt 1 enthält Begriffe und Grundsätze und Abschnitt 2 Allgemeine Anforderungen bezüglich verschiedener Parameter wie Temperatur, pH-Wert oder bestimmte Grenzwerte für einzelne Stoffe. Entscheidend für die Einleitung der ungelösten Folienbeutel der wasserlosen Toilette ist der Artikel 10 der Gewässerschutzverordnung in Verbindung mit dem Anhang 3.2 Abschnitt 2, Parameter „gesamte ungelöste Stoffe“. Zweites betrifft zwar lediglich die Einleitung in Gewässer, wird sich jedoch auf die Einleitungsbedingungen der Abwasserbeseitigungspflichtigen niederschlagen. Wesentlich ist, dass die Folien ebenso wie in Deutschland das Kanalsystem und die Abwasseranlage bei einer Einleitung schädigen könnten. Sollten die Folien nicht in einer Abwasservorbehandlungsanlage am Flughafen entfernt werden, liegt kein Abwasser gemäß Gewässerschutzverordnung vor, sondern Sonderabfall gemäß VVS. Somit wird eine Entsorgung über fachgerechte, bewilligte Empfängerbetriebe notwendig. Dies jedoch führt wie in Kapitel 11 dieser Arbeit bereits erwähnt, zu einem hohen logistischen Aufwand, der für den Flughafen unwirtschaftlich wäre, sofern nur einzelne Flugzeuge die wasserlose Folientoilette mit sich führen.

Zum Ende dieses Abschnittes sollen der Vollständigkeit halber die Kantonalen Gesetzmäßigkeiten erwähnt werden, welche der Umsetzung des bundesrechtlichen Gewässerschutzgesetzes auf Landesebene (Kantonaler Ebene) dienen. Dazu gehören die Kantonalen Bestimmungen wie beispielsweise die Gewässerschutzverordnung

(KGSchV vom Grossen Rat erlassen am 27.01.1997 und das Kantonale Gewässerschutzgesetz (KGSchG vom Volke angenommen am 08.06.1997) des Kantons Graubünden. In der KGSchV sei auf Artikel 1 verwiesen, der es den Vollzugsorganen (gemäß Art. 1 KGSchV sind Vollzugsorgane zum Einen das Department, z. B. Erziehungs-, Kultur- und Umweltschutzdepartment und zum Anderen die Fachstelle für Gewässerschutz, z. B. Amt für Umweltschutz) erlaubt, Richtlinien über das Versickernlassen von *nicht* verschmutztem Abwasser und die Kontrolle von Abwasseranlagen zu erlassen. Die Vollzugsorgane werden laut Art. 2 Abs. 3 KGSchG vom Grossen Rat bezeichnet.

Abschließend kann man festhalten, dass auch in der Schweiz das Entsorgen des Gemisches aus Folien-Beutel-Einheiten und Fäkalien möglich ist.

12.2.2 ÖSTERREICH

In Österreich ist rahmenrechtlich das Wasserrechtsgesetz (WRG in der Fassung vom 01.11.1959 - idF BGBl. I Nr. 82/2003) auf Bundesebene zu nennen. Aus dem WRG resultieren zum Einen die Allgemeine Abwasseremissionsverordnung (AAEV in der Fassung vom 20.04.1996) basierend auf dem § 33 b und c und die Indirekteinleiterverordnung (IEV in der Fassung vom 10.07.1998) basierend auf dem § 32 WRG. Während die Emissionsverordnung nur für Direkteinleiter von Bedeutung ist, dient die Indirekteinleiterverordnung der Klärung, ob eine Abwassereinleitung lediglich einer Mitteilungspflicht an das Kanalisationsunternehmen (vgl. § 32b Abs. 2 WRG 1959) bedarf, oder ob zur Abwassereinleitung eine Bewilligung durch die zuständige Behörde in Form eines Anzeigeverfahrens (vgl. § 32b Abs. 5 WRG 1959) vorhanden sein muss. Die zuständige Behörde ist in der Regel die Wasserrechtsbehörde. Die Indirekteinleiterverordnung gilt für die Einleitung von Abwasser, das auch nur geringfügig *nicht* häuslichem Abwasser entspricht und zur Einleitung in die öffentliche Kanalisation bestimmt ist (sinngemäß entnommen aus § 1, Abs. 1 IEV). Häusliches Abwasser wird gemäß §1 Abs. 3, Nr. 3 als

„Abwasser aus Küchen, Waschküchen, Waschräumen, Sanitär- oder ähnlich genutzten Räumen in Haushalten oder mit diesem hinsichtlich seiner Beschaffenheit vergleichbares Abwasser aus öffentlichen Gebäuden oder aus Gewerbe-, Industrie-, landwirtschaftlichen oder sonstigen Betrieben“

definiert. Dagegen ist Abwasser, das den Regelungen der Indirekteinleiterverordnung unterliegt:

„Wasser, das infolge der Verwendung in Prozessen der Verwertung, Konsumation oder Dienstleistung sowie in Kühl-, Lösch-, Reinigungs-, Desinfektions- oder sonstigen nicht natürlichen Prozessen in seiner Beschaffenheit derart verändert wird, dass es Gewässer in ihrer Beschaffenheit zu beeinträchtigen oder zu schädigen vermag.“ (§ 30 WRG 1959)

Da laut Definition häusliches Abwasser auch aus Gewerblichen Betrieben (Flughafen) stammen kann, stellt sich die Frage, ob das Flughafenabwasser den Bestimmungen der Indirekteinleiterverordnung unterliegt. Da in den Abwassertanks oftmals spezielle Desinfektionsmittel verwendet werden und die Enteisungsabwässer am Flughafen hinzu kommen, ist davon auszugehen, dass häusliches Abwasser mehr als geringfügig verändert vorliegt und somit das Flughafenabwasser den Anforderungen der Indirekteinleiterverordnung entsprechen muss. Die Indirekteinleiterverordnung enthält in Anlage 1 verschiedene Herkunftsbereiche, deren Abwasser eine wasserrechtliche Bewilligung bedarf. Der Flughafen unterliegt keiner dieser Herkunftsbereiche. Jedoch ist § 2 IEV, Abs.1 und 2 ausschlaggebend bezüglich der Untersuchung der rechtlichen Einordnung des Flughafenabwassers. Abs. 1 beinhaltet die Mitteilungspflicht an das Kanalisationsunternehmen nach § 5 IEV für alle Abwässer nach § 1 Abs. 1 IEV, also mehr als geringfügig veränderte häusliche Abwässer. Des Weiteren beinhaltet Abs. 2 eine Bewilligungspflicht dieser Abwässer, wenn sie aus einem der in Anlage A genannten Herkunftsbereiche stammen, *oder ein Schwellenwert nach § 3 IEV überschritten wird*. Sollte letzteres der Fall sein, sind die Abwässer des Flughafens Wien wasserrechtlich bewilligungspflichtig und unterliegen damit ebenfalls § 5 IEV der Pflicht zur Meldung der Ergebnisse von Fremd- und Eigenüberwachung in einem Zeitraum von 2 Jahren. Das Kanalisationsunternehmen hat die Pflicht nach § 6 IEV, ein Indirekteinleiterkataster zu führen, welches in regelmäßigen Abständen der Wasserrechtsbehörde vorzulegen ist. Sollte sich das Abwasser aufgrund der eingeleiteten Folienbeutel oder aufgrund weniger Wassers ändern, muss dies dem Kanalisationsunternehmen durch die Flughafenbetreiber mitgeteilt werden.

Sollte letzteres nicht der Fall sein, besteht keine Bewilligungspflicht nach IEV. Der Flughafen unterliegt damit lediglich den Bestimmungen des § 4 IEV „Überwachung von wasserrechtlich nicht bewilligungspflichtigen Indirekteinleitungen“.

Das heißt, auch hier könnte ein Gemisch aus Fäkalien und Folien-Beutel-Einheiten entsorgt werden.

13 FOLIENMATERIAL

Nachdem im vorherigen Kapiteln die umweltrechtlichen Anforderungen (siehe Kapitel 12), die Entsorgung der Bordfäkalien (siehe Kapitel 11) und Anforderungen an das neue System und die Folien-Beutel-Einheiten erarbeitet wurden (siehe Kapitel 7), werden im Folgenden anhand einer Bewertungsmatrix das bisher verwendete Folienmaterial (aus Maisstärke) und andere bereits auf dem Markt käuflich erwerbliche Materialien verglichen.

13.1 BEWERTUNG DER VERSCHIEDENEN MATERIALIEN

Um einen optimalen Vergleich der verschiedenen Folienmaterialien zu erhalten, werden in der Bewertungsmatrix die Hauptanforderungen den Materialien gegenüber gestellt.

Eine Marktrecherche über verschiedene Folienmaterialien hat die folgenden Materialien und Hersteller hervorgebracht:

- **Nordenia International AG:**
 - wasserlösliche Folien (Entwicklungsschwerpunkt) bestehend aus Polyetheresteramiden oder Polyvinylalkoholen
- **SOKUFOL Folien GmbH:**
 - Wasserlösliche Folien basierend auf Polyvinylalkoholen
- **RHEIN-PLAST GmbH:**
 - PE-Folien
- **BASF AG:**
 - Ecoflex: biologisch abbaubarer Kunststoff
- **Universität Stuttgart (Kunststoffinstitut):**
 - biologisch abbaubare Kunststoffe auf Celluloseacetatbasis, Biopol, Milchsäure

Die Hauptanforderungen an das Folienmaterial für die Bewertungsmatrix sind folgende:

1. Zersetzung des Materials im Waste Tank innerhalb von 20 Minuten (aktuell durch Human Waste als Initiator der Zersetzung)
2. Vermittlung eines angenehmen Hautgefühls
3. Die Foliensäcke müssen den internationalen Brandschutzmaßnahmen der Luft- und Raumfahrt entsprechen. Sie dürfen im Brandfall keine giftigen Gase entwickeln.
4. Biologisch abbaubar

Mit den verschiedenen Materialien und den Hauptanforderungen kann nun eine Bewertungsmatrix (siehe Tab. 13-1) aufgestellt werden.

Folienmaterial		Hauptanforderungen			
		Zersetzungszeit	Brennbarkeit	biologische Abbaubarkeit	Hautgefühl
Maisstärke		4 Wochen	nicht brennbar	ja	angenehm
	Bewertung	KO-Kriterium	++	++	++
Ecoflex		3 Wochen	nicht brennbar	ja	angenehm
	Bewertung	KO-Kriterium	++	++	++
Polyvinylalkohole		langsam wasserlöslich (Heiß und kalt)	brennbar	prinzipiell ja, aber diskontinuierliche Mengen in Kläranlage nicht	unangenehm
	Bewertung	++	KO-Kriterium	0	--
Polyetheresteramiden		schnell wasserlöslich (Heiß und kalt)	brennbar	ja	unangenehm
	Bewertung	++	KO-Kriterium	++	--
PE-Folien		nicht zersetzbar	schwer entflammbar	nein	unangenehm
	Bewertung	KO-Kriterium	+	--	--
Milchsäure		4 Wochen	nicht brennbar	biologisch	angenehm
	Bewertung	KO-Kriterium	++	++	++

Tab. 13-1: Bewertungsmatrix Folienmaterial

13.2 AUSWERTUNG

Wie man der Bewertungsmatrix entnehmen kann, ist keines der bisher vorhandenen Folienmaterialien für den Einsatz in einer wasserlosen Toilette in Passagierflugzeugen einsetzbar. Aus diesem Grunde ist es notwendig, ein völlig neues Folienmaterial, das den Anforderungen aus Kapitel 7 entspricht, zu entwickeln.

14 TESTANFORDERUNGEN

14.1 EINSTELLTESTS

Bevor die Nachweise für die Betriebssicherheit des wasserlosen Toilettenmoduls erbracht werden können, müssen einige Versuche durchgeführt werden, um den Prototypen optimal einstellen zu können. Hierbei geht es in erster Linie um das Verhalten der Folie im Toilettenmodul. Dieses ist durch theoretische Betrachtungen nur schwer zu erfassen und soll daher in einigen Versuchsreihen ermittelt werden. Die Ergebnisse dieser Versuche sollen dann für das Einstellen des Prototypen genutzt werden.

14.1.1 ERMITTLUNG DER ÖFFNUNGSDAUER DES SPÜLVENTILS BEIM EINSAUGEN DES BEUTELS

Im Schritt 11 der Steuerung soll das Spülventil kurzzeitig geöffnet werden, um die zu diesem Zeitpunkt über der Toilettenbrille liegende Folie in die Toilettenschüssel zu saugen. Das Spülventil verfügt über 2 Endschalter, die jeweils den geöffneten und den geschlossenen Zustand des Ventils sensorisch erfassen. Der Öffnungs- und Schließvorgang wird durch das Verdrehen einer halbmondförmigen Scheibe mit einem Elektromotor realisiert. Abb. 14-1 zeigt das Ventil und den dazugehörigen Schaltplan.

