

Testen & Documenteren

WB1641 Werktuigkundig Ontwerpproject 1

Freek Broeren
TU Delft | Mechanical Engineering

Gepubliceerd op 2025-10-06

Inhoudsopgave

1	Inhoud	2
2	Waarom maken we modellen?	2
2.1	Verschillende types modellen	2
2.2	Wiskundige modellen	2
2.3	Proefmodellen	4
2.4	Prototypes	4
3	Testen van prototypes	5
3.1	Past het?	5
3.2	Zo niet? Dan toch!	6
3.3	Werkt het?	6
3.4	Hoe goed werkt het?	6
3.5		7
4	Documenteren	7
4.1	Wat lever je in?	7
4.2	Documentatie van tests	7
4.3		8
4.4		11
4.5		14
4.6		15
4.7		16
5	Testen en Documenteren	16
6	Bronnen	17
	Bibliografie	17

Gedurende het project maken we continu modellen om iets nieuws te leren over ons ontwerp. Zeker bij het eerste prototype hopen we veel te kunnen leren over het ontwerp zodat we het tweede (en laatste) prototype zo goed mogelijk kunnen maken. Door hier gestructureerd mee aan het werk te gaan, weten we zeker dat we zo veel mogelijk leren, en dat alles wat we geleerd hebben ook in het volgende ontwerp terecht komt.

1 Inhoud

Waarom maken we modellen?

Testen van prototypes

Documenteren

i Slides en aantekeningen

Deze pagina is voornamelijk gemaakt om te dienen als slides bij het hoorcollege. De slides vind je door in de balk rechts op "Slides" te klikken.

Daarnaast staan op deze pagina de aantekeningen die ik gemaakt heb bij het samenstellen van dit college.

? Vevox

In het college gebruiken we Vevox om enkele vragen te stellen en om vragen van jullie te beantwoorden. Een deel van de vragen wordt in het college beantwoord, de overige vragen, en antwoorden, worden schriftelijk beantwoord en gedeeld via Brightspace.

2 Waarom maken we modellen?

In dit project maken we allerlei verschillende modellen, elk met zijn eigen doel. De prototypes die deze week gemaakt zijn, zijn eigenlijk gewoon de volgende stap in het modelleren van je ontwerp. Daarom is het goed om, voordat we dieper ingaan op het prototype, eerst te kijken naar het nut van de verschillende modellen die we gemaakt hebben.

2.1 Verschillende types modellen

Grofweg maken we in dit project drie typen modellen:

- Wiskundige modellen
- Proefmodellen
- Prototypes

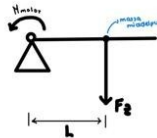
Daarnaast zijn er natuurlijk nog veel meer andere soorten modellen. In komende projecten zal je mogelijk ook schaalmodellen, vormmodellen en computermodellen tegenkomen.

2.2 Wiskundige modellen

Vanuit theorie voorspellingen doen over het product

- Wat voor hefboomverhouding hebben we nodig?
- Hoeveel energie zit er in het vallende schijfje?

WOP 3 berekeningen

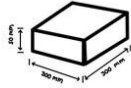


$$\sum H = 0 \rightarrow M_m = L \cdot F_2$$

$$L \cdot F_2 = 10 \text{ Nm}$$

$$M_m = 10 \text{ Nm}$$

We gaan er hier vanuit dat een 'voet' een hol blok is van 300x300x50 mm met een wanddikte van 2 mm (omdat we een schaling van de massa nodig hebben)



$$V_{\text{blok}} = 300 \cdot 300 \cdot 50 = 4,5 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$V = (300 - 4) \cdot (300 - 4) \cdot (50 - 4) = 4,03 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

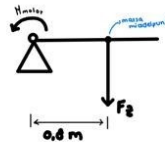
$$V_{\text{schal}} = V_{\text{blok}} - V_{\text{hol}} = 0,47 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 = 0,47 \cdot 10^3 \text{ cm}^3$$

$$\rho_s = 2,7 \text{ g/cm}^3$$

$$m = \rho_s \cdot V_{\text{schal}} = 2,7 \cdot 0,47 \cdot 10^3 = 1269 \text{ g} = 1,269 \text{ kg}$$

$$F_2 = m \cdot g = 1,269 \cdot 9,81 = 12,45 \text{ N}$$

$$L = \frac{10 \text{ Nm}}{F_2} = \frac{10 \text{ Nm}}{12,45 \text{ N}} = 0,8 \text{ m}$$



totale lengte van de balk:

massamiddelpunt (x_m) = 0,8 m = 800 mm afmetingen balk 100x50x2L mm met wanddikte 2 mm

$$x_m = \frac{m_{\text{schal}} \cdot \frac{L}{2} + m_{\text{blok}} \cdot L}{m_{\text{schal}} + m_{\text{blok}}}$$

$$0,8 = \frac{(1,609 \cdot L) \cdot \frac{L}{2} + 1,269 \cdot L}{1,609 \cdot L + 1,269}$$

