

*Plenaire lezing vrijdagmiddag 15 december van 14.10 - 15.00 uur*

**Weermodellen: de stille revolutie van de meteorologie**

Peter Kuipers Munneke  
Universiteit Utrecht, NOS

Honderd jaar geleden moest je 's ochtends maar zien wat voor weer het was. Op goed geluk zaaiden boeren hun gewas en voeren zeelieden uit. Het weer werd gezien als het lot. Het noodlot, vaak ook. In de afgelopen eeuw is er ongelooflijk veel gebeurd. Tegenwoordig zijn meteorologen met wisselend succes in staat om de chaos van de atmosfeer tot een aantal dagen vooruit te temmen, met indrukwekkende voordelen voor de samenleving tot gevolg. Terugkijkend naar de staat van onze kennis van een eeuw geleden, kunnen we rustig spreken van een stille revolutie. Omdat de meteorologie en de klimaatwetenschap altijd aan het front van het modelleren hebben gestaan, leent het onderwerp zich goed voor essentiële vragen over het model in de wetenschap, het onderwijs en in de samenleving.

*Keuzelezingen vrijdagmiddag 15 december van 15.45 - 16.35 uur*

**Modelleren: van computeren naar leren**

André Heck  
Universiteit van Amsterdam

Modelleren is een belangrijk (examen)onderwerp in het natuurkundeonderwijs geworden en tegelijkertijd ook een lastig onderwerp om in de les mee aan de gang te gaan omdat er zo veel bij komt kijken. Maar als leerlingen eenmaal het modelleren een beetje kunnen biedt het waardevolle extra mogelijkheden tot het leren en doen van natuurkunde. Ze kunnen dan ervaren dat je met modellen in staat bent om dynamische verschijnselen in de echte wereld te beschrijven, verklaren en om voorspellingen te doen. Als het goed gaat bevordert modelleren het heen-en-weer denken tussen de wereld van verschijnselen en de natuurkundige denkwereld. Dan is het een heerlijk onderdeel van het vak, heeft het meerwaarde, en levert het prachtige werkstukken van leerlingen op, waarin ze eigen modellen gemaakt hebben bij echte en hopelijk door henzelf gemeten gegevens. In deze lezing komen voorbeeldmodellen voor veel verschillende onderwerpen aan bod die de mooie en belangrijke aspecten van modelleren illustreren. Tegelijkertijd wordt stil gestaan bij de vraag hoe het modelmatig denken gestimuleerd kan worden bij docent en leerling. De nadruk zal liggen op computerondersteund modelleren, in het bijzonder m.b.v. de COACH omgeving.

**Modelleren, vanaf de onderbouw tot en met 6 vwo**

Onne van Buuren  
Vrije Universiteit Amsterdam

Modelleren en experimenteren is zo oud als de natuurkunde zelf. Modelleren op de computer en het gebruiken van ICT voor analyse van metingen is relatief nieuw. Hoewel modelleren op de computer al vanaf 1991 in het programma zit voor de bovenbouw van het vwo, is het nog steeds niet zo diep in het middelbaar onderwijs doorgedrongen dat de mogelijkheden die het biedt echt benut worden. Het gaat daarbij niet alleen om meer realistische en complexe natuurkunde, maar ook om het leren denken in termen van systemen en dynamische processen. In de lezing gaan we in op wat er al mogelijk is in de onderbouw van vwo en havo en op de mogelijkheden die het biedt in de bovenbouw. De nadruk ligt daarbij op grafisch systeemdynamisch modelleren.

