

Entwicklung eines automatisierten Pillenspenders

Bachelor-Arbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of
Science in Engineering

Eingereicht am
Bachelorstudiengang Medizintechnik, Linz
Fachhochschule Oberösterreich

von
Roman Iumatov

Linz, am 2. Mai 2025

Begutachter:
FH-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Robert Merwa

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Linz, am 2. Mai 2025

Roman Iumatov

Zusammenfassung

English

The goal of this project is to develop a prototype of an automatic pill dispenser, a device that would assist caretakers with scheduling and dispensing pills for people with limited motoric capabilities. This document will cover the details of how it was done, the problems that have arisen as well as solutions to them. We will go step-by-step through each stage of development of such device and highlight challenges and solutions to the task.

Deutsch

Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung eines Prototyps eines automatischen Pillenspenders, eines Geräts, das Pflegekräfte bei der Einnahme von Tabletten für Menschen mit eingeschränkten motorischen Fähigkeiten unterstützen soll. In diesem Dokument wird detailliert beschrieben, wie das Projekt durchgeführt wurde, welche Probleme aufgetreten sind und welche Lösungen es dafür gibt. Wir gehen Schritt für Schritt durch jede Phase der Entwicklung eines solchen Geräts und zeigen die Herausforderungen und Lösungen für diese Aufgabe auf.

Executive Summary

Das Endergebnis des Projekts ist ein funktionierender Prototyp des Geräts. Die Spezifikationen des Geräts wurden zu Beginn des Projekts festgelegt und lauten wie folgt:

1. Das Gerät enthält 21 Kammern, 3 für jeden Tag der Woche.

Diese Anforderung ist die notwendige Bedingung für jeden Pillenspender, nicht nur für die automatischen, denn auch die einfachen Spender haben (normalerweise) für jeden Tag eine eigene Kammer.

2. Das Gerät enthält ein Pillenrücknahmesystem

Das ist ein Ort, an dem unbenutzte Pillen aufbewahrt werden. Dieser Ort ist auch in Abschnitte unterteilt, damit der Betreuer des Geräts in der Lage ist, zu untersuchen, welche Pillen wann nicht eingenommen wurden. Die Erfüllung dieser Anforderung erleichtert dem Betreuer die Verwaltung des Geräts, da es für ihn einfach ist, nicht eingenommene Pillen zu analysieren und die restlichen Pillen zu entsorgen.

3. Das Gerät verfügt über eine begleitende App zur Fernsteuerung.

Diese Anforderung ermöglicht es dem Hausmeister, das Gerät aus der Ferne zu steuern. Dies ist aus den folgenden Gründen nützlich:

- (a) Dem Gerät fehlt ein Bedienfeld am Gehäuse. Daher kann die Funktion nicht durch versehentliches Drücken einer Taste unterbrochen werden.
- (b) Mit einer einzigen Android-App kann der Betreuer möglicherweise aus der Ferne eine Verbindung zu mehreren Geräten herstellen und diese verwalten. Dies ist z. B. in Krankenhäusern oder Altenheimen nützlich, wo es auf engem Raum mehrere solcher Geräte geben kann.
- (c) Für die Nutzung zu Hause können alternativ mehrere Apps mit einem einzigen Gerät verbunden werden (nicht gleichzeitig), wenn es mehrere unabhängige Betreuer für ein einziges Gerät gibt.

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Frühe Entwürfe | 10 |
| 2 | First revolver prototype | 12 |
| 3 | 2 Variante des Pillenspenders. | 13 |
| 4 | Disposal system of 2nd revolver system | 14 |
| 5 | Vertical Pillenspender. | 15 |
| 6 | Final result | 15 |
| 7 | Upper Body | 18 |
| 8 | Upper Mill | 19 |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 6 |
| 1.1 | Problemstellung und Motivation | 6 |
| 1.2 | Ziele und Vorgehensweise | 6 |
| 1.3 | Struktur und Gliederung der Arbeit | 7 |
| 2 | Design und Entwicklung des Gehäuses | 9 |
| 2.1 | Frühe Ideen | 9 |
| 2.1.1 | Pillendosiersystem | 9 |
| 2.1.2 | Pillenrücknahmesystem | 10 |
| 2.2 | Auswahl des Designs | 11 |
| 2.2.1 | Verbesserungen des Revolversystems | 11 |
| 2.2.2 | Redesigning the Revolver System. A new approach | 12 |
| 2.2.3 | The final redesign. Improving on what's good. | 14 |
| 3 | Konstruktion und 3D-Druck des Entwurfs | 16 |
| 3.1 | Components of the final design | 18 |
| 3.1.1 | UpperBody | 18 |
| 3.1.2 | UpperMill | 19 |
| 3.1.3 | LowerBody | 20 |
| 3.1.4 | LowerMill | 20 |
| 3.1.5 | Electronics | 20 |
| 3.1.6 | LowerDeck | 20 |
| 3.1.7 | Stand | 20 |
| 3.2 | 3D printing specifics | 20 |

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Motivation

Das Hauptziel dieses Projekts ist es, die Möglichkeiten zur Entwicklung eines solchen Geräts zu erforschen, das mit konventionellen Werkzeugen (3D-Druck) in dezentralisierten Massenproduktion hergestellt werden kann und gleichzeitig aufgrund der niedrigen Herstellungskosten weithin verfügbar ist. Die Frage dabei ist, ob ein solches Gerät überhaupt existieren kann. Zwar gibt es bereits fertige Lösungen auf dem Markt, doch sind diese nicht billig und einige von ihnen weisen deutliche Merkmale des in diesem Projekt zu entwickelnden Prototyps auf, sei es das Fehlen von Fernbedienungen, das Fehlen einer flexiblen Zeitplanung oder das Fehlen eines Pillenrücknahmesystems.