$$0,8 = \frac{0,8045 L^2 + 1,269 \cdot L}{1,609 \cdot L + 1,269}$$

$$0,8 \cdot (1,609 \cdot L + 1,269) = 0,8045 L^2 + 1,269 L$$

$$1,2872 \cdot L + 1,0152 = 0,8045 L^2 + 1,269 L$$

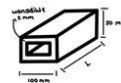
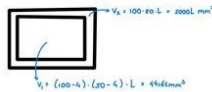
$$0,8045 L^2 - 0,0182 L - 1,0152 = 0$$

$$L = 1,13 \quad \vee \quad L = -1,11$$

kan niet

dus lengte van de totale balk is 1,15 m

$$m_{\text{schal}} = (V_1 - V_2) \cdot \rho_s = (5000 \cdot L - 4416 \cdot L) \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} = 1,609 \cdot L \quad \text{g}$$



2.3 Proefmodellen



Eenvoudige modellen in een ander materiaal als het uiteindelijke ontwerp

- Zou deze deeloplossing of dit concept kunnen werken?
- Welke dimensies zijn belangrijk?

2.4 Prototypes

Test van het gehele concept in het uiteindelijke materiaal

- Hebben we alles goed ontworpen?
- Hoe gedraagt het materiaal zich?
- Halen we de verwachte prestaties?

Met de prototypes komen we dus een stuk dichterbij ons uiteindelijke product. We weten nu al redelijk hoe het eruit zal zien en hebben onszelf ervan overtuigd dat we een geschikt concept hebben gekozen. Nu zullen we zien of het ook echt werkt in de beschikbare materialen.

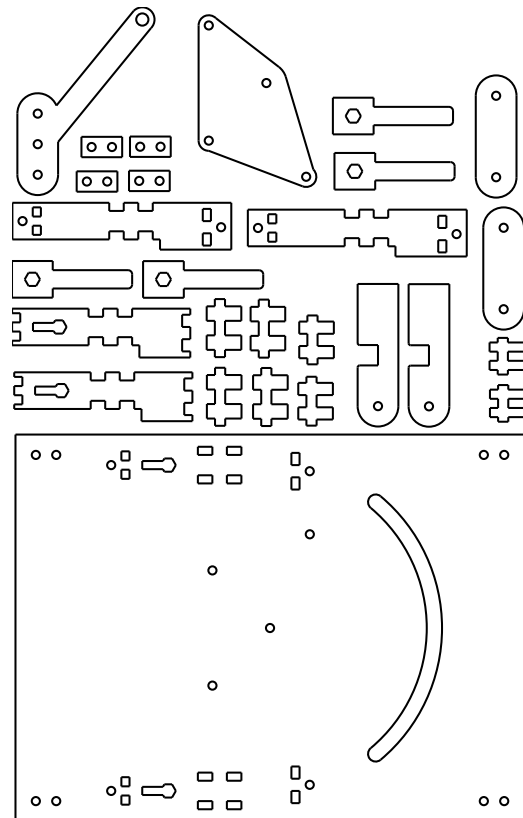
Vergeet echter niet dat het prototype nog niet het uiteindelijke ontwerp is. Er zullen nog nieuwe versies volgen, die als het goed is beter zijn dan de voorgaande versies. Daarom brengen we telkens de prestaties in kaart aan de hand van de prestatiecriteria. Zo kunnen we bij elke iteratie de vooruitgang zien, en die natuurlijk ook aantonen aan onze opdrachtgevers.

3 Testen van prototypes

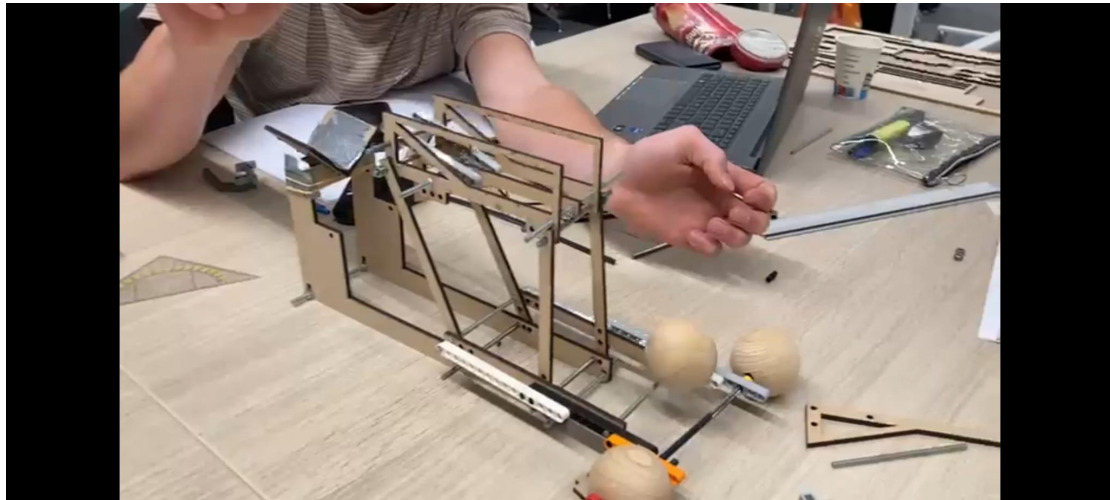
We hebben het prototype dus om mee te bepalen of en hoe goed ons ontwerp werkt. Grofweg testen we dat aan de hand van drie vragen: Past het?, Werkt het? en Hoe goed werkt het?