**Modelleren van scheepsvoortstuwing**

Robert Otto  
Wärtsilä



Met name bij grote zeegaande schepen is het van groot belang om tijdens het ontwerpproces de prestaties goed te kunnen voorspellen. Van oudsher wordt er in de scheepsbouw gebruik gemaakt van proeven met schaalmodellen. De eerste weerstandsproef in Nederland werd al in 1873 uitgevoerd en voor zeker een eeuw waren modelproeven de meest betrouwbare methode om de prestaties te voorspellen. Bij het ontwerpen van schepsschroeven moet altijd de balans gezocht worden tussen een hoog rendement en het controleren van cavitatie (het verdampen van water door lokaal lage drukken). Teveel cavitatie en ongewenste vormen van cavitatie kunnen resulteren in

beschadigingen aan het oppervlak van de schroef, in trillingen aan boord van het schip of in geluid aan boord of in het water. Daarom is naast het zo accuraat mogelijk modelleren van het voorstuwingsrendement ook het nauwkeurig voorspellen van het cavitatiegedrag van belang. In modeltesten spelen hierbij schaaleffecten ten gevolge van visceuze effecten een complicerende rol. Numerieke modellen worden steeds nauwkeuriger, en computers krachtiger, maar ook deze modellen hebben nog steeds hun beperkingen. Hierdoor is de huidige stand van zaken in de scheepsvorstuwing dat zowel numerieke simulaties als modelproeven onmisbaar zijn.

### Modelleren is mensenwerk

Lieke Melsen

Wageningen University & Research

Geef verschillende personen hetzelfde recept, het uiteindelijke gerecht zal anders smaken. Hetzelfde geldt voor computermodellen: verschillende modelleers kunnen net andere keuzes maken in het opzetten van een model, wat tot verschillende antwoorden kan leiden. Modellen zijn versimpelde versies van de werkelijkheid en daardoor zijn er altijd onzekerheden in het model. Binnen dit vacuüm van onzekerheid is er ruimte voor interpretatie. Dit is zeker het geval voor modellen van onze omgeving, zoals klimaatmodellen of waterbeheermodellen, omdat er nog veel processen onduidelijk zijn, niet alle data beschikbaar is, en er veel verschillende ruimtelijke schalen relevant zijn. Inzicht in modelkeuzes en de invloed hiervan op het modelresultaat is extra relevant als deze modellen vervolgens gebruikt worden ter ondersteuning van beleid, zoals bij klimaatverandering, Corona of stikstof. In deze context wordt het bovendien nog ingewikkelder: de modelleur staat niet alleen voor technische keuzes die bepalen hoe het model eruit ziet, maar ook de manier waarop de beleidsmaker een vraag stelt kan invloed hebben op hoe het model eruit ziet, en welke antwoorden ermee gegeven kunnen worden. Modellen worden vaak gezien als neutrale, technische tools, handig voor wetenschappelijk onderzoek of om beleid te ondersteunen, maar de onzekerheid in modellen biedt ruimte voor onderhandeling, discussie, en verschillen in voorkeuren, waardoor de neutraliteit van modellen ter discussie kan komen te staan. In deze presentatie laat ik zien voor welke keuzes een modelleur zoal staat, en welke krachtenvelden een rol spelen in het gebruik van modellen bij beleidsondersteuning, geïllustreerd met voorbeelden uit de waterbeheerwereld.

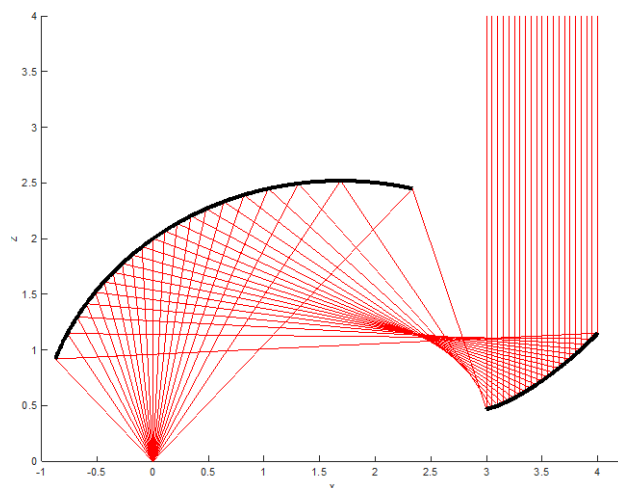
### Computational illumination optics: Wiskundige modellen voor optisch ontwerp

Martijn Anthonissen

Technische Universiteit Eindhoven

Als het 's avonds donker wordt thuis en je het licht aanzet, dan wil je graag prettig licht om je heen: niet te fel, maar wel genoeg om bijvoorbeeld bij te lezen. Bij straatverlichting moet de weg goed te zien zijn, maar het is niet de bedoeling dat een lantaarn bij huizen binnen schijnt.

