

**Modellen: hefbomen voor kritisch denken in de Natuurkunde**

Zeger-jan Kock<sup>1</sup>

**1. Inleiding**

In de WND-presentatie zijn we ingegaan op de relatie tussen modellen in het natuurkundeonderwijs en kritisch denken. Voorbeelden toonden dynamische modellen gegenereerd in Python met behulp van generatieve kunstmatige intelligentie (GAI) en hoe deze kunnen worden gebruikt om kritisch denken te stimuleren. De centrale stelling van de presentatie was dat het werken met modellen een aanleiding vormt voor het ontwikkelen van kritisch denken en dat moderne tools, zoals GAI, kritisch denken kunnen ondersteunen en versterken. Met andere woorden: in de natuurkunde vormt kritisch denken een natuurlijke partner van modelleren. Beide processen helpen leerlingen om complexe fenomenen te doorgronden, fouten te herkennen en onderbouwde conclusies te trekken.

Een achterliggende gedachte is dat computermodellen steeds belangrijker worden in de door technologie gedreven maatschappij. Het begrijpen van de rol van computermodellen en het tot op zekere hoogte kunnen interpreteren en kritisch op waarde schatten van hun resultaten wordt steeds meer gevraagd. Dit geldt in de eerste plaats voor wetenschappers en technici, maar ook voor anderen is het van belang dat zij op een verantwoorde manier met computers en gecomputeriseerde systemen om kunnen gaan. Kritisch kunnen denken in een bèta-technische context heeft zo een relatie met het begrip "burgerschap" dat in het onderwijs momenteel erg in de belangstelling staat. Op grond hiervan verdient burgerschap niet alleen een generieke maar in elk geval ook een domeinspecifieke invulling, zeker in het bèta domein.

Het gebruik van computermodellen om denkprocessen te stimuleren is overigens niet nieuw en ook niet beperkt tot het natuurkundeonderwijs. Gravemeijer (2009) beschrijft een voorbeeld uit het wiskundeonderwijs waarin het model van een versnellende en vertragende trein is gebruikt om leerlingen uit groep 7 en 8 van de basisschool te laten kennismaken met de begrippen snelheid en versnelling en de grafische weergave daarvan.

In de presentatie is achtereenvolgens ingegaan op: (1) Kritisch denken in de natuurkunde; (2) de rol van modellen in de natuurkunde; (3) activiteiten met modellen en het stimuleren van kritisch denken, aan de hand van een aantal voorbeelden. Voor de afbeeldingen die in de presentatie zijn gebruikt verwijst ik naar de slides.

**2. Kritisch denken in de natuurkunde**

Er is veel geschreven over kritisch denken in de bètavakken waaronder de natuurkunde. Een belangrijke bron voor de WND presentatie was het boek van Viennot en Décamp (2020). Uitgangspunt bij kritisch denken in de natuurkunde is het stellen van vragen. Bij informatie of resultaten vraagt men zich bijvoorbeeld af:

1. **Is het wel zo?** (startpunt van kritisch denken)
2. **Waarom zou ik deze uitleg vertrouwen?** (zoeken naar overtuigend bewijs en geldige argumenten)
3. **Welke andere verklaringen of modellen zijn mogelijk?** (alternatieven overwegen)
4. **Wat zijn de beperkingen van het achterliggende model?** (beperkingen identificeren)
5. **Zijn er tegenstrijdigheden in de informatie of met andere zaken die ik weet?** (tegenstrijdigheden detecteren)

---

<sup>1</sup> Zeger-jan Kock was vo leraar natuurkunde, lerarenopleider bij Fontys Educatie en onderzoekers bij de Eindhoven School of Education. Op het moment werkt hij als docent en onderzoekers bij Fontys Engineering, opleiding Mechatronica.

Kritisch denken in de bètavakken kan bijdragen aan de wetenschappelijke geletterdheid van leerlingen: het bevorderen van diep begrip, voorkomen van misvattingen, het leren om informatie op waarde te schatten en het stimuleren van leerlingen om zelfstandig na te denken in plaats van informatie passief te consumeren.

Viennot en Décamp (2020) identificeren een aantal deelprocessen of componenten die een rol spelen bij kritisch denken. Zie tabel 1.

*Tabel 1. Componenten van kritisch denken*

<b>Component</b>	<b>Beschrijving</b>
<b>Risicofactoren herkennen in informatie</b>	Identificeren van mogelijke foutenbronnen (bijvoorbeeld te grote vereenvoudigingen, foute analogieën).
<b>Analyseren / beoordelen</b>	Consistentie en logica van de informatie toetsen; alternatieve verklaringen overwegen; vergelijken van bewijs, argumenten en data.
<b>Beperkingen van (tekstuele, wiskundige en grafische) representaties zien</b>	Inzicht krijgen in aannamen en vereenvoudigingen die zijn gebruikt en de gevolgen daarvan.
<b>Metacognitie</b>	Reflecteren op eigen denkprocessen; de betrouwbaarheid van bronnen inschatten; informatie verifiëren; resultaten controleren.
<b>Epistemologische houding</b>	Weten dat niet alle kennis dezelfde mate van zekerheid heeft; onderscheid maken tussen model en realiteit, hypothese en bewijs.

