

Zeker weten!?

Aanzet tot het bewuster omgaan met onzekerheden in beleidsrelevante studies binnen ECN

A.J. Seebregts
B.W. Daniëls
P.C. van der Laag
S. Spoelstra

De enige zekerheid is onzekerheid
(vertaling van 'Solum certum nihil esse certi': Plinius, *Historia Naturalis*, Bk ii, 7)

Verantwoording

Dit rapport is tot stand gekomen in het kader van het ENGINE-project 'Omgaan met onzekerheden in beleidsonderbouwende studies', ECN-projectnummer 77270. Een eerste versie is in maart 2001 als intern werkdocument verschenen. Mede vanwege de grote externe belangstelling voor het rapport en de wijze waarop ECN met onzekerheden in beleidsonderbouwende studies omgaat, is besloten om deze tweede versie als extern rapport te publiceren. Achterliggende informatie (alleen voor ECN-ers beschikbaar) is tevens te vinden op de ECN Intranetsite <http://ecnfac.ecn.nl/local/project/onzeker/>. Deze externe versie van het rapport refereert deels aan interne werkdocumenten, hetgeen niet gebruikelijk is. Hoewel deze interne werkdocumenten niet zijn geschreven en zijn bedoeld voor extern gebruik, zijn zij onder bepaalde voorwaarden wel beschikbaar te maken voor collega-onderzoekers van andere organisaties. Gelieve daarvoor contact op te nemen met Ad Seebregts: e-mail: seebregts@ecn.nl.

De richtlijn bevat in Hoofdstuk 4 de versie van januari 2002 (versie 3). Eerdere versies waren die van oktober 2000 en maart 2001.

De auteurs willen de leden van de ECN ENGINE-werkgroep en alle BS onderzoekers danken voor hun inbreng in het project via discussies tijdens de colloquia en workshops. Tevens willen wij onze hartelijke dank uitspreken aan Peter Janssen en Anton van der Giessen, beiden van RIVM, en aan Marjolein van Asselt en Susan van 't Klooster, beiden van de Universiteit van Maastricht. De bereidwilligheid om hun kennis en ervaring met ons te delen, en de discussies die wij hebben gevoerd, zijn zeer inspirerend geweest. In het bijzonder is het commentaar van Peter en Marjolein op de vorige tweede versie en daarbij de aanvulling op de richtlijn zeer waardevol gebleken.

Abstract

Dealing with uncertainty is essential for policy studies not only from the more scientific point of view but also in order to provide solid policy advice. This report reviews briefly: (1) relevant aspects, methods and frameworks for dealing with uncertainties; (2) the practices of the ECN Policy Studies unit in dealing with uncertainties in its work and studies. The review was intended to make the researchers aware of the importance of dealing explicitly and systematically with uncertainties and to provide a basis for recommendations and tools to improve the current practices. The review was conducted in 2000. It then resulted in a draft guideline for dealing with uncertainties, a tool originally intended for ECN use only. Because the ECN review and guidelines attracted attention from colleague researchers at other institutes, it was decided to publish the guideline, which is now in its 3rd version. This version incorporates the experience from using the guideline in the years 2000 and 2001, and feedback from 'uncertainty' researchers at some of these other institutes.

Keywords: uncertainty; guideline; energy policy studies.

De I-serie is de serie interne rapporten die resultaten bevat bestemd voor de ECN-collega's, maar ook voor vakcollega's die elders werkzaam zijn. Deze rapporten hebben een minder definitief karakter maar zijn wel refereerbaar.

INHOUD

LIJST VAN TABELLEN	5
LIJST VAN FIGUREN	5
SAMENVATTING	7
1. INLEIDING	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Probleemstelling, doelstellingen en onderzoeksvragen	10
1.2.1 Probleemstelling	10
1.2.2 Belangrijkste doelstellingen	11
1.2.3 Onderzoeksvragen	11
1.3 Aanpak van dit project	11
1.4 Leeswijzer	12
2. OMGAAN MET ONZEKERHEDEN IN VOGELVLUCHT	13
2.1 Aanbevolen literatuur	13
2.2 Definities en begrippen, classificaties van onzekerheden	14
2.3 Verschillende raamwerken, procedures en methoden	19
2.3.1 Meer kwalitatieve methoden	19
2.3.2 Scenario analyse	20
2.3.3 Gevoeligheidsanalyses	22
2.3.4 Kansrekening en statistiek	22
2.3.5 Monte Carlo onzekerheidsanalyse	22
2.3.6 Gebruik van expertmeningen	24
2.4 RIVM: Meten, rekenen en onzekerheden	25
3. DE ECN-PRAKTIJK (MEDIO 2000)	27
3.1 BS-quickscan	27
3.2 Workshop met ENGINE-werkgroep	30
3.3 Kwaliteit	32
4. RICHTLIJN OMGAAN MET ONZEKERHEDEN	33
4.1 Inleiding	33
4.2 Uitgangspunten en afbakening	33
4.3 Algemene aanpak	34
4.4 Procedure: stappen en vuistregels	35
4.4.1 Projectdefinitie	35
4.4.2 Projectuitvoering	37
4.4.3 Gebruik van onzekerheidsinformatie in eindrapportage en communicatie	40
5. DEMONSTRATIE RIJCHTLIJN AAN DE HAND VAN TWEE CASE STUDIES	42
5.1 Referentieramingen energie en CO ₂ 2000-2010 en 2001-2010	42
5.2 Strategic Decision Analysis Micro WKK	43
5.3 Conclusies	44
6. SAMENVATTING, CONSLUSIES EN AANBEVELINGEN	45
6.1 Samenvatting	45
6.1.1 Vergroting bewustzijn	45
6.1.2 Verbetering kwaliteit	45
6.1.3 Ontwikkeling hulpmiddelen	48
6.2 Conclusies	49
6.3 Aanbevelingen	49
6.3.1 Meerjarig traject ingaan	49
6.3.2 Generieke richtlijn gebruiken bij elke nieuwe, beleidsrelevante studie	50

6.3.3	Ruimte voor innovatieve methoden houden	50
6.3.4	Intranetsite als middel om kennis en ervaring binnen ECN te verspreiden	51
6.3.5	De adviseur onzekerheden: alleen de eerste keer?	51
6.3.6	Interne gebruikersgroep Monte Carlo/@Risk oprichten	51
6.3.7	Contacten blijven onderhouden met andere Nederlandse instituten	51
EPILOOG		53
REFERENTIES		54
BIJLAGE A	MCA: MONTE CARLO ONZEKERHEIDSANALYSE	59
BIJLAGE B	EM: GEBRUIK VAN EXPERTMENINGEN	61
BIJLAGE C	VRAGEN BS-QUICKSCAN	65
BIJLAGE D	STELLINGEN BIJ WORKSHOPS	69
BIJLAGE E	ALGEMENE PRINCIPES GOED BELEIDSONDERZOEK	71
BIJLAGE F	LIJST VAN AFKORTINGEN	73

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 2.1	<i>Lijst van aanbevolen literatuur ter introductie</i>	13
Tabel 2.2	<i>Classificatie en methoden voor het omgaan met onzekerheden</i>	16
Tabel 2.3	<i>Methods of uncertainty analysis in terms of types of uncertainty</i>	18
Tabel 2.4	<i>Potential of discussed methods in addressing different sources of uncertainty</i>	19
Tabel 4.1	<i>Stappen en vuistregels richtlijn: projectdefinitie</i>	36
Tabel 4.2	<i>Stappen en vuistregels richtlijn: projectuitvoering</i>	37
Tabel 4.3	<i>Pedigree matrix (Funtowicz & Ravetz, 1990)</i>	40
Tabel 4.4	<i>Stappen en vuistregels richtlijn: eindrapportage en communicatie</i>	40
Tabel A.1	<i>Voorbeelden van Monte Carlo analyses bij ECN (selectie t/m 2000)</i>	60
Tabel E.2	<i>Ten commandments for good policy analysis</i>	71

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1.1	<i>Voorbeeld toenemende onzekerheid in de tijd</i>	10
Figuur 2.1	<i>Taxonomie van bronnen van onzekerheid</i>	15
Figuur 2.2	<i>Schema dat de globale opzet van energiescenario-studies weergeeft</i>	20
Figuur 3.1	<i>Expliciete aandacht voor onzekerheden in werkplan (projectvoorstel)</i>	28
Figuur 3.2	<i>Expliciete aandacht voor onzekerheden in eindrapportage</i>	28
Figuur 3.3	<i>Expliciete aandacht voor onzekerheden in projecten</i>	28
Figuur 3.4	<i>Interesse voor onzekerheden bij opdrachtgevers</i>	29
Figuur 3.5	<i>Gebruik van specifieke methoden voor het omgaan met onzekerheden.</i>	29
Figuur 3.6	<i>Behoefte aan richtlijnen</i>	30
Figuur E.1	<i>Illustration of the process of ‘good’ policy analysis</i>	72

SAMENVATTING

Hoe zeker zijn de cijfers in onze studies? Wat is de relatie tussen (meetbare) gegevens en de modellen waarin deze gegevens worden gebruikt? Hoe kijken opdrachtgevers, bijvoorbeeld beleidsmakers, tegen onzekerheden aan, en hoe kunnen wij op een heldere wijze over onzekerheden communiceren? Hoe kunnen we werken aan een betere beleidsondersteuning door expliciet te zijn over de rol van onzekerheden? Dit zijn slechts enkele vragen die binnen het ECN brede project 'Omgaan met onzekerheden in beleidsonderbouwende studies' zijn gesteld. Als gevolg van het project is het bewustzijn van het belang om goed met onzekerheden in dergelijke studies om te gaan, toegenomen bij de ECN-onderzoekers. Via interne colloquia, workshops en een speciale Intranetsite, is er in 2000 uitgebreid gediscussieerd over dit onderwerp.

Het uiteindelijke resultaat is een, inmiddels derde versie van de generieke richtlijn 'Omgaan met onzekerheden in beleidsrelevante studies', bedoeld voor de ECN-praktijk. De richtlijn is generiek van karakter en biedt een raamwerk waarbinnen systematisch en in detail, en voor specifieke studies en modellen, verdere keuzen kunnen worden gemaakt.

Verdere toepassing en verdere ontwikkeling van de richtlijn zijn noodzakelijke stappen om echt te gaan werken aan verbetering van de kwaliteit, zowel procesmatig (in termen van systematiek, procedures) als inhoudelijk en tot uitdrukking komend in de eindrapportages van de ECN-studies.

Dit eindrapport beschrijft kort de achtergronden van het project, de huidige ECN-praktijk, de richtlijn en de eerste ervaringen daarmee. Ten slotte geeft het rapport aanbevelingen om in de toekomst verder te werken aan de verbetering van de kwaliteit van beleidsstudies uitgevoerd door ECN. Dit is mogelijk door onzekerheden expliciet, integraal en vanaf de aanvang van een studie te beschouwen, op de agenda te houden en, afhankelijk van de aard van de studie en van de doelgroep of opdrachtgever, in de eindrapportage speciaal aandacht te geven aan wat men over onzekerheden communiceert.

Het verbeterproces dat door het project is opgestart in 2000, is een continu proces. Enkele inmiddels gestarte ECN-brede initiatieven en de specifieke belangstelling bij ECN Beleidsstudies moeten ervoor zorgen dat dit een doorlopend en uitwaaiend proces is. Begin 2001 zijn daarvoor de volgende aanbevelingen gedaan:

1. Generieke richtlijn gebruiken bij elke nieuwe, beleidsrelevante studie.
2. Ruimte voor innovatieve methoden houden.
3. Blijvend een ECN-Intranetsite onderhouden als middel om kennis en ervaring binnen ECN te verspreiden.
4. Een adviseur onzekerheden gebruiken, en niet alleen de eerste keer.
5. Interne gebruikersgroep Monte Carlo/@Risk oprichten.
6. Contacten blijven onderhouden met andere Nederlandse instituten.

Samengevat kan worden gesteld dat er nog veel onderzoeksvragen liggen en veel stappen zijn te doen. De eerste stappen van ECN op weg naar het bewust en systematisch omgaan met onzekerheden zijn in dit rapport beschreven. Het gebruik van de richtlijn en het vervolg geven aan de aanbevelingen aan het eind van dit rapport, zijn de volgende stappen op weg naar onzekerheidsmanagement.

1. INLEIDING

1.1 Achtergrond

Hoe zeker zijn de cijfers in onze studies? Wat is de relatie tussen (meetbare) gegevens en de modellen waarin deze gegevens worden gebruikt? Hoe kijken opdrachtgevers, bijvoorbeeld beleidsmakers, tegen onzekerheden aan, en hoe kunnen wij op een heldere wijze over onzekerheden communiceren? Hoe kunnen we werken aan een betere beleidsondersteuning door explicieter te zijn over de rol van onzekerheden? Dit zijn slechts enkele vragen (zie onder meer 1.2.3) die binnen het ECN-brede project ‘Omgaan met onzekerheden in beleidsonderbouwende studies’¹ zijn gesteld.

In toenemende mate worden zowel onderzoekers als beleidsmakers geconfronteerd met de rol die onzekerheden kunnen of moeten spelen bij het gebruik van modellen en studies voor beleidsondersteuning. De ‘de Kwaadsteniet kwestie’ die in januari 1999 ontstond, heeft het onderwerp van ‘hoe met onzekerheden om te gaan’ prominent op de agenda gezet. ECN heeft kort daarop een intern colloquium over deze problematiek gehouden.

De ‘de Kwaadsteniet’ kwestie heeft in de Nederlandse onderzoekswereld de discussie stevig aangezwengeld². Het ging daarbij in eerste instantie over meten versus rekenen (modellen). Echter, er ontstond al snel een discussie over de rol van onzekerheden in een aantal studies (bijvoorbeeld de Milieubalans, Milieuverkenningen, Schiphol). Als gevolg van deze kwestie heeft RIVM kort daarna zijn aanpak uitvoerig gedocumenteerd in het rapport ‘Meten, rekenen en onzekerheden’ en Addendum (RIVM, 1999a) en een extern review laten uitvoeren (RIVM, 1999b). Momenteel is het instituut bezig om verbeteringen aan te brengen (Van Asselt et al., 2001).

De ‘de Kwaadsteniet’ kwestie was één van de motieven om medio 1999 bij ECN-beleidsstudies (BS) meer te doen aan de analyse en de rapportage van onzekerheden. Traditioneel voert Beleidsstudies veel scenariostudies en verkenningen uit, zowel voor de nationale energievoorziening als studies met een internationaal karakter. Het maken en doorrekenen van dergelijke toekomstscenario’s en bijbehorende varianten, is een gangbare manier om de onzekere toekomst te verkennen. In 1999 is in het kader van de BRED studie (Gielen et al., 2000) een poging gedaan om verder te gaan dan deze bij ECN BS veel gebruikte scenario aanpak, en om explicieter en uitgebreider over onzekerheden te rapporteren.

Ten slotte heeft de Programma Advies Raad (PAR) van ECN eind 1999 geadviseerd dat “... zou ECN meer moeten doen aan kwesties met betrekking tot onzekerheden in data, en hoe men gegevens met onzekerheden presenteert”.

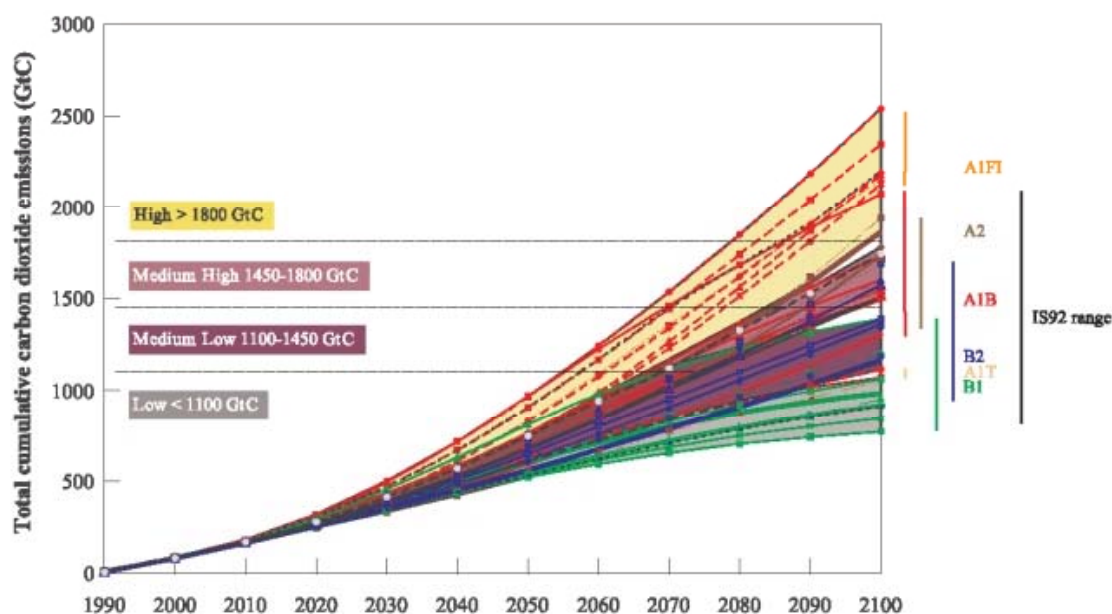
Vanwege de ECN-brede relevantie en belangstelling, ook bij andere ECN-units, is uiteindelijk een project geformuleerd met als doel te komen tot aanbevelingen om voor de beleidsrelevante studies van ECN beter met onzekerheden om te gaan en navenant te rapporteren. Dit project beoogt een meer integrale generieke aanpak en synergie tussen de verschillende units, hetgeen de

¹ Dit project beperkt zich tot studies op basis van analytisch werk (dus modellen, literatuuronderzoek, etc.) en studies met een beleidscomponent. Dit laatste is overigens vrij breed interpreteerbaar. Uiteindelijk heeft veel van het onderzoekswerk uiteindelijk hetzij direct hetzij indirect te maken met beleid: is het niet het energie- en milieubeleid van overheidsinstanties, dan wel het eigen ECN-beleid: Welk onderzoek doen we wel en niet? Hoe trekken we conclusies uit het onderzoek en hoe neemt men op grond daarvan besluiten of zet men dat om in eigen beleid of beleidsadviezen?

² Zie bijvoorbeeld het afstudeerverslag van Frank van Asten (van Asten, 2000) voor een goed overzicht van wat deze kwestie in Nederland teweegbracht.

bewustwording van de problematiek van het omgaan met onzekerheden zal bevorderen. Onderzoek naar het beter omgaan met onzekerheden is niet nieuw, niet bij ECN en zeker niet daarbuiten. In de voorbije jaren zijn bijvoorbeeld eerder methoden en richtlijnen door ECN geïnventariseerd (Ybema et al, 1995; Seebregts, 1997; Gielen et al., 2000). Deze inventarisaties betroffen het omgaan met onzekerheden in specifieke modellen en toepassingsgebieden, zonder uitgebreid gebruik te maken van de brede kennis van de ECN-onderzoekers en zonder dat er een ECN-brede strategie was voor ‘onzekerheidsmanagement’.

Bij de unit Beleidsstudies spelen onzekerheden in ieder geval een duidelijke rol in de scenario-studies die al jarenlang met verschillende modellen worden uitgevoerd. Bepaalde typen onzekerheden, echter niet alle, worden daarin veelal via scenario- en gevoeligheidsanalyses geanalyseerd. Onzekerheden spelen zowel op de korte termijn als op de lange termijn, waarbij in het algemeen de lange termijn onzekerheden groter zijn dan die op korte termijn. Figuur 1.1 geeft hiervan een illustratie: naarmate men verder in de toekomst komt, lopen de resultaten van verschillende scenario's verder uiteen (Bron: IPCC-SRES, 2000)³.



Figuur 1.1 Voorbeeld toenemende onzekerheid in de tijd
(Source: Figure SPM-2, IPCC-SRES, 2003)

1.2 Probleemstelling, doelstellingen en onderzoeksvragen

1.2.1 Probleemstelling

Reeds in de vorige Paragraaf is aangegeven waarom het bewust en goed omgaan met onzekerheden voor ECN belangrijk is. Onzekerheden zijn inherent aan het wetenschappelijk en beleidsmatig onderzoek dat bij ECN wordt uitgevoerd. Wetenschappelijk onderzoek is vaak gericht op het verkleinen van onzekerheden, of het nu metingen betreft ('Meten is weten') of modelberekeningen. De resultaten van dergelijke studies bevatten onzekerheden die relevant kunnen zijn voor de conclusies die men trekt, met name ten aanzien van beleidsimplicaties en de robuustheid van die implicaties. Zorgvuldigheid bij de presentatie van dergelijke onzekerheden - welke onzekerheden te presenteren en hoe dan wel - is daarom erg belangrijk.

³ IPCC Special Report Emissions Scenarios: Recent IPCC rapport met 40 nieuwe scenario's, geanalyseerd met verschillende modellen en teams. O.a. bijdragen van ECN (Tom Kram) en RIVM. De Summary for Policy Makers (kopie op de Intranet-site) bevat een goede beschrijving wat scenario's wel en niet zijn, en ook hoe resultaten daarvan kunnen worden gepresenteerd.

ECN is wat dit betreft niet veel anders dan het RIVM. ECN staat, zoals ook tijdens de eerste workshop in 2000 is aangehaald, wat minder in het brandpunt van de belangstelling dan andere beleidsonderbouwende instituten in Nederland zoals planbureaus als het RIVM, het CPB, het CBS, etc. Dat is wellicht een reden dat ECN tot nu toe extern minder is geconfronteerd met deze problematiek.

