



Vitamintablettenspender

Projektarbeit

Systementwicklungsmethodik 2

WS 2019/20

im Studiengang Systems Engineering

der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät

der Universität des Saarlandes

von

Kristian König und Tim Goll

Matrikelnummern: 2560270, 2553050

Gruppennummer: 1

Saarbrücken, 2020



SEM 2 – Projektaufgabe WS 2019/20

„Innovatives Haushalt-Gadget in AM- & Multi-Material-Design“

Der Drang zur Individualisierung steht heutzutage mehr im Fokus denn je. Geraade auch aus diesem Grunde erleben generative Fertigungsverfahren im privaten Konsumgüterbereich einen vermehrten Einzug. Die Vorteile liegen hierbei klar auf der Hand: werkzeuglose und endkonturnahe Bauteilfertigung, theoretisch realisierbare beliebig komplexe Geometrien sowie letztlich kurze Zeiträume zwischen Entwicklung und fertigem Bauteil insbesondere für Einzelteil- oder Kleinserienfertigungen in Integralbauweise mit Funktionsintegration. Trotz alledem wird aufgrund der stets auch hier existierenden Restriktionen und Herausforderungen der Technologie (u.a. restriktive Bauteilgrößen und Werkstoffspektren, vergleichsweise lange Fertigungszeiten mit entsprechend hohen Materialkosten sowie funktionsbedingt nachbearbeitungsnotwendigen Oberflächengüten und Maßhaltigkeiten) zukünftig weiterhin ein Multi-Material-Design, d.h. der richtige Werkstoff oder eine entsprechende Werkstoffkombination unter geeignetem Technologieeinsatz an seiner nutzerspezifisch geeigneten Stelle im Hinblick auf Funktion, Kosten, Qualität, Zeit und Nachhaltigkeit im Fokus einer optimierten Produktentwicklung stehen.

Vor diesem Hintergrund soll im Zuge der parallel zur Lehrveranstaltung „Systementwicklungsmethodik 2“ zu bearbeitenden Projektaufgabe ein technisch bedeutsames aber zeitgleich auch revolutionäres und innovatives Haushalt-Gadget im AM- & Multi-Material-Design schrittweise entwicklungsmethodisch entworfen werden. Dabei kann die Aufgabe einerseits ein intelligentes Re-Engineering eines bereits vorliegenden, funktionell noch optimierbaren Haushaltsartikels umfassen oder ebenfalls die Betrachtung einer geschickten Kombination mehrerer Funktionsgegenstände einschließen. Seien Sie kreativ und überzeugen Sie mit Ihrer Produktvorstellung!

Universität des Saarlandes
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik
Campus E2 9, Raum 1.09
66123 Saarbrücken



Ansprechpartner:
Jerome Kaspar, M.Sc.

Telefon: +49 (0)681-302-71234
Telefax: +49 (0)681-302-71317
Mail: kaspar@lkt.uni-saarland.de

Datum: 18. Oktober 2019



Angesichts dieser facettenreichen Aufgabenstellung sind die im Folgenden aufgeführten Teilaufgaben schrittweise durchzuführen und terminiert abzugeben:

- 1) Konzeptionierung (initiale, systematische Konzeptentwicklung)
- 2) Detaillierung (methodische Werkstoffauswahl unter partiell AM-Technologieeinsatz)
- 3) Ausarbeitung (3D-CAD Modellierung und Dokumentation)
- 4) Prototypenbau

Projektablauf:

Die Projektarbeit, bestehend aus vier Projektteilen, soll semesterbegleitend und selbstständig (*Plagiate führen zum Klausurausschluss*) innerhalb der eingeteilten 2er-Gruppe gelöst werden. Dazu sind zu den jeweiligen Abgabeterminen die nachfolgend aufgeführten Dokumente der Teilaufgaben abzugeben sowie für Projektteil 1 und Projektteil 4 die entsprechenden Ergebnisse in einer 10-minütigen Präsentation vorzustellen.

Äußere Form der Abgabedokumente:

Alle Dokumente (Zeichnungen auf A4 gefaltet) sind gebunden / geheftet / in Ordner mit

- ▶ Deckblatt mit Gruppennummer, Namen und Matrikelnummern
- ▶ Inhaltsverzeichnis und Aufgabenstellung (und Lastenheft)

vollständig in aktuellster Form zum jeweiligen Abgabetermin mitzubringen und abzugeben.

Anforderungen – Präsentation:

- ▶ Stellen Sie Ihre Konzeption / Konstruktion im Sinne eines ***Konstruktionswettbewerbs*** dar
 - Erläutern Sie die Funktionsweise Ihrer Konstruktion
 - Begründen Sie die Entscheidung für Ihr gewähltes Funktionsprinzip gegenüber anderen möglichen Funktionsprinzipien (z.B. anhand des morphologischen Kastens)
 - Stellen Sie die besonderen Vorteile Ihrer Konstruktion dar
 - Nennen Sie ggf. gerne auch bereits identifizierte Schwachstellen Ihrer Konstruktion und entsprechende Verbesserungsvorschläge
- ▶ Gestalten Sie Ihre 10-minütige Präsentation nach Ihren Vorstellungen (d.h. Anzahl der Vortragenden, Beamer und/oder Wandtafel)



Teil 1 – Konzeptionierung: (initiale, systematische Konzeptentwicklung)

Abgabetermin 29.11.2019

Die methodische Vorgehensweise ist zu dokumentieren mit

► Produktplanung

- Marktanalysen, Wettbewerbsanalysen, Technologieanalyse & Patentanalyse

► Projektplan

für die Gestaltungsaufgabe mit Planung von

- Aufgaben
- Dauer, Beginn und Ende der Aufgaben
- Abhängigkeiten zwischen Aufgaben
- ggf. kritischem Pfad

► Anforderungsliste

- Anforderungen des Lastenheftes präzisiert sowie um sinnvolle Anforderungen und Angaben inkl. Verweis auf Lage in Kano-Diagramm ergänzt (*min. 20 Anforderungen*)
- Konsistenzmatrix für (*mindestens 10*) Hauptanforderungen

► Funktionsstruktur

- Allgemeine kybernetische Black-Box-Darstellung
- Hierarchische Funktionsstruktur (*mindestens 10 Teifunktionen*)
- Funktionsmodell mit Darstellung der (*mindestens 10*) wichtigsten Funktionen

► Lösungsprinzipien

- Morphologischer Kasten mit (*jeweils mindestens 4*) Teillösungsprinzipien (ggf. durch geeignete Lösungsfindungsmethoden) für diese wichtigsten Funktionen
- Verträglichkeitsmatrix für die Teilprinzipien
- Kennzeichnung von *mindestens 3* möglichen Gesamtlösungskombinationen im morphologischen Kasten
- Bewertung dieser Gesamtlösungskombinationen

► Grobentwurf / technische Prinzipskizze

- Anfertigung einer technischen Prinzipskizze zur Verdeutlichung des Wirkprinzips



Teil 2 – Detaillierung: (methodische Werkstoffauswahl unter partiell AM-Technologieeinsatz)

Abgabetermin 10.01.2020

Das konstruktiv entworfene Produkt ist angesichts einer methodischen Werkstoff- und Technologieauswahl transparent zu dokumentieren mit

► Ashby-Methode

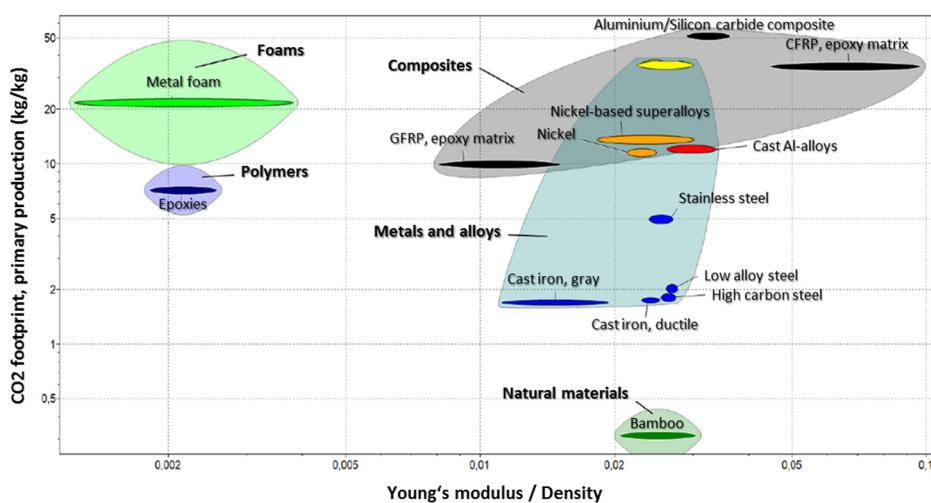
für alle Subsysteme und Komponenten mit relevanter Werkstoffauswahl

- Analyse der Gestaltvorgaben als Randbedingungen und Ziele
- Identifizierung und Ableitung sogenannter „*Functions*“, „*Constraints*“, „*Objectives*“ sowie „*Free Variables*“ zur Auflistung einfacher Randbedingungen für die Selektion
- Aufstellung einer „*Performance-Rechnung*“ (*mathematische/physikalische Beziehungen und Formeln* zur Berechnung des Ziels) zur Entmystifizierung der Werkstofffaktoren

► CES-Software

optimierte Auswahl mittels computerunterstützter Datenbank

- Erstellung sogenannter Eigenschaftsdiagramme unter Anwendung sogenannter Designgeraden (*Steigung entsprechend obiger Performance-Rechnung / Werkstofffaktoren*) zur Einschränkung gewisser Werkstofflösungen
- Ranking der besten fünf (5) grundsätzlich in Frage kommenden Lösungen
- Begründete Auswahl der finalen Werkstofflösung entsprechend der Prozesstechnologie sowie sonstiger „weicher“ Faktoren (*bspw. über „limit stages“*)





Teil 3 – Ausarbeitung: (3D-CAD Modellierung und Dokumentation)

Abgabetermin 24.01.2020

Das modellierte Produkt ist vollständig sortiert zu dokumentieren mit

- ▶ Dimetrischer Ansicht des modellierten „innovativen Haushalt-Gadgets“ (digital & Ausdruck)
- ▶ 3D-CAD Datensätzen der Einzelteile sowie des Zusammenbaus (*.prt sowie *.stp)
- ▶ Digital abgeleiteten Zeichnungssätzen (separate *.prt sowie *.pdf)
alle zur fertigungsgerechten (Toleranzen, Oberflächen, etc.) Herstellung notwendigen ...
 - Einzelteil- und Zusammenbauzeichnungen
 - Stücklisten

Teil 4 – Prototypenbau:

Abgabetermin 07.02.2020

- ▶ Eigenständiger Zusammenbau & Test des selbst konstruierten „innovativen Haushalt-Gadget in AM & Multi-Material-Design“
- ▶ Endpräsentation und Vorführung des „Haushalt-Gadgets“ mit allen teilnehmenden Studenten-Teams

Inhaltsverzeichnis

1	Lastenheft	1
2	Konzeptionierung	2
2.1	Produktplanung	2
2.2	Projektplan	5
2.3	Anforderungsdefinition	6
2.4	Funktionsstruktur	9
2.5	Lösungsprinzipien	11
2.6	Technische Prinzipskizze	14
3	Methodische Werkstoffauswahl	15
3.1	Standfuß und Gehäuse	15
3.2	Tablettenrutsche	19
3.3	Tablettenlagerung	21
3.4	Aktoren	23
	Literatur	27
A	Anhang	28
A.1	Marktanalyse zu Nahrungsergänzungsmitteln	28
A.2	Patent DE000029811862U1	31

1 Lastenheft

Es ist die Entwicklung eines innovativen Haushalt-Gadgets in AM-&Multimaterial-Design vorgegeben. Dabei soll ein bedeutsames aber zeitgleich auch revolutionäres und innovatives Produkt entworfen werden. Vom Kunde ist ein Vitamintablettenspender gewünscht. Dieser soll über folgende Funktionen verfügen:

- Aufbewahrungsmöglichkeit für mindestens zwei unterschiedliche Vitamintablettenarten
- Automatischer Tablettenauswurf in einen Trinkbehälter
- Handlich
- Leicht

Dazu wurden zusätzliche Kundenbefragungen und Umfragen hinsichtlich wünschenswerter Zusatzfunktionen durchgeführt. Als begeisternde Kriterien wurden folgende Wunschanforderungen formuliert:

- Touchdisplay zur Bedienung
- Automatisches Auffüllen des Trinkbehälters mit Wasser
- Füllstandanzeige der Tablettenreservoirs

Das Produkt soll dem Kunden im Februar 2020 mittels einem fertigen Prototypen vorgestellt werden.