3.1 Past het?

- Controleer de afmetingen
- Zitten alle gaatjes op de juiste plek?
- Heb je genoeg boutjes/moertjes/assen?
- Zijn er aanpassingen nodig?



3.2 Zo niet? Dan toch!



3.3 Werkt het?

Als alles in elkaar zit (desnoods met wat ducttape), kunnen we nagaan of het prototype ook werkt. Hiervoor pakken we ons programma van eisen erbij.

Als het goed is, voldoe je sowieso aan de randvoorwaarden en specificaties. Die leggen immers je ontwerpruimte vast en zouden dus al in je ontwerp terecht gekomen moeten zijn. Het kan echter nooit kwaad om dit nog een keer te controleren en deze af te vinken.

Daarna kijken we naar de functionele eisen: doet het ontwerp echt wat het moet doen? Misschien bewoog iets heel soepel in het proefmodel van karton, maar is het nu met assen en MDF toch een stuk stroever. Dat zullen we aan de hand van dit model moeten ontdekken.

Vergeet ook niet vast te leggen wat je test. Zeker als iets niet werkt hebben we snel de neiging om het aan te passen. Zorg er dan voor dat je voor en na de aanpassing foto's maakt en ook aantekent op de DXF waar de aanpassing gedaan is. Anders vergeet je dit in de volgende versie weer.

- Voldoe je aan de opdracht?
 - Check je randvoorwaarden en specificaties
- Ga een voor een alle functies af
 - Check alle functionele eisen
- Maak foto's per stap

3.4 Hoe goed werkt het?

Als alles werkt, kijken we naar de prestatiecriteria. Die bepalen namelijk hoe goed het ontwerp werkt. Bij het ontwikkelen van de concepten hebben we een prestatieverwachting opgesteld. Nu kunnen we kijken of het prototype deze prestaties ook echt zal halen.

Daarnaast zullen dit natuurlijk ook de resultaten zijn die we vergelijken tussen de verschillende prototypes. Als het goed is zullen we daar een vooruitgang in zien.

- Ga testen!
 - Maak de testen kwantitatief
- Werkt het onder alle omstandigheden?
 - Ga systematisch de verwachte variaties na
- Gebruik de prestatiecriteria

