



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## **Imperfections: using defects to program designer matter**

Meeussen, A.S.

### **Citation**

Meeussen, A. S. (2021, May 26). *Imperfections: using defects to program designer matter*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3179459>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3179459>

**Note:** To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <https://hdl.handle.net/1887/3179459> holds various files of this Leiden University dissertation.

**Author:** Meeussen, A.S.

**Title:** Imperfections: using defects to program designer matter

**Issue Date:** 2021-05-26

## Samenvatting

Het onderzoek dat in deze dissertatie beschreven staat is het resultaat van enkele jaren werk bij AMOLF en de Universiteit Leiden, waar ik met het ontwerpen van nieuwe materialen bezig ben geweest. Onze onderzoeksgemeenschap werkt met elkaar aan het ontwerpen van mechanische structuren. Zulke structuren hebben een mechanische functie, net als matrasschuim en deurscharnieren dat hebben. We vinden speciale vormen en architecturen uit, en maken daar prototypes van met allerlei technieken: rubber gieten in 3D-geprinte vormen, schuim lasersnijden en thermovormen met plastic. Het doel is om nieuwe materialen te maken, die zich anders gedragen dan de traditionele varianten: beton, hout, rubber.

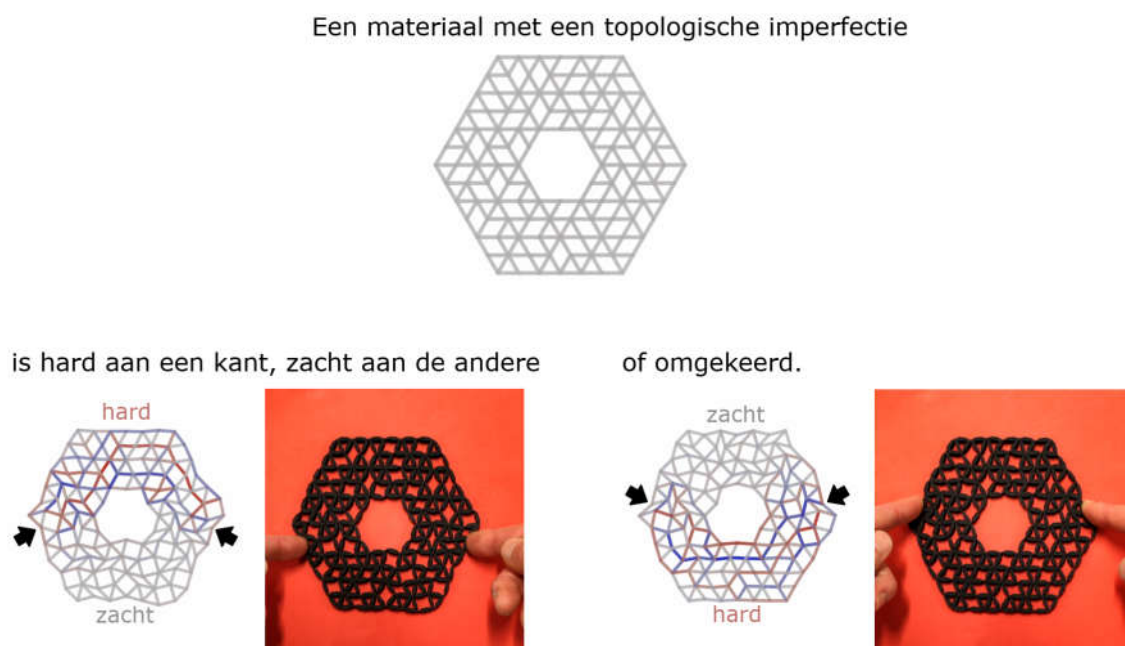
De reden dat onze structuren anders zijn dan anders is hun interne constructie, niet de grondstof waar ze van gemaakt zijn. Dit is geen nieuw idee: gebreide stof, bijvoorbeeld, is nogal anders dan een bolletje garen (daarom dragen we ook sjaals in plaats van strengen draad). Het onderliggende idee is dus dat nieuwe materiaal-ontwerpen gemaakt kunnen worden van een willekeurige grondstof- op voorwaarde dat ze in de juiste vorm worden gegoten.