2 Konzeptionierung

Im Entwicklungsprozess nimmt die Suche nach der optimalen Lösung für das vom Kunden gewünschte Produkt die Hauptaufgabe ein. Das Ergebnis soll nachvollziehbar und objektiv bewertbar sein. Dafür wird im Folgenden zunächst eine umfassende Planung des Produktes hinsichtlich Markt- und Wettbewerbschancen durchgeführt.

Die Entwicklung des Konzepts erfolgt darauffolgend anhand eines Projektplans, der den vom Kunden gewünschten Termin zur Vorstellung des Produktes mit einem Prototypen berücksichtigt. In der Anforderungsliste werden die Anforderungen des Kunden aus dem Lastenheft konkretisiert und durch interne Spezifikationen ergänzt. Damit wird eine Basis zur Entwicklung von Lösungsideen geschaffen.

Hierfür werden zunächst die Zusammenhänge von Anforderungen und Funktionen abstrakt in der Funktionsstruktur dargestellt, wobei das Loslösen vom Gegenständlichen und von vorzeitigen Festlegungen auf ein bestimmtes Lösungskonzept ermöglicht wird. Zur Systematisierung der Suche und Auswahl des optimalen Lösungsprinzips wird im morphologischen Kasten alle Lösungsoptionen aller Teifunktionen berücksichtigt und verschiedene Gesamtlösungskombinationen unter Beachtung von Konflikten untereinander gebildet. Die abgesicherte Festlegung des zu realisierenden Lösungskonzeptes erfolgt in der Nutzwertanalyse. Zuletzt wird ein Grobentwurf zur Verdeutlichung des Wirkprinzips angefertigt.

2.1 Produktplanung

Der Markt für Nahrungsergänzungsmittel ist riesig. Mehrere Studien und Umfragen zeigten bereits die enorme Nachfrage deutschlandweit. So wurden nach einer Studie von Insight Health [Leban], die auf der Website des deutschen Lebensmittelverbandes veröffentlicht wurde, dass im Jahr 2018 225 Millionen Packungen Nahrungsergänzungsmittel verkauft wurden. Das entspricht einem Umsatz von circa 1,439 Milliarden Euro. Dabei machen Vitamine und Mineralstoffe näherungsweise zwei Drittel des gesamten Nahrungsergänzungsmittel-Marktes aus. Das Vitamin C, zur Stärkung des Immunsystems, ist dabei in der Sparte der Vitaminprodukte mit großem Abstand am beliebtesten, sodass davon im Jahr 2019 29,2 Millionen Packungen abgesetzt wurden. Zweitplatziert sind Multivitamin-Tabletten mit Mineralstoffen, die immer noch 17,5 Millionen verkaufte Packungen vorweisen können. Aber auch Vitamintabletten, die lediglich das Vitamin B12 oder die Vitamine A/D oder B-Komplexe beinhalten, sind sehr stark gefragt.

Unabhängig von Vitaminen werden einige Mineralstoffe wie Magnesium insbesondere für Sportler oder Calcium vom Markt aufgekauft. Dabei wurden im Jahr 2018 36,8 Millionen Packungen Magnesium sowie 16,4 Millionen Packungen Calcium verkauft. Die Chancen, dass ein Produkt zur automatisierten Ausgabe von Tabletten mit Vitaminen und Mineralen vertrieben wird, sind damit gegeben. Die bereits große Akzeptanz von Medikamentendispensern stellen ein gutes Beispiel für die Erfolgssaussichten des zu entwickelnden Produktes. Diese Dispenser verringern die Wahrscheinlichkeit falsche Medikamente einzunehmen und bieten dabei zeitgleich einen hohen Komfort. Mit dem Vitamintablettenspender wird ein Produkt konstruiert, das der breiten Masse der

Bevölkerung zugänglich gemacht werden kann. Aufgrund der hohen Verkaufszahlen von Nahrungsergänzungsmitteln bieten sich Chancen durch den erhöhten Komfort der Tablettenzubereitung und der damit erleichterten Einnahme. Außerdem kann die Aufbewahrung verschiedener Vitamin- und Mineralsorten die Vielfältigkeit in der Nachfrage nach Nahrungsergänzungsmitteln kompensieren. Die Technologien zum Realisieren des Produktwunsches sind gegeben. Es gibt zahlreiche Möglichkeiten zum Entwerfen eines Ausgabemechanismus von Vitamintabletten. Da technologisch größtenteils nur Motoren zum Erzeugen des gewünschten Schiebeprinzips eingesetzt werden müssen, treten bei der Umsetzung ausschließlich Komponenten der Technologien aus dem Bereich der Basis- oder der Alten Technologien auf. Diese sind preislich günstig zu bekommen und können durch geschickte Kombination miteinander Gewinne einbringen. Beispielsweise wurden in Norwegen im Jahr 2018 elektronische Medikamentendispenser in Krankenhäusern in einem Pilotprojekt getestet [Schan], wodurch bestätigt wird, dass die technischen Voraussetzungen für das Produkt gegeben sind.

Im direkten Wettbewerb mit dem automatischen Vitamintablettenspender steht ein Produkt der Firma Tespo (Plymouth, England) [Tesan], das die automatische Ausgabe ihrer eigenen Vitaminprodukten in Pulverform ermöglicht. Dieses Produkt ist jedoch nicht für den Massenmarkt und herkömmliche Vitamintabletten geeignet. Des Weiteren gibt es Behältnisse zu Aufbewahrung von Tabletten. Diese stellen jedoch nicht die automatische Ausgabe sowie das anschließende Auffüllen des Trinkbehältnisses mit Wasser bereit. Die gewünschte Bedienbarkeit mit einem Touchdisplay sind zusammen mit der automatischen Zubereitung Alleinstellungsmerkmale. Damit ist das Produkt ein Unikat und hebt sich gegenüber der Konkurrenz deutlich ab.

In der Patentanalyse wurde mittels der Bottom-Up-Recherche-Methode sichergestellt, dass es keine vergleichbaren Patente des Produkts gibt. Dabei wurden im Depatisnet, Espacenet sowie unter Google Patents keine relevanten Produkte gefunden. Es existiert ausschließlich das deutsche Patent DE000029811862U1 [Sol07] mit dem Titel "Vitamin-Tablettenspender". Das im Jahr 1998 angemeldete Gebrauchsmuster beschreibt einen Spender, an dem Tablettenröhren befestigt werden können. Mit Hilfe eines mechanischen Schiebers können einzelne Tabletten herausgenommen werden. Für die Konstruktion ist die Montage an der Wand vorgesehen, wobei dort die einzelnen Tablettenröhren ausgetauscht werden können. Das Patent beinhaltet das Funktionsprinzip des zu entwickelnden Produktes nur eingeschränkt. Geschützt wird eine komplette Wandhalterung, bei der die Befestigung mittels Verschrauben der Produktschenkel erfolgt.

Des Weiteren wird die direkte Montage der Röhren sowie der mechanischen Schieber zum Herausnehmen der Tabletten patentiert. Das zu entwickelnde Produkt erweitert das Prinzip in seiner Funktion, sodass der Wirkbereich des Schutzes verlassen wird. Der automatische Prozess zur Tablettenausgabe löst dabei den Schiebemechanismus ab, sollte jedoch hinsichtlich seiner Ähnlichkeit zum mechanischen Schieber überprüft und abgesichert werden. Das System ist nicht zur Montage an der Wand vorgesehen. Außerdem ist die Befüllung des Gerätes mit den Tabletten angedacht, sodass die einzelnen Röhren nicht direkt am Produkt montiert werden. Durch Hinzufügen von wesentlichen Produktfunktionen wie beispielsweise einem Touchscreen, einem Wasserbehälter zum automatischen Auffüllen des Trinkbehälters und einigen weiteren

Zusatzfunktionen hebt sich das System deutlich vom Patent ab und kann konstruiert werden. Die Kombination der einzelnen Komponenten für sein Anwendungsgebiet kann als Patent angemeldet werden.