Bij aanvang van het project was het niet duidelijk op welke schaal en op welke wijze er bij ECN werd omgegaan met onzekerheden in beleidsrelevante studies. Om hierin duidelijkheid te kunnen verschaffen, was een ECN brede inventarisatie noodzakelijk. Het was tevens de vraag of er binnen de verschillende units en studies op een uniforme wijze met onzekerheden wordt omgegaan, of dat er behoefte was aan een meer uniforme methodiek.

1.2.2 Belangrijkste doelstellingen

Het project heeft niet één centrale doelstelling maar kent er verscheidene. De belangrijkste zijn:

1. Bijdragen aan een algemene vergroting van het besef van de aard, betekenis en implicaties van de verschillende onzekerheden die in het werk van ECN een rol spelen (Saris, 2000).
2. Verhogen van de kwaliteit van de ECN studies.
3. Opbouwen van kennis van methoden voor het omgaan met onzekerheid, in het bijzonder in relatie tot het gebruik van modellen en studies.
4. Geven van suggesties voor het verwerken van onzekerheid in rapportages.

De laatste twee doelstellingen hebben uiteindelijk als resultaat tot dit rapport geleid, en met name met daarin opgenomen de Richtlijn in Hoofdstuk 4.

1.2.3 Onderzoeksvragen

Bij aanvang van de studie zijn op basis van bovenstaande de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

1. Hoe gaan we bij ECN op dit moment om met onzekerheden in beleidsrelevante studies?
2. Is er behoefte aan meer hulpmiddelen en richtlijnen?
3. Is er de bereidheid om onzekerheden in een vroeg stadium van een studie, meer expliciet en in meer detail te beschouwen?
4. Hoe communiceren we de onzekerheden, zowel in onze schriftelijke rapportages als via andere media?
5. Hoe kijken opdrachtgevers en in het bijzonder beleidsmakers, tegen onzekerheden aan?

Antwoorden op 1, 2, 4 en 5 zijn gegeven in Hoofdstuk 3. Het positieve antwoord op vraag 3 heeft onder andere geleid tot de richtlijn die in Hoofdstuk 4 is geschetst.

Belangrijke aspecten volgend op beantwoording van de tweede onderzoeksvraag zijn:

- Zijn bestaande richtlijnen en methoden toepasbaar in de ECN-praktijk? Dit hangt sterk af van de aard van de studie en de verschillende typen en bronnen van onzekerheid, en van de beschikbare hoeveelheid tijd en budget.
- Dekken bestaande richtlijnen het hele traject van een studie (project) af?

1.3 Aanpak van dit project

De aanpak van dit project is er steeds op gericht om zoveel mogelijk gebruik te maken van bestaande kennis en ervaring, zowel bij ECN als daarbuiten, en om met regelmatige tussenpozen intern te discussiëren over de problematiek en tussenresultaten van het project.

De volgende activiteiten zijn ondernomen:

1. Bestuderen literatuur en kennis nemen van onderzoek elders, en in het kader daarvan contacten leggen met andere instituten
2. Organiseren van interne colloquia en workshops
3. Bouwen en onderhouden van een Intranetsite
4. Opstellen richtlijnen en uitwerking en toetsing daarvan in case studies
5. Eindrapportage

1.4 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt ingedeeld.

Voor degenen die niet of minder vertrouwd zijn met het onderwerp ‘Onzekerheden’ biedt Hoofdstuk 2 in vogelvlucht een kort overzicht van de belangrijkste begrippen en van de aspecten die van belang zijn bij het omgaan met onzekerheden. Dit overzicht wordt gegeven aan de hand van een lijst van aanbevolen literatuur ter introductie van het onderwerp.

Hoofdstuk 3 bevat een globaal overzicht van de bestaande ECN-praktijk alsmede een korte terugblik naar het recente verleden, en ten slotte een samenvatting van de behoeften van de ECN-onderzoekers die te maken hebben met beleidsrelevante studies.

Met als belangrijkste input de behoeften en de bestaande kennis en ervaring bij zowel de betrokken ECN-ers als uit bestaande richtlijnen en literatuur, geeft Hoofdstuk 4 de uitgangspunten en de stappen van de ECN richtlijn ‘Omgaan met onzekerheden’. Een aantal cases is gebruikt ter toetsing van de richtlijn. Hoofdstuk 5 beschrijft kort de resultaten en de lessen van deze toetsing.

De Hoofdstukken 2, 3 en 4 zijn los van elkaar te lezen. De Hoofdstukken 4 en 5 zijn op elkaar afgestemd.

Ten slotte vat Hoofdstuk 6 de belangrijkste bevindingen samen, afgesloten met een aantal aanbevelingen hoe ECN in de toekomst met meer aandacht voor onzekerheden aan de kwaliteit van zijn studies kan blijven werken. Een aantal aanbevelingen is inmiddels omgezet in een lijst concrete acties die moeten leiden tot een verder verbeterproces.

2. OMGAAN MET ONZEKERHEDEN IN VOGELVLUCHT

Dit Hoofdstuk is bedoeld als een korte introductie tot het onderwerp omgaan met onzekerheden in beleidsmatig onderzoek. Deze introductie is niet bedoeld om compleet te zijn en wil niet geheel repliceren wat andere bronnen veel beter weergegeven. Daarom zal eerst een lijst van referenties worden gegeven van aanbevolen literatuur om kennis te maken met de problematiek van het omgaan met onzekerheden (Paragraaf 2.1).

Paragraaf 2.2 introduceert een aantal begrippen op basis van twee bestaande classificatieschema's voor onzekerheden. Hierin wordt een voorschot genomen op een aantal methoden die in Paragraaf 2.3 kort worden besproken.

Omdat de 'de Kwaadsteniet' kwestie een van de aanleidingen was tot dit project en omdat naar onze mening de ECN-situatie niet veel anders is dan van RIVM, wordt het RIVM-rapport 'Meten, rekenen en onzekerheden' uit februari 1999 (RIVM, 1999a) en de RIVM-aanpak in Paragraaf 2.4 wat uitgebreider besproken.

2.1 Aanbevolen literatuur

De lijst van aanbevolen literatuur staat in tabel 2.1 weergegeven. Met name (Morgan & Henrion, 1990) is een aanrader. Verder geeft (RIVM, 1999a) een goede beschrijving van de problematiek waar RIVM recent mee is geconfronteerd. Wat voor RIVM geldt, is ook grotendeels voor het beleidsmatige onderzoek van ECN van belang.

Tabel 2.1 *Lijst van aanbevolen literatuur ter introductie*

Algemeen
Morgan, G. M., Henrion, M. (1990): <i>Uncertainty: A guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis</i> , Cambridge University Press, New York, USA. (in zijn geheel; in het bijzonder 3.8 Ten commandments for good policy analysis)
Janssen, P.H.M., Slob, W., Rotmans, J. (1990): <i>Gevoeligheidsanalyse en Onzekerheidsanalyse: een inventarisatie van Ideeën, Methoden en Technieken</i> , RIVM Report nr 958805001, Bilthoven, The Netherlands (in Dutch). (in zijn geheel)
RIVM (1999a): <i>Meten, rekenen en onzekerheden - De werkwijze van het RIVM-Milieuonderzoek</i> , RIVM rapport 408129005, RIVM, Bilthoven.(hoofdrapport en addendum)
Sluijs, J.P. van der (1997): <i>Anchoring amid uncertainty. On the management of uncertainties in risk assessment of anthropogenic climate change</i> . PhD Thesis, Utrecht University, The Netherlands. (met name Chapter 6)
Asselt, Marjolein B.A. van (2000): <i>Perspectives on Uncertainty and Risk: The PRIMA approach to decision support</i> , Kluwer Academics, Dordrecht, the Netherlands. (met name Chapter 3A, 5-7)
IPCC
IPCC (2000): <i>Good Practice Guidance And Uncertainty Management In National Greenhouse Gas Inventories</i> , Edited by Jim Penman et al., The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Technical Support Unit. (met name Annex 3: Glossary)
Moss, R.H. and Schneider, S.H. (2000): <i>Uncertainties in the IPCC TAR: Recommendations to Lead Authors for More Consistent Assessment and Reporting</i> , in: <i>The Third Assessment Report - Cross Cutting Issues Guidance Papers</i> , Uncertainties, pp. 33-51, IPCC supporting material, Geneva, Switzerland.
ISO en meten
International Organization for Standardization (1995): <i>Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement</i> . ISBN 92-67-10188-9. (Speciaal voor de meters onder ons; bij ECN is er ervaring met deze standaard, zie bijvoorbeeld (Van der Borg & Van Dam, 1998))
Expert judgment
Cooke, R.M., and Goossens, L.J.H. (2000): <i>Procedures guide for structured expert judgment</i> , EUR 18820 EN, European Commission, Directorate-General for Research, Luxembourg.

Uit de bovenstaande beperkte lijst en de daarin aangehaalde andere referenties blijkt dat er geen gebrek is aan methoden voor het omgaan met onzekerheden. Voor de ECN-praktijk is gekozen om die methoden te gebruiken waar relatief al wat ervaring mee is, bij ECN zelf of bij samenwerkingspartners, en wat praktisch uitvoerbaar lijkt. Uitgangspunt is zo min mogelijk te zoeken naar iets nieuws of specifiek. Dat betekent niet dat er geen ruimte is om nieuwe wegen in te slaan of relatief nieuwe methoden te gaan gebruiken. Een aanpak als PRIMA (Van Asselt, 2000) biedt bijvoorbeeld interessante perspectieven voor de wat uitgebreidere verkenningstudies⁴.

2.2 Definities en begrippen, classificaties van onzekerheden

Onderzoekers en beleidsmakers kunnen een verschillend begrip hebben van wat zij onder ‘onzekerheid’ verstaan. Het is daarom van belang om de gebruikte begrippen en de mogelijke verschillen daarin, eerst eenduidig vast te leggen en helder te krijgen, bijv. via een glossary. Misverstanden zijn op die manier te voorkomen, hetgeen uitermate belangrijk is op het moment dat over onzekerheden wordt gecommuniceerd, zoals in de uiteindelijke rapportage van een studie.

Helaas biedt ook de bestaande ‘onzekerhedenliteratuur’ wat dit betreft geen eenduidig antwoord. Er worden vaak verschillende begrippen gehanteerd voor één en hetzelfde, of hetzelfde begrip voor verschillende zaken. Daarom wordt in dit rapport gemakshalve verwezen naar een bron die de meeste begrippen eenduidig en vrij compleet vastlegt, nl. (IPCC, 2000). Recent is door Van der Sluijs ook op Internet een glossary gezet⁵. Echter, voor de introductie van de meest essentiële begrippen, maken we gebruik van de classificaties van resp. (Van der Sluijs, 1997) en (Van Asselt, 2000).

Ook tijdens de eerste ECN colloquia en workshops bleek al snel dat het gebruik van consistente terminologie de interne discussie kan verbeteren en misverstanden kan voorkomen. Het project heeft uiteindelijk niet geresulteerd in een aparte glossary maar dit Hoofdstuk wil wel een korte introductie bieden tot de belangrijkste begrippen.

Het beste houvast voor een eenduidige terminologie is verder het hanteren van een classificatie schema voor de verschillende bronnen en typen van onzekerheden. Ook in deze is de bestaande literatuur niet eensluidend en worden verschillende schema's gegeven⁶. In deze Paragraaf zullen twee van deze schema's worden gegeven en kort worden toegelicht.

Classificatie Van der Sluijs

In (Van der Sluijs, 1997) worden in feite de schema's van (Vesely & Rasmuson, 1994) en (Funtowicz & Ravetz, 1990) gecombineerd tot een tweedimensionaal schema om (methoden voor het omgaan met) onzekerheden te classificeren. Uit beperkte vingeroefeningen bij ECN BS blijkt dat met name de classificatie volgens de eerste kolom ('source', Ned.: bron) goed bruikbaar is. Reden daarvoor is dat veel BS-ers goed in termen van modellen en data kunnen denken. Met de tweede dimensie 'type' (Ned.: aard) kan men minder goed uit de voeten. Inmiddels heeft Van der Sluijs zijn classificatieschema aangepast (Van der Sluijs et al., 2001).

Deze classificatie wordt door Van der Sluijs gebruikt voor de analyse van de onzekerheden die een rol spelen in de risicoanalyse van de klimaatverandering door menselijk handelen. De modellen die daarbij worden gebruikt, zijn de zogenoemde Integrated Assessment Models (IAM's). Een voorbeeld is het IMAGE-2 model van RIVM (Alcamo et al., 1998).

⁴ Op 22 februari 2001 is bij ECN een presentatie over de PRIMA aanpak door Marjolein van Asselt gehouden. Tevens zal ECN-medewerking verlenen door de Nationale EnergieVerkenningen (NEV) studies als case in te brengen in een inmiddels door NWO goedgekeurd 'Vernieuwingsimpuls' project van ICIS. Dat project gaat formeel 1 januari 2002 van start.

⁵ Zie <http://www.nusap.net/modules.php?op=modload&name=NS-Glossary&file=index>

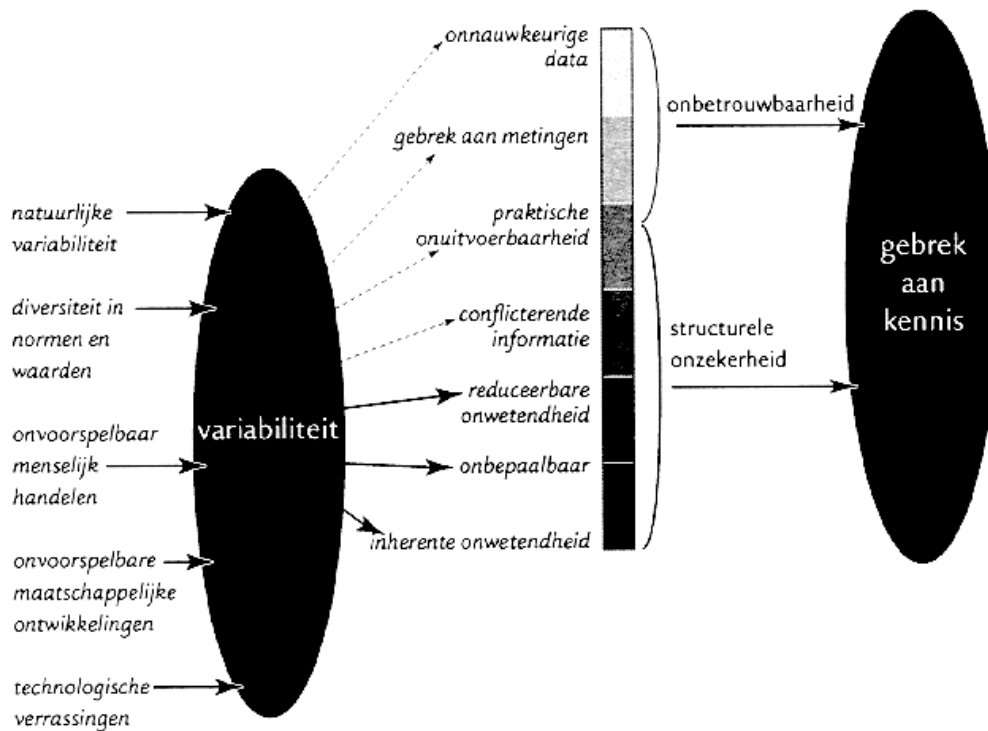
⁶ Zie bijv. (Van der Sluijs, 1997) voor een goed overzicht van dergelijke classificaties.

Het nut van de classificatie van Van der Sluijs is dat die intuïtief erg goed aansluit bij onderzoekers die veel met modellen werken (zoals BS-ers). Denken in termen als: input, modelstructuur en onvolledigheid, als de onderliggende bronnen zijn relatief concreet. Probleem is wel dat de tweede dimensie 'Type', in zijn geval 'inexactness', 'unreliability' en 'ignorance', wat minder goed uit de verf komt, zeker op het moment dat men de tabel gebruikt om onzekerheden van een model te classificeren. Dit bleek uit een exercitie met SAVE-utiliteit, zie (Daniëls, 2000).

De eerste dimensie 'Source' is gebruikt als hulpmiddel in de BS-quickscan, bij het inventariseren van de belangrijkste onzekerheden in de BS studies (zie Hoofdstuk 3).

Classificatie Van Asselt

In de taxonomie van Van Asselt (Van Asselt, 2000), zie Figuur 2.1, wordt ook op een heldere wijze onderscheid gemaakt tussen 'Variabiliteit' en 'Gebrek aan kennis' onzekerheden. Ook haar classificatie borduurt voort op eerdere classificaties van anderen, en heeft als voordeel dat niet alleen bronnen en typen van onzekerheid duidelijk worden, maar ook dat de verschillende actoren en perspectieven direct tot uitdrukking komen, en de perceptie van de 'modelleur' en de beslisser. De onderstaande figuren geven daarvan uitdrukking. Voor een verdere uitleg wordt verwezen naar de oorspronkelijke publicatie. Bronnen van onzekerheid houden in de classificatie van Van Asselt verband met de oorzaken van onzekerheid zelf.



FIGUUR 1 Taxonomie van bronnen van onzekerheid

Figuur 2.1 *Taxonomie van bronnen van onzekerheid*
(Bron: Van Asselt, 2000)

Tabel 2.2 *Classificatie en methoden voor het omgaan met onzekerheden*

Source	Type	Inexactness	Unreliability	Ignorance
Input data		- Sensitivity analysis - Monte Carlo simulation - Subjective probability Distributions - Cultural theory sampling	- Quality-assurance - Quality assessment - Advisory boards - Peer review - Rack-method	- Research
Conceptual model structure	Parameters	- Sensitivity analysis - Monte Carlo simulation - Subjective probability Distributions - Cultural theory sampling	- Quality-assurance - Quality assessment - Advisory boards - Peer review - Rack-method	- Research
	Relations	- Monte Carlo simulation - Cultural theory sampling - Inter-model comparison - Testing against historical data - Test short term predictions - Code exchange between IAMs - Rack method - Advisory boards - Peer review	- Quality-assurance - Quality assessment - Inter-model comparison - Testing against historical data - Test short-term predictions - Code exchange between IAMs - Rack-method - Advisory boards - Peer review	- Research
Technical model structure	Process error	- Inter-model comparison - Testing against historical data - Test short-term predictions - Code exchange between IAMs	- Quality-assurance - Inter-model comparison - Testing against historical data - Test short-term predictions - Code exchange between IAMs - Rack-method - Advisory boards - Peer review	- Research

Source	Type	Inexactness	Unreliability	Ignorance
Bugs	Resolution error	- Sensitivity analysis	- Quality-assurance - Rack-method	- Research
	Aggregation error	- Sensitivity analysis	- Quality-assurance - Rack-method	- Research
	Model fixes	- Sensitivity analysis - Inter-model comparison - Code exchange between IAMs	- Quality-assurance - Rack-method - Advisory boards - Peer review	- Research
	Numerical error	- Sensitivity analysis (to number of digits in floating point operations)	- Quality-assurance - Rack-method	- Mathematical analysis of the model
	Software error	- Sensitivity analysis - Code verification	- Quality-assurance - Code verification - Rack-method - Reproducibility testing	- Rack-method
	Hardware error	- Sensitivity analysis	- Quality-assurance - Rack-method - Reproducibility testing	- Rack-method
Model completeness		- Advisory boards - Inter-model comparison - Peer review - Competition among IAM groups - Focus groups	- Quality-assurance - Advisory boards - Inter-model comparison - Peer review - Competition among IAM groups - Focus groups	- Research

(Bron: Van der Sluijs, 1997, Table 6.4, p. 206: Tools available to address different sorts of uncertainties in IAMS)

Tabel 2.3 *Methods of uncertainty analysis in terms of types of uncertainty*

Uncertainty		Method	Output
Uncertainty in model quantities	Uncertainties in input data	- Sensitivity analysis - Probability-based methods - Formal scenario-analysis - Hedging-oriented methods - NUSAP	- Role of uncertainties in input data in model run - Propagation of probabilities in input data to outcomes - Assessing effects uncertainty reduction in input data - Insight in the qualitative and quantitative nature of the uncertainty in the inputs
	Parameter uncertainties	- Sensitivity analysis - Probability-based methods - Hedging-oriented methods - NUSAP	- Role of uncertainties in parameters in model runs - Propagation of probabilities in parameters to outcomes - Assessing effects uncertainty reduction in parameters - Insight in the qualitative nature of uncertainty in the parameters
Uncertainty about model form	Uncertain equations	- Sensitivity analysis in the form of meta-modelling	- Insights into crucial equations
Uncertainty on model completeness	Model structure uncertainties	<i>No methods</i>	
	Uncertain levels of confidence	- NUSAP	- Insight in the level of confidence in terms of the quality of the underlying sources
	Uncertainty about model validity	- validation	- Insights in model performance

(Bron: Van Asselt, 2000, Table 4 p. 104-105)

Tabel 2.4 *Potential of discussed methods in addressing different sources of uncertainty*

Source	Method
Inexactness	- Probability-based methods - Formal scenario-analysis
Lack of observations/measurements	- Probability-based methods - Formal scenario-analysis - Hedging-oriented methods
Practically immeasurable	- Probability-based methods - Formal scenario-analysis - Hedging-oriented methods
Conflicting evidence	- Formal scenario-analysis - Hedging-oriented methods
Ignorance	- Validation - Qualitative scenario-development - Interactive problem and uncertainty structuring
Indeterminacy	- Interactive problem and uncertainty structuring - Qualitative scenario-development
Natural randomness	<i>Stochastic modelling</i>
Value diversity	<i>No methods</i>
Behaviour variability	Scenario-approaches
Societal randomness	Scenario-approaches
Technological surprise	<i>No methods</i>

(Bron: Van Asselt, 2000, Table 5, p. 106)

Uit bovenstaande voorbeelden moge duidelijk zijn dat een voor iedereen bevredigende typologie/classificatie van onzekerheden nog niet is opgesteld. Het belangrijkste is dat men probeert een classificatie te nemen waarmee men (de onderzoeker/de analist/de opdrachtgever/de belanghebbende) uit de voeten kan, en waarin de gebruikte begrippen duidelijk worden gemaakt en worden gedefinieerd.

