

Het PBL-normenkader voor modellen

Vragenlijst, Toelichting en Lexicon

5



10

15

20

25

30

© Planbureau voor de Leefomgeving

Bilthoven/Den Haag

35

2009/2010

INHOUDSOPGAVE

	VOORWOORD	5
	SAMENVATTING	7
1	OPZET EN GEBRUIK VAN HET NORMENKADER	9
5	1.1 Het normenkader als praktisch instrument voor de kwaliteitszorg rond modellen 9	
	1.2 Gebruik van het normenkader 11	
	1.3 Verantwoordelijkheden en bevoegdheden 13	
2	TOELICHTING OP DE VRAGEN IN HET NORMENKADER	15
10	2.1 Aansturing van ontwikkeling, beheer en gebruik 15	
	2.2 Probleembeschrijving 15	
	2.3 Conceptueel en wiskundig model 16	
	2.4 Computermodel 17	
	2.5 Toepassingsmodel 18	
15	2.6 Modelgebruik 19	
	2.7 Modelverbetering 19	
	APPENDIX 1: HET PBL-NORMENKADER	21
	APPENDIX 2: LEXICON	30
20		

VOORWOORD

Als onderdeel van het project ‘Herziening Informatievoorziening PBL (HIPBL)’ heeft de werkgroep ‘Modellen’ in 2009 gewerkt aan het PBL-normenkader voor modellen. Onderhavige rapportage bevat het concept van dit normenkader met een bijbehorend woordenboek. 5 Eind 2009 en begin 2010 is het concept normenkader getoetst aan de hand van een viertal casussen. In het voorliggend nieuwe concept zijn de bevindingen van deze casussen verwerkt.

De werkgroep bestaat uit de volgende personen: Aaldrik Tiktak, Arthur Beusen, Rob Loke, 10 Jasper van Vliet, Martine de Vos en Peter Cleij.

Aaldrik Tiktak
Projectleider Data en Modellen binnen HIPBL

SAMENVATTING

5 *Het PBL-normenkader voor modellen maakt inzichtelijk of noodzakelijke procedures rond ontwikkeling, beheer en gebruik van modellen correct ingevuld en doorlopen worden en is zodoende een praktisch regelgevend instrument voor kwaliteitszorg rond modellen. Het beoordeelt modellen op een uniforme manier aan de hand van vastgestelde normen die aan alle modellen gesteld zouden moeten worden.*

10 *De bij een model betrokken modelleers, softwareontwikkelaars en gebruikers vullen de vragenlijst behorende bij het normenkader in. Bij het niet voldoen aan normen uit het normenkader stellen betrokkenen in samenspraak met de projectleider(s) en het sectorhoofd een modelverbeterplan op, dat gebruikt wordt bij de planning van het project waarbinnen het model ontwikkeld en beheerd wordt. Doel is om binnen één jaar na registratie van een model op de PBL-modellenlijst te voldoen aan alle normen uit het normenkader. Aanvullend op zelfbeoordelingen vinden eens per drie jaar procesaudits plaats waarin onafhankelijke interne auditeurs het normenkader gebruiken om een model te beoordelen.*

1 OPZET EN GEBRUIK VAN HET NORMENKADER

Met de introductie van het PBL-normenkader voor modellen geeft PBL invulling aan de wens om structureel aandacht te besteden aan kwaliteitszorg rond modellen. Deze wens is geuit in diverse externe (wetenschappelijke) reviews. Ook de toenmalige Raad van Advies van het MNP heeft in 2007 aangegeven veel belang te hechten aan de realisatie van een algemene systematiek voor modevaluatie die onlosmakelijk onderdeel zou moeten uitmaken van de modelleercyclus. Dit geldt ook voor het RPB.

1.1 Het normenkader als praktisch instrument voor de kwaliteitszorg rond modellen

10 *Het normenkader vult noodzakelijke procedures in rond ontwikkeling, beheer en gebruik van modellen*

De procedures rond ontwikkeling en gebruik van modellen zijn ontleend aan de modelleercyclus; zie beneden. De procedures rond beheer zijn ontleend aan de gangbare werkwijze binnen PBL. Gezamenlijk dekken deze procedures alle zaken rond modellen af.

15 Het normenkader spreekt zich nadrukkelijk niet uit over wetenschappelijk inhoudelijke aspecten van individuele modellen. Deze aspecten worden getoetst middels de volgende activiteiten: (i) wetenschappelijke review en (ii) publicatie van modellen en/of modelresultaten in wetenschappelijke tijdschriften. Wel vraagt het normenkader (procesmatig) expliciet aandacht voor uitvoering van deze activiteiten.

20 *Het normenkader volgt de modelleercyclus*

Het normenkader sluit aan bij de verschillende fasen uit de modelleercyclus (*figuur 1*). De cyclus start met het vaststellen van de probleemdefinitie waaruit een set van eisen aan het te ontwikkelen model voortvloeit. Vervolgens worden het bestudeerde systeem en zijn essentiële aspecten conceptueel in kaart gebracht. Het zodanig geformuleerde conceptuele model wordt geformaliseerd tot wiskundig model dat softwarematig wordt geïmplementeerd als computermodel. Door het computermodel te parametriseren (model set-up in *figuur 1*), te kalibreren en te koppelen aan databestanden ontstaat een toepassingsmodel. Het toepassingsmodel kan gebruikt worden in diverse toepassingen binnen een toepassingsgebied door parameters en invoerdata te laten variëren. Bevindingen van de gebruikers van de modelresultaten die voortkomen uit deze toepassingen kunnen leiden tot verbeterpunten, waarmee de cyclus gesloten wordt.

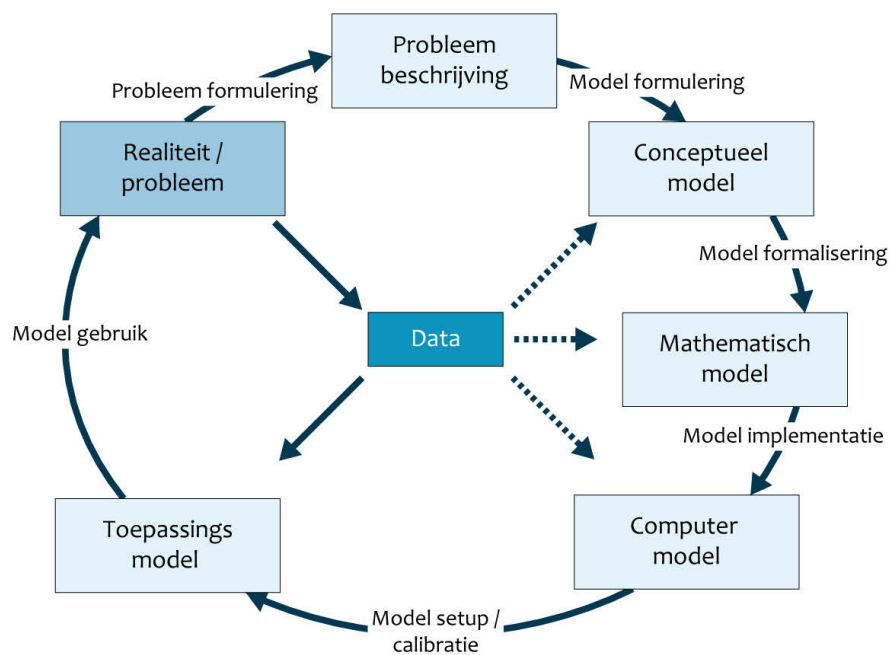
Het normenkader vraagt aandacht voor het uitvoeren van evaluatie

Het normenkader geeft inzicht in de vraag of tijdens het doorlopen van de modelleercyclus voldoende aandacht wordt besteed aan evaluatie. Evaluatie zal zich tijdens iedere fase in de modelleercyclus afspelen en in *figuur 2* worden opnieuw de verschillende modelvormen met de bijbehorende evaluatieactiviteiten weergegeven. *Figuur 2* benadrukt het procesmatige karakter en maakt net als *figuur 1* duidelijk dat evaluatie geen ‘voor-eens-en-altijd’ test aan het einde van de modelleercyclus is, maar een doorlopend proces, dat tot een absoluut oordeel

over de geschiktheid van een model leidt. Meer specifiek komt modevaluatie in grote lijnen neer op beantwoording van de volgende vragen:

