

Uitwerking lezing Modelleren WND

Jan Jaap Wietsma

Lezing bij de WND Natuurkunde conferentie, 16 december 2023, Noordwijkerhout



Fysieke modellen.

Verbinden van experiment, theorie en besluitvorming.

Dr. Jan Jaap Wietsma - Pre-U Universiteit Twente - vaksteunpunt nlt, i.s.m. ir. Wout Zweers, WOWlab - Enschede.

E: j.j.wietsma@utwente.nl

Hoe kijken we aan tegen modelleren? We kijken naar de (nogal verschillende) manieren die bij verschillende schoolvakken worden gebruikt.

Voor het visualiseren en onderzoeken rond waterbeheer worden vaak fysieke modellen ingezet. De benadering die bij Wetropolis is ontwikkeld, worden fysieke modellen gebruikt waarmee het mogelijk om te experimenteren en ook het gesprek te voeren over te nemen maatregelen, ofwel: om besluiten te nemen. Welke meerwaarde heeft het om modell(er)en op deze manier in te zetten?

We kijken eerst hoe we tegen modelleren aan kijken. Over Natuurkunde wordt gezegd dat het hele vak eigenlijk één groot model is om verschijnselen in de fysieke werkelijkheid systematisch te kunnen beschrijven en verklaren. Op school worden leerlingen stap voor stap steeds vaardiger in het denken in modellen.

Hoe kijken we aan tegen modelleren? Er wordt gewerkt met (1) grootheden en formules, (2) experimenten, (3) voorspellen en kiezen en (4) begrip ontwikkelen. De peiling in de zaal gaf weinig vingers bij (1) en (2), veel meer bij (3) en (4).

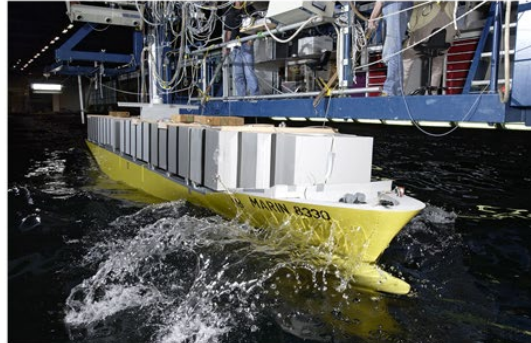
Bij modelleren in de lessen Natuurkunde ligt (volgens de site van SLO) de nadruk op rekenen met formules en het werken met de computer. Wiskunde benadrukt meer het algebraïseren, modellen maken op basis van werkelijkheid en de modelcyclus. Bij economie vormen het beschrijven van de

werkelijkheid en begrip vergroten de belangrijkste doelstellingen. (Andere vakken worden op deze site niet genoemd).

Schaalmodel-experimenten



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cavitating_prop.jpg#/media/File:Cavitating_prop.jpg



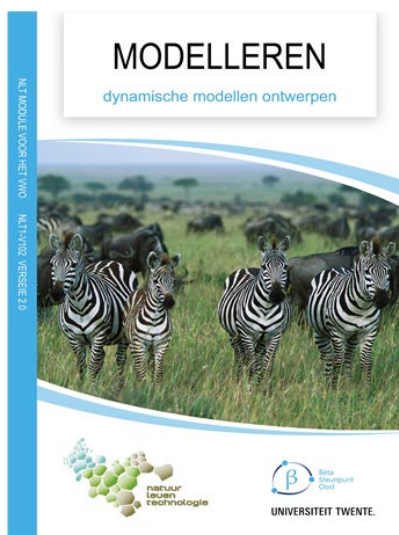
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Emma_Maerk_2.jpg

Universiteit Twente.

Wetropolis.nl

Bij numeriek (dynamisch) modelleren (met computers en tijdstappen), zoals weermodellen en buienradar, speelt visualisatie een rol en kan de berekende voorspelling ook hulp bieden bij de besluitvorming (moet ik een regenjas aantrekken of niet?). Schaalmodellen zijn ook belangrijke fysieke modellen. Soms gaat het om modellen die visualisatie tot doel hebben, andere als rekenmodel of onderzoek doen aan complexe situaties.

Scheepsmodellen helpen om te bepalen of een ontwerp bestand is tegen extreme situaties op zee. Simulaties in een computer gaan er van uit dat de wetmatigheden bekend zijn en dynamisch berekend kunnen worden. Water gedraagt zich zo complex dat dit in veel gevallen niet mogelijk is.



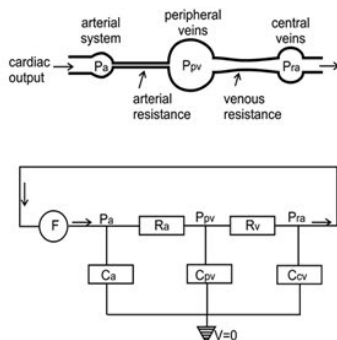
Universiteit Twente.