2.2 Projektplan

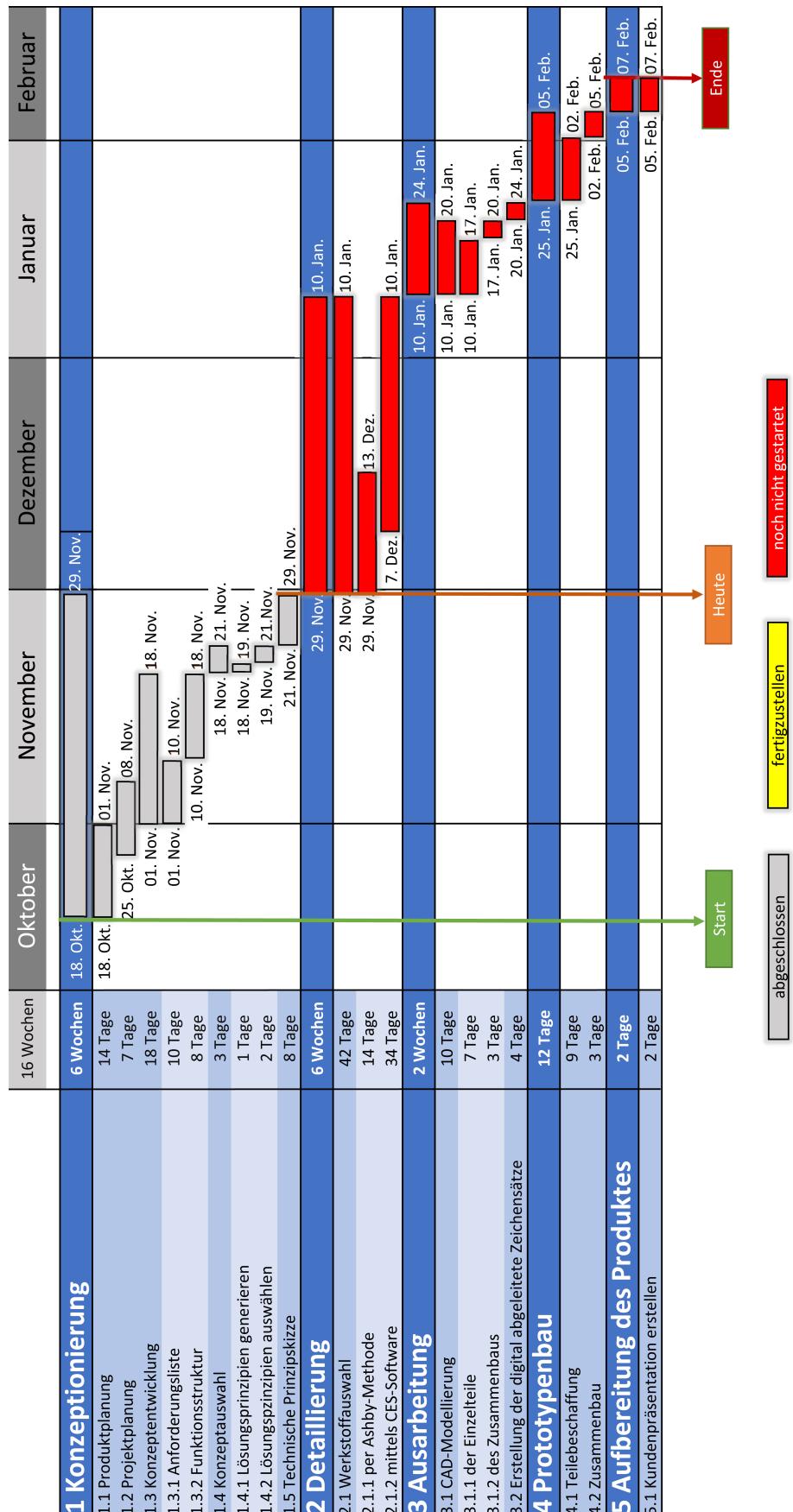


Abbildung 2.1: Projektplan

2.3 Anforderungsdefinition

Nr.	F/W	Gew.	Beschreibung und Erläuterung	Faktortyp	Ver.
1			Funktionsanforderungen		
1.1	F		Automatische Ausgabe einer Vitamintablette nach Wahleingabe über einen Auswurf in einen Trinkbehälter	Basis	KK/TG
1.2	W	9	Ausgabe sollte innerhalb 15 Sekunden nach Wahleingabe erfolgen	Leistung	KK/TG
1.3	W	6	Automatische Ausgabe einer Tablette bei Platzierung eines Trinkbehälters unter den Auswurf	Begeisterung	KK/TG
1.4	W	10	Automatisches Auffüllen des Trinkbehälters mit Wasser nach Tablettenausgabe	Begeisterung	KK/TG
1.5	W	4	Es sollte nur eine der Tageszeit entsprechende Tablette ausgegeben werden, um die Vitaminbalance des Nutzers zu garantieren	Begeisterung	KK/TG
1.6	F		Aufbewahrungs- und Ausgabemöglichkeit für mindestens zwei unterschiedliche Vitamintablettenarten	Basis	KK/TG
1.7	F		Aufbewahrungsmöglichkeit für mindestens 20 Brausetabletten je Vitamintablettenart	Basis	KK/TG
1.8	F		Anzeige der aktuellen Uhrzeit	Basis	KK/TG
1.9	W	5	Anzeige des nächsten Tablettentyps, der vom Nutzer eingenommen werden soll, um eine regelmäßigen Tabletteneinnahme zu überwachen	Begeisterung	KK/TG
1.10	W	4	Anzeige der Uhrzeit für die vom Nutzer als nächstes zu nehmende Tablette	Begeisterung	KK/TG
1.11	W	3	Warnton, wenn Uhrzeit von Anforderung 1.10 für einen Nutzer um fünf Minuten überschritten wurde	Begeisterung	KK/TG
1.12	W	2	Verschiedene Nutzerprofile, sodass die Überwachung der regelmäßigen Tabletteneinnahme für mehrere Nutzern erfolgen kann	Begeisterung	KK/TG
1.13	W	10	Bedienung per Touchdisplay	Begeisterung	KK/TG
1.14	W	10	Füllstandsanzeige der Tablettenreservoirs	Begeisterung	KK/TG

Nr.	F/W	Gew.	Beschreibung und Erläuterung	Faktortyp	Ver.
2			Mechanische/Geometrische Anforderungen		
2.1	F		Kompatibel für handelsübliche Vitamintabletten mit den Abmaßen: Durchmesser × Höhe = 25 mm × 6 mm	Leistung	KK/TG
2.2	F		Maximales Gewicht: 5 kg	Leistung	KK/TG
2.3	F		Maximale Abmessungen: Länge × Breite × Höhe = 300 mm × 300 mm × 450 mm	Leistung	KK/TG
2.4	F		Geeignet für alle Trinkbehälter mit den maximalen Abmessungen: Durchmesser × Höhe = 90 mm × 180 mm	Leistung	KK/TG
3			Sicherheitsanforderungen		
3.1	F		Schutz des mechanischen Tablettenauswurfs	Basis	KK/TG
3.2	F		Keine scharfen Kanten	Basis	KK/TG
3.3	F		Im Betrieb kein Zugang zu elektrischen Bauteilen möglich	Basis	KK/TG
4			Umwelt- und Wartungsanforderungen		
4.1	W	3	Gehäuses soll recyclebar sein	Leistung	KK/TG
4.2	F		Wartungsintervall: 1x jährlich	Leistung	KK/TG
5			Produktions- und Fertigungsanforderungen		
5.1	F		Funktionsprototyp bis zum 07.02.2020	Leistung	KK/TG
5.2	F		Gehäuse des Prototyps mittels RPT per 3D-Druck	/	KK/TG
5.3	F		Verwendung wasserfester Materialien	Basis	KK/TG
5.4	F		Norm- und Zukaufteile zu bevorzugen	/	KK/TG
5.5	F		Motoren des automatischen Auswurfs als Zukaufteile	/	KK/TG
5.6	W	8	Pumpe zum Auffüllen des Trinkbehälters sollte für Anforderung 1.4 ein Zukaufteil sein	/	KK/TG
5.7	W	6	Verwendung robuster Sensoren mit einer Lebensdauer > 50.000 h	Leistung	KK/TG
6			Sonstige Anforderungen		
6.1	F		Betrieb über eine haushaltsübliche 230V Steckdose	Basis	

Tabelle 2.1: Anforderungsliste (F=Festanforderung, W=Wunschanforderung, Gew.=Gewichtung, Ver.=Verantwortlicher)

Nr.	Anforderung										
1.1	Automatische Ausgabe Vitamintablette nach Wahleingabe über einen Auswurf in einen Trinkbehälter	+ Zusammenhang	- Zielkonflikt	-	-	-	-	-	-	-	-
1.6	Aufbewahrungs- und Ausgabemöglichkeit für mindestens zwei unterschiedliche Vitamintablettensorten	+ Zusammenhang	- Zielkonflikt	-	-	-	-	-	-	-	-
1.7	Aufbewahrungsmöglichkeit für mindestens 20 Brausetabletten je Vitamintablettensorte	+ Zusammenhang	- Zielkonflikt	-	-	-	-	-	-	-	-
1.8	Anzeige der aktuellen Uhrzeit	+ Zusammenhang	- Zielkonflikt	-	-	-	-	-	-	-	-
2.1	Kompatibel für handelsübliche Vitamintabletten mit den Abmaßen: DxH= 25mm x 6mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.2	Maximales Gewicht: 5kg	+ Zusammenhang	- Zielkonflikt	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3	Maximale Abmessungen: LxBxH = 300mm x 300mm x 450mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.4	Geeignet für alle Trinkbehälter mit den maximalen Abmessungen: DxH = 90mm x 180mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.1	Schutz des mechanischen Tablettauswurfs	+ Zusammenhang	- Zielkonflikt	-	-	-	-	-	-	-	-
3.2	Keine scharfen Kanten	+ Zusammenhang	- Zielkonflikt	-	-	-	-	-	-	-	-
3.3	Im Betrieb kein Zugang zu elektrischen Bauteilen möglich	+ Zusammenhang	- Zielkonflikt	-	-	-	-	-	-	-	-
4.2	Wartungsintervall: 1x jährlich	+ Zusammenhang	- Zielkonflikt	-	-	-	-	-	-	-	-
5.3	Verwendung wasserfester Materialien	+ Zusammenhang	- Zielkonflikt	-	-	-	-	-	-	-	-