Tegenwoordig gebruiken we meestal ledlampen als lichtbron omdat ze energiezuinig zijn en lang meegaan. Zo'n lamp bevat een diode die licht uitzendt, maar ook spiegels en lenzen om lichtstralen te sturen. De diode kun je als een puntbron zien die licht alle kanten uitstuurt. De spiegels en lenzen worden zo gemaakt dat het licht daar terecht komt waar je het wil hebben.



In de figuur hiernaast zie je een voorbeeld. Linksonder is een puntbron die licht geeft met een bepaalde verdeling (veel licht in het midden en minder aan de zijkanten van de bundel). Rechtsboven is een scherm waar we een uniforme verdeling willen hebben. Welke vorm moeten de twee spiegels hebben om dit voor elkaar te krijgen?

De algemene vraag is: vind de lenzen of spiegels die de stralen van een gegeven bronverdeling sturen naar een gewenste doelverdeling. Er zijn twee manieren om dit probleem aan te pakken. Bij *directe methoden* maak je een ontwerp en volg je heel veel lichtstralen van bron naar doel, waarbij je onderweg weerkaatsing hebt bij spiegels en breking bij lensoppervlakken. Dit wordt *ray tracing* genoemd. Als de gevonden doelverdeling nog niet de gewenste is, dan wordt het ontwerp aangepast en vindt weer ray tracing plaats.

In deze presentatie gebruiken we *inverse methoden*. We maken een wiskundig model van een optisch systeem en stellen differentiaalvergelijkingen op voor de vormen van de spiegels en lenzen. Door de differentiaalvergelijkingen (numeriek) op te lossen, vinden we meteen het gewenste optische systeem. Moderne straatverlichting gebruikt lenzen die met onze methode ontworpen zijn!

*Plenaire lezing zaterdagmorgen 16 december van 08.45 - 09.35 uur*

### **Wat doen we zonder modellen in het natuurkundeonderwijs?**

Zeger-Jan Kock

Technische Universiteit Eindhoven

In de natuurkunde, de techniek en andere exacte domeinen is het heel gebruikelijk om verschijnselen uit de realiteit te beschrijven met behulp van een model. Zo'n model kan vervolgens gebruikt worden als hulpmiddel bij theorievorming, om een verschijnsel beter te begrijpen, voorspellingen te doen, beslissingen te nemen of met anderen over het verschijnsel te communiceren. Het gebruik van modellen behoort daarmee onlosmakelijk tot de 'Nature of Science'. Ook in het natuurkundeonderwijs maken we veel gebruik van modellen, maar dikwijls spreken we erover alsof het om vaststaande feiten gaat. Beperkingen van modellen en typische activiteiten die horen bij het werken ermee komen in het onderwijs relatief weinig aan bod. In de presentatie zullen we ingaan op inzichten uit de literatuur (met name de wetenschapsfilosofie) over de aard van modellen en het werken ermee. Vanuit de vakdidactiek zullen we bespreken of er wat te winnen is als we de rol van modellen bij het leren van natuurkunde explicieter zouden benoemen. Er zullen enkele voorbeelden van modellen uit natuurkundemethoden aan bod komen.

*Keuzelezingen zaterdagmorgen 16 december van 11.30 - 12.20 uur*

### **Paleoklimaat simulaties: fascinerend, uitdagend en relevant**

Michiel Baatsen

Universiteit Utrecht

Met de zorgen over het veranderende klimaat op aarde groeit de wens om een goede inschatting te maken van wat er ons in de toekomst te wachten staat. Naast de vele observaties leveren klimaatmodellen een belangrijke bijdrage aan het in kaart brengen en begrijpen van het huidige klimaat. Deze modellen zijn alle gebaseerd op solide natuurkundige principes, maar worden beperkt in hun complexiteit en precisie door zowel de beschikbare rekenkracht als de kwaliteit van observaties. Deze beperkingen leiden tot het gebruik van parametrisaties om zo op een vereenvoudigde maar toch zo volledig mogelijke manier de werkelijkheid weer te geven. De modellen worden daarbij goed getest en afgestemd op het huidige klimaat, maar de vraag blijft in hoeverre ze daarmee toekomstige veranderingen kunnen inschatten.