2.3 Verschillende raamwerken, procedures en methoden

Specifieke methoden voor het omgaan met onzekerheden zijn vaak ingebed in een breder raamwerk of een procedure. Onder 'raamwerk' wordt hier verstaan een geordend geheel van mogelijke doelen, gebruikte terminologie, procedures, methoden en technieken waarbinnen onzekerheden beschouwd en eventueel geanalyseerd kunnen worden. Zo worden in (Seebregts, 1997) een aantal raamwerken gegeven, veelal gebaseerd op onzekerheidsanalyses toegepast op modellen waarbij onzekerheden in data (zowel basisinvoergegevens als interne modelparameters) de belangrijkste bronnen van onzekerheid zijn. Geconcludeerd in (Seebregts, 1997) werd dat de raamwerken in (Morgan & Henrion, 1990), (IAEA, 1989) en (Janssen et al., 1989) voor die typen studies redelijk compleet zijn. In Hoofdstuk 4, Paragraaf 4.3, wordt een procedure voor de ECN-praktijk voorgesteld.

In deze paragraaf wordt kort een aantal belangrijke methoden beschreven. Het betreft methoden die ECN op dit moment al regelmatig toepast. Voor een uitgebreidere beschrijving wordt verwezen naar een van de aanbevolen literatuurbronnen uit Paragraaf 2.1.

2.3.1 Meer kwalitatieve methoden

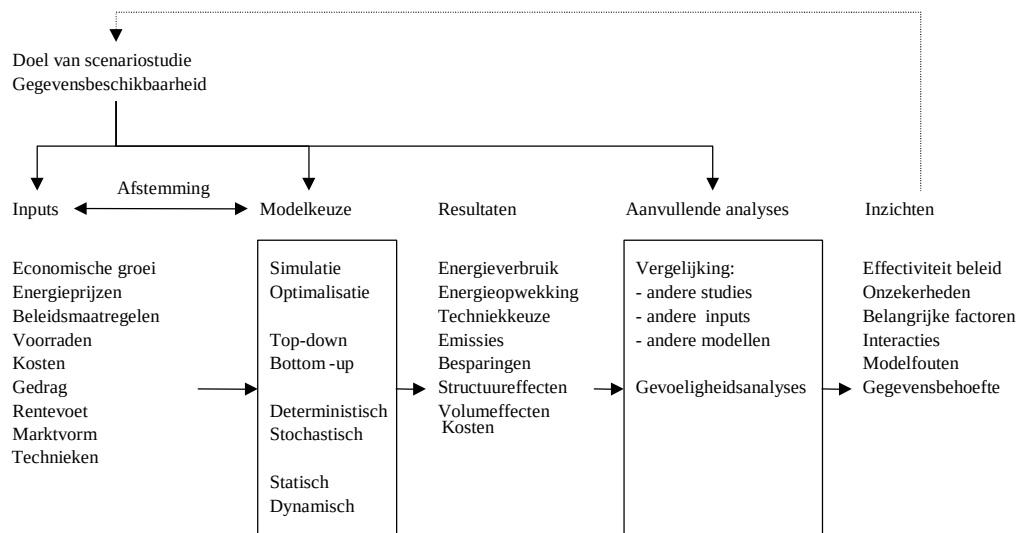
De basis voor een analyse van onzekerheden bestaat vaak uit het toepassen van meer kwalitatieve methoden. Deze methoden kunnen er op gericht zijn om de belangrijkste onzekerheden boven tafel te krijgen, een eerste inschatting te maken van de mogelijke impact op de resultaten

van een studie. Methoden die hieronder vallen zijn: Quality Assurance (QA), bijvoorbeeld de Algemene Procedures van het ECN Managementsysteem, formele validatie- en verificatiemethoden, interne en externe reviewprocedures, brainstormsessies, workshops e.d. Bij deze kwalitatieve methoden wordt niet altijd voldoende aandacht besteed aan onzekerheid.

2.3.2 Scenario analyse

Het begrip scenario kent uiteenlopende interpretaties, variërend van een verzameling inputs, tot een samenhangend geheel van alle uitgangspunten en resultaten⁷. Scenariostudies pogen, onafhankelijk van deze definitiekwestie, met inputs en daartussen bestaande samenhangen als uitgangspunt, het inzicht te verhogen in ontwikkelingen op een bepaald gebied.

Energie-scenariostudies richten zich op het verkrijgen van inzicht in ontwikkelingen op energiegebied, uitgaande van bijvoorbeeld economische en technische ontwikkelingen, overheidsbeleid en het gedrag van actoren. De schakel die met de inputs de resultaten genereert is een model of een verzameling van modellen. In deze (computer)modellen zijn allerlei directe en indirecte verbanden tussen de uitgangspunten en de ontwikkelingen op energiegebied gekoppeld.



Figuur 2.2 Schema dat de globale opzet van energiescenario-studies weergeeft

De opzet en het doel van scenariostudies kan sterk uiteenlopen. Sommige scenariostudies onderzoeken met name hoe bepaalde doelstellingen het beste bereikt kunnen worden, uitgaande van bepaalde randvoorwaarden (backcasting). Andere studies zijn vooral gericht op het voorspellen van wat er waarschijnlijk zal gebeuren bij bepaalde uitgangspunten (forecasting). De keuze van de modellen en de soort inputs hangt nauw samen met de doelen van een studie.

Figuur 2.2 geeft een schema met een globale opzet van scenariostudies, met de rol en onderlinge relaties van inputs, modellen, resultaten en de verworven inzichten. Tevens is een mogelijke invulling van de onderdelen gegeven. Het schema geeft ook aan dat in het verleden verworven inzichten weer verwerkt kunnen worden in actualisering van de scenariostudies.

In de onderstaande (cursief aangegeven) subparagrafen wordt in meer detail ingegaan op deze onderdelen van scenariostudies.

⁷ Grotendeels letterlijk uit (Beeldman et al, 2000) Paragraaf 2.1.

Inputs

In het algemeen worden onder inputs alleen de gegevens verstaan die in de modellen ingevoerd worden en niet de in de modellen vastgelegde structurele relaties tussen verschillende factoren, hoewel deze grens niet altijd duidelijk is. Inputs kunnen variëren van een losse verzameling gegevens tot een samenhangend geheel van in onderlinge afstemming gekozen uitgangspunten. Dit laatste is bijvoorbeeld het geval als vooronderzoek is gedaan naar de waarschijnlijkheid dat bepaalde ontwikkelingen zich tegelijkertijd voordoen, of wanneer de inputs grotendeels ontleend zijn aan de resultaten van andere scenariostudies, bijvoorbeeld economische of technologische scenariostudies.

Inputs kunnen bestaan uit bijvoorbeeld startwaarden, exogene ontwikkelingen, en parameters die de relatie tussen verschillende factoren mee helpen definiëren, bijvoorbeeld de capaciteit van bepaalde installaties in het startjaar, energieverbruik in het startjaar etc. Exogene ontwikkelingen omvatten vaak de internationale politiek-economische ontwikkelingen, economische groei, eventueel per sector, implementatie van beleidsmaatregelen, energieprijzen, beschikbaarheid van technieken, bevolkingsgroei etc. Parameters die de relatie tussen verschillende factoren mee helpen definiëren zijn bijvoorbeeld prijselasticiteiten en rentevoeten, etc. Terwijl de modellen aangeven op welke manier dit soort factoren doorwerken (structuur), bepalen de inputgegevens (en ook parameters) de sterkte van deze doorwerking.

Modellen

Modellen zijn de componenten van scenariostudies waarin de structuur van het te onderzoeken gebied is vastgelegd. Modellen representeren kennis over hoe verschillende factoren met elkaar in verband staan.

Op grond van hun werking zijn modellen te onderscheiden naar bijvoorbeeld optimalisatiemodellen, simulatiemodellen, deterministische en stochastische modellen. Door het voorkomen van hybride situaties is een indeling in categorieën niet altijd zinvol.

Een belangrijk onderscheid is dat tussen bottom-up en top-down modellen. Bottom-up modellen werken met de kleinste functionele eenheden van een systeem, vaak vanuit causale verbanden. Top-down modellen rekenen op een meer geaggregeerd niveau met behulp van vaak (maar niet noodzakelijkerwijs) statistische verbanden. Een voorbeeld is het gedrag van aanbieders en kopers op een (energie) markt. Door gedrag van individuele actoren op de markt in een model te simuleren kan bijvoorbeeld een marktprijs berekend worden. Door in het model te werken met prijselasticiteiten van vraag en aanbod, eigenschappen van de aanbieders en vragers als groepen, kan hetzelfde resultaat zeer goed benaderd worden. Zuivere top-down en bottom-up modellen komen overigens bijna niet voor; de meeste modellen bevinden zich tussen beide uitersten.

Top-down modellen zijn vooral geschikt voor situaties waarin alleen geaggregeerde resultaten belangrijk zijn, terwijl bottom-up modellen meer inzicht bieden in onderliggende factoren en vaak de mogelijkheid bieden uitsplitsingen op het niveau van afzonderlijke actoren te maken. Top-down modellen zijn alleen geschikt voor generiek beleid (b.v. heffingen), bottom-up modellen kunnen in principe ook meer specifieke instrumenten, regelgeving en plafonds aan.

Bottom-up modellen bevatten ook fysieke verbanden (b.v. opdeling van de totale woningvoorraad) en jaargangenaanpak. Bottom-up modellen zijn geschikt voor het analyseren van concrete nieuwe fenomenen, bijvoorbeeld relevante sectorale ontwikkelingen, specifiek beleid, technologie.

Door in modellen de expertise van verschillende specialisten vast te leggen en in de inputs gegevens vanuit verschillende bronnen vast te leggen kunnen de mogelijkheden van een model die van (teams van) individuele deskundigen verre overstijgen. Modellen zijn in feite een formele vastlegging van conceptuele denkmodellen en menselijke expertise.

Resultaten

De resultaten van een scenarioberekening zijn een afgewogen beoordeling en aggregatie van model outputs. Ze zijn een rechtstreeks uitvloeisel van de inputdata en de modellen. De resultaten omvatten bijvoorbeeld de ontwikkeling van het energiegebruik per energiedrager en hieraan gekoppelde emissies, kosten van energiegebruik, toepassing van en investeringen in energietechnieken en besparingen.

Scenariostudies gaan gewoonlijk verder dan alleen de berekening van de resultaten. Om bijvoorbeeld het effect van een specifieke factor, zoals een bepaalde beleidsmaatregel, vast te kunnen stellen zijn vaak meerdere modelberekeningen nodig waarbij slechts een factor tegelijkertijd wordt veranderd. Scenariostudies omvatten dan ook vaak vergelijkende modelberekeningen en aanvullende analyses, zoals gevoeligheidsanalyses.

Inzichten

Met energiescenario studies is het mogelijk om met een grote hoeveelheid kennis, gebundeld in de invoerdata en de modellen, inzichten te verkrijgen die met analyses op onderdelen niet bereikbaar zijn. Scenario analyses maken het mogelijk om het uiterste te halen uit de beschikbare gegevens en inzichten, en via integratie van kennis op verschillende gebieden en van verschillende perspectieven grotere verbanden en invloeden te ontdekken.

Voor het verkrijgen van inzicht is het vaak nodig om vergelijkende analyses uit te voeren. De vergelijking kan betrekking hebben op berekeningen met bijvoorbeeld andere inputs en andere modellen.

2.3.3 Gevoeligheidsanalyses

Bij gevoeligheidsanalyse kan onderscheid worden gemaakt tussen zgn. ‘One at a time’ analyses, of analyses waarbij meerdere parameters tegelijk worden gevarieerd. (Janssen et al., 1989) en (Morgan & Henrion, 1990) geven goede overzichten van dergelijke methoden.

Een specifieke methode, gekoppeld aan het internationaal veel gebruikte energiesysteemmodel MARKAL (gebruikt voor scenariostudies, zie bijvoorbeeld (Seebregts et al., 2001)), zijn de zgn. cost-benefit ratio's (Zie bijvoorbeeld (Gielen et al., 2000)). Omdat optimaliseringsmodellen als MARKAL bij kleine verschillen in data tot een geheel andere oplossing kunnen leiden, is deze cost-benefit ratio een maat of bepaalde technologieën bijna ‘optimaal’ zijn. In combinatie met het doorrekenen van verschillende scenario's, varianten en gevoeligheidsanalyses geeft deze ratio een goede indruk van robuuste technologieën. (Gielen et al., 2000) biedt hiervan een goed voorbeeld.

2.3.4 Kansrekening en statistiek

Veel onzekerheden worden uiteindelijk uitgedrukt in termen van kansverdelingen zowel van input als van modelresultaten. Er is een scala aan statistische methoden beschikbaar om onzekerheden in metingen, zowel in eindpunten als in de verklarende factoren, te bepalen en weer te geven. Voor statistische methoden zijn talloze handboeken en software tools beschikbaar. Daarom wordt er in dit rapport niet verder op ingegaan. Sommige ‘handboeken onzekerheid’ zoals in Sectie 2.1 genoemd, bieden al een redelijke beschrijving van dit soort begrippen en methoden.

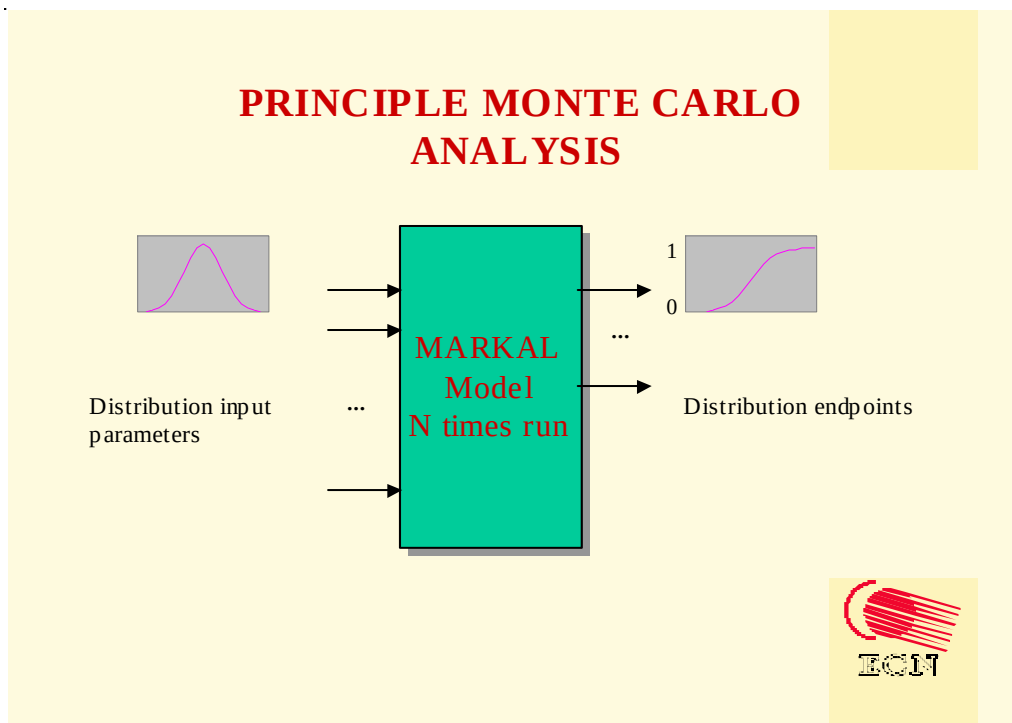
2.3.5 Monte Carlo onzekerheidsanalyse

Met Monte Carlo onzekerheidsanalyse (MCA) is bij ECN relatief veel ervaring. Enkele voorbeelden staan in de tabel in Bijlage MCA. In de loop van 2000 bleek er in toenemende mate belangstelling bij ECN voor het uitvoeren van MCA en het gebruik van een daarvoor geschikt softwarepakket. Van oudsher is met deze methoden veel ervaring opgedaan bij het nucleaire on-

derzoek van ECN (nu NRG), met name in het kader van probabilistische risicoanalyses van kerncentrales en reactorontwerpen en bij studies naar de opberging van radioactief afval.

Monte Carlo methoden zijn met name geschikt voor studies waarbij gebruik wordt gemaakt van rekenmodellen die niet al te complex zijn, dat wil zeggen niet te veel rekentijd per run vergen. Veel spreadsheetmodellen voldoen aan dat criterium. De methode is een van weinige methoden waarmee op een consistente manier de effecten van een combinatie van onzekerheden kunnen worden geanalyseerd.

Met MCA kunnen onzekerheden in invoergegevens en modelparameters worden gepropageerd door een model. Aan de onzekere parameters worden (vaak subjectieve) kansverdelingen gekoppeld. Er worden dan een n-tal trekkingen uit deze kansverdelingen gedaan. Met dat n-tal aan sets van invoer wordt een model dan n keer doorgerekend. Uit de resultaten kan worden afgeleid: de spreiding in de modeluitkomsten en de mate van belangrijkheid van de onzekere parameters in de onzekerheid in de modeluitkomst (bijvoorbeeld weergegeven in een Tornado diagram). Dit staat globaal weergegeven in Figuur 2.3.



Figuur 2.3 Schematische weergave van Monte Carlo onzekerheidsanalyse

Een belangrijke beperking van de methode is dat normaliter alleen de onzekerheden in parameters (basisinvoergegevens en interne modelparameters) kunnen worden beschouwd en worden geanalyseerd. Andere bronnen van onzekerheid (volledigheid, modelstructuur) die niet tot parameters kunnen worden herleid, kunnen met deze methode niet of slechts zeer beperkt worden geanalyseerd.

Een tweede probleem bij de methode is het inschatten van de kansverdelingen voor de parameters en van de eventuele correlaties daartussen.

Een derde mogelijk probleem is dat de resultaten in termen van bijvoorbeeld kansverdelingen of betrouwbaarheidsintervallen een statistische betekenis hebben, en dat dit de interpretatie van de onzekerheden niet altijd even eenvoudig maakt. Dit geldt ook voor de communicatie van dit type resultaten.

Een laatste nadeel, of eigenlijk gevaar, bestaat er in dat de onderzoeker te snel naar deze methode grijpt omdat er al een rekenmodel is dat zich relatief eenvoudig daartoe leent. Het risico bestaat dat men een aantal andere bronnen van onzekerheid over het hoofd ziet, of er te weinig aandacht aan geeft. Ondanks dat deze andere soorten bronnen van onzekerheid niet zijn meegenomen, resulteert er een rapport waarin expliciet onzekerheden zijn beschouwd en geanalyseerd. Dat kan ‘schijnzekerheid’ over de onzekerheden tot gevolg hebben (Vrij naar ‘How to lie with statistics’ is het dan: ‘How to lie with Monte Carlo uncertainty analysis’).

Opgemerkt zij dat recent ook het IPCC Monte Carlo methoden propageert om de onzekerheden in de nationale inventarisatie van de emissies broeikasgassen boven tafel te krijgen (IPCC, 2000a). Naast de zogenoemde ‘Tier 1’ aanpak wordt in (IPCC, 2000a) de Tier 2 aanpak Monte Carlo methoden voorgesteld als manier om de onzekerheden in nationale emissie-inventarisaties te propageren en te analyseren.

Voor MCA bestaan handige en goede software tools, zoals @Risk (Vose, 2000), dat aan Excel spreadsheetmodellen gekoppeld kan worden. Er zijn ook andere pakketten, zie bijvoorbeeld (Cooke, 1997). ECN heeft in het verleden o.a. het UNCSAM pakket van RIVM gebruikt (Janssen et al., 1992). De TU Delft heeft het pakket UNICORN ontwikkeld. De laatste twee pakketten kunnen met meer soorten modelsoftware (niet alleen Excel) uit de voeten.

2.3.6 Gebruik van expertmeningen

Expertmeningen worden vaak (soms onbewust) al gebruikt in kwalitatieve zin bij het maken van keuzes en veronderstellingen. Bij gebrek aan andere bronnen van data, hetzij via metingen hetzij via literatuurbronnen, is het gebruik van expertschattingen voor kwantitatieve grootheden een van de weinige resterende opties.