Abbildung 2.2: Konsistenzmatrix

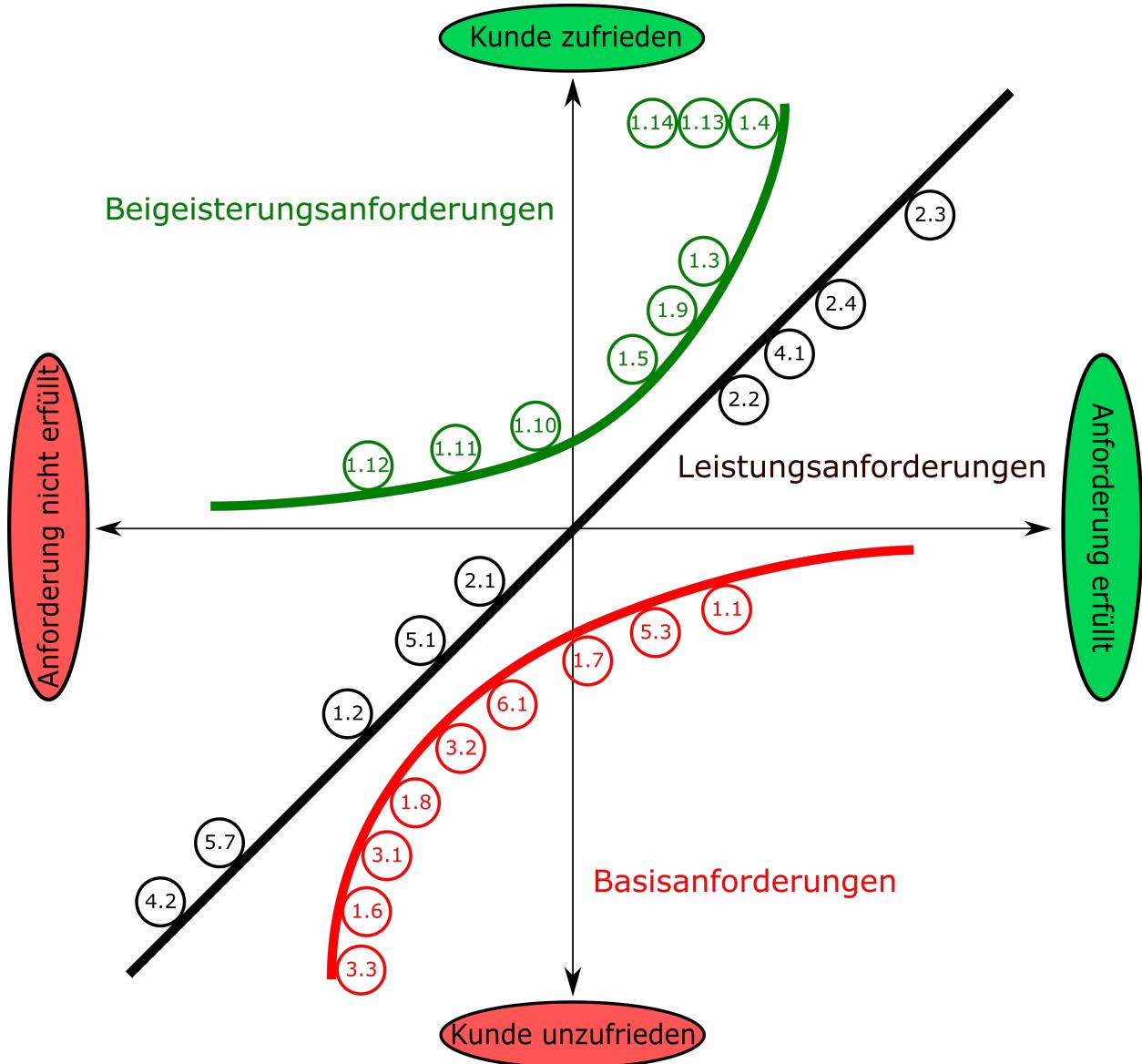


Abbildung 2.3: Verdeutlichung der Lage der Anforderungen im Kano-Diagramm

2.4 Funktionsstruktur

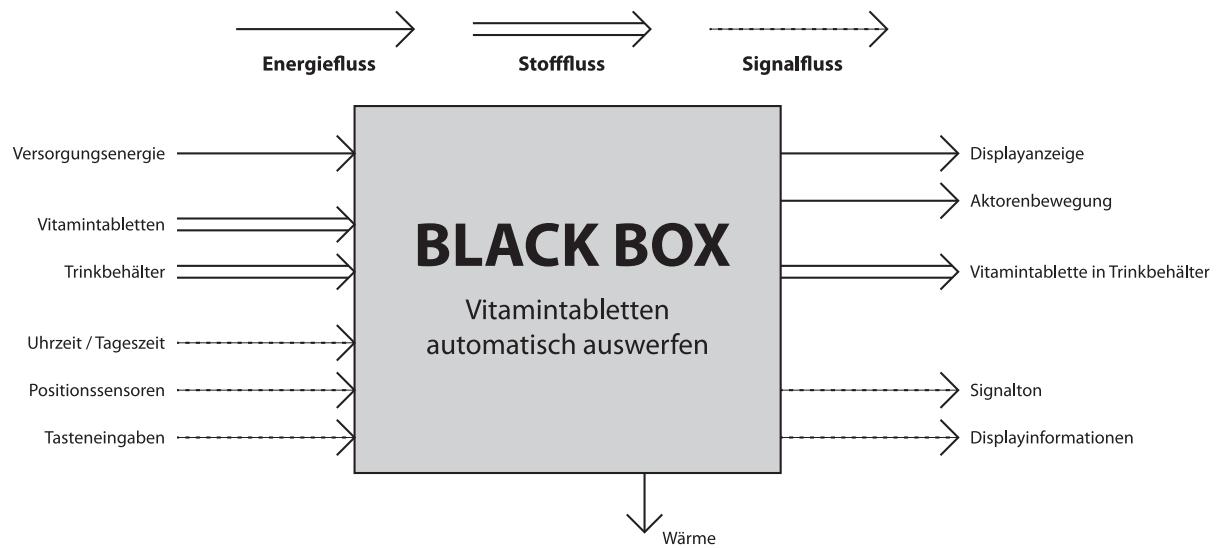


Abbildung 2.4: Allgemeine kybernetische Black-Box-Darstellun

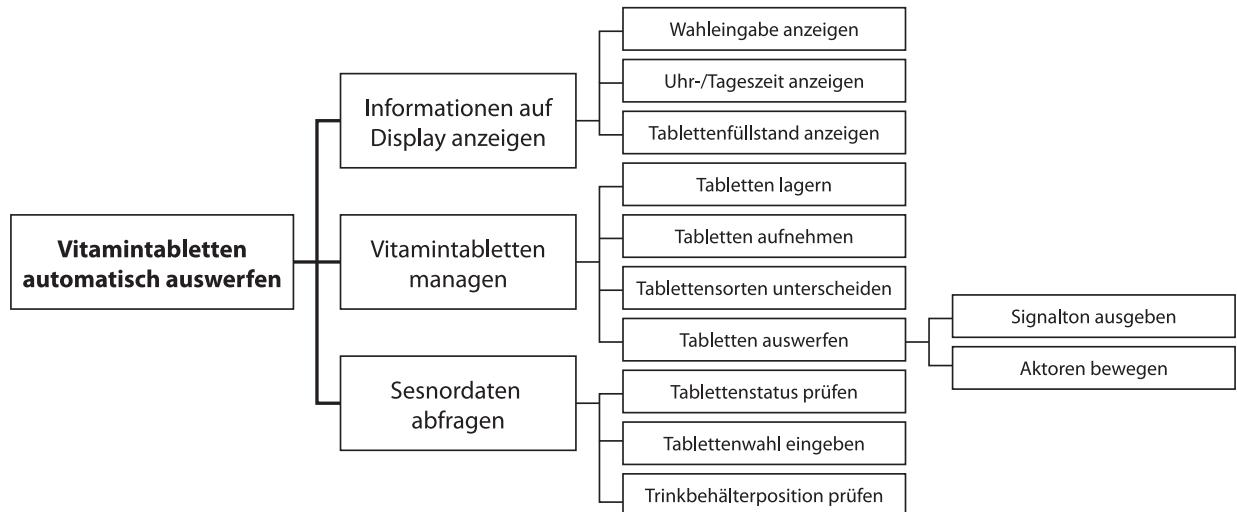


Abbildung 2.5: Hierarchische Funktionsstruktur

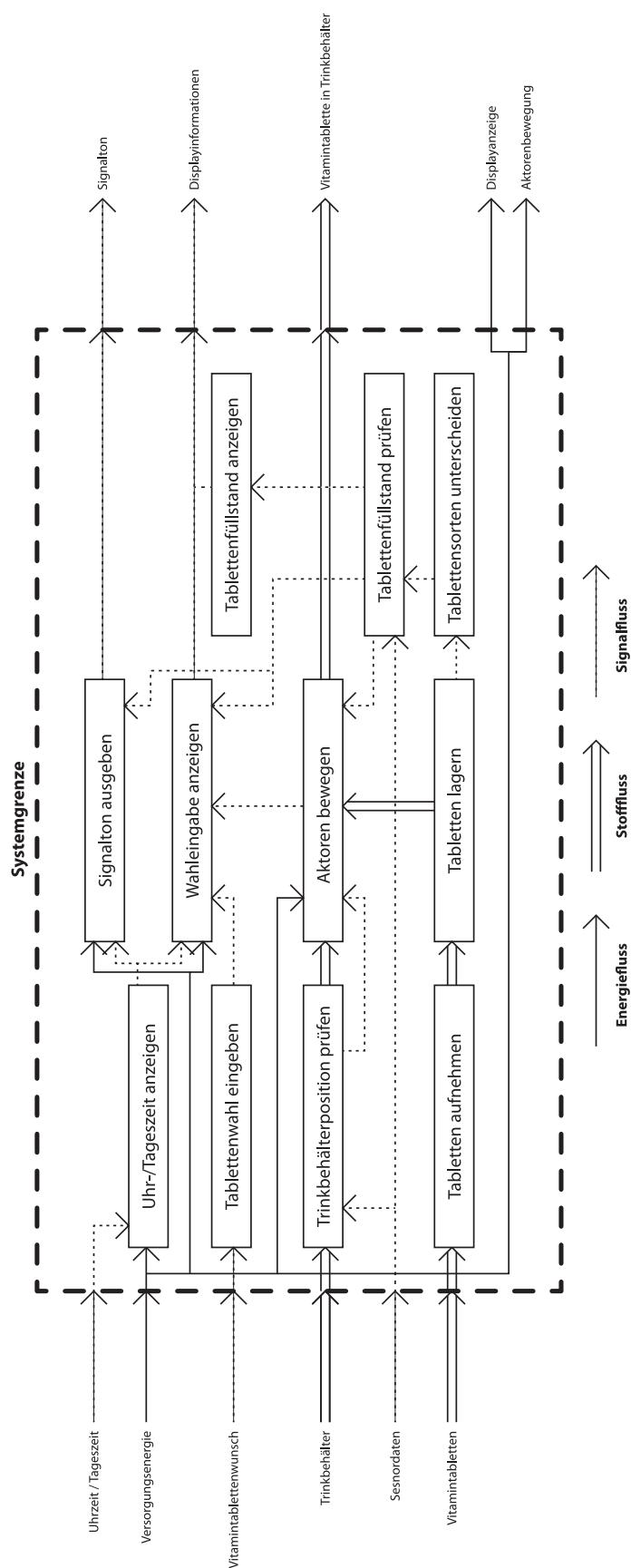


Abbildung 2.6: Funktionsmodell mit Darstellung der wichtigsten Funktionen

2.5 Lösungsprinzipien

Nr.	Teilfunktion	Teillösungen				
1	Tabletten aufnehmen	von Hand		Greifarm	Schwerkraft	Förderband
2	Aktoren bewegen	Pneumatik		Linearmotor	Servomotor	Hydraulik
3	Signalton ausgeben	Hupe		Lautsprecher	Klingel	Piezolautsprecher
4	Tabletten lagern	Tablettenröhrenchen		Glaszylinder	Durchsichtiger Plastikzylinder	3D gedruckter Plastikzylinder
5	Tablettensorten unterscheiden	Von Hand trennen		Nach Farbe	Nach Gewicht	Barcode
6	Tablettenfüllstand anzeigen	Display		LEDs	Signalton	Messskala an Lagerung
7	Uhr-/Tageszeit anzeigen	Display		Analoge Uhr	Separate 24h Digitaluhr	Separate 12h Digitaluhr
8	Wahleingabe anzeigen	Unterschiedliche Signaltöne		Aufleuchten von LEDs	Behälter beleuchten	Display
9	Tablettenfüllstand prüfen	Lichtschrankensensor		Gewichtssensor	Optisch (Selbst nachschauen)	Taster
10	Tablettenwahl eingeben	Taster		Touchdisplay	Spracherkennung	Automatisch nach Tageszeit
11	Trinkbehälterposition prüfen	Gewichtssensor		Taster	Optisch (Kamera)	Lichtschranke

Abbildung 2.7: Morphologischer Kasten

TF	2				3				4				5				6				7				8				9				10				11			
TL	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1	1					+		+ + + +	+ + + -																															
	2	+	+					+ + + +	- - -																															
	3							+ + + +	- - + -																															
	4	+						+ + + +	- + + +																															
2	1																																							
	2																																							
	3																																							
	4																																							
3	1																																							
	2																																							
	3																																							
	4																																							
4	1																																							
	2																																							
	3																																							
	4																																							
5	1																																							
	2																																							
	3																																							
	4																																							
6	1																																							
	2																																							
	3																																							
	4																																							
7	1																																							
	2																																							
	3																																							
	4																																							
8	1																																							
	2																																							
	3																																							
	4																																							
9	1																																							
	2																																							
	3																																							
	4																																							
10	1																																							
	2																																							
	3																																							
	4																																							

Abbildung 2.8: Verträglichkeitsmatrix

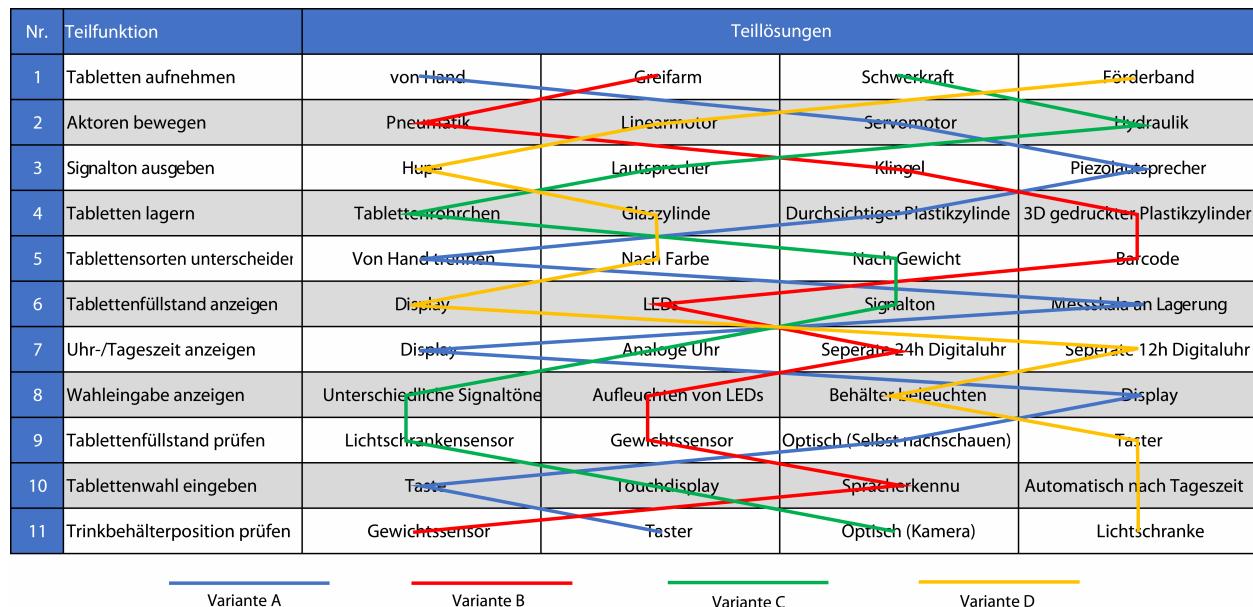


Abbildung 2.9: Kennzeichnungen von vier möglichen Gesamtlösungskombinationen

		Auswurfmechanismus	Lagerung	Komfort	Sicherheit	Design	Größe	Gewicht	Kosten	Wartungsfreundlichkeit	Aktiv-Summe	Gewichtung
Auswurfmechanismus	2 = ist wichtiger als 1 = ist gleich wichtig 0 = ist weniger wichtig	-	2	1	1	1	2	2	1	2	12	0,16
Lagerung		0	-	0	0	1	0	1	0	1	3	0,04
Komfort		1	2	-	0	1	1	1	1	2	9	0,12
Sicherheit		1	2	2	-	2	2	2	1	2	14	0,19
Design		1	1	1	0	-	1	1	0	2	7	0,10
Größe		0	2	1	0	1	-	1	1	2	8	0,11
Gewicht		0	1	1	0	1	1	-	1	2	7	0,10
Kosten		1	2	1	1	2	1	1	-	1	10	0,14
Wartungsfreundlichkeit		0	2	0	0	0	0	0	1	-	3	0,04
Passiv-Summe		4	14	7	2	9	8	9	6	14	73	1,00