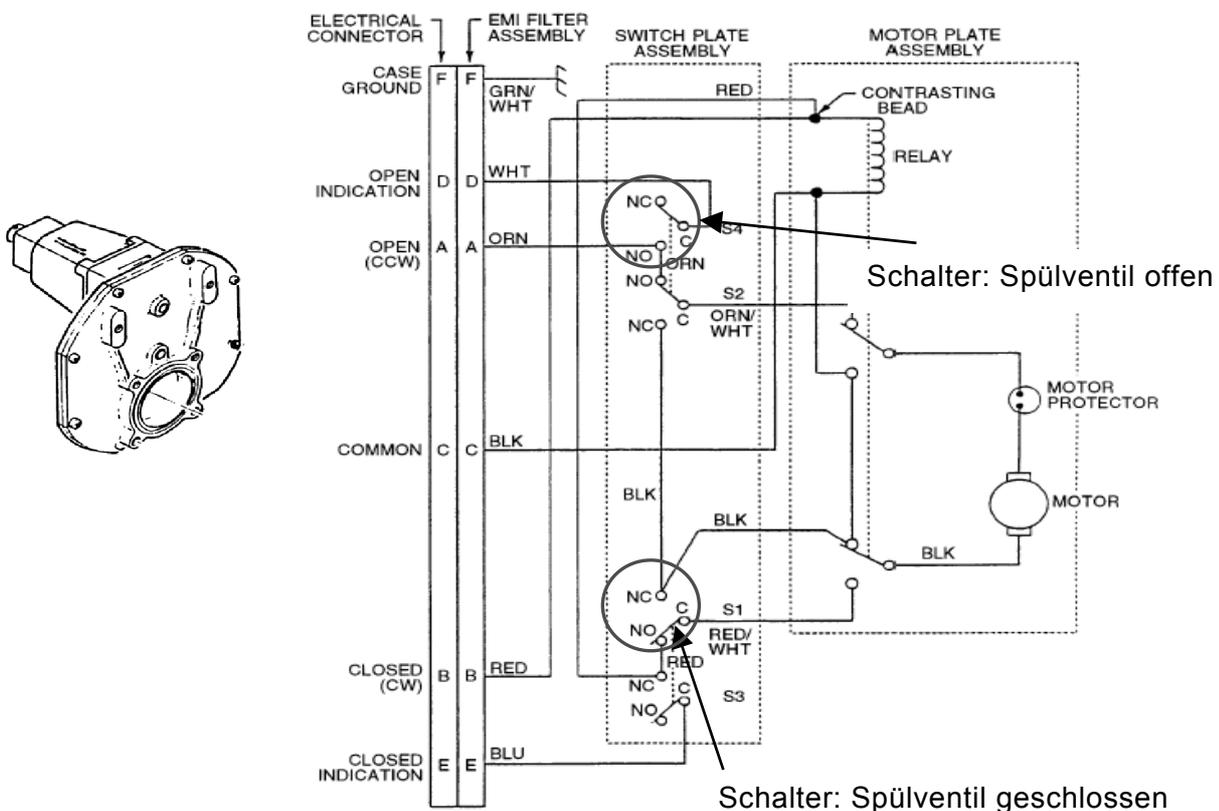


Abb. 14-1: Spülventil und Schaltplan des Spülventils

Ziel:

Es soll eine optimale Öffnungszeit für das Spülventil ermittelt werden, die zu der besten Platzierung der Folie in der Toilettenschüssel führt. Weiter sollen die Toleranzgrenzen ermittelt werden, bis zu welchen die Folie noch akzeptabel in der Schüssel platziert wird.

Testaufbau und Testablauf:

Die Folie wird über die Toilettenbrille gezogen und außen mit dem Klemmrahmen in der Nut der Brille fixiert. Das geringste Vakuum wird an die Toilette angelegt. Jetzt wird das Spülventil für eine sehr kurze Zeit geöffnet (Es wird davon ausgegangen, dass diese Zeit zu gering ist, um die Folie korrekt zu positionieren). Dann muss das Ergebnis beurteilt und in die Tab. 14-1 eingetragen werden. In den nächsten Testschritten wird die Öffnungszeit von Schritt zu Schritt vergrößert. Wenn dann die Beurteilung ergibt, dass die Folie in der Schüssel akzeptabel positioniert wird, ist die untere Toleranzgrenze erreicht. Nach weiterer Erhöhung der Öffnungszeit wird das Vakuum in der Toilettenschüssel irgendwann so stark sein, dass die Folie zerrissen wird. Der Testschritt vor diesem stellt die obere Toleranzgrenze dar. Die optimale Öffnungszeit ist das arithmetische Mittel der beiden ermittelten Werte. Dieser Testzyklus soll dann in gleicher Weise mit einem Vakuum von 0,4 bar, 0,5 bar und 0,6 bar wiederholt werden. Die so ermittelten optimalen Öffnungszeiten ergeben dann die Funktion der Öffnungszeiten in Abhängigkeit von dem anliegenden Vakuum.

Vakuum: 0,3 bar		
Testschritt	Öffnungszeit (s)	Bewertung
1	0,05	
2	0,10	
3	0,15	
4	0,20	
...

Tab. 14-1: Ermittlung der Spülventilöffnungszeit zur Folienfixierung

14.1.2 ÖFFNUNGSDAUER DES SPÜLVENTILS BEIM ABSAUGEN DER FOLIE

Die Absaugung der benutzten Folie aus der Toilettenschüssel wird in Schritt 6 der Steuerung ausgeführt. Hier wird das Spülventil vollständig geöffnet und solange offen gehalten, wie es notwendig ist, damit die Folie sicher den Wastetank erreichen kann.

Ziel:

Es muss die Öffnungszeit des Spülventils ermittelt werden, die zu einem sicheren Transport der Folie in den Wastetank führt.

Testaufbau und Testablauf:

Die Folie wird in der Toilettenschüssel platziert. Das Rohrsystem von der Toilettenschüssel zum Wastetank muss aus einem durchsichtigen Material bestehen, damit der Absaugvorgang beobachtet werden kann. Begonnen werden soll wieder mit einem Vakuum von 0,3 bar. Im erste Schritt wird das Spülventil geöffnet und solange offen gehalten, bis die leere Folie im Wastetank angekommen ist. Dieser Vorgang wird mit einer Füllung der Folie mit Fäkalienersatzmaterial von 0,1 l, 0,2 l, 0,3 l, 0,4 l, 0,5 l und 0,6 l wiederholt. Die längste ermittelte Zeit stellt dann die einzustellende Absaugzeit für dieses anliegende Vakuum dar. In der selben Weise ist danach mit Vakuumdrücken von 0,4 bar, 0,5 bar und 0,6 bar, zu verfahren. (siehe Tab. 14-2)

Vakuum: 0,3 bar	
Füllmenge (l)	Öffnungszeit (s)
0	
0,1	
0,2	
0,3	
0,4	
0,5	
0,6	

Tab. 14-2: Ermittlung der Spülventilöffnungszeit zur Folienabsaugung

14.2 NACHWEIS DER BETRIEBSSICHERHEIT

Für den Nachweis der Betriebssicherheit muss das gesamte Toilettenmodul in einem Dauertest eine Ausfallwahrscheinlichkeit erfüllen, die auch für herkömmliche Vakuumtoiletten gefordert wird. Diese wird mit kleiner als 8×10^4 angegeben (*System Requirements Document A380-800*)

Ziel:

Die im System Requirements Document geforderten maximalen Ausfallwahrscheinlichkeiten müssen nachgewiesen werden. Wenn das nicht im ersten Anlauf gelingt, soll der Test Ansätze für die Verbesserung des Systems liefern.

Testaufbau und Testablauf:

Ein Teil des Waste- Systems des Airbus A380-800 wird für den Teststand nachgebaut. Folgende Original- Bauteile werden für den Teststand benötigt:

Anzahl	Art
1	300 l Waste Tank
2	Toilettenschüssel
ca. 20 m	2-Zoll-Rohre mit Rohrbögen
	Rohrhalter

Tab. 14-3: Original-Bauteile für Teststand

Weiter muss für die Erzeugung der benötigten Druckdifferenz eine Vakuumpumpe zur Verfügung stehen. Diese muss im System eine maximale Druckdifferenz von 0,6 bar aufbauen können. Das maximale Fördervolumen bei diesem Differenzdruck sollte möglichst groß gewählt werden, da die Testanlage dadurch flexibel auf verschiedene Testanforderungen reagieren kann. Für eine erste Abschätzung der benötigten Vakuumpumpe soll die Leistung des im Waste-System verwendeten Vakuumgebläses herangezogen werden. Dieses erzeugt bei einem Differenzdruck von 0,6 bar einen Volumenstrom von ca. 2600 l/min. Das Unternehmen Gascoigne Melotte bietet mit ihrer Vakuumpumpe Maxivac 5 bei einem Differenzdruck von 0,5 bar einen Volumenstrom von 3400 l/min. ([www. Gascoignemelotte.com](http://www.Gascoignemelotte.com))

Als Fäkalienersatzstoff soll eine Mischung aus gequetschtem Hafer und Wasser dienen. Hierbei simuliert der Hafer die Exkremente und das Wasser den Urin. Das Mischungsverhältnis wird wie folgt hergeleitet:

Während eines Langstreckenfluges von 8 Stunden benutzt jeder Passagier die Toilette durchschnittlich 6 mal. Hierbei ist davon auszugehen, dass eine Benutzung dazu dient, Feststoffe in die Toilette abzugeben. Die anderen 5 Benutzungen werden zum Urinieren genutzt. In Tab. 14-4 ist die Herleitung des benötigten Mischungsverhältnisses dargestellt.

	Anzahl	Feststoffe pro „Gang“	Feststoffe gesamt	Urin pro „Gang“	Urin gesamt
"kleine" Toilettengänge	5	0	0	0,3 l	1,5 l
"grosse" Toilettengänge	1	0,4 l	0,4 l	0,2 l	0,2 l
Toilettenpapier	6	0,005 l	0,03 l	0	0
Folienverbrauch	6	0,02 l	0,12 l	0	0
Summe pro Flug		Feststoffe pro Pax:	0,55 l	Urin pro Pax:	1,7 l

Gesamtmenge Feststoffe und Urin pro Flug und Pax:	2,25 l
Flüssigkeitsanteil:	75,56%
Mischungsverhältnis Feststoffe zu Wasser:	ca. 1:3

Tab. 14-4: Bestimmung des Fäkalienersatzstoffes

Um den Test starten zu können, muss das Magazin mit Folie bestückt sein, der Waste Tank geleert sein und im System ein Vakuum zwischen 0,3 bar und 0,6 bar anliegen. Da der gesamte Folienbestückungs- und Absaugvorgang durch das wasserlose Toilettenmodul automatisch abläuft, müssen nur noch das Öffnen des Deckels und das Einfüllen des Fäkalienersatzstoffes automatisiert werden. Für den Nachweis der geforderten Ausfallwahrscheinlichkeit müssen mehrere Toilettenmodule parallel oder nacheinander mindestens 80000 mal den Betriebszyklus durchlaufen, ohne eine Störung aufzuweisen, die nicht vom System automatisch behoben werden kann.

14.3 LEBENSDAUERNACHWEIS

Für das gesamte wasserlose Toilettenmodul wird eine Lebensdauer von 10^6 Betriebszyklen gefordert. (System Requirements Document A380-800). Um diesen Nachweis erbringen zu können, muss entweder das gesamte Toilettenmodul die volle Anzahl an Testzyklen durchlaufen oder das Modul in seine einzelnen Funktionskomponenten aufgeteilt werden, die dann alle für sich den Lebensdauernachweis erbringen müssen. Die zweite Variante hat den Vorteil, dass mögliche Schwachstellen der Komponenten getrennt von den anderen auftreten und behoben werden können. Weiter kann durch diese Vorgehensweise der gesamte Test beschleunigt werden, weil durch eine Erhöhung der Belastung der Komponenten während des Tests mit einer geringeren Zyklenanzahl die wirkliche Lebensdauer hochgerechnet werden kann.

15 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Ausgehend von den heutigen Toilettensystemen und dem Stand der Technik sowie den Versuchsergebnissen mit dem ersten Prototypen und den Problembereichen des heutigen Toilettensystems in Passagierflugzeugen wurden die Anforderungen an ein neues System erstellt. Auf der Grundlage dieser Anforderungen wurden drei Konzepte für das innovative Toilettensysteme erarbeitet. Diese Konzepte wurden dann anhand der Hauptanforderungen, Hygiene, Brandgefahr und Komplexität, bewertet. Nach der Bewertung stellte sich heraus, dass das Konzept C am wenigsten Vorteile bietet. Anschließend wurde eine Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt. Dabei stand die Zielkostenplanung im Vordergrund. Es stellte sich heraus, dass die beiden Konzeptvarianten A und B beide im Kostenrahmen liegen würden. Da jedoch Variante A aus technischer Sicht besser bewertet wurde, wurde im folgenden Verlauf der Arbeit die Variante A weiter detailliert und auskonstruiert.