1.2 Ziele und Vorgehensweise

Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung eines solchen Geräts, das Menschen mit motorischen oder geistigen Behinderungen den Zugang zu ihren Medikamenten erleichtert. Erreicht werden soll dies durch Automatisierung, Einfachheit der Benutzung und Ergonomie. Im Rahmen dieses Projekts wird ein funktionierender Prototyp dieses Geräts entwickelt. Hier sind die ersten Anforderungen für dieses Projekt:

1. Das Gerät soll 21 Kammern enthalten, 3 für jeden Tag der Woche. Dies wäre die Standardeinstellung, aber die Zeitplanung könnte auch so konfiguriert werden, dass die Pillen entweder zweimal oder einmal am Tag ausgegeben werden können. In diesem Fall entspricht das 21-Kammer-System nicht genau der 1-Wochen-Abgabezeit. Die Abgabeinformationen sind für das Pflegepersonal verfügbar.
2. Das Gerät sollte ein Pillenrücknahmesystem enthalten. Zweck dieses Systems ist es, die nicht rechtzeitig verbrauchten Pillen aus Sicherheitsgründen aufzubewahren, einen versehentlichen Überkonsum von nicht rechtzeitig verbrauchten Pillen zu vermeiden und die Überwachung der nicht verbrauchten Pillen zu ermöglichen. Daher ist auch dieses System in 21 Funktionskammern unterteilt.
3. Das Gerät wird über eine Begleit-App verfügen. Dabei handelt es sich um eine Android-basierte Anwendung, mit der der Betreuer das Gerät konfigurieren, überwachen und einstellen kann.

Da es sich bei diesem Projekt um die Entwicklung eines Prototyps handelt, sind Aktivitäten wie Marketing, Zertifizierung und industrielle Massenproduktion nicht Teil des Projekts. Auch Benutzertests sind nicht Teil dieses Projekts, da sie die Herstellung mehrerer Geräte, die Sammlung von Testpersonen (d. h. die Herstellung von Kontakten zu Krankenhäusern, Altenheimen usw.) und die statistische Analyse dieser Daten erfordern.

All dies sind zwar offensichtlich notwendige nächste Schritte nach der Entwicklung des Prototyps, aber für dieses Projekt fallen sie aus dem Rahmen.

1.3 Struktur und Gliederung der Arbeit

Diese Arbeit ist in mehrere große Schritte unterteilt:

1. Design und Entwicklung des Gehäuses

Dies ist die erste Aufgabe: die Entwicklung der Grundstruktur. Am Ende dieses Schritts soll ein komplettes Gerät in Form gebracht werden. Wir werden uns die verschiedenen Optionen für die Entwicklung der Struktur ansehen, ihre Vor- und Nachteile erörtern und die am besten geeignete für den nächsten Schritt auswählen.

2. Konstruktion und 3D-Druck des Entwurfs

Dies ist der Schritt, bei dem unser Entwurf eine physische Form annimmt. Dies ist der Schritt der Prototypenerstellung, bei dem wir das Gerät iterativ entwickeln, um sicherzustellen, dass der Entwurf funktioniert. Dies ist auch der Schritt, bei dem die Material- und mechanischen Eigenschaften unseres Geräts unsere größte Sorge sind. Am Ende dieses Schritts ist das Gerät funktionsfähig, aber noch nicht konfigurierbar. Das bedeutet, dass es in der Lage sein wird, jeweils eine Kammer zu rotieren.

3. Entwicklung der Android-APP

Dieser Schritt ist ähnlich wie die Schritte 1 und 2, allerdings für eine Android-APP. Wir entwerfen und entwickeln die Vorlage für die App, die dann mit Funktionen gefüllt werden kann. In diesem Schritt werden wir auch festlegen, welche Funktionen der Mikrocontroller auf unserem Gerät an die App ausgeben muss. Am Ende dieses Schritts hätten wir ein funktionsfähiges Gerät und eine App, die jedoch noch nicht miteinander verbunden sind, was uns zum nächsten Schritt bringt.

4. Entwicklung der Schnittstelle zwischen dem Gerät und der App

Dies ist der letzte Schritt, bei dem alles zusammenkommt. Das Gerät wird mit der Android-APP kommunizieren. Es wird in der Lage sein, Informationen zu senden (Nutzungsstatistiken, aktuelle Uhrzeit, Zeit bis zur nächsten Abgabe usw.) und zu empfangen (Konfigurationseinstellungen, Zwangsabgabebefehl usw.).

Die Tabelle enthält detailliertere und präzisere Schritte, die während dieses Projekts unternommen werden müssen. Bitte beachten Sie, dass sie erweitert wurde und daher mehr Schritte umfasst. Das bedeutet, dass mehrere Schritte aus der untenstehenden Tabelle zu einem Schritt aus der obigen Liste zusammengefasst werden. Genauer gesagt gehören die Schritte 1.0 und 2.0 zum Bereich **Design und Entwicklung des Gehäuses**, und die Schritte 3.0 und 4.0 zum Bereich **Konstruktion und 3D-Druck des Entwurfs**.

| Arbeitspaket | Eingabe | Aktivität | Ziel |
|--|---|--|---|
| 1.0 Initialisierung | Festlegung der genauen Anforderungen an das Projekt, Bestimmung der Zielgruppe, Durchführung des bürokratischen Prozesses, Festlegung des Projektumfangs. | Kommunikation mit Stakeholdern | Klar formuliertes Ziel, strukturierter Entwicklungsplan. |
| 2.0 Physikalische Anforderungen | Anforderungen an die physikalischen Eigenschaften des Geräts: Materialien, Mechanismen, Größe, Anforderungen an die Robustheit, Ergonomie. | Analyse der Zielgruppe und Kommunikation mit Stakeholdern. | Festlegung der Grenzen der vorgeschlagenen Designs. |
| 3.0 3D-Druck und Konstruktion eines funktionierenden Prototyps | Anforderungen an die verwendeten Materialien, 3D-Modelle des Prototyps. | Anpassung der Modelle für den 3D-Druck, Drucken der Prototypen. | Physisch existierendes Gerät mit allen funktionierenden Funktionen. |
| 4.0 Implementierung des Liefersystems | Die Einschränkungen aus dem vorherigen Schritt, Ideen zur Implementierung, Machbarkeit verschiedener Ansätze. | Festlegen und Finalisieren eines 3D-Modells des Liefersystems, 3D-Konstruktion, ggf. 3D-Druck eines Prototyps. | Funktionierender Liefermechanismus. |
| 5.0 Implementierung des Steuersystems | Anforderungen an Ergonomie und Funktionalität. | Auswahl des Mikrocontrollers, Verbindung des Mikrocontrollers mit dem Liefersystem, Erstellung von Skelettfunktionen für die erforderlichen Funktionen des Geräts. | Liefersystem und Steuersystem sind miteinander verbunden und können programmiert werden, sodass das Liefersystem steuerbar ist. |
| 6.0 Programmierung der Remote-App | Anforderungen an die Funktionalität der Remote-App. | Programmierung der App (in einer höheren Programmiersprache). | Anwendung, die das Gerät über ein drahtloses Netzwerk steuern kann. |
| 7.0 Programmierung des Steuersystems | Skelettfunktionen, die in den vorherigen Schritten implementiert wurden. | Programmierung des Mikrocontrollers. | Das Gerät funktioniert ordnungsgemäß. |