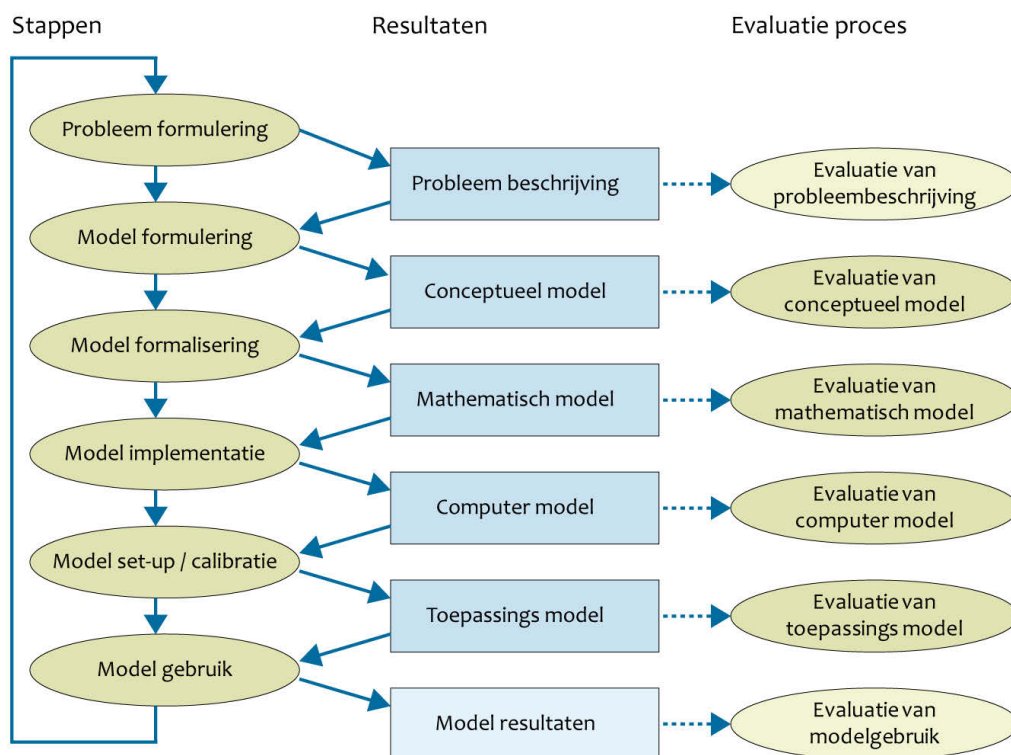
- 5
- welke rol is er weggelegd voor modellering bij de geformuleerde probleemdefinitie?
 - in welke mate is het model gebaseerd op algemeen geaccepteerde wetenschappelijke inzichten en rekenmethoden?
 - beantwoordt het model aan zijn doel en gestelde taken?
 - Is het gedrag van het model in overeenstemming met waarnemingen of met algemene kennis over het systeemgedrag?

Elementen uit de modelleercyclus



10 *Figuur 1: Vereenvoudigde weergave van de modelleercyclus, met aanduiding van de verschillende modelvormen en modelleringsactiviteiten.*

Alternatieve weergave van het modellerproces



I
 Figuur 2: Alternatieve weergave van de modelleercyclus met aanduiding van de verschillende modelleringsactiviteiten, modelvormen en evaluatieactiviteiten.

1.2 Gebruik van het normenkader

5 Modellen die structureel gebruikt worden

Het normenkader richt zich op alle modellen die PBL structureel inzet in haar beleidsanalyses en die aangemeld zijn op de PBL modellenlijst. PBL gebruikt ook ad-hoc rekeninstrumenten die incidenteel worden gebruikt. Het normenkader is wel bruikbaar voor deze instrumenten maar de kwaliteitszorg hiervoor dient separaat te worden georganiseerd, bij voorkeur in toepassingsprojecten.

Ook externe modellen

Het kan gaan om modellen die geheel binnen PBL ontwikkeld en beheerd worden, om modellen waarbij PBL als partner (mede-eigenaar) deelneemt aan ontwikkeling en beheer, of om modellen waarbij ontwikkeling en beheer geheel extern plaatsvinden. In alle gevallen is het normenkader van kracht.

Wat betreft het gebruik van modellen zijn er ook verschillende situaties mogelijk: (i) gebruik door PBL medewerkers van een PBL-implementatie van een model; (ii) gebruik door PBL medewerkers van een implementatie van een model bij een externe organisatie (bijvoorbeeld via remote access); of (iii) runnen van een implementatie van een model bij en door een ex-

terne organisatie, waarbij PBL medewerkers de modelinvoer (mede) specificeren en de modelresultaten verwerken. Wederom is in alle gevallen het normenkader van kracht. Het gebruik van een model wordt altijd geregisseerd door PBL medewerkers.

Aandachtspunten

- 5 Het normenkader bestaat uit een serie vragen (normen) met toelichtingen en aandachtspunten. De antwoorden dienen gemotiveerd te worden. Bij de motivatie moet aangegeven worden in welke mate aan de aandachtspunten voldaan wordt.

10 Het verantwoordelijk sectorhoofd kan in overleg met betrokken projectleiders, modellers, softwareontwikkelaars en gebruikers van de modelresultaten besluiten één of meerdere aandachtspunten voor een model verplicht te stellen. In dit geval kan een vraag slechts positief beantwoord worden als aan de betreffende aandachtspunten is voldaan.

Streven naar modelverbetering

15 De invulresultaten van het normenkader worden gebruikt bij de planning van modelverbetering. Zodoende ondersteunt het normenkader een geleidelijke overgang naar een situatie van voldoende kwaliteit van de door PBL gebruikte modellen. De rol van het normenkader in de beoogde planningscyclus is als volgt:

- 20 • het sectorhoofd registreert naast bestaande modellen de nieuwe modellen vóór het eerste modelgebruik op de PBL-modellenlijst. Zo snel mogelijk daarna voeren de betrokken projectleiders, modellers, softwareontwikkelaars en gebruikers een beoordeling uit aan de hand van het normenkader. Het sectorhoofd is verantwoordelijk voor het doen uitvoeren van deze zogenoemde zelfbeoordeling;
- 25 • het resultaat van de zelfbeoordelingen wordt als bijlage toegevoegd aan het projectplan van het project waarbinnen het model wordt beheerd. Bij het niet voldoen aan één of een aantal normen uit het normenkader wordt onder verantwoordelijkheid van het sectorhoofd een modelverbeterplan opgesteld en de planning aangepast. Doel is om uiterlijk één jaar na registratie van een model te voldoen aan alle normen van het normenkader;
- 30 • onder verantwoordelijkheid van de directeur wetenschappelijke kwaliteitszorg wordt een systeem van interne procesaudits opgezet. Hierbij wordt een groep van auditoren samengesteld, geselecteerd op basis van deskundigheid op het gebied van modellering en softwareontwikkeling. Uit deze groep worden wisselende teams van twee auditoren samengesteld, die de modellen van de PBL-modellenlijst eens in drie jaar onafhankelijk beoordelen aan de hand van het normenkader. Doel is niet alleen objectieve evaluatie maar ook ondersteuning van PBL medewerkers;
- 35 • het proces van (i) zelfbeoordeling en interne procesaudits, beiden aan de hand van het normenkader, (ii) het opnemen van het beoordelingsresultaat in het projectplan en (iii) de planning van verbeteracties, wordt vervolgens ieder jaar herhaald, waarbij in de loop van de jaren meerdere aandachtspunten verplicht gesteld kunnen worden. Welke aandachtspunten prioriteit krijgen, wordt bepaald door het sectorhoofd in overleg met de betrokken projectleiders, modellers, softwareontwikkelaars en gebruikers.
- 40 • de modellen op de PBL-modellenlijst worden tevens op regelmatige wijze onderworpen aan externe wetenschappelijke reviews. De wetenschappelijke reviews richten zich op de inhoudelijke kwaliteit van de individuele modellen. De bevindingen uit de wetenschappe-

lijke reviews dienen – net als de bevindingen uit de interne procesaudits – gebruikt te worden voor het opstellen of aanvullen van modelverbeterplannen. Het normenkader toetst of er regelmatig wetenschappelijke reviews gehouden worden en of de bevindingen van deze reviews gebruikt worden in modelverbeterplannen.