Nach der Konstruktion der Variante A wurden die jetzigen Entsorgungswege von Bordfäkalien betrachtet. Dies war notwendig, da das neue Toilettensystem die vorhandenen Entsorgungswege beibehalten soll. Anschließend wurden die umweltrechtlichen Entsorgungsrichtlinien national und international behandelt. Mit den nun gesammelten Informationen und Anforderungen wurden dann verschiedene vorhandene Folienmaterialien miteinander verglichen. Es stellte sich heraus, dass keines der vorhandenen Materialien die Anforderungen im Luftfahrtbereich bzw. die Anforderungen durch die Entsorgungswege erfüllt. Somit muss ein neues Folienmaterial anhand der Anforderungen entwickelt werden.

Abschließend lässt sich festhalten, dass durch das entworfene Konzept sowohl Kosten eingespart werden als auch der hygienische Standard erhöht werden.

Durch die ständig frische Folie auf der Toilettenbrille wird nach jeder Benutzung ein Höchstmaß an Sauberkeit erreicht, was in Zeiten steigender Passagierzahlen und zunehmenden Hygienebewusstseins immer wichtiger wird.

Die einwandfreie Hygiene bei jeder Benutzung der Toilette kann ebenfalls zur Kundenzufriedenheit beitragen, was sich dann wiederum positiv in den Fluggastzahlen der einzelnen Fluggesellschaften widerspiegeln kann.

15.1 AUSBLICK

Dieses Konzept für Toiletten ist nicht nur in Flugzeugen einsetzbar, sondern auch in allen anderen Verkehrsmitteln, wie z. B. Bahn, Schifffahrt und Bussen. Ein weiteres Nutzungspotential würde sich sogar in öffentlichen Toiletten, wie z. B. in Restaurants bieten. Für diese Art der Anwendung müssen einige konstruktive Änderungen vorgenommen werden, ohne jedoch den Grundgedanken (Toilette ausgestattet mit einem Folien-Beutel-Mechanismus) ändern zu müssen.

16 LITERATURVERZEICHNIS

- AbwAG (BUNDES-) ABWASSERABGABENGESETZ; Fassung der Bekanntmachung vom 03.11.1994 (BGBl. I S. 3370, zuletzt geändert durch G. v. 09.09.2001, BGBl. I S. 2331)
<http://teiresias.umsicht.fhg.de/WebTeiresias/vtdat/abwag.htm>
Stand: 08.03.2004
- AbwV Abwasserverordnung; Fassung der Bekanntmachung vom 15.10.2002* (BGBl. I S. 4047, ber. S. 4550, *in der seit dem 01.08.2002 geltenden Fassung)
<http://217.160.60.235/BGBl/bgbl1f/bgbl102s4047.pdf>
Stand: 08.03.2004
- AccuFleet AccuFleet, 2004
<http://www.accufleet.com/main.htm>
Stand: 23.05.2004
- AOA - 1 apparatebau gauting GmbH, 2005
http://www.aoa-gauting.de/prod_212.html
Stand: 07.01.2005
- AOA - 2 apparatebau gauting GmbH, 2005
http://www.aoa-gauting.de/prod_215.html
Stand: 07.01.2005
- BayAbwAG Bayerisches Gesetz zur Ausführung des Abwasserabgabengesetzes; Fassung vom 09.09.2003 (GVBl. Nr. 21 vom 30.09.2003 S. 730)
http://www.umwelt-online.de/recht/wasser/laender/bay/abg_ges.htm
Stand: 12.03.2004
- BayWG Bayerisches Wassergesetz; Fassung vom 19.07.1994
http://www.umwelt-online.de/recht/wasser/laender/bay/lwg_ges.htm
Stand: 12.03.2004
- BICS Herfert, K.; Meschenmoser, H. „Flugzeuge“, 2003
www.bics.be.schule.de/son/verkehr/flugzeug/d_check/14.htm
Stand: 03.11.2003
- DIN 4045 DIN 4045, Abwassertechnik: Begriffe. 1985

- DIW Deutsches Institut für Wirtschaft (DIW Berlin)
„Grundlinien der Wirtschaftsentwicklung 2003/2004“, 2003
www.diw.de/deutsch/produkte/publikationen/wochenberichte/docs/03-01-3.html
Stand: 29.10.2003
- EPER EMISSIONSERKLÄRUNGSVERORDNUNG- ABWASSER: Fassung vom 11.12.2001 (HmbGVBl. Nr. 54, S.588)
<http://www.luewu.de/GVBL/2001/54.pdf>,
Stand: 08.03.2004
- ERDMANN Spülwasserfreies Vakuum-Toiletten-System durch Nanobeschichtung; DASA
- EÜV Eigenüberwachungsverordnung- Verordnung zur Eigenüberwachung von Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen; Fassung vom 20.09.1995
http://www.umwelt-online.de/recht/wasser/laender/bay/euv_ges.htm
Stand: 12.03.2004
- GSchG Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz), Fassung vom 24.01.1991 (Stand vom 22.12.2003), Schweiz
<http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.20.de.pdf>,
Stand: 28.06.2004
- GSchV GEWÄSSERSCHUTZVERORDNUNG, Fassung vom 28.10.1998 (Stand am 18.11.2003), Schweiz
<http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.201.de.pdf>
Stand: 28.06.2004
- HmbAbwG HAMBURGISCHES ABWASSERGESETZ; Fassung vom 24.07.2001 (HmbGVBl. Nr. 29 S. 258ff)
<http://www.luewu.de/GVBL/2001/29.pdf>,
Stand: 08.03.2004
- HwaG HAMBURGISCHESWASSERGESETZ; Fassung vom 20.06.1960 (HmbGVBl. S. 335), geändert am 17.12.2002 (HmbGVBl. S. 347, 351), zuletzt geändert am 04.02.2003 (HmbGVBl. Nr. 8, S. 53ff)
<http://www.luewu.de/GVBL/2004/8.pdf>,
Stand: 08.03.2004

- KGSchG KANTONALES GEWÄSSERSCHUTZGESETZ (Einführungsgesetz zum Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer), Fassung vom 08.06.1997
<http://www.navigator.ch/gr/lpext.dll/br/ofhauptkapitel200489/ofhauptkapitel300520/ofhauptkapitel400527/ofgesetz00528.htm?f=templates&fn=document-frame.htm&2.0>,
Stand: 29.06.2004
- KGSchV KANTONALE GEWÄSSERSCHUTZVERORDNUNG (Verordnung zum Einführungsgesetz zum Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer), Fassung vom 27.01.1997
<http://www.navigator.ch/gr/lpext.dll/br/ofhauptkapitel200489/ofhauptkapitel300520/ofhauptkapitel400527/ofgesetz00529.htm?f=templates&fn=document-frame.htm&q=Abwasser&x=Simple&2.0>
Stand: 29.06.2004
- KLAAS KLAAS, A. „WASSER“, 2001-2003
www.lexikon.wasser.de/index.pl?begriff=kubikmeter&job=te
STAND: 10.10.2003
- Klaieranlage DETMOLDER ABWASSER GMBH
www.klaieranlage-online.de
STAND: 28.01.2004
- KomAbwVO Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 91/271EWG des Rates über die Behandlung von kommunalem Abwasser; Fassung vom 24.06.1997
http://www.umwelt-online.de/recht/wasser/laender/hh/kom_ges.htm
Stand 08.03.2004
- KrW-/AbfG Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz; Fassung vom 27.09.1994 (BGBl. I S. 2705, zuletzt geändert durch G. v. 25.08.1998, BGBl. I S. 2455
<http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/krw-abfg/>,
Stand: 24.03.2004
- LAMITSCHKA Moderne Sanitäranlagen: Hygiene, Umwelt und Wirtschaftlichkeit
Verlag Moderne Industrie, Landsberg / Lech, 1998
- LKS-MUC LANDKREIS MÜNCHEN: April 2004
www.landkreis-muenchen.de/landkreis/landkreis_3138.htm,
Stand: 05.04.2004

- Lufthansa – 1 Layout Canadair Jet CRJ 700
http://cms.lufthansa.com/LHeCMS/CDA/Designs/fly/Popup/MediaPopup?hl=Canadair%2520Jet%2520CRJ%2520700&pic=/LHeCMS/mediafiles/gif/0/0,4389,121160,00.gif&arc=&qTranslation=fly_de_de;
Stand 11.01.2004
- Lufthansa – 2 Layout Airbus A320,
http://cms.lufthansa.com/LHeCMS/CDA/Designs/fly/Popup/MediaPopup?hl=Airbus%2520A320%2520%2528innerhalb%2520Deutschlands%2529&pic=/LHeCMS/mediafiles/gif/3/0,4389,121103,00.gif&arc=&qTranslation=fly_de_de;
Stand 11.01.2004
- Lufthansa – 3 Lufthansa, 2003
http://eu10300081.eu.verio.net/de/downloads/presse/downloads/publikationen/lh_gb_2002.pdf
Stand 17.11.2003
- Lufthansa – 4 Lufthansa, 2003
www.lufthansa-cargo.de/content.jsp?path=0,1,10,10645,14254,14256,14317,16692,16693
Stand: 17.11.2003
- Monogram - 1 Monogram Systems, 2005
<http://www.monogramsystems.com/download/MonoBroch1a1.pdf>
Stand 07.01.2005
- Monogram - 2 Monogram Systems, 2003
http://www.monogramsystems.com/prod_pics/images/WasteManagement_lg.gif
Stand 21.03.2003
- Monogram - 3 Monogram Systems, 2005
http://www.monogramsystems.com/prod_pics/vacuum%20waste%20systems.htm
Stand 07.01.2005
- Nisipeanu 1991 NISIPEANU, Peter, 1991
Abwasserrecht. München
- NWG Niedersächsisches Wassergesetz; Fassung vom 25.03.1998
<http://www.mu.niedersachsen.de/pdf/NWG.pdf>,
Stand: 22.03.2004

- PAHL, G.; BEITZ, W. Konstruktionslehre, Handbuch für Studium und Praxis
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1986
- Sander/ Rosenzweig Sander, Eberhard; Rosenzweig, Klaus: Wasserrecht, 1999
Abwasserrecht. (Management, Recht und Umwelt; Bd. 1),
Berlin
- SCHOLZ Scholz, D., 1999
Flugzeugentwurf, Skript zur Vorlesung, Fachhochschule
Hamburg, Fachbereich Fahrzeugtechnik
- VDI VDI nachrichten, 7. Mai 2004
Technik Wirtschaft
Allmählich wird wieder Zuversicht spürbar
- VVS VERORDNUNG ÜBER DEN VERKEHR MIT SONDERABFÄLLEN,
Fassung vom 12.11.1986 (Stand am 01.09.1998), Schweiz
<http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.610.de.pdf>,
Stand: 28.06.2004
- WHG Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes; Fassung der
Bekanntmachung vom 19.08.2002* (BGBl. I S. 3245, *in der
seit dem 21.08.2002 geltenden Fassung)
<http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/whg/index.html>
Stand: 08.03.2004