#### *Enkele opmerkingen over beperkingen aan het vermogen tot kritisch denken*

Het filosofisch ideaalbeeld van kritisch denken heeft een cognitief aspect en een houdingsaspect (Pettersson, 2023). Cognitief gaat men uit van “onbevooroordeelde rationaliteit”: het vermogen om zonder vooroordelen argumenten te kunnen beoordelen, bewijskracht te kunnen inschatten en conclusies te kunnen trekken. De gewenste houding is die van een “kritische geest”: openheid, eerlijkheid, moed, een liefde voor de waarheid en een bereidheid zo nodig eigen overtuigingen te herzien.

Pettersson (2023) stelt dat dit ideaalbeeld in het onderwijs niet haalbaar is vanwege menselijke cognitieve en psychologische beperkingen. De menselijke rationaliteit is beperkt: mensen beschikken over beperkte aandacht, geheugen en verwerkingscapaciteit; we kunnen niet voortdurend logisch en reflectief redeneren; kritisch denken kost tijd en energie; daarom is het onrealistisch om te verwachten dat mensen altijd aan ideale rationaliteitsnormen voldoen. Daarnaast zijn vormen van vooringenomenheid vrijwel onmogelijk te voorkomen. Voorbeelden zijn “confirmation bias” (de neiging om vooral te zoeken naar bevestiging van de eigen ideeën) of “motivated reasoning” (het bewust of onbewust redeneren vanuit het eigen belang). Deze denkfouten ontstaan vrijwel automatisch en kunnen rationeel redeneren beïnvloeden of zelfs ondermijnen. Training in logica en argumentatie beschermt volgens Pettersson niet vanzelf tegen vooringenomenheid. Sommige denkfouten kunnen niet individueel worden gecorrigeerd; ze vragen om aanpassingen in de omgeving (contextual debiasing), zoals blinde beoordeling of groepsdiscussie.

Pettersson toont hiermee de grens van wat kritisch denken als individuele vaardigheid kan bereiken en geeft enkele voorzichtige suggesties voor realistischer onderwijs in kritisch denken, gebaseerd op psychologisch onderzoek. Hij stelt bijvoorbeeld voor om in het onderwijs aandacht te besteden aan de

beperkingen van menselijke denkprocessen en om “debiasingstrategieën” te gebruiken, methoden om automatische denkfouten te herkennen en corrigeren.

### 3. De rol van modellen in de natuurkunde

In de presentatie is kort samengevat wat in een eerdere WND-presentatie (WND 2023) over modellen is gezegd. Volgens Giere (2004): “Scientists use models to represent aspects of the world for specific purposes” (p 742). Een model is dus nooit een exacte kopie van de werkelijkheid, maar een doelbewuste versimpeling die gebruikmaakt van abstractie en idealisatie en waarin aannamen worden gedaan. Het doel waarvoor een model wordt gebruikt bepaalt welke vereenvoudigingen en aannamen acceptabel zijn.

Modellen worden voor diverse doeleinden ingezet in de wetenschappelijke praktijk en het onderwijs. Oh en Oh (2011) onderscheiden de volgende doeleinden: beschrijven, verklaren en voorspellen van verschijnselen; ontwerpen van systemen en het sturen en regelen van processen; het nemen van besluiten of het geven van advies; het communiceren met anderen over bepaalde aspecten van de werkelijkheid.

Bij het construeren van (dynamische of computer-) modellen wordt gewoonlijk een modelleercyclus gehanteerd. In vereenvoudigde vorm zijn de fasen in deze cyclus:

1. Probleemverkenning: Wat willen we begrijpen of oplossen?
2. Bijeenbrengen van concepten: Welke natuurkundige concepten en relaties zijn relevant? Welke vereenvoudigingen en aannamen zijn redelijk?
3. Bouwen van het model: Vertalen naar variabelen en wiskundige relaties; zo nodig omzetten naar computercode.
4. Uitvoeren van het model: Het genereren van resultaten (vaak via computers).
5. Analyseren en evalueren: Wat betekenen de resultaten voor het geconstateerde probleem en in hoeverre voldoet het model?