Waterstromen  Figuur A03-1: Sluis in de Oelerbeek		A03 VAN GEBIEDEN Natuurkunde, Aardrijkskunde, Wiskunde OPPASSENDE HLT MODULE(S) Ruimte voor de Rivier (rvo) Lab on a chip (rvo, havo) Hart en Vaten (rvo), Leef met je Hart (havo)
INTRODUCTIE CONTEXT Stromend water vormt een interessante context voor het maken van modellen. Dat gebeurt van klein (het leeglopen van een fles) naar groot (hoopwater in een rivier). Door het modelleren leer je de wetmatigheden van waterstroming kennen en gebruiken. Om de achtergrond te leren kennen van een PET fles met een eenvoudig experiment, het leeglopen over enkele belangrijke natuurkundige wetten.		MOEILIKHEIDSGRAAD Eenvoudig tot gemiddeld (*)
Belangrijke voorkennis: enige kennis van natuurkunde (vloeistoffen, druk / volume, differentiaalvergelijkingen). Bij het modelleren wordt benodigde extra theorie aangeboden.		CONCEPTEN Stroomvariabele, Constante, Voorwaardegrootte, Debiet, Instroom, Uitstroom, Hydrologische weerstand, Druk, Volume, Tijdstap
DOEL Doel: modellen maken van waterstroming in verschillende situaties (van klein naar groot). De modellen die je maakt helpen om te ontdekken waar deze in de praktijk voor gebruikt worden.		GESCHATTE TIJDSDUUR (uur) start 4 uur, gevorderd 4 uur, expert 4 uur.
OPDRACHT Modelleren aan waterstromen gebeurt aan de hand van drie situaties. Start: Maak een model van het leeglopen van een PET fles met een gaatje in de dop. Gevorderd: Maak een model voor het leeglopen van een sloot via een overlaet (stuw). Expert: Hogenerator in de rivier. Deze opdracht is uit te voeren met software die kan werken met grote hoeveelheden variabelen (arrays), zoals Excel of GrafiekInZicht.		TOEGEBORVEN SOFTWARE Coach (niet voor expertopdracht), Excel, GrafiekInZicht
WAT LEVER JE OP 1. Een uitwerking van de experimenten en opdrachten 2. Een model in een modelleringsprogramma 3. Uitgeverij toelichting op je model		BEDOELING Beoordeling van de onder-

Bij het vak Natuur Leven en Technologie is de module Modelleren in gebruik. Daarin komt een veelheid van modelgebruik aan de orde. Hoe laat je leerlingen ontdekken wat de relevante grootheden zijn? Hoe maak je een experiment van een model? Hoe bouw je een model zonder

computer? Schaalgrootte, tijdfactoren, kwalitatief en kwantitatief en de beperkingen van modellen moet overgebracht worden. En voor iedere discipline verschillend verschilt waar het accent ligt. Een aantal voorbeelden die in de nlt- module Modelleren besproken wordt. De (medische) fysica heeft bloedvaten gemodelleerd via een elektrische schakeling; het zonnestelsel model in het Eisinga planetarium (bedoeld om stadgenoten te laten zien samenstanden van planeten of verschijnen van een komeet voorspelbaar zijn en geen bedreiging vormen).

Fysisch – fysiek model



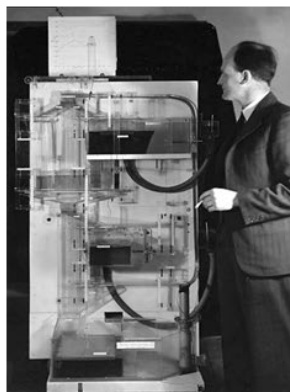
Figuur 2.3 Model van de bloedvaten

Universiteit Twente.



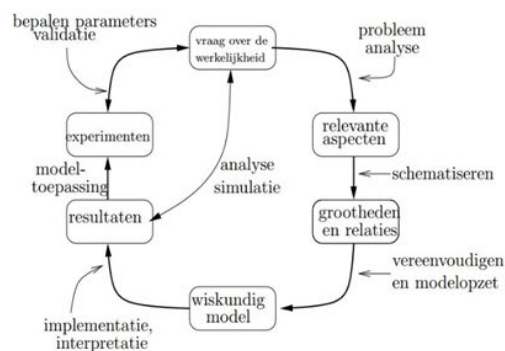
Wetropolis.nl

Economisch model: geldstromen met water



Figuur 2.2 De MONIAC - een model voor geldstromen, gemaakt door Bill Phillips

Universiteit Twente.



Wetropolis.nl

Een fysiek economisch model is de MONIAC, een apparaat dat gemaakt is door Bill Phillips. Hij bouwde het tijdens zijn eigen studie economie om te begrijpen hoe geldstromen lopen en hij is die later verder te onderzoeken.

Het diagram geeft een overzicht van de samenhang tussen experimenten, waarnemen en modelleren.

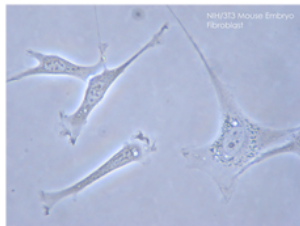
Biologische modellen: persoonlijke noot

Brein poelslak → werking neuronen

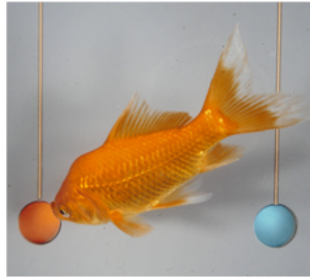
Brein rat (hippocampus) → geheugen

Cellweek bindweefsel → tumorvorming

Visueel systeem goudvis → kleurenzien



Universiteit Twente.



Wetropolis.nl

In mijn eigen opleiding biologie heb ik verschillende soorten onderzoek gedaan, die goedbeschouwd ook modelsystemen zijn. Medisch onderzoek zoekt vaak vervanging van de mens, in de vorm van dieren of cellen om biologische processen of ziektebeelden te kunnen onderzoeken. Een (orgaan van) een dier vormt een modelsysteem voor een situatie bij de mens.