17 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1-1:	Jährlicher weltweiter Luftverkehr-Milliarden RPK.....	1
Abb. 2-1:	Vorgehensweise im Projekt.....	4
Abb. 3-1:	Layout Canadair Jet CRJ 700.....	6
Abb. 3-2:	Rezirkulationstoilette.....	6
Abb. 3-3:	Layout Airbus A320.....	7
Abb. 3-4:	Aufbau der Vakuumtoilette.....	8
Abb. 3-5:	Schematische Darstellung des Vakuumsystems mit Toiletteneinheit.....	9
Abb. 3-6:	Abwassertank mit Abfallseparator.....	12
Abb. 3-7:	Abwasserservicepaneel.....	13
Abb. 3-8:	Vakuumgenerator.....	14
Abb. 4-1:	Verschließbarer Behälter für eine Trockentoilette.....	15
Abb. 4-2:	Trockene Toilette.....	16
Abb. 4-3:	Automatische Trockentoilette.....	17
Abb. 4-4:	Klosett, insbesondere Fahrzeugklosett.....	18
Abb. 4-5:	Als transportable Einheit ausgebildete Abort-Einrichtung.....	19
Abb. 4-6:	Vakuum - Spültoiletensystem.....	20
Abb. 4-7:	Klosett mit einem Spender.....	21
Abb. 4-8:	Toiletteneinrichtung, insbesondere für Verkehrsmittel.....	22
Tab. 4-1:	Bewertung der Patente.....	23
Abb. 4-9:	Lotuseffekt.....	24
Abb. 4-10:	Benetzungswinkel bei unterschiedlichen Beschichtungen.....	25
Abb. 4-11:	Folien-Beutel-Konstruktion.....	25
Abb. 4-12:	Ablauf des Konzeptes Folien mit Beuteln.....	26
Abb. 4-13:	Verdrehung des Zahnriementriebes.....	27
Abb. 4-14:	Prototyp wasserlose Toilette.....	27
Abb. 5-1:	Lage der Drucksensoren.....	28
Abb. 5-2:	Druckbilder ohne Befüllung.....	30
Abb. 5-3:	Druckbilder bei 250 ml Gel-Füllung.....	30
Abb. 5-4:	Druckbild bei 2500 ml Gel + 3000 ml Wasserfüllung.....	31
Abb. 5-5:	Sichttest nach Entleerung des Waste Tank - Loch im Beutel.....	31
Abb. 7-1:	Left Hand-Toiletteneinheit.....	51
Abb. 7-2:	Right Hand-Toiletteneinheit.....	51
Abb. 7-3:	Absolutmaße Bauraum.....	52
Abb. 7-4:	Abmaße Folien-Beutel-Einheit.....	54
Abb. 8-1:	Prinzipielle Funktionsabläufe.....	55
Abb. 8-2:	Klemmrahmenvariante.....	56
Abb. 8-3:	Klemmbrillenvariante mit Folienzuführung im Deckel.....	57
Abb. 8-4:	Klemmbrillenvariante mit Folienzuführung in der Brille.....	57
Tab. 8-2:	Anzahl Bauteile und Antriebe für die Varianten A und B.....	60
Abb. 9-1:	Anteile Langstrecken- und Großraumflugzeuge und verbaute Toiletten.....	67

Abb. 9-2: Marktanteile Airbus und Boeing 2001	68
Abb. 9-3: Kumulierter Folienverbrauch	71
Abb. 9-4: Vergleich der Kostenstrukturen	82
Abb. 9-5: Zielkostenkontrolldiagramm Variante A	87
Abb. 9-6: Zielkostenkontrolldiagramm Variante B	89
Abb. 10-1: Lösungsschema Teil 1	95
Abb. 10-2: Steuerung der Lösungsvariante A.1	96
Abb. 10-3: Steuerung der Lösungsvariante A.2	98
Abb. 10-4: Steuerung der Lösungsvariante A.3	100
Abb. 10-5: Lösungsschema Teil 2	103
Abb. 10-6: Baugruppen mit ihren Bauteilen	105
Abb. 10-7: Bauraum in der Toilettenkabine	106
Abb. 10-8: Magazinanordnung	106
Abb. 10-9: Folienführung	107
Abb. 10-10: Mechanischer Greifer und Sauger	108
Abb. 10-11: Deckel mit Transporteinrichtung	109
Abb. 10-12: Klemmrahmenansteuerung	110
Abb. 10-13: Deckelverriegelung	111
Abb. 10-14: Folie trennen	112
Abb. 10-15: Magazingehäuse mit Zuführung	113
Abb. 10-16: Magazingehäuse	114
Abb. 10-17: Zuführung	114
Abb. 10-18: Deckel mit Transportvorrichtung	115
Abb. 10-19: Foliengreifer	116
Abb. 10-20: Greifschritt I	116
Abb. 10-21: Greifschritt II	117
Abb. 10-22: Greifschritt III	117
Abb. 10-23: Greifschritt IV	117
Abb. 10-24: Kräfteverhältnisse am Greifer	118
Abb. 10-25: Greiferkräfte an der Folie bei 20 N Zugkraft am Pneumatikzylinder	118
Abb. 10-26: Foliendehnung	119
Abb. 10-27: Technikgehäuse mit Toilettenbrille	120
Abb. 10-28: Toilettenbrille	120
Abb. 10-29: Parallelogrammgeometrie	122
Abb. 10-30: Klemmrahmen mit Steuerung	122
Abb. 10-31: Klemmrahmen in der oberen Stellung	123
Abb. 10-32: Klemmrahmen in der Klemmstellung	123
Abb. 10-33: Niederhalter mit Schneidenaufnahme	124
Abb. 10-34: Deckelverriegelung	125
Abb. 10-35: Kräftegleichgewicht Deckelverriegelung	125
Abb. 10-36: Geschlossenes Toilettenmodul	126
Abb. 10-37: Toilettenmodul in der Reinigungsposition	127

Abb. 10-38: Toilettenmodul in der Foliennachfüllposition	128
Abb. 10-39: Steuerung	132
Abb. 11-1: Rundum- Versorgung vor jedem Start	133
Abb. 11-2: Fäkalienfahrzeuge	134
Abb. 11-3: Funktion einer Kläranlage	137
Abb. 14-1: Spülventil und Schaltplan des Spülventils	156

18 TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 3-1:	Vergleich Rezirkulations- und Vakuumtoilette	8
Tab. 5-1:	Versuchsreihe Folien-Beutel-Einheiten 25 µm	29
Tab. 5-2:	Problembereiche des Prototypen	32
Tab. 6-1:	Zusammenfassung Veränderungen durch das wasserlose Toilettensystem	43
Tab. 8-1:	Erste Bewertung der Varianten	58
Tab. 8-3:	Bewertungsmatrix der Varianten	61
Tab. 9-1:	Passagier- und Toilettenanzahl nach Flugzeugtyp	66
Tab. 9-2:	Szenariobericht für den Toilettenabsatz pro Jahr	68
Tab. 9-3:	Szenarien für den Folienverbrauch	70
Tab. 9-4:	Funktionskostenmatrix für die Folientoilette	81
Tab. 9-5:	Absolute Kostenanteile Variante A	86
Tab. 9-6:	Absolute Kostenanteile Variante B	88
Tab. 9-7:	Relative Wertanteile Variante A	91
Tab. 9-8:	Relative Wertanteile Variante B	93
Tab. 10-1:	Ablauf Lösungsvariante A.1	97
Tab. 10-2:	Ablauf Lösungsvariante A.2	99
Tab. 10-3:	Ablauf Lösungsvariante A.3	101
Tab. 10-4:	Bewertungsmatrix 2	102
Tab. 10-5:	Baugruppen und deren Funktion	104
Tab. 10-6:	Bestimmung der Parallelogrammgeometrie	121
Tab. 10-7:	Sensoren	131
Tab. 11-1:	Auftretende Probleme in Bezug auf das bisher verwendete Folienmaterial	135
Tab. 12-1:	Rechtliche Regelungen zur Abwasserbeseitigung	140
Tab. 13-1:	Bewertungsmatrix Folienmaterial	155
Tab. 14-1:	Ermittlung der Spülventilöffnungszeit zur Folienfixierung	157
Tab. 14-2:	Ermittlung der Spülventilöffnungszeit zur Folienabsaugung	158
Tab. 14-3:	Original-Bauteile für Teststand	159
Tab. 14-4:	Bestimmung des Fäkalienersatzstoffes	159

19 ABKÜRZUNGSVEREICHNIS

°C	Celsius
µm	Mikrometer
A	Ampere
Abb.	Abbildung
AbfG	Abfallwirtschaftsgesetz
AbwAG	Abwasserabgabengesetz
AbwV	Abwasserverordnung
BayAbwAG	Bayerisches Gesetz zur Ausführung des Abwasserabgabengesetzes
BayWG	Bayerisches Wassergesetz
BITE	Built in Test Equipment
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CIDS	Kabineninterkommunikationssystem
cm	Zentimeter
d. h.	das heißt
dB	Dezibel
DC	Gleichstrom
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaft
EPER	Emissionserklärungsverordnung-Abwasser
etc.	et cetera
EÜV	Eigenüberwachungsverordnung
EWS	Entwässerungssatzung
FAA	Federal Aviation Authorities
FH	Flugstunden
HE	Hubelemente, elektrisch
HmbAbwW	Hamburger Abwassergesetz
HP	Hubelemente, pneumatisch
Hz	Hertz
in	Inch (1 in = 2,54 cm)
IndV	Indirekteinleitungsverordnung
ITK	Innovatives Toilettenkonzept
K1	Wasserversorgungskomponente, die den Sprühring und die Wasserventile beinhaltet
K2	Spülsteuergerät
K3	Absaugventil
K4	Toilettenschüssel
kg	Kilogramm
kHz	Kilohertz
KomAbwVO	Richtlinie des Rates über die Behandlung von kommunalem Abwasser
KrW	Kreislaufwirtschaftsgesetz
l	Liter
LKS-MUC	Landkreis München
LRU	Line Replacable Unit
LS	Linearantriebe, Spindel
LZ	Linearantriebe, Zylinder
mbar	Millibar
ml	Milliliter
mm	Millimeter

N	Newton
NWG	Niedersächsisches Wassergesetz
OASPL	Overall Sound Pressure Level: allgemeiner Schalldruckpegel
p. a.	per Anno
PAX	Passagiere
PET	Polyethylen
s	Sekunde
SRD	System Requirements Dokument
Std.	Stunden
Tab.	Tabelle
USPHS	United States Public Health Services
V	Volt
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
z. B.	zum Beispiel

19.1 SYMBOLVERZEICHNIS

F	Kraft
"	Zoll (1" = 2,54 cm)
€	Euro
m	Masse
SFC	Specific Fuel Consumption
t	Temperatur in °C
T	Temperatur in K
V	Volumen
W	Widerstand
x	Anteil
Δ	Einsparung/ Verringerung

19.2 INDIZES

A	Auftrieb
CT	Chemietoilette Tank
F	Treibstoff (fuel)
mehr	Mehrwasser
SP	Spülwasser
V	Volumen
V22	22% Vorbefüllung
VC	Vorbefüllung Chemietoilette
VS	Abwassertank Vakuumsystem
W	Wasser

20 ANHANGVERZEICHNIS

Anhang A	Instrumente der Marktanalyse	174
A.1	Fragebogen	174
A.2	Auswertung des Fragebogens (Funktionsgewichtung)	177
Anhang B	Berechnungsgrundlagen	178
B.1	Lufthansa Cargopreisliste für Standardfracht.....	178
B.2	Auswertung der Lufthansa Cargo Preise (Übersee Flüge)	185
B.3	Preisliste Envirovac Inc.....	186
B.4	Preisliste Rogerson Aircraft.....	187
Anhang C	Berechnungstabellen	189
C.1	Berechnungsgrundlage für den Toilettenabsatz.....	189
C.2	Kumulierter Folienverbrauch	190
C.3	Zielkostenindizes für Variante A	190
C.4	Zielkostenindizes für Variante B	190
Anhang D:	Folie-Beutel-Einheiten und Entsorgung	191
D.1	Datenblatt Jetzige Folien-Beutel-Einheiten	191
Anhang E:	Lebenslauf	192

ANHANG A INSTRUMENTE DER MARKTANALYSE

A.1 FRAGEBOGEN

1. How is your general attitude towards a new lavatory concept?

positive	rather positive	neutral	fairly negative	negative
<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Please comment your choice briefly. 

Difficult to assess until we have seen the lav. Looks better in terms of hygiene but not sure for function.

2. Please evaluate the general importance of the following aspects of a lavatory system.

	Important		↔	Unimportant	
Water savings	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hygiene	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Comfort for the passengers	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Design of the lavatory	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reduction of the cleaning costs	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Noise reduction	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Weight reduction	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maintenance	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Longer lifecycle of the lavatory	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

3. Where would you implement the waterless lavatory system?

- in new ordered aircrafts
- in your existing aircrafts
- both

Comments: It depends on the cost of the investment/retrofit versus added value of the product

-
4. For which kind of distance would you implement the waterless lavatory system?

- for long-range flights
- for medium-range flights
- for short-range flights
- for every kind of distance

Comments: Depends on the advantages of the product

5. Which of the following price conditions –maintenance cost – has to be given for the implementation of the new lavatory system in your fleet?

- 7% cheaper as a water lavatory
- 3% cheaper as a water lavatory
- the same price as a water lavatory
- 3% more expensive as a water lavatory
- 7% more expensive as a water lavatory

Comments: Price in itself does not mean anything – We have to look at product price, spares, space on floor, plastic bags, etc.

Existing Aircrafts

7. Which of the following price conditions –cost price – has to be given for an implementation of the new lavatory system in your existing aircrafts?

- 7% cheaper as a water lavatory
- 3% cheaper as a water lavatory
- the same price as a water lavatory
- 3% more expensive as a water lavatory
- 7% more expensive as a water lavatory

Comments: Same comments as Q5

New Aircrafts

8. Please evaluate the importance of the following aspects of a lavatory system when choosing a system for a new aircraft.

	Important		←→	Unimportant	
Water savings	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hygiene	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Comfort for the passengers	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Design of the lavatory	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reduction of the cleaning costs	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Noise reduction	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Weight reduction	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maintenance	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Longer lifecycle of the lavatory	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

9. Which of the following price conditions –cost price – has to be given for choosing the new lavatory system ordering a new aircraft?