Abbildung 2.10: Systematische Bestimmung der Gewichtungsfaktoren für die Bewertungskriterien durch den paarweisen Vergleich

Gesamtlösungsvariante			Lösung A		Lösung B		Lösung C		Lösung D	
Nr.	Bewertungskriterium	G	P	G x P	P	G x P	P	G x P	P	G x P
A	Auswurfmechanismus	0,16	9	1,44	5	0,8	7	1,12	8	1,28
B	Lagerung	0,04	10	0,4	4	0,16	7	0,28	2	0,08
C	Komfort	0,12	6	0,72	7	0,84	5	0,6	6	0,72
D	Sicherheit	0,19	9	1,71	8	1,52	8	1,52	7	1,33
E	Design	0,10	5	0,5	4	0,4	3	0,3	3	0,3
F	Größe	0,11	7	0,77	1	0,11	2	0,22	4	0,44
G	Gewicht	0,10	8	0,8	5	0,5	2	0,2	4	0,4
H	Kosten	0,14	9	1,26	3	0,42	1	0,14	5	0,7
I	Wartungsfreundlichkeit	0,04	8	0,32	6	0,24	7	0,28	4	0,16
Gesamtwertigkeit			7,92		4,99		4,66		5,41	
Technische Wertigkeit			0,792		0,499		0,466		0,541	
Rangfolge			1		3		4		2	

Abbildung 2.11: Nutzwertanalyse zur Bewertung der Gesamtlösungskombinationen

2.6 Technische Prinzipskizze

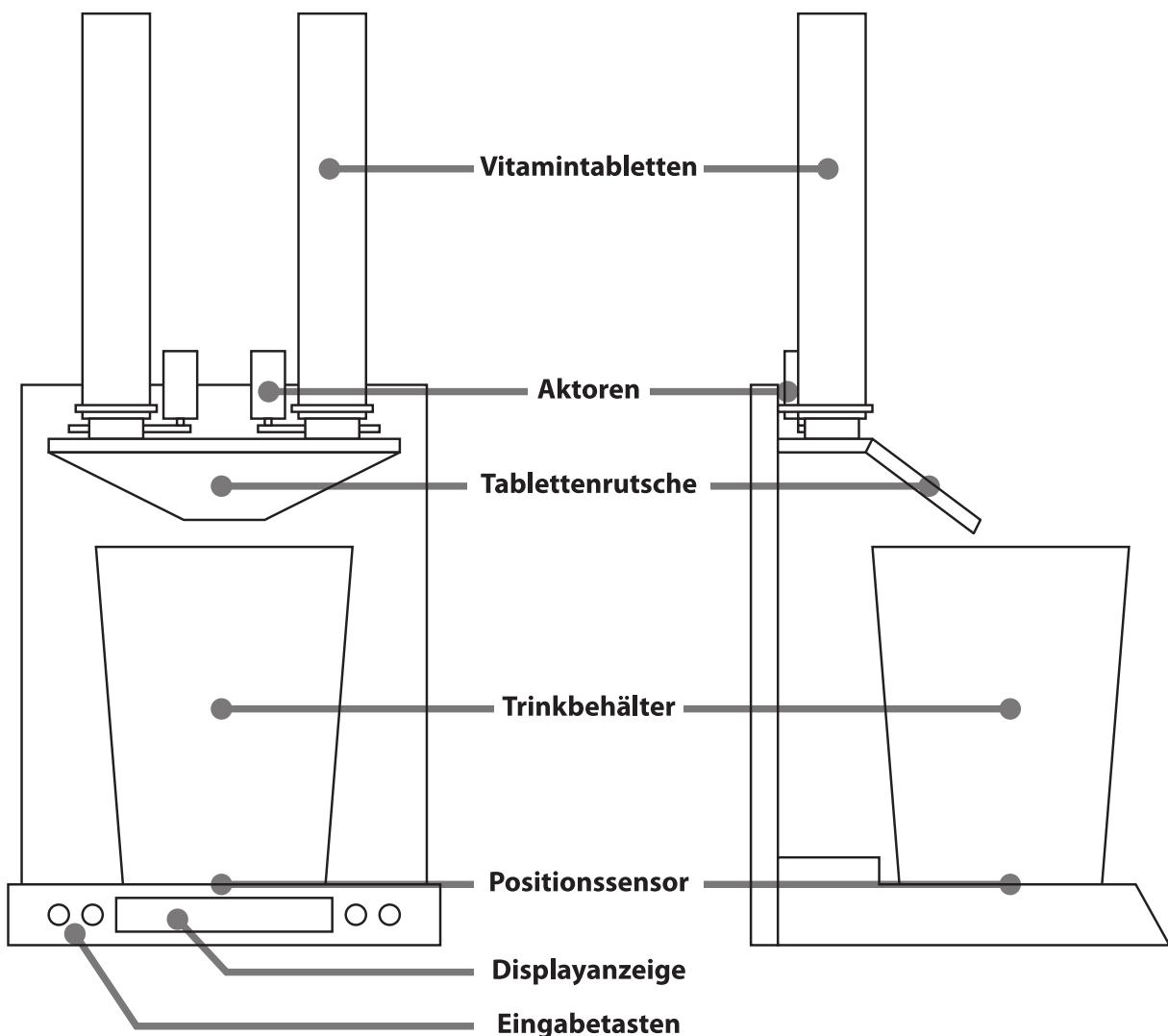


Abbildung 2.12: Technische Funktionsskizze (links Vorderansicht, rechts Seitenansicht)

Diese technische Funktionsskizze zeigt den geplanten Aufbau der Apparatur. Zentral zu sehen ist der Trinkbehälter, dessen Positionierung automatisch erkannt wird. Darunter befindet sich ein kleines Display, worauf wichtige Informationen angezeigt werden. Über dem Trinkbehälter liegt das Herzstück der Konstruktion, die Vitamintabletten mit einem servogesteuerten, automatischen Auswurfmechanismus.

3 Methodische Werkstoffauswahl

Von der Produktentwicklung werden leistungsfähige Systeme bei gleichzeitiger Erfüllung von Sicherheits- und Umweltverträglichkeitsanforderungen erwartet. Steigenden Kosten für Material und Energie werden im Zuge des Multi-Material-Designs mittels einer methodischen Werkstoffauswahl durch die „Ashby-Methode“, und den dabei entstehenden intelligenten Lösungen entgegengewirkt. Dabei werden unterschiedlichste Aspekte wie die Möglichkeit zur generativen Fertigung bzw. dem Additive Manufacturing berücksichtigt. Die Auslegung der Hauptkomponenten des Produktes unterliegt den jeweils gültigen Randbedingungen und ihren zu erfüllenden Funktionen und werden hinsichtlich ihrer freien Variablen untersucht und bezüglich der Werkstoffauswahl optimiert. Eine „Performance-Rechnung“ ermöglicht die Einbeziehung von mathematischen und physikalischen Formeln zur Entmystifizierung der Werkstofffaktoren. In der kommerziellen Software CES Selector der Firma Granta Design Ltd. (Cambridge, Vereinigtes Königreich), die von Michael Ashby, dem Erfinder der Ashby-Methode, gegründet wurde, wird mittels einer computergestützten Datenbank auf Basis der Performance-Rechnung die fünf besten in Frage kommenden Werkstofflösungen mit ihren Materialindizes ermittelt, woraus die optimale Werkstofflösung durch „weiche“ Faktoren resultiert.

Für die Anwendung der Ashby-Methode muss zunächst die Hauptfunktion des Bauteils bestimmt werden. Darauffolgend müssen Randbedingungen definiert werden, auf Basis derer ein Ziel zur Optimierung gesetzt wird. Dabei treten freie Variablen auf, die während des Designprozesses des Produktes variiert werden können. Die Randbedingungen liefern im Allgemeinen numerische Gleichungen die einen Performance-Index implizieren. Ein höherer Performance-Index bedeutet konventionell ein besseres Material.

Im Folgenden wird das Prinzip von Ashby zur Materialauswahl auf die vier Hauptkomponenten des Systems angewandt. Dabei handelt es sich zunächst um das Gehäuse, worin der Standfuß, die Rückwand sowie die Oberseite zusammengefasst werden. Ein weiteres Bauteil, das der Werkstoffoptimierung unterzogen wird, ist die Tablettenrutsche, an die die ausgeworfenen Tabletten übergeben und zum Trinkbehälter transportiert werden. Dritte Hauptkomponente stellt die rohrförmige, transparente Tablettenlagerung. Zum Schluss werden die Aktoren, welche sich aus Pleuelstangen und einem Tablettenschieber zusammensetzen untersucht.

3.1 Standfuß und Gehäuse

Das Gehäuse inklusive des Standfußes sowie der Oberseite zum Anschrauben der übrigen Bauteile ist im Querschnitt zusammen mit den wesentlich angreifenden Lasten in Abb. 3.1 (a) dargestellt. Die Streckenlast q_0 fasst die Gewichtskräfte der Tablettenrutsche, der Aktoren sowie der Behälter für die Lagerung der Tabletten zusammen. Die Einspannung am unteren Ende symbolisiert die Lagerung des Bauteils an der Oberfläche. Eine geeignete Abstraktion des Systems wird durch die Reduzierung der Streckenlast sowie der Einspannung auf zwei resultierende Kräfte in 3.1 (a) beschrieben. Darin ist die Kraft F_{res} die Resultierende aus der Streckenlast und greift im Schwerpunkt der Last an. Die Einspannung am unteren Ende reduziert sich zu der für die

Berechnung wesentlichen vertikalen Komponente $F_{L,V}$. Unter Vernachlässigung des Eigengewichts des Bauteils gilt näherungsweise $F_{res} \approx F_{L,V}$. Die Werkstoffauswahl und die Optimierung einer Zielfunktion kann für den dargestellten kritischen Teil des Gehäuse stellvertretend für die gesamte Struktur vorgenommen werden.