Ik heb gewerkt met het brein van de Poelslak (*Lymnaea stagnalis*), die als model gebruikt werd om afgifte van neurotransmitters en hormonen door zenuwcellen te kunnen onderzoeken. Ik heb het ingezet om de bijwerking van celdelingsremmers (cytostatica) te onderzoeken, waarbij de effecten in slakkenneuronen een verklaring gaven voor uitvalsverschijnselen in zenuwbanen van kankerpatiënten.

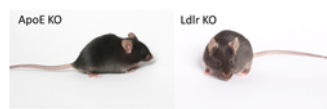
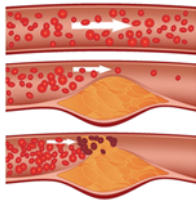
Ratten en muizen zijn verreweg het meest ingezet als proefdier voor allerlei menselijke organen en ziektebeelden. Onderzoek aan de werking van het geheugen gebeurt vaak met het brein van de rat, waarbij de hippocampus een belangrijk gebied is. Ik heb gekeken hoe signaalstoffen zichtbaar gemaakt kunnen worden, die gebruikt worden bij het vormen van herinneringen.

Onderzoek naar het ontstaan van tumoren wordt vaak gedaan met cellweek. Ik heb gekeken naar manieren om cellen door het inbrengen van stukjes DNA in een tumorcel te veranderen, waardoor ze in cellweek blijven doorgroeien. Het doel was om menselijke monocyt (een type afweercellen) te kunnen (blijven) kweken, zonder ze iedere keer opnieuw uit donoren te halen. Zo'n cellweek vormt een model waarmee gekeken kan worden hoe medicijnen of signaalstoffen de groei en werking van dergelijke cellen veranderen om op die manier dit soort cellen te kunnen programmeren om zelf tumoren in het lichaam op te sporen en te vernietigen.

Mijn promotieproject ging over de manier waarop het visuele systeem (ogen en hersenen) in staat zijn om kleuren te zien, en hoe medicijnen dit proces kunnen verstoren. Hiervoor heb ik gewerkt met de goudvis als proefdier en modelsysteem. Bij zoogdieren is kleurenzien een zeldzaamheid; mensen en apen kunnen dit prima, de meeste andere niet. Veel soorten vogels, vissen en insecten zien uitstekend kleuren, zelfs inclusief het ultraviolet licht dat wij mensen niet kunnen waarnemen. Als je geen onderzoek kunt of wilt doen aan mensen of apen, moet je gebruik maken van andere soorten. De goudvis is dan heel geschikt omdat die een uitstekend kleurzienvermogen heeft. Er zijn belangrijke verschillen, maar de verwerking van de kleur-informatie in netvlies en hersenen blijkt sterk overeen te komen. Ik heb laten zien dat stoffen die bij de mens en de aap kleurenblindheid veroorzaken, dit ook doen bij de goudvis. Verder kon ik aantonen dat dit gebeurde omdat de stoffen in het netvlies werken, en daar het onderscheid in de kleursignalen die naar de hersenen gestuurd

worden verhinderd. De hersenen krijgen de informatie uit de (kleurgevoelige) kegeltjes nog goed binnen, maar kunnen niet (meer) onderscheiden of een signaal van een rood of een groen-gevoelig kegeltje afkomstig is. Ook hier: het visueel systeem van de goudvis fungeert als model voor de mens.

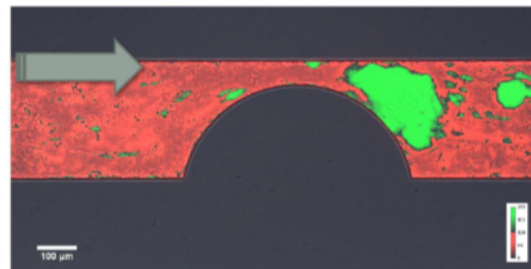
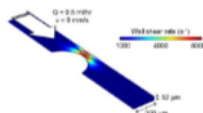
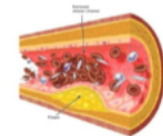
Vernauwde bloedvaten



Figuur 2.4 Muizenstammen die gebruikt worden als model voor atherosclerose (verstopping van bloedvaten). Bron: <https://www.jax.org/news-and-insights/jax-blog/2013/november/which-jax-mouse-model-is-best-for-atherosclerosis-studies-apoe-or-ldlr-knock>

- Model: genetisch verschillende muizen

- Model: bloedvaatjes nagemaakt in orgaan op chip
- Stroomversnelling: turbulentie → stolling



Universiteit Twente.