- 7% cheaper as a water lavatory
- 3% cheaper as a water lavatory
- the same price as a water lavatory
- 3% more expensive as a water lavatory
- 7% more expensive as a water lavatory

Comments: Same as Q5

A.2 AUSWERTUNG DES FRAGEBOGENS (FUNKTIONSGEWICHTUNG)

Gewichtung der Funktionen					
	In general (Punkte)	Existing aircrafts (Punkte)	New aircrafts (Punkte)	Gesamt- punktzahl	Bedeutungs- gewicht
Water savings	4	4	4	12	12,90%
Hygiene	5	5	5	15	16,13%
Comfort for the passengers	4	4	4	12	12,90%
Design of the lavatory	2	2	2	6	6,45%
Reduction of the cleaning cost	3	3	3	9	9,68%
Noise reduction	4	4	4	12	12,90%
Weight reduction	4	4	4	12	12,90%
Longer lifecycle of the lavatory	1	1	1	3	3,23%
Maintanance	4	4	4	12	12,90%
Summe				93	100,00%

Skala von 1 (unwichtig) bis 5 (wichtig)

ANHANG B BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

B.1 LUFTHANSA CARGOPREISLISTE FÜR STANDARDFRACHT

 Lufthansa Cargo <small>The business to business class.</small>			Preisliste td Pro				Okt. 03	
Destination	Code	Cy	Service	M	N	100kg	500kg	
Aberdeen	ABZ	UK	td Pro	58,50	1,86	1,86	1,86	
Abu Dhabi	AUH	AE	td Pro	91,00	2,30	1,81	1,74	
Accra	ACC	GH	td Pro	91,00	3,95	3,50	3,34	
Adana	ADA	TR	td Pro	58,50	2,21	2,21	2,21	
Addis Ababa	ADD	ET	td Pro	91,00	4,54	4,07	3,90	
Adelaide	ADL	AU	td Pro	104,00	6,94	5,95	5,62	
Agadir	AGA	MA	td Pro	71,50	2,91	2,91	2,91	
Aktau	SCO	KZ	td Pro	370,50	9,05	7,59	6,85	
Aktyubinsk	AKX	KZ	td Pro	331,50	8,32	7,22	6,85	
Alicante	ALC	ES	td Pro	58,50	2,08	2,08	2,08	
Almaty	ALA	KZ	td Pro	91,00	5,62	4,46	3,94	
Amsterdam	AMS	NL	td Pro	58,50	1,29	1,29	1,29	
Ankara	ANK	TR	td Pro	58,50	2,85	2,85	2,85	
Antalya	AYT	TR	td Pro	58,50	1,69	1,69	1,69	
Antwerp	ANR	BE	td Pro	58,50	1,25	1,25	1,25	
Arkhangel'sk	ARH	RU	td Pro	331,50	8,32	6,12	5,40	
Asamara	ASM	ER	td Pro	91,00	5,21	4,75	4,43	
Ashkhabad	ASB	TM	td Pro	91,00	5,43	3,99	3,84	
Astrakhan	ASF	RU	td Pro	396,50	13,42	9,05	6,12	
Asturias	OVD	ES	td Pro	58,50	2,21	2,21	2,21	
Athens	ATH	GR	td Pro	58,50	2,26	2,26	2,26	
Atlanta	ATL	US	td Pro	91,00	2,98	2,76	2,69	
Atyrau	GUW	KZ	td Pro	370,50	9,05	7,59	6,85	
Auckland	AKL	NZ	td Pro	104,00	7,50	6,47	6,10	
Austin	AUS	US	td Pro	91,00	3,42	3,20	3,13	
Bahrain	BAH	BH	td Pro	91,00	2,54	2,22	2,15	
Baku	BAK	AZ	td Pro	71,50	5,43	3,71	3,64	
Baltimore	BWI	US	td Pro	91,00	3,29	2,81	2,74	
Bandar Seri B	BWN	BN	td Pro	91,00	4,86	4,03	3,85	
Bangalore	BLR	IN	td Pro	91,00	2,90	2,43	2,33	
Bangkok	BKK	TH	td Pro	91,00	2,68	2,24	2,05	
Baotou	BAV	CN	td Pro	91,00	3,42	3,04	2,96	
Barcelona	BCN	ES	td Pro	58,50	1,89	1,89	1,89	
Barnaul	BAX	XU	td Pro	396,50	11,10	7,79	6,46	
Basel	BSL	CH	td Pro	58,50	1,51	1,51	1,51	
Beijing	BJS	CN	td Pro	91,00	3,04	2,68	2,60	
Beirut	BEY	LB	td Pro	91,00	4,29	3,95	3,82	
Belem	BEL	BR	td Pro	91,00	5,76	5,10	4,95	
Belfast	BFS	GB	td Pro	58,50	1,92	1,92	1,92	
Belgrade	BEG	YU	td Pro	71,50	2,73	2,73	2,73	
Bergen	BGO	NO	td Pro	58,50	2,08	2,08	2,08	
Bilbao	BIO	ES	td Pro	58,50	2,28	2,28	2,28	
Billund	BLL	DK	td Pro	58,50	1,65	1,65	1,65	
Birmingham	BHX	UK	td Pro	58,50	1,77	1,77	1,77	
Bishkek	FRU	KG	td Pro	292,50	6,64	6,02	5,84	
Bogota	BOG	CO	td Pro	91,00	3,24	2,94	2,86	
Bologna	BLQ	IT	td Pro	58,50	1,77	1,77	1,77	
Bordeaux	BOD	FR	td Pro	58,50	1,60	1,60	1,60	
Boston	BOS	US	td Pro	91,00	3,04	2,61	2,55	
Bratislava	BTS	SK	td Pro	71,50	2,29	2,29	2,29	
Brisbane	BNE	AU	td Pro	104,00	7,09	6,08	5,73	
Brussels	BRU	BE	td Pro	58,50	1,29	1,29	1,29	
Bucharest	BUH	RO	td Pro	71,50	3,06	3,06	3,06	


Lufthansa Cargo

The business to business class.

Preisliste td.Pro

Okt. 03

Destination	Code	Cy	Service	M	N	100kg	500kg
Budapest	BUD	HU	td.Pro	71,50	1,89	1,89	1,89
Buenos Aires	BUE	AR	td.Pro	91,00	5,92	4,30	4,03
Cairo	CAI	EG	td.Pro	91,00	2,68	2,00	1,81
Calcutta	CCU	IN	td.Pro	91,00	2,68	2,35	2,22
Calgary	YYC	CA	td.Pro	91,00	3,20	2,76	2,69
Cancun	CUN	MX	td.Pro	91,00	2,34	2,34	2,34
Cape Town	CPT	ZA	td.Pro	91,00	4,47	3,61	3,38
Caracas	CCS	VE	td.Pro	91,00	3,11	2,69	2,59
Casablanca	CAS	MA	td.Pro	71,50	3,71	3,71	3,71
Changsha	CSX	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Charlotte	CLT	US	td.Pro	91,00	3,35	2,98	2,90
Chelyabinsk	CEK	XU	td.Pro	370,50	9,05	6,85	5,40
Chengdu	CTU	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Chennai	MAA	IN	td.Pro	91,00	2,90	2,35	2,22
Chicago	CHI	US	td.Pro	91,00	2,83	2,63	2,55
Chita	HTA	XU	td.Pro	526,50	17,80	13,42	9,78
Chongqing	CKG	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Christchurch	CHC	NZ	td.Pro	104,00	6,94	5,95	5,62
Cincinnati	CVG	US	td.Pro	91,00	3,04	2,83	2,76
Cleveland	CLE	US	td.Pro	91,00	3,24	2,95	2,89
Colombo	CMB	LK	td.Pro	91,00	2,50	2,08	1,94
Columbus Port	CMH	US	td.Pro	91,00	3,04	2,83	2,76
Copenhagen	CPH	DK	td.Pro	58,50	1,77	1,77	1,77
Cork	ORK	IE	td.Pro	58,50	2,41	2,41	2,41
Curitiba	CWB	BR	td.Pro	91,00	4,89	4,23	4,08
Dakar	DKR	SN	td.Pro	91,00	3,82	3,64	3,56
Dalian	DLC	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Dallas/Ft. W. L.	DAL	US	td.Pro	91,00	3,13	2,90	2,83
Dayton	DAY	US	td.Pro	91,00	3,04	2,83	2,76
Delhi	DEL	IN	td.Pro	91,00	2,68	2,22	2,11
Denham	DNM	AU	td.Pro	91,00	2,65	2,15	2,07
Denpasar	DPS	ID	td.Pro	91,00	4,43	3,78	3,48
Denver	DEN	US	td.Pro	91,00	2,90	2,69	2,61
Detroit	DTT	US	td.Pro	91,00	2,83	2,63	2,55
Dhakar	DAC	BD	td.Pro	91,00	5,84	4,93	4,68
Dnepropetrovsk	DNK	UA	td.Pro	370,50	9,05	8,32	6,85
Doha	DOH	QA	td.Pro	91,00	2,54	2,30	2,24
Dubai	DXB	AE	td.Pro	91,00	1,91	1,61	1,53
Dublin	DUB	IE	td.Pro	58,50	2,39	2,39	2,39
Durban	DUR	ZA	td.Pro	91,00	4,42	3,91	3,76
Dushanbe	DYU	TJ	td.Pro	370,50	8,61	7,74	7,15
East London	ELS	ZA	td.Pro	91,00	4,42	3,91	3,76
East Midlands	EMA	GB	td.Pro	58,50	1,69	1,69	1,69
Edinburgh	EDI	UK	td.Pro	58,50	1,77	1,77	1,77
Eindhoven	EIN	NL	td.Pro	58,50	1,25	1,25	1,25
Ekaterinburg	SVX	XU	td.Pro	91,00	6,42	4,71	4,64
El Paso	ELP	US	td.Pro	91,00	3,56	3,34	3,28
Fairbanks	FAI	US	td.Pro	91,00	4,43	3,77	3,58
Faro	FAO	PT	td.Pro	58,50	1,90	1,90	1,90
Florence	FLR	IT	td.Pro	58,50	1,77	1,77	1,77
Florianopolis	FLN	BR	td.Pro	91,00	5,25	4,52	4,37
Fort Meyers	RSW	US	td.Pro	91,00	3,13	3,13	3,13



			Preisliste td.Pro				Okt. 03	
Destination	Code	Cy	Service	M	N	100kg	500kg	
Fuerteventura	FUE	ES	td.Pro	58,50	2,08	2,08	2,08	
Fukuoka	FUK	JP	td.Pro	91,00	6,67	5,69	5,38	
Funchal	FNC	PT	td.Pro	58,50	2,91	2,91	2,91	
Fuzhou	FOC	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96	
Gdansk	GDN	PL	td.Pro	58,50	2,76	2,76	2,76	
Geneva	GVA	CH	td.Pro	58,50	1,29	1,29	1,29	
Genoa	GOA	IT	td.Pro	58,50	1,77	1,77	1,77	
Glasgow	GLA	UK	td.Pro	58,50	1,77	1,77	1,77	
Goiania	GYN	BR	td.Pro	91,00	5,10	4,46	4,30	
Gothenburg	GOT	SE	td.Pro	58,50	2,00	2,00	2,00	
Graz	GRZ	AT	td.Pro	58,50	1,57	1,57	1,57	
Greensboro	GSO	US	td.Pro	91,00	3,28	3,04	2,98	
Greenville	GSP	US	td.Pro	91,00	3,20	2,98	2,90	
Guangzhou	CAN	CN	td.Pro	91,00	5,12	4,16	3,97	
Guilin	KWL	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96	
Haikou	HAK	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96	
Hangzhou	HGH	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96	
Hanoi	HAN	VN	td.Pro	91,00	4,72	3,89	3,72	
Harbin	HRB	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96	
Harrisburg	HAR	US	td.Pro	91,00	3,47	3,07	2,95	
Hartford Bradley	BDL	US	td.Pro	91,00	3,13	2,83	2,76	
Havana	HAV	CU	td.Pro	91,00	2,34	2,34	2,34	
Helsinki	HEL	FI	td.Pro	58,50	2,60	2,60	2,60	
Heraklion	HER	GR	td.Pro	58,50	1,89	1,89	1,89	
Hiroshima	HIJ	JP	td.Pro	91,00	4,72	3,89	3,72	
Ho Chi Minh City	SGN	VN	td.Pro	91,00	3,28	2,76	2,60	
Hohhot	HET	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96	
Hong Kong	HKG	HK	td.Pro	91,00	2,60	2,22	2,04	
Houston	HOU	US	td.Pro	91,00	3,33	2,90	2,83	
Ibiza	IBZ	ES	td.Pro	58,50	2,08	2,08	2,08	
Indianapolis	IND	US	td.Pro	91,00	3,00	2,78	2,72	
Innsbruck	INN	AT	td.Pro	58,50	1,65	1,65	1,65	
Irkutsk	IKT	XU	td.Pro	396,50	9,05	8,32	6,12	
Istanbul	IST	TR	td.Pro	58,50	2,34	2,34	2,34	
Izhevsk	IJK	RU	td.Pro	331,50	8,32	6,57	5,84	
Izmir	IZM	TR	td.Pro	58,50	2,85	2,85	2,85	
Jakarta	JKT	ID	td.Pro	91,00	2,90	2,22	2,04	
Jeddah	JED	SA	td.Pro	91,00	2,64	2,46	2,38	
Jilin	JIL	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96	
Johannesburg	JNB	ZA	td.Pro	91,00	4,10	3,52	3,32	
Joinville	JOI	BR	td.Pro	91,00	4,95	4,30	4,16	
Kaliningrad	KGD	RU	td.Pro	396,50	8,10	7,37	5,90	
Kansas City	MKC	US	td.Pro	91,00	3,04	2,83	2,76	
Kaohsiung	KHH	TW	td.Pro	91,00	4,72	3,89	3,72	
Karachi	KHI	PK	td.Pro	91,00	2,68	2,22	2,20	
Katowice	KTW	PL	td.Pro	71,50	2,91	2,91	2,91	
Kazan	KZN	RU	td.Pro	71,50	7,02	5,27	4,94	
Khartoum	KRT	SD	td.Pro	91,00	4,38	4,02	3,87	
Kiev	IEV	UA	td.Pro	71,50	5,25	5,25	5,25	
Kilimanjaro	JRO	TZ	td.Pro	91,00	2,54	2,54	2,54	
Krasnodar	KRR	RU	td.Pro	331,50	8,32	6,85	5,40	
Krasnoyarsk	KJA	XU	td.Pro	396,50	11,96	8,32	6,85	


Lufthansa Cargo
 The business to business class.