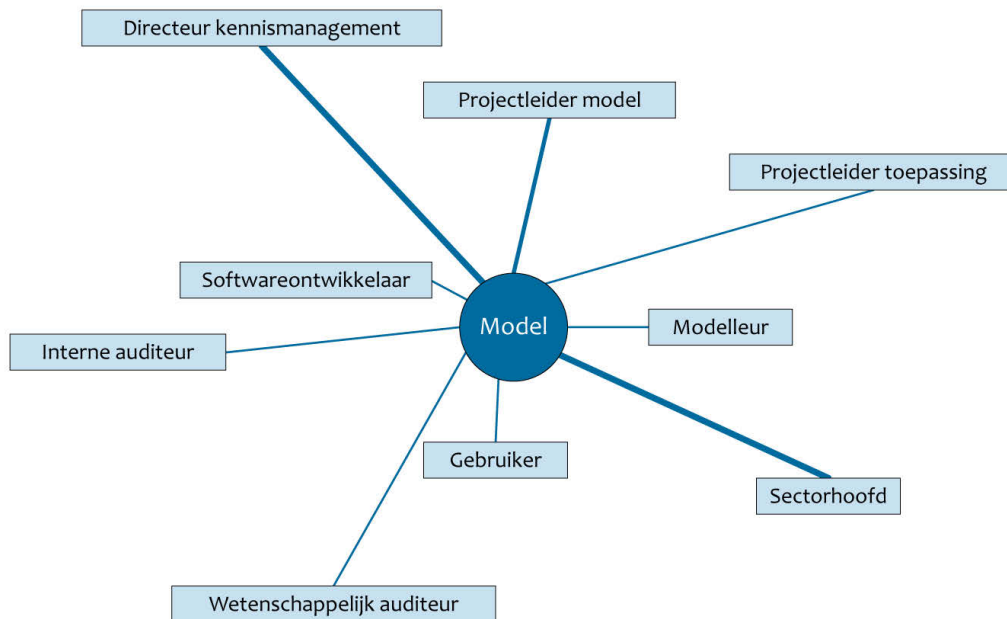
5 1.3 Verantwoordelijkheden en bevoegdheden

De verantwoordelijkheden en bevoegdheden rond de ontwikkeling, het beheer en het gebruik van modellen zijn als volgt geregeld (*figuur 3*):

- 10 • de directeur wetenschappelijke kwaliteitszorg is eindverantwoordelijke. Voor individuele modellen zijn deze verantwoordelijkheden gedelegeerd aan de sectorhoofden. De directeur zorgt er voor dat er systemen voor interne procesaudits en voor externe wetenschappelijke reviews worden opgezet (*zie paragraaf 1.2*);
- 15 • het sectorhoofd organiseert de ontwikkeling en het beheer van een model (voor zover PBL daar een rol in speelt) en ziet toe op verantwoord modelgebruik (ook als ontwikkeling en beheer geheel buiten PBL plaatsvinden). Het sectorhoofd is verantwoordelijk voor: (i) registratie van modellen op de PBL-modellenlijst; (ii) het organiseren van zelfbeoordelingen aan de hand van het normenkader; (iii) het doen uitvoeren van interne procesaudits aan de hand van het normenkader; (iv) het doen uitvoeren van externe wetenschappelijke reviews; en (v) het beschikbaar stellen van voldoende middelen en capaciteit voor beheer van modellen;
- 20 • ontwikkeling en beheer van modellen (indien dit gebeurt door PBL medewerkers) vindt plaats in het kader van specifieke modellenprojecten of als onderdeel van toepassingsprojecten. De projectleiders van dergelijke projecten zijn verantwoordelijk voor het doen opstellen van modelverbeterplannen;
- 25 • de uitvoering van ontwikkeling en beheer van modellen gebeurt door modelleurs (verantwoordelijk voor onder andere de formulering en formalisering van het conceptuele en wiskundige model en zaken als kalibratie en validatie van modellen) en softwareontwikkelaars (verantwoordelijk voor onder andere het implementeren van het computermodel en het testen van de programmatuur) onder aansturing van de projectleiders van de betreffende projecten.
- 30 • het gebruik van modellen vindt plaats in toepassingsprojecten. De projectleiders van dergelijke projecten zijn verantwoordelijk voor het uitvoeren van de evaluatie van het modelgebruik en het opstellen van de probleemdefinitie. Het sectorhoofd dat verantwoordelijk is voor het beheer en gebruik van het model heeft een sturende rol in het organiseren van de zelfbeoordelingen aan de hand van het normenkader.

35

Krachtenveld rond een model



Figuur 3: Betrokkenen bij de ontwikkeling en het beheer en gebruik van een model. De afstand geeft de mate van betrokkenheid bij een model aan, de dikte van de lijn geeft de invloed op een model aan.

5

2 TOELICHTING OP DE VRAGEN IN HET NORMENKADER

Het normenkader bestaat uit 15 vragen (normen), onderverdeeld in zeven rubrieken (zie *Appendix 1*). Bij iedere vraag zijn een toelichting en aandachtspunten opgenomen. De gehanteerde terminologie wordt toegelicht in het lexicon (*Appendix 2*). De rubrieken in het normenkader sluiten aan bij de modelleercyclus (*figuur 1*). De vragen moeten met ja of nee beantwoord te worden; slechts in een enkel geval mag een vraag met ‘niet van toepassing’ beantwoord worden. Bij de beantwoording van een vraag moet altijd een motivatie worden gegeven. Dat kan in de vorm van een referentie (een apart document of modeldocumentatie). In beginsel geldt het principe ‘one-out-all-out’: als één van de vragen met ‘nee’ beantwoord is, dan voldoet het model niet aan het normenkader. De code achter iedere vraag verwijst naar de rubriek in het normenkader.

2.1 Aansturing van ontwikkeling, beheer en gebruik

Is de eindverantwoordelijkheid voor het model belegd (A1)?

15 Voor individuele modellen is de eindverantwoordelijkheid voor ontwikkeling, beheer en gebruik gedelegeerd aan sectorhoofden zoals vastgelegd in de PBL-modellenlijst. Aandachtspunt is:

- bij de registratie van het model op de PBL-modellenlijst is vastgelegd welke sector intern verantwoordelijk is voor ontwikkeling, beheer en gebruik van het model.

20 Is de ontwikkeling en het beheer van het model belegd in projecten (A2)?

Ontwikkeling en beheer van intern beschikbare modellen vindt plaats in het kader van specifieke modellenprojecten of als onderdeel van toepassingsprojecten. In het geval van modellen die ontwikkeld worden door externe partijen gaat het bij deze vraag om activiteiten, die nodig zijn om op de hoogte te blijven van de stand van zaken rond het model. Aandachtspunten zijn:

25

- de activiteiten rond ontwikkeling en beheer van het model zijn beschreven in één of meer projectplannen;
- in de projectplannen is vastgelegd wie de ontwikkel- en beheeractiviteiten uitvoeren, welke inzet hiermee gemoeid is, en welke uitbestedingen zullen worden gedaan.

2.2 Probleembeschrijving

30 De modelleercyclus start met een probleembeschrijving, inclusief specificatie van eisen waaraan een model dient te voldoen. De probleembeschrijving vormt een belangrijke fundering voor modelkeuze en/of modelontwikkeling.

Is er een beschrijving van het doel en toepassingsgebied van het model (B1)?

Een beschrijving van het doel en toepassingsgebied van het model is nodig om te kunnen beoordelen of het model geschikt is voor beantwoording van de geformuleerde onderzoeksvragen. Aandachtspunten zijn:

35

- beschrijving van de doelstelling;
- beschrijving van toepassingsgebied;
- beschrijving van de ruimtelijke schaal en temporele schaal, tijdshorizont (ex-ante of ex-post).

5 2.3 Conceptueel en wiskundig model

Het conceptueel model vormt de globale en kwalitatieve beschrijving van de opzet en werking van het model. Het wiskundig model is hiervan de gedetailleerde en éénduidige uitwerking.

- 10 Indien het conceptuele model bestaat uit meerdere modules zoals het geval is bij samengestelde modellen, wordt normaliter een wiskundig model uitgewerkt voor iedere module. Ieder wiskundig model wordt daarna geoperationaliseerd in een separaat computermodel (zie sectie 2.4).
- 15 Wiskundige modellen die zijn gebaseerd op statistische modellen (zie C1) worden dikwijls uitgevoerd in statistische pakketten; hier hoeven geen computermodellen voor te worden geprogrammeerd. In zo'n geval fungeert de macro waarin de statistische operaties worden gedefinieerd als het computermodel.

Is het conceptueel model beschreven (C1)?