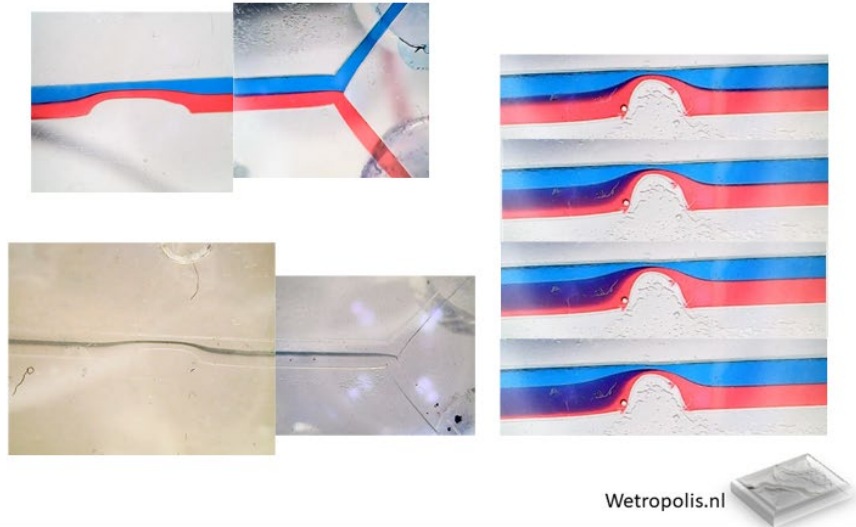
Een iets technischer insteek heeft het mini Laboratorium op Chip, waarin tegenwoordig organen van de mens worden nagemaakt. Levende menselijke cellen, bijvoorbeeld uit lever, hersenen of bloedvaten, worden in zo'n Orgaan op Chip gekweekt. De cellen gedragen zich alsof ze echt in de lever, hersenen of bloedvaten groeien. Op die manier kan onderzoek naar functie en falen van het orgaan worden uitgevoerd. De mooie ontwikkeling is dat de cellen afkomstig kunnen zijn van de patiënt zelf, waardoor het (zieke) orgaan wordt nagemaakt in een Orgaan op Chip. Zonder dat de patiënt hier iets van merkt, kunnen talrijke medicijnen getest worden en het best werkende medicijn kan dan ingezet worden om de patiënt te behandelen. In de huidige situatie moeten patiënten soms meerdere medicijnen na elkaar uitproberen, en telkens de dosis aanpassen. Dat kost veel tijd en geduld. Ook bijwerkingen kunnen al veel sneller opgespoord worden. Ook hier vormt een Orgaan op Chip een model voor het orgaan van een echt mens. Dat is vele malen beter dan onderzoek doen aan muizen, omdat het direct toepasbaar is voor de patiënt zelf. Op deze manier komt gepersonaliseerde geneeskunde in beeld.

Voor het onderwijs is Lab on a Chip een mooie manier om leerlingen kennis te laten maken met onderzoek. Ze kunnen met deze technieken ook zelf (modellen van) Orgaan op Chip maken, om bijvoorbeeld na te gaan welke effect een vernauwing in een kanaal (bloedvat) heeft op de stroming van vloeistof (bloed). Het model van de Orgaan op Chip bevat geen cellen, maar geeft wel een goed beeld van de processen die in zo'n bloedvat optreden.

Organen op chip

Model van een model:

- Geen cellen
- Flowpatroon



In de Fysische Geografie wordt veel onderzoek gedaan naar water(stroming) op en in het aardoppervlak. In Nederland zijn rivieren en de zee de krachten die het landschap vormen. Hoe het water sediment verplaatst en afzet is van invloed op het landschap en de loop van het water. Nederlanders zijn al eeuwenlang in de weer om grip te krijgen op dat water, en bouwen polders en dijken. Het nabootsen van rivieren in een zandbak of eb en vloed in een grote kantelende bak, de Metronoom, zijn nodig om na te gaan hoe een rivier of kwelder in de loop van de tijd verandert. Afzetting en verplaatsing zien we terug in het landschap. Het werken met modellen is nodig om te experimenteren, voorspellingen te kunnen doen en uiteindelijk te bepalen welke maatregelen er nodig zijn om (bijvoorbeeld) te voorkomen dat een rivier teveel verplaatst of een kustgebied wegspoelt. Met de meetgegevens van satellieten en uit het veld kunnen rekenmodellen gemaakt worden om nauwkeuriger voorspellingen te doen en besluiten te kunnen nemen.

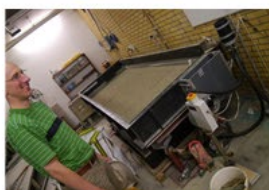
Fysische geografie



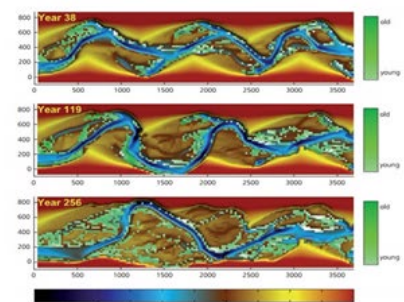
Figuur 2.7. Meanders van de rivier Allier in Frankrijk: een schematische tekening om het ontstaan van meanders uit te leggen (afbeelding uit URL 12).



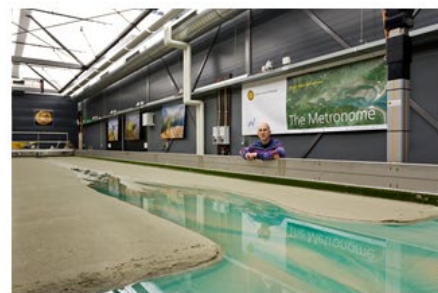
Figuur 2.8. Sediment in een flesje water: welke hoek kaner maximaal ontstaan?



Figuur 2.6. Professor 'Zand en water' Maarten Kleinhans met een kantelende waterbak (foto auteurs).



Numeriek model meanderende rivier met vegetatie (Mijler van Oosthuis).
Figuur 2.6. Drie tijdstappen in een numeriek model van een stromende rivier: je kunt zoveel tijd in het echt niet afwachten.