3.5

4 Documenteren

4.1 Wat lever je in?

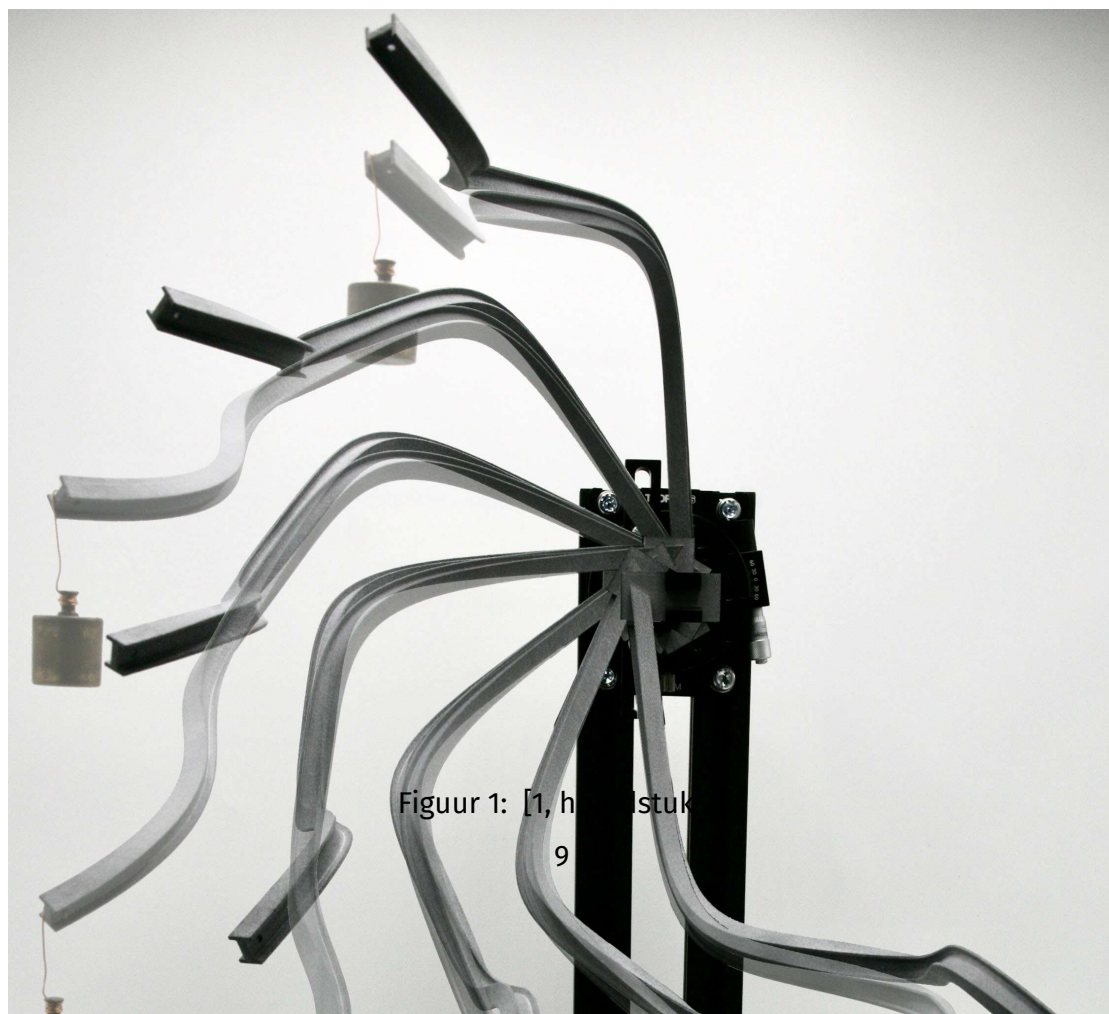
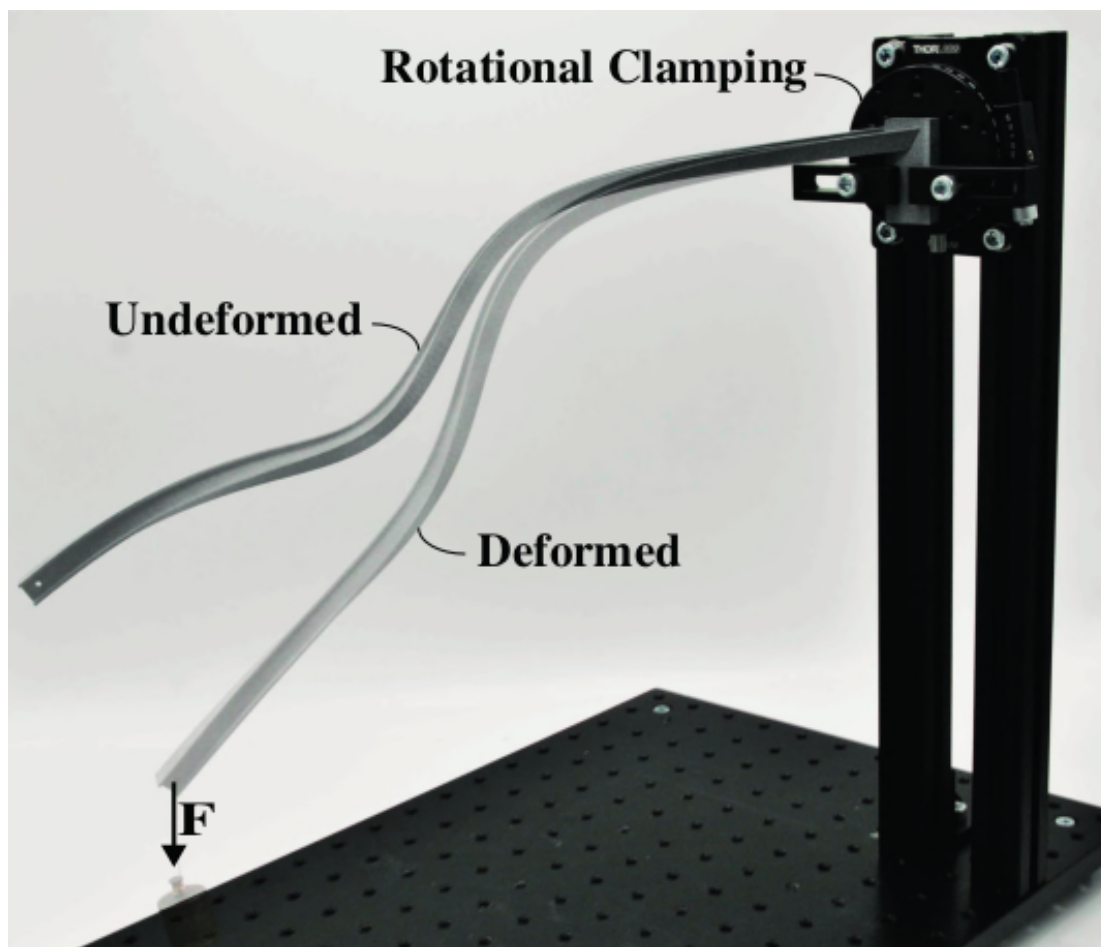
- Deze week 1 video (max 1 minuut)
- Eindverslag 1 poster pagina

4.2 Documentatie van tests

- Gebruik figuren en tabellen
- Laat zien wat er gemeten is
- Geef duidelijk de beweging aan
- Maak het concreet

We weten nu wat we met een prototype willen doen, maar dit moet ook vastgelegd worden. Het probleem is, dat wat we uit een prototype willen weten vaak krachten en bewegingen zijn, en die laten zich niet zo goed op papier vangen. Voor wat inspiratie van hoe je dit toch duidelijk weer kunt geven heb ik enkele voorbeelden uit proefschriften verzameld.