- 20 Het conceptueel model is de kwalitatieve beschrijving van het te modelleren systeem en heeft als doel inzicht te verschaffen in de globale opzet en werking van het model. Binnen de modelleercyclus vormt het opstellen van het conceptueel model de eerste fase van de eigenlijke modelvorming. Aandachtspunten zijn:
- in het geval van een procesmodel: kwalitatieve beschrijving van de belangrijkste componenten van het systeem en de interacties tussen deze componenten in relatie tot de processen die zich in dit systeem afspelen, bijvoorbeeld in de vorm van een (proces)schema met toelichting;
 - in het geval van een statistisch model: kwalitatieve beschrijving van de relatie tussen stuurvariabelen (invoervariabelen) en doelvariabelen (uitvoervariabelen);
- 25
- 30 • toelichting en onderbouwing van de belangrijkste aannames en keuzes in het licht van de bestaande theorieën op het toepassingsgebied, zoals beschreven in de wetenschappelijke literatuur.

Is het wiskundig model op hoofdlijnen beschreven (C2)?

- 35 Het wiskundig model is de uitwerking van het conceptueel model in termen van wiskundige vergelijkingen of beslisregels. Binnen de modelleercyclus vormt het wiskundig model het resultaat van de derde fase van de eigenlijke modelvorming, waarin het globale en kwalitatieve conceptuele model wordt uitgewerkt en geformaliseerd. Aandachtspunten zijn:
- beschrijving van de betekenis en eenheid van de belangrijkste modelvariabelen (invoer-, uitvoer-, toestands- en/of hulpvariabelen);
- 40
- beschrijving van de belangrijkste wiskundige vergelijkingen of beslisregels, inclusief de betekenis en eenheden van de bijbehorende modelparameters;

- toelichting en onderbouwing van de gemaakte aannames en keuzes, die een rol hebben gespeeld bij het formaliseren van het wiskundig model, in het licht van de gangbare wetenschappelijke modellering, zoals beschreven in de wetenschappelijke literatuur.

2.4 Computermodel

- 5 Het computermodel is de implementatie van een wiskundig model op de computer. Het computermodel ontstaat door de wiskundige vergelijkingen of beslisregels van het wiskundig model om te zetten in programmacode.

Is er een beschrijving van de globale werking van het computermodel (D1)?

Hierbij gaat het om documentatie. Aandachtspunten zijn:

- 10
- beschrijving van datastructuren, algoritmen en numerieke methoden;
 - beschrijving van de globale opzet en werking van het programma, programmastructuur en functie van modules en routines;
 - beschrijving van de belangrijkste modelparameters (let op: modelparameters kunnen hard in de code staan of in invoerbestanden);
- 15
- beschrijving van numerieke methoden en numeriek algoritmische aspecten (bijvoorbeeld keuze van integratie- en optimaliseringsroutines).

Is de programmacode leesbaar (D2)?

Een leesbare programmacode maakt het programma gemakkelijker onderhoudbaar en overdraagbaar. Aandachtspunten zijn:

- 20
- consistente naamgeving van modules, routines en variabelen;
 - aanwezigheid van commentaar.

Zijn er tests uitgevoerd waarmee de correcte werking van het computermodel kan worden aangetoond (D3)?

- 25
- Met 'tests uitgevoerd' wordt bedoeld dat men systematisch heeft aangetoond dat de vertaling van het wiskundig model naar het computermodel correct verlopen is. Het gaat hier niet zozeer om de technische correctheid van de programmacode maar meer om de functionele correctheid van het geïmplementeerde computermodel (oplossingsverificatie). Validatie van het complete toepassingsmodel (conform C1) vindt plaats in de volgende sectie, vraag E1. Mogelijke tests zijn:

- 30
- vergelijking van modeluitkomsten met analytische oplossingen of met resultaten van vergelijkbare modellen of berekeningen;
 - controle op onmogelijkheden, zoals bv. het optreden van negatieve concentraties en massaverlies, en op toegestane waarden voor parameters en datainvoer;
 - doorrekenen van extreme situaties;
- 35
- beoordelen van numerieke stabiliteit en precisie en het optreden van eventuele afrondings- en benaderingsfouten.

2.5 Toepassingsmodel

Het toepassingsmodel is het computermodel dat voor een specifieke categorie van toepassingen geschikt gemaakt is, inclusief de daarbij behorende vaste invoerdata en modelparameterwaarden. Een toepassingsmodel bestaat uit de volgende componenten: (i) het computermodel, (ii) vaste voor- en nabewerkingprogramma's, (iii) waarden voor de modelparameters en (iv) vaste invoerbestanden. Een toepassingsmodel kan pas worden gedraaid en getest als ook variabele invoer aanwezig is.

Is het toepassingsmodel beschreven en geëvalueerd (E1)?

Het gaat hier met name om een beschrijving van de parametrisatie en kalibratie van het computermodel en om een beschrijving van de variabele invoerdata. In de evaluatie van het toepassingsmodel wordt bepaald in welke mate het toepassingsmodel voldoet aan de eisen die van te voren zijn vastgelegd in de probleemdefinitie. Aandachtspunten zijn:

- beschrijving van de wijze waarop de vaste invoerbestanden en modelparameterwaarden verkregen zijn. Denk hierbij aan het gebruik van bronbestanden, literatuurbronnen, kalibratiemethoden, enzovoorts;
- beschrijving van de eisen en criteria, op grond waarvan het toepassingsmodel geschikt bevonden wordt voor de beoogde toepassingen;
- beschrijving van de mate waarin het gedrag van het toepassingsmodel overeenstemt met waarnemingen of algemene kennis over het systeemgedrag in het licht van de beoogde toepassingen;
- beschrijving van de verschillen met voorgaande modelversies, inclusief verklaring van deze verschillen;
- beschrijving van de belangrijkste tekortkomingen van het toepassingsmodel (inclusief beperkingen van het toepassingsgebied);
- kwalitatieve en indien mogelijk kwantitatieve beschrijving van de belangrijkste onzekerheden van het toepassingsmodel. De PBL-leidraad onzekerheden is een mogelijk hulpmiddel.

Is het versiebeheer van het toepassingsmodel geregeld (E2)?

Versiebeheer betekent dat er op een systematische manier wordt omgegaan met de verschillende versies van het toepassingsmodel (programmatuur én data) middels een systeem voor versienummering en archivering van opeenvolgende versies. Ook betekent versiebeheer dat wordt bijgehouden welke aanpassingen er worden gedaan in welk deel van het toepassingsmodel, door wie deze aanpassingen zijn gedaan en met welke reden. Aandachtspunten zijn:

- beschrijving van de programmatuur- en dataelementen die tot het toepassingsmodel gerekend worden;
- gebruik van een systeem voor versienummering en archivering van opeenvolgende versies;
- beschrijving in de modeluitvoer welke versie van het toepassingsmodel gebruikt is;
- aanwezigheid van een systeem, waarbij er een scheiding is tussen een ontwikkelomgeving en een productieomgeving;
- aanwezigheid van afspraken over wie een nieuwe versie van het toepassingsmodel mag accorderen voor opname in de productieomgeving;

- aanwezigheid van een complete set van onderdelen van het toepassingsmodel. Dit kan gecontroleerd worden door het volledige toepassingsmodel en variabele invoer te installeren op een (virtuele) kale machine.

2.6 Modelgebruik

5 Na de totstandkoming van een eerste versie van het model zullen er veelal nieuwe, verbeterde versies volgen. Om dit proces van modelverbetering zo effectief mogelijk te laten verlopen is het van belang om evaluaties van modeltoepassingen en resultaten van wetenschappelijke reviews optimaal te benutten. In dit stadium zijn er twee relevante rollen: de modeltoepassers en de gebruikers van de modelresultaten.

10 **Is de wijze waarop het model bediend moet worden beschreven (F1)?**

Hierbij gaat het om een handleiding die specifiek gericht is op degene die het model gaat draaien. Aandachtspunten zijn:

- beschrijving van de vereiste kwalificaties van de beoogde toepassers van het model;
- beschrijving van benodigde aanvullende standaardsoftware, inclusief versienummers;
- 15 • beschrijving van de installatie van het toepassingsmodel;
- beschrijving van de bediening van het toepassingsmodel.

Is de invoer beschreven (F2)?

Hieronder vallen alle invoerdata en parameters die door de modeltoepasser gespecificeerd moet worden om het model te kunnen runnen. Bij modellen, die ingezet worden voor toekomstvoorspellingen gaat het veelal om scenariogegevens. Bij modellen, die ingezet worden om het gedrag van stoffen te evalueren gaat het om stoffeigenschappen. Aandachtspunten zijn:

- beschrijving van de invoerbestanden, inclusief een beschrijving van de individuele gegevensvelden (betekenis, eenheid, default waarde en toegestane waarden);
- beschrijving van de wijze waarop de te gebruiken modelinvoer kan of moet worden afgeleid (literatuur, kalibratie, expert judgement, etcetera).
- 25

Is de uitvoer beschreven (F3)?

