

Rapport 550002009/2005

Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden

- Checklist Onzekerheden in Ruimtelijke Informatie
- Visualisaties van Ruimtelijke Onzekerheid

H. Visser, A.C. Petersen, A.H.W. Beusen, P.S.C. Heuberger,
P.H.M. Janssen

Contact: A.C. Petersen
Milieu- en Natuurplanbureau (MNP)
Arthur.Petersen@mnp.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van de Directeur Generaal RIVM, in het kader van project S/550002/01/LO, Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden

De MNP Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden bevat de volgende delen:

1. *Mini-Checklist & Quicksan Questionnaire*, A. C. Petersen, P. H. M. Janssen, J. P. van der Sluijs *et al.*, RIVM/MNP, 2003 (ook beschikbaar in het Nederlands)
2. *Quicksan Hints & Actions List*, P. H. M. Janssen, A. C. Petersen, J. P. van der Sluijs *et al.*, RIVM/MNP, 2003 (ook beschikbaar in het Nederlands)
3. *Detailed Guidance*, J. P. van der Sluijs, J. S. Risbey *et al.*, Utrecht University, 2003
4. *Tool Catalogue for Uncertainty Assessment*, J. P. van der Sluijs, J. S. Risbey *et al.*, Utrecht University, 2004
5. *Checklist Onzekerheden in Ruimtelijke Informatie & Visualisaties van Ruimtelijke Onzekerheid*, H. Visser *et al.*, MNP, 2005

Publicaties zijn op te vragen bij A.C. Petersen of te downloaden van www.mnp.nl/leidraad

Rapport in het kort

Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden

- Checklist Onzekerheden in Ruimtelijke Informatie
- Visualisaties van Ruimtelijke Onzekerheid

Ontwikkelingen in milieu en natuur bezitten in veel gevallen een ruimtelijke component. In producten van het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) wordt deze ruimtelijke informatie weergegeven in de vorm van kaarten. Voor een juiste interpretatie van kaarten is het van belang om te weten hoe onzekerheid de weergegeven waarden en patronen kan beïnvloeden. Liggen waarden in een kaart dicht bij wettelijke normen of richtlijnen, dan is onzekerheidsinformatie van essentieel belang. Dit rapport geeft onderzoekers tips hoe om te gaan met onzekerheden in ruimtelijke informatie, en vormt als zodanig een aanvulling op de ‘Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden’ (<http://www.mnp.nl/leidraad>).

De tips zijn samengevat in een Checklist bestaande uit 11 punten. Aan bod komen onder andere (i) verschillende manieren om onzekerheden in kaarten te representeren, (ii) statische en dynamische presentatievormen, (iii) de rol van ruimtelijke resolutie, (iv) hoe klassenindelingen in de legenda te kiezen en (v) het belang van metadata. De Checklist wordt in het rapport aangevuld met een reeks van praktische voorbeelden van geslaagde (en minder geslaagde) onzekerheidspresentaties. Het rapport is niet alleen van belang voor onderzoekers binnen en buiten het MNP. Voor beleidsmakers en beleidsvoorbereiders geeft het inzicht in de onderzoeksmethoden zoals toegepast bij het MNP.

Trefwoorden: kaarten; metadata; onzekerheid; resolutie; visualisatie

Abstract

Guidance of Uncertainty Assessment:

- Checklist Uncertainties in Spatial Information
- Visualizations of Spatial Uncertainty

Spatial components are often found in developments concerned with the environment and nature. These components are reflected in the maps included in products issued by the Netherlands Environmental Assessment Agency (MNP). To enable a correct interpretation of these maps, it is important to know how uncertainty can influence values and patterns shown in the maps. This information on uncertainty is especially crucial in cases where values approximate legal standards or directives. The report then offers tips to researchers on how to deal with uncertainty in spatial data, forming as such a supplement to the ‘Guidance for Uncertainty Assessment and Communication’ (<http://www.mnp.nl/leidraad>).

The tips have been summarized in an 11-point Checklist, highlighting: (i) different ways to represent uncertainties on maps, (ii) statistical and dynamic forms of presentation, (iii) the role of spatial resolution, (iv) how to choose classifications in legends and (v) the importance of meta data. The Checklist is supplemented in the report with a series of practical examples of successful, and less successful, uncertainty presentations. This report not only constitutes worthwhile reading for researchers at and outside the MNP, but allows both policy makers and those setting up policy a glimpse into the strategies applied to MNP research.

Keywords: maps, meta data, uncertainty, resolution, visualization

Voorwoord

De auteurs danken Aldrik Bakema, Arno Bouwman en Ton de Nijs (allen Team Ruimte Infrastructuur en Mobiliteit van het MNP), Kit Buurman, Anton van der Giessen en Romuald te Molder (allen Team Informatievoorziening en Methodologie Planbureau van het MNP) voor hun opbouwende commentaar op eerdere versies van dit rapport. Speciale dank gaat naar Gerard Heuvelink (Centrum Bodem van Alterra, Wageningen) voor zijn uitvoerige review van het rapport.

Inhoud

Samenvatting	9
1. Wie, wat, waarom	11
2. Checklist onzekerheden in ruimtelijke informatie	17
3. Toelichting op de checklist	19
4. Visualisaties van ruimtelijke onzekerheid	33
4.1 <i>Representatie van onzekerheden op vier manieren</i>	33
4.2 <i>Voorbeelden</i>	38
4.2.1 Kaarten op een interval- of ratioschaal	38
4.2.2 Kaarten op een nominale schaal	47
4.2.3 Kaarten op een hybride schaal	50
Literatuur	53

Samenvatting

De in het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) ingevoerde ‘Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden’ biedt een hulpmiddel voor wetenschappelijke beleidsadviseurs om te reflecteren op onzekerheden en hoe hierover te communiceren (<http://www.mnp.nl/leidraad>). Deze Leidraad diende nog uitgewerkt te worden op het onderwerp ‘onzekerheden in ruimtelijke informatie’ (kaarten). Dit rapport bevat die uitwerking. Het rapport is niet alleen van belang voor onderzoekers binnen en buiten het MNP. Voor beleidsmakers en beleidsvoorbereiders geeft het een kijkje in de keuken van de onderzoeksmethoden zoals toegepast binnen het MNP.

Hoe moet in MNP-onderzoek worden omgegaan met de presentatie van gegevens met hoge resolutie (bijvoorbeeld grids van enkele tientallen meters)? Hoe kan onzekerheid de weergegeven waarden in een kaart beïnvloeden? Op welke manieren zijn onzekerheden in kaarten te representeren? Welke presentatievormen zijn daarvoor geschikt? Op deze en andere hiermee samenhangende vragen biedt dit vijfde deel van de ‘Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden’ antwoorden.

In de ‘Checklist Onzekerheden in Ruimtelijke Informatie’ worden aan de hand van korte tips handvatten geboden voor het omgaan met onzekerheden in kaartmateriaal, hoe om te gaan met kaartleveranties, en hoe onzekerheden in ruimtelijke informatie te presenteren in MNP-publicaties. Aan bod komen onder andere (i) verschillende manieren om onzekerheden in kaarten te representeren, (ii) statische en dynamische presentatievormen, (iii) de rol van ruimtelijke resolutie, (iv) hoe klassenindelingen in de legenda te kiezen, (v) het belang van metadata en (vi) communicatie. De Checklist wordt in het rapport uitgebreider toegelicht.

Tevens bevat het rapport een hoofdstuk over ‘Visualisaties van Ruimtelijke Onzekerheid’. Vier manieren om onzekerheid in ruimtelijke informatie te representeren worden toegelicht aan de hand van voorbeelden: (1) verschilkaarten, (2) scenario-kaarten, (3) ensemble-kaarten en (4) grid-onzekerheidskaarten. Bij elk van deze representaties wordt tevens ingegaan op de rol van het meetniveau: nominale schaal, ordinale schaal, ratio-schaal of interval-schaal.

Evenals de andere onderdelen van de ‘Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden’ moet dit onderdeel niet worden opgevat als een protocol. Het is veeleer een handreiking die moet bevorderen dat men zich bewust is van de keuzes die gemaakt worden.

Once a map is drawn, people tend to accept it as reality

Bert Friesen

1. Wie, wat, waarom

Aanleiding

In 2003 is in het NO₂-dossier een discussie gevoerd over de kwaliteit van MNP-gegevens op gridniveau. Het ging hier om directe ondersteuning bij beleidsuitvoering. Deze discussie is voor het MNP aanleiding geweest om meer in het algemeen na te gaan hoe in MNP-onderzoek om moet worden gegaan met de presentatie van gegevens met hoge ruimtelijke resolutie (bijvoorbeeld grids van enkele tientallen meters). Dit probleem speelt met name bij presentatie van effecten voor natuur en gezondheid. Dit rapport, deel 5 van de ‘Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden’, is het resultaat van een methodologisch onderzoek naar omgaan met onzekerheden in ruimtelijke informatie.

Noodzaak

De huidige MNP-praktijk van onzekerheidscommunicatie laat nog het nodige te wensen over. Bij getallen in rapporten vinden we nog lang niet altijd informatie over onzekerheid. Bij meetreeksen in de tijd is dat nog minder het geval. Maar bij kaartmateriaal is onzekerheidsinformatie nagenoeg altijd afwezig. Zie bijvoorbeeld de pagina’s 108/115/147/149/151/166/179/181/186 in [21].

Kaarten zoals getoond in **figuur 1**, zien er prachtig uit en in gedrukte vorm lijken ze de waarheid te vertellen, zoals ook de kern is van bovenstaande spreuk. Een vergelijkbare uitdrukking uit de toegepaste wiskunde luidt: *‘never fall in love with your own data’*. Het belang van het aangeven van onzekerheden in deze kaarten blijft even groot, hoe mooi ze er ook uitzien!

Het aangeven van onzekerheid in kaarten is niet alleen belangrijk omdat waarden in de kaart best eens 25% hoger of lager zouden kunnen liggen, maar ook omdat de *patronen* in de kaart (bijvoorbeeld isolijnen) geheel anders zouden kunnen komen te liggen. Daarbij moet er ook bij schaal- en legenda-keuze rekening gehouden worden met onzekerheid.



Figuur 1 Informatie in de vorm van kaarten speelt een belangrijke rol in beleid, politiek en beïnvloeding van het grote publiek. De getoonde kaart van Europa geeft NO_2 -concentraties gemeten met het satelliet SCIAMACHY-instrument in de Envisat-satelliet, en wordt hier via reclameposters gebruikt als argument om vóór de Europese grondwet te stemmen. Zie verder figuren 7 en 10 voor kanttekeningen bij deze kaart. Bron kaart: IUP Heidelberg. Foto: H. Visser.

Lastig

Het bepalen van onzekerheden in kaarten is vaak lastig. En het kost soms veel (niet geplande) tijd, bijvoorbeeld omdat essentiële gegevens over onzekerheid ontbreken. Wel zijn er systematische methoden beschikbaar om deze onzekerheden boven tafel te krijgen.

Als we beschikken over metingen van meetstations, kunnen we bijvoorbeeld onzekerheden en, daarvan afgeleid, ensemble-kaarten bepalen met geostatistische methoden als Kriging [5, 14]. Als een kaart output is van een model of een bewerking, dan kunnen we onzekerheden en ensemble-kaarten bepalen via Monte-Carlo-simulatie [9, 26]. Hierbij moeten dan wel de onzekerheden in de input van het model of de bewerking bekend zijn. Fouten in landgebruikskaarten kunnen we opsporen met de MAPCOMPARISONKIT-software [7, 19].

Het combineren van kaarten op verschillende resoluties (gridgroottes) komt vaak voor in de MNP-praktijk. Maar zo'n combinatie introduceert wel (onverwachte) fouten [2, 10, 11, 12]. Onzekerheden kunnen tenslotte ook nog voortkomen uit onvolkomenheden in

het model zelf. Om dit type onzekerheid te kwantificeren, moeten we modeluitkomsten vergelijken met alternatieve modellen. Zie **figuur 2** voor een voorbeeld.

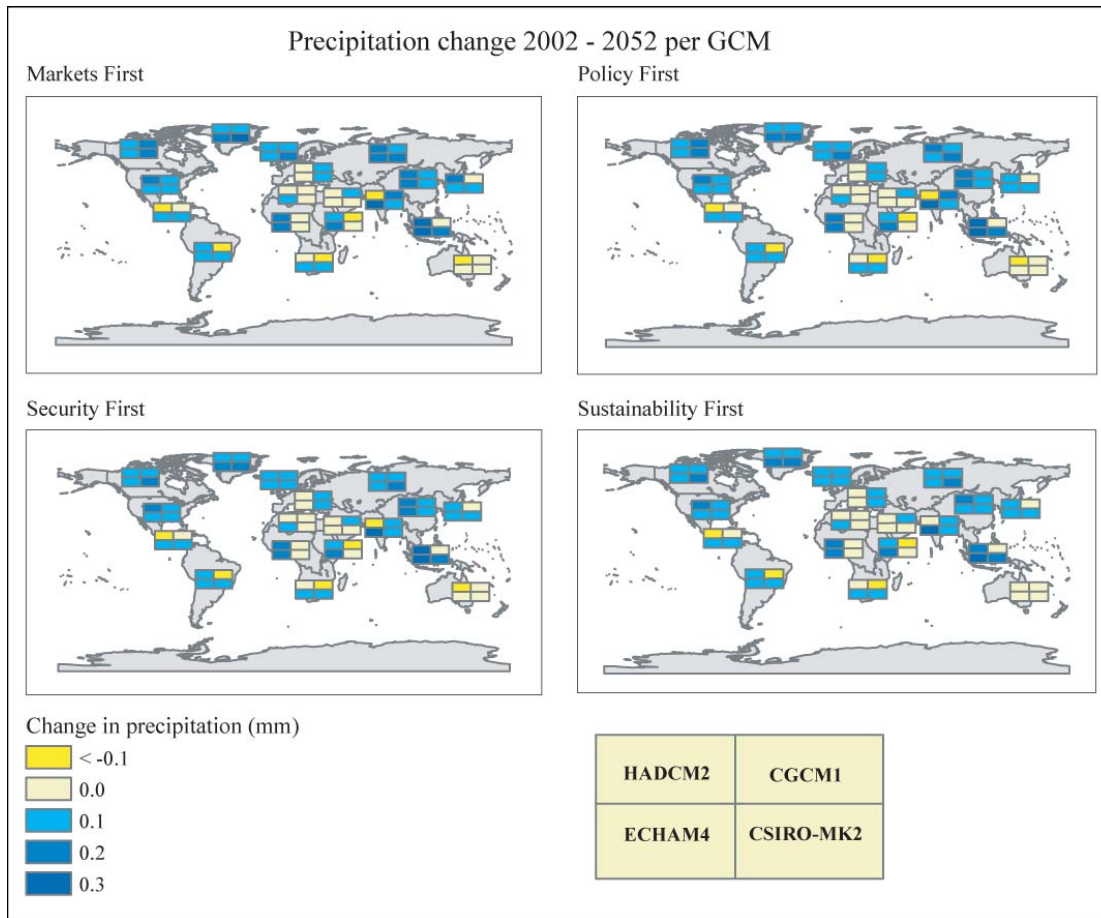
Voor een recent overzicht van de vele aspecten van ruimtelijke onzekerheden verwijzen we naar [25].

Typologie

Elk vakgebied heeft zijn eigen terminologie. Dat geldt niet alleen voor statistiek en onzekerheidsanalyses, maar ook voor het GIS-vakgebied. De typologie voor onzekerheden is samengevat in de RIVM/MNP ‘Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden, Quickscan Hints & Acties-Lijst’, pag. 16 en volgende. Binnen het gebied van ruimtelijke informatie is ook een eigen terminologie ontstaan. Burroughs geeft een overzicht van verschillende bronnen van onzekerheden [5, hoofdstuk 9], dat hier niet herhaald wordt.

We vermelden hier alleen twee veelgebruikte termen in het kader van fouten in kaartmateriaal. Vaak wordt onderscheid gemaakt in fouten in positie (positionele onzekerheid) en fouten in de waarde van de geplote grootte zelf (attribuutonzeerheid). Voor de praktijk van het MNP en het RIVM speelt positionele onzekerheid een minder belangrijke rol. Enerzijds is veel natuur- en milieu-informatie topografisch van aard en daarmee zeer accuraat qua positie. Anderzijds zijn er veel technieken ontwikkeld om fouten in positie op voorhand te corrigeren. Denk bijvoorbeeld aan *rubber-sheeting*-methoden om satellietwaarnemingen qua locatie te corrigeren. Dat is bijvoorbeeld gebeurd bij de berekening van de kaarten in figuren 1 en 6: de Envisat-satelliet heeft de concentraties gemeten onder een schuine hoek en deze zijn softwarematig zodanig gecorrigeerd dat de getoonde concentraties representatief zijn voor een *verticale* kolom lucht.

Voor zover positionele onzekerheid toch een rol speelt in de behandelde kaarten, wordt geadviseerd om de rol van dit type onzekerheid te verminderen door kaarten te analyseren met behulp van *fuzzy*-technieken ([5, hoofdstuk 11] en [7]).