Tabelle 1: Projektplanungstabelle

2 Design und Entwicklung des Gehäuses

Die Entwicklung eines Geräts umfasst in der Regel mehrere Schritte, beginnend mit der Entwurfsphase. In dieser Phase ist zunächst eine Entscheidung darüber zu treffen, wie das Gerät angesichts der Anforderungen, die gestellt werden, aussehen soll. Die Anforderung, 21 Kammern zu haben, ist in diesem Kontext von besonderem Interesse, da sie die Gestaltungsmöglichkeiten erheblich einschränkt. Allerdings ist diese Einschränkung positiv zu bewerten, da die Anforderungen für die ersten Schritte als zu gering empfunden werden. Es bestehen keine Anforderungen an die physischen Beschaffenheit des Geräts, wie etwa die Größe oder das Gewicht. Dies eröffnet einen bemerkenswert großen Gestaltungsspielraum hinsichtlich der äußeren Erscheinung des Geräts.

Es gibt also schon erste Ideen, wie das Gerät aussehen soll, jede mit ihren eigenen Vor- und Nachteilen. Hier geben wir einen kurzen Überblick über die möglichen Entwürfe, die uns eingefallen sind.

2.1 Frühe Ideen

2.1.1 Pillendosiersystem

Bei den Überlegungen, wie die Pillen ausgegeben werden sollen, sind einige Ideen entstanden, die von der Umgebung inspiriert sind. Im Folgenden finden Sie kurze Beschreibungen der Systeme und auch ein Bild 1 der Entwürfe, wie sie aussehen würden. Bitte beachten Sie, dass ich hier nicht zu sehr ins Detail gehe, da sie das Ergebnis eines Brainstormings waren und ich am Ende eine Idee als primäres System ausgewählt habe, aber einige Ansätze aus den anderen Ideen für das große Design übernommen habe.

- Das **Revolver**-System war das einfachste, und es dauerte nicht lange, zu diesen Idee zu kommen, denn solche Geräte wurden bereits entwickelt[1]. Seine Vorteile sind die Einfachheit des Mechanismus, die Robustheit und der niedrige Preis, während ein Nachteil seine Größe ist und er einen Motor benötigt, um ein ziemlich großes Rad anzutreiben.
- Der zweite Entwurf ist der des **Karussells**. Die Hauptidee ist, dass es viel kleiner ist und den Raum effizienter nutzt als das Revolversystem. Die kleineren Räder würden sich mit einer geringeren Geschwindigkeit drehen als der Hauptarm, der sie hält, da sie mit einem Untersetzungsgetriebe und einem Riemen an der Hauptachse befestigt sind. Obwohl es geringfügig platzsparender ist als ein Revolversystem, ist es viel komplexer und benötigt immer noch einen Motor, um die gesamte Struktur zu steuern.
- Der dritte Entwurf ist der des **Förderbandes**. Auf dem Bild 1 kann man sehen, dass es rund ist, es könnte jedoch theoretisch auch elliptisch oder mit anderen, gewundeneren Kurven gestaltet werden. Das Prinzip ist wie folgt: An dem Band ist eine Ausgabekammer angebracht, die eine Reihe dieser Kammern auf einem bestimmten Weg bewegt. Es ähnelt dem Revolversystem, aber die Kammern wären abnehmbar und das Förderband würde eine gewisse Flexibilität bei der Konstruktion des Geräts ermöglichen. Die größten Nachteile sind die Notwendigkeit eines Motors, die Notwendigkeit eines Kammermanagementsystems und die allgemeine Komplexität des Geräts.

- Der vierte Entwurf ist von **Verkaufsautomaten** inspiriert. Er hätte 21 Kammern, an denen jeweils ein Elektromagnet angebracht wäre. Bei jeder Ausgabe wird der Elektromagnet aktiviert, wodurch sich die Kammer verschiebt und die Pillen auf den Ausgabebereich fallen. Bei diesem Entwurf wird der Schrittmotor überflüssig, aber die Einfachheit geht verloren, da eine logische Schaltung erforderlich ist, die 21 parallel geschaltete Kammern miteinander verbindet. Theoretisch wäre eine Parallelschaltung zwar von Vorteil, aber für uns ist das nicht der Fall, da wir sie nicht sinnvoll nutzen können.

2.1.2 Pillenrücknahmesystem

Die Idee für das Rücknahmesystem war damals, dass es das Abgabesystem spiegelt, indem es entweder direkt darunter positioniert wird oder so, dass die Tabletten zunächst auf eine Rampe fallen, die nach einer gewissen Zeit durch eine andere Aktion in den Rückholmechanismus befördert wird. Es ist unschwer zu erkennen, dass die Wahl des Rücknahmesystems in hohem Maße von dem von uns entwickelten Dosiersystem abhängt, weshalb eine detailliertere Beschreibung später erfolgen wird, wenn wir uns näher mit dem gewählten Dosiersystem befassen.