Aandachtspunten zijn:

- beschrijving van de uitvoerbestanden, inclusief een beschrijving van de individuele gegevensvelden (betekenis en eenheid).

30 **2.7 Modelverbetering**

Na de totstandkoming van de eerste versie van het model zullen er veelal nieuwe, verbeterde versies volgen. Om dit proces van modelverbetering zo effectief mogelijk te laten verlopen is het van belang optimaal gebruik te maken van evaluaties van modeltoepassingen en de resultaten van wetenschappelijke reviews.

Wordt er bij de verbetering van het model gebruik gemaakt van evaluaties van modeltoepassingen (G1)?

- 5 Bij de evaluatie van modeltoepassingen gaat het om de bruikbaarheid van de modeluitkomsten, gezien vanuit het perspectief van de gebruiker van de modelresultaten. Deze stap is een belangrijke terugkoppelingsstap in de modelleercyclus, waarbij het evalueren van toepassingen van het model een aanjager is voor verbeteringen van het model. Aandachtspunten zijn:
- schriftelijke vastlegging van de evaluatieresultaten;
 - doorwerking van de aanbevelingen uit de evaluaties in modelverbeterplannen.

10 Wordt het model op regelmatige basis onderworpen aan (externe) wetenschappelijke reviews (G2)?

- Onafhankelijke wetenschappelijke reviews door individuen die een vergelijkbare expertise hebben als de modelbouwer ('peer-review') leveren nuttige informatie op die gebruikt kan worden bij de verbetering van het model. Onder regelmatige basis wordt één keer per drie jaar verstaan. Aandachtspunten zijn:
- 15
- schriftelijke vastlegging van reviewresultaten;
 - doorwerking van aanbevelingen uit wetenschappelijke reviews in modelverbeterplannen;
 - publicatie van model(componenten) en/of modelresultaten in wetenschappelijke tijdschriften.

APPENDIX 1: HET PBL-NORMENKADER

Invulhulp

- Het normenkader bestaat uit 15 vragen, onderverdeeld in zeven rubrieken. De vragen moeten met ja of nee beantwoord te worden; slechts in een enkel geval mag een vraag met ‘niet van toepassing’ beantwoord worden. Om het beantwoorden van de vragen te vereenvoudigen hebben we aandachtspunten toegevoegd. Zet een kruis als voldaan wordt aan het betreffende aandachtspunt. Onder elk aandachtspunt is ruimte voor een toelichting (bewijsvoering). Indien aanwezig, refereer naar documentatie. Gebruik nummers in de rubrieken A – G en geef de volledige referentie in rubriek H. Om een vraag met ‘ja’ te kunnen beantwoorden hoeft niet aan alle aandachtspunten te worden voldaan. Het is echter evident dat als aan veel aandachtspunten niet wordt voldaan, het antwoord ‘nee’ zal moeten zijn.

Algemeen	
Naam en acronym	▶
Versienummer en -datum	▶
Korte omschrijving	▶
Eigenaar inclusief contactpersoon	▶
PBL contactpersoon	▶
Datum opname	▶
Opgenomen door	▶

15

A Aansturing van ontwikkeling, beheer en gebruik	
Toelichting in paragraaf 2.1.	
A1	Is de eindverantwoordelijkheid voor het model belegd? Ja Nee
<input type="checkbox"/>	<i>Bij de registratie van het model op de PBL-modellenlijst is vastgelegd welke sector intern verantwoordelijk is voor ontwikkeling, beheer en gebruik van het model</i> ▶
A2	Is de ontwikkeling en het beheer van het model belegd in projecten? Ja Nee
<input type="checkbox"/>	<i>De activiteiten rond ontwikkeling en beheer van het model zijn beschreven in één of meer projectplannen</i> ▶
<input type="checkbox"/>	<i>In de projectplannen is vastgelegd wie de ontwikkel- en beheeractiviteiten uitvoeren, welke inzet hiermee gemoeid is, en welke uitbestedingen zullen worden gedaan</i> ▶

B Probleembeschrijving	
Toelichting in paragraaf 2.2	
B1	Is er een beschrijving van het doel en toepassingsgebied van het model?
	Ja Nee
<input type="checkbox"/>	<i>Beschrijving van de doelstelling</i> ▶
<input type="checkbox"/>	<i>Beschrijving van toepassingsgebied</i> ▶
<input type="checkbox"/>	<i>Beschrijving van de ruimtelijke schaal en temporele schaal, tijdshorizont (ex-ante of ex-post)</i> ▶

C Conceptueel en wiskundig model	
Toelichting in paragraaf 2.3	
C1	<p>Is het conceptueel model beschreven? Ja Nee</p> <p><input type="checkbox"/> <i>In het geval van een procesmodel: kwalitatieve beschrijving van de belangrijkste componenten van het systeem en de interacties tussen deze componenten in relatie tot de processen die zich in dit systeem afspelen, bijvoorbeeld in de vorm van een (proces)schema met toelichting</i></p> <p>▶</p> <p><input type="checkbox"/> <i>In het geval van een statistisch model: kwalitatieve beschrijving van de relatie tussen stuurvariabelen (invoervariabelen) en doelvariabelen (uitvoervariabelen)</i></p> <p>▶</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Toelichting en onderbouwing van de belangrijkste aannames en keuzes in het licht van de bestaande theorieën op het toepassingsgebied, zoals beschreven in de wetenschappelijke literatuur</i></p> <p>▶</p>
C2	<p>Is het wiskundig model op hoofdlijnen beschreven? Ja Nee</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Beschrijving van de betekenis en eenheid van de belangrijkste modelvariabelen (invoer-, uitvoer-, toestands- en/of hulpvariabelen)</i></p> <p>▶</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Beschrijving van de belangrijkste wiskundige vergelijkingen of beslisregels, inclusief de betekenis en eenheden van de bijbehorende modelparameters</i></p> <p>▶</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Toelichting en onderbouwing van de gemaakte aannames en keuzes, die een rol hebben gespeeld bij het formaliseren van het wiskundig model, in het licht van de gangbare wetenschappelijke modellering, zoals beschreven in de wetenschappelijke literatuur</i></p> <p>▶</p>

D Computermodel			
Toelichting in paragraaf 2.4			
D1	Is er een beschrijving van de globale werking van het computermodel?	Ja	Nee
<input type="checkbox"/>	<i>Beschrijving van datastructuren, algoritmen en numerieke methoden</i>		
	▶		
<input type="checkbox"/>	<i>Beschrijving van de globale opzet en werking van het programma, programmastructuur en functie van modules en routines</i>		
	▶		
<input type="checkbox"/>	<i>Beschrijving van de belangrijkste modelparameters (let op: modelparameters kunnen hard in de code staan of in invoerbestanden)</i>		
	▶		
<input type="checkbox"/>	<i>Beschrijving van numerieke methoden en numeriek algoritmische aspecten (bijvoorbeeld keuze van integratie- en optimaliseringsroutines)</i>		
	▶		
D2	Is de programmacode leesbaar?	Ja	Nee n.v.t.
<input type="checkbox"/>	<i>Consistente naamgeving van modules, routines en variabelen</i>		
	▶		
<input type="checkbox"/>	<i>Aanwezigheid van commentaar</i>		
	▶		
D3	Zijn er tests uitgevoerd waarmee de correcte werking van het computermodel kan worden aangetoond?	Ja	Nee
<input type="checkbox"/>	<i>Vergelijking van modeluitkomsten met analytische oplossingen of met resultaten van vergelijkbare modellen of berekeningen</i>		
	▶		
<input type="checkbox"/>	<i>Controle op onmogelijkheden, zoals bijvoorbeeld het optreden van negatieve concentraties en massaverlies, en op toegestane waarden voor parameters en datainvoer</i>		
	▶		
<input type="checkbox"/>	<i>Doorrekenen van extreme situaties</i>		
	▶		
<input type="checkbox"/>	<i>Beoordelen van numerieke stabiliteit en precisie en het optreden van eventuele afrondings- en benaderingsfouten</i>		
	▶		