Preisliste td Pro

Okt. 03

Destination	Code	Cy	Service	M	N	100kg	500kg
Kuala Lumpur	KUL	MY	td.Pro	91,00	2,90	2,22	2,09
Kunming	KMG	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Kurgan	KRO	XU	td.Pro	461,50	9,78	8,32	6,85
Kuwait	KWI	KW	td.Pro	91,00	2,24	1,91	1,85
Lagos	LOS	NG	td.Pro	91,00	4,81	3,64	3,06
Lanzarote	ACE	ES	td.Pro	58,50	2,08	2,08	2,08
Lanzhou	LHW	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Laredo	LRD	US	td.Pro	91,00	3,56	3,34	3,28
Larnaca	LCA	CY	td.Pro	58,50	2,99	2,99	2,99
Las Palmas	LPA	ES	td.Pro	58,50	1,68	1,68	1,68
Lianyungang	LYG	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Lille	LIL	FR	td.Pro	58,50	1,56	1,56	1,56
Lima	LIM	PE	td.Pro	91,00	4,04	3,45	3,32
Linz	LNZ	AT	td.Pro	58,50	1,29	1,29	1,29
Lipetsk	LPK	RU	td.Pro	461,50	9,78	7,58	5,40
Lisbon	LIS	PT	td.Pro	58,50	2,34	2,34	2,34
Ljubljana	LJU	SI	td.Pro	71,50	2,28	2,28	2,28
London	LON	GB	td.Pro	58,50	1,29	1,29	1,29
Los Angeles	LAX	US	td.Pro	91,00	3,28	2,90	2,83
Louisville	SDF	US	td.Pro	91,00	3,04	2,83	2,76
Lugano	LUG	CH	td.Pro	58,50	1,17	1,17	1,17
Luxembourg	LUX	LU	td.Pro	58,50	1,31	1,31	1,31
Lyon	LYS	FR	td.Pro	58,50	1,60	1,60	1,60
Maastricht	MST	NL	td.Pro	58,50	1,25	1,25	1,25
Macau	MFM	MO	td.Pro	91,00	4,03	3,37	3,15
Madrid	MAD	ES	td.Pro	58,50	1,89	1,89	1,89
Mahe IS	SEZ	SC	td.Pro	91,00	2,96	2,96	2,96
Malabo	SSG	GQ	td.Pro	91,00	5,98	5,59	5,46
Malaga	AGP	ES	td.Pro	58,50	1,94	1,94	1,94
Male	MLE	MV	td.Pro	91,00	5,55	4,67	4,43
Malmo	MMA	SE	td.Pro	58,50	2,00	2,00	2,00
Malta	MLA	MT	td.Pro	71,50	3,37	3,37	3,37
Manaus	MAO	BR	td.Pro	91,00	5,68	5,21	4,89
Manchester	MAN	GB	td.Pro	58,50	1,69	1,69	1,69
Manila	MNL	PH	td.Pro	91,00	3,28	2,82	2,76
Marseille	MRS	FR	td.Pro	58,50	1,60	1,60	1,60
Mauritius	MRU	MU	td.Pro	91,00	3,72	3,72	3,72
McAllen	MFE	US	td.Pro	91,00	3,71	3,34	3,28
Melbourne	MEL	US	td.Pro	104,00	5,55	4,67	4,43
Memphis International	MEM	US	td.Pro	91,00	3,24	3,03	2,95
Menorca	MAH	ES	td.Pro	58,50	2,08	2,08	2,08
Mexico City	MEX	MX	td.Pro	91,00	3,56	3,38	3,34
Miami	MIA	US	td.Pro	91,00	3,13	2,98	2,90
Milan	BGY	IT	td.Pro	58,50	1,60	1,60	1,60
Milan Linate Apt	LIN	IT	td.Pro	58,50	1,60	1,60	1,60
Milan Malpensa Apt	MXP	IT	td.Pro	58,50	1,60	1,60	1,60
Milwaukee	MKE	US	td.Pro	91,00	2,98	2,76	2,69
Minneapolis	MSP	US	td.Pro	91,00	3,04	2,83	2,76
Minsk	MSQ	BY	td.Pro	71,50	5,25	5,25	5,25
Mombasa	MBA	KE	td.Pro	91,00	2,54	2,54	2,54
Montego Bay	MBJ	JM	td.Pro	91,00	2,38	2,38	2,38
Montevideo	MVD	UY	td.Pro	91,00	6,24	4,52	4,37



The business to business class.

Preisliste td.Pro

Okt. 03

Destination	Code	Cy	Service	M	N	100kg	500kg
Montreal Dorval	YUL	CA	td.Pro	91,00	2,83	2,61	2,55
Moscow	MOW	RU	td.Pro	71,50	2,61	2,61	2,61
Mumbai	BOM	IN	td.Pro	91,00	2,68	2,22	2,11
Murmansk	MMK	RU	td.Pro	370,50	11,96	8,32	6,12
Muscat	MCT	OM	td.Pro	91,00	2,30	2,07	2,00
Nagoya	NGO	JP	td.Pro	91,00	3,94	3,28	3,13
Nairobi	NBO	KE	td.Pro	91,00	3,20	2,64	2,41
Nanchang	KHN	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Nanjing	NKG	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Nantes	NTE	FR	td.Pro	58,50	1,60	1,60	1,60
Naples Capodichino	NAP	IT	td.Pro	58,50	2,33	2,33	2,33
Nashville	BNA	US	td.Pro	91,00	3,28	3,04	2,98
Natal	NAT	BR	td.Pro	91,00	5,19	4,52	4,37
Navegantes	NVT	BR	td.Pro	91,00	5,25	4,60	4,46
New Orleans	MSY	US	td.Pro	91,00	3,45	3,21	3,17
New York JFK	JFK	US	td.Pro	91,00	2,83	2,55	2,47
New York Newark	EWR	US	td.Pro	91,00	2,83	2,55	2,47
Nice	NCE	FR	td.Pro	58,50	1,60	1,60	1,60
Nioki	NIO	ZR	td.Pro	396,50	9,05	7,58	6,12
Nizhnevartovsk	NJC	XU	td.Pro	396,50	12,69	9,05	6,85
Nizhniy Novgorod	GOJ	RU	td.Pro	71,50	5,72	5,14	4,81
Norfolk	ORF	US	td.Pro	91,00	3,34	2,96	2,90
Norrkoping	NRK	SE	td.Pro	58,50	2,15	2,15	2,15
Novgorod	NVR	RU	td.Pro	396,50	9,78	7,58	6,12
Novokuznetsk	NOZ	XU	td.Pro	396,50	11,96	8,32	6,85
Novosibirsk	OVB	XU	td.Pro	331,50	6,42	4,52	4,08
Oklahoma	OKC	US	td.Pro	91,00	3,48	3,28	3,20
Omaha Eppley	OMA	US	td.Pro	91,00	3,13	2,90	2,83
Omsk	OMS	XU	td.Pro	370,50	11,52	7,58	6,12
Orenburg	REN	RU	td.Pro	370,50	9,05	6,85	5,40
Orlando	ORL	US	td.Pro	91,00	3,13	2,98	2,90
Osaka	OSA	JP	td.Pro	91,00	4,10	3,50	3,35
Oslo	OSL	NO	td.Pro	58,50	2,22	2,22	2,22
Palma Mallorca	PMI	ES	td.Pro	58,50	1,50	1,50	1,50
Paris	PAR	FR	td.Pro	58,50	1,29	1,29	1,29
Penang	PEN	MY	td.Pro	91,00	2,90	2,22	2,09
Perm	PEE	RU	td.Pro	71,50	7,02	5,27	4,94
Perth	PER	AU	td.Pro	104,00	5,28	4,41	4,20
Philadelphia	PHL	US	td.Pro	91,00	3,04	2,61	2,55
Phoenix	PHX	US	td.Pro	91,00	3,13	2,76	2,69
Pisa	PSA	IT	td.Pro	58,50	1,77	1,77	1,77
Pittsburgh	PIT	US	td.Pro	91,00	3,42	2,98	2,90
Porlamar	PMV	VE	td.Pro	91,00	2,38	2,38	2,38
Port Elizabeth	PLZ	ZA	td.Pro	91,00	4,42	3,91	3,76
Portland	PDX	US	td.Pro	91,00	3,28	2,90	2,83
Porto	OPO	PT	td.Pro	58,50	2,34	2,34	2,34
Porto Alegre	POA	BZ	td.Pro	91,00	4,95	4,30	4,16
Poznan	POZ	PL	td.Pro	58,50	2,63	2,63	2,63
Prague	PRG	CZ	td.Pro	71,50	1,79	1,79	1,79
Puerto Plata	POP	DO	td.Pro	91,00	2,38	2,38	2,38
Punta Cana	PUJ	DO	td.Pro	91,00	2,38	2,38	2,38
Pusan	PUS	KR	td.Pro	91,00	3,95	3,50	3,42



Lufthansa Cargo
The business to business class.