4.3

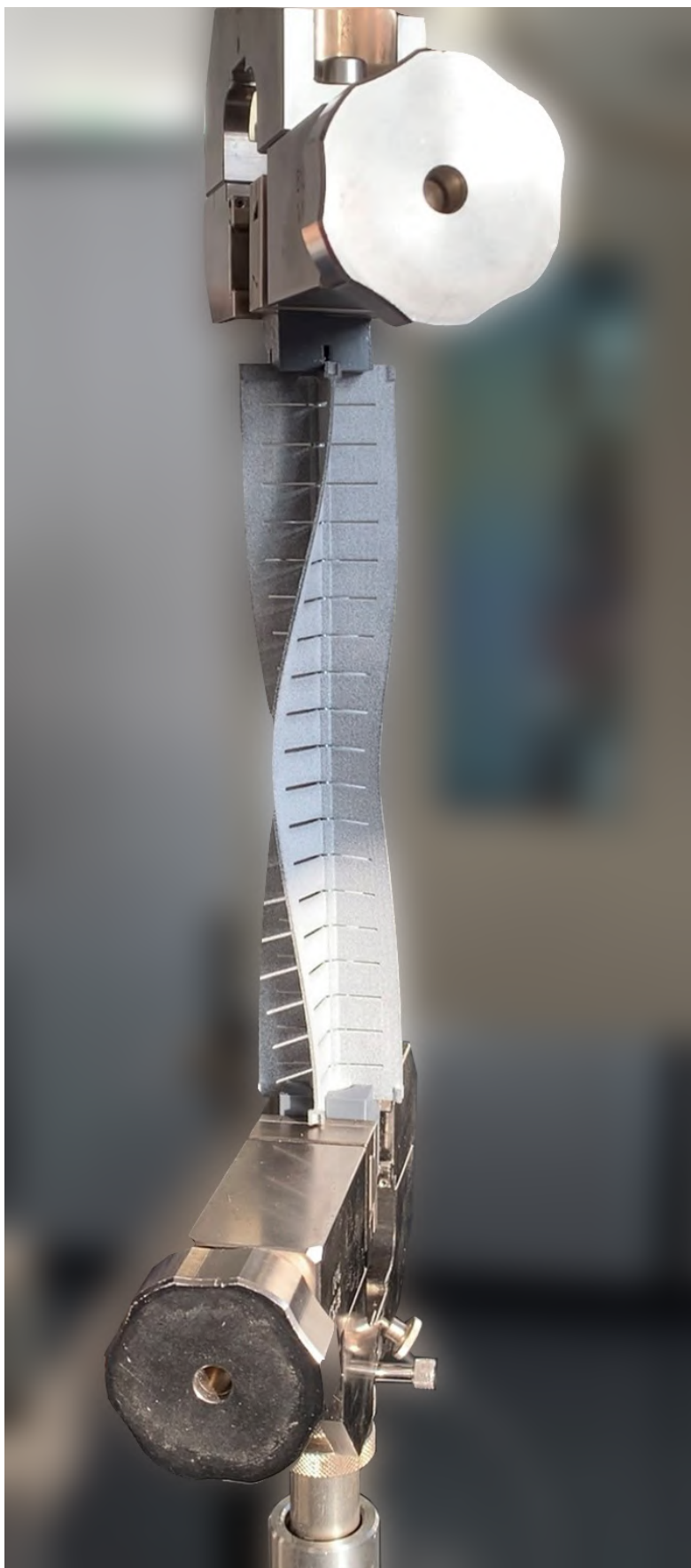


Figuur 1: [1, h... stuk
9

In dit eerste voorbeeld zien we een buigend mechanisme wat door een opgelegde kracht vervormd wordt. Door de foto's van de originele situatie en de vervormde situatie over elkaar heen te leggen zie je duidelijk wat het effect is van de kracht die de last op het mechanisme uitoefent. Daarnaast is er duidelijk met extra lijnen en tekst aangegeven wat de verschillende onderdelen zijn.

In de rechter figuur zien we vervolgens voor verschillende inklemmingen wat de evenwichtssituatie van het mechanisme is, zowel belast als onbelast. Opnieuw zijn foto's over elkaar gelegd om een inzicht te geven in het gedrag van het mechanisme. Zonder de linker figuur was het heel lastig geweest om te begrijpen wat hier allemaal gebeurt. Maar omdat er eerst uitgelegd is waar de opstelling uit bestaat en we al een idee hebben wat we kunnen verwachten valt de figuur goed te lezen.