E Toepassingsmodel	
Toelichting in paragraaf 2.5	
E1	<p>Is het toepassingsmodel beschreven en geëvalueerd? Ja Nee</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Beschrijving van de wijze waarop de vaste invoerbestanden en modelparameterwaarden verkregen zijn. Denk hierbij aan het gebruik van bronbestanden, literatuurbronnen, kalibratiemethoden, enzovoorts</i></p> <p>▶</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Beschrijving van de eisen en criteria, op grond waarvan het toepassingsmodel geschikt bevonden wordt voor de beoogde toepassingen</i></p> <p>▶</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Beschrijving van de mate waarin het gedrag van het toepassingsmodel overeenstemt met waarnemingen of algemene kennis over het systeemgedrag in het licht van de beoogde toepassingen</i></p> <p>▶</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Beschrijving van de verschillen met voorgaande modelversies, inclusief verklaring van deze verschillen</i></p> <p>▶</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Beschrijving van de belangrijkste tekortkomingen van het toepassingsmodel (inclusief beperkingen van het toepassingsgebied)</i></p> <p>▶</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Kwalitatieve en indien mogelijk kwantitatieve beschrijving van de belangrijkste onzekerheden van het toepassingsmodel. De PBL-leidraad onzekerheden is een mogelijk hulpmiddel.</i></p> <p>▶</p>
E2	<p>Is het versiebeheer van het toepassingsmodel geregeld? Ja Nee</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Beschrijving van de programmatuur- en dataelementen die tot het toepassingsmodel gerekend worden</i></p> <p>▶</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Gebruik van een systeem voor versienummering en archivering van opeenvolgende versies</i></p> <p>▶</p> <p><input type="checkbox"/> <i>Beschrijving in de modeluitvoer welke versie van het toepassingsmodel gebruikt is</i></p> <p>▶</p>

F Modelgebruik			
Toelichting in paragraaf 2.6.			
F1	Is de wijze waarop het model gebruikt moet worden beschreven?	Ja	Nee
<input type="checkbox"/>	<i>Beschrijving van de vereiste kwalificaties van de beoogde toepassers van het model</i>		
<input type="checkbox"/>	<i>Beschrijving van benodigde aanvullende standaardsoftware, inclusief versienummers</i>		
<input type="checkbox"/>	<i>Beschrijving van de installatie van het toepassingsmodel</i>		
<input type="checkbox"/>	<i>Beschrijving van de bediening van het toepassingsmodel</i>		
F2	Is de variabele invoer beschreven?	Ja	Nee
<input type="checkbox"/>	<i>Beschrijving van de invoerbestanden, inclusief een beschrijving van de individuele gegevensvelden (betekenis, eenheid, default waarde en toegestane waarden)</i>		
<input type="checkbox"/>	<i>Beschrijving van de wijze waarop de te gebruiken modelinvoer kan of moet worden afgeleid (literatuur, kalibratie, expert judgement, etcetera)</i>		
F3	Is de uitvoer beschreven?	Ja	Nee
<input type="checkbox"/>	<i>Beschrijving van de uitvoerbestanden, inclusief een beschrijving van de individuele gegevensvelden (betekenis en eenheid)</i>		

G Modelverbetering			
Toelichting in paragraaf 2.7.			
G1	Wordt er bij de verbetering van het model gebruik gemaakt van evaluaties van modeltoepassingen?	Ja	Nee
<input type="checkbox"/>	<i>Schriftelijke vastlegging van de evaluatieresultaten</i> ▶		
<input type="checkbox"/>	<i>Doorwerking van de aanbevelingen uit de evaluaties in modelverbeterplannen</i> ▶		
G2	Wordt het model op regelmatige basis onderworpen aan (externe) wetenschappelijke reviews?	Ja	Nee
<input type="checkbox"/>	Schriftelijke vastlegging van reviewresultaten ▶		
<input type="checkbox"/>	Doorwerking van aanbevelingen uit wetenschappelijke reviews in modelverbeterplannen ▶		
<input type="checkbox"/>	Publicatie van model(componenten) en/of modelresultaten in wetenschappelijke tijdschriften ▶		

H	Referenties
1	Voeg meer rijen aan de tabel toe, indien noodzakelijk.
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	

APPENDIX 2: LEXICON

Archivering

Informatieproducten (bijvoorbeeld modellen en/of data) voorzien van metagegevens en opslaan in een archief.

5 Audit

Algemeen: evaluatie van een organisatie, systeem, project, organisatie of product. In dit document wordt bedoeld de evaluatie van het proces rond modelontwikkeling aan de hand van het normenkader (procesaudit) door een team van onafhankelijke (interne) auditeurs. Naast het systeem van procesaudits hanteert PBL ook een systeem van wetenschappelijke reviews (→ review).

Beheer

Zorg en verantwoording hebben voor (Van Dale). Binnen het domein van de informatievoorziening: plannen, uitvoeren en verantwoorden van activiteiten om kwaliteit en kosten van een bestaand informatieproduct op een specifiek vastgesteld niveau te houden.

15 Benchmark

Algemeen geaccepteerde standaard of referentie (bijvoorbeeld in de vorm van een computer- of toepassingsmodel, een uitkomst of gegevens) waarmee het onderhavige computer- of toepassingsmodel bij validatie, verificatie of evaluatie vergeleken kan worden.

Computermodel

20 De computerimplementatie van een mathematisch model. Deze is zo generiek is dat ze – zonder verandering van de programmacode of hercompilatie – gebruikt kan worden om een toepassingsmodel te generen met dezelfde onderliggende modelvergelijkingen, maar waarbij verschillende modelinvoergegevens en parameterwaarden worden toegestaan (→ toepassingsmodel).

25 Conceptueel model

Een abstracte beschrijving van de structuur van een systeem met de relevante processen en hun onderlinge afhankelijkheden en interacties. Veel conceptuele modellen worden in grafische vorm weergegeven.

Data

30 Gegevens die kenmerken en toestanden van het systeem beschrijven. In de modelleringcontext betreft dit onder andere:

- gegevens waaraan empirisch onderzoek of gegevensverzameling ten grondslag liggen, zoals metingen, monitoringgegevens of surveygegevens. Ook gegevens die gebruikt zijn voor de kalibratie en evaluatie van modellen die bij de studie toegepast worden, kunnen hiertoe gerekend worden.

35

- gegevens, die uit andere bronnen afkomstig zijn, zoals scenariostudies of andere modelberekeningen.

Datakwaliteit

De mate van geschiktheid van gegevens voor hun beoogde doel. Dit kan betrekking hebben op aspecten als beschikbaarheid, representativiteit, actualiteit en nauwkeurigheid van gegevens.

5 **Dataset**

→ Data.

Eigenaar

→ Modeleigenaar.

Evaluatie van de data

10 Controle of de gegevens die gebruikt worden bij het ontwikkelen, testen of gebruik van het model van de gewenste kwaliteit zijn, tegen de achtergrond van de methodologische, procedurele en contractuele eisen die vanuit de toepassing gesteld zijn (zie ook datakwaliteit). Dit omvat ook onderwerpen als het gebruik van voorbewerkingstechnieken op de gegevens (op-schaling, neerschaling en interpolatie) en de behandeling van missende gegevens en outliers.

15 **Evaluatie van de probleembeschrijving**

Proces van vaststellen of het probleem adequaat geformuleerd en gestructureerd is en of er een rol er is weggelegd voor modellering bij de verdere probleemanalyse.

Evaluatie van het computermodel

20 Proces van het vaststellen of het computermodel een accurate representatie is van het achterliggende wiskundige model, binnen bepaalde gespecificeerde grenzen van toepassing en nauwkeurigheid. Dit proces behelst zowel het vaststellen van de correctheid van de softwarematige implementatie (codeverificatie), als ook van de numerieke nauwkeurigheid van de oplossing van het computermodel (oplossingverificatie). Dit totale proces wordt ook aangeduid met modelverificatie. Bij modelverificatie is het onderliggende mathematisch model de referentiestandaard waarmee het geïmplementeerde model vergeleken wordt.

Evaluatie van het conceptueel model

30 Proces van vaststellen of het conceptuele model geschikt is voor het beoogde doel en inhoudelijk relevant en geloofwaardig is. Met andere woorden: worden de relevante processen in de juiste samenhang (structuur) beschouwd en is het conceptueel model consistent met relevante wetenschappelijke kennis.

Evaluatie van het mathematisch model

35 Proces van vaststellen of het conceptueel model adequaat is vastgelegd in formele vorm, dat wil zeggen als mathematisch model. Dit proces, dat voor een deel kwalitatief van aard is, behelst bijvoorbeeld de vraag welke keuzes, aannames en vereenvoudigingen gebruikt zijn bij deze formalisering, en wat daarvan de onderbouwing is.