Preisliste td.Pro

Okt. 03

Destination	Code	Cy	Service	M	N	100kg	500kg
Qingdao	TAO	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Quito	UIO	EC	td.Pro	91,00	4,04	3,45	3,32
Raleigh/Durham	RDU	US	td.Pro	91,00	3,48	3,15	3,02
Recife	REC	BR	td.Pro	91,00	5,40	4,75	4,60
Richmond	RIC	US	td.Pro	91,00	3,34	2,90	2,76
Riga	RIX	LV	td.Pro	71,50	4,29	4,29	4,29
Rio de Janeiro	RIO	BR	td.Pro	91,00	4,68	3,94	3,80
Riyadh	RUH	SA	td.Pro	91,00	2,61	2,30	2,24
Rome	ROM	IT	td.Pro	58,50	2,33	2,33	2,33
Rostov	ROV	RU	td.Pro	331,50	8,32	6,85	5,40
Rotterdam	RTM	NL	td.Pro	58,50	1,25	1,25	1,25
Salt Lake City	SLC	US	td.Pro	91,00	3,71	3,34	3,28
Salvador	SSA	BR	td.Pro	91,00	5,84	5,19	5,03
Salzburg	SZG	AT	td.Pro	58,50	1,53	1,53	1,53
Samara	KUF	RU	td.Pro	71,50	5,40	5,20	4,94
San Diego	SAN	US	td.Pro	91,00	3,63	3,28	3,20
San Francisco	SFO	US	td.Pro	91,00	3,28	2,90	2,83
San Jose	SJO	CR	td.Pro	91,00	3,20	2,97	2,82
San Juan	SJU	PR	td.Pro	91,00	3,52	2,96	2,82
Sanaa	SAH	YE	td.Pro	91,00	3,71	3,12	3,06
Santa Cruz de la Palma	SPC	ES	td.Pro	58,50	2,08	2,08	2,08
Santiago	SCL	CL	td.Pro	91,00	4,67	4,37	4,29
Santiago de Compostela	SCQ	ES	td.Pro	58,50	2,21	2,21	2,21
Santo Domingo	SDQ	DO	td.Pro	91,00	2,38	2,38	2,38
Sao Jose Dos Campos	SJK	BR	td.Pro	91,00	5,03	4,23	4,08
Sao Paulo Guarulhos	GRU	BR	td.Pro	91,00	4,68	3,86	3,58
Sao Paulo Viracopos	VCP	BR	td.Pro	91,00	4,68	3,86	3,58
Sarajevo	SJJ	BA	td.Pro	71,50	2,25	2,25	2,25
Saratov	RTW	RU	td.Pro	331,50	8,32	6,85	5,40
Seattle	SEA	US	td.Pro	91,00	3,41	3,03	2,96
Seoul	SEL	KR	td.Pro	91,00	3,56	3,11	2,93
Shanghai	SHA	CN	td.Pro	91,00	3,04	2,68	2,60
Shannon	SNN	IE	td.Pro	58,50	2,09	2,09	2,09
Shantou	SWA	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Sharjah	SHJ	AE	td.Pro	91,00	1,85	1,53	1,47
Shenyang	SHE	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Shenzhen	SZX	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Shijiazhuang	SJW	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Singapore	SIN	SG	td.Pro	91,00	3,04	2,38	2,13
Sofia	SOF	BG	td.Pro	71,50	2,98	2,98	2,98
St Louis	STL	US	td.Pro	91,00	3,04	2,83	2,76
St Petersburg	LED	RU	td.Pro	71,50	4,23	4,23	4,23
Stavanger	SVG	NO	td.Pro	58,50	2,02	2,02	2,02
Stavropol	STW	RU	td.Pro	461,50	11,23	9,78	7,58
Stockholm	STO	ES	td.Pro	58,50	1,89	1,89	1,89
Strasbourg	SXB	FR	td.Pro	58,50	1,57	1,57	1,57
Surabaya	SUB	ID	td.Pro	91,00	4,43	3,78	3,48
Surgut	SGC	XU	td.Pro	396,50	13,42	9,78	7,58
Sydney	SYD	AU	td.Pro	104,00	6,67	5,69	5,38
Taipei	TPE	TW	td.Pro	91,00	2,60	2,05	1,83
Taiyuan	TYN	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Tallinn	TLL	EE	td.Pro	71,50	4,04	4,04	4,04



The business to business class.

Preisliste td.Pro

Okt. 03

Destination	Code	Cy	Service	M	N	100kg	500kg
Tampa	TPA	US	td.Pro	91,00	3,42	3,24	3,20
Tashkent	TAS	ZU	td.Pro	91,00	5,30	3,82	3,69
Tbilisi	TBS	GE	td.Pro	331,50	6,70	6,14	5,95
Tehran	THR	IR	td.Pro	91,00	2,91	2,00	1,70
Tel Aviv	TLV	IL	td.Pro	71,50	1,89	1,89	1,89
Tenerife Norte	TFN	ES	td.Pro	58,50	2,21	2,21	2,21
Tenerife Sur Reina Sofia	TFS	ES	td.Pro	58,50	1,68	1,68	1,68
Thessaloniki	SKG	GR	td.Pro	58,50	2,48	2,48	2,48
Timisoara	TSR	RO	td.Pro	71,50	3,35	3,35	3,35
Tokyo	TYO	JP	td.Pro	91,00	4,43	3,58	3,38
Tomsk	TOF	XU	td.Pro	357,50	7,37	6,93	6,57
Toronto	YTO	US	td.Pro	91,00	2,83	2,61	2,55
Toulouse	TLS	FR	td.Pro	58,50	1,92	1,92	1,92
Trapani	TRS	IT	td.Pro	58,50	1,87	1,87	1,87
Tripolo	TIP	LB	td.Pro	91,00	3,59	3,59	3,59
Trondheim	TRD	NO	td.Pro	58,50	2,02	2,02	2,02
Tulsa	TUL	US	td.Pro	91,00	3,48	3,28	3,20
Tunis	TUN	TN	td.Pro	71,50	3,07	3,07	3,07
Turin	TRN	IT	td.Pro	58,50	1,77	1,77	1,77
Tyumen	TJM	XU	td.Pro	370,50	11,23	7,58	6,12
Ufa	UFA	RU	td.Pro	396,50	9,78	7,58	5,40
Ulaanbaatar	ULN	MN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Ulyanovsk	ULY	RU	td.Pro	396,50	9,05	6,85	5,40
Ust-Kamenogorsk	UKK	KZ	td.Pro	461,50	9,78	7,59	6,85
Valencia	VLC	ES	td.Pro	58,50	2,08	2,08	2,08
Vancouver	YVR	CA	td.Pro	91,00	2,90	2,47	2,41
Varadero	VRA	CU	td.Pro	91,00	2,21	2,21	2,21
Venice	VCE	IT	td.Pro	58,50	1,77	1,77	1,77
Verona	VRN	IT	td.Pro	58,50	2,05	2,05	2,05
Vienna	VIE	AT	td.Pro	58,50	1,29	1,29	1,29
Vigo	VGO	ES	td.Pro	58,50	2,21	2,21	2,21
Vilnius	VNO	LT	td.Pro	71,50	4,50	4,50	4,50
Vladikavkaz	OGZ	RU	td.Pro	526,50	11,23	9,78	7,58
Vladivostok	VVO	XU	td.Pro	396,50	9,78	8,32	6,85
Volgograd	VOG	RU	td.Pro	331,50	8,32	6,85	5,40
Voronezh	VOZ	RU	td.Pro	357,50	7,37	6,93	6,57
Warsaw	WAW	PL	td.Pro	71,50	2,56	2,56	2,56
Washington	WAS	US	td.Pro	91,00	3,04	2,61	2,55
Weihai	WEH	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Wenzhou	WNZ	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Worcester	ORH	US	td.Pro	91,00	3,48	3,13	3,04
Wuhan	WUH	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Xia an	SIA	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Xiamen	XMN	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Xining	XNN	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Yakutsk	YKS	XU	td.Pro	461,50	13,42	9,78	7,58
Yanji	YNJ	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Yantai	YNT	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Yerevan	EVN	AM	td.Pro	71,50	6,70	6,14	5,95
Yinchuan	INC	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96
Zagreb	ZAG	HR	td.Pro	71,50	2,64	2,64	2,64
Zhengzhou	CGO	CN	td.Pro	91,00	3,42	3,04	2,96



Lufthansa Cargo

The business to business class.

Preisliste td.Pro

Okt. 03

Destination	Code	Cy	Service	M	N	100kg	500kg
Zurich	ZRH	CH	td.Pro	58,50	1,29	1,29	1,29
Innerdeutsch		DE	td.Pro	58,50	1,30	1,30	1,30

B.2 AUSWERTUNG DER LUFTHANSA CARGO PREISE (ÜBERSEEFLÜGE)

Standardfracht td.Pro			
Stadt	Kg-Preis	Kg-Preis ab 100 kg	Kg-Preis ab 500 kg
Atlanta	2,98	2,76	2,69
Austin	3,42	3,20	3,13
Baltimore	3,29	2,81	2,74
Boston	3,04	2,61	2,55
Chicago	2,83	2,63	2,55
Cincinnati	3,04	2,83	2,76
Cleveland	3,24	2,95	2,89
Columbus Port	3,04	2,83	2,76
Dallas/Ft. W. L.	3,13	2,90	2,83
Dayton	3,04	2,83	2,76
Denver	2,90	2,69	2,61
Detroit	2,83	2,63	2,55
El Paso	3,56	3,34	3,28
Fairbanks	4,43	3,77	3,58
Fort Meyers	3,13	3,13	3,13
Greensboro	3,28	3,04	2,98
Greenville	3,20	2,98	2,90
Harrisburg	3,47	3,07	2,95
Hartford Bradley	3,13	2,83	2,76
Houston	3,33	2,90	2,83
Indianapolis	3,00	2,78	2,72
Kansas City	3,04	2,83	2,76
Laredo	3,56	3,34	3,28
Los Angeles	3,28	2,90	2,83
Louisville	3,04	2,83	2,76
McAllen	3,71	3,34	3,28
Melbourne	5,55	4,67	4,43
Memphis International	3,24	3,03	2,95
Miami	3,13	2,98	2,90
Milwaukee	2,98	2,76	2,69
Minneapolis	3,04	2,83	2,76
Nashville	3,28	3,04	2,98
New Orleans	3,45	3,21	3,17
New York JFK	2,83	2,55	2,47
New York Newark	2,83	2,55	2,47
Norfolk	3,34	2,96	2,90
Oklahoma	3,48	3,28	3,20
Omaha Eppley	3,13	2,90	2,83
Orlando	3,13	2,98	2,90
Philadelphia	3,04	2,61	2,55
Phoenix	3,13	2,76	2,69
Pittsburgh	3,42	2,98	2,90
Portland	3,28	2,90	2,83
Raleigh/Durham	3,48	3,15	3,02
Richmond	3,34	2,90	2,76
Salt Lake City	3,71	3,34	3,28
San Diego	3,63	3,28	3,20
San Francisco	3,28	2,90	2,83
Seattle	3,41	3,03	2,96
St Louis	3,04	2,83	2,76
Tampa	3,42	3,24	3,20
Toronto	2,83	2,61	2,55
Tulsa	3,48	3,28	3,20
Washington	3,04	2,61	2,55
Worcester	3,48	3,13	3,04
Summe	180,36	164,04	159,83
Mittelwert	3,28	2,98	2,91

B.3 PREISLISTE ENVIROVAC INC.

Bauteilpreise für Vakuumtoiletten EVAC für Boing 747						
Komponente 1						
Kennnummer	Anzahl	Partnumber	Teilbezeichnung	Einzelpreis	Endpreis	rel. Anteil
205	2	7600013	Nozzle Assy, Rinse	0,00	0,00	
165	1	7600098	Hose Assy, Rinse	362,00	362,00	
165A	1	7600145	Hose Interface, Rinse	212,00	212,00	
475	1	7600341	Bracket, Support	13,00	13,00	
250	1	7700037	Bracket, Mounting	70,00	70,00	
240	1	7800003	Header, Rinse	931,00	931,00	
170	1	7800001-008	Valve Assy, Rinse	2015,00	2015,00	
30	1	BACJ40AD55-14				
45	1	BACW10BP4NAP				
25	1	NAS1291C3M				
185	3	NAS1291C3M				
252	1	NAS1291C3M				
40	1	NAS1291C4M				
20	1	NAS1635-3-8				
190	1	NAS1713C12N				
200	1	NAS1713C28N				
195	1	NAS1713C28N				
15	2	NAS1715C3N				
251	2	NAS1802-3-8				
180	2	NAS1802-3-8				
Summe					3603,00	24,5%
Komponente 2						
Kennnummer	Anzahl	Partnumber	Teilbezeichnung	Einzelpreis	Endpreis	rel. Anteil
5	1	7800052	Control Unit, Flush	1855,00	1855,00	
Summe					1855,00	12,6%
Komponente 3						
Kennnummer	Anzahl	Partnumber	Teilbezeichnung	Einzelpreis	Endpreis	rel. Anteil
480	1	7500162	Grommet	2,00	2,00	
455	1	7500160	Elbow	303,00	303,00	
450	1	7600339	Tube, Vent	29,00	29,00	
150	1	7700028	Elbow, Discharge	640,00	640,00	
110	1	7700030	Elbow, Discharge	735,00	735,00	
130	1	7800000-005	Valve, Flush	5672,00	5672,00	
140	1	NAS1190E4P6L				
115	1	NAS1190E4P6L				
155	1	NAS1190E4P7L				
120	1	NAS1611-134				
145	1	NAS1611-134				
160	1	NAS1611-134				
125	1	NAS1611-226				
460	1	NAS1612-5				
Summe					7381,00	50,1%
Komponente 4						
Kennnummer	Anzahl	Partnumber	Teilbezeichnung	Einzelpreis	Endpreis	rel. Anteil
245	1	7600000	Bowl, Toilet	1884,00	1884,00	
205	1	7600013	Nozzle Assy, Rinse	0,00	0,00	
405	1	7600162-015	Nameplate	7,00	7,00	
415	1	BAC27TPPS5753				
35	1	BACJ40AD55-6				
425	1	BACN10JC3CM				
430	2	BACW10BP3APU				
45	3	BACW10BP4NAP				
445	1	MS35338-138				
440	1	MS35338-138				
10	1	NAS1291C3M				
40	3	NAS1291C4M				
435	1	NAS1802-3-16				
Summe					1891,00	12,8%
ENDSUMME					14730,00	100,0%

Alle aufgeführten Preise der Firma Envirovac Inc. sind in US-Dollar angegeben.