Figuur 2 Verandering in jaartotale neerslag over de periode 2002-2052. De figuur geeft scenario-onzekerheden in de vorm van vier tableaux (Markets first, Policy first, Security first en Sustainability first) als ook per tableau de uitkomst van vier verschillende klimaatmodellen (HADCM2, CGCM1, ECHAM4 en CSIRO-MK2). In totaal worden dus per regio 16 toenames in neerslag gegeven. Bron: [18, figuur 7.12].

Checklist

Doel van deze Checklist is om aan de hand van korte tips een handvat te geven voor het omgaan met onzekerheden in kaartmateriaal, hoe om te gaan met kaartleveranties aan derden, en hoe onzekerheden in ruimtelijke informatie te presenteren in MNP-publicaties.

In hoofdstuk 2 geven we een 10-punts Checklist waarin bovenstaande thema’s behandeld worden. Alle punten uit de Checklist worden vervolgens ruimer toegelicht in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 laten we zien hoe onzekerheden in kaarten gepresenteerd kunnen worden,

namelijk in een van de volgende vier vormen:

- verschilkaarten,
- scenario-kaarten,
- ensemble-kaarten, of
- grid-onzekerheidskaarten.

Deze vier basis-weergaves worden toegelicht in paragraaf 4.1. Daarna geven we in paragraaf 4.2 voorbeelden uit de MNP- en RIVM-praktijk: in subparagraaf 4.2.1 voor kaarten op ratio- of interval-schaal (de kaart geeft waarden van een continue variabele), en in subparagraaf 4.2.1 voor kaarten op nominale schaal (de kaart geeft categorieën weer, zoals soorten grondgebruik). In paragraaf 4.3 besteden we kort aandacht aan dynamische presentatievormen zoals het gebruik van animaties.

Evenals de andere onderdelen van de ‘Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden’ moet de Checklist Onzekerheden in Ruimtelijke Informatie niet worden opgevat als een protocol. Het is veeleer een handreiking die moet bevorderen dat men zich *bewust* is van de keuzes die gemaakt worden.

De primaire doelgroep van dit rapport wordt gevormd door medewerkers van het MNP en partners. Andere onderzoekers kunnen dit rapport gebruiken om deze informatie op hun eigen vakgebied toe te passen of om onderzoek naar onzekerheidscommunicatie te programmeren. Beleidsmakers wordt inzicht gegeven in de onderzoeksmethoden van het MNP.

2. Checklist onzekerheden in ruimtelijke informatie

1. **Leidraad** Gebruik de ‘Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden’ als algemeen uitgangspunt.
2. **Onzekerheidsrepresentaties** Onzekerheden in kaarten kunnen op verschillende manieren gerepresenteerd worden. We behandelen vier manieren. In de eerste plaats kun je onzekerheid weergeven door middel van een *verschilkaart*. Verschilkaarten zijn essentieel bij het evalueren en presenteren van het verschil tussen een modelgegenereerde kaart en metingen (figuur 3 geeft een voorbeeld). In de tweede plaats kunnen onzekerheden verduidelijkt worden door het presenteren van twee of meer kaarten die behoren bij verschillende *(toekomst)-scenario's* (figuur 2). In de derde plaats kun je gebruik maken van *ensemble-kaarten* om onzekerheden in ruimtelijke informatie weer te geven (figuur 4). In de laatste plaats kun je kaarten presenteren met marges per gridpunt. Deze *grid-onzekerheidskaarten* kunnen verschillende vormen hebben. Per grid kun je weergeven: de standaarddeviatie of de relatieve fout (figuur 13A), een bepaalde percentielwaarde (figuur 13B), een minimum of maximumwaarde, of de kans op overschrijding van een drempelwaarde (figuur 13C). Heeft de grootte een nominaal karakter, dan is het analogon een kanskaart per categorie (figuur 16). Met elk van de eerste drie presentatie-vormen kun je duidelijk maken hoe *patronen* in de kaart kunnen wijzigen onder invloed van onzekerheid. De vierde presentatievorm legt meer nadruk op onzekerheid per gridpunt en is zeer geschikt om te laten zien of de onderzochte grootte een bepaalde norm zal overschrijden.
3. **Presentatievormen** Gegeven één van de visualisaties uit punt 2 kun je voor verschillende *presentatievormen* kiezen. Echter sommige zijn meer geschikt dan andere. Er bestaat een trend om kaartwaarden en hun grid-onzekerheid in één kaart te integreren (onzekerheid via isolijnen, 3D met onzekerheid op z-as, vage (fuzzy) categoriegrenzen, etc.). Voor een niet-getrainde lezer/gebruiker zal de kennisoverdracht van deze bivariate presentaties matig zijn: te veel informatie in de kaart vertroebelt de boodschap. Presenteer daarom bij voorkeur kaart en onzekerheid apart. Een tweede trend is het *dynamisch* presenteren van onzekerheid op *Internet* (of in een *Powerpoint*-presentatie). Animaties van ensemble-kaarten zijn zeer doeltreffend. Andere methoden zoals het sneller laten knippen van meer onzekere gebieden, zijn veel minder duidelijk.

4. **Reken- en presentatieniveau** Hanteer een onderscheid tussen reken- en presentatieniveau. Bepaal de onzekerheden op beide niveaus. Bespreek de onzekerheden met de onderzoekers/organisaties die onze gegevens gebruiken en maak samen weloverwogen keuzes over de mate van detail in presentatie- en rekenniveau.
5. **Resolutie** Wees kritisch en zeer terughoudend ten aanzien van de neiging om op steeds hogere ruimtelijke resolutie te willen rekenen en waak voor het hanteren van een te hoge ruimtelijke resolutie in publicaties.
6. **Klassenindeling** Wees je bewust van de gevoeligheid van ruimtelijke resultaten voor subjectieve keuzes in het bepalen van een klassenindeling.
7. **Metadata leveren** Lever geen gegevens zonder beschrijving (metadata), en bij voorkeur met informatie over onzekerheden (als onderdeel van de metadata). Wanneer we op een bepaald fijn detailniveau de onzekerheden te groot vinden om de gegevens op dat niveau te gebruiken voor de betreffende toepassing, dient gegevensleverantie plaats te vinden onder expliciet gemaakte voorwaarden, na overleg met de gebruiker. Overleg in geval van twijfel met de adviseurs genoemd in punt 10.
8. **Metadata vragen** Stel eisen aan de kwaliteit van de aan ons geleverde data (die in modellen worden gebruikt of in kaarten omgezet): er moet bij voorkeur onzekerheidsinformatie bij zitten. Ook informatie over de manier waarop gegevens zijn verzameld of tot stand zijn gekomen, is hierbij relevant.
9. **Actieve onzekerheidscommunicatie** Geef – ook ongevraagd – context-relevante toelichting en informatie over het toepassingsbereik van de resultaten en hoe we tot de resultaten zijn gekomen; zorg voor borging van deze informatie en attendeer gebruikers er op.
10. **Adviseurs** Treed voor advies over een verantwoorde omgang met onzekerheden in ruimtelijke informatie in contact met IMP (Hans Visser, Peter Janssen, Peter Heuberger) en/of RIM (Arno Bouman, Ton de Nijs). Maak gebruik van hun diensten op dit gebied.
11. **Planning** Wees je bewust van de tijd die het kost om adequaat met onzekerheden in ruimtelijke informatie om te gaan. Plan die tijd.

3. Toelichting op de Checklist

1. **Leidraad** Gebruik de 'Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden' als algemeen uitgangspunt.

De 'Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden' [20] maakt mensen bewust van het belang van het in kaart brengen van onzekerheden en doet suggesties over hoe onzekerheden gecommuniceerd zouden kunnen worden. Hoe onderzoekers specifiek met onzekerheden in ruimtelijke informatie om zouden moeten gaan, wordt echter niet in detail uitgewerkt. Daarom is deze aanvullende checklist ontwikkeld.

De Checklist biedt een nadere toespitsing van Leidraadonderdelen 5 (in kaart brengen en beoordelen relevante onzekerheden) en 6 (rapportage van onzekerheidsinformatie) voor onzekerheden in ruimtelijke informatie. Het blijft van belang om in projecten waarin ruimtelijke informatie een rol speelt, ook de Leidraad zelf toe te passen, zowel aan het begin als aan het einde van het project.

In het algemeen is het wenselijk om zoveel mogelijk over *kwantitatieve* informatie over onzekerheden te beschikken, met name om conclusies te kunnen trekken die robuust zijn ten aanzien van de geïdentificeerde onzekerheden. Naast kwantitatieve informatie over onzekerheden zijn echter ook *kwalitatieve* karakteriseringen van onzekerheid in ruimtelijke informatie van belang.



Foto: H. Visser.

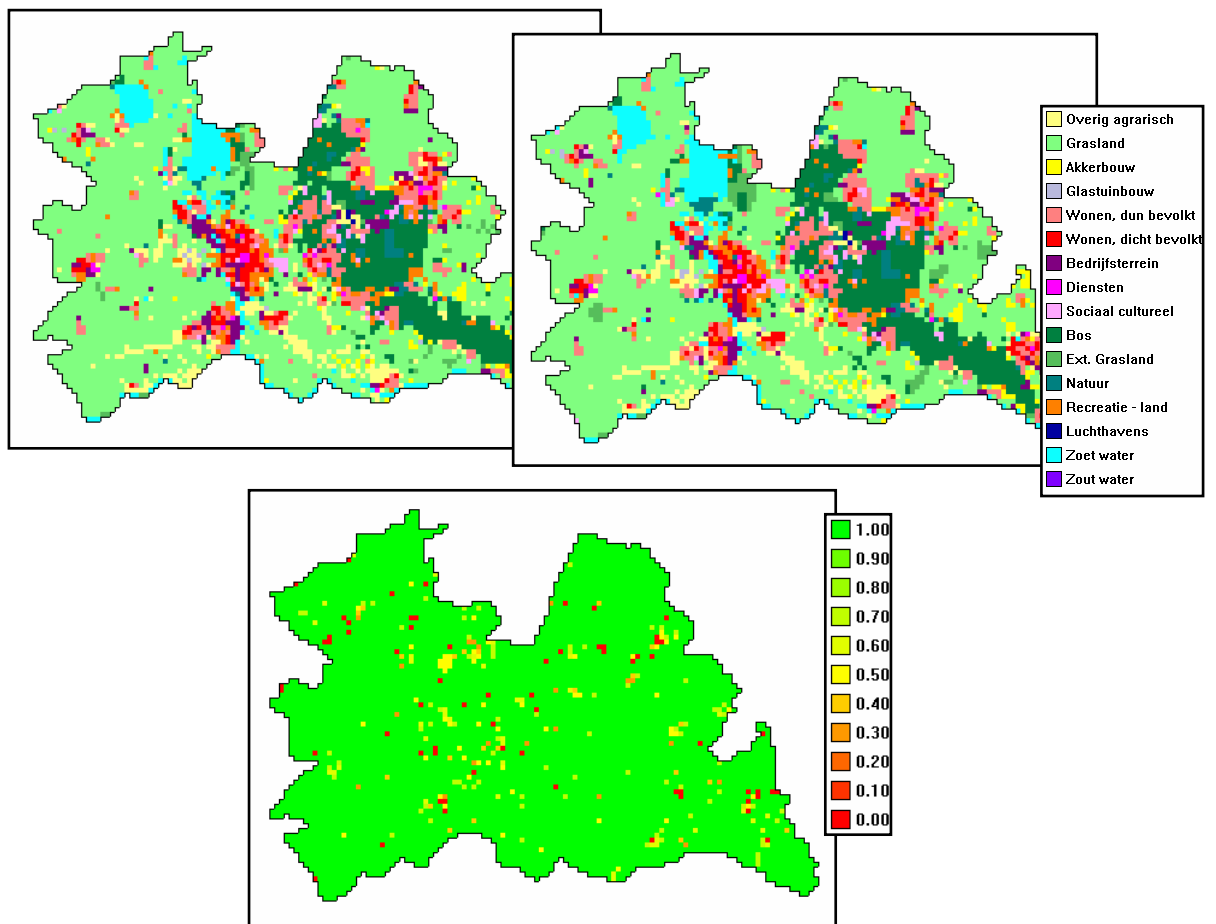
2. **Onzekerheidsrepresentaties** *Onzekerheden in kaarten kunnen op verschillende manieren gerepresenteerd worden. We behandelen vier manieren. In de eerste plaats kun je onzekerheid weergeven door middel van een verschilkaart. Verschilkaarten zijn essentieel bij het evalueren en presenteren van het verschil tussen een modelgegenereerde kaart en metingen (figuur 3 geeft een voorbeeld). In de tweede plaats kunnen onzekerheden verduidelijkt worden door het presenteren van twee of meer kaarten die behoren bij verschillende (toekomst)-scenario's (figuur 2). In de derde plaats kun je gebruik maken van ensemble-kaarten om onzekerheden in ruimtelijke informatie weer te geven (figuur 4). In de laatste plaats kun je kaarten presenteren met marges per gridpunt. Deze grid-onzekerheidskaarten kunnen verschillende vormen hebben. Per grid kun je weergeven: de standaarddeviatie of de relatieve fout (figuur 13A), een bepaalde percentielwaarde (figuur 13B), een minimum of maximumwaarde, of de kans op overschrijding van een drempelwaarde (figuur 13C). Heeft de grootte een nominaal karakter, dan is het analoog een kanskaart per categorie (figuur 16). Met elk van de eerste drie presentatie-vormen kun je duidelijk maken hoe patronen in de kaart kunnen wijzigen onder invloed van onzekerheid. De vierde presentatievorm legt meer nadruk op onzekerheid per gridpunt en is zeer geschikt om te laten zien of de onderzochte grootte een bepaalde norm zal overschrijden.*

Bij de eerste visualisatie wordt onzekerheid weergegeven met een *verschilkaart*. Zulke verschilkaarten zijn essentieel bij het evalueren van kaarten door modellen gegenereerd, en een kaart met de gemeten 'werkelijkheid'. De verschilkaart speelt daarmee een belangrijke rol bij het kalibreren en valideren van modellen die kaarten als reken-output hebben (voorwaarde is dan wel dat de gemeten kaart een verwaarloosbare fout bezit!). Een voorbeeld voor nominale kaarten is gegeven in **figuur 3**.

Daarnaast kunnen verschilkaarten illustratief zijn. Als we bijvoorbeeld twee scenario's presenteren voor het grondgebruik in het jaar 2030, dan kan het toevoegen van een fuzzy-verschilkaart duidelijk maken waar in de toekomst grote, matige of kleine veranderingen te verwachten zijn. Zie [7] en [27].

Een tweede manier om onzekerheid in kaarten te presenteren, wordt verkregen door gelijktijdig kaarten te presenteren die berekend zijn onder verschillende *scenario's*. Deze kaarten geven de lezer een indruk hoe waarden in de kaart, maar ook de patronen, kunnen veranderen onder invloed van verschillende aannames. Zie figuur 2 voor een voorbeeld.