Op dit gebied van verkrijgen (‘eliciteren’) en combineren van expertmeningen is er een breed scala aan protocollen en methoden, zie bijv. (Morgan & Henrion, 1990), (Cooke, 1991), (US-NRC, 1994), (Cooke & Goossens, 2000), (IPCC, 2000a), en (Vose, 2000)

Belang van onderbouwing en documentatie

Een belangrijk aspect bij het eliciteren van dergelijke expertmeningen is dat zowel de procedure (protocol) als de resultaten helder en goed worden gedocumenteerd⁸: Wat was de procedure, wie waren de experts, wat was gevraagd, wat is er uit gekomen, niet alleen sec getalsmatig maar ook de onderbouwing van ieders mening? Duidelijk dient te zijn wat precies door expertmeningen is bepaald, of het één of meerdere experts betrof, of het alleen interne of ook externe experts betrof. Zo mogelijk dienen, zeker achteraf, expertmeningen niet anoniem te zijn.

In de nucleaire risicoanalyses is het internationaal niet alleen goede praktijk, maar veelal voorgeschreven dat dit soort meningen, leidend tot data voor allerlei analyses, helder, traceerbaar en liefst ook reproduceerbaar worden gedocumenteerd. Deze gegevens hoeven niet perse in openbare rapporten terug zijn te vinden, maar wel in vertrouwelijke rapportages bijvoorbeeld voor de vergunningverlener.

Aan de meeste studies die bij ECN worden verricht, hoeven dergelijke zware eisen niet op te worden opgelegd, maar het volgen van dergelijke strikte procedures in een wat beperktere omvang kan de kwaliteit van het werk doen toenemen. Het vastleggen van de eerdere ervaring leidt er ook toe dat bij volgende studies men sneller en efficiënter kan werken. In die zin, is de tijd al vrij snel terugverdiend.

⁸ Zie ook (RIVM, 1999b) in dit verband.

Niet alleen schatten van inputs maar ook van 'resultaten'

Expertmeningen kunnen niet alleen kwantitatieve schattingen over input waarden betreffen, zoals een range of een (subjectieve) kansverdeling, maar ook een schatting van de onzekerheid (een range, spreiding) in een modelresultaat, als het bepalen van zo'n onzekerheid niet op andere manieren mogelijk is. Andere manieren zijn bijvoorbeeld een range op basis van meer dan één scenario of meerdere gevoeligheidsanalyses.

Eind 2001 is onder het ECN PLATform MOnTe Carlo Onzekerheidsanalyse (PLAMOCO) een kort onderzoek gehouden hoe met expertmeningen wordt omgegaan bij dat soort analyses. Bijlage EM geeft daarvan kort de resultaten, en tevens enkele voorbeelden van expliciet gebruik van expertmeningen (i.e. gedocumenteerd). Het blijkt vaak te gaan om impliciet of informeel gebruik van expertmeningen, of onvoldoende gedocumenteerd gebruik. Zo'n gebruik is gangbaar bij ECN maar ook te vinden in tal van voorbeelden in de openbare literatuur. Voldoende ruimte dus voor verbetering.

2.4 RIVM: Meten, rekenen en onzekerheden

Omdat de RIVM-affaire een van de aanleidingen was tot dit project en omdat naar onze mening de ECN-situatie niet veel anders is dan van RIVM, wordt hieronder wat uitgebreider het RIVM-rapport 'Meten, rekenen en onzekerheden' uit februari 1999 (RIVM, 1999a) besproken. Dat rapport was een reactie op uitlatingen van de RIVM-medewerker De Kwaadsteniet (in januari 1999), waarbij de onafhankelijkheid en de wetenschappelijke integriteit ter discussie werden gesteld, en waarbij onzekerheid expliciet werd genoemd. Onzekerheid ging ook in de vervolgdiscussies een meer prominente rol spelen. Het rapport schetst de RIVM-werkwijze, en geeft aan op welke gebieden RIVM meer wil investeren ten einde onzekerheden beter vast te stellen. Bovendien geeft het rapport een indicatie van de onzekerheidsmarges van gegevens bij de verschillende milieuthema's in de Milieubalans 1998. Een uitgebreide referentielijst van achterliggende informatie en een Addendum completeren als bijlagen het hoofdrapport. Het Addendum gaat o.a. nog specifiek in op het omgaan met onzekerheden in de Milieuverkenningen, onderzoek ter verbetering van informatie over onzekerheden, in relatie tot verschillende typen onzekerheid, en zogenoemde 'fact sheets' over de status van de diverse informatiebronnen.

Twee belangrijke observaties in het rapport zijn:

1. De RIVM-werkwijze is gebaseerd op een combinatie van waarneming (meten) en kennis (o.a. modellen). Dit is niet wezenlijk anders dan in de ECN-praktijk.
2. Het beschrijven en communiceren van onzekerheden hoort bij goed wetenschappelijk onderzoek. De vaststelling en de waardering van onzekerheidsinformatie moeten op een toetsbare manier plaatsvinden en vergt communicatie met: (1) collega-wetenschappers; (2) degenen die basisgegevens aanleveren en (3) beleidsmakers, stakeholders en andere actoren.

Het RIVM gaat meer doen aan:

- het organiseren van wetenschappelijke reviewprocessen (publicaties, collegiale toetsing, wetenschappelijke audits),
- het voor derden inzichtelijk en toetsbaar maken van gegevens en modellen die voor adviezen worden gebruikt,
- het intensief intern en extern communiceren over de onzekerheid van gegevens, ook naar maatschappij en politiek,
- ISO-certificering voor de productie van basisgegevens en het geven van adviezen.

Naar aanleiding van o.a. dit rapport zijn contacten gelegd met een aantal betrokken RIVM-ers. Tevens is deelgenomen aan een 'Deskundigendag Milieubalans 2000 met Externe Instituten'. Die dag ging onder andere over de kwaliteit van de Milieubalans en onzekerheden, hoe om te gaan met onzekerheden in de Milieubalans 2000 en afhankelijk daarvan, het afronden van cijfers.

Bepaalde RIVM-acties lijken ook nuttig voor ECN, bijv. een ‘quickscan’ van modellen: vraag elke modelexpert wat volgens hem of haar de vijf belangrijkste onzekerheden zijn die met het model samenhangen. Dit is deels gebeurd in de BS-quickscan (zie Hoofdstuk 3).

RIVM gebruikt een ‘getrapt systeem’ om onzekerheden te presenteren: op het hoogste niveau, in beleidsgerichte rapporten (zoals Milieubalans) worden alleen die onzekerheden vermeld die de robuustheid van de conclusies kunnen beïnvloeden. Op een lager niveau zitten fact sheets die van onderdelen beschrijven wat de (status van) informatiebronnen zijn geweest. Dergelijke sjablonen zouden ook door ECN kunnen worden gebruikt. Het is de bedoeling dat standaard onzekerheden worden benoemd en ingeschat. Het fact sheet verwijst weer naar gedetailleerdere bronnen, vaak de meer wetenschappelijke rapporten. Aan het fact sheet wordt intern ook nog een tweede toegevoegd, een borgingsdocument, waarin nog duidelijker in staat welke overwegingen tot bepaalde keuzes hebben geleid.

De RIVM-werkwijze als beschreven in (RIVM, 1999a) is ook onderwerp van een extern review geweest (RIVM, 1999b). Daarin werd onder andere geconcludeerd dat de door RIVM gepresenteerde onzekerheidsranges sterk zijn gebaseerd op expertmeningen. De toetsbaarheid en controleerbaarheid van deze meningen zou moeten worden vergroot door de onderliggende redeneringen expliciet te maken en te documenteren in de openbare literatuur.

3. DE ECN-PRAKTIJK (MEDIO 2000)

De ECN-praktijk is in 2000 doorgelicht op de wijze hoe er met onzekerheden is omgegaan in recente studies, op basis van een beperkte literatuurstudie, een gerichte enquête van de onderzoeksmedewerkers van BS, en een search op de ECN-Intranetsite. Daarnaast is de bestaande praktijk aangekaart op een aantal interne colloquia en workshops.

Dit Hoofdstuk vat kort de belangrijkste bevindingen samen. Opgemerkt zij, dat de eerste twee Hoofdstukken de recente ECN-praktijk al voor een deel aanstippen. De volledige resultaten van dit onderzoek naar de toenmalige ECN BS praktijk zijn te vinden op de Intranetsite: <http://ecnfac.ecn.nl/local/project/onzekeer/> (alleen voor ECN-ers beschikbaar). In dit Hoofdstuk ligt de nadruk op de BS quickscan en de workshop voor de ENGINE-werkgroep. De ENGINE-werkgroep bestaat uit de directie, programmacoördinatie, unit managers en een deel van de groepsleiders (in totaal ca. 45 personen).

De conclusies uit de BS-quickscan en uit de workshop voor de ENGINE-werkgroep zijn gebruikt bij het opstellen van de richtlijn (zie Hoofdstuk 4). Enerzijds betreft dit de uitgangspunten en anderzijds de stappen en vuistregels van de richtlijn.

3.1 BS-quickscan

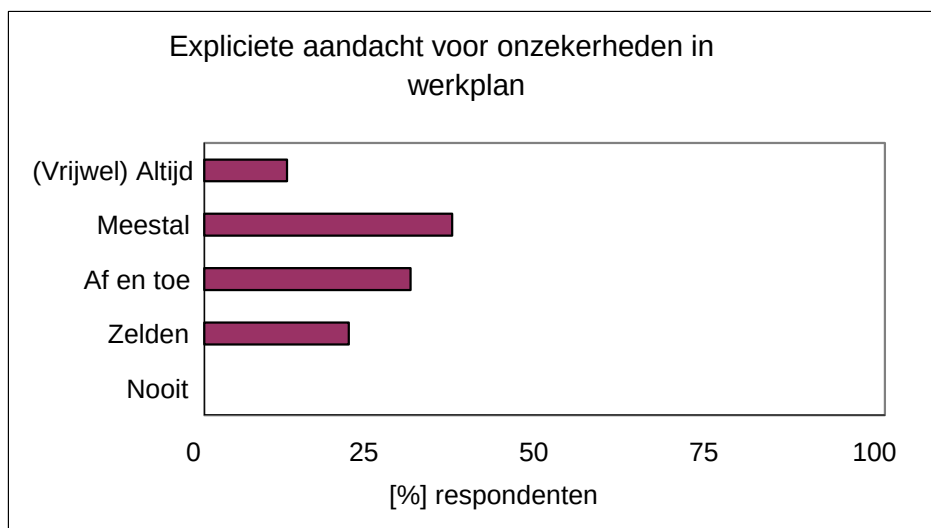
Deze Paragraaf vat de belangrijkste resultaten van de BS-quickscan samen. De quickscan bestond uit een vragenlijst over de rol van onzekerheden binnen het bij BS uitgevoerde werk. Per e-mail zijn de BS-onderzoekers in mei en juni 2000 verzocht om de vragenlijst op het intranet te beantwoorden. Bijlage 3 bevat de betreffende pagina met vragen en toelichting.

De resultaten zijn gebaseerd op de respons van 37 BS-onderzoekers (76 %), waarvan 33 de vragen compleet heeft ingevuld. Vier personen vonden dat zij te kort in ECN dienst waren, om de vragen goed te kunnen beantwoorden.

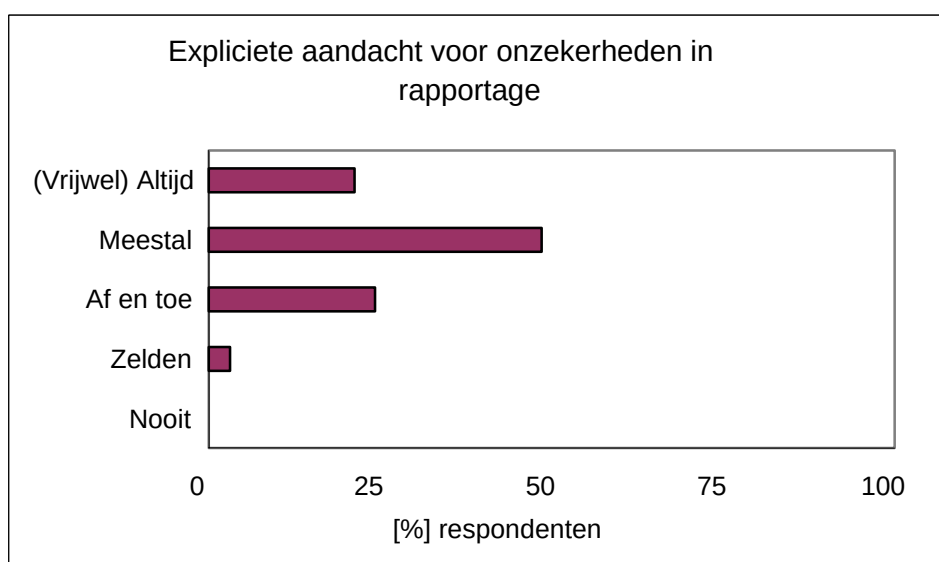
Uit de BS-quickscan kwamen verschillende punten naar voren die in de volgende paragrafen zijn toegelicht:

Bewustzijn van het belang van onzekerheden lijkt redelijk

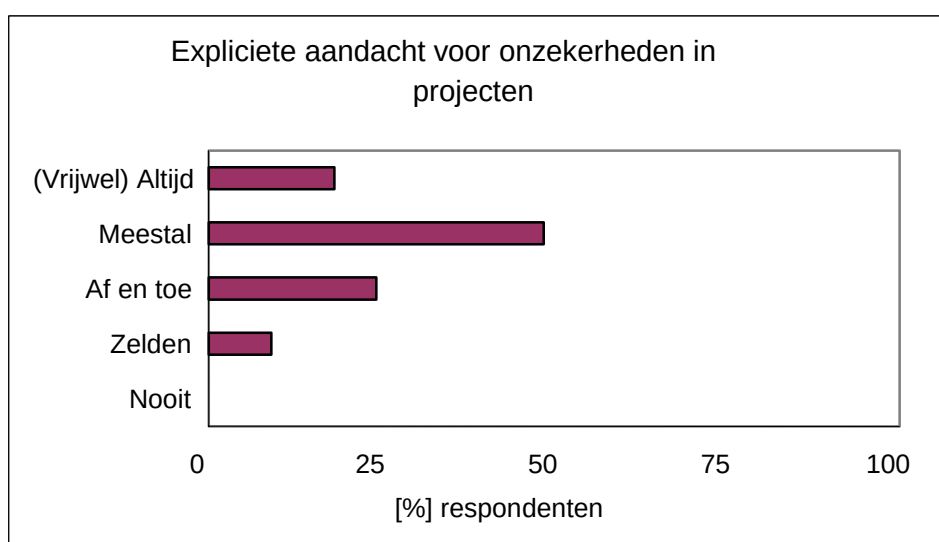
In een aanzienlijk deel van de gevallen wordt er bij de uitvoering en in de rapportage van het onderzoek expliciet aandacht besteedt aan onzekerheden, bij het projectvoorstel (werkplan) is dit in mindere mate het geval, zie de Figuren 3.1 en 3.2. Figuur 3.3 vat dit kort samen.



Figuur 3.1 *Expliciete aandacht voor onzekerheden in werkplan (projectvoorstel)*



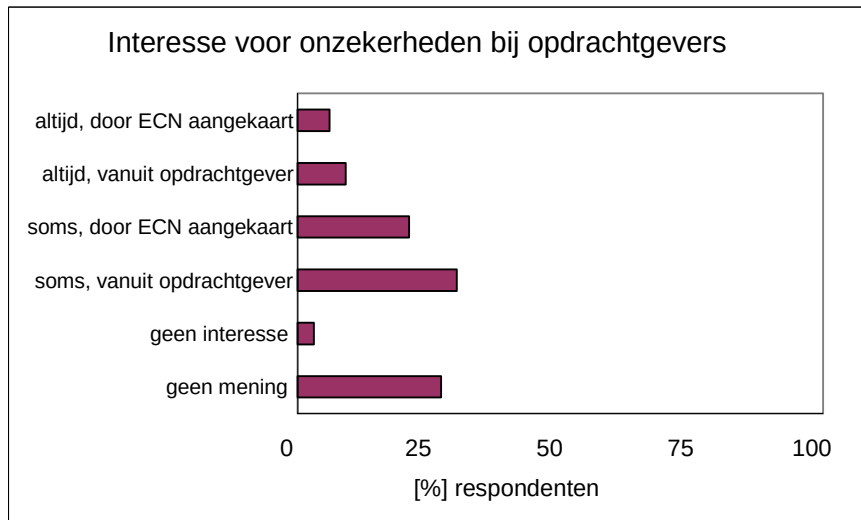
Figuur 3.2 *Expliciete aandacht voor onzekerheden in eindrapportage*



Figuur 3.3 *Expliciete aandacht voor onzekerheden in projecten*

Matige interesse voor rol onzekerheden bij opdrachtgevers

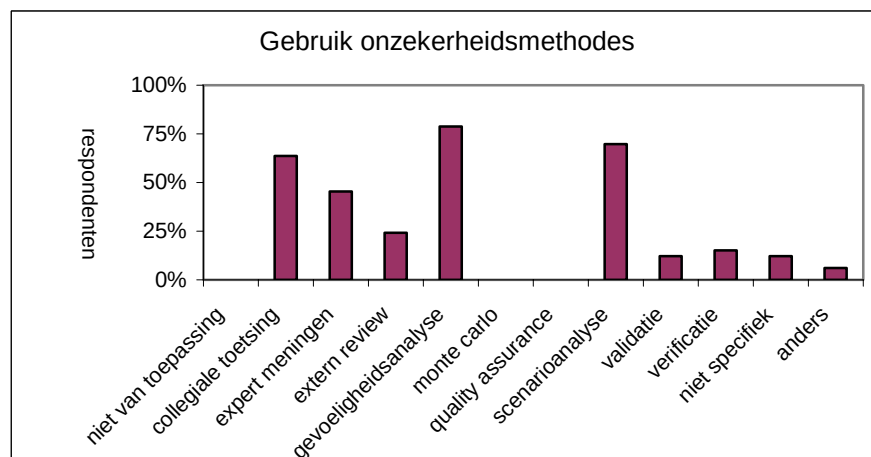
De interesse voor de rol van onzekerheden bij de traditionele opdrachtgevers (EZ, VROM) wordt door de BS onderzoekers als matig beoordeeld, waarbij bovendien in een deel van de gevallen eerst ECN de rol van onzekerheden ter sprake moet brengen voordat deze interesse naar voren komt. Er is hier echter een kentering waar te nemen. In toenemende mate verlangen deze opdrachtgevers ook dat onzekerheden beter worden beschouwd⁹.



Figuur 3.4 *Interesse voor onzekerheden bij opdrachtgevers*

Scenario's en gevoeligheidsanalyse meest gebruikte methoden

Qua specifieke methoden scoren het gebruik van scenario's en gevoeligheidsanalyses hoog. Monte Carlo methoden (voor de analyse van onzekerheden in data), formele methoden voor validatie en verificatie, intern en extern review worden niet of veel minder genoemd. Ten slotte worden er, al dan niet gekoppeld aan modellen als bijvoorbeeld MARKAL, af en toe specifieke methoden als stochastische programmering ('hedging') en cost-benefit ratio's gebruikt (Ybema et al., 1998; Seebregts et al., 2001).

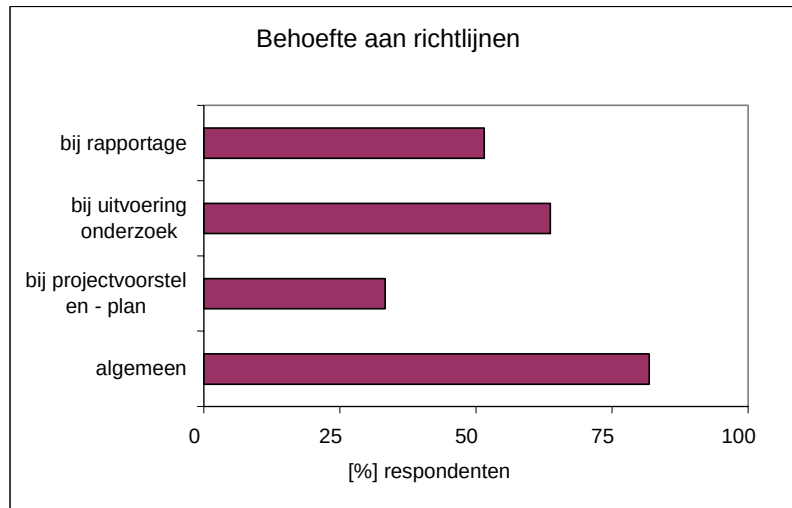


Figuur 3.5 *Gebruik van specifieke methoden voor het omgaan met onzekerheden.*

⁹ Zie bijvoorbeeld de Referentieraming Energie en CO² 2001-2010 (Ybema et al., 2002) uitgevoerd met RIVM voor EZ en VROM. Ook blijken BS onderzoekers steeds beter in staat zelf onzekerheden te agenderen als speciaal aandachtspunt. Voor de meer R&D-achtige projecten, bijvoorbeeld ingediend en uitgevoerd binnen het EU-Kaderprogramma kunnen onzekerheden op initiatief van ECN vaak zelf worden ingebracht.

Behoefte aan richtlijnen voor het omgaan met onzekerheden groot

De behoefte aan richtlijnen is redelijk groot, met name bij de uitvoering van het onderzoek. Bij de projectdefinitiefase (projectvoorstel e.d.) en met name bij de rapportage is deze behoefte minder groot. Mogelijk hangt dit samen met het feit dat de medewerkers bij de communicatie met de opdrachtgever, meer bewegingsvrijheid willen.



