Handboek natuurkundedidactiek | hoofdstuk 5: Vaardigheidsontwikkeling

**5.5 Modelleren**

**Cursusactiviteit | Draaiboek**

**Modelleren van dynamische processen**

**1 Tijdschema**

|  |  |
| --- | --- |
| **Programmaonderdeel** | **Tijdsduur** |
| InleidingVoorbeeld: radioactief vervalModellen ontwerpen (groepswerk)Modellen presenteren Afsluiting | 10’10’45’45’10’ |

# 2 Programma

**Inleiding**

**Voorkennis** – Inventarisatie voorkennis werken met computermodellen: applets, Coach6 en eventueel andere modelleersoftware (zoals Powersim).

**Doel** – Oriëntatie op computerondersteund modelleren met Coach met een aanzet tot discussie over sterke en zwakke punten van modelleren in de vorm van een tekstmodel en een grafisch model.

**Dynamische processen** – Voorbeelden: radioactief verval, kracht en beweging (ook snelheids- en plaatsafhankelijke krachten – luchtwrijvingskracht, veer­kracht), warmte en temperatuur. Algemeen kenmerk: processen waarbij een grootheid in de loop van de tijd verandert onder invloed van andere grootheden en zichzelf. Of, wiskundig: processen beschreven door (een stelsel van) differentiaalvergelijking(en). Differentiaalvergelijkingen zijn voor leerlingen niet oplosbaar… Voorbeeld: d*N*/d*t* = –*λ*·*N* (radioactief verval).

**Modelleren** – Deze processen zichtbaar maken en onderzoeken is mogelijk met een numeriek computermodel: in formules (rekenregels) of grafisch. Variaties: leerlingen werken met een gegeven model (havo) tot leerlingen gaan zelf modelleren (vwo).

**Modelleren in het curriculum** – Uitbreiding van scala aan probleemsituaties (bijvoorbeeld: moeder-dochterverval bij radioactiviteit, variabele krachten bij mechanica, temperatuur­afhankelijke warmtetoevoer en -afgifte – of, met andere woorden: meer realistische probleemsituaties), beeldvorming van gebruik computermodellen in wetenschap en techniek voor verklaren en voorspellen (bijvoorbeeld klimaatonderzoek).

**Numeriek computermodel** – Proces opdelen in (kleine) tijdstappen, rekenen per tijdstap met constant veronderstelde grootheden, rekenresultaten vormen invoer voor volgende tijdstap.

**Modelleercompetentie** – Modelleerprocedure: proces > fysisch model > computermodel – ontwerpen > bouwen > testen in cycli van toenemende complexiteit – (eerdere) hypotheses controleren (kwalitatief modelgedrag, kwantitatief modelresultaat).

# Voorbeeld: radioactief verval

**Proces** – Aantal instabiele kernen *N* neemt af door radioactief verval, waarbij de activiteit *A* wordt bepaald door het nog aanwezige aantal instabiele kernen en de vervalconstante *λ* (of halveringstijd *t*1/2).

**Fysisch model** – Definitie activiteit: *A* = –Δ*N*/Δ*t* = *λ*·*N* met *λ* = (ln2)/*t*1/2 > differentiaal­vergelijking: d*N*/d*t* = –*λ*·*N*. Grootheid *N* (aantal instabiele kernen) verandert in de loop van de tijd, waarbij de verandering d*N* in de grootheid *N* afhangt van andere grootheden en zichzelf (d*N* = –*λ*·*N*·d*t*).

**Computermodel** – Applet, tekstmodel Coach6 en grafisch model Coach6.

# Demonstraties

• Applet

Zwakke punten: beperkte instelbaarheid > beperkte mogelijkheden voor onderzoek door leerlingen, niet aanpasbaar aan nieuwe vraagstellingen, zelf applets maken is niet eenvoudig…

• Coach6\_T tekstmodel

Basisidee: rekenregels en startwaarden. Model in tekstmodus van Coach als demonstratie bouwen en testen, of gegeven model testen.

Handelingen: rekenregels en startwaarden intypen (*N* = 1000, *t*1/2 = 40, looptijd 100, tijdstap 1), diagrammen plaatsen (*N*,*t*- en *A*,*t*-diagram), model runnen, looptijd aanpassen, model controleren (kwalitatief, kwantitatief), tijdstap aanpassen (grotere nauwkeurigheid).

|  |  |
| --- | --- |
| **rekenregels** | **startwaarden** |
| 0 | *t* = *t* + d*t* | *t* = 0 |
| 1 | d*N* = –*λ* \* *N* \* d*t* | d*t* = 1 |
| 2 | *N* = *N* + d*N* | *λ* = 0,0173 (afgeleid van *t*1/2 = 40) |
|  |  | *N* = 1000 |

Rekenvoorbeeld

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **grootheid/stap** | **0** | **1** | **2** |
| 0 | t | 0 | 0 + 1 = 1 | 1 + 1 = 2 |
| 1 | dN |  | –0,0173\*1000\*1 = –17,3 | –0,0173\*982,7\*1 = – 17,0 |
| 2 | N | 1000 | 1000 – 17,3 = 982,7 | 982,7 – 17,0 = 965,7 |

Vergelijkbare opzet van rekenregels voor modelleren kracht en beweging, warmte en temperatuur.

Sterke punten: basismodellen zijn vrij eenvoudig (ook bij kracht en beweging, warmte en temperatuur), syntax rekenregels is niet ingewikkeld, model is aan te passen en uit te breiden.