B.4 PREISLISTE ROGERSON AIRCRAFT

Bauteilpreise für Vakuumtoiletten Rogerson für A300/310							
Komponente 1							
Kennnummer	Anzahl	Partnumber	Teilbezeichnung	Einzelpreis	Endpreis		rel. Anteil
535	1	86500-111	Rinsevalve	3721,00	3721,00		
490	1	89014-001	Retainer, Water Valve	23,00	23,00		
410	1	89062-001	Bracket	121,00	121,00		
555	1	89063-001	Bracket	62,00	62,00		
385	1	89064-001	Bracket	278,00	278,00		
500	1	89089-001	Hose	49,00	49,00		
815	1	89094-001	Sprayring	223,00	223,00		
55	6	AN960C10L	Washer		0,00		
70	2	MS16995-26	Attaching Parts Screw		0,00		
50	4	MS16996-10	Screw		0,00		
540	2	MS16996-9	Attaching Parts Screw		0,00		
810	3	MS21043-3	Nut		0,00		
15 (P2)	1	MS3476L10-6S	Connector P2		0,00		
20 (P3)	1	MS3476L10-6SW	Connector P3		0,00		
10 (P1)	1	MS3476L14-15P	Connector P1		0,00		
550	1	MS51958-59	Screw, Pan Head		0,00		
510	1	NAS1189E04P3L	Attaching Parts Screw		0,00		
45	1	NAS1397R3B	Attaching Parts		0,00		
545	1	NAS620C10L	Washer		0,00		
75	2	NAS620C8	Washer		0,00		
Summe						4477,00	21,9%
Komponente 2							
Kennnummer	Anzahl	Partnumber	Teilbezeichnung	Einzelpreis	Endpreis		rel. Anteil
65	1	J500ZZ40000-001	Flush Control Unit	3105,00	3105,00		
Summe						3105,00	15,2%

Komponente 3							
Kennnummer	Anzahl	Partnumber	Teilbezeichnung	Einzelpreis	Endpreis		rel. Anteil
160	1	86600-103	Flushvalve, Assy	8622,00	8622,00		
370	1	89015-001	Hose Assy, Inlet	565,00	565,00		
165	1	89039-001	Retainer, Quill	38,00	38,00		
170	1	89040-001	Quill, Flush Valve	129,00	129,00		
310	1	89054-001	Bracket, Hose MTG	416,00	416,00		
375	1	89056-001	Clamp, Hose MTG	72,00	72,00		
305	1	89057-001	Brace, Hose MTG BRKT	203,00	203,00		
760	1	89059-001	Elbow, Exit	258,00	258,00		
150	1	89061-001	Elbow, Outlet	282,00	282,00		
225	1	89076-001	Spacer, Cable Guide	26,00	26,00		
125	1	89077-001	Screw, Spring Mount	11,00	11,00		
695	5	AN960C416L	Washer		0,00		
85	1	EO240-026-2000	Spring, Extension		0,00		
335	1	MS16995-17	Screw, Pan Head		0,00		
215	3	MS16996-22	Screw		0,00		
220	1	MS16996-23	Screw		0,00		
810	2	MS21043-3	Nut		0,00		
210	1	MS21043-4	Nut		0,00		
770	1	MS25083-5BC8	Jumper, Assy		0,00		
155	3	MS29513-135	Packing		0,00		
330	1	MS35338-136	Attaching Parts, Washer		0,00		
360	1	MS35338-137	Washer, Lock		0,00		
345	1	MS35649-264	Nut, Plain		0,00		
365	1	MS35649-284	Nut, Plain		0,00		
360	1	MS51957-50	Screw, Pan Head		0,00		
380	1	NAS1189E06P4B	Screw		0,00		
775	1	NAS1351C4-14	Attaching Parts, Screw		0,00		
340	2	NAS620C6	Washer		0,00		
75	1	NAS620C8	Washer		0,00		
230	1				0,00		
Summe						10622,00	52,0%
Komponente 4							
Kennnummer	Anzahl	Partnumber	Teilbezeichnung	Einzelpreis	Endpreis		rel. Anteil
810	2	MS21043-3	Nut		0,00		
55	2	AN960C10L	Washer		0,00		
50	1	MS16996-10	Screw		0,00		
515	1	MS51958-61	Screw		0,00		
525	1	89051001	Clip	30	30,00		
	1	89010-001	Bowl	2196	2196,00		
Summe						2226,00	10,9%
Endsumme						20430,00	100,0%

Alle aufgeführten Preise der Firma Rogerson Aircraft sind in US-Dollar angegeben.

ANHANG C BERECHNUNGSTABELLEN

C.1 BERECHNUNGSGRUNDLAGE FÜR DEN TOILETTENABSATZ

Optimistisch			
	Anzahl der benötigten Toiletten pro Flugzeug	Flugzeugneubestellungen p. a.	Gesamtanzahl der benötigten Toiletten p. a.
Langstreckenflieger	9	192	1728
Großraumflugzeuge	17	57	969
Summe		249	2697

Realistisch			
	Anzahl der benötigten Toiletten pro Flugzeug	Flugzeugneubestellungen p. a.	Gesamtanzahl der benötigten Toiletten p. a.
Langstreckenflieger	9	123	1107
Großraumflugzeuge	17	36	612
Summe		159	1719

Pessimistisch			
	Anzahl der benötigten Toiletten pro Flugzeug	Flugzeugneubestellungen p. a.	Gesamtanzahl der benötigten Toiletten p. a.
Langstreckenflieger	9	0	0
Großraumflugzeuge	17	36	612
Summe		36	612

C.2 KUMULIERTER FOLIENVERBRAUCH

	Optimistisch	Realistisch	Pessimistisch
Toilettengänge/Passagier in 8 Std.	6	6	6
Neubestellungen Langstreckenflugzeuge p. a. mit Folientoilette	192	123	0
Passagieranzahl in Langstreckenflugzeugen	300	300	300
Neubestellungen Großraumflugzeuge p. a. mit Folientoilette	57	36	36
Passagieranzahl in Großraumflugzeugen	600	600	600
Anzahl der Passagiere gesamt in Tsd.	91,8	58,5	21,6
Langstreckenflüge p. a. pro Flugzeug	720	720	720
Folienverbrauch pro Jahr in Tsd.	396.576	252.720	93.312
Kumulierter Folienverbrauch in Tausend			
1. Jahr	198.288	126.360	46.656
2. Jahr	594.864	379.080	139.968
3. Jahr	991.440	631.800	233.280
4. Jahr	1.388.016	884.520	326.592
5. Jahr	1.784.592	1.137.240	419.904
6. Jahr	2.181.168	1.389.960	513.216
7. Jahr	2.577.744	1.642.680	606.528
8. Jahr	2.974.320	1.895.400	699.840
9. Jahr	3.370.896	2.148.120	793.152
10. Jahr	3.767.472	2.400.840	886.464
11. Jahr	4.164.048	2.653.560	979.776
12. Jahr	4.560.624	2.906.280	1.073.088
13. Jahr	4.957.200	3.159.000	1.166.400
14. Jahr	5.353.776	3.411.720	1.259.712
15. Jahr	5.750.352	3.664.440	1.353.024
16. Jahr	6.146.928	3.917.160	1.446.336
17. Jahr	6.543.504	4.169.880	1.539.648
18. Jahr	6.940.080	4.422.600	1.632.960
19. Jahr	7.336.656	4.675.320	1.726.272
20. Jahr	7.733.232	4.928.040	1.819.584

C.3 ZIELKOSTENINDIZES FÜR VARIANTE A

Komponenten	Istkostenanteil	Bedeutungsgewicht	rel. Zielkostenindex
1	0,1524	0,475	3,1167979
2	0,08	0,109	1,3625
3	0,3194	0,341	1,0676268
4	0,081	0,075	0,925925926

C.4 ZIELKOSTENINDIZES FÜR VARIANTE B

Komponenten	Istkostenanteil	Bedeutungsgewicht	rel. Zielkostenindex
1	0,058	0,475	8,189655172
2	0,08	0,109	1,3625
3	0,3194	0,341	1,0676268
4	0,081	0,075	0,925925926

ANHANG D: FOLIE-BEUTEL-EINHEITEN UND ENTSORGUNG

D.1 DATENBLATT JETZIGE FOLIEN-BEUTEL-EINHEITEN

Produkt Information



innovation in packaging

natura-flex CB 102

Alle natura-Folien sind 100 % kompostierbar und werden mit dem höchstmöglichen Anteil nachwachsender Rohstoffe hergestellt. Unter Kompostierbedingungen wird natura-flex zu Biomasse, Wasser und Kohlendioxid abgebaut. Die biologische Abbaubarkeit der Folien ist nach DIN V 54 900 zertifiziert.

natura-flex CB 102 ist eine gut schweißbare, opake Folie, die sich für viele Verpackungsbereiche optimal einsetzen lässt.

Produkt-Merkmale:

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Folienfarbe transluzent weiß ▪ hohe Wasserdampfdurchlässigkeit ▪ kompostierbar ▪ laserbedruckbar ▪ resistent gegen Öl und Fett 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ schweißbar ▪ gut weiterverarbeitbar ▪ bedruckbar ▪ hohe Schweißnahtfestigkeit ▪ perforierbar
--	--

Anwendungen:

natura-flex ist besonders für Anwendungen geeignet bei denen die biologische Abbaubarkeit eine zweckmäßige Produkteigenschaft darstellt. Insbesondere dort, wo der Aufwand des Recyclings der Produkte nicht gerechtfertigt ist. natura-flex ist exzellent als **Katalog-Verpackung** einsetzbar. Außerdem kann die Folie zu vielen Produkten weiter verarbeitet werden, wie **Tragetaschen, Hemdchentragetaschen, Beutel und Säcke**, sowie zu **Netzen**. Besonders geeignet ist die Folie zur Verpackung von **Frischprodukten**, da Sie eine hohe Wasserdampfdurchlässigkeit besitzt. Es sind noch viele weitere Anwendungen denkbar. Bei uns besteht immer die Möglichkeit einer Neuentwicklung.

bedruckbar mit geeigneten Farben:

- Flexodruck
- Rasterdruck
- keine Koronavorbereitung



technische Eigenschaften

Eigenschaften	natura-flex CB 102	Einheiten
Folienstärke	40	µm
Flächengewicht	50	g/m ²
Zugfestigkeit	24	Mpa
Dehnung längs / quer	603 / 532	%
Zugspannung längs / quer	23,2 / 27,2	N/mm ²
Reißkraft längs / quer	14 / 16	N
Siegelbereich	80 – 110	°C
Folienfarbe	transluzent weiß	%
Trübung	95	%
Wasserdampf-Durchlässigkeit (± 10 %)	950	g x 30 µm/(mq x 24 h)

Für weitere Informationen rufen Sie uns einfach an:
 natura Verpackungs GmbH
 Industriestraße 55-57, 48432 Rheine, Germany
 www.innovation-in-packaging.com
 mail: natura@eurea.de tel: ++49 (0)5975 / 303-57 fax: ++49 (0)5975 / 303-42

VORSTEHENDE ANGABEN BASIEREN AUF UNSEREN DERZEITIGEN TECHNISCHEN KENNNTNISSEN UND ERFAHRUNGEN. SIE ENTBINDEN NICHT VON EIGENEN PRÜFUNGEN UND BEFRIEHN DEN KÄUFER UNSERER PRODUKTE NICHT VON EINER EINGANGSKONTROLLE. SIE HABEN NICHT DIE BEDEUTUNG, DIE EIGNUNG EINES PRODUKTES FÜR EINEN KONKRETEN EINSAITZZWECK ZUZUSCHERN. ETWAIGE SCHUTZRECHTE UND BESTIMMUNGEN SIND IN EIGENER VERANTWORTUNG ZU BEACHTEN.

ANHANG E: LEBENS LAUF

Persönliche Angaben

Name	Sascha Axel Wilfert
Geburtsdatum	27. Dezember 1974
Geburtsort	Leverkusen
Staatsangehörigkeit	deutsch

Schulische Ausbildung

August 1981 bis Juli 1985	Grundschule Odenthal Blecher
August 1985 bis Juli 1995	Freiherr-vom-Stein Gymnasium, Leverkusen

Studium

Oktober 1997 bis März 2002	Maschinenbau an der RWTH Aachen
seit Oktober 2002	Promotion im Fach Maschinenbau an der RWTH Aachen

Praktika

Juni 1996 bis September 1996	Dellbrücker Emballagen-Gesellschaft
Juli 1997 bis Oktober 1997	Hendricks Behälterbau

Berufspraxis

Mai 1995 bis Juli 1995 und September 1998 bis Oktober 1998	Curt Richter
September 1999 bis Oktober 2001	DaimlerChrysler AG - Abteilung Forschung und Technologie/ Luftfahrzeugkonzepte
November 2001 bis Mai 2004	EADS Corporate Research Center Germany (Hamburg)
seit Juni 2004	Airbus Deutschland GmbH

Persönliche Interessen

Sport, Fotografie

Hamburg, 04. Juli 2005