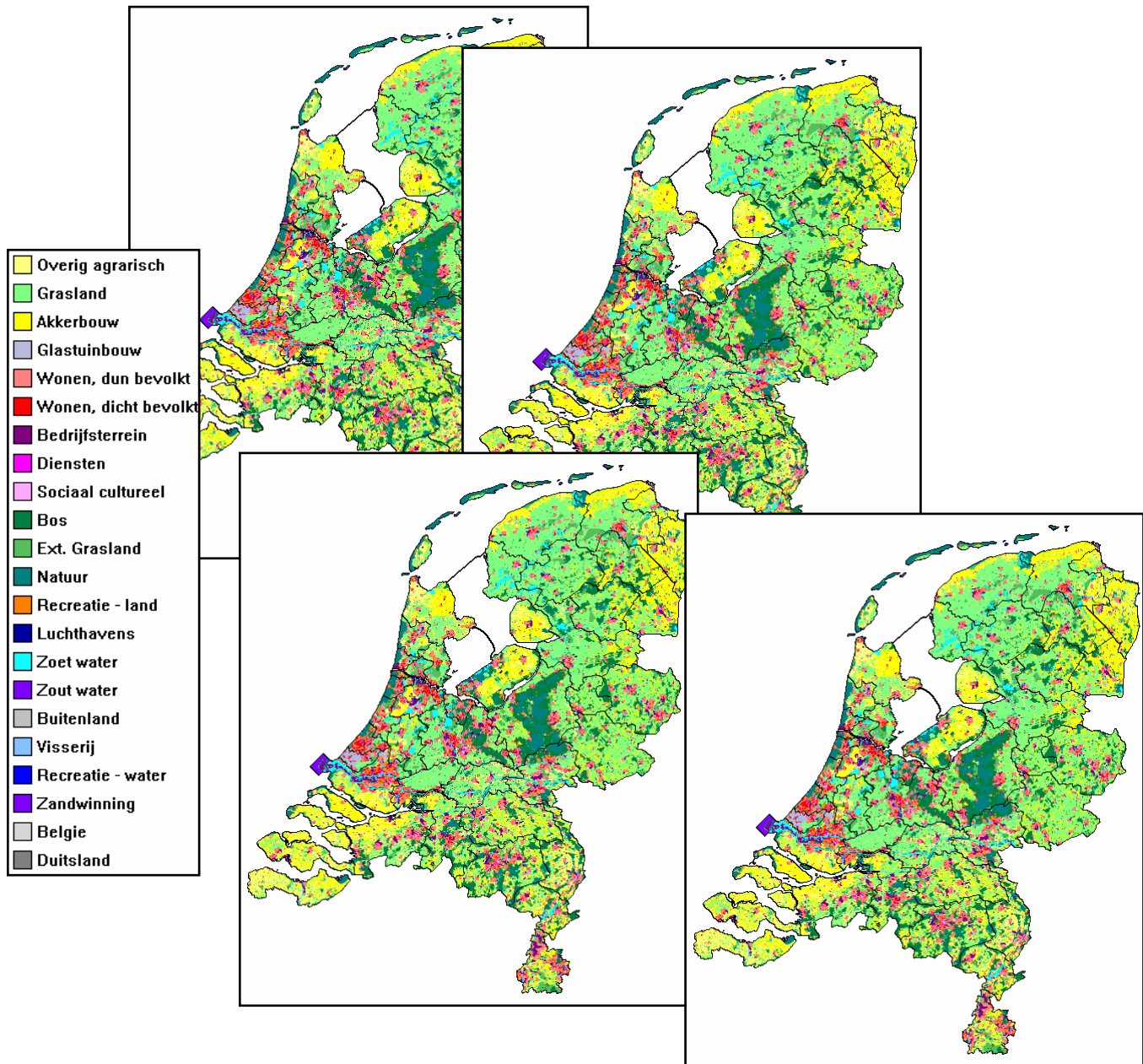
Een derde manier van presenteren maakt gebruik van ensemble-kaarten (ook wel *even-waarschijnlijke kaarten* genoemd in de literatuur). Dat zijn kaarten die berekend zijn met verschillende parameterinstellingen van een model. Het presenteren van twee of meer van zulke kaarten geeft de lezer een goede indruk hoe waarden en patronen kunnen wijzigen



Figuur 3 Bodemgebruik in 1993 voor de provincie Utrecht, geplot op een 500 bij 500 m grid. De kaart linksboven geeft het bodemgebruik zoals afgeleid van de CBS-bodemkaart voor dat jaar. De kaart rechtsboven geeft een simulatie van bodemgebruik zoals berekend met de LeefOmgevingsVerkenner (LOV). De onderste kaart geeft de fuzzy-verschilkaart zoals berekend met de MapComparisonKit-2. De verschilkaart laat zien waar de overeenkomst goed (groene tinten), matig (gele tinten) en slecht is (rode tinten).

onder invloed van onzekerheid. De selectie van kaarten die het meest geschikt zijn voor publicatie, is zeker niet triviaal. Dit aspect komt aan bod in paragraaf 4.1. **Figuur 4** geeft een voorbeeld van vier ensemble-kaarten uit een set van 1000.

Opgemerkt zij dat het verschil tussen scenario-kaarten en ensemble-kaarten ligt in het feit dat scenario-kaarten niet berusten op kansverdelingen. Ze geven een reeks van mogelijke uitkomsten, berustend op bepaalde vooronderstellingen. Bij ensemble-kaarten worden juist wel kansverdelingen gebruikt. Hiermee worden trekkingen gedaan om onzekerheid in parameters van het model (en eventueel in onzekere inputs) tot uitdrukking te brengen.



Figuur 4 Voorbeeld van vier ensemble-kaarten voor landgebruik volgens uitgangspunten van de Nota Ruimte in het jaar 2030. Elke kaart hoort bij een andere set van parameterinstellingen binnen het LeefOmgevingsVerkenner-model (LOV). Bron: [17].

Tenslotte kunnen getallen uit ruimtelijke informatie gepresenteerd worden met onzekerheid per grid/cel. Als per grid een kansverdeling bekend is, dan kan op basis daarvan de standaarddeviatie per grid getoond worden of de relatieve fout ($100\% \cdot \text{standdaarfout} / \text{gemiddelde waarde}$). Ook kunnen we een willekeurige percentielwaarde kiezen, bijvoorbeeld het 2.5 of het 97.5 percentiel. Een interessant alternatief

voor de standaarddeviatie is het verschil per gridpunt van het 95 en 5 percentiel, of het verschil tussen het 75 en 25 percentiel (ook wel kwantielrange genoemd).

Daarnaast kun je eenvoudig per grid de kans op over- of onderschrijding van een drempelwaarde visualiseren. Als er per grid geen kansverdeling bekend is maar wel waarden uit twee of meer scenario's, dan kan per grid bijvoorbeeld een minimale waarde afgeleid worden met als resultaat een 'minimum-kaart' en evenzo een 'maximum-kaart'. Let hierbij wel op de interpretatie van de ruimtelijke patronen: de waarden in de minimum- of maximum-kaart gelden *per grid* en vormen daarmee als kaart geen coherent beeld van de werkelijkheid.

Heeft de grootheid een *nominaal* karakter, dan is het analogon de kans dat een bepaalde categorie op een willekeurig grid kan voorkomen. Zulke kansen kunnen eenvoudig worden afgeleid uit een set van ensemble-kaarten. We kunnen vervolgens voor interessante categorieën zulke kanskaarten presenteren. Zie figuur 16.

Is een berekening en levering van kaarten bedoeld om *input te zijn voor een ander model*, dan zijn scenario-kaarten en vooral ensemble-kaarten de meest aangewezen methodes om onzekerheid over de hele keten van modellen door te rekenen (zie ook punt 7). Grid-onzekerheidskaarten zijn hiervoor zelden geschikt. Zie verder [5, hoofdstuk 10] en [11].

Verdere uitleg aan de hand van praktijkvoorbeelden volgt in hoofdstuk 4.

3. **Presentatievormen** *Gegeven één van de visualisaties uit punt 2 kun je voor verschillende presentatievormen kiezen. Echter sommige zijn meer geschikt dan andere. Er bestaat een trend om kaartwaarden en hun grid-onzekerheid in één kaart te integreren (onzekerheid via isolijnen, 3D met onzekerheid op z-as, vage (fuzzy) categoriegrenzen, etc.). Voor een niet-getrainde lezer/gebruiker zal de kennisoverdracht van deze bivariate presentaties matig zijn: te veel informatie in de kaart. Presenteer daarom bij voorkeur kaart en grid-onzekerheid apart. Een tweede trend is het dynamisch presenteren van onzekerheid op Internet (of in een Powerpoint-presentatie). Animaties van ensemble-kaarten zijn zeer doeltreffend. Andere methoden zoals het sneller laten knippen van meer onzekere gebieden, zijn weer veel minder duidelijk.*

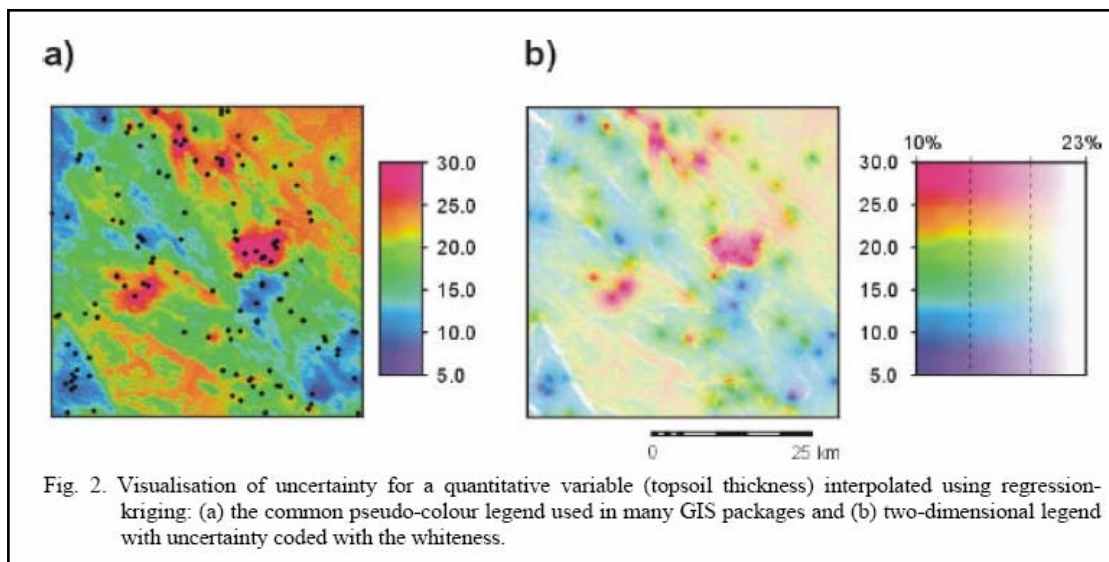
Over het algemeen worden *best-guess*-kaarten en de onzekerheid daarin apart weergegeven in publicaties. Er is echter ook een trend om de gemiddelde kaart en de corresponderende grid-onzekerheid te integreren in één kaart. Voorbeelden zijn:

- gebruik van isolijnen voor onzekerheid in een *best-guess*-kaart (figuur 9),
- kaart 3D maken met de onzekerheid per grid op de z-as,

- categoriegrenzen meer of minder vaag (fuzzy) maken om onzekerheid in de grens te symboliseren,
- gebruik van arcerings- of kleurverzadigings- (textuur) technieken om onzekere gebieden minder duidelijk te maken.

Een verdere uitwerking wordt gegeven in [25, pags. 140-159] en literatuurverwijzingen daarin.

Over het algemeen wordt de helderheid van de kaart echter minder door een te hoge informatiedichtheid. Zie **figuur 5** voor een voorbeeld. Een niet-getrainde gebruiker zal de boodschap uit figuur 5b waarschijnlijk niet oppakken. Presenteer daarom bij voorkeur de gemiddelde kaart en de bijbehorende grid-onzekerheid in verschillende kaarten.



Figuur 5 Kaart a) geeft geïnterpoleerde waarden voor een continue variabele (top soil thickness in cm). In kaart b) wordt dezelfde informatie gegeven maar nu inclusief de ruimtelijke onzekerheid. De bijbehorende legenda is twee-dimensionaal: op de y-as de laagdikte, op de x-as de relatieve fout. Hoe witter de tint, hoe onzekerder de interpolatie is geweest. Bron: [8].

Een tweede trend is het *dynamisch* presenteren van onzekerheid op Internet of in een *Powerpoint*-presentatie. De tot op heden meest gebruikte vorm van dynamisch presenteren is die van animaties. Animaties van ensemble-kaarten kunnen een duidelijke indruk geven hoe patronen in de kaart kunnen variëren onder invloed van onzekerheid. Voor een voorbeeld zie

de site www.pfos.hr/~hengl/visualisation.php, click links onder op *Visualisation of Uncertainty*, en ga naar figuur 10.

Andere technieken geven minder duidelijke resultaten. Voorbeelden zijn:

- laten flinkeren van onzekere gebieden (sneller naarmate onzekerheid groter is)
- idem maar dan met kleurverlopen
- inzoomen op gebieden die nauwkeurig zijn kan wel, maar inzoomen op onzekere gebieden wordt bemoeilijkt, evenredig met de toename in onzekerheid.

Zie verder [25, pags. 140-159] en literatuurverwijzingen daarin. Ook hier geldt dat de informatieoverdracht minder is dan bij het apart presenteren van onzekerheidsinformatie.

Meer algemene aspecten van het presenteren van kaarten, zoals lay-out, kleurkeuze, vlak-symbolen en kwaliteit van informatie, worden goed behandeld in het Kartografisch Handboek [1]. Deze aspecten van presentatie komen hier verder niet aan bod.

4. **Reken- en presentatieniveau** *Hanteer een onderscheid tussen reken- en presentatieniveau. Bepaal de onzekerheden op beide niveaus. Bespreek de onzekerheden met de onderzoekers/organisaties die onze gegevens gebruiken en maak samen weloverwogen keuzes over de mate van detail in presentatie- en rekenniveau.*

Het verdient aanbeveling om een onderscheid tussen reken- en presentatieniveau te maken. Men kan op gridcellen van 0,5 bij 0,5 graad rekenen en op een hoger aggregatieniveau, bijvoorbeeld het stroomgebied van een rivier, de resultaten analyseren en presenteren. Voor de keuze van het presentatieniveau is bepalend wat de fijnste ruimtelijke resolutie is waarop resultaten zinnig geïnterpreteerd en gepresenteerd kunnen worden. Identificeer bijvoorbeeld welke invoerparameters de grofste resolutie hebben. Deze parameters zijn vaak bepalend voor de adequate resolutie van het presentatieniveau. Daarom moet gekeken worden naar de oorsprong van de invoerbestanden. Op welke ruimtelijke schaal waren deze bekend? Welke manieren zijn er gebruikt om over te stappen naar een andere schaal?

Neem als voorbeeld de LGN-kaart van Nederland met een gridgrootte van 25 bij 25 meter. Als we als modelinvoer een grid van 250 bij 250 meter nodig hebben, gebaseerd op deze LGN-kaart, hoe kunnen we dat dan doen? We zouden kunnen kiezen voor het dominant grondgebruik binnen elk grid van 250 bij 250 meter. Of we zouden een *midpoint*-benadering kunnen kiezen om gegevens van LGN naar een grid van 250 bij 250 meter te transformeren. Als het grid van 250 meter de rekenresolutie is geworden, waar moeten we dan aan denken als we naar presentatieniveau gaan? Landelijk (voor Nederland) zal er een acceptabele weergave van de LGN komen, mits de frequentieverdelingen van de categorieën in tact zijn gebleven bij

de *upscaling* (zoals met het SPAT-tool gerealiseerd kan worden). Maar meer lokaal is dit niet noodzakelijk meer zo.

Bij modellen moet er rekening mee worden gehouden dat het bij kalibratie en validatie van modellen met metingen meestal gaat om puntmetingen. Bepaal op welk niveau het model gekalibreerd of gevalideerd moet worden. Als er *downscaling* of *upscaling* wordt uitgevoerd, bepaalt dat hoe gevoelig de gebruikte methode is. Dit kan gedaan worden door te bekijken welke consequenties het gebruik van andere methoden heeft (zie [2]).

Voor de verschillende voetangels bij het aggregeren van rekenresultaten naar een hoger niveau (*upscaling*) verwijzen we naar een artikel van Heuvelink [10].

5. **Resolutie** *Wees kritisch en zeer terughoudend ten aanzien van de neiging om op steeds hogere ruimtelijke resolutie te willen rekenen en waak voor het hanteren van een te hoge ruimtelijke resolutie in publicaties.*

Houd er rekening mee dat op een hogere (fijnere) schaal rekenen kan leiden tot een lagere betrouwbaarheid op gridcel-niveau (er zijn uiteraard uitzonderingen). Het aggregeren van gridcellen levert doorgaans een hogere betrouwbaarheid op.

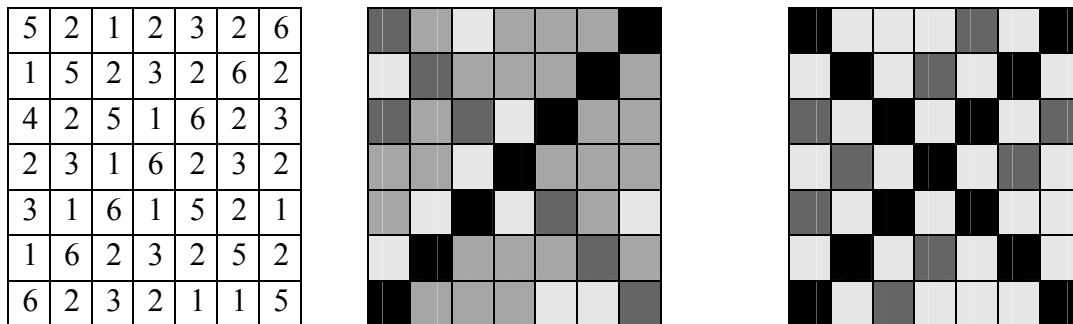
Bij de vraag of bepaalde methoden of modellen verbetering behoeven in de vorm van het verfijnen van de resolutie, moeten de benodigde hoeveelheid tijd en geld worden afgewogen tegen de potentiële verbeteringen in de inschatting van effecten (een ‘verbetering’ in een model hoeft niet noodzakelijkerwijs tot een beter eindresultaat te leiden). Zie verder [10].

6. **Klassenindeling** *Wees je bewust van de gevoeligheid van ruimtelijke resultaten voor subjectieve keuzes in het bepalen van een klassenindeling.*

Bij presentatie van resultaten middels kaarten wordt in de praktijk vaak gebruik gemaakt van een klassenindeling, waartoe de te presenteren resultaten eerst geclassificeerd worden. Men dient zich ervan bewust te zijn dat de keuze van zowel het aantal klassen als van de klassengrenzen altijd een subjectieve keuze is. Tevens is het zeer wel mogelijk dat bepaalde patronen in een kaart niet terug te vinden zijn indien een andere klassenindeling gekozen zou worden.