Maar het is niet gemakkelijk om een nieuw materiaal uit te vinden dat een specifieke functie vervult (en dat ook goed doet). Er zijn massa's aan strategieën. Door de eeuwen en zelfs millenia heen zijn er talloze ontwerpen bedacht—bijvoorbeeld metselverbanden of brei- en weefpatronen—die nog steeds van generatie tot generatie worden overgedragen. Daarnaast hebben er relatief kort geleden enorme ontwikkelingen plaatsgevonden in de materiaalkunde, vormgevingstechniek, en informatica. En met deze opmars kwam een explosie aan ontwerpmethodes: tactieken gebaseerd op de natuur, genetische algoritmes, topologie-optimalisering, en nog meer van zulke dure woorden. Elke methode heeft zijn eigen voor- en nadelen. Er is geen standaard aanpak voor het ontwerpen van structuren. Wat we wél hebben is een rijke keuze aan tactieken voor wie een nuttig materiaal wil ontwerpen.

In deze dissertatie laat ik een nieuw soort ontwerptactiek zien, die draait om imperfecties. Afwijkingen, defecten, en onvolkomenheden in mechanische structuren kun je normaal gesproken beter vermijden. Maar we kunnen imperfecties ook vanuit een ander (wel wat formeel) perspectief bekijken: ze zijn maar verschijnselen die voortkomen uit onderliggende natuurkundige principes. Van zichzelf zijn ze niet goed of slecht: ze zijn. Als we begrijpen waar ze precies vandaan komen, kunnen we mechanische schade vermijden, van gebroken ruiten tot ingestorte graansilo's. Maar met dat begrip kunnen we afwijkingen ook *gebruiken*, expres, om nieuwe materialen te maken met buitengewoon en nuttig gedrag.

Ik gebruik in deze dissertatie twee soorten mechanische imperfecties om materialen te maken met nieuwe eigenschappen: topologische imperfecties, en doorknik-instabiliteiten.

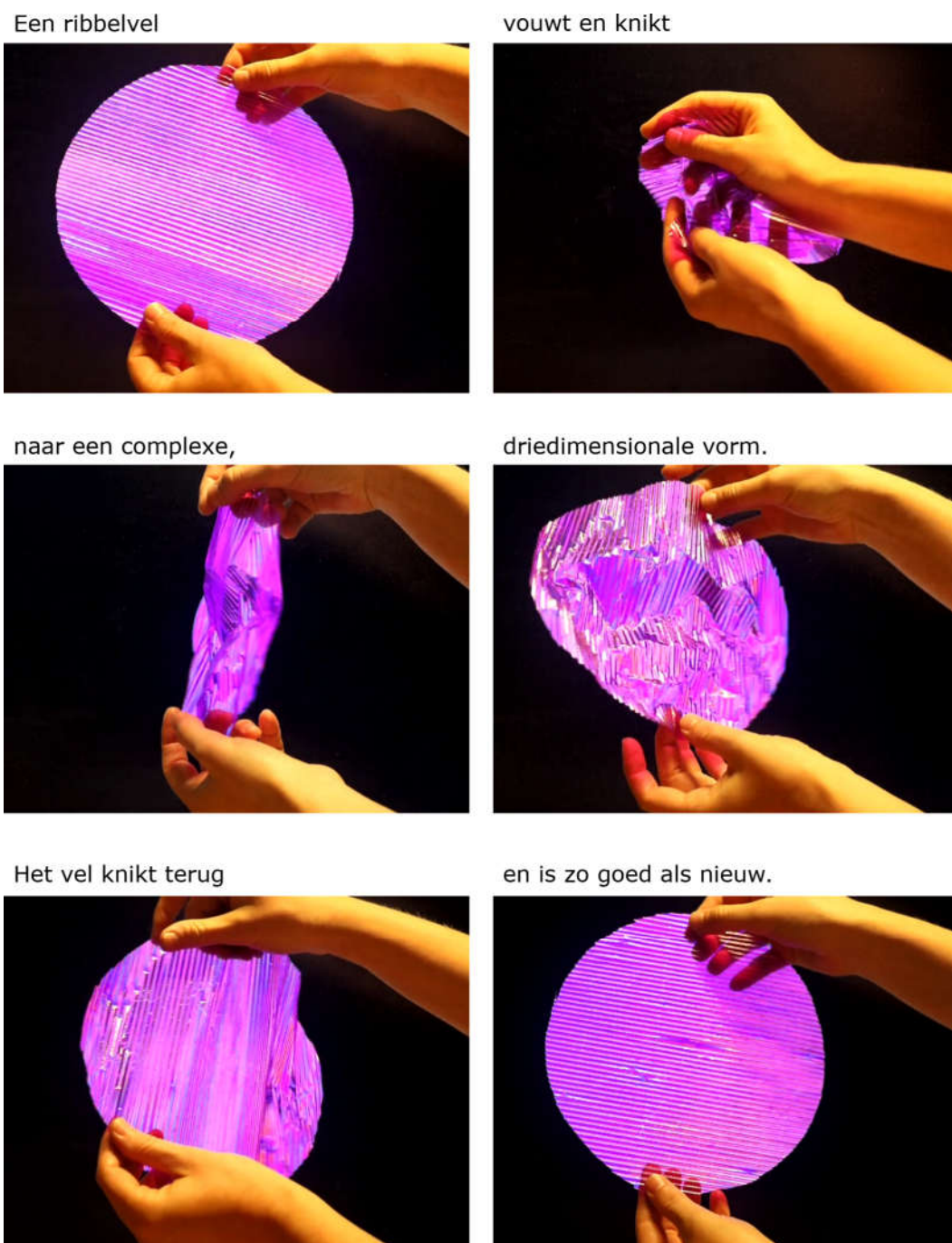
Hoofdstuk 2 tot en met 4 van dit proefschrift gaan over de eerste ontwerptactiek, met