Figuur 3.6 *Behoefte aan richtlijnen*

Onzekerheden relevant bij BS

De BS onderzoekers is ook gevraagd hun eigen 'top-5' van onzekerheden te geven. Als hulpmiddel is daarbij gevraagd deze top-5 onzekerheden te verdelen over de bronnen: data, modelstructuur en onvolledigheid d.w.z. datgene wat is niet meegenomen met toch mogelijke impact op het resultaat.

Belangrijkste uit dit deel van de quickscan is dat de onderzoekers snel een lijstje konden opleveren, en dat een aantal typische zaken als belangrijkste onzekerheden werd gekenschetst:

1. Kosten van technieken, energieprijzen en energievraag(ontwikkelingen) (data)
2. Deugdelijke werking of robuustheid van modellen, de moeilijkheden van het modelleren van specifieke problemen, en integratie van modellen (modelstructuur)
3. Het niet meenemen van bepaalde factoren of verbanden binnen de modellen (onvolledigheid)

Een detail analyse van deze onzekerheden is gegeven in (Daniëls & Seebregts, 2000). Tevens is in een later stadium bij de pilot studie 'Raming Energie en CO₂ 2000-2010' in detail naar specifieke onzekerheden gevraagd (zie Hoofdstuk 5).

3.2 Workshop met ENGINE-werkgroep

Medio juni 2000 vond een workshop plaats voor de ENGINE-werkgroep. Deze groep bestaat uit ca. 45 personen waaronder de ECN-directie, programmacoördinatie, de unit managers en veelal de (werk-)groepsleiders van de units. De werkgroep beoordeelt de projectvoorstellen die in ENGINE-kader worden ingediend. De ENGINE-werkgroep is de belangrijkste ECN-brede klankbordgroep geweest voor het Onzekerheden-project, en is na de workshop via een e-mail attenderingsservice en de Intranetsite op de hoogte gehouden van de ontwikkelingen.

Zowel naar aanleiding van de vier presentaties als in een afsluitende sessie waarin een achttal stellingen werden besproken, vond een levendige discussie plaats waarin een groot aantal gezichtspunten en meningen naar voren kwamen.

Onderwerpen

De belangrijke discussieonderwerpen waren:

1. Hoe staan de opdrachtgevers tegenover het weergeven van onzekerheden?
2. Welke (morele) problemen kunnen ontstaan indien opdrachtgever en ECN een verschillend belang hebben ten aanzien van de uitkomsten van studies? In hoeverre kan ECN meegaan in het 'bijsturen' van resultaten zonder de integriteit en de wetenschappelijke kwaliteit op het spel te zetten? Opgemerkt zij, dat integriteit en kwaliteit wel raken aan onzekerheid, maar niet exclusief zijn voor 'onzekere' studies.
3. Hoe kan BS meer aandacht schenken aan de 'softe', meer maatschappelijke onzekerheden in haar modellen en studies, zoals de modellering van menselijk gedrag en toekomstig beleid?
4. Hoe staat het met de kwaliteit van de BS-modellen? Worden deze modellen en hun invoer afdoende gevalideerd, zijn ze voldoende transparant, en in hoeverre is dat mogelijk met dergelijke modellen die ook een nog onzekere toekomst proberen te beschrijven?
5. Hoe staat het met de kwaliteit van en de onzekerheid in de metingen die binnen ECN-onderzoek plaatsvinden? Dit is meer voor de 'technologische' units dan voor Beleidsstudies van belang.

Alle informatie (sheets, documenten e.d) zijn voor ECN-ers tevens via Intranet beschikbaar (<http://ecnfac.ecn.nl/local/project/onzeker/workshop/20juni.html>).

Conclusies en acties naar aanleiding van workshop

Kort na de workshop zijn conclusies en acties geformuleerd op basis van de discussie tijdens de workshop:

1. Er is op korte termijn behoefte aan een 'Glossary', een lijst van de gebruikte terminologie, om misverstanden te voorkomen, bijv. Wat is onzekerheid? Wat is onnauwkeurigheid?¹⁰
2. Bij een tweede workshop zouden liefst ook opdrachtgevers (EZ, VROM e.a.) moeten worden uitgenodigd om samen met ECN van gedachten te wisselen over de problematiek van het omgaan en presenteren van onzekerheden. Ook kunnen daarbij andere instituten worden uitgenodigd (bijvoorbeeld RIVM en CPB).¹¹
3. De mogelijkheden van Monte Carlo analyse (MCA) methoden en daaraan gekoppeld de @Risk software zullen op korte termijn worden onderzocht en gedemonstreerd.¹²
4. Binnen de BS-modellen en studies moet meer aandacht worden geschonken aan de meer 'softe' onzekerheden, d.w.z. de meer maatschappelijke onzekerheden, zoals de modellering van menselijk gedrag en toekomstig beleid.¹³
5. Nagegaan moet worden hoe het staat met de validatie van de modellen gebruikt voor scenariostudies en technologieverkenningen op basis van historische data en in hoeverre deze modellen 'volledig' zijn (zie ook conclusie 4.).¹⁴
6. Hoewel minder relevant voor een groot deel van de beleidsonderbouwende studies, is een nader onderzoek van de ECN-meetpraktijk gewenst.¹⁵

¹⁰ Inmiddels staat er de lijst uit (IPCC, 2000a) op de ECN Intranetsite. Ook is recent op <http://www.nusap.net> glossary van Jeroen van der Sluijs beschikbaar gekomen.

¹¹ Als beperkt alternatief voor deze tweede workshop is ten dele de klankbordgroep van het pilot project Raming Energie en CO2 2000-2010 (zie Hoofdstuk 5) gebruikt.

¹² Op 18 juli 2000 is voor geïnteresseerden een demonstratie van @Risk gegeven. Verder gaat de richtlijn specifiek in op deze methode. Inmiddels (april 2001) is een ECN breed platform voor deze methode en software opgericht: PLAMACO: PLATform MONte Carlo Onzekerheidsanalyse, met ruim 20 deelnemers (2-3 per ECN unit/afdeling).

¹³ Dit zal in ieder geval een apart aandachtspunt moeten gaan vormen in nieuwe studies met de nationale modellen-set (het zgn. NEV-rekensysteem).

¹⁴ Zie voorgaande noot.

3.3 Kwaliteit

Een van de doelstellingen van dit project was het verbeteren van de kwaliteit van het ECN-onderzoek (niet alleen het beleidsrelevante onderzoek). Kwaliteit wordt hier bedoeld als meer de technisch-wetenschappelijke kwaliteit. Dat is mogelijk door bewuster, explicieter en systematischer met onzekerheden om te gaan.

De directe link met kwaliteit in engere zin, zoals in ISO-achtige systemen en procedures, is ook zichtbaar, of zou dat moeten zijn, in het ECN-Managementsysteem, dus in het bouwwerk van algemene procedures, unit procedures en werkschriften. Dit systeem zegt vooralsnog niet veel, of garandeert niet over de kwaliteit van ons product (zowel in onze eigen beleving of die van de opdrachtgever).

Deze ECN procedures bieden in ieder geval aanknopingspunten op welke plekken en stappen in de procedures onzekerheden een belangrijke rol (zouden moeten?) hebben. In Hoofdstuk 4 is bij de richtlijn kort aangegeven waar de mogelijke links liggen.

¹⁵ Een kort onderzoekje is door Peter van der Laag (Van der Laag, 2000a) en Simon Spoelstra (Spoelstra, 2000a) bij resp. Schoon Fossiel en Energie Efficiency gehouden. Tevens is begin 2001 door Frank Ormel (Ormel, 2001, persoonlijke mededeling) de situatie bij Windenergie geschetst.

4. RICHTLIJN OMGAAN MET ONZEKERHEDEN

4.1 Inleiding

Voorafgaande aan het opstellen van deze richtlijn is een literatuurstudie verricht van enerzijds externe bronnen (waaronder bestaande richtlijnen e.d., zie ook Paragraaf 2.1) en anderzijds de bestaande ECN-praktijk. Vervolgens is via de BS quickscan en tijdens de workshop met de ENGINE-werkgroep nagegaan welke specifieke behoeften er leefden en welke eisen aan de richtlijn gesteld moesten worden. Deze uitgangspunten zijn hieronder weergegeven. De richtlijn is in eerdere stadia gereviewd en getoetst in een tweetal cases (zie Hoofdstuk 5 voor een korte beschrijving daarvan). Op basis daarvan is de versie van maart 2001 tot stand gekomen. Extern commentaar (ICIS, RIVM) en het gebruik in de ECN-praktijk nadien (in 2000 en 2001) hebben geleid tot een derde versie zoals weergegeven in dit Hoofdstuk.

4.2 Uitgangspunten en afbakening

Uitgangspunten bij deze richtlijn zijn:

1. Deze richtlijn beperkt zich tot beleidsrelevante¹⁶ studies waarbij modellen en/of gegevens (vanuit statistieken, empirische data (metingen), expertmeningen) worden gebruikt. Voor het omgaan met onzekerheden in metingen wordt verwezen naar (ISO, 1995) en (Van der Borg & Van Dam, 1998), en bestaande ECN-procedures, bijvoorbeeld 2.11 Kalibratie van meetmiddelen of procedures volgend vanuit Sterlab kwalificaties, of unit procedures als (Van der Klein, 1998).
2. Deze richtlijn heeft geen dwingend karakter, maar is meer een uiting van 'Good Practice'. Dat wil zeggen dat het sterk is gebaseerd op elders bewezen en gangbare praktijken en methoden. Evengoed is de richtlijn niet vrijblijvend. Indien men de richtlijn niet gebruikt, dient dat te worden beargumenteerd.
3. De richtlijn heeft een 'levend' karakter, ook na afloop van het Onzekerheden project. Deze richtlijn zal niet alle huidige en toekomstige studies afdekken. Verder kan zo ook nog nieuw (evt. elders) ontwikkelde methodologie worden opgenomen.
4. Voor onderdelen van de richtlijn wordt af en toe verwezen naar detailprocedures of bestaande literatuur en richtlijnen e.d. Het streven is evenwel om uiteindelijk deze richtlijn zoveel mogelijk 'self-contained' te maken. Dit kan bijvoorbeeld op de ECN-Intranetsite gedaan worden door links aan te brengen naar andere sites en door onderdelen van externe literatuur te scannen, en naar gescande figuren, tabellen e.d. door te linken. In deze Word-file zijn reeds wat hyperlinks aangebracht.
5. De relatie met het ECN-Managementsysteem (EMS)¹⁷ zal indien mogelijk en relevant worden aangegeven. In het bijzonder betreft het de algemene procedures:
 - 1.11 Beheer van software (dit geldt officieel alleen voor de door de afdeling Facilitaire Dienst centraal beschikbaar gestelde software)
 - 2.1 Uitbrengen offerte (<ftp://ecnfac.ecn.nl/pub/www/kvm/mms/proc/h2p1.pdf>)
 - 2.3 Project management (<ftp://ecnfac.ecn.nl/pub/www/kvm/mms/proc/h2p3.pdf>)
 - 2.9 ECN-rapporten (<ftp://ecnfac.ecn.nl/pub/www/kvm/mms/proc/h2p9.pdf>)
 - 2.11 Kalibratie van meetmiddelen (<ftp://ecnfac.ecn.nl/pub/www/kvm/mms/proc/h2p11.pdf>)De procedures zijn te vinden via de ECN Intranetsite op:
<http://ecnfac.ecn.nl/local/kvm/msecn/index.html> (alleen voor ECN-ers).

¹⁶ Zie Hoofdstuk 2 of 3 voor voorbeelden

¹⁷ Inmiddels is het EMS aangepast. De genoemde links zijn nog van het oude systeem.

In het algemeen heeft het omgaan met onzekerheden ook veel te maken met de kwaliteit van de studie, van de onderliggende data en van de modellen. De richtlijn gaat er van uit dat aan de elementaire eisen die het ECN-Managementsysteem en overige procedures op unit niveau aan deze onderdelen stelt, is voldaan.¹⁸

6. Onderliggende stappen zullen wellicht in de toekomst worden uitgewerkt in beslissingsdiagrammen, al naar gelang behoeften die gedurende het toepassen duidelijk worden.
7. Het streven is om deze richtlijn zoveel mogelijk aan te laten sluiten bij de ECN-praktijk, maar ook bij de praktijk en ervaring van andere instituten (zoals RIVM) en lopende wetenschappelijke ontwikkelingen (zoals bij Universiteit Maastricht, ICIS, en Universiteit Utrecht, NW&S).
De gebruiksvriendelijkheid van deze richtlijn is in de huidige vorm nog niet uitgebreid getest.
8. Er wordt vanuit gegaan dat op termijn het omgaan met onzekerheden onderdeel gaat uitmaken van het introductietraject (als onderdeel van de introductiecursus) van nieuwe medewerkers (voor BS in ieder geval).
9. In gevallen waarin de richtlijn niet voorziet of waarover onduidelijkheid is, raadplege men Ad Seebregts (seebregts@ecn.nl). Ook overige opmerkingen en suggesties zijn welkom.

4.3 Algemene aanpak

De richtlijn poogt zo veel mogelijk de verschillende fases in een project c.q. studie te volgen. De algemene aanpak kan dan als volgt worden samengevat:

1. *Projectdefinitie*

Bepaal doel en beschikbare middelen, een eerste globale aanpak ten aanzien van onzekerheden, en biedt dit aan voor review (intern en extern bijv. opdrachtgever).

2. *Projectuitvoering*

- Inventariseer, karakteriseer en selecteer de (meest beleidsrelevante) te beschouwen onzekerheden.
- Bepaal hoe je onzekerheden representeert.
Voorbeelden zijn: kwalitatief/linguïstisch dus met woorden ('groot', 'klein'), met behulp van een bandbreedte, interval, een worst-case schatting, pessimistisch en optimistisch, (subjectieve) kansverdeling.
- Bepaal methoden.
Detailmethoden kunnen zijn: validatie en verificatie van modellen en data, scenario analyses, gevoeligheidsanalyse, Monte Carlo methoden, expert judgment.
- Propageer de onzekerheden.
Het propageren van onzekerheden blijkt in de praktijk, als berekeningen door verschillende partijen en/of afdelingen of via deelmodellen worden uitgevoerd, een lastig probleem (zie ook de ervaring van RIVM in dit verband (Van Asselt et al, 2001)). Ook ECN BS heeft hiermee te maken, bijvoorbeeld in berekeningen en analyses met het NEV-rekensysteem (Beeldman et al., 2001).
- Analyseer de onzekerheden.
Hierbij gaat het om het analyseren van de onzekerheden in het licht van de doelen die eerder zijn gesteld, bijv. robuustheid conclusies voor onzekerheden.

¹⁸ Het lijkt erop dat in het kader van een verbeterd ECN Management Systeem ook ontwerpbeheersing e.d. onder het Systeem gaat vallen. Dat zou kunnen betekenen dat de binnen ECN ontwikkelde modellen (software!) en databases onder zo'n nieuwe procedure kunnen gaan vallen. Een van de uitvloeisels daarvan is het up to date houden van de documentatie van dergelijke producten. Sommigen binnen ECN maken zich zorgen om een dergelijke eis: documentatie loopt soms achter op de feitelijke implementatie van een model of van een database. Het is een goed streven om dergelijke (achtergrond)documentatie niet later dan 3 maanden na de hoofdstudie (waarin modellen en data zijn gebruikt) te publiceren.

Eindrapportage

Rapporteur en communiceer de onzekerheden in de eindresultaten en hun impact. De wijze van rapportage is afhankelijk van het type studie, opdrachtgevers, en andere stakeholders zoals collega-wetenschappers, beleidsmakers, etc. Het communiceren over onzekerheden is één van de meest onontgonnen terreinen wat betreft ontwikkelde en bewezen methodologie. Een belangrijke ‘standaardstap’ is een onzekerheidsreview (zie bijv. Van Asselt et al, 2001) om te borgen dat in de eindrapportage echt aandacht aan onzekerheid is besteed.

4.4 Procedure: stappen en vuistregels

Naast de algemene aanpak als in Paragraaf 4.3 geschetst, zijn als startpunt voor de verdere uitwerking de stappen genomen uit de set evaluatievragen ‘Hoe is omgegaan met onzekerheid’ (Seebregts & Daniëls, 2000b). Hiermee zijn aan het begin van het ‘ECN Onzekerheden project’ enkele reeds uitgevoerde ECN-studies doorgelicht (zoals Ybema et al., 1999) en tijdens de workshop voor de ENGINE-werkgroep gepresenteerd. Met die vragen kunnen ook andere studies desgewenst worden geëvalueerd op de wijze waarop met onzekerheden is omgegaan.

De procedure bestaat uit per fase een aantal stappen of algemene principes¹⁹ en vuistregels. De volgorde is zoveel mogelijk chronologisch volgens de gangbare stappen in het totale traject van projectdefinitie tot eindrapportage.

Elke stap is van een uniek nummer voorzien om gemakkelijk naar te refereren.

Voor een aantal aparte stappen of methoden zijn wat meer details uitgewerkt op basis van gebleken interesse of wensen. Voorbeelden hiervan zijn Monte Carlo analysemethoden en het (formele en meer systematisch) gebruik van expertmeningen.

Binnen de verschillende fases zijn er op een aantal punten natuurlijk iteraties mogelijk. Dit is niet expliciet aangegeven.

De stappen en ervaring met de eerste versies van de richtlijn zijn geïllustreerd in Hoofdstuk 5. De richtlijn is tevens in 2001 gebruikt in de studie ‘Referentieraming Energie en CO₂ 2001-2010’ (Ybema et al., 2002).

4.4.1 Projectdefinitie

De stappen tijdens de projectdefinitie (dus inclusief de acquisitiefase) zijn er op gericht om doelen, middelen en globale aanpak ten aanzien van onzekerheden helder op een rij te krijgen, tussen deze onderdelen een juiste balans te vinden, en dit met anderen af te stemmen. De doelen en de gekozen aanpak dienen overeen te stemmen met de tijd en middelen die men beschikbaar heeft.

¹⁹ Als prelude tot deze richtlijn, wordt aanbevolen ook kennis te nemen van een aantal algemeen geldende principes voor goed beleidsonderzoek, zoals bijvoorbeeld samengevat in (Morgan & Henrion, 1990, zowel Figure 3.2 als de ‘Ten Commandments for Good Policy Analysis’) of de 10 geboden uit (RMNO, 2000). Sommigen zullen deze principes een open deur vinden, anderen zullen het te ver vinden gaan. Voor de volledigheid zijn deze principes in Bijlage E toegevoegd.

Tabel 4.1 *Stappen en vuistregels richtlijn: projectdefinitie*

<i>Stap of vuistregel</i>	<i>Omschrijving</i>
<i>1.1 Afstemming vooraf met opdrachtgever en/of partner</i>	Probeer reeds in dit stadium met de opdrachtgever (en/of partner) af te spreken hoe je met onzekerheden denkt om te gaan, dus zoveel mogelijk de invulling van de hieronder geschetste stappen.
<i>1.2 Bepaal doel(en) ten aanzien van onzekerheden</i>	Bepaal welk doel(en) je nastreeft bij het expliciet beschouwen van onzekerheden in je studie. Mogelijke doelen zijn: 1. onderzoeken robuustheid conclusies 2. weergeven onzekerheid in eindresultaat 3. weergeven van de mate waarin de verschillende bronnen van onzekerheid bijdragen aan de totale onzekerheid (rangorde), bijvoorbeeld kritische parameters 4. verbeteren van het model (qua structuur en volledigheid) 5. inzicht krijgen in de kwaliteit, verhogen van de betrouwbaarheid van de data/modellen/resultaten, of daarover betere gefundeerde uitspraken over kunnen doen 6. identificeren, agenderen en/of prioriteren van vervolgonderzoek ter verkleining van of voor meer begrip van onzekerheden in de toekomst
<i>1.3 Reikwijdte en detail</i>	Geef aan of hoe gedetailleerd je onzekerheden wil onderzoeken of beschrijven: - alleen kwalitatief, of - ook kwantitatief. Dit zal moeten afhangen van het resultaat van de stappen 1.1 en 1.2.
<i>1.4 Selectie en beargumentering onzekerheidsmethoden</i>	Benoem, voor zover reeds bekend, kort de specifieke onzekerheidsmethoden die je denkt te gaan gebruiken, en beargumenteer waarom. Hulpmiddelen daarbij kunnen zijn: - de selectiecriteria in 8.8 Selecting a Method in (Morgan & Henrion, 1990) - Appendix A ‘Voor- en nadelen van diverse methoden voor gevoeligheidsanalyse en onzekerheidsanalyse’ in (Janssen et al., 1990) De selectie zal afhangen van het resultaat van de stappen 1.1, 1.2 en 1.3. Een goede selectie is geen eenvoudige zaak. Het is veelal een kwestie van vakmanschap en ervaring. Het ontwikkelen van betere selectietools is een goed onderwerp voor vervolgonderzoek. Verder zal er op basis van de selectie, inventarisatie en classificatie in de volgende fase een nadere of andere keuze van methoden kunnen worden gemaakt (zie stap 2.6).
<i>1.5 Bepaal review procedures</i>	Leg in dit stadium al vast hoe je zowel de interne als de externe review van je studie regelt, voor zover dat niet uit de standaard manier van werken volgt. Review is in het algemeen een goede manier om de kwaliteit en de volledigheid van een studie te vergroten. Zeker voor onzekerheden is het een elementair element van onzekerheidsmanagement. Het biedt de beste garantie dat bepaalde onzekerheden niet over het hoofd worden gezien, en dat de aanpak en methodologie goed zijn. Review kan op verschillende manieren plaatsvinden: bilaterale discussies, via schriftelijke commentaarrondes, workshops, brainstormsessies, klankbordgroepen, wetenschappelijke presentaties en publicaties, publicatie op Internet, etc.
<i>1.6 Leg bovenstaande vast in het projectvoorstel of de offerte</i>	Doel van het vastleggen van het resultaat van bovenstaande, is om er later aantoonbaar naar te refereren of naar terug te kunnen grijpen.