Zie bijvoorbeeld de linker kaart in **figuur 6** met celwaarden 1-6. Vervolgens zijn twee kaarten gemaakt met verschillende klassenindelingen:

- indeling middelste kaart: [1] [2 3] [4 5] [6]
- indeling rechtse kaart: [1 2] [3 4] [5 6]

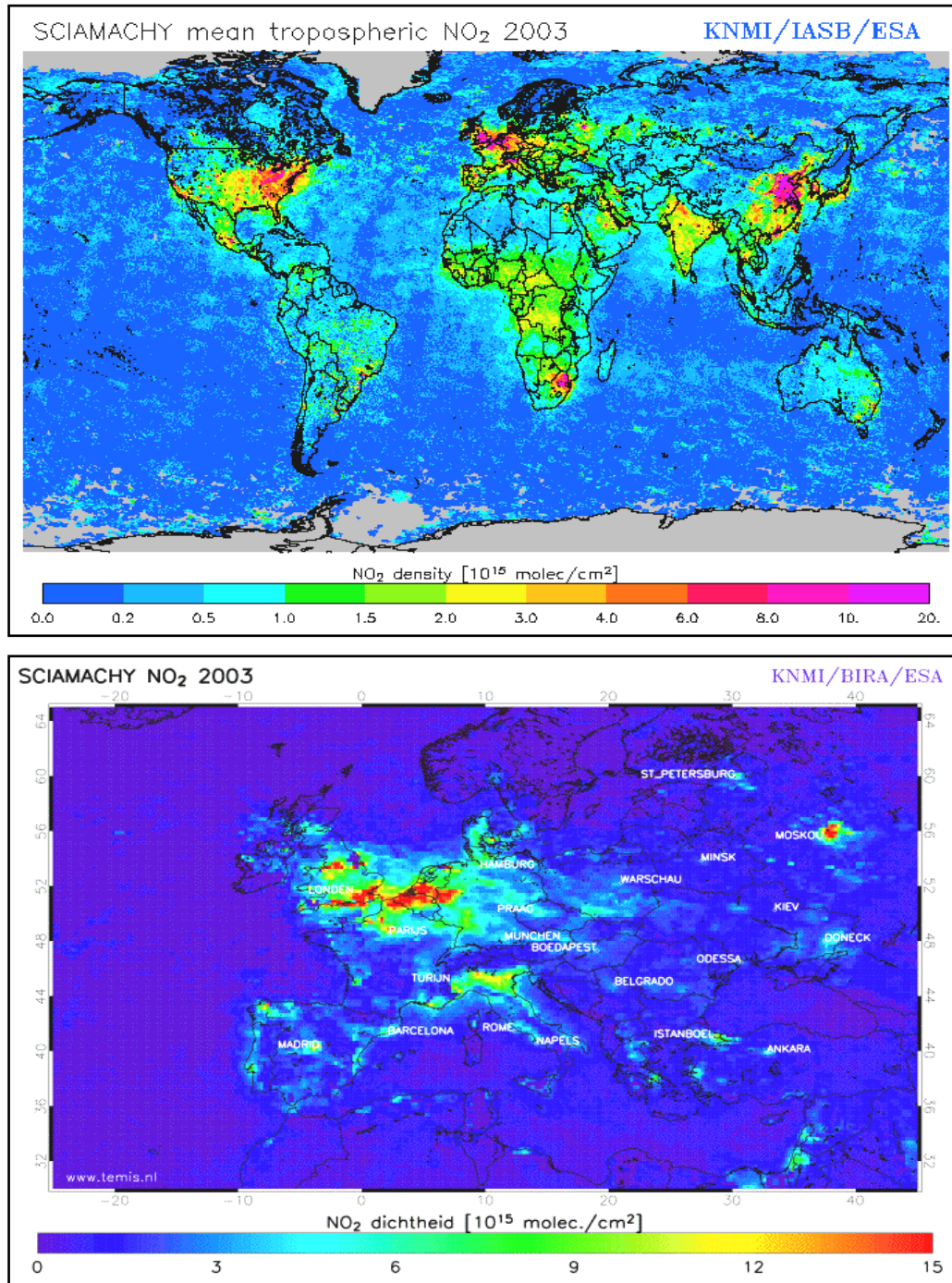


Figuur 6 De linkerkaart toont een gebied met waarden die lopen van 1 tot en met 6. Bij de middelste en rechter kaart zijn verschillende klassenindelingen toegepast. De patronen ogen zeer verschillend terwijl de onderliggende data (de linker kaart) gelijk zijn!

Indien de te presenteren resultaten onzeker zijn, dient men extra aandacht te besteden aan de classificatie. Een goed uitgangspunt daarbij is dat men probeert het verlies van informatie door het leggen van klassengrenzen zo klein mogelijk te houden. Dat informatieverlies is direct afhankelijk van de onzekerheid in de resultaten. Bedenk daarbij ook dat die onzekerheid vaak niet voor alle resultaten gelijk zal zijn. Denk bijvoorbeeld aan gemeten concentraties, waarbij bekend is dat de meetapparatuur voor lage concentraties veel onbetrouwbarder is dan voor hoge concentraties.

Zeker in het geval dat de onzekerheid gekenschetst wordt door een niet-symmetrische (bijvoorbeeld log-normale) verdeling, kan gesteld worden dat een equidistante klassenindeling niet verstandig is. Men zal dan vaak moeten kiezen voor oplopende klassengroottes. Zie bijvoorbeeld [9]. Een andere situatie waarbij wel een symmetrische verdeling geldt, is de situatie waarin de onzekerheid in relatieve termen gespecificeerd is, bijvoorbeeld dat voor alle resultaten een onzekerheidsband van $\pm 10\%$ geldt. Ook in dat geval zal een equidistante classificatie voor de hogere klassen een groter informatieverlies opleveren.

Een voorbeeld is gegeven in **figuur 7**. De bovenste kaart geeft de mondiale verdeling van stikstofdioxide, gemiddeld over bewolkingsloze dagen in 2003 (gelijk aan figuur 4.3.1 van



Figuur 7 NO₂-concentraties zoals gemeten met SCIAMACHY-instrument in de Envisat-satelliet. Data zijn gemiddeld over onbewolkte dagen in 2003. De bovenste kaart geeft de concentraties over de wereld met een oplopende klassenbreedte-schaal, terwijl de onderste kaart een uitvergroting voor Europa geeft, maar nu met een **lineaire** schaal. Bron: [15].

de MNP Duurzaamheidsverkenning [22]. De kaart is gebaseerd op metingen van het SCIAMACHY-instrument, aan boord van de Envisat-satelliet. De onderste kaart is een uitvergroting voor Europa. In de bovenste kaart is gekozen voor een klassenindeling die qua grootte min of meer logaritmisch oploopt. Goed te zien zijn gebieden met lage, middelmatige en hoge concentraties.

In de kaart voor Europa is voor een lineaire schaal gekozen. Hierdoor zijn de gebieden met middelmatige concentraties verdwenen. Alleen hoge gebieden (rood) en veilige gebieden (groen/blauw) zijn overgebleven. Naast het verschillend gebruik van klassenbreedtes is het gebruik van kleur (signaalkleuren groen en rood) ook verschillend.

7. **Metadata leveren** *Lever geen gegevens zonder beschrijving (metadata), en bij voorkeur met informatie over onzekerheden (als onderdeel van de metadata). Wanneer we op een bepaald fijn detailniveau de onzekerheden te groot vinden om de gegevens op dat niveau te gebruiken voor de betreffende toepassing, dient gegevensleverantie plaats te vinden onder expliciet gemaakte voorwaarden, na overleg met de gebruiker. Overleg in geval van twijfel met de adviseurs genoemd in punt 10.*

Uitgangspunt voor gegevensleveranties zou moeten zijn dat we gegevens die we op een bepaald gedetailleerd ruimtelijk niveau erg onzeker vinden, niet zonder meer beschikbaar stellen op dat niveau. Leverantie kan eventueel geschieden in goed overleg, mits in de interpretatie van de uitkomsten van die verdere berekening op basis van de geleverde gegevens rekening wordt gehouden met de onzekerheid in deze gegevens. Hierbij zij opgemerkt dat de druk om informatie op fijn detailniveau te bieden aan burgers steeds groter wordt.

Van geval tot geval zal in overleg met de gebruiker bepaald moeten worden op welk niveau we de nauwkeurigheid acceptabel genoeg achten voor gegevensleverantie. Bij gegevensleveranties voor directe ondersteuning van beleidsuitvoering (zoals scenario-kaarten, emissie-kaarten en kaarten met achtergrondconcentraties) zouden marges of kwantitatieve informatie over onzekerheden meegeleverd kunnen worden, indien deze beschikbaar zijn.

8. **Metadata vragen** *Stel eisen aan de kwaliteit van de aan ons geleverde data (die in modellen wordt gebruikt of in kaarten omgezet): er moet bij voorkeur onzekerheidsinformatie bij zitten. Ook informatie over de manier waarop gegevens zijn verzameld of tot stand zijn gekomen, is hierbij relevant.*

Veel kaartmateriaal in de MNP/RIVM-praktijk wordt gebruikt in modelketens. Bijvoorbeeld: ruimtelijke emissie van

NO/NO₂ → verspreiding (concentraties) → depositie → bodemchemie → plantgroei.

Probeer een idee te krijgen over onzekerheden elders in de keten. Als bijvoorbeeld het bodemmodel 'de zwakste schakel' blijkt te zijn, dan hoeven we niet een zeer nauwkeurig plantgroei-model te gebruiken. Zoek dus een balans in de verschillende fouten.

Indien nader onderzoek gewenst is om ketenonzekerheid in kaart te brengen, kan software als USAtool (onzekerheidspakket, opvolger van UNCSAM) worden ingezet om het doorwerken van fouten door de keten op te sporen [9, 20]. Dit vereist wel een significante investering van tijd en expertise.

Omdat veel van onze milieumodellen onderdeel zijn van een grotere modelketen, moeten wij zowel overleg voeren met de gebruikers van onze uitkomsten (outputkant) als met de leveranciers van data aan ons (inputkant). Uit zulk overleg, waarin samen bepaald wordt welke data wel/niet te gebruiken is, kunnen eventueel verbeterpunten volgen die voor de vraagstelling relevant zijn.

We mogen eisen dat instituten die kaartmateriaal aan ons leveren, kennis hebben van de nauwkeurigheid van hun materiaal en dat duidelijk (schriftelijk) doorgeven. Anders kunnen wij niet vaststellen hoe deze nauwkeurigheid en vooral het gebrek daaraan doorwerkt in onze eigen producten. Probeer daarom voor elkaar te krijgen dat metadata, inclusief onzekerheidsinformatie, wordt meegeleverd. Uiteraard zal deze wens met tact moeten worden gebracht. In de praktijk kan het helpen om een stappenplan te bespreken.

De onzekerheden in de data die wij als input gebruiken voor onze modellen, zouden hun weerslag moeten vinden in de keuze van de mate van ruimtelijke detail op het rekenniveau van onze modellen. Een hoge mate van detail is zinloos als de onzekerheden in de input erg groot zijn op dat niveau.

9. **Actieve onzekerheidscommunicatie** Geef – ook ongevraagd – context-relevante toelichting en informatie over het toepassingsbereik van de resultaten en hoe we tot de resultaten zijn gekomen; zorg voor borging van deze informatie en attendeer gebruikers er op.

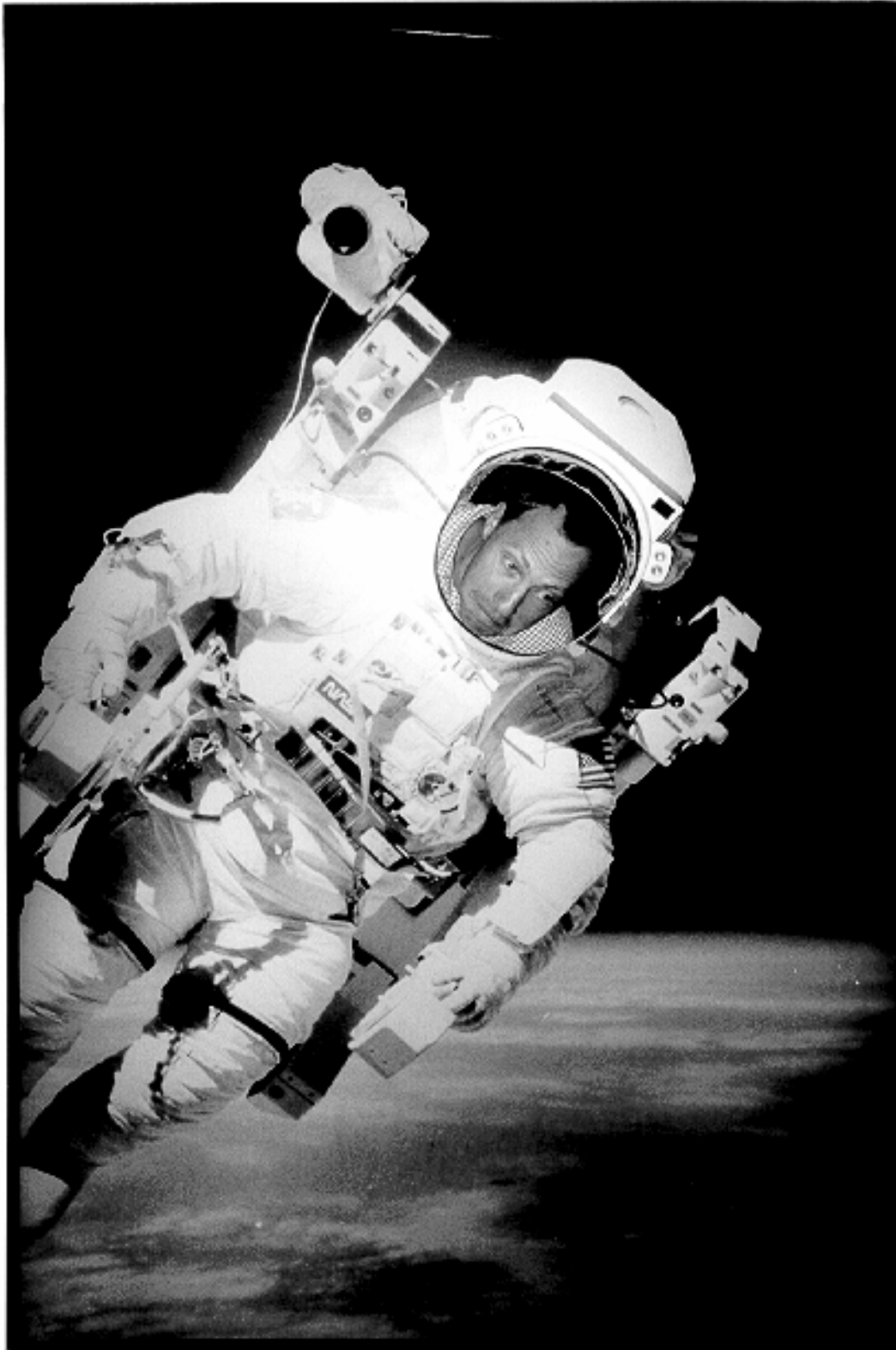
Om transparantie over onze werkwijze te waarborgen, is het belangrijk om adequate informatie over nauwkeurigheden en onzekerheden (of verwijzingen naar deze informatie) dicht bij de data te houden. De vastlegging kan plaatsvinden in rapporten of borgingsdocumenten. Het ideaal is dat alle informatie over toegepaste methoden op websites te vinden is. Het is belangrijk om de achtergrond en beperkingen van kaartmateriaal goed te beschrijven (de ‘metadata’) en zo vast te leggen. Wees daarbij zo transparant mogelijk. Zo kan foutief gebruik voorkomen worden.

10. **Adviseurs** Treed voor advies over een verantwoorde omgang met onzekerheden in ruimtelijke informatie in contact met IMP (Hans Visser, Peter Janssen, Peter Heuberger) en/of RIM (Arno Bouwman, Ton de Nijs). Maak gebruik van hun diensten op dit gebied.

Contactpersonen bij IMP zijn Hans Visser, Peter Janssen en Peter Heuberger. Bij RIM zijn de contactpersonen Arno Bouwman en Ton de Nijs. Voor literatuur kun je ook bij hen terecht. Projectleider van de ‘Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden’ is Arthur Petersen van IMP. Neem voor algemene kartografische vragen contact op met Carol Bartels van het RPT-team IMP.

11. **Planning** Wees je bewust van de tijd die het kost om adequaat met onzekerheden in ruimtelijke informatie om te gaan. Plan die tijd.

Projectleiders worden geacht in hun projecten ruimte in te plannen voor het omgaan met onzekerheden. Het toepassen van de ‘Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden’, inclusief deze ‘Checklist voor Onzekerheden in Ruimtelijke Informatie’, kan behulpzaam zijn bij het maken van de planning voor omgaan met onzekerheden. In alle gevallen zal de benodigde tijd substantieel zijn!