Evaluatie van het modelgebruik

Proces van vaststellen of het toepassingsmodel aan zijn doel beantwoordt en vaststellen of het modellerproces geleid heeft tot een toepassingsmodel dat geschikt is om de relevante

vragen te beantwoorden. Evaluatie van het modelgebruik vindt na de toepassing (ex-post) plaats.

Evaluatie van toepassingsmodel

- 5 Proces van het vaststellen in welke mate een toepassingsmodel een accurate representatie van de werkelijkheid is vanuit het perspectief van het beoogde modelgebruik. Deze evaluatie vindt doorgaans plaats voordat het toepassingsmodel wordt gebruikt (ex-ante), vanuit het idee dat gebruik pas gewettigd is, als er voldoende vertrouwen in het toepassingsmodel is, bijvoorbeeld door vergelijking met meetgegevens. Dit proces van het vaststellen in hoeverre de berekende gegevens en gemeten gegevens met elkaar overeenkomen, wordt ook wel aangeduid als
- 10 validatie (in strikte zin). Hierbij is de ‘werkelijkheid’ dus de referentiestandaard waarmee het model vergeleken wordt.

Formalisering

Het vastleggen van het conceptueel model in een meer formele vorm, in termen van wiskundige uitdrukkingen en regels.

15 Formeel model

→ Mathematisch model

Gebruiker van modelresultaten

Elke persoon die gebruik maakt van de resultaten van het model.

Geïmplementeerd model

- 20 → Computermodel

Gekoppeld model

→ Samengesteld model

Gevoeligheidsanalyse

- 25 Onderzoek naar de invloed van variaties in modelparameters, beginvoorwaarden, modelstructuur etcetera op de modeluitkomsten.

Herleidbaar

Een proces uit het verleden is achteraf te reconstrueren, waardoor processtappen en hun resultaten inzichtelijk en te verklaren zijn.

Interne audit

- 30 → Audit.

Implementatie

Invoeren in de computer. De implementatiefase bestaat uit het schrijven van de programmeercode (programmeren) aan de hand van het wiskundige model met de bijbehorende reken-schema's (algoritmen) en databestanden.

35 Invoervariabelen

→ Modelinvoer

Kalibratie

→ Modelkalibratie.

Kwaliteitsborging

5 Het zodanig vastleggen van metadata van een informatieproduct dat het product herleidbaar is en de consistentie en de reproduceerbaarheid ervan gewaarborgd zijn.

Mathematisch model

Formele specificatie van het conceptueel model in termen van wiskundige formules (uitdrukkingen, vergelijkingen).

Metadata

10 Informatie over een dataset die beschrijving geeft van de context, kwaliteit, toestand en karakteristieken van de dataset. Voor geografische data kan dit bijvoorbeeld de bron van herkomst zijn, het tijdstip van creatie, het formaat; zijn projectie, schaal, resolutie en nauwkeurigheid, en zijn betrouwbaarheid ten opzichte van een bepaalde standaard.

Metamodel

15 Een metamodel is een vereenvoudigd model dat een benadering is van een ingewikkeld, en vaak gedetailleerd, reken- en data-intensief (simulatie)model. Indien het metamodel een adequate benadering is van het onderliggende (simulatie)model, kan het op een veel bredere schaal worden ingezet dan het oorspronkelijke (simulatie)model. Het is bij het gebruik van metamodellen ook van belang om het metamodel actueel te houden, dat wil zeggen aan te
20 passen aan de meest recente geaccordeerde versie van het onderliggende (simulatie)model.

Model

Verzamelbegrip voor representaties van essentiële aspecten van een systeem, waarbij kennis gerepresenteerd wordt in een bruikbare vorm. Een model kan volledig bestaan in de menselijke geest (mentaal, conceptueel model), of een fysische representatie zijn van een groter object
25 (fysisch schaalmodel), of kan een meer kwantitatieve beschrijving zijn, gebruikmakend van wiskundige begrippen en computers (mathematisch en computermodel). Van wiskundige modellen kunnen verschillende modeltypen/karakteristieken onderscheiden worden, bijvoorbeeld deterministisch versus stochastisch; dynamisch versus statisch; verklarend versus empirisch, enzovoorts.

30 Modeleigenaar

PBL maakt onderscheid tussen juridisch eigenaar en functioneel eigenaar:

- Juridisch eigenaar
De rechtspersoon of (bij gezamenlijk eigendom) groep van rechtspersonen, die het intellectuele eigendomsrecht heeft op een model en de voorwaarden bepaalt waaronder het
35 model door anderen gebruikt mag worden.
- Functioneel eigenaar
Persoon die verantwoordelijk is voor de inhoud, de kwaliteit, het gebruik en het beheer van een model binnen het PBL. De functioneel eigenaar accepteert het model als geschikt voor gebruik binnen het PBL. Bij een model dat gezamenlijk eigendom is van meerdere

juridische eigenaren, vertegenwoordigt deze persoon het PBL bij gezamenlijke besluitvorming over het model.

Modevaluatie

5 Het algemene proces van het vaststellen óf, wanneer, en in welke mate een model geschikt is voor een beoogde toepassing (→ modelkwaliteit). Meer specifiek komt modevaluatie neer op beantwoording van de volgende vragen:

- welke rol is er weggelegd voor modellering bij de probleemstelling en probleemanalyse?
- in welke mate is het model gebaseerd op algemeen geaccepteerde wetenschappelijke inzichten en rekenmethoden?
- 10 • beantwoordt het model aan zijn doel en gestelde taken?
- Is het gedrag van het model in overeenstemming met waarnemingen of met algemene kennis over het systeemgedrag?

Modelinput

→ Modelinvoer.

15 Modelinvoer

Invoergegevens die bij het onderhavige model behoren. Er wordt onderscheid gemaakt tussen modelparameters, vaste invoer en variabele invoer.

Modelkalibratie

20 Proces waarbij modelparameters – binnen fysisch verdedigbare grenzen – worden ingesteld zodat de resulterende modeluitkomsten een adequate overeenkomst met waargenomen data vertonen. Bij dit proces hoort ook een analyse van de restfouten tussen data en modelresultaten.

Modelkwaliteit

25 De mate van geschiktheid van een model voor het beoogde doel (fitness for use or function). Hierbij spelen ook aspecten als nauwkeurigheid van de representatie, geloofwaardigheid van resultaten en specificatie van het toepassingsgebied van het model een rol.

Modelontwikkeling

30 Het gehele proces dat loopt vanaf probleemformulering via het ontwerp van het conceptueel model en het mathematisch model tot de implementatie van het computermodel en het uiteindelijk operationeel maken van het toepassingsmodel. Met modelontwikkeling wordt ook bedoeld het toevoegen van nieuwe functionaliteit en het up-to-date houden van het model (bijvoorbeeld het verwerken van nieuwe wetenschappelijke inzichten).

Modeloutput

→ Modeluitvoer.

35 Modelparameters

Grootheden (ook wel coëfficiënten genoemd), die constant zijn in de context van een toepassingsmodel. De modeltoepasser mag deze parameters dus niet veranderen. Modelparameters

kunnen hard in de code staan of in vaste invoerbestanden. De volgende typen parameters kunnen worden onderscheiden:

- exacte parameters (universele constanten) zoals de wiskundige grootheden π en e ;
- vaste parameters en natuurconstanten. Dit zijn parameters die bij voorgaand onderzoek zo goed bepaald zijn dat ze als exact kunnen worden beschouwd zoals de zwaartekrachtversnelling (g) op een specifieke plaats op aarde;
- parameters waarvan de waarde rechtstreeks op basis van metingen is vastgesteld;
- gekalibreerde parameters, dat wil zeggen parameters die niet uit voorgaand onderzoek kunnen worden vastgesteld, maar die op basis van vergelijking met een historische dataset vastgesteld worden (\rightarrow kalibratie). Hierbij worden de parameters doorgaans zo gekozen dat het verschil tussen model uitkomsten en overeenkomstige meetgegevens zo klein mogelijk is;
- *a priori* gekozen parameters, dat wil zeggen moeilijk door kalibratie te bepalen parameters, die op een vastgestelde waarde (default) zijn gezet, en als invariant beschouwd worden.

Modelrunbeheer

Beheer van de verschillende runs met een model.