4.4.2 Projectuitvoering

Tijdens de projectuitvoering zullen de onzekerheden in kaart moeten worden gebracht en worden geanalyseerd ten aanzien van de gestelde doelen (zie stap 1.2). Voor alle duidelijkheid wordt hierbij gesteld dat deze stappen op een (chrono-)logische wijze met de andere activiteiten van een studie geïntegreerd moeten worden. De precieze wijze van integratie, timing e.d. zal sterk afhangen van de specifieke studie die men verricht.

Tabel 4.2 Stappen en vuistregels richtlijn: projectuitvoering

Stap of vuistregel	Omschrijving
2.1 Inventarisatie en selectie onzekerheden	Maak een eerste inventarisatie van bronnen (oorzaken) van onzekerheid waarvan je denkt dat ze een rol spelen. Selectiecriteria moeten volgen uit de context van de studie (zie met name ook stappen 1.1-1.3). Beleidsrelevantie is een mogelijk criterium, maar meestal te weinig concreet. (Van Asselt, 2000) en (Van der Sluijs, 1997) geven wat suggesties. Bronnen van informatie zijn: bestaande literatuur, eigen ervaring en expertise. Deze bronnen kunnen worden aangevuld met informatie uit brainstormsessies, workshops, projectbijeenkomsten. Ook ‘screening’ analyses bijvoorbeeld het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses zijn te gebruiken als middel (filter) voor verdere selectie van onzekerheden die in de volgende stappen in meer detail kunnen worden beschouwd en/of geanalyseerd.
2.2 Classificeer de geselecteerde onzekerheden	Geef zo mogelijk ook de klasse van de bron (oorzaak) en de aard (type) van de onzekerheid aan. Zo’n classificatie kan bijvoorbeeld gebaseerd zijn op: - data, modelstructuur en onvolledigheid, of - op het onderscheid onzekerheid als gevolg van (natuurlijke, gegeven) variabiliteit en als gevolg van gebrek aan kennis. Meer uitgewerkte bestaande typologieën als in (Van Asselt, 2001) of (Van der Sluijs, 1997), zie ook Paragraaf 2.3, kunnen hierbij nuttig zijn. Toelichting: Bovenstaande classificatie is een van de mogelijke manieren. Een classificatie kan nuttig zijn vanwege de volgende redenen: 1. Het kan een hulpmiddel zijn in de selectie en inventarisatie. 2. Het geeft een indicatie van de wijze waarop met de betreffende onzekerheid kan worden omgegaan, zowel wat betreft de wijze van representeren, als wat betreft analysemethode (zie ook stap 2.6). 3. Het geeft inzicht in welke onzekerheden als een ‘gegeven’ (veel van de variabiliteit onzekerheden) moeten worden beschouwd, en welke onzekerheden mogelijk verkleind kunnen worden (beperkte kennis kan vaak worden aangevuld).
2.3 Eerste inschatting grootte en impact van onzekerheid	Deze stap kan parallel aan of na stap 2.1 worden uitgevoerd. Probeer met een ruwe maat aan te geven wat de mate van onzekerheid in een bron is, en wat de geschatte impact (gevoeligheid) op het (eventueel nog te bepalen) eindresultaat is. Een ruwe maat zou een classificatie in Hoog, Middel, Laag en (nog) Onbekend kunnen zijn. Wat er bij deze maten voor orde van grootte van onzekerheid bedacht moet worden, zou nader ingevuld kunnen worden. Het is handig om concreet een aantal belangrijke eindresultaten te benoemen waarvan de onzekerheid een belangrijk item is. Bijvoorbeeld: de totale energievraag in jaar x, de totale CO₂ emissie in 2010. Stap 2.3 kan parallel aan 2.1 en 2.2 of na die stappen worden uitgevoerd.

<i>Stap of vuistregel</i>	<i>Omschrijving</i>
	Een veel gebruikte methode om de impact te verkennen, is gevoeligheidsanalyse (zie ook stap 2.8).
<i>2.4 Kwaliteit en betrouwbaarheid van data</i>	Bepaal welke data waarvoor nodig zijn, verzamel deze data en bepaal de (gewenste) kwaliteit en betrouwbaarheid. In, eventueel algemene termen, dient de kwaliteit en betrouwbaarheid van de gebruikte data te worden beschreven: Wat is van de data wel of niet gevalideerd, gerefereerd en gedocumenteerd (niet perse in externe rapportage, mag ook beperkt zijn tot interne stukken)? Een belangrijke bron van onzekerheid is gelegen in conflicterende informatie. Informatie uit verschillende bronnen kan strijdig met elkaar zijn. Indien een keuze uit dergelijke bronnen gemaakt is, dan dient dat liefst een beargumenteerde keuze te zijn. Hulpmiddel bij het vaststellen van de 'kwaliteit' is bijvoorbeeld de pedigree matrix van Funtowicz & Ravetz (1990), zie Tabel 4.1. 'Betrouwbaarheid' is een ambigu begrip. Hier wordt bedoeld de mate van geloof dat men hecht aan de (gekozen) data.
<i>2.5 Kwaliteit en betrouwbaarheid van modellen</i>	Bepaal welke bestaande modellen te gebruiken zijn of nodig zijn, ontwikkel eventueel nieuwe modellen of pas ze aan, en bepaal vervolgens de kwaliteit en betrouwbaarheid. Dit behelst ook een (eventueel korte) beschrijving van relevante mechanismen ('relaties') die ontbreken in het model, alsmede een inschatting of dit tot onderschatting of overschatting van de belangrijkste resultaten leidt. Wat is van het model wel of niet gevalideerd, gerefereerd en gedocumenteerd (niet perse in externe rapportage, mag ook beperkt zijn tot interne stukken)? Hulpmiddel bij het vaststellen van de 'kwaliteit' is bijvoorbeeld de pedigree van matrix Funtowicz & Ravetz (1990), zie Tabel 4.1. Met betrouwbaarheid wordt hier bedoeld de mate van vertrouwen dat men heeft in de modellen om datgene van de werkelijkheid te beschrijven waar ze voor bedoeld zijn. Dus: binnen welke (systeem)grenzen en ranges van waarden, wordt het model geacht een betrouwbare beschrijving en resultaat te geven?
<i>2.6 Combinatie van/afhankelijkheid tussen onzekerheden</i>	Een recent hulpmiddel bij deze stap zou de checklist (Risbey et al., 2001), hoewel die nog niet in de ECN-praktijk is uitgetest. D.m.v. een 'afhankelijkheidsmatrix' met zowel horizontaal als verticaal de geselecteerde onzekerheden, kan worden aangegeven of de betreffende onzekerheden met elkaar samenhangen, interfereren, etc. Dit kan in eerste instantie kwalitatief. Voorbeeld: In een energiescenario-analyse zijn normaliter scenariobepalende parameters als energievraag en energieprijzen van elkaar afhankelijk. Sommige combinaties van waarden sluiten elkaar logisch uit, of zijn minder aannemelijk. Dergelijke afhankelijkheden zijn bijvoorbeeld van belang bij het construeren van consistente scenario's, of Monte Carlo analyses. Bij speciale methoden (bijv. MCA) kan een correlatiematrix worden ingevuld. Een (evt. via expert judgement bepaalde) correlatiecoëfficiënt is daarbij nodig. Een problematisch punt is het combineren en propageren van onzekerheden in verschillende deelmodellen.
<i>2.7 Definitieve keuze specifieke methoden voor de analyse van onzekerheden</i>	Op basis van het resultaat van bovenstaande, en de beschikbare tijd en middelen, zal een keuze moeten worden gemaakt voor specifieke methoden voor onzekerheidsanalyse. Voorbeelden zijn in de resterende stappen te vinden.

<i>Stap of vuistregel</i>	<i>Omschrijving</i>
<i>2.8 Toepassen van methoden</i>	Special uitgelicht worden drie speciale methoden, omdat er bij ECN breed daarvoor de meeste aanknopingspunten zijn, naast de scenariostudies van ECN BS (zie ook Paragraaf 2.4.2). <i>2.8.1 Gevoeligheidsanalyses</i> Voer gevoeligheidsanalyses uit. Deze analyses zijn nuttig als een van de inputs voor de stappen 2.3-2.5. In bijna elke kwantitatieve studie zijn gevoeligheidsanalyses mogelijk (in termen van tijd benodigd voor de extra berekeningen en analyse daarvan) en nuttig. Scenario-analyses en Monte Carlo analyses worden vaak in combinatie uitgevoerd met gevoeligheidsanalyses. Er zijn verschillende manieren om gevoeligheidsanalyses uit te voeren, zie bijvoorbeeld (Janssen et al., 1990, Hoofdstuk 4) <i>2.8.2 Gebruik van expertmeningen</i> Indien empirische data niet beschikbaar zijn (te maken), kan het gebruik van expertmeningen noodzakelijk zijn. Dit vereist speciale methoden om er goed mee om te gaan. In Hoofdstuk 2 en bijlage 2 EM is hier meer aandacht aan geschonken. <i>2.8.3 Monte Carlo analyse(MCA)</i> Indien Monte Carlo analyse (MCA) wordt gebruikt, kunnen de volgende principes worden gehanteerd: - (Burmester & Anderson, 1994) - (Morgan & Henrion, 1990, Paragraaf 8.5) - (IPCC, 1996) en (IPCC, 2000a) Zie de bijlage 1 MCA voor een nadere uitwerking.
<i>2.9 Helder documenteren van de eerdere stappen</i>	Bovenstaande stappen en de daaruit gedestilleerde onzekerheidsinformatie dienen helder te worden gedocumenteerd. Dat is van belang voor anderen in het project die de onzekerheidsinformatie moeten gebruiken.

Tabel 4.3 *Pedigree matrix (Funtowicz & Ravetz, 1990)*

Kwaliteit van model/ theoretische structuur	Kwaliteit van data	Mate van acceptatie bij collega's (‘peer’)
Gevestigde theorie	Historische/veld data (statistiek)	Totaal
Theoretisch model	Experimentele data (laboratorium)	Hoog
Computer model	Gemodelleerde/afgeleide data	Medium
Statistiek	Expert-schatting	Laag
Hypotheses	Schatting	Geen

4.4.3 Gebruik van onzekerheidsinformatie in eindrapportage en communicatie

De laatste en wellicht meest onontgonnen (qua methoden, tips en hulpmiddelen) fase is het gebruik van de verkregen onzekerheidsinformatie in de eindrapportage en andere wijzen van communicatie. Er wordt hier volstaan met een aantal elementaire vuistregels.

Tabel 4.4 *Stappen en vuistregels richtlijn: eindrapportage en communicatie*

Stap of vuistregel	Omschrijving
3.1 <i>Consistentie in begrippen en definities</i>	Wees consistent in de begrippen en definities die je hanteert (bijv. onzekerheid, onnauwkeurigheid, onzekerheidsmarge, ‘best guess’) Een ‘Glossary’ of ‘Terminologie’ kan hierbij als hulpmiddel dienen. Voorbeelden zijn o.a.: - de Glossary in Annex 3 van (IPCC, 2000a) - http://www.nusap.net/modules.php?op=modload&name=NS-Glossary&file=index
3.2 <i>Alleen onzekerheden van belang voor robuustheid conclusies en beleidsrelevantie</i>	Rapporteer en bespreek alleen onzekerheden die van belang zijn voor de robuustheid van de conclusies van de studie, dan wel om andere redenen beleidsrelevant zijn, en benut de verkregen onzekerheidsinformatie in de formuleringen.
3.3 <i>Achtergronddocumentatie</i>	Zorg dat er wel interne achtergronddocumentatie is waarin ook de overige onzekerheden aan bod komen. Dit is nuttig om eventueel in een later stadium beter te kunnen reageren op vragen, of om in volgende studies effectiever te kunnen voortborduren op eerdere werkzaamheden.
3.4 <i>Uitgangspunten en beperkingen expliciet</i>	Neem op een duidelijke plaats in het rapport expliciet de uitgangspunten en beperkingen van de studie op, alsmede de rol van onzekerheden. Het is aan te bevelen om dit kort in het voorwoord en de inleiding te doen, en meer uitgebreid op andere plaatsen in het rapport (bijv. aan het eind een Hoofdstuk, in een aparte Paragraaf of bijlage).
3.5 <i>Presentatie cijfers</i>	Bij het presenteren van getallen: - Het aantal significante cijfers moet in overeenstemming zijn met de onzekerheid in de getallen (geen schijnnaauwkeurigheid). - Het hanteren van enkel een cijfer i.p.v. een range wekt een zekerder indruk, en die ‘gevoelde’ zekerheid hoeft er niet te zijn. - Getallen zijn ook te gebruiken om meer kwalitatieve uitspraken te doen in termen van grootte, bijvoorbeeld: ongeveer verdubbeld, gehalveerd, marginale toename in vergelijking tot. Dit soort formuleringen zijn semi-kwantitatieve uitspraken, waaraan getallen ten grondslag liggen, ook al hoeven die getallen niet perse in de eindrapportage te staan. - Bij het gebruik van een bandbreedte: wat betekent die bandbreedte? Zie ook vuistregel 3.1; voorbeelden zijn: minimum – maximum; laag - hoog (zonder verdere kwalificatie); pessimistisch - optimistisch; ‘zomaar’ een range (zie bijv. (IPCC, 2000b)); een x-% betrouwbaarheidsinterval.

<i>Stap of vuistregel</i>	<i>Omschrijving</i>
3.6 <i>Zo veel mogelijk ook een grafische weergave</i>	Probeer de onzekerheden zoveel mogelijk op grafische wijze weer te geven. Er zijn vele mogelijkheden die sterk afhangen van datgene wat men wil weergeven en voor wie. Eenduidige tips zijn niet te geven. Verder zijn sommige lezers niet grafisch georiënteerd, dus ook weergave via tabellen e.d. kan evengoed nuttig zijn. Enige redundantie in informatie kan daarvan het gevolg zijn. Soms is het lastig om consistentie te krijgen in termen van mate van onzekerheid die wordt gecommuniceerd via deze twee wijzen van presenteren. (zie voor voorbeelden o.a. Ch. 9 ‘The Graphic Communication of Uncertainty’ in (Morgan & Henrion, 1990)
3.7 <i>Probeer onderscheid te maken tussen ‘Gebrek aan kennis’ en ‘Variabiliteit’ onzekerheden</i>	Het onderscheid tussen deze twee typen van onzekerheden is van belang om aan te geven welke onzekerheden als een ‘gegeven’ (veel van de variabiliteit onzekerheden) moeten worden beschouwd, en welke onzekerheden mogelijk verkleind kunnen worden (gebrek aan kennis). Met de ‘variabiliteit’ vorm van onzekerheden moet men als het ware leven, dat wil zeggen er goed mogelijk mee omgaan, en de risico’s die er voortvloeien zo goed mogelijk zien af te dekken. De ‘gebrek aan kennis’ onzekerheden kunnen mogelijk worden verkleind door nader onderzoek te doen. Daarin past een kosten en baten afweging.
3.8 <i>Review door externe partijen en opdrachtgever</i>	Laat concepten reviewen door de opdrachtgevers en eventueel andere externe partijen. In hoeverre dit nodig is hangt af van het soort project en wat met opdrachtgever of partners is overeengekomen. Het is goed de reviewers expliciet te vragen om te letten op het omgaan met onzekerheid, of een expliciete meer gedetailleerde onzekerheidsreview te laten uitvoeren.
3.9 <i>Nazorg en reflectie</i>	Na het uitbrengen van het eindrapport is het nuttig apart een presentatie te verzorgen over het omgaan met onzekerheid en tevens na te gaan in hoeverre de studie nieuwe inzichten heeft opgeleverd voor de voorliggende richtlijn/procedure.

5. DEMONSTRATIE RIJCHTLIJN AAN DE HAND VAN TWEE CASE STUDIES

Hoofdstuk 4 bevat in feite de derde versie van de richtlijn. Een eerste versie uit najaar 2000 is gebruikt en getoetst aan de hand van een tweetal case studies, te weten de pilot studie 'Raming energie en CO₂ 2000-2010' en de interne ECN-studie 'Clusteranalyse micro WKK' als onderdeel van de Strategic Decision Analysis (SDA) van de ECN R&D portfolio.

Dit Hoofdstuk beschrijft kort de ervaring met de eerste versies van de richtlijn.

5.1 Referentieramingen energie en CO₂ 2000-2010 en 2001-2010

De studie 'Referentieraming energie en CO₂ 2000-2010' had in 2000 een pilot-achtig karakter.

Inmiddels is in 2001 een vervolg '*Referentieraming energie en CO₂ 2001-2010*' als een nieuwe studie in opdracht van het Ministerie van EZ en VROM uitgevoerd (Ybema et al., 2002). De huidige versie van de richtlijn is zo veel mogelijk gebruikt vanaf de eerste fases van deze laatste studie.

De Referentieraming studie bood goede aanknopingspunten voor een eerste toetsing van de richtlijn in 2000 en een verdere verfijning in 2001, vanwege de volgende redenen:

1. De studie is beleidsrelevant, zelfs 'beleidsgevoelig'.
2. In 2000 bood het pilot-achtige karakter goede mogelijkheden te oefenen met de richtlijnen zonder meteen extern te worden 'afgerekend' op de aanpak.
3. Gezien het pilot-achtige karakter is in overleg met de ministeries besloten de resultaten van de studie uit 2000 niet te publiceren.
4. De uitgangspunten en resultaten zijn besproken met een klankbordgroep welke bestond uit medewerkers van EZ, VROM, RIVM en CPB.
5. Er is sprake van synergie met andere lopende projecten waarin voor een deel dezelfde medewerkers werkzaam waren, en waarin voor een deel dezelfde modellen worden gebruikt.
6. Er zijn relatief veel BS-ers bij de studie betrokken.
7. De studie heeft een grotendeels traditionele BS-aanpak: werken met scenario's en modellen.
8. De hele keten van het nationale modellen-instrumentarium ('NEV-RS', zie ook Beeldman et al., 2000) wordt doorlopen. De problematiek van het stapelen van onzekerheden, en afhankelijkheden daarin, kon dus ook aan bod komen. Niet alleen het stapelen van onzekerheden is van belang, ook het behouden van onzekerheidsinformatie van het ene model naar het andere, is een lastig probleem, zie bijvoorbeeld ook (Van Asselt et al., 2001) als illustratie van deze problematiek bij de Milieuverkenningen van RIVM.
9. De studie is gezamenlijk met RIVM uitgevoerd.

Omdat de pilot studie al in maart 2000 van start ging, en de eerste versie van richtlijn pas een half jaar later bekend was, zijn in 2000 niet alle stappen van de richtlijn getoetst. Wel zijn de stappen uit de richtlijn voor commentaar aan het projectteam van de pilot voorgelegd, gevoegd met een verzoek om relevante onzekerheden op een rij te zetten. Deze onzekerheden zijn vervolgens in een brainstormsessie bediscussieerd. Ten slotte zijn voor de presentatie aan de klankbordgroep aanbevelingen gedaan over wat te melden over de onzekerheden.

Ten opzichte van de eerste concept richtlijn is zowel het commentaar als de ervaring van de brainstormsessies en de presentatie aan de klankbordgroep, gebruikt bij het aanpassen van de richtlijn.

Met name voor studies ten behoeve van het nationale energie- en milieubeleid hebben deze cases veel inzichten opgeleverd, zowel wat betreft de wijze waarop BS met de onzekerheden in het nationale modellen-instrumentarium kan omgaan, als wat betreft de communicatie van onzekerheden naar twee belangrijke opdrachtgevers, EZ en VROM. De ervaringen van deze cases suggereren dat er ook steeds meer beleidsmakers zijn die interesse hebben om onzekerheden duidelijker te (laten) presenteren, en om rekening te houden met deze onzekerheden bij het beoordelen en het formuleren van beleid.

De ervaringen uit beide Referentieraming studies zijn inmiddels verankerd in de richtlijn zoals in Hoofdstuk 4 beschreven.

5.2 Strategic Decision Analysis Micro WKK

De tweede studie waarbij een eerste versie van de richtlijn is getoetst, betreft de clusteranalyse micro-warmtekracht (WK). Deze analyse is uitgevoerd als onderdeel van de Strategic Decision Analysis (SDA) aanpak die ECN sinds enkele jaren hanteert bij het beoordelen en kiezen van de R&D portfolio van het lange termijn energieonderzoek van ECN. SDA is een aanpak die voor het eerst is toegepast voor industriële R&D (Matheson et al., 1989). ECN past deze methodiek toe om milieu- en energievoordelen en de opbrengsten van de R&D portfolio van de verschillende ECN-units te bepalen.

De eerste versie van de richtlijn is in 2000 zoveel mogelijk gebruikt bij de uitvoering van de genoemde analyse voor het cluster van micro-warmtekracht projecten, en is achteraf nogmaals getoetst. De bevindingen van de toetsing en daarin bevat een korte illustratie van de stappen, zijn in meer detail beschreven in een intern werkdocument (Van der Laag, 2000b).