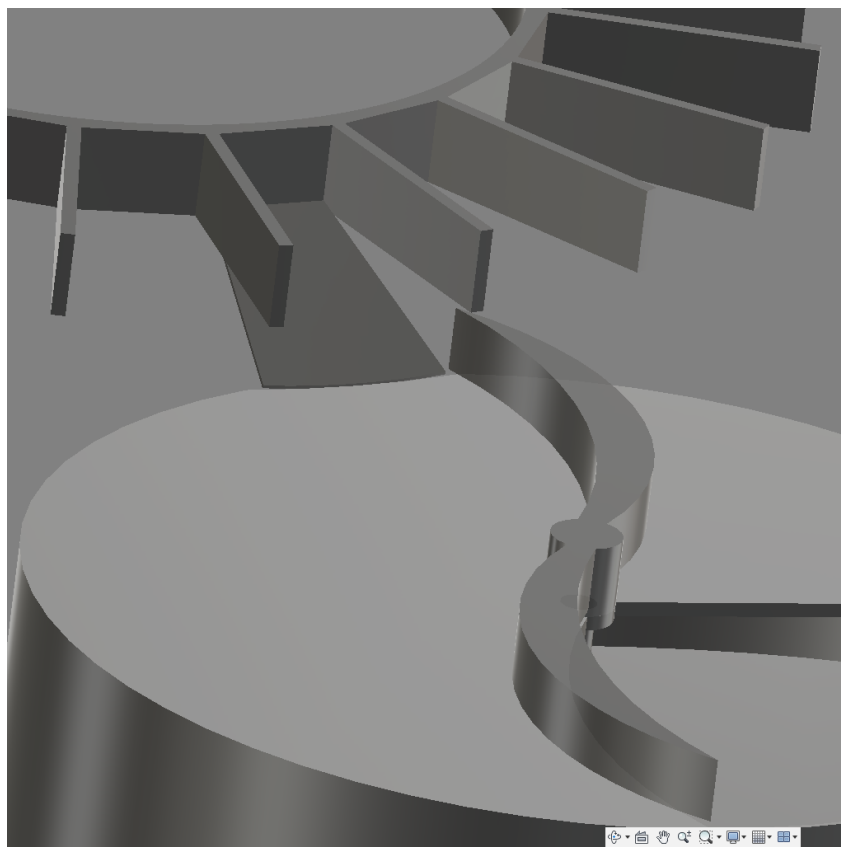


Abbildung 1: Erste Ideen, wie die Hauptstruktur (Dispenser) des Geräts aussehen soll. 1. Revolver-System. 2. Karussell-System. 3. Fördersystem (Running Sushi). 4 Automaten-System

2.2 Auswahl des Designs

Von allen vorgeschlagenen Entwürfen schien das Revolversystem die sinnvollste Wahl zu sein, allerdings bedurfte es einiger Verbesserungen im Design. Eine kurze Marktrecherche (z.b. [1] [2]) hat gezeigt, dass es nicht wirklich ein solches System gibt, das die oben genannten Anforderungen, nämlich einen Rückholmechanismus zu haben, erfüllen würde. Aus diesem Grund müsste das Design verbessert werden.

2.2.1 Verbesserungen des Revolversystems

Nachdem wir den Hauptmechanismus ausgewählt haben, müssen wir nun die Details ausarbeiten. Die Design-Philosophie war, es so einfach wie möglich zu machen, mit so wenig beweglichen Details. Die ersten Ideen waren in dieser Hinsicht nicht sehr erfolgreich. Auf dem Bild 2 können Sie sehen, wie die früheren Ideen aussehen würden. Jede Kammer hätte ihre eigene Tür, unter dieser Tür wäre eine Kerbe für den Hebel, der darin einrastet, um sie zu öffnen. Danach würden die Pillen in die Entsorgungsschale fallen. Nach einer bestimmten Zeit (15 Minuten) würde sich der S-förmige Arm drehen und die Pillen weiter die Rampe hinunter in das Entsorgungslager fallen lassen. Diese Lösung hatte zahlreiche Nachteile:

1. Zu viele bewegliche Teile

Jede Kammer hat 21 Türen. Die Türen brauchen einen Hebel zum Öffnen (22), dieser Hebel muss translatorisch in die Kerbe ein- und ausgerastet werden (23), der Revolvermechanismus muss sich drehen (24), der Entsorgungsarm muss sich ebenfalls drehen (25, aber die Idee war, ihn mit der Hauptachse mittels Riemen zu synchronisieren), die Entsorgungskammern müssten sich ebenfalls drehen (26). Das war zwar eine Lösung, aber angesichts der Anzahl der beweglichen Teile nicht optimal. Obwohl sich die Abgabekammern, die Entsorgungskammern und der Entsorgungsarm um dieselbe Achse drehen würden, würde das Rotation und Translation des Hebels für eine Öffnung einen komplexen Mechanismus erfordern, der die Aufwand weiter erhöht.

2. Erfordert eine große Spenderschale

Der Entsorgungsmechanismus ist an sich schon recht groß (bei diesem Prototyp wurde ein Durchmesser von 300 mm gemessen). Würde man eine weitere horizontale Fläche neben dieser Fläche hinzufügen, selbst wenn sie nur halb so groß wäre (eine Verkleinerung würde es Menschen mit motorischen Störungen erschweren, die Pillen sicher zu entnehmen), würde das gesamte System extrem groß werden.

3. Enthält mehrere kleine Objekte

Dies ist kein offensichtlicher Nachteil, aber jede Falltür muss sich um eine bestimmte Achse drehen. Diese Achse muss entweder aus einem kleinen Metallstab bestehen, der in die Öffnungen der Tür eingeführt wird, oder aus 3D-gedruckten Zähnen auf dem Design des Türs selbst. Die erste Lösung erfordert eine gewagte und präzise Montage von 21 Türen, die zweite erfordert eine hohe 3D-Druckpräzision, die auf herkömmliche Weise nicht erreicht wird.

Aufgrund dieser Nachteile wurde das System verworfen und nie weiter verbessert. Eine wichtige Lektion wurde jedoch gelernt: Wenn wir das einfachste Design haben wollen, müssen wir uns die Kraft der Schwerkraft zu Nutze machen.