Waterloopbos: verzameling grote modellen

Schaalmodel splitsing Rijn-IJssel bij Westervoort (1957)

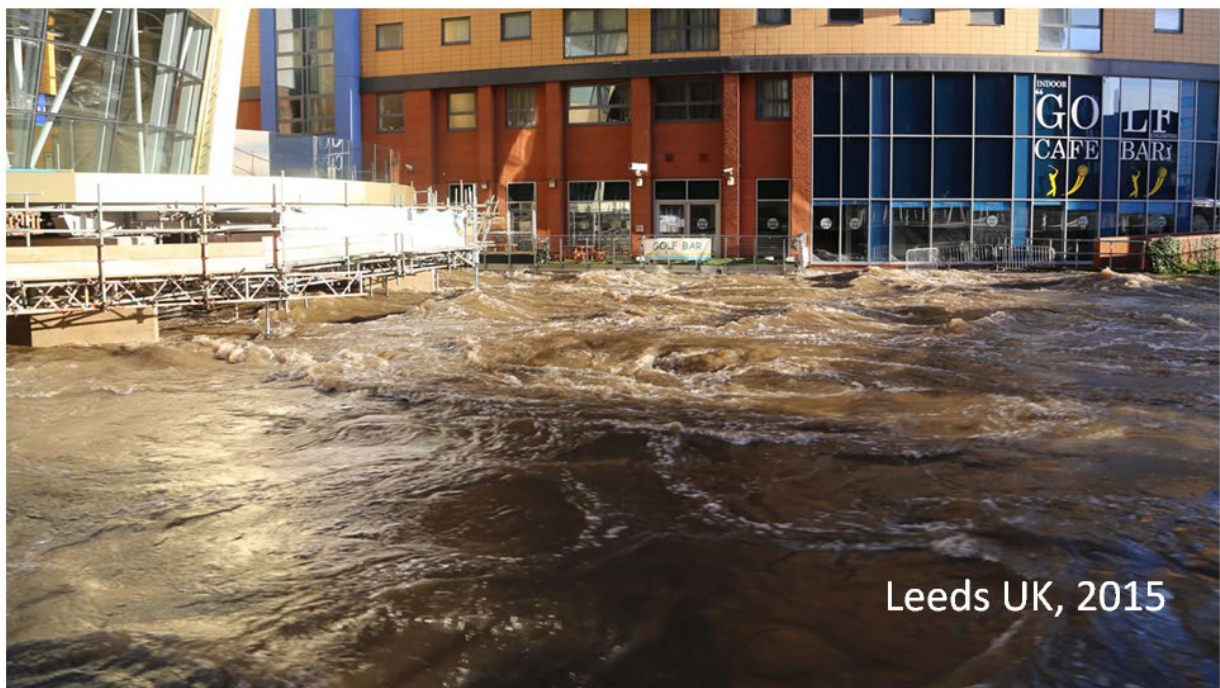
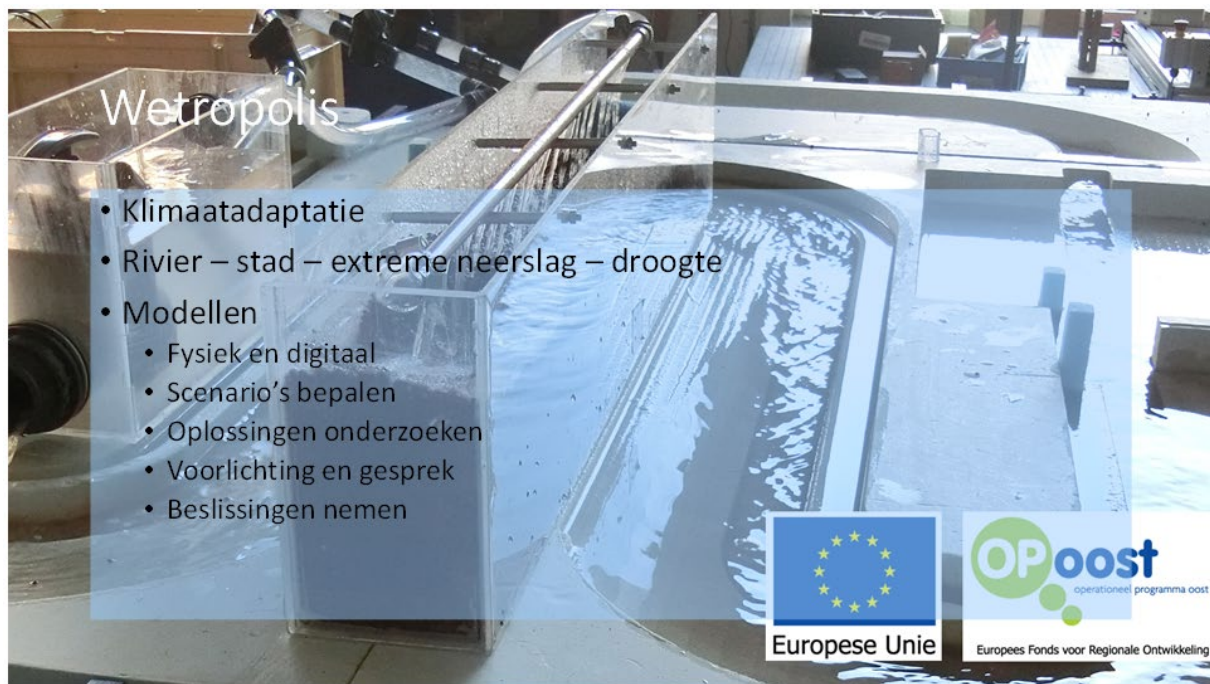
<http://waterloopbos.net/geplaatstemodelen>