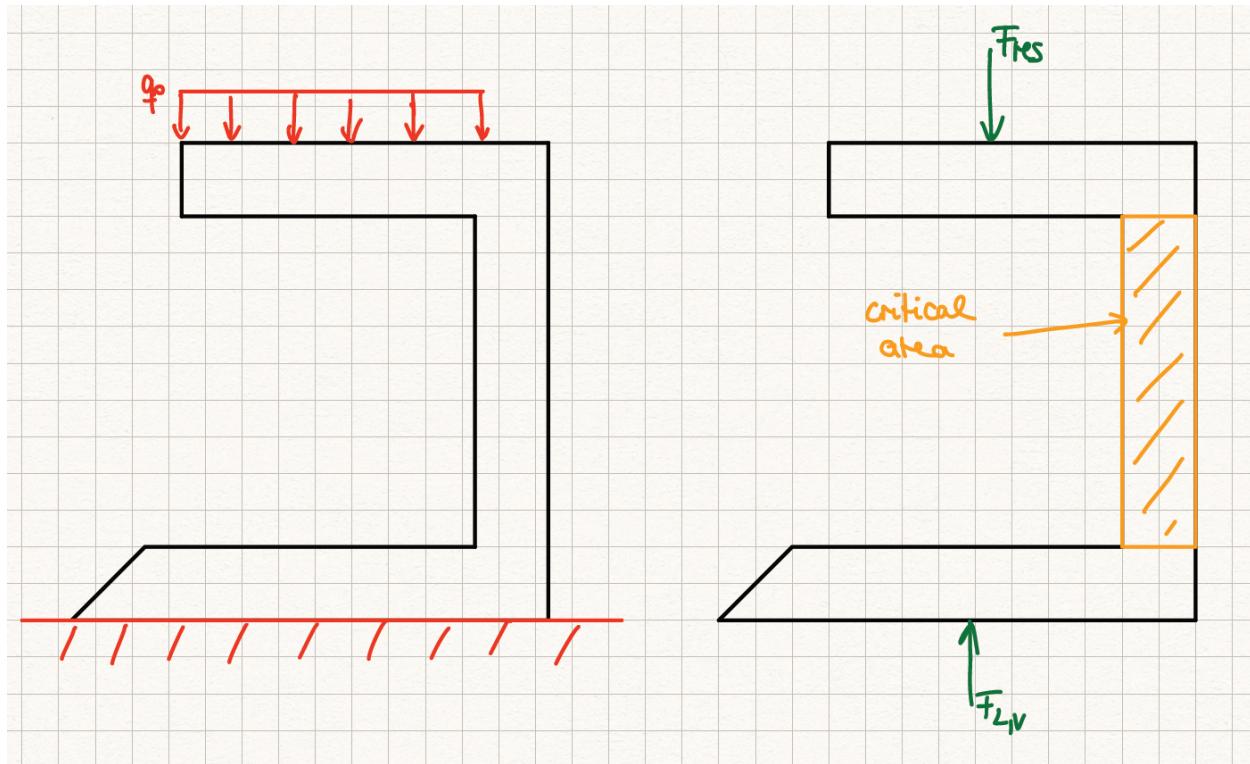


Abbildung 3.1: (a, links) Querschnittsdarstellung des Gehäuses und angreifende Lasten, (b, rechts) vereinfachte Darstellung mit angreifenden resultierenden Kräften und der kritischen Zone

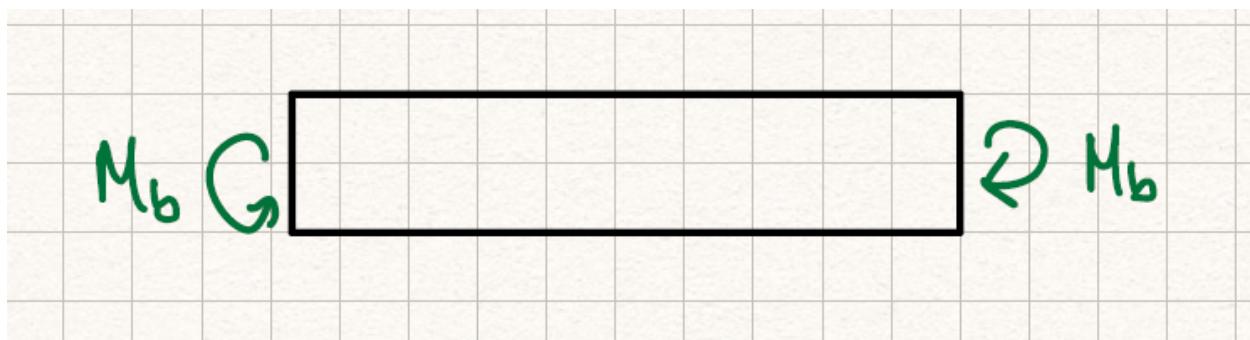


Abbildung 3.2: Abstrahiertes Modell einer Platte unter reiner Biegung mit dem Biegemoment M_b

Dabei ist die **Funktion** des Bauteils die Tablettenrutsche, die Aktoren sowie die Tablettenbehälter zu stützen und in der Höhe zu halten. Auf Basis der Anforderungsliste in 2.1 und der benötigten mechanischen Eigenschaften können folgende **Randbedingungen** definiert werden:

- Material muss recyclebar sein
- Material muss ein guter Isolator sein, bzw. $\rho_e > 10^{19} \mu\Omega\text{cm}$

- CO₂-Ausstoß bei der Materialgewinnung $\leq 2 \frac{\text{kg(CO}_2\text{)}}{\text{kg(Material)}}$
- Spezifische Festigkeit $\geq 5 \frac{\text{kN m}}{\text{kg}}$
- Bruchzähigkeit $\geq 1 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$
- Höhe des kritischen Teils/Länge der Platte $L = 180 \text{ mm}$
- Biegesteifigkeit S so, dass bei Einleitung der Kraft F_{res} das an der Platte resultierende Biegemoment M_b eine maximale Durchbiegung w_{\max} zur Folge hat

Das **Ziel** der Werkstoffauswahl ist die Reduzierung der Kosten für das Gehäuse. Als **freie Variablen** treten dabei zum einen die Querschnittfläche der rückwandigen Platte, welche durch Konzeptleichtbau im Verlauf des Produktdesigns optimiert werden kann, zum anderen die Wahl des Materials. Dadurch, dass die Biegesteifigkeit S sowie die Höhe der Platte L vorgegeben sind, ergeben sich die beiden Gleichungen als Grundlage der Performance-Rechnung. Hierbei gilt zunächst für die Durchbiegung in der vertikalen Mitte der Platte ausgehend von der Differentialgleichung 2. Ordnung:

$$EIw''(x) = -M_b \quad (3.1)$$

durch zweifaches Integrieren, Umstellen und Einsetzen unter Vernachlässigung des Vorzeichens, das ausschließlich für die Richtung der Durchbiegung berücksichtigt werden muss, folgt:

$$w\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{M_b L^2}{8EI} \leq w_{\max}, \quad (3.2)$$

wobei EI der Biegesteifigkeit S entspricht. Als weitere Gleichung ergibt sich der Zusammenhang für die effektiven Kosten K , die in erster Linie über den Kostenfaktor C_m mit der Masse der Platte korrelieren. Unter Berücksichtigung der Geometrie und der Materialdichte ρ ergibt sich:

$$K = C_m m = C_m \rho A L. \quad (3.3)$$

Dabei ist das Flächenträgheitsmoment eine Funktion der Querschnittfläche, die als rechteckig angenähert werden kann. Hier sind jedoch die Kantenlängen h und b variabel. Damit gilt für die Querschnittsfläche:

$$A = h b \quad (3.4)$$

sowie für das Flächenträgheitsmoment:

$$I = \frac{hb^3}{12}. \quad (3.5)$$

Einsetzen von 3.5 in 3.2 und 3.4 in 3.3 liefert die Gleichungen:

$$w_{\max} \geq \frac{3M_b L^2}{2Ehb^3}, \quad K = C_m \rho hb L \quad (3.6)$$

Eliminieren von b führt in 3.6 schließlich zu

$$K = \underbrace{\left(\frac{3 M_b L^5 h^3}{2 w_{\max}} \right)^{\frac{1}{3}}}_{\text{konstanter Vorfaktor}} \frac{C_m \rho}{E^{\frac{1}{3}}}. \quad (3.7)$$

Die **Zielfunktion** ist damit durch

$$P_{\text{CR}}^{3.1} = \frac{1}{K} = \frac{E^{\frac{1}{3}}}{C_m \rho} \quad (3.8)$$

definiert, wobei der Materialindex $P_{\text{CR}}^{3.1}$ zu maximieren ist. Dabei stellen hohe Werte von $P_{\text{CR}}^{3.1}$ einen idealen Kompromiss aus Kosten und Biegesteifigkeit dar.

Logarithmieren von 3.8 liefert die Beziehung

$$\underbrace{3 \ln(P_{\text{CR}}^{3.1})}_{= \text{konst.}} = \ln(E) - 3 \ln(C_m \rho), \quad (3.9)$$

wodurch sich mittels der Ashby-Methode in den Graph des logarithmierten Elastizitätsmodul über die logarithmierten Kosten eine Gerade der Steigung 3 legt, welche einen variablen y-Achsenabstand in Abhängigkeit des Materialindex' aufweist, s. Abb. ??.

Grafik CES 3-1-1

Hinzufügen der Randbedingungen „recyclebar“ und „guter Isolator“ eliminiert einige Materialien und führt zur graphischen Darstellung in Abb. ??.

Grafik CES 3-1-2

Unter Berücksichtigung der übrigen Randbedingungen hinsichtlich des CO₂-Ausstoßes und der mechanischen Materialeigenschaften scheiden weitere Materialien aus (Abb. ??).

Grafik CES 3-1-3

Erhöhung des y-Achsenabschnittes der Gerade führt zur Vernachlässigung aller Materialien, die unterhalb der Geraden liegen. Das am besten geeignete Material wird zuletzt von der Geraden eliminiert und weist den höchsten Performance-Index $P_{\text{CR}}^{3.1}$ auf (Abb. ??)

Grafik CES 3-1-4

Die fünf geeignetsten Materialien werden dadurch ausfindig gemacht, dass sie zuletzt von der Gerade eliminiert werden und damit den höchsten Performance-Index besitzen. Für das betrachtete Problem ergibt sich:

- 1) Polypropylen (PP, Materialindex: $9,46 \times 10^{-4}$)
- 2) Polyethylen (PE, HD - high density, $7,3 \times 10^{-4}$)
- 3) Polyethylen (PE, LD - low density, $5,55 \times 10^{-4}$)
- 4) Polyvinylchlorid (PVC, $4,48 \times 10^{-4}$)
- 5) Natron- und kaligeschmolztes Glas ($3,3 \times 10^{-4}$)

Dementsprechend fällt ohne weitere Einschränkung oder offensichtliche Nachteile die Wahl des Materials für das Gehäuse auf Polypropylen.

3.2 Tablettenrutsche

Die Tablettenrutsche besitzt die wesentliche **Funktion** die aus der Lagerung geschobenen Vitamin-tabletten mittels Schwerkraft entlang einer Bahn in ein bereitgestellten Trinkbehälter zu überführen. Sie wird direkt an das Gehäuse geschraubt und an ihr sind mehrere elektronische Bauteile wie u.a. Taster und die Servomotoren befestigt, daher erfährt hier die elektrische Resistivität eine erhöhte Bedeutung. Für die Werkstoffauswahl liegen insgesamt folgenden **Randbedingungen** vor:

- Material muss recyclebar sein
- Material muss generativ bzw. additiv fertigbar sein
- Material muss ein guter Isolator sein, bzw. $\rho_e > 10^{19} \mu\Omega\text{cm}$
- Plattengeometrie: Trapezförmiger Querschnitt (gleichschenklig und symmetrisch, Höhe $h = 40 \text{ mm}$, Dicke $3 = mm$)

Das **Ziel** der Werkstoffwahl liegt in der Minimierung des CO₂-Ausstoßes bei der Materialgewinnung unter Erfüllung der minimalen spezifischen Bruchfestigkeit, die gewährleistet, dass trotz der hohen Zahl an Auswurfzyklen der Tabletten und dem dabei wirkenden Biegemoment die Bauteilstruktur nicht beeinflusst wird und keine Risse an der Oberfläche auftreten. **Freie Variable** ist in dem Auslegungsprozess die Wahl des Materials sowie die Längen l_1 und l_2 der beiden Grundseiten der Trapezquerschnittsfläche.