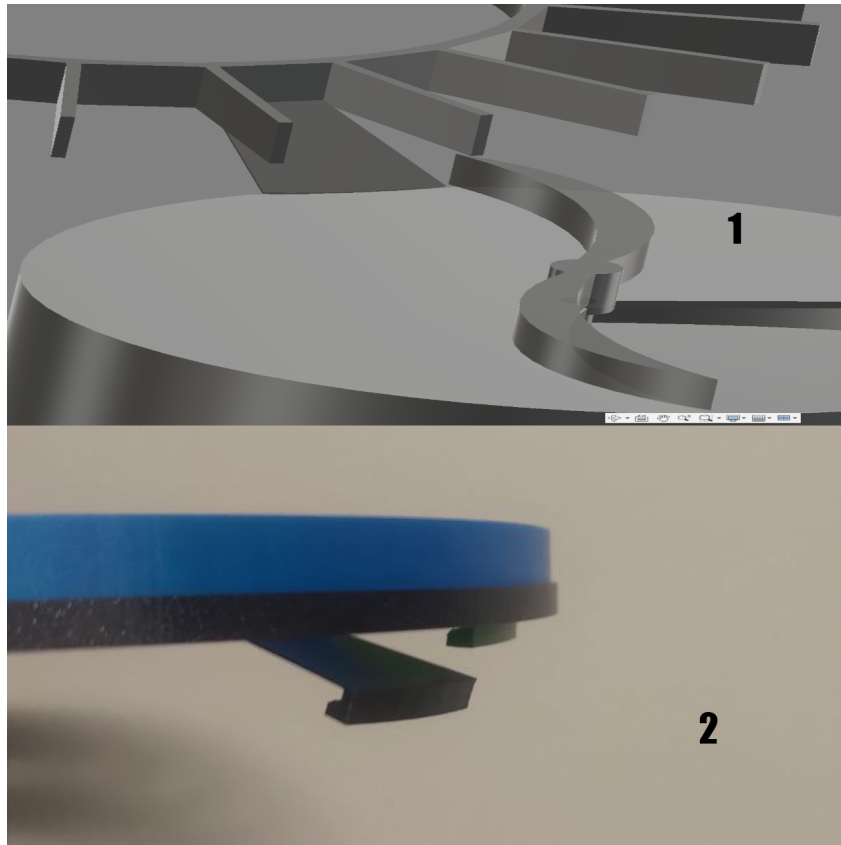


Abbildung 2: First revolver prototype. Here you can see that initial idea was to have a trapdoor in each chamber which will release the pills onto the disposal dish by opening it.

2.2.2 Redesigning the Revolver System. A new approach

Having realized that we need to get rid of the extra space that the separate body at the side of the main body takes, the new approach was required. This time, the disposal chambers would be directly underneath the dispensing chambers and we would use the power of gravity to move from one chamber to another, as you can see in the image 3. This would drastically reduce the amount of space the pill dispenser takes, significantly reduce complexity, setting all the rotating objects onto a single axis.

Because this system doesn't have a separate mechanism for removing unused pills, another new method would have to be developed for this too. In the image 4 you can see how the chambers of the disposal system look like. The cover of the disposal system has an opening (part 2 of the same image) that is shut when the pills have to be taken. When the upper mechanism rotates to dispose new pills, the lower mechanism rotates to send pills into disposal chamber simultaneously. Ridges are added to the cover of disposal system to prevent pills from accidentally rolling away.

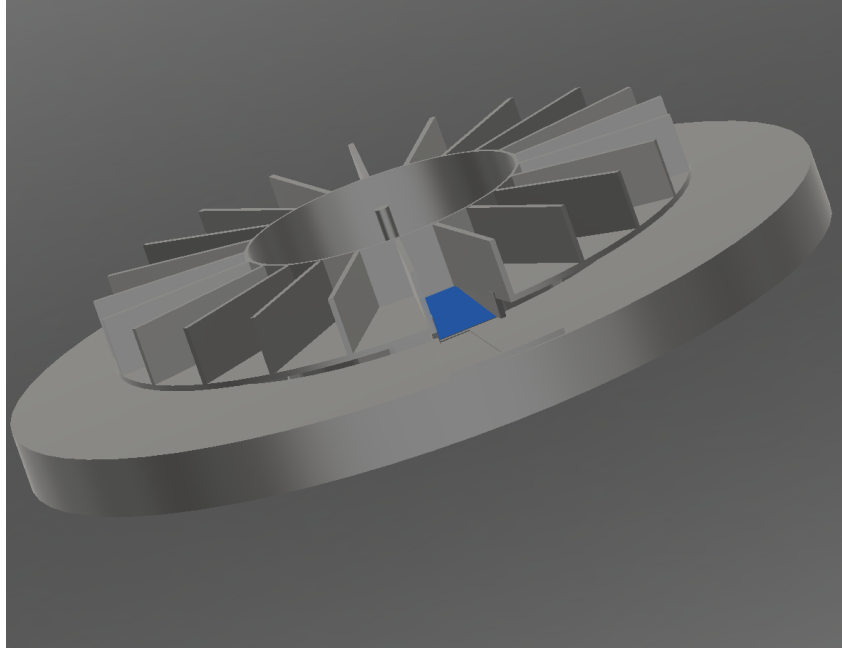


Abbildung 3: Zweite Variante des Pillenspenders.

However, there are still ways to improve this approach. While much better than the previous one, this one also have some disadvantages:

1. **Chambers of the upper mechanism are smaller.** The chambers of pill storage are significantly smaller. We can calculate chamber volume using the following formulas:

$$A = \pi r_1^2 - \pi r_0^2, \quad V = A \cdot h$$

For the upper chamber: $r_1 = 100 \text{ mm}$, $r_0 = 47.5 \text{ mm}$, $h = 18 \text{ mm}$, the result is:

$$V = 437.90 \text{ cm}^3$$

For the lower chamber: $r_1 = 135 \text{ mm}$, $r_0 = 80 \text{ mm}$, $h = 18 \text{ mm}$, the result is:

$$V = 668.69 \text{ cm}^3$$

As we can see, the lower chambers are almost 1.5 bigger than the upper ones, which is a waste that we might want to get rid of.