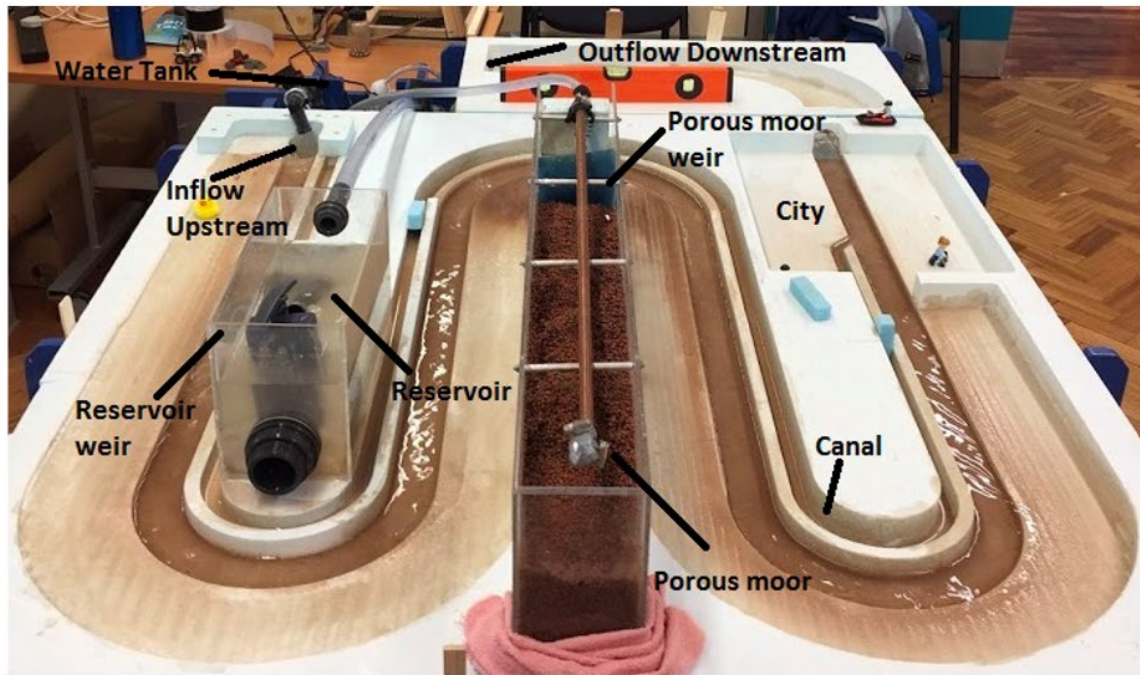
Universiteit Twente.

Wetropolis.nl

In de twintigste eeuw werden tientallen grote schaalmodellen van waterbouwkundige werken gebouwd in de Noordoostpolder. Nu is dat het Waterloopbos, waar de (restanten en deels gerestaureerde) modellen nog te bekijken zijn. De enorme betonnen golfbak is door Deltares bij Delft opnieuw aangelegd, maar dan een flink stuk groter. In dit model onderzoekt men de sterkte van dijken en zeeweringen op realistische schaal. In de tijd dat computermodellen niet of nauwelijks gemaakt konden worden waren ze belangrijk. Met het uiterst complexe gedrag van water is het nog steeds onmogelijk precies te berekenen wat er gaat gebeuren in elke situatie. Experimentele modellen blijven noodzakelijk, om te kunnen gebruiken voor het nemen van de juiste beslissingen. We ervaren in deze tijd (eind 2023) van overvloedige regenval en hoge waterstanden hoe belangrijk het is dat die modellen er zijn, en dat ze gebruikt zijn om rivieren ruimte te geven en robuuste dijken te ontwerpen.

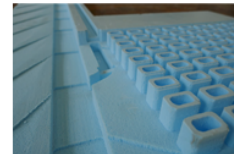


Wetropolis (natte stad) is bedacht in 2015 als antwoord op een plotselinge overstroming van de binnenstad van Leeds in het Verenigd Koninkrijk. Een combinatie van numerieke modellen, visualisatie en een nauwkeurig fysiek model moest antwoord geven op de vragen: wat is er aan de hand, en wat kunnen we doen om overstroming te voorkomen? Het fysieke Wetropolis model werd gebouwd in Enschede (WOW lab) en diende in Leeds om te laten zien hoe de overstroming kon ontstaan. In het model werden verschillende aanpassingen ingebouwd om de rivier te kunnen beïnvloeden. Het model werd ingezet als onderzoekmodel, maar kon ook als demonstratie dienen. Het visualiseren van de maatregelen en het effect daarvan, kon gebruikt worden voor besluitvorming door waterbeheerders en bestuurders. Voor bewoners was het een manier om inzicht te krijgen in de problematiek, en te ontdekken welke maatregelen nodig waren en welk effect die zouden hebben op hun woonomgeving.



Hoe maak je bruikbare modellen?