*De 'Checklist Onzekerheden in Ruimtelijke Informatie' valt onder het project
'Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden'.
Arthur Petersen van IMP/MNP is algemeen projectleider.
Foto: H. Visser.*

4. Visualisaties van ruimtelijke onzekerheid

Dit hoofdstuk geeft een nadere uitleg aan de onzekerheidspresentatievormen zoals die in de vorige hoofdstukken zijn voorgesteld. Deze presentatievormen kunnen gezien worden als verschillende perspectieven op onzekerheden. In paragraaf 4.1 geven we een nadere uitleg aan de hand van een fictief voorbeeld. Vervolgens geven we in paragraaf 4.2 een aantal voorbeelden uit de praktijk van het MNP en RIVM.

4.1 Representatie van onzekerheden op vier manieren

Zoals gesteld, onzekerheden in kaarten kunnen in principe op vier manieren gepresenteerd worden, namelijk door middel van

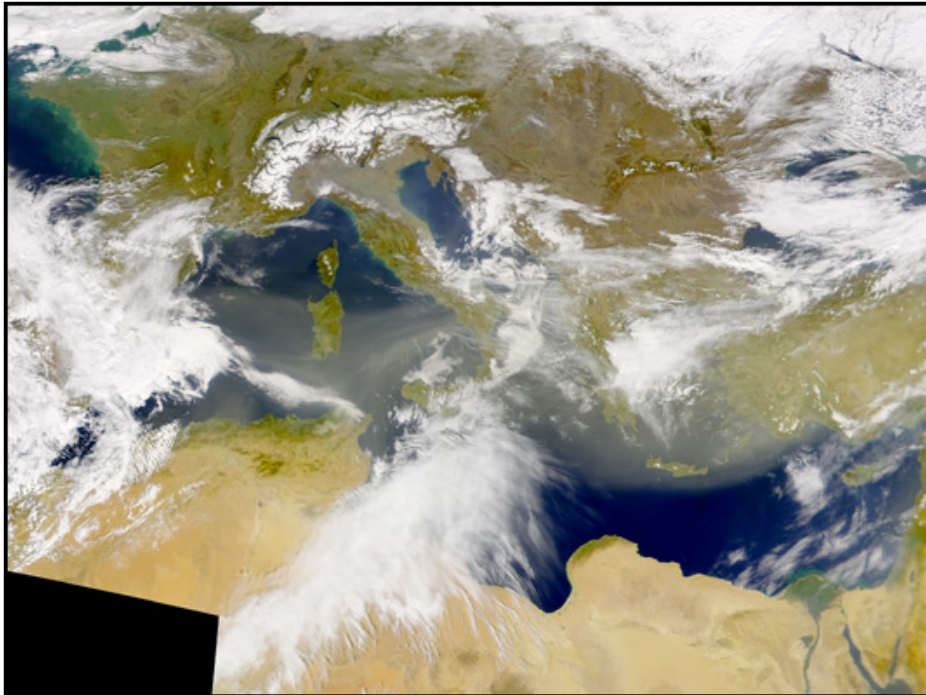
- verschilkaarten
- scenario-kaarten,
- ensemble-kaarten, of
- grid-onzekerheidskaarten.

Met een gestileerd voorbeeld leggen we de verschillen tussen deze presentaties uit.

Stel we hebben een model dat als output een kaart met concentraties van een vervuilende component y genereert. De concentraties zijn voor het Middellandse-zee-gebied (figuur 8) en berekend op een regelmatig grid. Het model heeft één parameter die niet goed bekend is, namelijk de depositiesnelheid D . Deze parameter ligt tussen 1.0 en 3.0, maar waar precies, dat weten we niet. In een publicatie presenteren we normaal gesproken een kaart met y zoals die berekend is met de gemiddelde waarde van D : $D= 2.0$. Hoe kan het anders en hoe kunnen we onzekerheden presenteren?

Verschilkaarten

Als we het model willen valideren aan de hand van metingen aan de component y , dan moeten we het door het model gegenereerde concentratieveld vergelijken met metingen van y . Zo'n vergelijking kan op twee manieren. We kunnen het model de concentraties laten voorspellen op de meetlocaties en vervolgens de verschillen (residuen) plotten op een kaart. Of we interpoleren de metingen (met Kriging bijvoorbeeld) naar hetzelfde grid als waarop het model rekent (door deze procedure ontstaan wel interpolatiefouten). Vervolgens geeft de verschilkaart een indruk waar het model het goed doet en waar slecht.



Figuur 8 Foto van component y over de Middellandse Zee, 4 maart 2002. De vervuiling is enigszins bruin van tint en bedekt een groot deel van de Middellandse Zee, Zuid-Italië, Albanië, Griekenland en Turkije. Opname van de Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) op de Amerikaanse satelliet SeaSTAR.

Verschilkaarten kunnen ook illustratief gebruikt worden om twee scenario's te vergelijken, bijvoorbeeld de kaart met $D= 1.0$ en de kaart met $D= 3.0$. Het alleen presenteren van deze twee scenario-kaarten geeft een zoekplaatje voor de lezer; zo van 'zoek de 10 verschillen'. Bij kaarten die veel op elkaar lijken, is dat best lastig. Verschilkaarten maken het veel eenvoudiger om de verschillen te onderscheiden.

Verschilkaarten op elk type meetschaal kunnen gegenereerd worden met de MapComparisonKit-2-software [7].

Scenario-kaarten

In de tweede plaats kunnen we kiezen voor de scenario-methode. Dit is een benadering die vaak gehanteerd wordt bij het MNP en het RIVM. We berekenen drie kaarten voor y:

- een kaart volgens een hoog-scenario (we kiezen de laagste depositiesnelheid: $D= 1.0$),
- een kaart volgens een laag-scenario (we kiezen de hoogste depositiesnelheid: $D= 3.0$),
en
- een kaart volgens een midden-scenario (we kiezen de middenwaarde van de depositiesnelheid-range: $D= 2.0$).

Het is belangrijk hier te benadrukken dat we geen kans toekennen aan elk van de drie scenario's, anders dan dat ze alle drie *even waarschijnlijk* zijn. Opgemerkt zij dat er discussies gaande zijn in groepen als het IPCC om dat wel te gaan doen.

In de publicatie kunnen we er voor kiezen om elk van de drie *scenario-kaarten* te presenteren, of alleen het hoge en lage scenario, dit om de extremen te benadrukken. Ook kan er voor gekozen worden om alleen het midden-scenario te tonen en in de tekst de andere twee scenario-kaarten te beschrijven.

Voor het principe van *scenario-kaarten* is het niet van belang of de grootheid y een nominaal, een ordinaal, een interval- of een ratio-karakter heeft.

Ensemble-kaarten

Als derde mogelijkheid kunnen we zeggen: D ligt tussen 1.0 en 3.0. Alle waarden tussen deze twee grenzen zijn even waarschijnlijk en daarom doen we een groot aantal *random* trekkingen uit het interval $[1.0, 3.0]$, bijvoorbeeld 1000 maal (als de rekentijd van de computer dat toelaat, anders een kleiner aantal). Dat levert ons de *random* gekozen depositiesnelheden $D_1, D_2, \dots, D_{1000}$. Elke keuze van D_k levert een kaart M_k voor de grootheid y . De 1000 kaarten $M_1, M_2, \dots, M_{1000}$ noemen we *ensemble-kaarten*.

Een probleem is nu natuurlijk: welke van deze 1000 kaarten moeten we presenteren in de publicatie? Als de resultaten op *Internet* of in een *Powerpoint-presentatie* gezet worden, kunnen we kiezen voor een dynamische presentatie vorm via een **animatie** van de kaarten (zie paragraaf 4.3). Voor resultaten in gedrukte vorm zullen we ons moeten beperken tot statische presentatie: we kiezen een klein aantal representatieve kaarten, bijvoorbeeld twee of drie.

Daarvoor kunnen verschillende criteria worden gekozen. Als we drie kaarten willen presenteren, dan kunnen we bijvoorbeeld per Kaart M_k het gemiddelde van y berekenen over alle grids (i,j) van de kaart. We hebben dus 1000 waarden $y_{\text{gemiddeld},k}$. We presenteren vervolgens een lage percentielkaart (bijvoorbeeld de kaart waarvoor $y_{\text{gemiddeld},k}$ gelijk is aan het 5 of 25 percentiel), een midden-kaart ($y_{\text{gemiddeld},k}$ gelijk aan het 50 percentiel) en een hoge percentielkaart ($y_{\text{gemiddeld},k}$ gelijk aan het 75 of 95 percentiel).

Een heel ander criterium ontstaat als we alle waarden in de kaarten in een vector zetten en vervolgens een correlatiematrix berekenen. De correlatiecoëfficiënt geeft een indruk over de overeenkomst in *patronen* tussen twee kaarten. We kunnen dan een of twee kaarten uitzoeken die het laagst gecorreleerd zijn met de overige kaarten (dus een zeldzaam patroon over de kaart laten zien) en de kaart die gemiddeld het meest lijkt op alle andere kaart (de kaart met het 'gemiddelde patroon').

Voor het principe van *ensemble-kaarten* is het niet van belang of de grootheid y een nominaal, een ordinaal, een interval- of een ratio-karakter heeft. Alleen kan een correlatiematrix niet berekend worden voor nominale of ordinale kaarten. Voor dit type kaarten kan de correlatiematrix vervangen worden door bijvoorbeeld een *fuzzy-kappa-matrix* (zie [27] voor een uitleg).

Grid-onzekerheidskaarten

Als laatste mogelijkheid kunnen we per grid (i,j) een kansverdeling bepalen voor de grootheid y . Deze verdeling volgt eenvoudig uit de 1000 ensemble-kaarten en wordt opgespannen door de 1000 waarden $y_{i,j,k}$, met (i,j) de locatie van het grid op de kaart, en $k=1, \dots, 1000$. We zouden kunnen testen of de waarden $y_{i,j,k}$ normaal verdeeld zijn of log-normaal-verdeeld, maar dat is op zich niet noodzakelijk.

Met de kansverdelingen per gridpunt kunnen we nu verschillende kengetallen presenteren, zoals de standaardfout, de relatieve fout, of een willekeurige percentielwaarde. Zo kunnen we bijvoorbeeld een 2.5-percentielkaart presenteren, met daarbij een 97.5-percentielkaart. Samen met een 50-percentielkaart of een kaart met rekenkundig gemiddeldes (de *best guess*-kaart) kunnen we daarmee drie kaarten presenteren die een indruk geven van de onzekerheden in de kaart. Ook kunnen we besluiten om twee kaarten te presenteren: alleen een hoge percentielkaart en een lage percentielkaart. Nu worden de extremen meer benadrukt.

Opgemerkt zij dat grid-onzekerheidskaarten nog een afgeleide toepassing bezitten. Als het van belang is om te weten hoe groot de kans is dat de vervuilende component y een EU-richtlijn overschrijdt, dan kunnen we per gridpunt met behulp van de beschikbare kansverdeling de kans op zo'n overschrijding berekenen. Dit levert een kaart op met overschrijdingskansen van de EU-drempelwaarde. Daarbij kunnen we ook per gridpunt uitrekenen hoe groot de kans is dat de norm niet overschreden wordt terwijl het geschatte gemiddelde **boven** de norm ligt (fout van de eerste soort, α). Complementair aan deze α -kaart kunnen we een β -kaart berekenen: dat is per grid de kans dat de norm overschreden wordt terwijl het geschatte gemiddelde **onder** de norm ligt.

Bovenstaande onzekerheidskaarten zijn goed bruikbaar zolang als de grootheid y continue waarden aanneemt (kaarten op interval- of ratio-schaal). Als y een nominaal of ordinaal karakter bezit, dan werkt bovenstaande aanpak niet meer. Maar er bestaat dan wel een analogon: een *kanskaart* voor elke afzonderlijke categorie uit de kaart.

Deze kanskaarten berekenen we als volgt. Voor elk gridpunt weten we of $y_{i,j}$ wel of niet behoort tot een bepaalde categorie c . Daarmee maken we $y_{i,j}^k$ binair: '1' als $y_{i,j}$ in kaart k behoort tot categorie c en anders '0'. Door middeling over alle 1000 binaire waarden $y_{i,j,k}$ kunnen we nu de kans schatten dat dit gridpunt behoort tot de categorie c . De kansen $p_{i,j}$

vormen samen de gezochte kanskaart voor de gekozen categorie. We kunnen vervolgens voor enkele saillante categorieën zulke kanskaarten presenteren in onze publicatie.

N.B. 1: Sommige modellen produceren *rechtstreeks* kanskaarten. Simulatie is dan niet nodig. Dit is bijvoorbeeld het geval bij landgebruikskarten die de *Ruimtescanner* genereert.

N.B. 2: Maak bij de presentatie van een grid-onzekerheidskaart aan de lezer/gebruiker duidelijk dat de kaart geen modeluitkomst is maar onzekerheid per grid weergeeft.

4.2 Voorbeelden

4.2.1 Kaarten op een interval- of ratioschaal

Een eerste voorbeeld wordt gegeven in **figuur 9**. De figuur toont twee wereldkaarten met als grootte de versterkte opwarming van de aarde door antropogene broeikasgas-emissies. De kaarten zijn berekend met een klimaatmodel waarbij verschillende aannames zijn gedaan voor emissies tot aan 2100: het SRES-scenario A2 (boven) en het SRES-scenario B2 (onder). De legenda is verdeeld in klassen van hele graden.

De twee *scenariokaarten* illustreren dat, afhankelijk van de gekozen emissies (met alle onderliggende aannames) de opwarming behoorlijk anders kan komen te liggen, zowel qua absolute waarden, als qua patroon van de opwarmingsklassen.

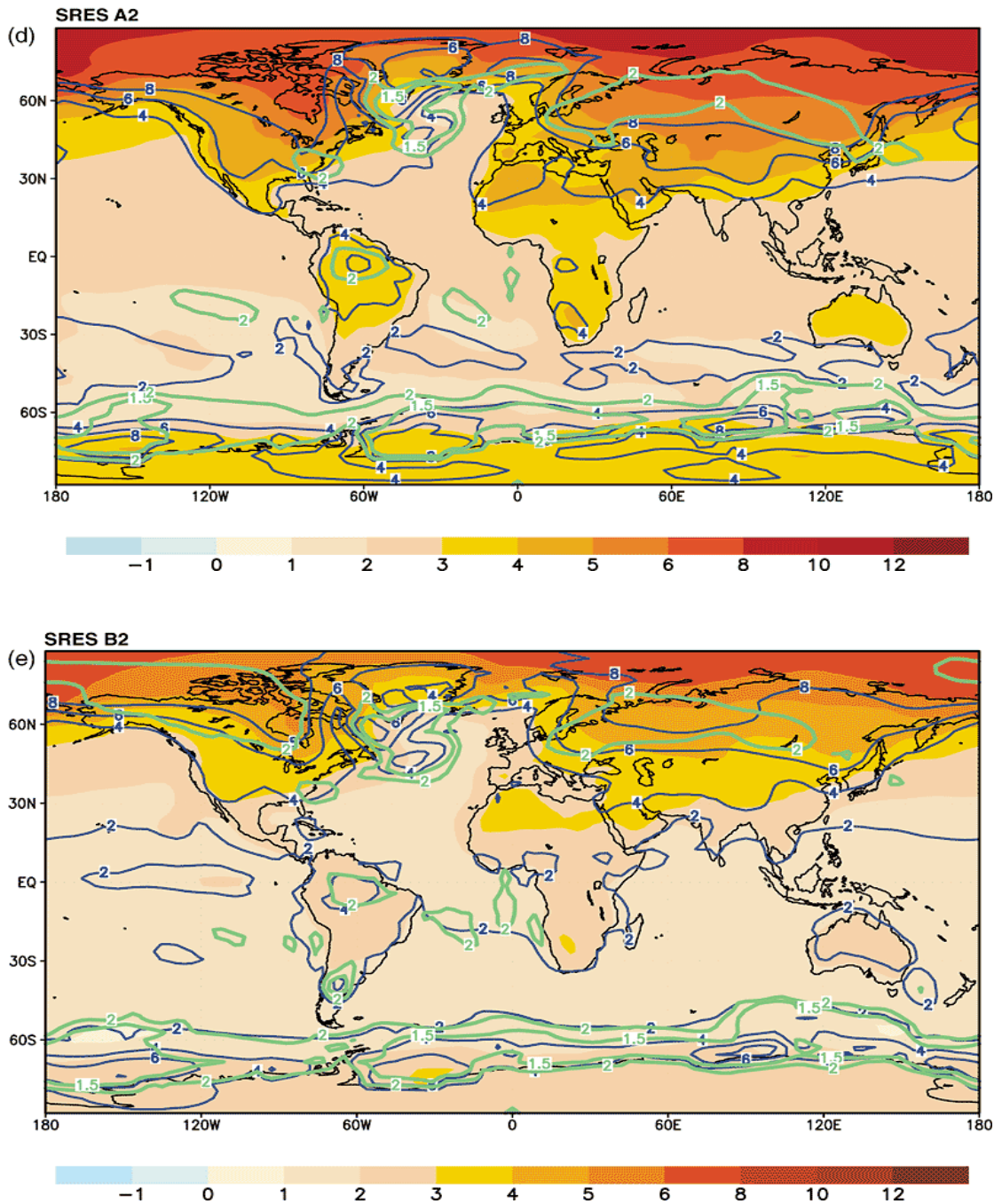
Daarnaast hebben de makers van beide kaarten de informatiedichtheid opgevoerd door per kaart *grid-onzekerheidsinformatie* toe te voegen. De blauwe isolijnen markeren gebieden met kleinere dan wel grotere ranges per grid (dat wil zeggen het verschil van de maximum- en minimum-waarde). De groene isolijnen geven de berekende standaarddeviaties. Zoals opgemerkt bij punt 3 van de Checklist verdient het aanbeveling onzekerheden weer te geven in aparte kaarten (figuur 9 lijdt aan een ‘overkill’ aan onzekerheidsinformatie voor ongeofende lezers).