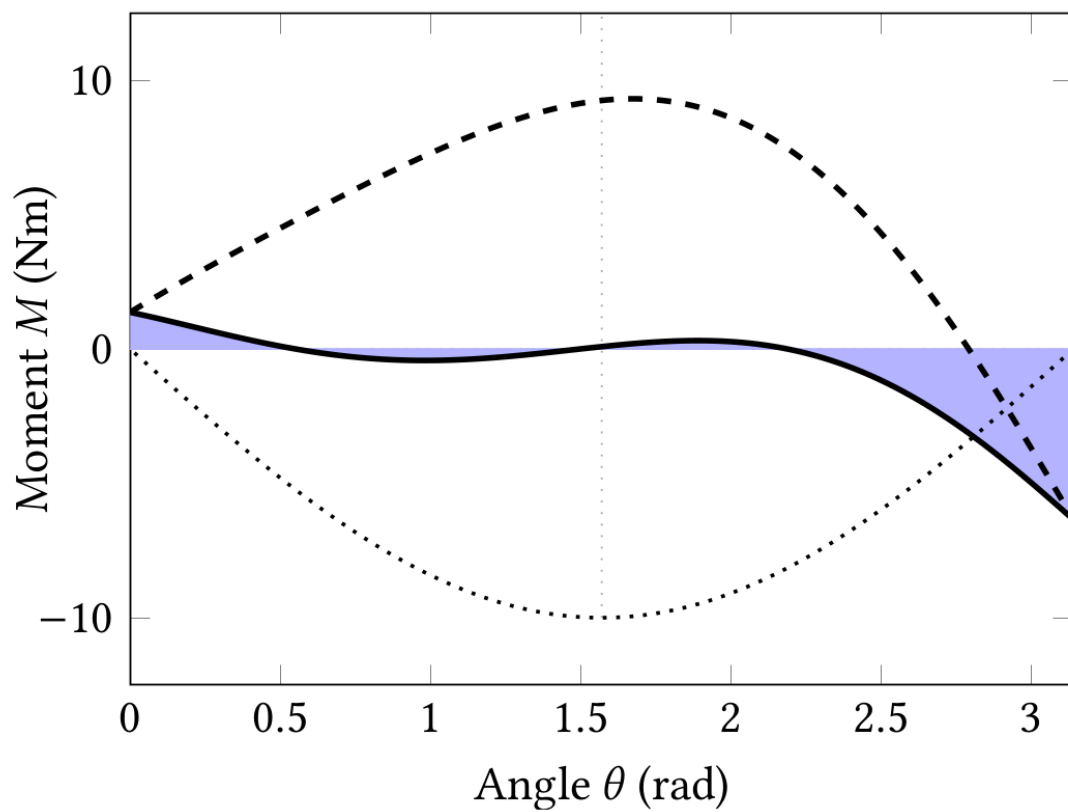
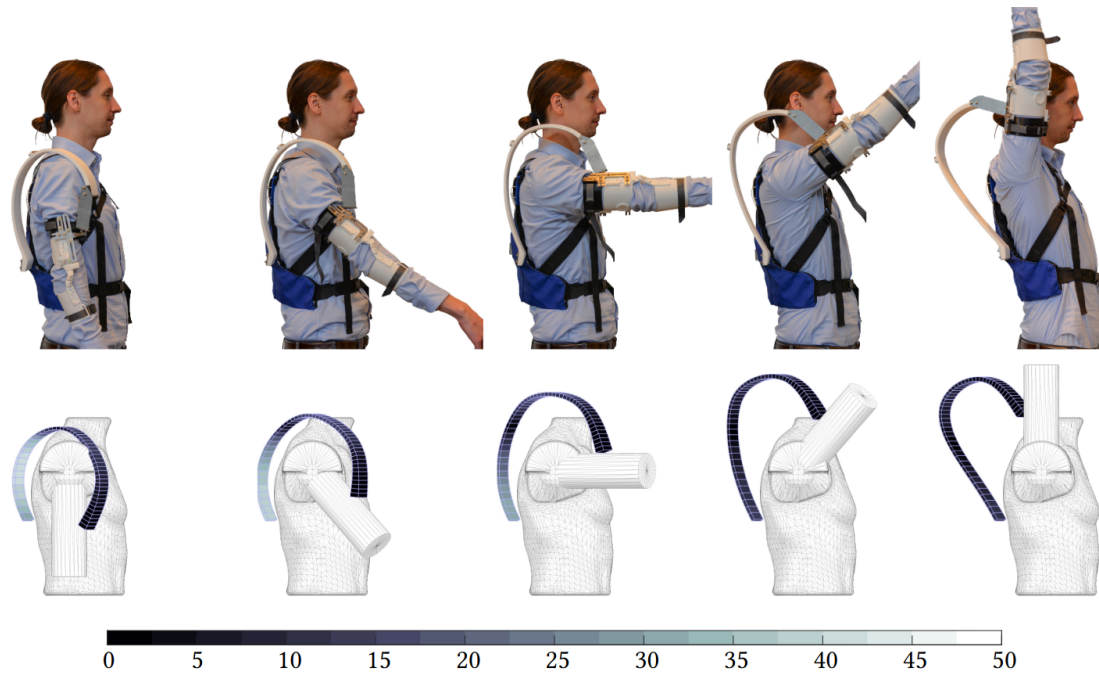
4.4



Figuur 2: [1, hoofdstuk 5]

Deze tweede figuur, uit hetzelfde proefschrift, is een stuk minder duidelijk. We missen nu de pijlen om aan te geven wat er gebeurd is waardoor het moeilijker is om te interpreteren waar we naar kijken. Daarnaast is het contrast tussen het mechanisme en de achtergrond een stuk kleiner. De auteur heeft nog geprobeerd dit wat te verbeteren door de achtergrond uit te vagen, maar liever zou je een neutralere achtergrond zien, zoals bij Figuur 1 het geval was.