- Kaarten: toegang en bewerkbaarheid
- Beschikbare apparatuur en vaardigheden
- Technieken
 - 3D printen: erg tijdrovend, kleine modelletjes te doen
 - Frezen en afgietsels maken, gipsmodellen: mooi maar lastig
 - Lasersnijden polystyreen, hout, karton: werkt prima
 - Handsnijden polystyreen: makkelijk en snel uitvoerbaar

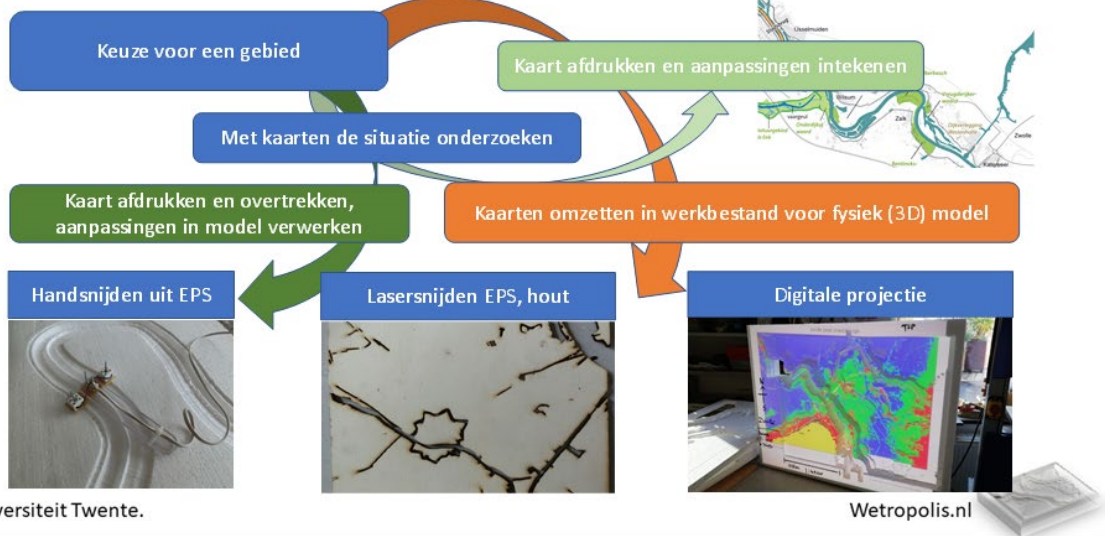


Universiteit Twente.

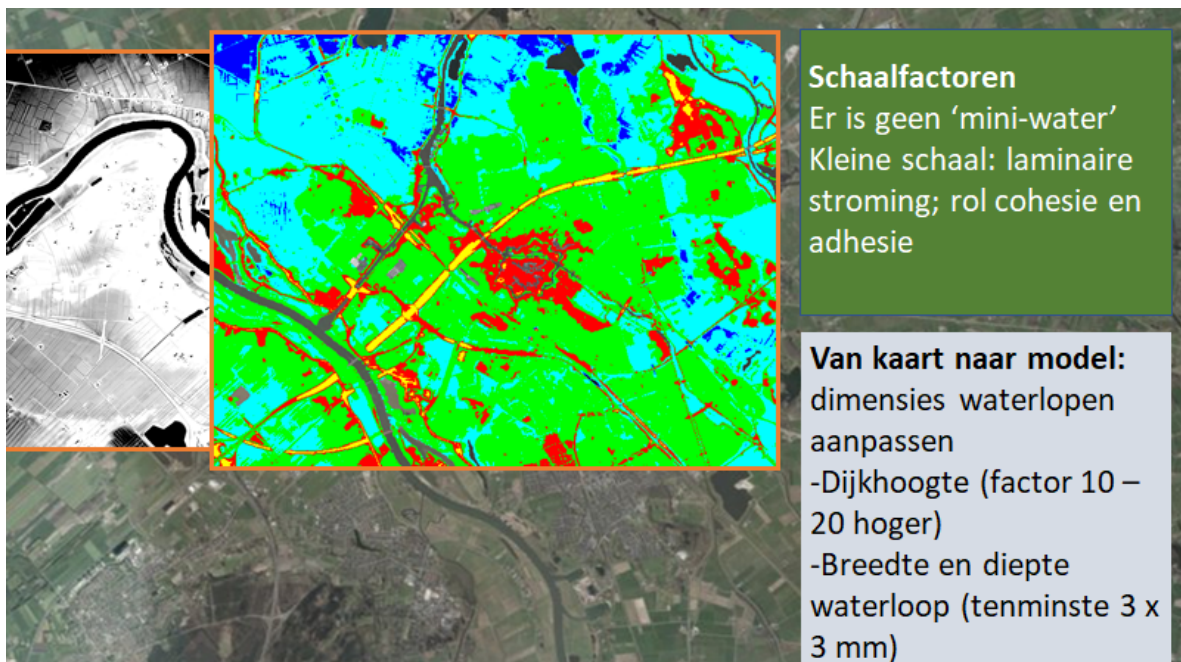
Wetropolis.nl

De werkwijze van Wetropolis hebben we ingezet om methoden te ontwikkelen voor het onderwijs. Van kaart naar fysiek model, waarmee leerlingen zelf de situatie in hun woonomgeving konden bouwen. De waterhuishouding bij Zwolle (een samenloop van drie rivieren, uiterwaarden en laaggelegen polders) is ingewikkeld. Het vergroten van de waterveiligheid vraagt om ingrepen waarvan niet precies bekend is welk effect ze hebben. Het fysieke (schaal)model is door leerlingen in het kader van hun profielwerkstuk gemaakt, om daarmee te onderzoeken en te kunnen besluiten welke ingrepen zinvol zijn.