2. **Synchronous movement of both chambers** This approach makes future development less flexible. independence of the chambers is a degree of freedom that we might want to keep somehow. The biggest problem with current approach is that it might lead to situations where some pills might fall too fast from the top to fall directly into an opening in time.
3. **Reliance on a ramp for pills to fall down.** This can introduce an undesired behavior where some sticky pills might stick to the ramp and not fall down. This can lead to very dangerous scenario where a pill, not properly dispensed in time, would fall down with the next batch which would then lead to overdose.

As mentioned earlier, this design is already what we would like to see as a final result, but we can improve it further, by redesigning it a bit and adresssing the disadvantages we mentioned above.

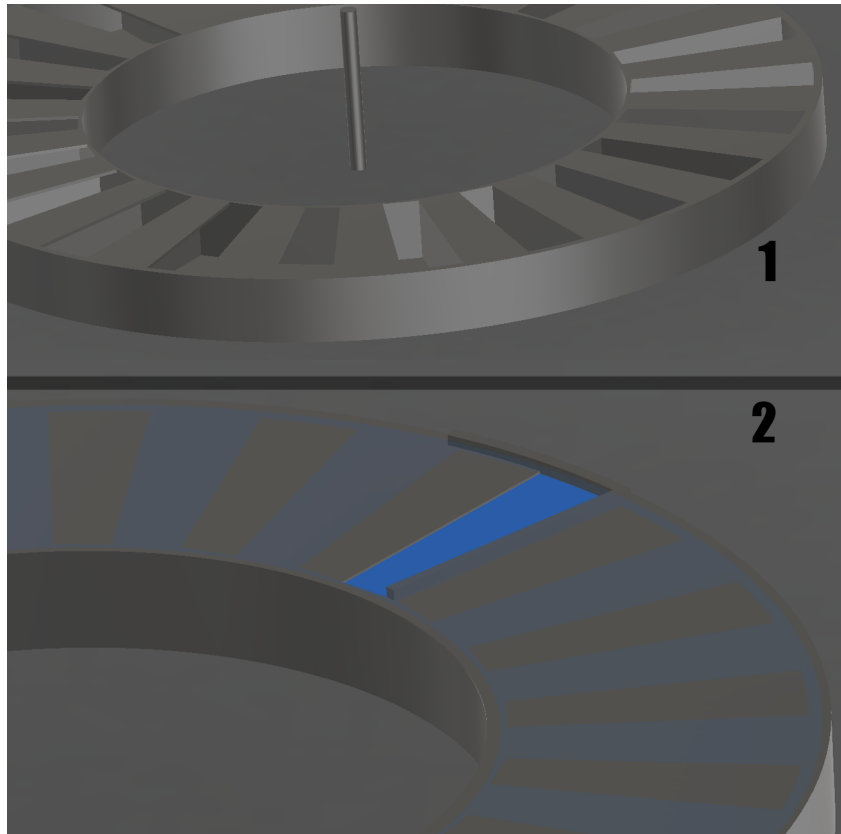


Abbildung 4: Disposal system of 2nd revolver system

2.2.3 The final redesign. Improving on what's good.

A few thoughts come to mind as a potential approach to the redesign. Using gravity is obviously good, we need to continue doing, however we might change how we use it. Having 2 systems one above another is also a great idea, what if we can make the chambers the same size? We could reposition the holes. Regarding synchronous movement, we have 2 types of direction of pill movement: From dispense to patient (intended behavior) and from dispense to disposal (backup behavior). The intended behavior implies human interaction, we can make some simple movement to deliver pills that would remove the need for synchronicity from our system. All these ideas are implemented in the final design, however it is worth mentioning that there has also been the intermediary step, where the dispense mechanism was rotated 90 degrees (see image 5), so that it is completely vertical. It is worth giving a short overview of why this idea wasn't chosen as final:

- **Too tall** the wheel with diameter of 100mm would be vertically positioned which takes a lot of space.
- **Requires more Rotational momentum** A motor would have to directly resist the force of gravity to lift the pills up a mill
- **Doesn't fix synchronicity** The mechanisms are still locked together, this issue remains unresolved.

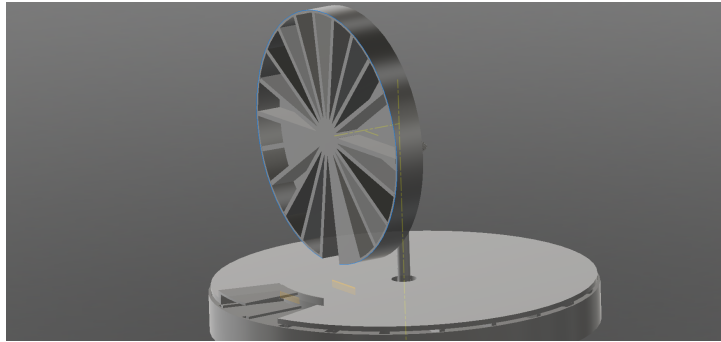


Abbildung 5: Pill dispenser with dispense system rotated vertically.

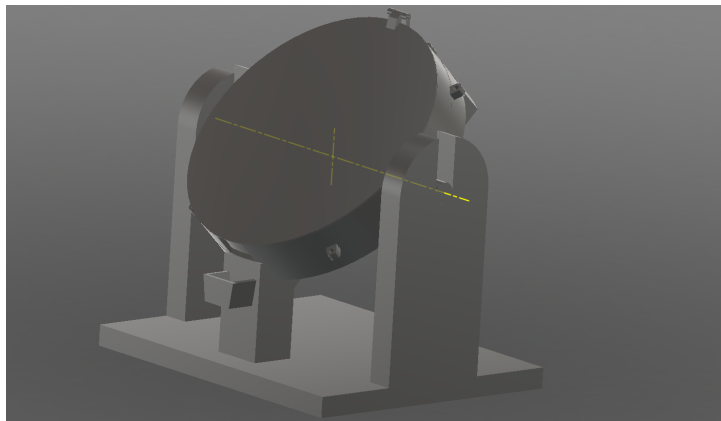


Abbildung 6: The final design of the Pillenspender.