4.5



Figuur 3: [2, hoofdstuk 4]

Dit is weer een heel goed voorbeeld. Samen vertellen deze twee figuren het hele verhaal. We zien hier Martin Tschiersky die zelf zijn prototype voor een schouder

ondersteuning aangetrokken heeft. Hij demonstreert het prototype in verschillende standen en laat ons de vorm van het mechanisme vergelijken met de simulaties die hij gedaan heeft. Daarnaast geeft de grafiek ook nog de geleverde en benodigde momenten weer voor het hele bereik.

Dit lijkt misschien wat uitgebreid voor het WOP, maar het is zeker mogelijk om jouw prototype ook in verschillende standen te fotograferen en dit te vergelijken met tekeningen die aangeven wat je verwacht had.

4.6

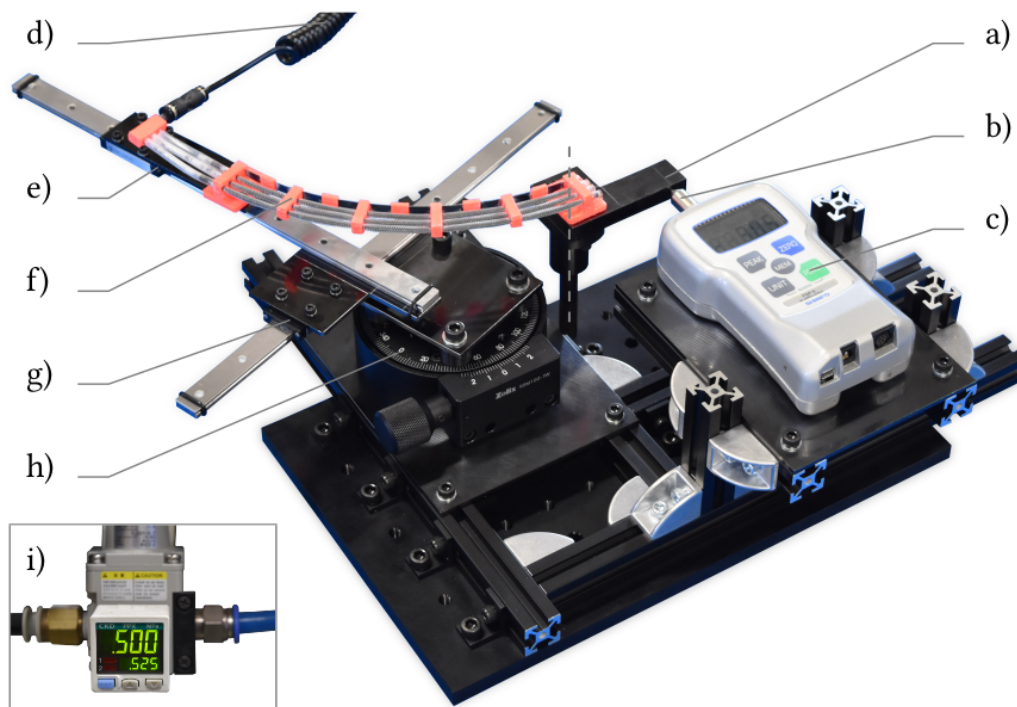
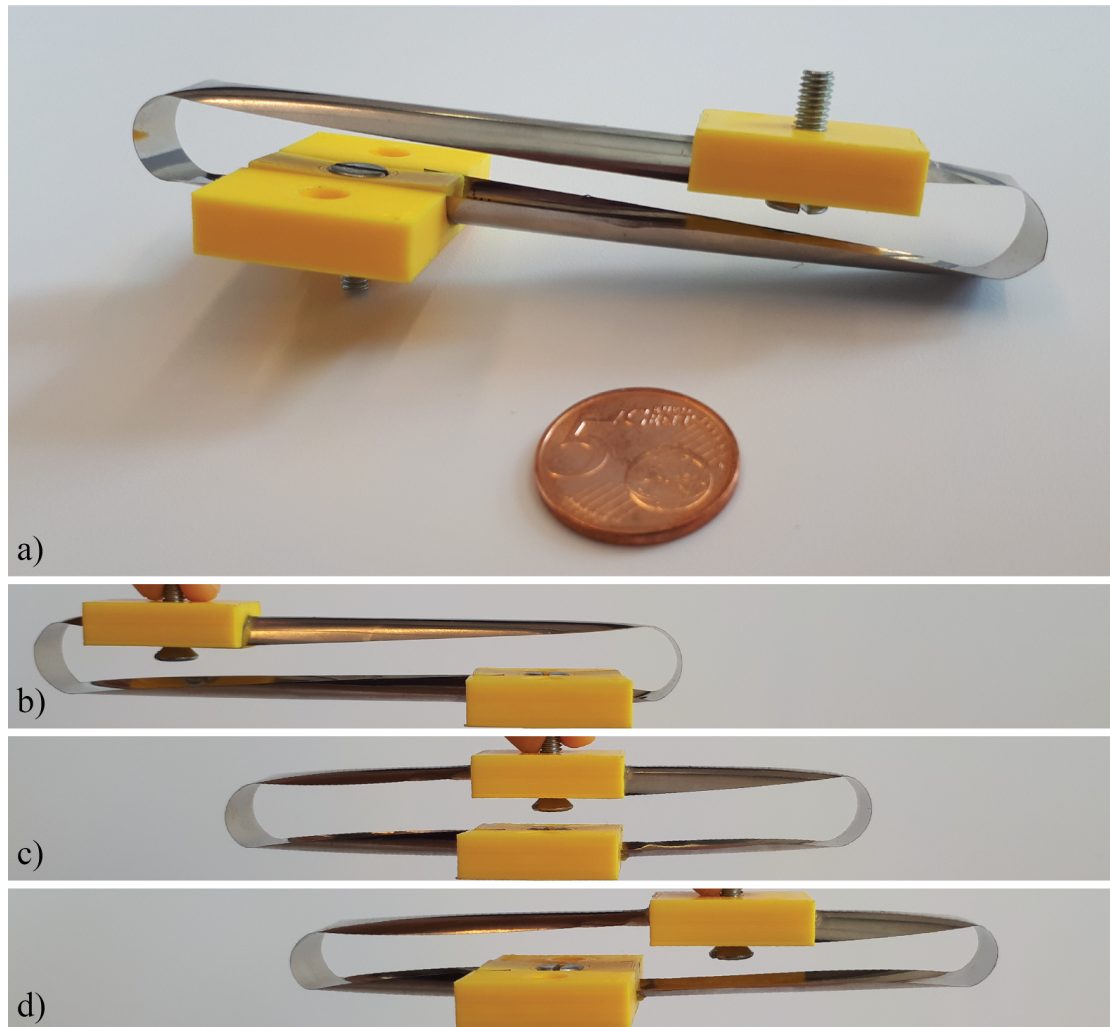