Zwakke punten: analytisch vermogen nodig bij zelf opstellen van rekenregels, model van complex verschijnsel wordt al snel onoverzichtelijk…

• Coach6\_G grafisch model

Basisidee: voorraadgrootheid met instroom- en/of uitstroomgrootheid. Model in grafische modus van Coach bouwen en testen, of gegeven model testen.

Basismodel: voorraadgrootheid *N* (aantal instabiele kernen) met uitstroom d*N* bepaald door activiteit *A* (afhankelijk van *N* en vervalconstante *λ*, met *λ* = (ln2)/*t*1/2).

Relatie basismodel-differentiaalvergelijking: d*N* = –*A*·d*t* (met *A* = *λ*·*N* en *λ* = (ln2)/*t*1/2) > *N* is voorraadgrootheid (want model berekent verandering d*N* daarin) en *A* is uitstroomgrootheid (want *A* bepaalt d*N*: d*N* = *A*·dt – minteken verwerkt door keuze voor uitstroomgrootheid, vermenigvuldigen met d*t* bij in/uitstroom­grootheid gebeurt automatisch door software).

Handelingen: model tekenen, grootheden en relaties definiëren (*N* = 1000, *t*1/2 = 40, looptijd 100, tijdstap 1), diagrammen plaatsen (*N*,*t*- en *A*,*t*-diagram), model runnen, looptijd aanpassen, model controleren (kwalitatief, kwantitatief), tijdstap aanpassen (grotere nauwkeurigheid).

Sterke punten: basismodellen zijn vrij eenvoudig, relatief weinig wiskundige voorkennis vereist, integratieformalisme en tijdstap zijn goed instelbaar (bij meer geavanceerd gebruik), visualisering van processen maakt meer complexe modellen mogelijk. Voorbeelden van meer complexe modellen: afdalende wielrenner en broeikaseffect in aarde met atmosfeer.

Zwakke punten: syntax is in eerste instantie wat lastig voor leerlingen (vertaling van fysisch model naar voorraad- en in/uitstroomgrootheden), maar systematiek is aan te leren.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **differentiaalvergelijking** | **voorraadgrootheid** | **in/uitstroomgrootheid** |
| radioactief verval:*A* = –d*N*/d*t* > d*N* = –*A*·d*t*  | N | A |
| kracht en beweging:*a* = d*v*/d*t* > d*v* = *a*·d*t**v* = d*s*/d*t* > d*s* = *v*·d*t* | *v**s* | *a**v* |
| warmte en temperatuur:*P* = d*E*/d*t* > d*E* = *P*·d*t* | E | P |

# Modellen ontwerpen

# Groepswerk: uitvoeren modelleeropdrachten. Zie werkblad met modelleer­opdrachten. Vrije keuze van opdracht(en) en soort model (tekstmodel of grafisch model). Probeer bij vrije keuze variatie te stimuleren.

# Aandachtspunt: bij elk onderwerp eerst het basismodel (opdracht 1, 3 of 9), daarna het basismodel uitbreiden in de andere opdrachten.

Aandachtspunten trilling (opdracht 6): tijdstap vrij klein kiezen, anders ontstaat ‘opslingering’ door numerieke benadering.

# Modellen presenteren

Groepswerk: presentatie van in het vorige onderdeel gebouwde modellen, zo mogelijk inclusief modelresultaten onderzoek. Probeer tijdens het begeleiden tijdens het vorige programmaonderdeel geschikte modellen voor presentaties te selecteren (inventieve oplossingen, modellen met gebreken die tijdens de presentatie door interactie nog te verhelpen zijn).

# Afsluiting

**Relatie fysisch model-computermodel** – Keuze voorraad- en in/uitstroom­grootheid via differentiaalvergelijking (voorkennis).

**Basismodellen** – Standaardmodellen voor radioactiviteit, kracht en beweging, warmte en temperatuur > aanpassing en uitbreiding naar meer complexe modellen (zo mogelijk terugverwijzen naar de presentaties).

**Discussie** – Sterke en zwakke punten van (grafisch) modelleren… Sterk punt van Coach: modelresultaten zijn te vergelijken met ingevoerde meetresultaten (waaronder videometen).

**Lesmateriaal** – Lesactiviteiten op de handboekwebsite. Informatie en lesacti­viteiten op de CMA-website [www.cma-science.nl](http://www.cma-science.nl). Modules op de handboek­website met gebruik van de modelleersoftware Powersim zijn te ‘vertalen’ naar Coach (vergelijk bijvoorbeeld de Powersim-module *Een sportieve beweging* met Coach in de modelleeropdrachten 3, 4 en 5, en de Powersim-modules *Broeikas Aarde* en *Klimaatmodellen* met Coach in de modelleeropdrachten 9 en 10).

# 3 Hulpmiddelen

• Computerlokaal met werkstations voor groepswerk en centraal werkstation met beamer voor demonstraties/presentaties inclusief internetaansluiting (applets). NB: Ruim van tevoren internetverbinding en de werking van Coach op de werkstations controleren.

• PowerPoint-presentatie (zie handboekwebsite).

• Voorbeeldmodellen radioactief verval in tekstmodus en grafische modus Coach6 (zo nodig, voor de demonstraties van modelleren). Eventueel niet alleen basismodel\_RA, maar ook basismodel\_KB en basismodel\_WT (zie handboek­website).

• Werkblad met modelleeropdrachten (zie handboekwebsite).