In de fasen van de modelleercyclus zijn vragen naar het effect van aannamen en de waarde van modelresultaten van belang. Een model geeft gewoonlijk niet in één keer goede resultaten, zodat iteraties nodig zijn waarin aannamen worden bijgesteld, correcties worden uitgevoerd en resultaten opnieuw kritisch worden bekeken. Zo wordt het vermogen tot kritisch denken op een natuurlijke manier aangesproken; in een onderwijscontext zal dit niet vanzelf gaan en speelt de docent een belangrijke rol, bijvoorbeeld bij het wijzen op beperkingen of inconsistenties, bij het stellen van verdiepende vragen en het geven van opdrachten.

### 4. Praktijkvoorbeelden

De praktijkvoorbeelden uit de WND-presentatie zijn deels gebruikt bij het onderwijs in het maken van dynamische modellen in de lerarenopleiding natuurkunde. Doel was om studenten te laten werken met gereedschappen uit het tertiair onderwijs, zoals Matlab of Python. De laatste jaren is gekozen voor Python, omdat studenten dit ook na hun opleiding kunnen gebruiken en Python ook in het voortgezet onderwijs wordt gebruikt. In de deeltijd lerarenopleiding was echter geen tijd voor een uitgebreide cursus programmeren. Daarom werden studenten aangemoedigd om gebruik te maken van GAI om Python code te genereren bij hun modelleeropdrachten<sup>2</sup>. Toen deze werkwijze werd geïntroduceerd gaf de gegenereerde Python code gewoonlijk onjuiste resultaten. Studenten moesten de resultaten dan ook kritisch bekijken en zo nodig de code aanpassen (zie ook het NVOX-artikel van

---

<sup>2</sup> We gebruiken Google Colab, omdat dit een geïntegreerde online omgeving is waarvoor niets geïnstalleerd hoeft te worden; dit minimaliseert de overhead voor de studenten. Werken met Colab vereist een Google-account; voor wie dit niet wil, zijn er vanzelfsprekend ook andere oplossingen.

Kock en Van Buchem, 2025). De GAI-ontwikkelingen gaan echter snel; sommige opdrachten voor studenten uit 2024 worden inmiddels foutloos door Colab opgelost. Ook in dat geval is een controle door studenten nog steeds van belang, maar het is interessanter als er ook nog wat aan het model te verbeteren valt. Een voordeel van deze werkwijze is dat de focus van de studenten veel meer op de natuurkundige inhoud van de opdracht kwam te liggen dan op details van het programmeren in Python. Tegelijk bleef het nodig de gegenereerde code te lezen en zo nodig aan te passen, waardoor programmeervaardigheden gaandeweg wel werden ontwikkeld. Sommige studenten gaven overigens aan toch behoefte te hebben aan een eerste introductie in het programmeren met Python. Verwijzing naar enkele van de vele tutorials op het internet kan hier mogelijk uitkomst bieden.

In de presentatie zijn de volgende voorbeelden besproken:

- **Vallen met wrijving:** Een script dat de val van verschillende soorten ballen (zoals een pingpongbal, een voetbal en een bowlingbal) vergelijkt en bepaalt wanneer de wrijving nog verwaarloosbaar is. Dit probleem lijkt inmiddels foutloos te worden opgelost door Colab, zodat voor studenten vooral het kritisch controleren van de resultaten resteert.
- **Zonnevolger:** Een model dat berekent hoe een zonnepaneel gedurende een dag in de zomer in een verticaal vlak moet draaien om optimaal op de zon gericht te blijven. Opvallend was dat Colab hierbij redelijke aannamen leek te doen en passende bibliotheken leer te installeren. Dit is een opdracht die zich leent voor vervolgvragen die kritisch denken vereisen, of voor uitbreiding van het model (zoals: hoeveel energie extra wordt gewonnen door een meedraaiend zonnepaneel en waarom dergelijke systemen toch niet of nauwelijks te zien zijn).
- **Helmholtz spoelen:** Het visualiseren van het magnetisch veld tussen twee Helmholtz spoelen in een richting loodrecht op de centrale as. Dit is een opdracht die wiskundig uitdagend is; de opdracht vereist het gebruik van specifieke Python bibliotheken zoals numpy en scipy en inzicht in 3D vectoren. Colab brengt er nog weinig van terecht.
- **Warmteverlies van een woning:** Een model dat het warmteverlies van een bungalow berekent over een etmaal in de winter. Hierbij is het zaak om kritisch te kijken naar het model en naar aannamen over temperaturen en isolatie. Colab kwam niet met een plausibel resultaat. Ook in dit geval kunnen vervolgvragen worden gesteld die kritische analyse vragen en kunnen leiden tot uitbreiding van het model.