Een tweede voorbeeld is reeds gegeven in de inleiding in figuur 2. Deze figuur geeft de neerslagverandering over de periode 2002-2052 [18]. De figuur toont scenario-onzekerheden in twee dimensies:

- de vier scenario's *Markets First*, *Policy First*, *Security First* en *Sustainability First*;
- de vier klimaatmodellen *HADCM2*, *CGCM1*, *ECHAM4* en *CSIRO-MK2*.

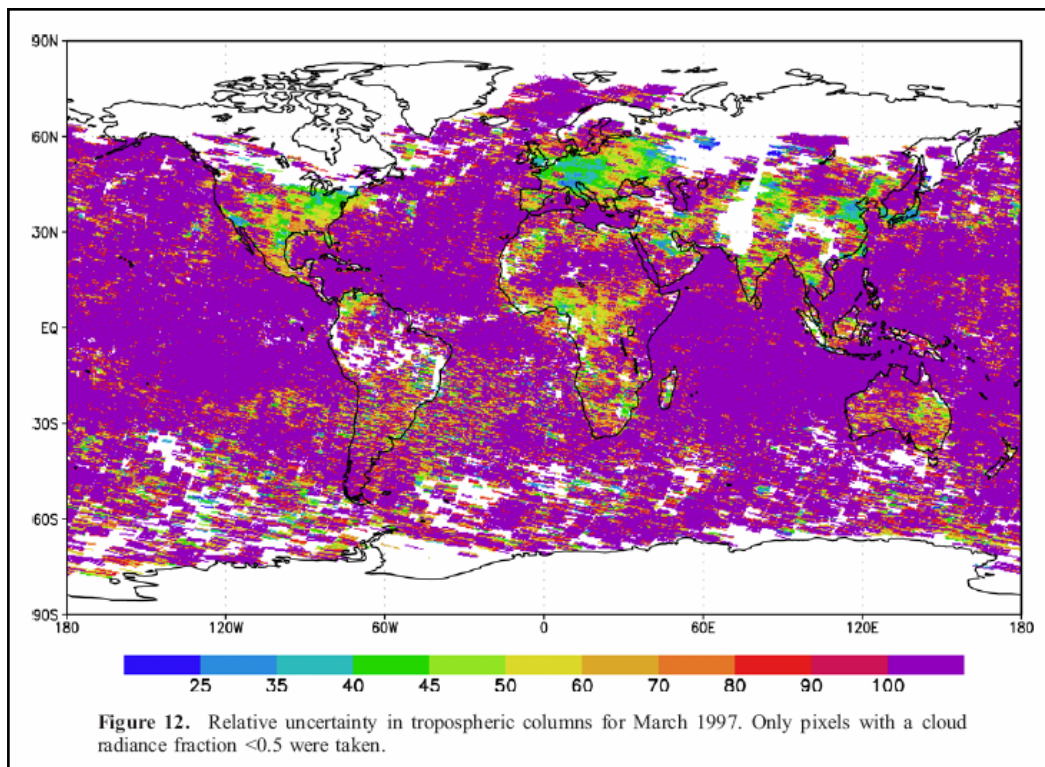
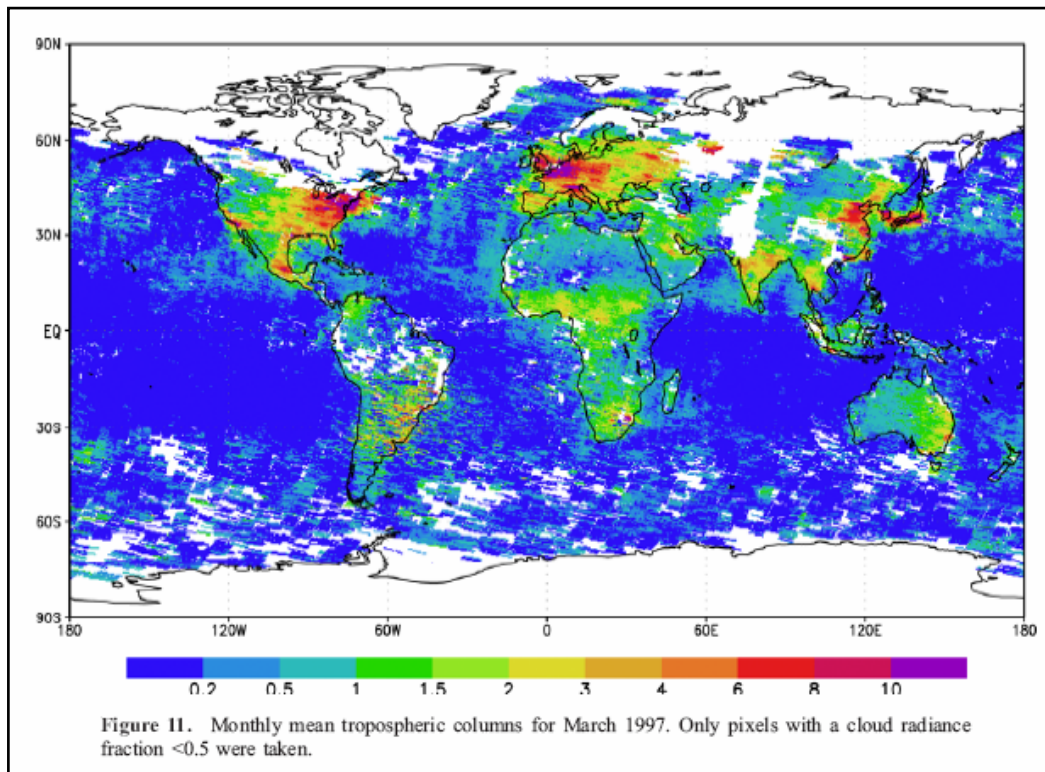
De figuur heeft een grote informatie-dichtheid: de grootte zelf is al een verschil tussen twee kaarten (neerslagkaart in 2052 minus neerslagkaart in 2002) maar wordt vervolgens getoond in 16 verschillende hoedanigheden.

Een derde voorbeeld geeft **figuur 10**. De kaarten geven net als de kaarten in figuren 1 en 6 bewerkte satellietwaarnemingen voor NO₂. De onderste kaart geeft grid-onzekerheidsinformatie als relatieve fout (%) voor één dag, terwijl de bovenste kaart de *best-guess*-waarden geeft. Opvallend is dat de relatieve fout groot is daar waar de concentraties ook hoog zijn (relatieve fout van 35 tot 60%). Zie verder [3] voor een discussie.



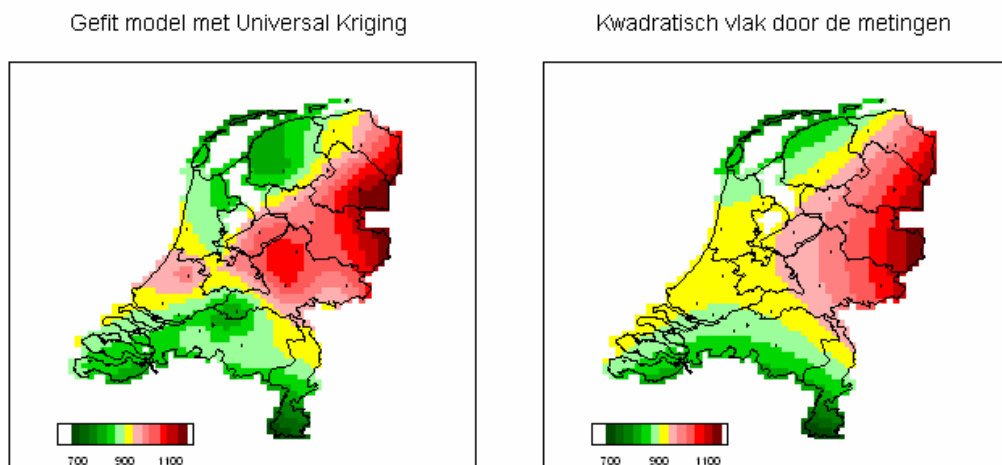
Figuur 9

De jaarlijks gemiddelde verandering in de temperatuur op aarde, uitgedrukt in °C. De opwarming geldt voor het gemiddelde van de periode 2071-2100 ten opzichte van 1961-1990. De temperatuurklassen lopen per hele graad van licht blauw naar donkerrood. De opwarming is berekend met een klimaatmodel voor het SRES-scenario A2 (boven), en het SRES-scenario B2 (onder). Verder zijn per kaart twee soorten isolijnen weergegeven. De blauwe isolijnen markeren gebieden met kleinere of grotere ranges (maximum-waarde minus minimum-waarde per grid). De groene isolijnen markeren gebieden met kleinere of grotere standaarddeviaties per grid. Bron: [13, figuren 9.10d/e).



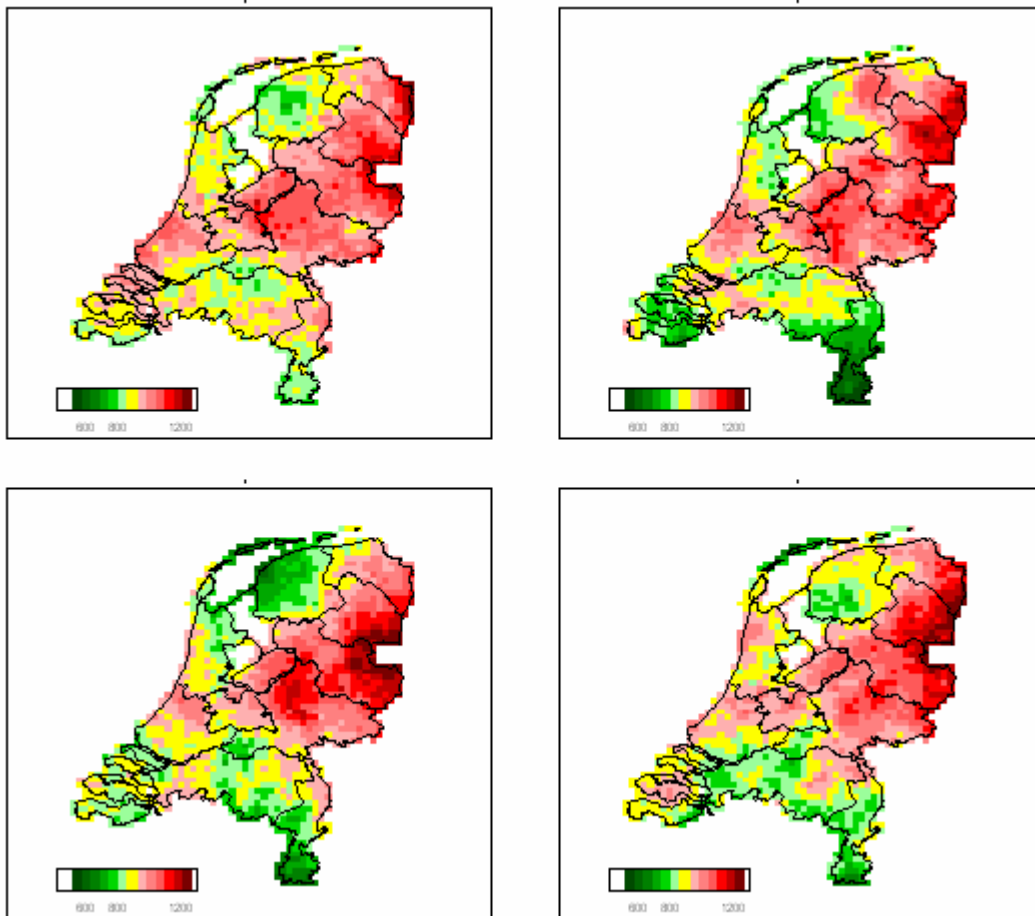
Figuur 10 Foutenanalyse voor het bepalen van NO_2 -concentraties uit het GOME- experiment (vergelijkbaar met de metingen getoond in de figuren 1 en 6). De bovenste kaart geeft de maandgemiddelde concentratie voor maart 1997. De onderste kaart geeft de grid-onzekerheid als relatieve fout ($\text{SD}/\text{gem} * 100\%$) voor één dag in dezelfde maand (NB: wordt gemiddeld over meerdere dagen, dan neemt de fout af met \sqrt{N}). Bron: [3, gebruikt met toestemming].

Een vierde voorbeeld. Stel we beschikken voor 30 meetpunten over jaartotalen van neerslag in Nederland. We willen nu weten hoe de jaartotalen over heel Nederland verlopen aan de hand van een trendmatig vlak over de kaart. Dit is berekend met een geostatistisch model (Universal Kriging, zie [14]). Met het Kriging-model is een kwadratisch vlak geschat, waarbij het onverklaarde deel, 'de ruis', ruimtelijk gecorreleerd is verondersteld via een zogenaamd *variogram*. De modelschatting (ruimtelijk gecorreleerde ruis plus het kwadratische vlak) en het kwadratische vlak over Nederland zijn gegeven in **figuur 11**. De kaarten zijn verkregen door het statistische model voorspellingen te laten doen voor alle waarden op een regelmatig grid van 5 bij 5 km over heel Nederland (in totaal 1680 gridpunten).



Figuur 11 Met een geostatistisch model (Universal Kriging) is voor jaarlijkse neerslag op 30 stations in Nederland een kwadratisch vlak geschat, waarbij de onzekerheid gemodelleerd is met ruimtelijk gecorreleerde ruis. De linker kaart geeft het geschatte model, dat wil zeggen de ruimtelijk gecorreleerde ruis plus het kwadratische vlak. De rechter kaart geeft alleen het geschatte kwadratische vlak. De punten in de kaarten geven de ligging van de meetstations weer.

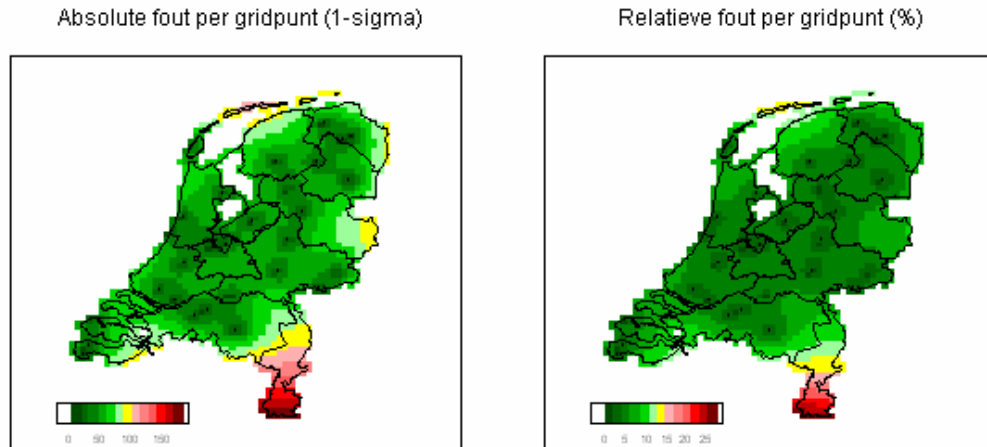
Op basis van het geschatte Kriging-model kunnen via Monte-Carlo-simulatie *ensemble-kaarten* worden gegenereerd (voor methoden zie [6]). **Figuur 12** geeft vier van zulke ensemble-kaarten. De kaarten laten zien dat de patronen behoorlijk kunnen verschillen onder invloed van onzekerheid. Zo is bijvoorbeeld de jaartotale neerslag in Noord-Holland in de eerste kaart veel lager dan die in de vierde kaart. Voor de presentatie-keuze van ensemble-kaarten zie vorige paragraaf.



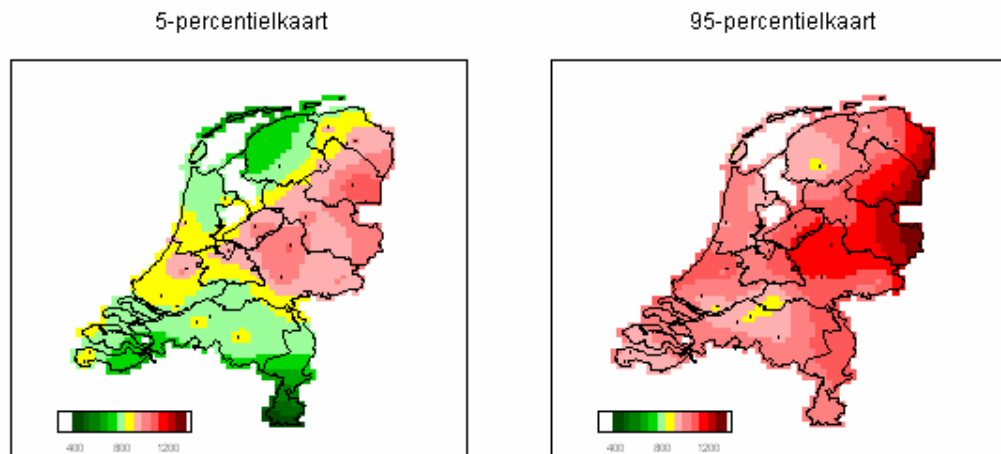
Figuur 12 Vier ensemble-kaarten voor het model uit figuur 11.