Routes voor gebruik op school



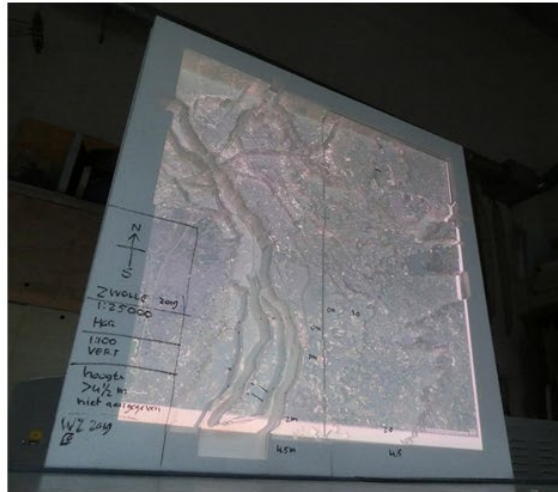
Het bouwen van dergelijke fysieke modellen vraagt aanpassingen om van kaart naar (fysiek) model te gaan. Allereerst: de schaling. Een rivier op een verkleinde kaart wordt zo smal en ondiep dat het water niet realistisch meer kan stromen (turbulente stroming wordt laminair). Dijken zijn te smal en te laag. Dus handmatige aanpassing is nodig om te bereiken dat een waterloop tenminste 3 mm breed en 3 mm diep is. In die situatie kan water zich gedragen als op het aardoppervlak. Anders zijn cohesie en adhesie zo dominant, dat water niet wegloopt. Dijken zijn een factor 20 hoger gemaakt; een waterloop verbreed tot minstens 3 mm.



Voor het maken van het model werd gekozen voor polystyreen schuim (EPS, piepschuim), dat goed bewerkt kan worden met een hete draad schuimsnijder. De preciezere omzetting van kaart naar fysiek model gebeurde met een lasersnijder. Het landschap werd verdeeld in plakjes van 1 m dikte, die in 10 mm schuim werd uitgesneden. Stapelen van deze laagjes levert een 3D landschapmodel op.

Overdreven dijkhoogte en breedte van de waterloop zorgt voor een voldoende realistisch en met water bruikbaar model.

Digitale projectie: nieuwe dimensie!



Universiteit Twente.

Wetropolis.nl

Een projectie hierop van de satellietkaart geeft een zeer overtuigend beeld van de hoogte-situatie in het landschap. Bekijken hiervan geeft ook een duidelijk beeld hoe water zich in het landschap kan verspreiden door het laagste punt te zoeken. Het model laat zien waar het water terecht komt en wat de risico's zijn.



Universiteit Twente.

Wetropolis.nl

Een tweede model met ingrepen (extra overloopgebieden) liet zien dat deze inderdaad konden voorkomen dat de Zwolse binnenstad blank komt te staan.

Het originele Wetropolis model is aangepast en kan door iedereen met eenvoudige technieken gemaakt worden. Op die manier kunnen ook leerlingen een eigen model bouwen en er mee experimenteren.

Schoolmodel Wetropolis



Universiteit Twente.

Wetropolis.nl

Met het model en de ingrepen die gedaan kunnen worden in de woonomgeving kunnen bewoners ook betrokken worden bij besluitvorming. Het geeft inzicht in de situatie én het laat zien welke maatregelen mensen kunnen nemen en welk effect die hebben. Hiermee draagt het maken en experimenteren met modellen bij aan begrip en besluitvorming.

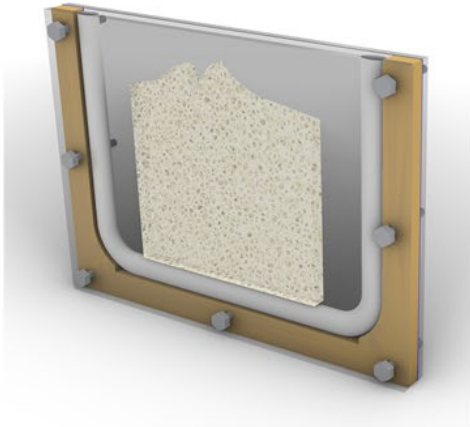


Universiteit Twente.

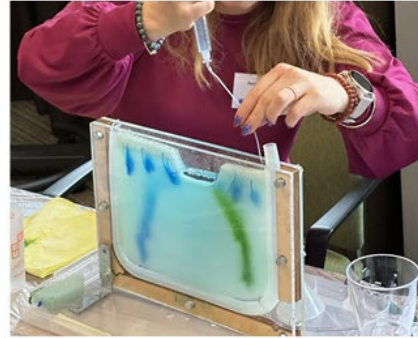
opolis.nl

Water onder het aardoppervlak is moeilijk te zien. Met Hele-Shaw modellen is het mogelijk hier toch een beeld van te krijgen. De workshop Water in de ondergrond gaat hier dieper op in.

Hele-Shaw cellen: in workshop



Universiteit Twente.



Wetropolis.nl



Afsluiting

Het maken van en werken met fysieke modellen vormt de verbinding tussen experimenteren (wat gebeurt er), theorie (het waarom en begripvorming) en besluitvorming (wat werkt en wat kunnen we doen). Modelleren wordt op die manier een brede en rijke activiteit in de les en daarbuiten.