## 5. Didactische overwegingen

Bij modelleeropdrachten zoals die uit de voorbeelden is het zaak om te voorkomen dat de opdracht direct aan een GAI-tool gegeven zo dat een resultaat wordt gegenereerd dat zonder kritisch denken als rapportage ingeleverd kan worden. Dit is mogelijk door de opdracht in vrij algemene termen te formuleren, liefst zonder specifieke getallen. De leerling of student kan dan zelf aannamen doen of dit overlaten aan de GAI-tool. In dat geval is het natuurlijk zaak om te controleren of de tool redelijke aannamen heeft gemaakt.

Wanneer een model eenmaal resultaten heeft gegenereerd zijn er een aantal vervolgstappen:

1. Controleren en corrigeren van het model – zijn de aannamen redelijk, passen de resultaten bij de opdracht en zijn ze juist berekend? Dit is deels zichtbaar aan de modelresultaten maar het zal vrijwel altijd nodig zijn om ook de gegenereerde code te raadplegen. Bij onacceptabele resultaten zijn de opties:

- (a) aanpassen van de GAI prompt en de code opnieuw laten genereren van de resultaten
- (b) handmatig aanpassen van de code

2. Werken met het model. Wanneer er eenmaal een acceptabel werkend model is, kan dit worden gebruikt om vragen te beantwoorden, bijvoorbeeld door parameters in het model aan te passen.

3. Uitbreiden van het model. Het model kan, aan de hand van opdrachten, worden uitgebreid om nieuwe vragen te beantwoorden.

Kortom: hoewel AI krachtige ondersteuning biedt, blijft kritisch denken onmisbaar; de student of leerling moet de voorgestelde oplossing en resultaten evalueren, de onderliggende aannames begrijpen, correcties uitvoeren, en het model (eventueel met behulp van GAI) uitbreiden om nieuwe problemen te kunnen oplossen.

In de presentatie is kort ingegaan op de vraag wat de "winst" is voor de student of leerling van dergelijke modelleeropdrachten. Er is verwezen naar de "self-determination theory" (Decy & Ryan....), waarin de drie menselijke basisbehoeften worden onderscheiden: competentie, autonomie en relatie.

- Autonomie: de modelleeropdrachten kunnen tot op zekere hoogte open worden geformuleerd, waardoor studenten of leerlingen enige vrijheid hebben om er een eigen invulling te geven.
- Competentie: door GAI te gebruiken voor het programmeerwerk, zijn minder geavanceerde programmeervaardigheden vereist, kan de focus verschuiven van het oplossen van syntax-fouten in de code naar de onderliggende natuurkundige concepten en is het mogelijk realistischere problemen aan te pakken.
- Relatie: deze activiteiten lenen zich goed voor werk in kleine groepjes, gevolgd door een klassikale terugkoppeling om verschillende aanpakken te vergelijken; dit laatste (klassikale terugkoppeling) is wel van belang om tot een gedeeld begrip van de materie te komen. Wanneer de werkwijze geheel nieuw is voor een groep studenten of leerlingen is het zaak om de onderlinge verwachtingen (wat is de verwachte rol van de leerling, wat is die van de docent) duidelijk te bespreken (aanpassing van het "didactisch contract"); het is ook van belang om duidelijk te maken wat het voordeel is voor de student of leerling en eventuele toetsing in lijn te brengen met de gekozen aanpak.

## 7. Conclusie

Modellen zijn krachtige instrumenten om de wereld te begrijpen, maar hun waarde hangt af van de kritische blik van de gebruiker. Kritisch denken is de motor die de modelleercyclus draaiende houdt door voortdurend aannamen en resultaten te bevragen. Met de komst van AI-tools verandert de rol van de leerling van een 'bouwer' naar een 'architect en controleur'. In het modelleeronderwijs verschuift de focus naar het beoordelen van de kwaliteit van modellen, het begrijpen van hun beperkingen en het iteratief aanpassen en gebruiken van de modellen om vragen te beantwoorden in de context van de realiteit.

Het uiteindelijke doel is dat studenten en leerlingen worden voorbereid op een toekomst waarin complexe problemen – van klimaatverandering tot technologische innovatie – vragen om een combinatie van modelmatig denken en kritische analyse.

## Referenties

Giere, R. N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, 71, 742-752.

Gravemeijer, K. (2009). *Leren voor later*. Eindhoven University of Technology

Kock, Z.-j., & Van Buchem, J. (2025). Generatieve AI als hulp bij computermodelleren. *NVOX*, zomer 2025, 26-27.

Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.

Pettersson, H. (2023). *Reason to believe: The prospects and limitations of critical thinking as an educational goal* [Doctoral dissertation, University of Oulu]. Acta Universitatis Ouluensis.

<https://oulurepo.oulu.fi/bitstream/handle/10024/46314/isbn978-952-62-3625-4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Viennot, L., & Décamp, N. (2020). *Developing critical thinking in physics*. Springer.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-43773-2>