**Fig. S3.: Topologische imperfecties maken een materiaal plaatselijk zacht of hard. Waar de zachte en harde plekken zitten hang af van hoe de structuur wordt ingedruwd.**

topologische imperfecties. We beginnen in hoofdstuk 2 met het ontwerpen van een basisstructuur: een vlak materiaal, gemaakt van dunne staafjes die aan elkaar zitten met flexibele scharnieren. Die basisstructuur is zacht, en vervormt makkelijk als hij ingeknepen wordt. Maar dan, door het verplaatsen van een paar staafjes, maken we een *topologische imperfectie*. Topologie verwijst hier naar hoe de staafjes in het materiaal aan elkaar zitten: op de goede manier (dat leidt tot een zacht materiaal), of de verkeerde manier (dat zorgt voor een topologische imperfectie). Uit ons onderzoek blijkt dat deze topologische afwijking nieuw mechanisch gedrag veroorzaakt, en dat onderzoeken we in hoofdstuk 3. Daar laten we zien dat materialen met zo'n afwijking adaptieve harde en zachte zones vertonen. Waar die stevige en zachte plekken precies zitten kan je manipuleren; dat hangt namelijk af van hoe het materiaal ingedruwd wordt. In hoofdstuk 4 duiken we de wiskunde in, om te beschrijven wat er precies gebeurt op mechanisch niveau, als die paar staafjes verplaatst worden. Figuur S3 vat de uitkomst samen: met topologische imperfecties kunnen we materialen ontwerpen die hard én zacht zijn, afhankelijk van waar je ze indruwt.

Tot slot presenteren we in hoofdstuk 5 een nieuw soort structuur, die van vorm verandert door door te knikken. Het idee achter dit metamorfose-gedrag staat in figuur S4 uitgelegd. Het begint allemaal met een dun stuk gegolfd plastic, een soort miniatuurversie van golfplaat: een ribbelvel. De ronde vorm van de ribbels is hier belangrijk, want door die vorm kan elke ribbel doorgeknikt worden door erop te duwen. Lange rolmaten doen iets soortgelijks: ze klikken om tot een gevouwen vorm. Maar, anders dan in een rolmaat, *blijven* de ribbels in grote stukken ribbelvel doorgeknikt, en vouwen en rollen ze op tot een nieuwe, driedimensionale vorm. Welke vorm dat precies is, hangt af van waar de ribbels zijn doorgeknikt: met verschillende knikpatronen krijg je verschillende vormen. Instinctief zou je verwachten dat het plastic breekt door al dat geknik; maar zolang het vel dun genoeg is, blijft het heel. Dat betekent dat ribbelvellen echte vormbare



**Fig. S4.:** Vlakke ribbelvellen knikken door, en vormen zich zo om tot ingewikkelde, driedimensionale vormen.

materialen zijn: omdat ze om kunnen gaan met al dat doorknikken, kunnen ribbelvellen steeds weer om-, terug-, en hergevormd worden.

Kortom: in deze dissertatie laten we zien hoe imperfecties gebruikt kunnen worden om nuttige mechanische structuren te ontwerpen. Ik hoop dat dit werk zijn plek vindt in het zich steeds verder ontwikkelende veld van de materiaalkunde.