De clusteranalyse is uitgevoerd voor de verdere vormgeving van het R&D-cluster technologie-ontwikkeling van micro-warmtekracht toepassingen bij de ECN-unit Schoon Fossiel. Op basis van interviews met de betreffende werkgroepsleiders en projectleiders zijn invloedsdiagrammen opgesteld voor de nog op te lossen technische problemen. Met door deze personen geschatte kansen voor de onzekere factoren uit het invloedsdiagram, zijn de kansen op technisch succes voor de tot het cluster behorende projecten berekend.

De drie technische opties, die parallel in ontwikkeling zijn: Stirling, SOFC en SPFC. Elk heeft een technische slaagkans in de range 40-80 %. Hierdoor is de kans dat tenminste 1 optie technisch succesvol is, circa 95%. Met technisch succes wordt hier bedoeld dat de ontwikkeling van micro-WK, waaraan ECN deelneemt, succesvol wordt afgerond met een test van een prototype onder realistische (statische en dynamische bedrijfs-) condities, alvorens een demonstratie in echte woningen wordt gestart. De eerste marktintroductie wordt binnen enkele jaren verwacht.

De clusteranalyse maakt gebruik van methoden uit de SDA, zoals invloedsdiagrammen, en Monte Carlo onzekerheidsanalyse. Zowel voor de invloedsdiagrammen als de Monte Carlo analyse wordt een beroep gedaan op expertmeningen.

Een overweging om voor deze case studie te kiezen, is gelegen in het toenemende belang dat bij ECN aan SDA gehecht wordt, teneinde in een vroeg stadium de ontwikkelrisico's en de mogelijke impact van nieuwe technologieën in kaart te brengen. Dit helpt om ontwikkeldoelen af te leiden ('stuurparameters'), waarbij tevens de belangrijkste onzekerheden bepaald kunnen worden, die voor nader onderzoek in aanmerking komen.

Geconcludeerd is in (Van der Laag, 2000b) dat de richtlijn een goede 'rode draad' geeft bij de opzet en uitvoering van een SDA onzekerheidsanalyse.

5.3 Conclusies

Voor scenario-achtige studies kunnen de richtlijnen goed worden gevolgd. De richtlijn biedt enerzijds voldoende houvast en is expliciet en duidelijk genoeg, anderzijds biedt de richtlijn ook voldoende flexibiliteit. De nieuwe studie 'Raming energie en CO₂ 2001-2010' die weliswaar niet met scenario's werkt, maar met een raming, bood een uitgekende gelegenheid de richtlijn echt in de praktijk te gebruiken en te toetsen.

Op basis van ervaring bij de clusteranalyse micro-warmtekracht, lijkt de richtlijn voor studies waarin SDA of Monte Carlo analysemethoden een belangrijke rol hebben, ook voldoende houvast te bieden. Dat blijkt uit de evaluatie in (Van der Laag, 2000c).²⁰

Voor andersoortige studies dan hierboven genoemd, zal de richtlijn zich in de praktijk verder moeten bewijzen. De richtlijn dient daarom zo veel mogelijk te worden gebruikt. In Hoofdstuk 6 is daarom een aantal vervolgstappen geschetst hoe met deze richtlijn en met onzekerheden in de nabije toekomst verder te gaan bij ECN. Bij verder gebruik van de richtlijn kan op detailniveau nog specifieke uitwerking en verdieping plaatsvinden.

²⁰ In de techno-economische evaluatie (Spoelstra, 2000b) waarin ook een Monte Carlo onzekerheidsanalyse is uitgevoerd, is de richtlijn uiteindelijk niet getoetst.

6. SAMENVATTING, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 Samenvatting

De drie belangrijkste doelen van deze ECN brede aanzet tot het beter omgaan met onzekerheden waren:

1. Vergroting van het bewustzijn bij de ECN-onderzoekers van het belang om goed met onzekerheden om te gaan.
2. Verbetering van de kwaliteit van het ECN-onderzoek door beter om te gaan met en beter te communiceren over de relevante onzekerheden.
3. Ontwikkeling van hulpmiddelen die bij kunnen dragen aan de realisatie van de twee eerder genoemde doelen.

Het project heeft zich beperkt tot beleidsrelevante studies waarbij modellen en/of kwantitatieve gegevens, empirische data (waaronder metingen) en expertmeningen worden gebruikt. Hieronder zal worden samengevat hoe het project heeft bijgedragen tot realisatie van deze doelen.

6.1.1 Vergroting bewustzijn

Gedurende het traject is via verschillende manieren gewerkt aan het bewust maken van de ECN-ers. In chronologische volgorde betrof dat:

- BS-colloquium (april 2000)
- Het bouwen en onderhouden van een speciale Intranetsite:
<http://ecnfac.ecn.nl/local/project/onzekeer/> (alleen voor ECN medewerkers bereikbaar)
- Quickscan onder de BS-onderzoekers (via Intranet, mei en juni 2000): hoe gaan zij nu met onzekerheden om, hoe denken hun opdrachtgevers over dit onderwerp, waar liggen de behoeften op het gebied van richtlijnen en andere hulpmiddelen?
- Workshop voor de ENGINE-Werkgroep (juni 2000: met name bedoeld voor directieleden, unit managers, groepsleiders en account managers)
- Aparte workshop voor geïnteresseerden in Monte Carlo onzekerheidsanalyse en het @Risk pakket (juli 2000, met medewerking van Gerard Peppink)
- Een artikel in ECN Informatief (september 2000)
- Het zoveel mogelijk toepassen van de concept richtlijnen in een aantal cases (september - december)
- Presentatie van de concept richtlijnen en toepassing daarvan op de BS case 'Pilot Referentieraming energie en CO₂ 2000-2010' tijdens de BS-projectenmiddag (november 2000)
- Eindrapportage.

Samengevat kan worden gesteld dat met name de Quickscan, de colloquia en de twee workshops bijgedragen hebben tot het ECN-breed op de agenda zetten van de problematiek. De Intranetsite is een goede manier gebleken om de resultaten van het project, en de relevante kennis en ervaring binnen ECN te verspreiden.

6.1.2 Verbetering kwaliteit

Nog weinig ervaring

De ervaring opgedaan in de cases is te beperkt om te kunnen concluderen dat het project en in het bijzonder de richtlijn al een bijdrage hebben geleverd aan een kwaliteitsverbetering.

Twee van de cases ((Van der Laag, 2000b) en (Spoelstra, 2000b) waren beleidsrelevant voor het eigen ECN R&D programma en maakten gebruik van Monte Carlo onzekerheidsanalyse. De

opdrachtgever was de ECN-directie. In het geval van SDA voor micro-WKK (Van der Laag, 2000b), bleek de richtlijn goed toepasbaar.

De eerste BS case ('Pilot Referentieraming energie en CO₂ 2000-2010') betrof een studie met formeel gezien een interne opdrachtgever (ECN-directie). De aanpak en de resultaten van de studie zijn echter uitgebreid besproken met een externe klankbordgroep. Deze groep bestond uit vertegenwoordigers van de ministeries van EZ en VROM en het CPB en het RIVM, twee belangrijke partners bij het uitvoeren van onder andere de Nationale Energieverkenningen. Met name voor studies ten behoeve van het nationale energie- en milieubeleid zijn de Referentieraming cases (zowel in 2000 als in 2001) gebruikt als toets voor de richtlijn, zowel wat betreft de wijze waarop BS met de onzekerheden in het zgn. NEV-instrumentarium kan omgaan, als wat betreft de communicatie van onzekerheden naar twee belangrijke opdrachtgevers. De ervaringen van deze cases suggereren dat er ook steeds meer beleidsmakers zijn die interesse hebben om onzekerheden duidelijker te (laten) presenteren, en om rekening te houden met deze onzekerheden bij het beoordelen en het formuleren van beleid.

Ten slotte kan worden opgemerkt dat in toenemende mate leden van het projectteam om advisering over onzekerheden wordt gevraagd bij nieuwe projecten en studies. Er leeft dus wel een behoefte om de kwaliteit van de studies te verbeteren.

Het invoeren van de richtlijn als standaard brengt systematiek in het omgaan met onzekerheid, en kan daarmee een kwaliteitsimpuls betekenen.

Gangbare praktijk: wat is die en is die goed genoeg?

Op basis van de literatuurstudie, de BS-quickscan en een Intranet search is een globaal beeld ontstaan van de huidige praktijk bij het omgaan met onzekerheden.

Uit de BS-quickscan (voorjaar 2000) kwam naar voren dat:

1. Het bewust zijn van het belang van onzekerheden lijkt redelijk tot goed. In een aanzienlijk deel van de gevallen wordt er bij de uitvoering en in de rapportage van het onderzoek expliciet, maar vaak niet systematisch, aandacht besteed aan onzekerheden. Bij het opstellen van het projectvoorstel (werkplan) is dit in iets mindere mate het geval.
2. De interesse voor de rol van onzekerheden bij de traditionele opdrachtgevers (EZ, VROM) wordt als matig beoordeeld, waarbij bovendien in een deel van de gevallen eerst ECN de rol van onzekerheden ter sprake moet brengen voordat deze interesse naar voren komt. Er is hier echter een kentering waar te nemen. In toenemende mate verlangen deze opdrachtgevers ook dat onzekerheden beter worden beschouwd.
3. Qua methoden scoren het gebruik van scenario-analyses en gevoeligheidsanalyses hoog. Monte Carlo methoden (voor de analyse van onzekerheden in data), formele methoden voor validatie en verificatie, intern en extern review worden niet of veel minder genoemd. Ten slotte worden er, al dan niet gekoppeld aan energiesysteemanalysemodellen als bijvoorbeeld MARKAL, af en toe specifieke methoden als stochastische programmering ('hedging') en cost-benefit ratio's gebruikt (Ybema et al., 1998; Seebregts et al., 2001).
4. De behoefte aan richtlijnen is groot.

Eerste stappen doorlichting nationale modelleninstrumentarium

Bij ECN-beleidsstudies is in 2000 een deel van het zgn. NEV-instrumentarium (Beeldman et al., 2000) doorgelicht op de onzekerheden in de betreffende deelmodellen (via: onder andere de BS-quickscan, een wat uitgebreidere doorlichting van de nieuwe SAVE-utiliteit, en de BS case). Dit is een eerste stap geweest om bij nieuwe modellen of bij aanpassingen aan bestaande modellen voortaan meer systematisch zo'n inventarisatie en classificatie van onzekerheden te maken. Het maakt zowel beheerders (ontwikkelaars) als gebruikers van deze modellen bewust van de onzekerhedenproblematiek, en kan een bijdrage leveren aan het op een meer transparante wijze documenteren van de invoer en werking van de modellen inclusief de gemaakte veronderstellingen.

Monte Carlo methoden: biedt mogelijkheden, maar geen panacee

In toenemende mate is er bij ECN belangstelling voor het uitvoeren van Monte Carlo onzekerheidsanalyses en het gebruik van een daarvoor geschikt softwarepakket (@Risk, add-on van Excel). Momenteel wordt dit pakket toegepast bij de units Beleidsstudies, Energie Efficiency in de Industrie, Schoon Fossiel, Windenergie, Zonne-energie en bij de stafafdeling Programmacoördinatie (SDA ECN R&D portfolio). De richtlijn bevat daarom een aparte bijlage met tips en trucs voor dit soort analyses, alsmede mogelijke valkuilen. Van oudsher is met deze methoden veel ervaring opgedaan bij het nucleaire onderzoek van ECN (nu NRG, Nuclear Research and Consultancy Group), met name in het kader van probabilistische risicoanalyses van kerncentrales en reactorontwerpen en bij studies naar de opberging van radioactief afval.

Monte Carlo onzekerheidsmethoden zijn met name geschikt voor studies waarbij gebruik wordt gemaakt van rekenmodellen die niet al te complex zijn. Veel spreadsheetmodellen voldoen aan dit criterium. De methode is een van weinige methoden waarmee op een consistente manier de effecten van een combinatie van onzekerheden kunnen worden geanalyseerd.

Opgemerkt zij dat recent ook het IPCC Monte Carlo methoden propageert om de onzekerheden in de nationale inventarisatie van de emissies broeikasgassen boven tafel te krijgen (IPCC, 2000a).

Een belangrijk nadeel van de methode is dat normaliter alleen de onzekerheden in parameters (basisinvoergegevens en interne modelparameters) kunnen worden beschouwd en worden geanalyseerd. Andere bronnen van onzekerheid (volledigheid, modelstructuur) die niet tot parameters kunnen worden herleid, kunnen met deze methode niet of slechts zeer beperkt worden geanalyseerd. Een tweede nadeel of probleem bij de methode is het inschatten van de kansverdelingen voor de parameters en van de eventuele correlaties daartussen. Een derde nadeel is dat de resultaten in termen van bijvoorbeeld kansverdelingen of betrouwbaarheidsintervallen een statistische betekenis hebben, en de interpretatie van de onzekerheden niet altijd even eenvoudig maakt. Dat geldt ook voor de communicatie van dit type resultaten.

Een laatste nadeel, of eigenlijk gevaar, bestaat er in dat de onderzoeker te snel naar deze methode grijpt omdat er al een rekenmodel is dat zich relatief eenvoudig daartoe leent. Het risico bestaat dat men een aantal andere bronnen van onzekerheid over het hoofd ziet, of er te weinig aandacht aan geeft. Evengoed resulteert er een rapport waarin expliciet onzekerheden zijn beschouwd en geanalyseerd. Dat kan ‘schijnonzekerheid’ over de onzekerheden tot gevolg hebben.

Metten en onzekerheid

Een vooraf niet voorzien neveneffect van het project was de aandacht die meetonzekerheid of meetnauwkeurigheid tijdens en kort na de juni workshop kreeg. Velen bij ECN onderschrijven het motto ‘Meten is weten’. De focus van dit project was beperkt tot beleidsrelevante studies. In die studies is het veelal meer ‘Rekenen’, weliswaar onderbouwd en gevoed met statistische gegevens. Metingen, in meer empirische en experimentele zin, hebben in die beleidsrelevante studies een beperkte rol. Metingen spelen een grotere rol in het technologisch onderzoek van ECN. Kort na de juni 2000 workshop is daarom bij de units Schoon Fossiel en Energie Efficiency in de Industrie de huidige meetpraktijk ten aanzien van onzekerheid en nauwkeurigheid in kaart gebracht. Deze aandacht leidde onder andere tot het ‘op herhaling sturen’ van enkele ECN-ers die veel metingen doen. Speciaal voor metingen en onzekerheid bevelen wij de ISO-richtlijn ‘Measurement and uncertainty’ aan. Bij onder andere Windenergie is er ervaring met deze ISO-richtlijn opgedaan (Van der Borg, 1998). Eind december 2000 is gebleken dat bij Windenergie de huidige meetpraktijk ook zal worden verbeterd onder andere via specifieke cursussen (Ormel, 2001, persoonlijke communicatie).

Belang opdrachtgever versus ECN

Zowel bij de goedkeuring (Saris, 2000) als tijdens de juni workshop is speciaal aandacht gevraagd voor de mogelijk verschillende belangen die ECN en de opdrachtgevers (bijv. beleids-

makers) kunnen hebben, mede gezien de aandacht die dit kreeg bij de ‘de Kwaadsteniet’-affaire (onafhankelijkheid en wetenschappelijke kwaliteit en integriteit). Tijdens de workshop en de colloquia is hierover uitgebreid gediscussieerd. In de richtlijn is dit aspect expliciet opgenomen, zowel bij aanvang van de studie als bij de eindrapportage, door zo transparant en expliciet mogelijk te communiceren met de opdrachtgever. Het belangrijkste lijkt ons dat men zich bewust is dat zowel onafhankelijkheid als wetenschappelijke integriteit kwaliteit in het geding kunnen zijn, zeker op het moment dat onzekerheden een grote rol spelen en van invloed zijn op de conclusies en beleidsadviezen. Opgemerkt zij, dat integriteit en kwaliteit wel raken aan onzekerheid, maar niet exclusief zijn voor ‘onzekere’ studies.

De Raad voor ruimtelijk, milieu- en natuuronderzoek (RMNO) heeft een aantal op de beleidspraktijk gerichte adviezen geformuleerd, in de vorm van een tiental ‘geboden’ (RMNO, 2000).

6.1.3 Ontwikkeling hulpmiddelen

Als hulpmiddelen voor het bewuster en beter omgaan met onzekerheden zijn de volgende hulpmiddelen ontwikkeld:

Richtlijn omgaan met onzekerheden in beleidsrelevante studies

Deze richtlijn is apart beschreven in Hoofdstuk 4 van dit rapport. Met de richtlijn is beperkte ervaring opgedaan in een aantal cases (zie Hoofdstuk 5). Inmiddels wordt in een aantal gevallen de richtlijn ook al gebruikt voor nieuwe studies bij BS. Het ligt in de lijn der verwachting dat de richtlijn bij toenemend gebruik ook verder zal evolueren.

De richtlijn heeft geen dwingend karakter, en kan verder worden gekenschetst als ‘Good Practice’ dat wil zeggen sterk gebaseerd op elders bewezen en gangbare praktijken en methoden. De richtlijn is gebaseerd op wetenschappelijk onderzoek elders en ervaringen binnen en buiten ECN. Aan het onderzoek en de ervaring buiten ECN zullen we aandacht moeten blijven besteden.

De richtlijn is niet vrijblijvend: indien men de richtlijn niet gebruikt, dan moet dat worden argumenteerd.

De richtlijn zal niet alle huidige en toekomstige studies afdekken. Verder kan ook nog nieuw (evt. elders) ontwikkelde methodologie worden opgenomen. Op deze wijze zijn op termijn ook meer innovatieve methoden in te passen. De mogelijkheden voor nieuwe methoden zullen sterk afhangen van de aard van de studie, met name beschikbare tijd en middelen en de behoeften van opdrachtgevers.

Checklist ter evaluatie van reeds uitgevoerde studie

Enigszins parallel lopend aan de stappen in de richtlijn is tijdens de evaluatie van de bestaande ECN-praktijk een checklist van vragen ontwikkeld (Seebregts & Daniëls, 2000b). Door deze vragen te beantwoorden ontstaat een goed beeld hoe met onzekerheden is omgesprongen, zie ook (Van der Laag, 2000c). De lijst is verder gebruikt ter evaluatie van de ECN-studie (Ybema et al., 1999) en gepresenteerd op de juni 2000 workshop. De lijst kan ook worden gebruikt als hulpmiddel om uitgebreider over onzekerheden te rapporteren in studies waarbij bij aanvang en tijdens uitvoering onzekerheden niet zo expliciet zijn beschouwd. Achteraf biedt de lijst in zo’n geval nog ondersteuning om toch expliciet over onzekerheden te rapporteren.

Uitgebreide literatuurlijst en bibliografie

Voor ECN-ers die in meer details zijn geïnteresseerd bevat dit rapport en de Intranetsite een uitgebreide lijst van referenties en een overzicht van andere bronnen van informatie. Daarbij zijn enkele referenties speciaal aanbevolen als goede introductie tot het onderwerp en de bijbehorende methoden of als goede handboeken.

Intranetsite als bron van kennis en ervaring binnen ECN

De Intranetsite is een uitstekend middel gebleken om kennis en ervaring ter beschikking te stellen aan ECN-ers. De site dient ook in de toekomst te worden onderhouden.

Contacten met andere instituten

Kennis en ervaring bij andere instituten, alsook hulpmiddelen zijn ook te verkrijgen door contacten met andere instituten. Binnen een aantal Nederlandse instituten heeft de omgang met onzekerheid in beleidsrelevant onderzoek op dit moment veel aandacht (zie Paragraaf 6.3.7 Contacten blijven onderhouden met andere instituten). De verwachting is dat door deze aandacht op termijn hulpmiddelen beschikbaar kunnen komen, waarvan ECN gebruik kan maken.

6.2 Conclusies

Het bewustzijn van het belang om goed met onzekerheden om te gaan, is onder de ECN onderzoekers toegenomen. Het project kan wat dat betreft als geslaagd worden betiteld.

Het gebruik en de inbedding van de generieke richtlijnen zijn noodzakelijke stappen om echt te gaan werken aan verbetering van de kwaliteit, zowel procesmatig (in termen van systematiek, procedures) als inhoudelijk en tot uitdrukking komend in de eindrapportage. De richtlijnen zijn generiek van karakter en bieden een raamwerk waarbinnen in detail en voor specifieke studies en modellen verdere keuzes kunnen worden gemaakt. De richtlijn geeft vooral een handreiking voor analyse en rapportage van onzekerheden, over de communicatie zegt de richtlijn een stuk minder.

Ondanks de gebleken behoefte aan richtlijnen en ondanks draagvlak voor de richtlijnen, is de ouderwetse en huidige praktijk weerbarstig. Het lijkt af en toe, dat men pas goed over onzekerheden na gaat denken aan het einde van de rit, als er numerieke resultaten ter analyse zijn, of als deze dienen te worden gerapporteerd en gecommuniceerd. Daarom: bezint eer ge begint!

Dit betekent dat het project niet meer dan een eerste aanzet is geweest om bewuster, explicieter en uitgebreider met onzekerheden om te gaan. Continue monitoring en verbetering van de ECN praktijk is daarom van wezenlijk belang. Binnen Beleidsstudies is daarin een stap gezet door de richtlijn in andere unitprocedures in te bedden en te evalueren.