For the final design, the following steps have been taken to address the issue:

1. **Resize the chambers** Chambers size were changed so that they match. The result is device now has a cylindrical form where the chamber mechanisms are located directly on top of each other, maximising the space used
2. **Remove the ramp, change disposal mechanism** The disposal mechanism was also changed. It works in tandem with dispense mechanism, which was also changed. The pills are now dispensed by the same movement by which they are made available, namely by rotation of the dispense mill.
3. **Introduce a separate axis of rotation to dispense pills** We will use tilting movement of the whole device for dispense of the pills into a cup or a hand of a patient, but for that we would have the whole construction elevated.
4. **Expand the device to include the stand** As mentioned above, it needs to be elevated. The stand will provide not only the elevation, but also another axis of rotation, therefore decoupling the disposal and dispense mechanisms from one another.

In the image 6 you can see the final design. It has all the features mentioned above already covered. In the next chapter we will go step by step into the details of the design and see how the proposed solutions were implemented.

3 Konstruktion und 3D-Druck des Entwurfs

The final design differs significantly from the prototypes. It has seen many iterative improvements and thus deserves its' own chapter to cover all the changes to each component of the design. The final design consists of the following bodies:

1. **Stand** Is the stand upon which the device resides. Needed for introduction an another axis of rotation and decoupling dispense and disposal mechanisms
2. **UpperBody** Consists of a walls and a floor of a dispense mechanism with a cutout for dispene and disposal paths as well as connection mechanisms.
3. **UpperMill** Is a mechanisms that divides the whole dispense system into 21 functional + 1 service chamber (22 in total). Inner side contains a gear and teeth for connecting upper mill with the lower mill (synchronicity between them is still retained)
4. **LowerMill** Is a mechanisms that divides the whole disposal system into 22 chambers. Unlike dispense system, they are all the same, since chambers need to be of the same size as dispense system, but there is no need for the service chamber. it also contains grooves to reduce the surface contact with lower body and thus friction
5. **LowerBody** is a very complex detail. Firstly, it contains cutouts for the stepper motor, driver and the deck that holds further electronics. Secondly, it has earsthat define the axis of rotation for the dispense pathway. Thirdly, it contains grooves for the lower mill to travel on rotationally, to optimize power spent on overcoming friction.
6. **LowerDeck** Is a cover for all the electronics inside. It contains grooves on the sides for it to slide into electronics chamber.
7. **Electronics** is the housing for microcontrooler, battery and charger. it also contains cutout for the deck to slide into so that electronics is covered from the outside.
8. **Holder** is a mechanism of additional mechanical fixation of the electronics. Although the Electronics compartment was designed so, that all the components are fixed in place, it might come to the situations where excess movement (e.g. during transportation) might cause electronics to fall out. this mechanism prevents it.
9. **UpperDeck** Is an upper cover of the device.

Moving forward, we will go step-by-step into the design of each of those components and also will cover the nuances of 3D-printing them all. For now, however, we will compare the final design with the goals set and why this design was chosen in the end. The goals can be divided into 2 types: Initial requirements and the problems arisen during previous designs. Initial requirements are:

1. **Das Gerät enthält 21 Kammern, 3 für jeden Tag der Woche** This requirement is satisfied. The final design has 22 chambers, 21 of which can contain pills.
2. **Das Gerät enthält ein Pillenrücknahmesystem** This requirement is also satisfied.

3. **Das Gerät verfügt über eine begleitende App zur Fernsteuerung.** This is not implemented yet. Alternatively, this requirement tells us, that an user interface on the body of device itself is not required. The electronics of this device are chosen so that this requirement can be implemented later on.

The problems that arisen during the design are solved:

1. From first prototype:
 - (a) **Zu viele bewegliche Teile** Final design only has 2 mills that are moving simultaneously on the same axis and nothing else. This is significant improvement over the first design
 - (b) **Erfordert eine große Spenderschale** the disposal system of the final design is located directly underneath the dispensing system and they have the same spatial dimensions.
 - (c) **Enthält mehrere kleine Objekte** The only small object is the holder, all the other ones are big and static, which reduces the amount of potential failure points.
2. From first prototype:
 - (a) **Chambers of the upper mechanism are smaller** Since the dispense and disposal mechanisms are of the same size, this is not the problem
 - (b) **Synchronous movement of both chambers** While both mechanisms still move synchronically, the pathways of dispense and disposal were decoupled, therefore their synchronous movement is not a problem anymore.
 - (c) **Reliance on a ramp for pills to fall down.** The final design doesn't have a ramp. the pills would fall directly down in the disposal pathway. In dispense pathway, the device would be tilted 45 degrees which makes certain that the pills would fall down.
3. From third prototype:
 - (a) **Too tall** The device will never be completely vertical. Although the device is now at an elevation it is still shorter as when having to have one wheel always be vertical.
 - (b) **Requires more Rotational momentum** since both mills are now horizontal, there is no extra power spent to battle gravity. the mills will only normally rotate in horizontal position.

3.1 Components of the final design

3.1.1 UpperBody

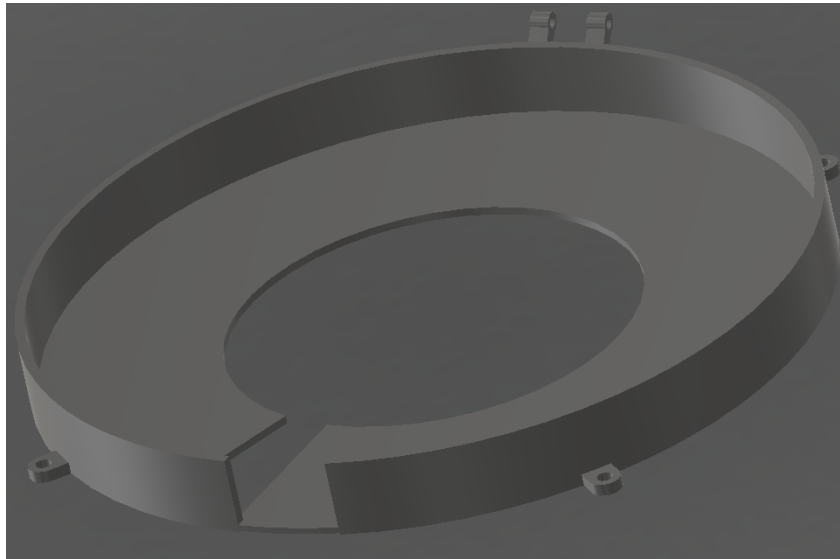


Abbildung 7: Upper Body

Upper body is a simple design consisting of a cylindrical shape with multiple cutouts. First one is on the floor, through this hole the pills that have not been taken would fall. The other cutout is in the wall, through this cutout the pills that will have to be taken would fall. In the middle there is a circular hole for housing the mill.