Modelrunsettings

Specifieke parameters die de keuzes karakteriseren die gemaakt moeten worden bij het runnen van het toepassingsmodel, bijvoorbeeld tijdsperiode, aantal variabelen, keuze van solver, aantal iteraties enzovoorts. Ook zaken als het type randvoorwaarden rekenen we tot de modelrunsettings.

Model set-up

Het instellen van een toepassingmodel op basis van het achterliggende computermodel. Dit behelst onder andere het vastleggen van systeemdata, het vaststellen van begin- en randvoorwaarden en het vaststellen van de vaste modelinvoer. Voor dit laatste is eventueel ook modelkalibratie vereist.

Modeluitvoer

Modeluitkomsten die van belang zijn in het kader van de toepassing, en die in de uitvoer worden weggeschreven.

Modelversie

Het versienummer van het model, te onderscheiden naar de versie van het ontwikkelmodel (ontwikkelversie) en de versie van het productiemodel. Het versienummer van het ontwikkelmodel is altijd groter of gelijk aan het nummer van het productiemodel.

Modelverbeterplan

Een modelverbeterplan bevat een beschrijving en planning van de activiteiten in modelontwikkeling- en beheer die nodig zijn om de kwaliteit van een model te verbeteren. Als een model niet voldoet aan één of een aantal eisen uit het normenkader wordt onder verantwoordelijkheid van het sectorhoofd een modelverbeterplan opgesteld als onderdeel van de planning van het project waarin het model gebruikt gaat worden. Het is de bedoeling dat

het model na uiterlijk één jaar voldoet aan alle eisen van het normenkader. De eventuele bevindingen uit wetenschappelijke reviews en interne procesaudits maken ook deel uit van een modelverbeterplan.

Ontwikkelmodel

- 5 De versie van het computer- of toepassingsmodel waarin de ontwikkeling plaatsvindt.

Ontwikkelomgeving

Het geheel van hardware en software waarbinnen de ontwikkeling van het model wordt uitgevoerd. De ontwikkelomgeving wordt vaak gescheiden van de test- en productieomgeving.

Onzekerheidsanalyse

- 10 Onderzoek naar de onzekere aspecten van een computer- of toepassingsmodel en naar hun invloed op de modeluitkomsten.

Parameters

→ Modelparameters

PBL-modellenlijst

- 15 Op de PBL-modellenlijst staan alle modellen die het PBL structureel inzet of gaat inzetten in beleidsanalyses. Hierbij kan het gaan om modellen die geheel binnen het PBL ontwikkeld en beheerd worden, om modellen waarbij het PBL als partner (mede-eigenaar) deelneemt aan ontwikkeling en beheer of om modellen waarbij ontwikkeling en beheer geheel extern plaatsvinden. Het normenkader wordt toegepast op alle modellen op de PBL-modellenlijst.

- 20 **Peer review**

→ Review

Probleembeschrijving

- 25 De gedetailleerde probleembeschrijving, die ook een expliciete eisenspecificatie en doelstelling bevat voor verdere modelontwikkeling en datacollectie, voor zover deze in het beginstadium van het project kunnen worden gespecificeerd. De probleembeschrijving vormt een belangrijke basis voor modelkeuze en/of modelontwikkeling.

Procesaudit

→ Audit

Procesmodel

- 30 Een model waarbij het modelleren van processen op basis van specifieke proceskennis een belangrijke rol speelt.

Productiemodel

De versie van het toepassingsmodel, die voor beleidsanalyses wordt ingezet.

Productieomgeving

- 35 Het geheel van hardware en (standaard) software waarbinnen de toepassing van het toepassingsmodel wordt uitgevoerd.

Programmacode

Door een programmeur in een formele programmeertaal geschreven code, die door een compiler of interpreter omgezet wordt in uitvoerbare (voor de machine leesbare) code.

Reproduceerbaar

- 5 Eerder uitgevoerde bewerkingen kunnen herhalen, zodanig dat deze aantoonbaar tot dezelfde uitkomsten leiden, onafhankelijk van de uitvoerder.

Review (peer review)

- 10 Een gedocumenteerd kritisch onderzoek van een voorgesteld of actueel product (bijvoorbeeld van een model, van een advies of van een onderzoek), uitgevoerd door gekwalificeerde individuen (of een organisatie), die onafhankelijk zijn van degenen die het werk hebben uitgevoerd, maar die een vergelijkbare expertise hebben als de oorspronkelijke uitvoerders ('peers').

Samengesteld model

- 15 Computer- of toepassingsmodel dat bestaat uit een verzameling van modellen en gegevens die onderling gekoppeld zijn. Koppeling kan zowel automatisch als handmatig plaatsvinden.

Scenario

Een beschrijving van alternatieve situaties, zoals een mogelijke loop van gebeurtenissen, een mogelijke toekomst en mogelijke ruimtelijke beelden. Kan bij modelstudies in verschillende vormen tot uiting komen:

- 20
- als set van modelinvoergegevens die de mogelijke toekomstige ontwikkeling van stuurvariabelen beschrijven;
 - als scenariostudie, waarbij op basis van modelberekeningen een consistente set van invoer en uitvoergegevens wordt gegenereerd, die een mogelijke toekomstige ontwikkeling representeert.

25 Simulatie

Nabootsing van de werkelijkheid, in veel gevallen met behulp van een model van die werkelijkheid. Als het model in een computerprogramma is geïmplementeerd, dan spreekt men ook van modelsimulatie of computersimulatie.

Statistisch model

- 30 Een model waarbij gebruik wordt gemaakt van een algemene geparаметriseerde wiskundige relatie tussen uitvoervariabelen (doelvariabelen) en invoervariabelen (stuurvariabelen) en waarbij de waarden van de modelparameters aan de hand van een verzameling waarnemingen via calibratie worden bepaald.

System

- 35 Een geheel (vaak een deel van de werkelijkheid) bestaande uit entiteiten die onderling door relaties verbonden zijn.

Systemanalyse

Analyse van een systeem en zijn onderdelen in hun onderlinge samenhang en interacties. Een systemanalyse is op allerlei systemen mogelijk, zoals systemen uit de natuur- en menswetenschappen, techniek, bedrijfswetenschappen en informatica etcetera.

5 Testomgeving

Het geheel van hardware en software waarbinnen de tests van het computer- of toepassingsmodel wordt uitgevoerd.

Toepassingsmodel

- 10 Een computermodel dat voor een specifieke toepassing geschikt gemaakt is, inclusief de daarbij behorende vaste invoerbestanden en modelparameterwaarden. Bij gebruik van andere vaste modelinvoerbestanden of modelparameters ontstaat een nieuwe versie van het toepassingsmodel.

Validatie in brede zin

→ Modevaluatie

15 Validatie in strikte zin

→ Evaluatie van het toepassingsmodel

Variabele

- 20 Grootheid waarvan de waarde kan veranderen. Variabelen worden onderscheiden van constanten. Variabelen kunnen worden ingedeeld in verschillende typen, afhankelijk van de gekozen uitgangspunten:

- voor dynamische systemen is een ‘toestandsvariabele’ een grootheid die de toestand van het systeem beschrijft;
- bij modellering en statistiek kunnen we ook nog een onderscheid maken tussen afhankelijke (te verklaren) en onafhankelijke (verklarende) variabelen.

25 Variabele invoer

- 30 Alle modelinvoer, die door de modeltoepasser gespecificeerd mag worden, rekenen we tot de variabele invoer. Bij modellen, die ingezet worden voor toekomstvoorspellingen gaat het veelal om scenariogegevens. Bij modellen, die ingezet worden om het gedrag van stoffen te evalueren gaat het om stoffeigenschappen. Ook modelrunsettings rekenen we tot de variabele invoer.

Vaste invoer

Invoer die in de context van een toepassingsmodel constant is. De modeltoepasser mag deze parameters dus niet veranderen (→ modelparameters).

Verificatie

- 35 → Evaluatie van het computermodel

Versiebeheer

- Versiebeheer betekent hier dat op een systematische wijze wordt omgegaan met de verschillende versies van het toepassingsmodel (programmatuur én data) middels een systeem voor versienummering en archivering van opeenvolgende versies. Ook betekent versiebeheer dat
- 5 wordt bijgehouden welke aanpassingen er worden gedaan in welk deel van het model, door wie deze aanpassingen zijn gedaan en met welke reden. Een goed versiebeheersysteem biedt de mogelijkheid om terug te gaan naar eerdere versies (rollback) en faciliteert daarmee de reproduceerbaarheid van modelberekeningen.

Wetenschappelijke review

- 10 → Review.

Wiskundig model

- Mathematisch model