Dit is waar de studie van het paleoklimaat antwoorden kan bieden, het klimaat op aarde heeft namelijk in het verleden al vele grote veranderingen doorgemaakt. Sinds het uitsterven van de dinosauriërs, zo'n 65 miljoen jaar geleden, lijkt het klimaat in grote lijnen te zijn afgekoeld waardoor het globaal gezien 10-15°C koeler is dan toen. De meeste veranderingen vonden gestaag plaats en namen soms miljoenen jaren in beslag, maar sommige waren veel abrupter en ingrijpender. Studies naar zulke bijzondere klimatologische condities en de veranderingen ertussen bieden ons cruciale inzichten in de fundamentele eigenschappen van het klimaatsysteem. Als we in staat zijn om het klimaat van het verleden te reconstrueren en te begrijpen met behulp van klimaatmodellen, dan is dat een flinke opsteker voor het vertrouwen in het vermogen van deze modellen om een accuraat beeld voor de toekomst te geven.

Naast de relevantie voor de toekomst biedt de studie van het paleoklimaat ook leuke uitdagingen en soms onverwachte resultaten. Dit maakt het modelleren van het paleoklimaat niet alleen een belangrijke, maar ook een leuke en verrassende tak van de natuurkunde.

### **Physics of engineering problems, leren modelleren op de TUE**

Hjalmar Mulders

Technische Universiteit Eindhoven

In het vak 'Physics of Engineering Problems' op de TUE krijgen de studenten een casus uit een echt bedrijf voorgelegd waarin om een simulatie wordt gevraagd. De opdrachten zijn authentiek, met ook iemand uit het bedrijf als contactpersoon. Ook zijn de opdrachten veel te groot, wat de studenten dwingt tot zelf-beperking, gericht op de

behoeften die hun client aangeeft. Dit dwingt de studenten ook tot het begrijpen van de behoeften, belangen en uiteindelijk het verdienmodel van het bedrijf.

### **Fysieke modellen: verbinden van experiment, theorie en besluitvorming**

Jan Jaap Wietsma

Universiteit Twente Pre-U, vaksteunpunt nlt

In deze lezing kijken we naar een benadering die toegepast is in het onderzoeksproject Wetropolis, over de rol van modellen in waterbeheer en klimaatadaptatie. Het zelf maken van fysieke modellen is een mooie manier om theorie (concepten), experimenteren en modelvorming aan elkaar te verbinden. Deze benadering is veel breder inzetbaar dan bij de bètavakken.

Het maken van modellen is een belangrijk onderdeel van de natuurwetenschappelijke werkwijze. Het ondersteunt het bedenken van experimenten, vinden van verklaringen en ontwikkelen van een theorie. Voor het onderwijs is ook een belangrijk aspect dat modellen een hulpmiddel vormen om te verduidelijken, inzicht te geven en samen onderzoek te doen. Met de komst van de computer wordt op uitgebreide schaal gebruik gemaakt van (dynamische) digitale modellen. In de examenprogramma's van de bètavakken is modelleren opgenomen. In de praktijk wordt modelleren vaak gereduceerd tot alleen het werken met de computer. In de module Modelleren (gemaakt voor nlt) wordt ook de betekenis van fysieke (dynamische) modellen beschreven, met een nauwe verbinding tussen experimenteren, modelvorming en theorie. Een bredere blik geeft ook inzicht hoe modelleren vaker en anders ingezet kan worden in het onderwijs.