The measurements are:

- outer radius = 100mm
- inner radius = 52 mm
- height = 20 mm
- thickness of floor = 2 mm
- thickness of wall = 2.5 mm

3.1.2 UpperMill

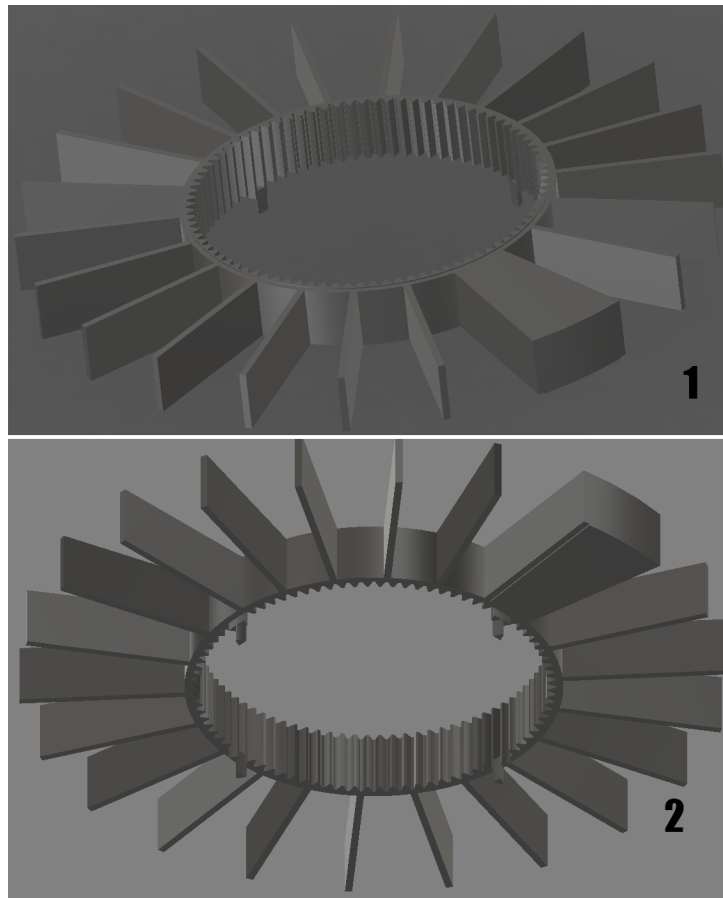


Abbildung 8: Upper Mill. 1 View from above. 2 view from below

Upper mill consists of 21 functional chambers and one service chamber. the service chamber is needed to cover the hole in the upper body, so that at any time, 21 chambers are available. Inner rim is designed as a zahnrad. It has 88 teeth, it will be important later for the stepper motor movement calculation. The gear was designed using a free tool called DXF and SVG GEAR DXF GENERATOR [3]. These parameters were chosen to match the size of the cog and amount of teeth needed:

- Gear 1 Tooth Count: -88 (internal gear)
- Gear 2 Tooth Count: 22
- Module: 1.11 (mm)
- Pressure Angle: 20°
- Clearance: 0.15 mm
- Gear 1 Center Hole Diameter: 0 mm (no hole)
- Gear 2 Center Hole Diameter: 0 mm (no hole)

The lower side contains 4 teetch to connect the upper mill to the lower mill. This implementation makes sure that the two mills will move at the same time, removing need for a separate stepper motor for each of them or a connection directly to the upper mill.

There are certain design decisions that have been taken to reduce friction. Firstly, on the upper side the ring is offset by 0.4 mm so that the upper deck will not touch the whole mechanism, but only this ring. At the bottom side, the teeth are complex shaped. the upper part of the tooth has a length of 2.4 mm, which is 0.4 mm taller than the thickness of the floor of the upper body. The idea behind it is that the wings of the mill will not touch the floor directly, leaving 0.2 mm opening between the floor and the upper mill. the measurements of the upper mill are:

- chamber height = 17 mm
- chamber length = 45.05 mm
- inner ring diameter = 100 mm
- outer ring diameter = 193 mm
- gear tooth depth 2.7 mm
- connecting tooth length = 2.4 mm + 5 mm

3.1.3 LowerBody

3.1.4 LowerMill

3.1.5 Electronics

3.1.6 LowerDeck

3.1.7 Stand

3.2 3D printing specifics

Literatur

- [1] LiveFine, *Automatic Pill Dispenser with Clear Lid and Large Display*, <https://www.livefineproduct.com/products/automatic-pill-dispenser-with-clear-lid-and-large-display>, Accessed: 2025-04-21, 2024. Adresse: <https://www.livefineproduct.com/products/automatic-pill-dispenser-with-clear-lid-and-large-display>.
- [2] Zoksi. „Zoksi Large Pill Organizer Daily Pill Box for 7 or 14 Days Wall Mountable Pill Dispenser Hold for Medicine Vitamin or Supplements Weekly Pill Case with Easy Press Button Blue.“ Accessed on April 22, 2025, besucht am 22. Apr. 2025. Adresse: <https://zoksi.shop/products/zoksi-large-pill-organizer-daily-pill-box-for-7-or-14-days-wall-mountable-pill-dispenser-hold-for-medicine-vitamin-or-supplements-weekly-pill-case-with-easy-press-button-blue>.
- [3] E. Design, *Spur Gear Generator*, Accessed: 2025-05-02, 2021. Adresse: <https://evolventdesign.com/pages/spur-gear-generator>.