Het Kriging-model geeft ook informatie over *grid-onzekerheid*. Per grid geeft het statistische model een gemiddelde en een standaarddeviatie. Verder bleek uit een statistische test dat de data een normale verdeling volgen. Met deze informatie kunnen we grid-onzekerheid op verschillende manieren presenteren.

In de eerste plaats kunnen we de standaarddeviaties per grid tonen. Deze zijn weergegeven in de linker kaart van **figuur 13A**. In de tweede plaats kunnen de fouten relatief ten opzichte van de *best-guess*-waarde worden weergegeven als relatieve fout in procenten. Deze presentatie is gegeven in de rechter kaart van figuur 13A. In de derde plaats kunnen we per grid willekeurige percentielwaarden berekenen. Als illustratie geeft **figuur 13B** twee van zulke percentielkaarten: de 5-percentielkaart en de 95-percentielkaart.



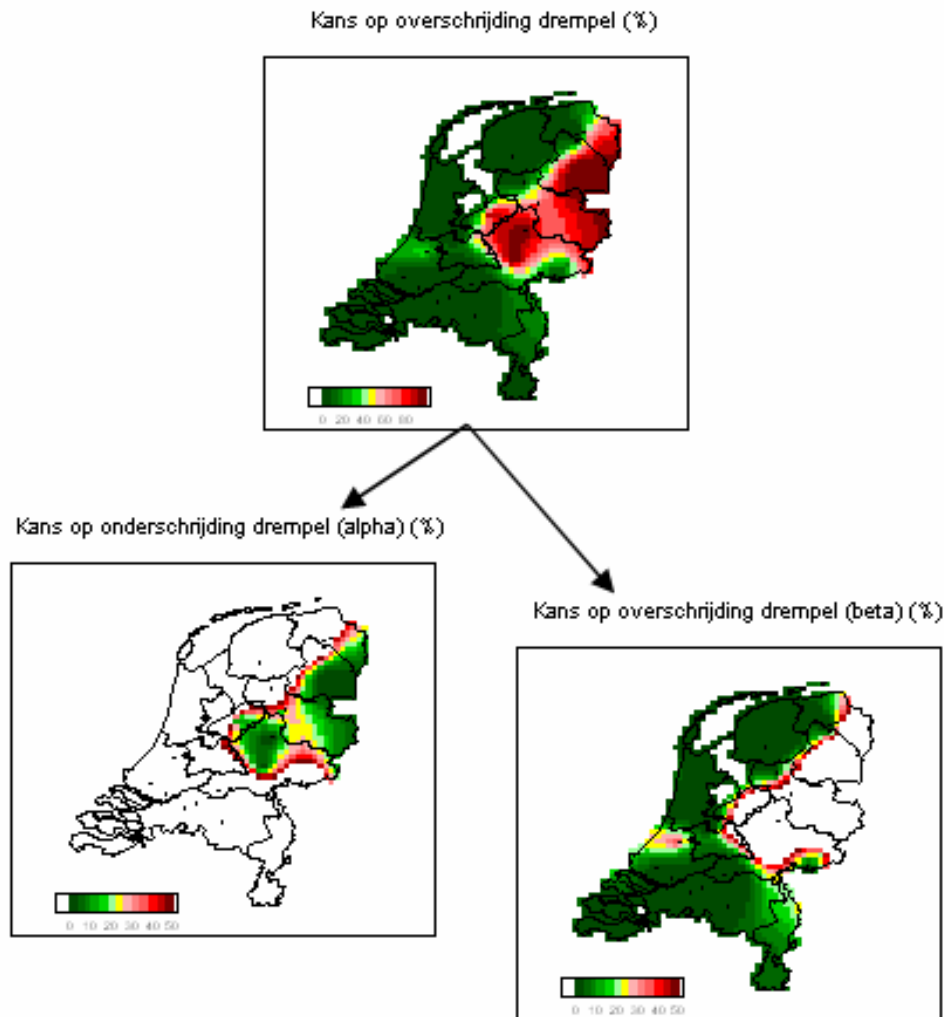
Figuur 13A *Standaarddeviaties (linker kaart) en relatieve fouten (rechter kaart) per gridgebied (i,j) voor het voorbeeld uit figuur 11. Beide kaarten geven grid-onzekerheidsinformatie.*



Figuur 13B *Twee percentielkaarten voor het voorbeeld uit figuur 11. Beide kaarten geven grid-onzekerheidsinformatie.*

In de vierde plaats kunnen we grid-onzekerheid laten zien voor *drempeloverschrijdingen*. De bovenste kaart in **figuur 13C** geeft per grid de kans om de drempelwaarde van 1000 mm neerslag per jaar te overschrijden. Een volgende stap is om de gebieden te markeren die onder de drempel zitten ('veilig') en die daarboven ('onveilig'). Uiteraard is dit voor een kaart met neerslaghoeveelheden niet zo relevant. Maar voor een luchtverontreinigende component als PM₁₀ is zo'n opdeling wel van belang omdat zowel de EU-jaarnorm als de EU-dagnorm in sommige delen van Nederland wel en in andere delen niet wordt overschreden.

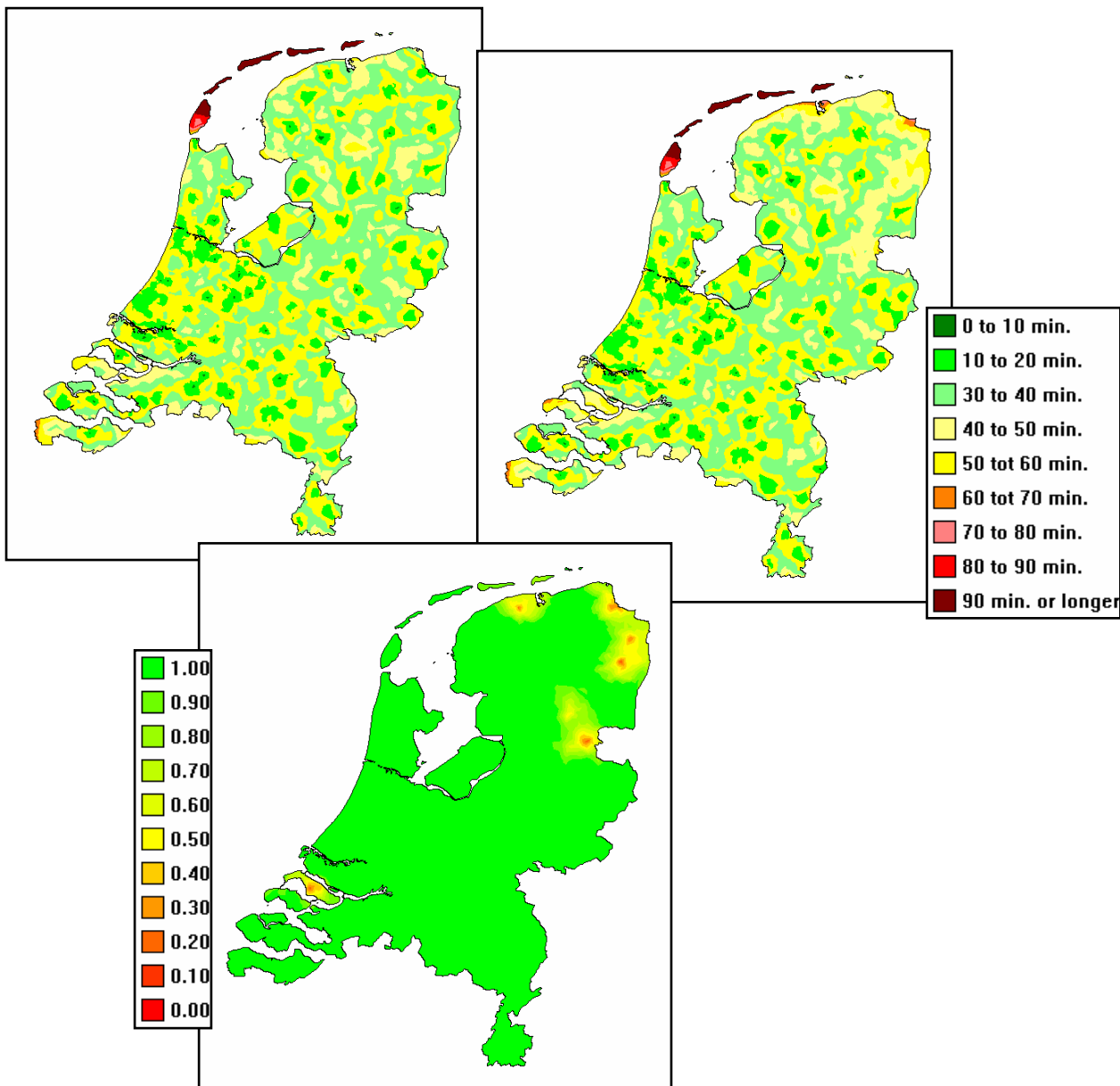
Stel nu dat we vinden dat de groene gebieden ‘veilig’ zijn en de rode gebieden ‘onveilig’, dan kunnen we met deze indeling twee fouten maken: een als onveilig-geclassificeerd grid is **in werkelijkheid veilig** (fout eerste soort, α). Of omgekeerd: een als veilig-geclassificeerd grid is **in werkelijkheid onveilig** (fout tweede soort, β). Omdat we zulke fouten voor elk grid kunnen maken, kunnen we een α -kaart en een β -kaart samenstellen (zie ook uitleg in §4.1). Zie onderste kaarten van figuur 13C.



Figuur 13C Drie grid-onzekerheidskaarten voor overschrijding van een drempelwaarde. De bovenste kaart geeft de kans op de overschrijding van een drempel van een jaartotale neerslag van 1000 mm. De kansklasse met de gele kleur omvat het 50-percentiel (hier hetzelfde als het rekenkundig gemiddelde), ofwel de verwachte waarde. De grids met rode tinten hebben een kans groter dan 50% om de drempel te overschrijden, de groene tinten een kans kleiner dan 50%. De onderste kaarten geven de fouten van de eerste en de tweede soort per grid (links de α -kaart, rechts de β -kaart).

Een laatste voorbeeld. Het RIVM-ambulance-rijtijden-model genereert op een grid van 500 bij 500 meter de tijd die benodigd is om vanaf de dichtstbijzijnde ambulance-garage een gewonde op te halen en vervolgens naar de dichtstbijzijnde Eerste Hulp te brengen [27]. **Figuur 14** geeft twee kaarten voor Nederland: de linker kaart geeft ambulance-rijtijden voor de aanwezigheid van 110 ziekenhuizen met een Eerste-Hulp-afdeling. De rechter kaart geeft dezelfde rijtijden maar met dien verstande dat 7 van de 110 ziekenhuizen gesloten zijn. Daarmee geven deze twee kaarten dus ambulance-rijtijden volgens twee scenario's: 110 ziekenhuizen met Eerste Hulp versus 103 ziekenhuizen met Eerste Hulp.

De onderste kaart geeft een voorbeeld van een *verschilkaart*. Deze kan op verschillende manieren gekozen worden. In [27, figuur 24] zijn twee verschilkaarten geplot: (i) de verhouding van de rijtijden per gridpunt en (ii) het verschil in rijtijd per grid. We kunnen ook een verschilkaart laten zien zoals in de onderste kaart van figuur 14: een fuzzy-verschilkaart (zie [7, 27]). Deze verschilkaart legt het accent op de verschillen in *patronen* tussen beide kaarten. De verschillen verlopen op een continuüm van -1.0 (geheel verschillend) naar 1.0 (geheel gelijk). De verschilkaart verduidelijkt hier de verschillen in patronen tussen beide rijtijden-kaarten.



Figuur 14 Ambulance-rijtijden voor de situatie met 110 ziekenhuizen met Eerste Hulp (links boven) en 103 ziekenhuizen met Eerste Hulp (rechts boven). De fuzzy-verschilkaart geeft de mate van gelijkheid tussen de beide rijtijden-kaarten (1.0 betekent dat de kaarten precies gelijk zijn; 0.0 betekent dat de overeenkomst tussen beide kaarten gelijk is aan twee random-gegenereerde kaarten met dezelfde categorie-frequenties). Bron data: [23].

4.2.2 Kaarten op een nominale schaal

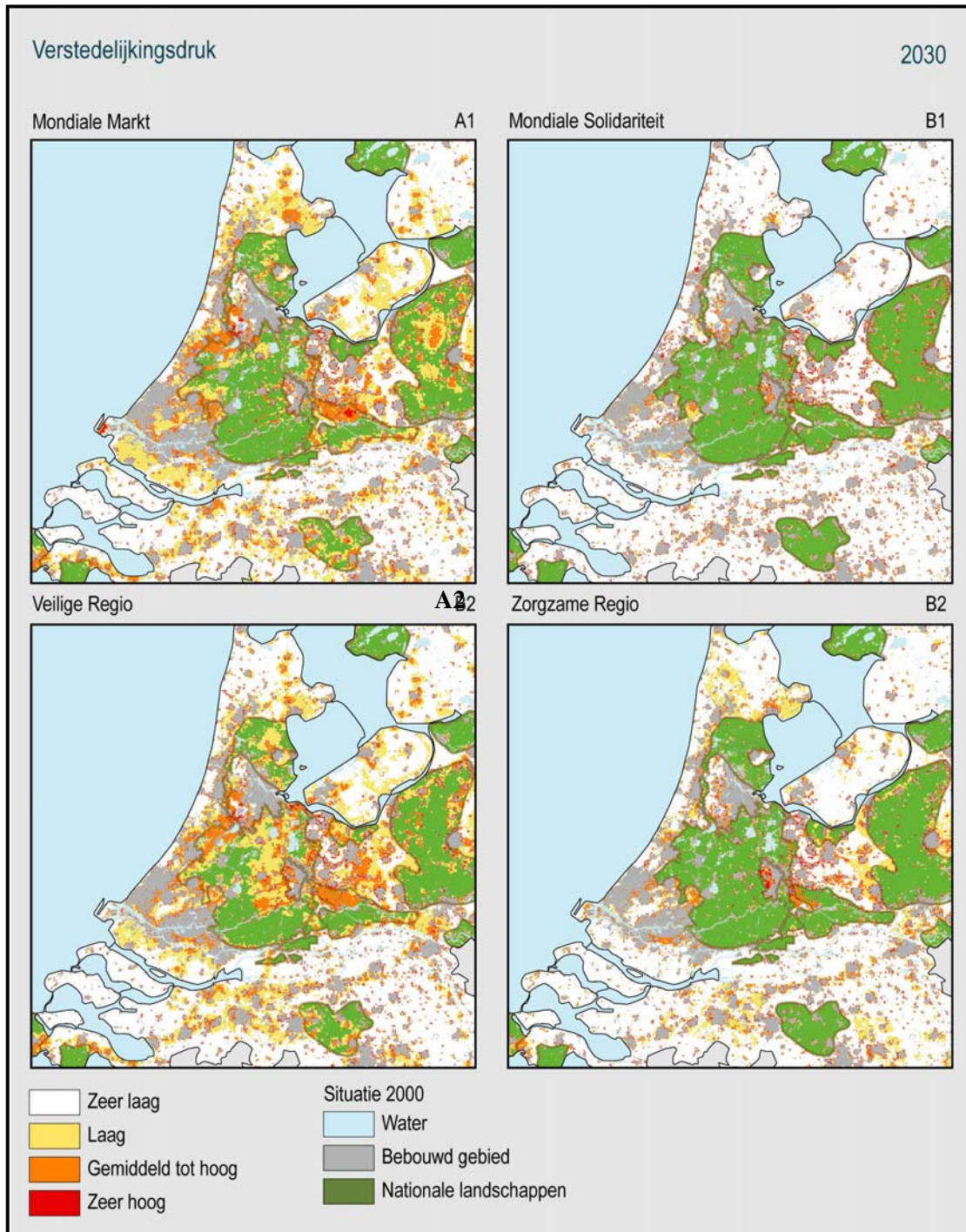
Een eerste voorbeeld van een nominale *verschilkaart* zoals die gebruikt wordt bij het kalibreren en valideren van de LeefOmgevingsVerkenner (LOV), is gegeven in figuur 3. Zie [17] voor een uitvoerige beschrijving met voorbeeldkaarten. De figuur geeft twee landgebruikskaarten voor de provincie Utrecht en een fuzzy-verschilkaart. De kaart linksboven is gebaseerd op metingen en samengesteld uit de CBS-bodemkaart voor het jaar 1993. De kaart rechtsboven geeft het bodemgebruik zoals gesimuleerd met de LOV voor het zelfde jaar. Om de nauwkeurigheid van de voorspelling te kwantificeren, is een fuzzy-verschilkaart gegenereerd [7].