Aufgrund der vorgegebenen Plattengeometrie (s. Abb ?? a) gilt für den CO₂-Ausstoß beim Materialgewinnung in Abhängigkeit der Masse

$$\text{CO}_2^{ges} = \text{CO}_2^F m = \text{CO}_2^F \rho V = \text{CO}_2^F \rho \frac{1}{2} (l_1 + l_2) h d. \quad (3.10)$$

Für die Normalspannung in der Randfaser der Platte gilt

$$\sigma = \frac{M_b}{I} z. \quad (3.11)$$

Dabei ist M_b das Biegemoment, I das Flächenträgheitsmoment und z der Abstand der Randfaser von der neutralen Faser. Damit an der Oberfläche des Bauteils keine Risse auftreten, darf wie in Abb. ?? die Spannung σ nicht die Bruchfestigkeit σ_f überschreiten

$$\sigma = \frac{M_b}{I} z \leq \sigma_f. \quad (3.12)$$

Es folgt für das Biegemoment aufgrund des in Abb. ?? b) dargestellten Lastfalls

$$M = F \cos(45) h = F \frac{\sqrt{2}}{2} h. \quad (3.13)$$

Unter Berücksichtigung der Plattengeometrie gilt für den Abstand z der Randfaser zur neutralen Faser

$$z = \frac{d}{2}. \quad (3.14)$$

Das Flächenträgheitsmoment des Querschnittes entspricht im Krafteinleitungspunkt:

$$I = \frac{\frac{1}{2}(l_1 + l_2)d^3}{12} = \frac{(l_1 + l_2)d^3}{24}. \quad (3.15)$$

Einsetzen von 3.13, 3.14 und 3.15 in 3.12 liefert

$$\sigma_f \geq \frac{24\sqrt{2}F}{4(l_1 + l_2)d^3}hd = \frac{6\sqrt{2}Fh}{(l_1 + l_2)d^2}. \quad (3.16)$$

Schlussendlich führt Eliminierung der freien Variable $(l_1 + l_2)$ in 3.10 und 3.16 auf

$$\frac{2\text{CO}_2^{ges}}{\text{CO}_2^F \rho hd} = \frac{6\sqrt{2}Fh}{d^2 \sigma_f}. \quad (3.17)$$

Der gesamte CO₂-Ausstoß lässt sich dadurch mit

$$\text{CO}_2^{ges} = \underbrace{\frac{3\sqrt{2}Fh^2}{d}}_{\text{konstanter Vorfaktor}} \frac{\text{CO}_2^F \rho}{\sigma_f} \quad (3.18)$$

berechnen. Damit ergibt sich die Performance-Gleichung

$$P_{CR}^{3.2} = \frac{1}{\text{CO}_2^{ges}} = \frac{\sigma_f}{\text{CO}_2^F \rho}, \quad (3.19)$$

deren Materialindex $P_{CR}^{3.2}$ zu maximieren ist.

Analog zu der in 3.1 beschrieben graphischen Umsetzung mittels der Ashby-Methode lässt sich die logarithmierte spezifische Bruchfestigkeit über dem Logarithmus des Produktes von CO₂-Fußabdruck und Materialdichte auftragen.

Grafik CES 3-2-1

Hinzufügen aller Randbedingungen eliminiert einige Materialien, s. Abb. ??

Grafik CES 3-2-2

Verschieben der Gerade in positive y-Richtung liefert die am besten geeigneten Materialien. (Abb. ??)

Grafik CES 3-2-3

Die fünf dadurch ausgemachten geeigneten Materialien lauten:

- 1) Polypropylen (PP, Materialindex: 0,025)
- 2) Styrol-Acrylnitril (SAN, 0,022)
- 3) Polystyrol (PS, 0,0182)
- 4) Polyethylen (PE, HD - high density, 0,0167)

5) Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS, 0,011)

Da in 3.1 bereits Polypropylen als das bestmögliche Material für das Gehäuse gewählt wurde, fällt die Wahl für die Tablettenrutsche ebenfalls auf PP. Das Material ist sehr gut geeignet für Anwendungen im Lebensmittelbereich, was die Entscheidung stützt.

3.3 Tablettenlagerung

Die Tablettenlagerung besteht aus Hohlzylindern, die direkt an die Tablettenrutsche geschraubt werden. Die **Funktion** dieses Bauteils stellt das sichere Lagern der Vitamintabletten sowie dem Zulassen einer optischen Prüfung des Füllstandes dar. Zur Erfüllung dieser Funktion sind folgende **Randbedingungen** gegeben:

- Material muss recyclebar sein
- Material muss durchsichtig/transparent sein
- $\text{CO}_2\text{-Ausstoß bei der Materialgewinnung} \leq 2 \frac{\text{kg}(\text{CO}_2)}{\text{kg}(\text{Material})}$
- Preis $\leq 2 \frac{\text{€}}{\text{kg}}$
- Steifigkeit: Kein Umknicken bei Befüllung
- Festigkeit: Keine plastische Verformung bei Befüllung
- Bauteilhöhe $l = 200 \text{ mm}$
- Innenradius des Lagerungsrohrs $r = 14 \text{ mm}$

Das **Ziel** der Werkstoffauswahl ist die Minimierung der grauen Energie bei der Materialgewinnung für eine ausreichende Biegesteifigkeit. **Freie Variable** ist die Wahl des Materials sowie der Außenradius R des Rohrs. Der Belastungszustand unter dem das Bauteil steht, ist in Abbildung ?? dargestellt. Dabei wird das Rohr an der Unterseite fest eingespannt und während des Befüllvorgangs unter Knickung an der Oberkante belastet.

Abbildung Belatungszustand

Die während der Primärproduktion verbrauchte Energie ist mit

$$H^{ges} = H_p m = H_p \rho l A = H_p \rho l \pi (R^2 - r^2) \approx c_1 H_p \rho l \pi R^2 \quad (3.20)$$

definiert. Da der Innenradius r bekannt ist, kann er näherungsweise durch einen konstanter Vorfaktor in der Rechnung ausgetauscht werden.

Da es sich bei dem gegebenen Lastfall, um die Knickung eines Rohres handelt, kann näherungsweise die Theorie des Eulerschen Knickstabes herangezogen werden. Dadurch lässt sich die kritische Last F_{krit} , bei der es zum Knick kommt, mit

$$F_{krit} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \geq F, \quad (3.21)$$

berechnen, wobei die real-angreifende Last F geringer sein muss. Das Flächenträgheitsmoment für den Rohrquerschnitt ist durch

$$I = \frac{\pi}{4} (R^4 - r^4) \approx c_2 \frac{\pi}{4} R^4 \quad (3.22)$$

definiert. Auch hier geht r nur als Konstante mit ein und kann in einem Produktausdruck durch einen weiteren konstanten Faktor c_2 ersetzt werden. Einsetzen von 3.22 in 3.21 liefert

$$F \leq \frac{\pi^2 E c_2 \frac{\pi}{4} R^4}{l^2} = \frac{c_2 \pi^3 E R^4}{4 l^2}. \quad (3.23)$$

Eliminieren der freien Variable R führt schließlich im Grenzfall $F = F_{krit}$ zu

$$F = \frac{c_2 \pi^3 E R^4}{4 l^2} = \frac{c_2 \pi^3 E H_{ges}^2}{4 c_1^2 l^2 H_p^2 \rho^2 l^2 \pi} = \frac{c_2 \pi E H_{ges}^2}{4 c_1^2 l^3 \rho^2 H_p^2}. \quad (3.24)$$

Die gesamt aufgewendete Energie in der Produktion lässt sich damit durch

$$H_{ges} = \underbrace{\left(\frac{4 c_1^2 l^3 F}{c_2 \pi} \right)^{\frac{1}{2}}}_{\text{konstanter Vorfaktor}} \frac{\rho H_p}{E^{\frac{1}{2}}} \quad (3.25)$$

berechnen. Es ergibt sich die Performance-Gleichung

$$P_{CR}^{3.3} = \frac{1}{H_{ges}} = \frac{E^{\frac{1}{2}}}{H_p \rho}, \quad (3.26)$$

deren Materialindex $P_{CR}^{3.3}$ zu maximieren ist. Die graphische Darstellung der logarithmierten Gleichung 3.26 ist in Abb. ?? ersichtlich. Darin sind die verschiedenen Materialien eingetragen.
Grafik CES 3-3-1

Hinzufügen aller Randbedingungen schließt einige Materialien aus, Abb. ??

Grafik CES 3-3-2

Durch Verschieben der Gerade bleiben die fünf Materialien mit dem höchsten Materialindex übrig (Abb. ??).

Grafik CES 3-3-3

Zu den geeigneten Materialien gehören:

- 1) Kalk-Natron-Glas (Materialindex: $3,21 \times 10^{-4}$)
- 2) Aluminiumsilicate ($3,2 \times 10^{-4}$)
- 3) Kali-Natron-Zink-Glas ($1,93 \times 10^{-4}$)
- 4) Low E-Glas ($1,89 \times 10^{-4}$)
- 5) Natron-Zinkglas ($1,84 \times 10^{-4}$)

Kalk-Natron-Glas findet häufig Anwendung zur Fertigung von Behälterglas, wodurch es sich sehr gut als Material für die Lagerungsbehälter eignet.

3.4 Aktoren

Die **Funktion** der Aktoren ist es die rotatorische Bewegung der Servomotoren in eine translatorische Bewegung umzusetzen und dadurch den Vortrieb eines Schiebers zu erzeugen, wodurch die Tabletten aus der Lagerung geschoben werden. Der prinzipielle Aufbau ist in Abb. ?? gezeigt. Das methodische Selektieren des Werkstoffes für die Baugruppe wird im Folgenden stellvertretend für alle Bauteile am kritischsten Teil, dem Pleuel 2, durchgeführt. Es wirkt auf alle umliegenden Komponenten, die zu dieser Baugruppe gehören, der selbe Belastungszustand, wobei dieser Pleuel im Querschnitt am dünnsten ist, und daher zuerst versagt. Die **Randbedingungen** hierfür lauten:

- Material muss recyclebar sein
- Material muss ein guter Isolator sein, bzw. $\rho_e > 10^{19} \mu\Omega\text{cm}$
- Preis $\leq 1,5 \frac{\text{€}}{\text{kg}}$

Das **Ziel** für die Materialauswahl liegt in der Minimierung der Kosten, um eine hohe Wirtschaftlichkeit des Produktes zu erreichen. Als **freie Variable** tritt neben der Wahl des Materials die Querschnittsfläche des Pleuels auf.

Die Gesamtkosten berechnen sich durch:

$$K = C_m m = C_m \rho V = C_m \rho A l. \quad (3.27)$$

Sie können durch Reduzierung der Masse und damit letztendlich durch Reduzierung der Querschnittsfläche minimiert werden. Es gilt jedoch, dass mindestens die Zugkraft F ausgehalten werden muss, ohne dass eine plastische Verformung eintritt. Daher folgt

$$\frac{F}{A} \leq \sigma_y, \quad (3.28)$$

wobei σ_y der Streckgrenze entspricht. Durch Eliminierung der Querschnittsfläche folgt

$$K \geq C_m l F \frac{\rho}{\sigma_y}. \quad (3.29)$$

Umstellen liefert die Performance-Gleichung unter Vernachlässigung fester Parameter

$$P_{CR}^{3,4} = \frac{1}{K} = \frac{\sigma_y}{\rho}, \quad (3.30)$$

wobei $P_{CR}^{3,4}$ der unter den vorgegebenen Randbedingungen der zu maximierende Materialindex ist. Die graphische Darstellung der Ashby-Methode von Gleichung 3.30 über logarithmierten Achsen sowie der Indexgeraden mit der Steigung 1 ist in Abb. ?? dargestellt.

Grafik CES 3-4-1

Alle nach Hinzufügen der Randbedingungen übrigen Materialien sind in Abb. ?? dargestellt.

Grafik CES 3-4-2

Verschieben der Gerade liefert die für den Anwendungsfall am besten geeigneten Materialien (Abb. ??)

Grafik CES 3-4-3

Die daraus resultierenden Materialien sind:

- 1) Polyesterfasern (Materialindex: 0,364)
- 2) Polyethylenterephthalat (PET, 0,04)
- 3) Polypropylen (PP, 0,0287)
- 4) Polyethylen (PE - HD, high density, 0,0203)
- 5) Polyethylen (PE - MD, mid density, 0,0157)

Dabei haben Polyesterfasern den mit Abstand besten Materialindex. Sie weisen generell sehr gute mechanische Eigenschaften auf, und eignen sich daher am besten für hohe, zyklische Belastung des Bauteils.