Figure 5.4: Experimental setup to measure the pressure and angle-dependent moments. a) lever (rotary axis indicated by dashed line), b) conical tip, c) force gauge, d) coiled tube (pressure supply), e) linear guide 1, f) specimen, g) linear guide 2, h) manual rotary stage, i) regulator.

Figuur 4: [2, hoofdstuk 5]

Dit voorbeeld geeft mooi weer hoe je een ingewikkelde testopstelling toch heel duidelijk kan maken door goed gebruik te maken van het bijschrift. De lijnen geven hier de belangrijkste onderdelen aan. Die worden verder uitgelegd in het bijschrift. Zo blijft de figuur overzichtelijk, maar geef je toch alle benodigde informatie aan de lezer.

4.7



Figuur 5: [3, hoofdstuk 6]

Dit laatste voorbeeld laat weer heel mooi zien hoe eenvoudig het kan zijn om een mechanisme in verschillende standen te laten zien. De bovenste figuur geeft het overzicht van het mechanisme, en de onderste drie figuren laten de beweging zien.

Deze aanpak werkt ook heel goed met je conceptpagina's: De bovenste figuur kan dan de isometrische tekening zijn, met daaronder drie aanzichten in verschillende standen.

5 Testen en Documenteren

Samenvattend zijn er vier belangrijke dingen om op te letten bij het testen van je prototype:

- Documenteer de assemblage
- Past het niet? Los het op!
- Test je PvE
- Gebruik foto's en tabellen

Voor ieder ontwerp zal dit proces iets anders lopen. Soms werkt het prototype direct, en soms heeft het nog wat meer werk nodig. Het belangrijkste is dat je iets van het prototype leert. Het programma van eisen helpt je om de juiste vragen te stellen.

Voor de documentatie is het voornamelijk van belang om zo veel mogelijk foto's en gegevens te verzamelen. Met alleen een stuk tekst zal je jouw opdrachtgever nooit ervan overtuigen dat jij een geweldig ontwerp hebt gemaakt. Zorg dat de documentatie zo veel mogelijk laat zien wat jij ook hebt kunnen zien.

6 Bronnen

Bibliografie

- [1] A. Amoozandeh, "Synthesis of Slender Spatial Compliant Mechanisms with Application to Passive Exoskeletons", Doctoral dissertation, 2023. doi: 10.4233/UUID:4BE5A4E1-7C68-4A28-A1BA-4CFF02A9F024.
- [2] M. Tschiersky, "Flexure Mechanisms for Upper-Limb Support: Towards Compliant Wearable Assistive Devices", Doctoral dissertation, Enschede, the Netherlands, 2021.
- [3] W. van de Sande, "Analysis and Synthesis of Shell Flexures", Doctoral dissertation, 2024. doi: 10.4233/UUID:03DAE8B4-4B3E-49AF-8783-807882C62338.