### **Modeldidactiek: leerlingen in discussie**

Onne Slooten

Het Amsterdams Lyceum

‘Als je een geleidende draad door een magneetveld heen beweegt, werkt er een lorentzkracht op de elektronen in de draad. De elektronen zullen dus voortdurend versnellen’. Dit is een bijdrage van één van mijn leerlingen aan een discussie over hoe inductiestromen ontstaan als een geleider door een magneetveld beweegt. Niet helemaal juist (ze vergeet de invloed van de atoomkernen, waar de elektronen voortdurend op botsen), maar wel goed bedacht.

Bij Modeldidactiek is de leerstof opgedeeld in een beperkte reeks fysische modellen. De kern van Modeldidactiek (gebaseerd op het Amerikaanse Modeling Instruction™) is om leerlingen deze modellen zelf te laten ontwikkelen door ze in discussie te laten gaan over natuurkunde. Ze uiten hun ideeën op whiteboards en in kringgesprekken met elkaar waardoor ze leren om hun eigen modellen tot uitdrukking te brengen en te onderbouwen met bewijs. De meerwaarde zit hem in het feit dat leerlingen elkaar kunnen overtuigen van de waarde van hun eigen modellen, in plaats van dat ze aannemen wat de docent zegt. Maar hoe zorg je ervoor dat leerlingen wel uitkomen bij de geaccepteerde wetenschappelijke modellen? Deze lezing gaat over hoe je dit kunt organiseren.

### **Het werken met natuurkundige computermodellen**

Roeland Boot

Universiteit Utrecht

Het werken met computermodellen is een belangrijk onderdeel van wetenschappelijk onderzoek. Met een computermodel kunnen natuurverschijnselen worden onderzocht, kunnen hypothesen worden geformuleerd en getoetst en kunnen diverse verbanden in kaart worden gebracht en worden verklaard. Het is derhalve belangrijk dat leerlingen hiermee vroegtijdig in aanraking komen, zodat zij bekend zijn met datgene wat wetenschappers doen en zelf door middel van het werken met computermodellen feitelijk in de huid van een wetenschapper kruipen.

De lezing concentreert zich op het belang van het werken met natuurkundige computermodellen door bovenbouwleerlingen van het vwo. Daarbij is het belangrijk dat leerlingen inzicht krijgen in de aard en het doel van computermodelleren en dat zij deze modellen kunnen gebruiken om zich natuurkundige inhoud eigen te maken.

Voordat we leerlingen succesvol kunnen laten werken en leren met natuurkundige computermodellen zal eerst onderzocht moeten worden welke begripscompetenties leerlingen daarvoor nodig hebben. In het voorjaar van 2023 is een aantal leerlingen geïnterviewd, en er is gekeken naar het begrip van natuurkundige computermodellen door deze leerlingen. Op basis van de analyse van deze interviews wordt momenteel een raamwerk ontwikkeld waarmee begripscompetenties van leerlingen op het gebied van natuurkundige computermodellen beoordeeld kunnen worden. Resultaten van dit onderzoek worden besproken.

*Afsluitende lezing zaterdagmiddag 17 december van 14.55 - 15.45 uur*

**Over de negentiende-eeuwse opkomst van modellen**

Daan Wegener  
Universiteit Utrecht

Modellen spelen een centrale rol in de moderne natuurkunde. Dat is niet altijd zo geweest. In de eerste helft van de negentiende eeuw was de dominante opvatting namelijk dat de natuurwetenschap bestond uit experimentele feiten en universele wetten. In de tweede helft van de negentiende eeuw kwam hier door fysici als James Clerk Maxwell (1831-1879) en Ludwig Boltzmann (1844-1906) verandering in. Bij chemici als Auguste Laurent (1807-1853) en Jacobus Henricus van 't Hoff (1852-1911) is een soortgelijke verschuiving te zien. Interessant is dat deze natuurwetenschappers niet alleen modellen ontwikkelden, maar hier ook filosofisch op reflecteerden. Dat laatste wijst erop dat het gebruik van modellen nog zo nieuw was, dat het aparte toelichting vereiste. Ze anticipeerden op kritiek van andere wetenschappers. Tegenwoordig zijn we zo gewend aan modellen dat we makkelijk vergeten hoe radicaal vernieuwend ze aanvankelijk waren.