Abbildungsverzeichnis

2.1	Projektplan	5
2.2	Konsistenzmatrix	8
2.3	Verdeutlichung der Lage der Anforderungen im Kano-Diagramm	8
2.4	Allgemeine kybernetische Black-Box-Darstellun	9
2.5	Hierarchische Funktionsstruktur	9
2.6	Funktionsmodell mit Darstellung der wichtigsten Funktionen	10
2.7	Morphologischer Kasten	11
2.8	Verträglichkeitsmatrix	11
2.9	Kennzeichnungen von vier möglichen Gesamtlösungskombinationen	12
2.10	Systematische Bestimmung der Gewichtungsfaktoren für die Bewertungskriterien durch den paarweisen Vergleich	12
2.11	Nutzwertanalyse zur Bewertung der Gesamtlösungskombinationen	13
2.12	Technische Funktionsskizze (links Vorderansicht, rechts Seitenansicht)	14
3.1	(a, links) Querschnittsdarstellung des Gehäuses und angreifende Lasten, (b, rechts) vereinfachte Darstellung mit angreifenden resultierenden Kräften und der kritischen Zone	16
3.2	Abstrahiertes Modell einer Platte unter reiner Biegung mit dem Biegemoment M_b	16

Tabellenverzeichnis

2.1 Anforderungsliste (F=Festanforderung, W=Wunschanforderung, Gew.=Gewichtung, Ver.=Verantwortlicher) 7

Literatur

- [Leban] Lebensmittelverband Deutschland. *Artikel zur Studie von Insight Health über Nahrungsergänzungsmittel auf der Website des deutschen Lebensmittelverbandes*. Stand: 23.10.2019. URL: <https://www.lebensmittelverband.de/de/verband/organisation/arbeitskreise/arbeitskreis-nahrungsergaenzungsmittel-ak-nem/20181029-zahlen-nahrungsergaenzungsmittel-markt-2018>.
- [Schan] Charlotte Schneider. *Artikel von Germany Trade & Invest über die Krankhäuser und Medizintechnik in Norwegen*. Stand: 18.10.2019. URL: <https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=norwegen-investiert-in-neue-krankenhaeuser-und-medizintechnik,did=1843880.html>.
- [Sol07] Johannes Soldatos. *Patentiertes Gebrauchsmuster Vitamintablettenspender*. 03.07.1998.
- [Tesan] Tespo (Plymouth, England). *Webseite*. Stand: 21.10.2019. URL: <https://gettespo.com/>.

A Anhang

A.1 Marktanalyse zu Nahrungsergänzungsmitteln

Gesamtmarkt für Nahrungsergänzungsmittel in Deutschland 2018*

BLL AK NEM
Arbeitskreis
Nahrungsergänzungsmittel

Werte für 2017** in Klammern



Umsatz
1,439 Mrd. Euro
(1,31 Mrd. Euro)



Absatz
225 Mio. Packungen
(212 Mio. Packungen)

* April 2017 bis März 2018

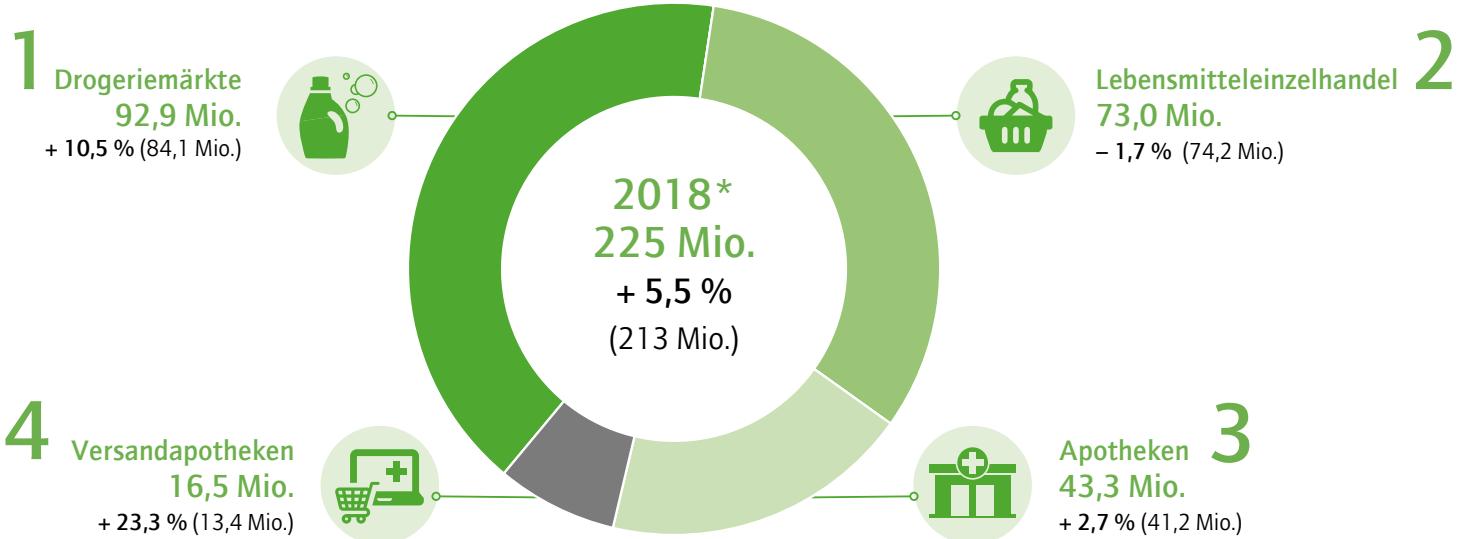
** April 2016 bis März 2017

Quelle: INSIGHT Health

Wo kaufen Verbraucher Nahrungsergänzungsmittel?

BLL AK NEM
Arbeitskreis
Nahrungsergänzungsmittel

Absatz in Millionen Packungen 2018*, Zuwachs in Prozent und
Werte für 2017** in Klammern



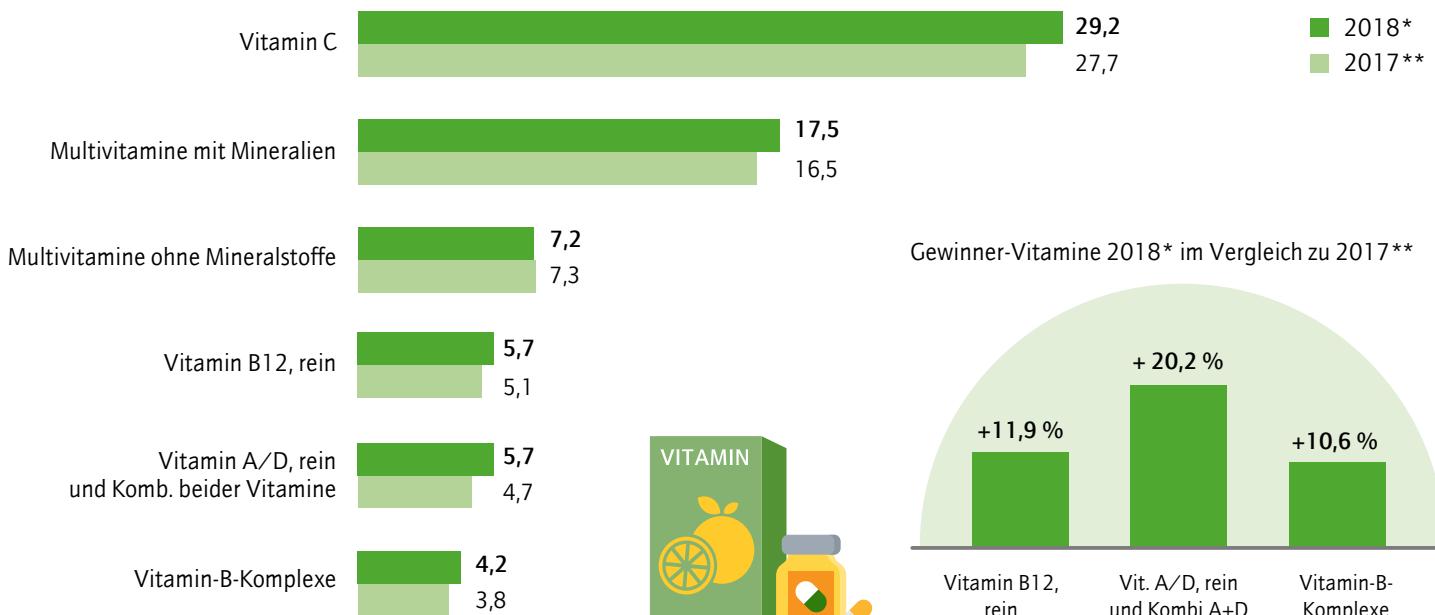
* April 2017 bis März 2018

** April 2016 bis März 2017

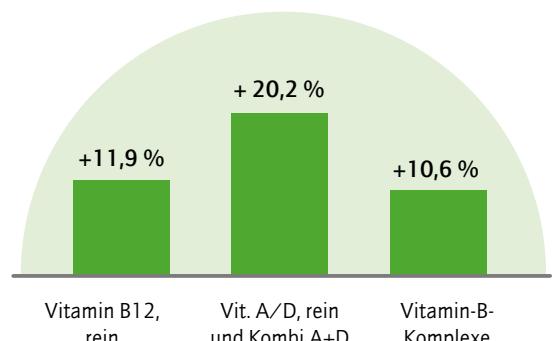
Quelle: INSIGHT Health

Die Top 6 der Vitamine

Absatz in Millionen Packungen



Gewinner-Vitamine 2018* im Vergleich zu 2017**



* April 2017 bis März 2018

** April 2016 bis März 2017

Quelle: INSIGHT Health

A.2 Patent DE000029811862U1



⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑯ Gebrauchsmuster
⑯ DE 298 11 862 U 1

⑮ Int. Cl.⁶:
A 61 J 7/00
B 65 D 83/04

DE 298 11 862 U 1

⑯ Aktenzeichen: 298 11 862.9
⑯ Anmeldetag: 3. 7. 98
⑯ Eintragungstag: 12. 11. 98
⑯ Bekanntmachung im Patentblatt: 24. 12. 98

⑯ Inhaber:
Soldatos, Johannes, 46117 Oberhausen, DE

⑯ Vitamin-Tablettenspender

DE 298 11 862 U 1

21.09.98

-1-

1. Vitamin-Tablettenspender

Vitamin-Tablettenspender für handelsübliche Röhrchen mit
Maßangaben 28 mm x 145 mm und auch allgemein verwendbar
in Krankenhäusern-Altersheimen-Altersruhestätten-Pflege-
heimen-Rehakliniken-Kurkliniken-Privathaushalten u.s.w.

Beschreibung

Der Spender besteht aus einer kompletten Wandhalterung
die durch Verschraubung an die Wand befestigt wird.
Hinzu kommen einschiebare Einzelemente, an die die
10. Röhrchen problemlos befestigt (ausgetauscht) werden
können.

Beschreibung-Einzelement

Das Einzelement besteht aus einer Halterung für das
Röhrchen, einen Schieber der die Tablette beim Befestigen
15. nach unten herausdrückt und die Tablette in einen
z.B. Becher, fallen lässt.
An dem Schieber selbst kann bei Bedarf eine zusätzliche
Schiebeeinrichtung oder Klappe befestigt werden, die das
Eindringen von Feuchtigkeit verhindert.
20. Zusätzlich kann im Einzelement Silikagel eingearbeitet
werden, um eventuelle Feuchtigkeit die beim Auswechseln
der Röhrchen eindringen könnte, einzufangen.
Der Spender kann auch auf 4, 5... oder mehr Einzelemente
erweitert werden.

21.09.98

-3-

Erläuterung

1. Schieber
2. Tablettenröhrchen
3. Halterung für das Röhrchen
4. Einzelement
5. Wandhalter für Einzelemente
6. Schenkel zur Befestigung an die Wand

05.10.98

Schutzzansprüche

Vitamin Tablettenspender

Geschützt werden soll:

Vitamin Tablettenspender für Handelsübliche
Vitamin Tablettenträger mit Maßangaben
28 mm x 145 mm und auch allgemein.

dadurch gekennzeichnet

daß der Spender aus einer kompletten
Wandhalterung (5) besteht, die durch versch-
raubung an die Wand ,durch den Schenkel(6)
befestigt werden kann.

dadurch gekennzeichnet

daß die einschiebbaren Einzelelemente (4)
zur problemlosen aufnahme durch die Halterung
(3) der Röhrchen (2) dienen.

dadurch gekennzeichnet

der Schiebemechanismus (1) die Tablette
beim betätigen in einem z.b.darunterstehenden
Becher fallen läßt.

-2-

Vitamin-Tablettenspender
Frontansicht