Figuur 15 geeft een voorbeeld van vier *scenario-kaarten* voor het jaar 2030, berekend met het RIVM-landgebruiksmodel *De Ruimtescanner*. De kaarten zijn overgenomen uit [4, 22]. De kaarten geven de verstedelijkingsdruk in vier klassen: ‘zeer laag’, ‘laag’, ‘gemiddeld tot hoog’ en ‘zeer hoog’. De scenario’s, aangeduid met de namen A1 (mondiale markt, kaart links boven), A2 (veilige regio, kaart links onder), B1 (mondiale solidariteit, kaart rechts boven) en B2 (zorgzame regio, kaart rechts onder), corresponderen met aannames zoals die door het IPCC zijn gedaan voor ontwikkelingen op wereldschaal tot aan het jaar 2100. Voor een uitleg van de scenario’s zie ook [22, hoofdstuk 2]. De kaarten laten duidelijk zien dat de verstedelijkingsdruk in de A-scenario’s veel hoger is dan in de B-scenario’s.

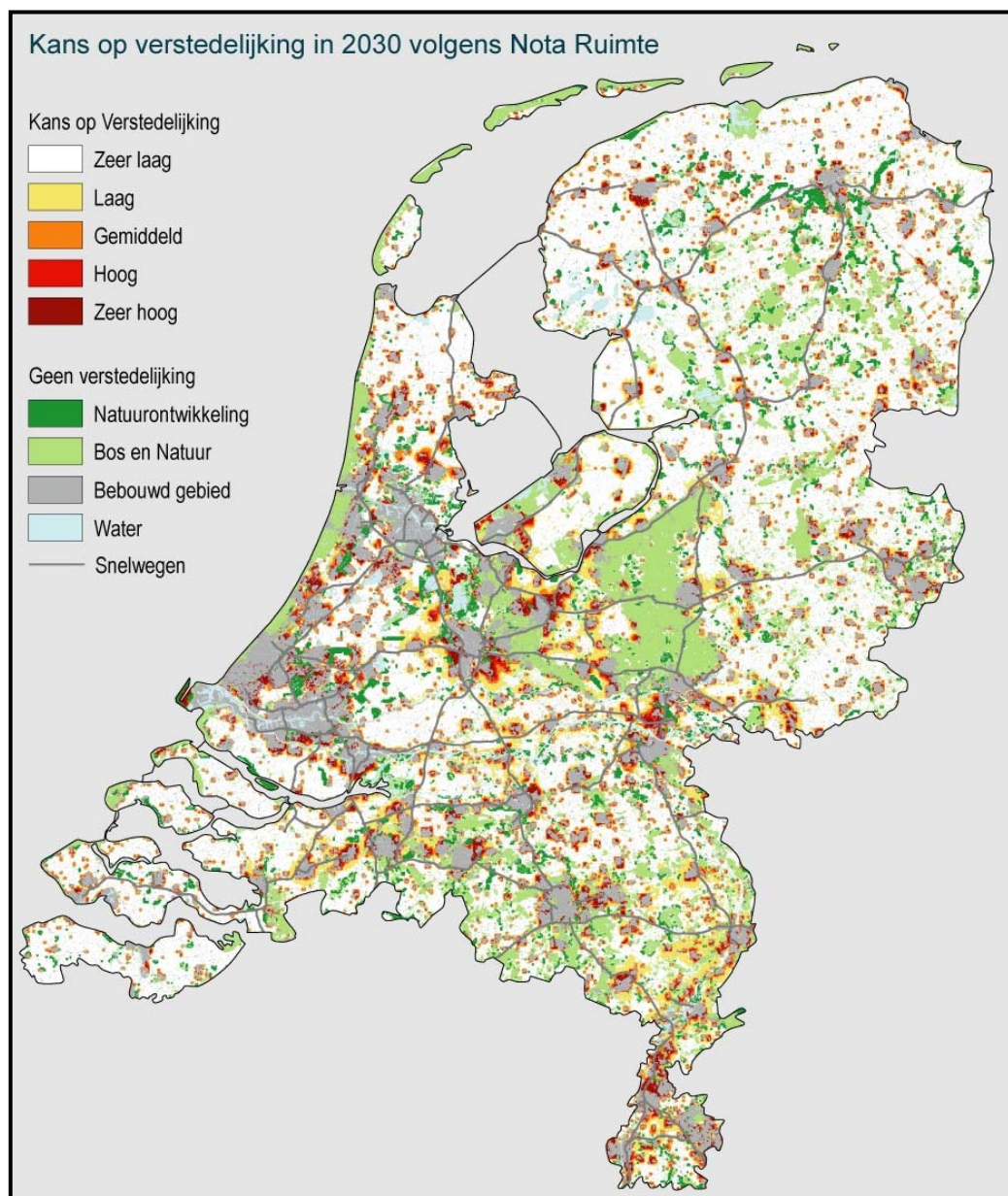
Een voorbeeld van *ensemble-kaarten* is eerder gegeven in figuur 4. Met het MNP-landgebruiksmodel De LeefOmgevingsVerkenner (LOV) zijn voor het jaar 2030 landgebruikskaarten berekend [17]. Hierbij zijn scenario-aannames verwerkt conform de uitgangspunten van de Nota Ruimte. In totaal zijn 1000 kaarten gesimuleerd. Vier van deze ensemble-kaarten zijn eerder weergegeven in figuur 4.

Op het oog zijn verschillen in de ensemble-kaarten nauwelijks waarneembaar, hetgeen betekent dat onzekerheden in de LOV slechts geringe gevolgen hebben op het uiteindelijke gesimuleerde grondgebruik in 2030 (dit is wel *exclusief* onzekerheid in de scenario-aannames!). Opgemerkt zij dat verschillen tussen deze kaarten zichtbaar kunnen worden gemaakt met de MapComparisonKit-software, zowel in de vorm van verschilkaarten als in de vorm van fuzzy-kappa-waarden.

Vervolgens zijn op basis van deze 1000 kaarten een aantal *kanskaarten* berekend voor verschillende categorieën. **Figuur 16** geeft een kanskaart voor de geaggregeerde categorie ‘verstedelijking’. In [17] zijn analoog ook kanskaarten gepresenteerd voor de categorieën ‘wonen’ (figuur 14 aldaar), ‘bedrijfsterreinen’ (figuur 15), ‘kantoorterreinen’ (figuur 16), ‘sociaal culturele voorzieningen’ (figuur 17), ‘recreatie’(figuur 18) en ‘glastuinbouw’ (figuur 19). De categorie ‘verstedelijking’ is een aggregatie van deze zes basiscategorieën.



Figuur 15 Verstedelijkingsdruk op de nationale landschappen, berekend voor vier scenario's: A1 (links boven), B1 (rechts boven), A2 (links onder) en B2 (rechts onder). Bronnen: [4, figuur 4.25] en [22, figuur 4.5.2].



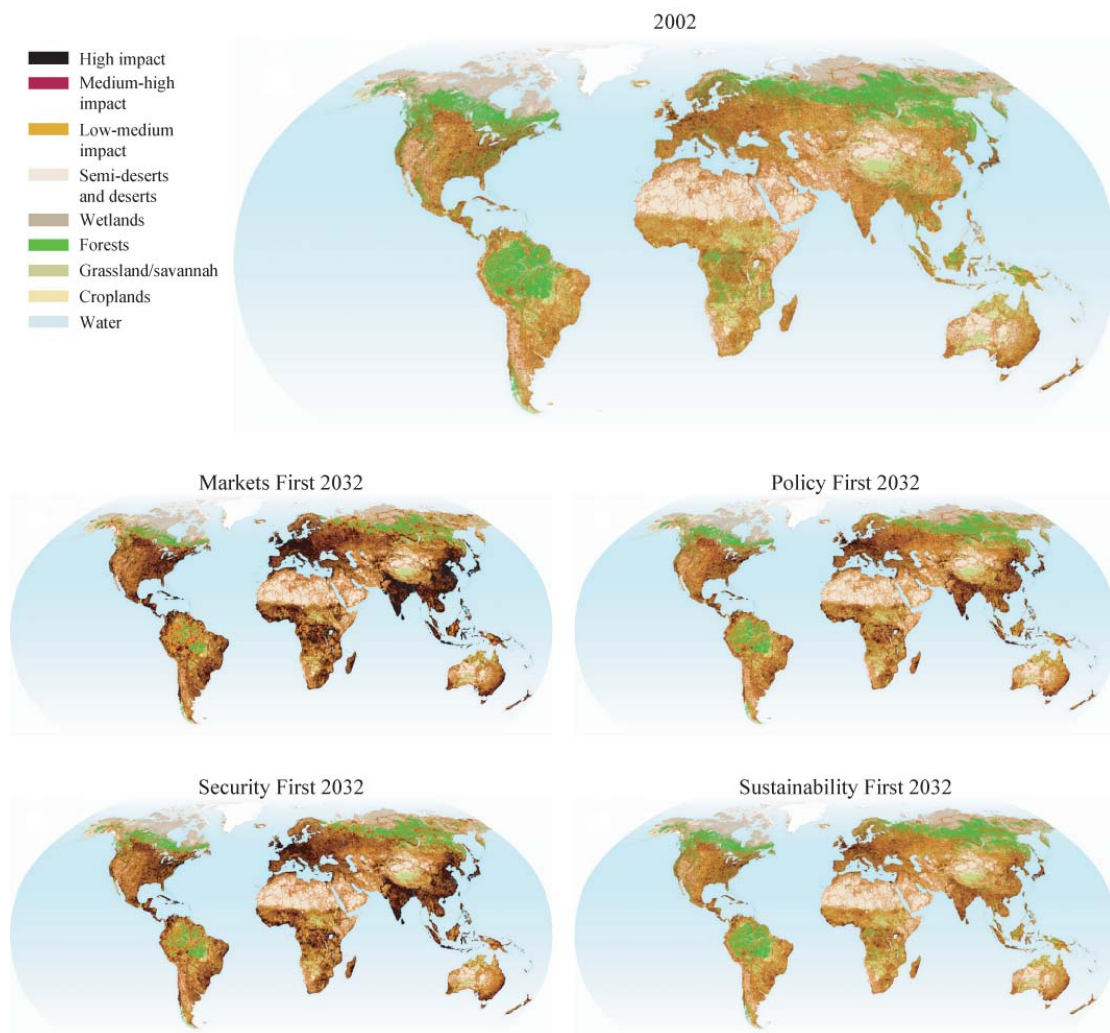
Figuur 16 Kans op verstedelijking volgens de Nota Ruimte. De kaart is samengesteld uit 1000 ensemble-landgebruikskaarten, waarbij de categorieën 'wonen', 'bedrijfsterreinen', 'kantoorterreinen', 'sociaal-culturele voorzieningen', 'recreatie' en 'glastuinbouw' zijn samengevoegd tot een nieuwe categorie 'verstedelijking'. Er ontstaat een kans voor grid (i,j) door simpelweg het aantal keren te tellen dat grid (i,j) behoort tot de categorie 'verstedelijking' en vervolgens te delen door 1000. Bronnen: [17, figuur 10] en [16, figuur 2.3].

4.2.3 Kaarten op een hybride schaal

Soms wordt onzekerheid in kaarten weergegeven in kaarten waar zowel gegevens op interval- of ratio-schaal in voorkomen, als ook informatie op een nominale schaal. Figuur 16 geeft daarvan een voorbeeld. De kaart geeft enerzijds kansen (ratio-schaal), anderzijds ook informatie over verschillende natuurcategorieën (nominale schaal). Hiermee heeft de kaart dus een hybride meetkarakter gekregen.

Een tweede voorbeeld van hybride kaarten is gegeven in **figuur 17** (zie [18]). Deze set van vijf kaarten geeft een vermenging van de druk door infrastructurele ontwikkelingen (ordinale schaal) en verschillende soorten bodemgesteldheden (nominale schaal). De totaalindruk van de kaarten is niet verhelderend.

Vermenging van meetschalen verhoogt de helderheid van de kaart niet. De interpretatie wordt conceptueel moeilijker en een vermenging van meetschalen kan daarom beter vermeden worden.



Figuur 17 Ecosystemen die onder hoge druk staan door infrastructurele ontwikkelingen in 2002 (bovenste kaart) en in 2032 volgens vier scenario's (Markets First, Policy First, Security First en Sustainability First). De kaarten bevatten informatie op ratio-schaal ('impact') als ook op nominale schaal (bodemgesteldheid). Bron: [18, figuur 4.1].

Literatuur

- [1] Bartels, C.J., Veen, A.A. van der, Ormeling, F.J., Koop, R.O., 1994. Kartografisch Handboek. RIVM-rapport 421504006.
- [2] Bierkens, M.F.P., Finke, P.A., Willigen, P. de, 2000. Upscaling and downscaling methods for environmental research. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [3] Boersma, K.F., Eskes, H.J., Brinksma, E.J., 2004. Error analysis for tropospheric NO₂ retrieval from space. J. of Geophys. Research, vol 109, D04311.
- [4] Borsboom-van Beurden, J.A.M., *et al.*, 2005. Ruimtelijke beelden. Visualisatie van een veranderd Nederland in 2030. RIVM-rapport 550016003.
- [5] Burroughs, P.A., McDonnell, R.A., 2000. Principles of geographical information systems. Oxford University Press.
- [6] Deutsch, C.V., Journel, A.G., 1998. GSLIB: geostatistical software library and user's guide. Oxford University Press, Oxford.
- [7] Hagen-Zanker, A., 2005. User's guide Map Comparison Kit 2. Uitgave RIKS, april 2005.
- [8] Hengl, T., *et al.*, 2003. Te vinden op www.pfos.hr/~hengl/visualisation.php (bezocht juni 2005).
- [9] Heuberger, P.S.C., 2004. USATOOL 1.0, a MATLAB based software package for quantitative uncertainty and sensitivity analysis. IMP-rapport M005/04.
- [10] Heuvelink, G.B.M., 1998. Uncertainty analysis in environmental modelling under a change of spatial scale. Nutrient cycling in Agroecosystems 50, 255-264.
- [11] Heuvelink, G.B.M., 1998. Error propagation in environmental modelling with GIS. Taylor & Francis, Londen.
- [12] Heuvelink, G.B.M., Pebesma, E.J., 1999. Spatial aggregation and soil process modelling. Geoderma 89, 47-65.

- [13] IPCC, 2001 (eds. J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C.A. Johnson). *Climate Change 2001, The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the third Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press.
- [14] Kaluzny, P., *et al.*, 1998. *S+*, Spatial Stats. Uitgave MathSoft.
- [15] KNMI, 2005. Zie site www.temis.nl/airpollution/no2.html (bezoekt juni 2005).
- [16] Kuiper, R., De Niet, R. (eds), 2004. *Milieu- en Natuureffecten Nota Ruimte*. RIVM-rapport 711931009.
- [17] Nijs, A.C.M. de, Kuiper, R., Crommentuijn, L.E.M., 2005. *Het landgebruik in 2030. Een projectie van de Nota Ruimte*. RIVM-rapport 711931010.
- [18] Potting, J., Bakkes, J., 2004. *GEO-3 scenarios 2002-2032. Quantification and analysis of environmental impacts*. UNEP/DEWA/RS.03-4 and RIVM report 402001022.
- [19] RIKS, 2004. *Kalibratie van de LeefOmgevingsVerkenner*. Eindrapport, 7 juli 2004.
- [20] RIVM/MNP (2003). *RIVM/MNP Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden*. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). [Dit betreft de Nederlandse editie van Petersen *et al.* (2003) en Janssen *et al.* (2003); de overige twee delen (Van der Sluijs *et al.*, 2003, 2004) zijn alleen in het Engels beschikbaar; zie www.mnp.nl/Leidraad/ en www.nusap.net].
- [21] RIVM/MNP, 2004a. *MilieuCompendium*. Sdu-uitgevers.
- [22] RIVM/MNP, 2004b. *Kwaliteit en toekomst. Verkenning van duurzaamheid*. Sdu uitgevers (RIVM/MNP-rapport 500013009).
- [23] RIVM/VTV. L. Zwakhals, personal communication.
- [24] Saltelli, A., *et al.*, 2004. *Sensitivity analysis in practice. A guide to assessing scientific models*. Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- [25] Shi, W., Fisher, P.F., Goodchild, M.F. (eds.), 2002. *Spatial data quality*. Taylor & Francis, London.

- [26] Sluijs, J.P. van der, Janssen, P.H.M., Petersen, A.C., Kloprogge, P. Risbey, J.S., Tuinstra, W., Ravetz, J.R., 2004. RIVM/MNP Guidance for Uncertainty Assessment and Communication: Tool Catalogue for Uncertainty Assessment. Utrecht: Universiteit Utrecht [zie www.nusap.net].
- [27] Visser, H. (editor), 2004. The Map Comparison Kit: methods, software and applications. RIVM report 550002005.