6.3 Aanbevelingen

Om de vruchten van dit project ook in de toekomst te kunnen blijven plukken, zijn de volgende aanbevelingen gedaan. Een deel van die aanbevelingen heeft inmiddels ingang gevonden.

6.3.1 Meerjarig traject ingaan

Het project uit 2000 is hooguit een start en een aanzet geweest. Het onderliggende rapport is daarvan de weerslag. Zowel uit onze eigen ervaringen in de afgelopen jaren, als uit de ervaringen bij RIVM (Van Asselt et al, 2001) blijkt dat voor het echt beter omgaan met onzekerheden, 'Onzekerheidsmanagement', een meerjarig traject nodig is voordat het echt geïnternaliseerd is. Vanwege de wijze waarop ECN gewoon is het werk projectmatig te organiseren, zou er ook een meerjarig vervolgproject dienen te worden geformuleerd. Hiermee toont de ECN-organisatie dat zij prioriteit geeft aan onzekerheidsmanagement, en ook bereid is de volgende stappen in het leerproces te zetten. Een geschikte aanpak zou zijn om een apart ECN-project te formuleren dat gekoppeld wordt aan het 'Vernieuwingsimpuls' onderzoeksproject van de Universiteit van Maastricht. Dat project is 1 januari 2002 van start gegaan, met als een van de twee cases de Na-

tionale Energieverkenningen en ander nationale energiebeleidsstudies van ECN. Het ECN-project kan verder dienen als koepel waarbinnen ook de overige, hieronder aanbevolen activiteiten een plaats kunnen krijgen.

6.3.2 Generieke richtlijn gebruiken bij elke nieuwe, beleidsrelevante studie

Ook al is in de uitgangspunten van de richtlijn gesteld dat de richtlijn geen voorschrijvend karakter heeft, bevelen wij aan om deze toch zo veel mogelijk wel te gaan gebruiken. In ieder geval zullen bij aanvang van elke nieuwe beleidsrelevante studie expliciet de volgende twee vragen moeten worden beantwoord:

1. Moet deze studie onzekerheden expliciet en in meer detail beschouwen?
Bij een 'Nee' op deze vraag, zouden de beweegredenen goed moeten worden onderbouwd.
Bij een 'Ja' op deze vraag, dient het gebruik van de richtlijn te worden overwogen.
2. Wil men voor deze studie gebruik maken van de richtlijn 'Omgaan met onzekerheden'?
Bij een 'Nee' op deze vraag, zouden de beweegredenen moeten worden onderbouwd.
Bij een 'Ja' op deze vraag, verdient het aanbeveling om bij het eerste gebruik van de richtlijn, de opstellers van de richtlijn daarvan in kennis te stellen, en zo mogelijk voor specifieke advisering te betrekken bij zowel aanvang, uitvoering als eindrapportage van de studie.

Inmiddels is sinds juni 2001 deze aanbeveling geoperationaliseerd in de unit procedures van ECN-beleidsstudies. Bij projectevaluaties zijn de ervaringen met het gebruik van de richtlijn of nieuwe inzichten opgedaan in het betreffende project, als aparte items opgenomen. Daarmee kan van de gebruikers feedback worden gekregen.

Minimaal eens per jaar zou de richtlijn moet worden aangepast op basis van nieuwe ervaringen en inzichten.

Aanbevolen wordt verder om de richtlijn een standaard onderdeel te maken van de BS-introductie cursus voor nieuwe medewerkers. Daarnaast zouden ook de meer ervaren BS-ers 'op herhaling' kunnen.

6.3.3 Ruimte voor innovatieve methoden houden

Op korte termijn wordt dus aanbevolen om voor de ECN-praktijk die methoden te gebruiken waar relatief al wat ervaring mee is, bij ECN zelf of bij samenwerkingspartners, en wat praktisch uitvoerbaar lijkt. Dat is beter dan dat opnieuw gezocht moet worden naar iets nieuws of specifiek. Dat betekent niet dat er geen ruimte moet zijn om nieuwe wegen in te slaan of relatief nieuwe methoden te gaan gebruiken. Het streven zou moeten zijn: van Good Practice naar Best Practice.

Binnen het in Paragraaf 6.3.1 geschetste ECN project zou ruimte moeten worden gecreëerd om ook meer innovatieve methoden of protocollen voor het omgaan met onzekerheden in te passen. Kandidaten op dit moment zijn hiervoor naast PRIMA ook NUSAP, en de Leidraad²¹ die (inmiddels, begin 2003) door RIVM en UU-NW&S is ontwikkeld. Door de EU gesponsorde R&D projecten lenen zich ook goed om met innovatieve methoden ervaring op te doen of voor verdere ontwikkeling.

²¹ RIVM/MNP (2003). Leidraad voor het omgaan met onzekerheden

Een aanpak als PRIMA (Van Asselt, 2000) biedt bijvoorbeeld interessante perspectieven voor wat uitgebreidere verkenningstudies²². Wij onderschrijven de door Van Asselt geformuleerde uitdaging:

‘Het ontwerpen van een praktisch bruikbare methodologie waarin de cruciale onzekerheden worden geïnterpreteerd volgens verschillende perspectieven, zodanig dat robuuste inzichten voor beleid daaraan kunnen worden ontleend’

6.3.4 Intranetsite als middel om kennis en ervaring binnen ECN te verspreiden

De Intranetsite is bij uitstek geschikt als middel om kennis en ervaring ter beschikking te stellen binnen ECN. Aanbevolen wordt om extra doch beperkte middelen ook in 2002 en daarna beschikbaar te stellen om deze site te blijven onderhouden en uit te bouwen.

6.3.5 De adviseur onzekerheden: alleen de eerste keer?

Bij sommigen lijkt een idee te leven dat ‘onzekerheden’ een apart specialisme en deskundigheid behoeven. Men neigt eerder naar het opnemen van een ‘adviseur onzekerheden’ in het projectteam in plaats van het zelf ter hand te nemen. Het is aan te bevelen zo’n adviseur sowieso bij een eerste keer uitgebreid te raadplegen. Op termijn moet het omgaan met onzekerheden inderdaad ‘een tweede natuur’ worden (indachtig het voorwoord van Morgan & Henrion, 1990: ‘To people trained in the physical sciences dealing with uncertainty is almost second nature’), zeker voor degenen die bij ECN-beleidsstudies uitvoeren. De praktijk bij RIVM (Van Asselt et al., 2001) leert dat het in het algemeen niet bij alleen zo’n eerste keer zal blijven. Om tevens niet al te zeer van een of twee adviseurs afhankelijk te zijn, verdient het ook aanbeveling om een wat grotere groep ‘onzekerheidsdeskundigen’ beschikbaar te hebben. Deze deskundigheid kan volgens ons bij de materiedeskundigen worden opgebouwd, maar daar moet wel voldoende tijd voor te worden genomen. Deze onzekerheidsdeskundigheid en het te ontwikkelen vakmanschap vraagt nu eenmaal tijd (1 tot 2 jaar). Een goede manier zou zijn om dit via een interne of externe cursus te starten, en vervolgens om via veel ‘training on the job’ de benodigde deskundigheid voor elkaar te krijgen.

6.3.6 Interne gebruikersgroep Monte Carlo/@Risk oprichten

Op dit moment zijn er meer dan 10 @Risk gebruikers bij ECN, bij 6 verschillende units en afdelingen. Behalve deze gebruikers zijn er nog meer personen geïnteresseerd om Monte Carlo methoden in combinatie met het @Risk pakket te gaan gebruiken. Om dit toenemend gebruik in goede banen te leiden en om op een efficiënte manier van elkaars ervaring gebruik te kunnen maken, is inmiddels een (informele) ECN gebruikersgroep ‘Platform MOnTe Carlo/@Risk Onzekerheidsanalyse’ (PLAMOCO) opgericht om op kwartaal basis ervaring uit te wisselen²³. Er is inmiddels een aparte ECN-Intranetsite en een ‘pmca-l’ e-mail nieuws/discussielijst. Het aantal leden is momenteel ruim 20.

6.3.7 Contacten blijven onderhouden met andere Nederlandse instituten

Gedurende het project zijn oude contacten weer opgepakt en nieuwe contacten gelegd. Binnen Nederland is er momenteel veel belangstelling voor het omgaan met onzekerheden, zowel aan de kant van de wetenschap als aan de kant van het beleid. Het onderwerp staat bij een aantal instituten prominent op de agenda, zowel bij de overheidsorganisaties als RIVM, CBS, CPB als

²² Op 22 februari 2001 is bij ECN een presentatie over de PRIMA aanpak door Marjolein van Asselt gehouden. Daarin heeft zij een eerste ‘quicksan’ van de reeds uitgevoerde NEV’s toegelicht. ECN zal vanaf begin 2002 de NEV studies en de recente ‘Referentieraming Energie en CO2’ als case inbrengen in het ‘Vernieuwingsimpuls’ project van ICIS.

²³ Inmiddels is er op 4 april 2001 een kick-off meeting geweest, en hebben in juni, september en december 2001 vervolgbijeenkomsten plaatsgevonden.

bij universiteiten. Van deze interessante ontwikkelingen zal ECN in ieder geval kennis van moeten blijven nemen.

Te noemen zijn in het bijzonder:

- Universiteit van Maastricht, International Institute for Integrative Studies (ICIS): Marjolein van Asselt, PRIMA aanpak (Van Asselt, 2000). ECN-BS heeft medewerking toegezegd om de Nationale Energie Verkenningen (NEV) als case in te brengen in een door NWO goedgekeurd onderzoeksvoorstel van ICIS binnen het programma Methodologie voor Toekomstverkenningen'. Bij ICIS loopt nog een promotieonderzoek op het gebied van scenario-methodologie.
- RIVM, zowel een aantal laboratoria waar ECN regelmatig mee samenwerkt als CIM (Peter Janssen), waar al geruime tijd onderzoek plaatsvindt naar goede methoden en hulpmiddelen (RIVM, 1999a, 2000, etc.). Recente en nieuwe ontwikkelingen bij RIVM zijn een quickscan-achtige aanpak voor het omgaan met onzekerheden, en een protocol voor onzekerheidsmanagement, speciaal voor milieu-assessment studies. Een Leidraad is inmiddels begin 2003 gereed gekomen.
- Universiteit Utrecht, Vakgroep Natuurwetenschap & Samenleving (NW&S). Jeroen van der Sluijs verricht al jaren onderzoek op het gebied (Van der Sluijs, 1997; Van der Sluijs et al., 2001; Risbey et al., 2001).
- Technische Universiteit Delft: (Cooke, 1991, 1997; Cooke & Goossens, 2000). Het betreft met name methoden en tools op het gebied van expertmeningen, en Monte Carlo onzekerheidsanalyse).
- Universiteit Twente, bijv. CTSM (Centrum voor Schone Technologie en Milieubeleid): lopend en recent promotie-onderzoek Simône Huijs.
- 'NL Onzekerheidsnetwerk'. Marjolein van Asselt heeft het initiatief genomen een onzekerheidsnetwerk te gaan starten. Het netwerk is begin 2003 van start gegaan.

Deze lijst is niet uitputtend maar biedt wel voldoende aanknopingspunten voor ECN om kennis op te doen, te vertalen naar de ECN-praktijk, en bestaande contacten te blijven onderhouden en uit te bouwen. Deze nationale contacten bieden voldoende houvast om ook de toekomstige internationale ontwikkelingen te volgen.

In het bijzonder is de hele problematiek van het versterkte broeikaseffect, het klimaatprobleem en de grote onzekerheden daarin een drijvende kracht om de kennis op dit gebied te monitoren. Het IPCC heeft op dat terrein een schat aan informatie bijeengebracht. Ook specifiek op het terrein van het omgaan met onzekerheden zijn er goede bronnen van informatie (IPCC, 2000a, 2000b; Moss & Schneider, 2000).

Samengevat kan worden gesteld dat er nog veel onderzoeksvragen liggen en veel stappen zijn te doen. De eerste stappen van ECN op weg naar het bewust en systematisch omgaan met onzekerheden zijn in dit rapport beschreven. Het gebruik van de richtlijn en het vervolg geven aan de aanbevelingen in deze laatste Paragraaf zijn de volgende stappen op weg naar onzekerheidsmanagement.

EPILOOG

Dit rapport beschrijft ruwweg de stand van zaken aan het eind van 2001 en het begin van 2002. Sindsdien hebben er zowel intern als externe ontwikkelingen plaatsgevonden, die op zich een plaats hadden kunnen vinden in een update van dit rapport. Om de simpele reden van gebrek aan tijd is besloten het rapport daarvoor niet aan te passen. Wel willen wij hier kort een lijst geven van relevante ontwikkelingen sinds begin 2002:

1. Het in 2003 van start gaan van het Onzekerheidsnetwerk²⁴.
2. Het beschikbaar komen van de RIVM/MNP-Leidraad omgaan met onzekerheden (RIVM, 2003).

Een nieuwe Referentieraming 2003-2020, waarbij ECN en RIVM nauwgezet zullen samenwerken en tevens op het gebied van het omgaan met onzekerheden. Daarbij is het een uitdaging om de 'ECN-richtlijn' met de RIVM-Leidraad op een pragmatische en synergetische manier te gebruiken om voor de genoemde studie tot een voor elke partij (ECN, RIVM, opdrachtgevers EZ en VROM, begeleidingscommissie) acceptabele aanpak voor de onzekerheden te komen.

²⁴ <http://www.onzekerheidsnetwerk.nl/>

REFERENTIES

Vooraf

Dit rapport was oorspronkelijk alleen bedoeld voor intern ECN gebruik. Het bevat daarom nog steeds referenties naar interne ECN (werk)documenten, al of niet vertrouwelijk. Deze documenten zijn via de eindmarkering 'INTERN' aangegeven. Sommige van deze documenten zijn mogelijk wel beschikbaar te maken voor personen buiten ECN. Gelieve de auteur te benaderen indien zulke interesse bestaat.

Alcamo, J., E. Kreileman, R. Leemans (Eds.) (1998): *Global Change Scenarios of the 21st Century - Results from the IMAGE 2.1 Model*. Elsevier Science, London.

Amstel, A. van, et al. (eds.) (2000): *Monitoring of Greenhouse Gases in the Netherlands: Uncertainty and Priorities for Improvement*, Proceedings of a National Workshop, Bilthoven, The Netherlands, 1 September 1999, WIMEK/RIVM report 773201 003, July 2000.

Asselt, M.B.A. van (2000): *Perspectives on Uncertainty and Risk: The PRIMA approach to decision support*, Kluwer Academics, Dordrecht, the Netherlands.

Asselt, M.B.A. van, R. Langendonck, F. van Asten, A. van der Giessen, P. Janssen, P. Heuberger, I. Geuskens (2001): *Uncertainty and RIVM's Environmental Outlooks: Documenting a learning process*, RIVM Rapport 550002001, RIVM, Bilthoven.

Asten, Frank van (2000): *Onzekerheid in de praktijk - Een toepassing van de PRIMA-aanpak op Milieuverkenning 5*, afstudeerverslag Universiteit Maastricht, ICIS, januari 2000.

Bäverfäst, U. et al. (1993): *BIOMOVs II: Guidelines for Uncertainty Analysis*, Technical report No. 1, Stockholm, 1993.

Beeldman, M., Daniëls, B.W., Kroon, P., de Noord, M., Seebregts, A.J., Rijkers, F.A.M., Van den Wijngaart, R., Engelen, R.F.J.M., Folkert, R.J.M., Oude Lohuis, J.A., Slootweg, J., Stein, D., Wilting, H.C. (2000): *Definitiestudie kennisinstrument voor energie en emissies. Verkenning naar de opbouw van een gezamenlijke kennisstructuur voor RIVM en ECN*, ECN/RIVM rapport ECN-RIVM-00-002.

Bohn, M.P., Wheeler, T.A., Parry, G.W.: *Approaches to Uncertainty Analysis in Probabilistic Risk Assessment*, Sandia National Laboratories, NUREG/CR-4836, SAND87-0871, December 1987.

Borg, N. van der (1998): Proposed procedure for the evaluation of uncertainties in load measurements on wind turbines, ECN-C--98-006, ECN, Petten.
<http://www.ecn.nl/library/reports/1998/c98006.html>

Burmaster, D.E., and Anderson, P.D. (1994): *Principles of Good Practice for the Use of Monte Carlo Techniques in Human Health and Ecological Risk Assessments*, Risk Analysis, Vol. 14, No. 4, 1994.

Cooke, R.M. (ed.) (1997): *Proceedings ESRA Technical Committee Uncertainty Modelling, Report on the Benchmark Workshop Uncertainty/Sensitivity Analysis Codes*, 24-25 March 1997, Delft University of Technology, The Netherlands.

Cooke, R.M., L.H.J. Goossens (2000): *Procedures Guide for Structured Expert Judgment*, European Commission, Directorate-General for Research, EUR 18220 EN, Brussels, 2000.

- Cooke, Roger M. (1991): *Experts in Uncertainty – Opinion and Subjective Probability in Science*, Oxford University Press, Oxford.
- Daniëls, B.W. (2000): Onzekerheden in NEV-modellen en SAVE Utiliteit, intern ECN BS werkdokument, 2000. (INTERN).
- Daniëls, B.W., Seebregts, A.J. (2000): *BS-quickscan: Inventarisatie van de onzekerheden in het BS-onderzoek*, intern ECN BS werkdokument, augustus 2000, ook te vinden op: <http://ecnfac.ecn.nl/local/project/onzeke/bsq/bsq-resu.html> (INTERN).
- EPA, Office of Research and Development (1996): *Summary Report for the Workshop on Monte Carlo Analysis*, Proc. Workshop Risk Assessment Forum, New York, May 14-16, 1996, EPA/630/R-96/010, Washington DC 20460.
- Friedman, S.M., S. Dunwoody, C.L. Rogers (Eds). (1999): *Communicating Uncertainty – Media Coverage of New and Controversial Science*, Lawrence Erlbaum Associates Inc., Mahwah, NJ.
- Funtowicz, S.O., and J.R. Ravetz (1990): *Uncertainty and Quality in Science for Policy*, Kluwer, Dordrecht, the Netherlands.
- Gielen, D.J., A.J.M. Bos, M.A.P.C. de Feber, T. Gerlagh (2000): *Biomass for Greenhouse Gas Emission Reduction - Task 8: Optimal emission reduction strategies for Western Europe*, ECN report ECN-C--00-001, Petten, the Netherlands.
- Goossens, L.J.H., Ehrhardt, J., Jones, J.A., Cooke, R.M. (1997): *Procedure Document for Uncertainty Analysis of the Accident Consequence Code COSYMA*, Delft University of Technology, January 1997 (prepared under contract of EC DG XII, F14PCT960006).
- Gorham, E.D., et al. (1993): *Evaluation of Severe Accident Risks: Methodology for the Containment, Source Term, Consequence, and Risk Integration Analyses*, NUREG/CR-4551, SAND86-1309, Vol. 1, Rev. 1, AN, XX, December 1993. (Ch. 9: Characterization and Combination of Uncertainties, Page 9.1-9.19)
- Granger Morgan, M., Henrion, M. (1990): *Uncertainty: A guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis*, Cambridge University Press.
- International Atomic Energy Agency (1989): *Evaluating the Reliability of Predictions Made Using Environmental Transfer Models*, Safety Series No. 100, Vienna, 1989.
- International Organization for Standardization (1995): *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. ISBN 92-67-10188-9.
- IPCC (1996): *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Vol. 1, Reporting Instructions, Annex 1: Managing Uncertainties*, Geneva. (Also from: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs4.htm>)
- IPCC (2000a): *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, Geneva, May 2000, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/gp/report.htm>
- IPCC (2000b): *Special Report on Emission Scenarios - Summary for Policymakers*, A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, http://www.ipcc.ch/pub/SPM_SRES.pdf
- Janssen, P., Heuberger, P., Sanders, R. (1992): *UNCSAM 1.1 Manual*, RIVM Report nr. 959101004, Bilthoven, The Netherlands, 1992.

- Janssen, P.H.M., Slob, W., Rotmans, J. (1990): *Gevoeligheidsanalyse en Onzekerheidsanalyse: een inventarisatie van Ideeën, Methoden en Technieken*, RIVM Report nr. 958805001, Bilthoven, The Netherlands, July 1990 (in Dutch, 'Sensitivity Analysis and Uncertainty Analysis: An Inventory of Ideas, Methods, and Techniques').
- Klein, van der C.A.M. (1998): *Kwaliteit – parameters (Procedure 2.3, onderdeel 2)*, Notitie ECN-BCM KWAL.98-PC04, 26 januari 1998. (INTERN).
- Laag P.C. van der, Dijkstra J.W., van der Woude R.R., Polle A.N. (1998): *Modellering van de met Hoogovengas gestookte 144 MWe-STEG-WKK Centrale IJmond-1*. ECN rapport ECN-CX--98-063 (vertrouwelijk). Petten, september 1998. (INTERN).
- Laag, P.C. van der (2000a): Besprekingsverslag 'omgaan met onzekerheden' met Albert Krähe, Notitie 4 oktober 2000, 8.25026/pc3. (INTERN).
- Laag, P.C. van der (2000b): *Rapportage SF-case: Clusteranalyse micro-WK*, Notitie 8.25026 / PC 4, 8 december 2000 (vertrouwelijk) (INTERN).
- Laag, P.C. van der (2000c): *'Beantwoording evaluatievragen Omgaan met onzekerheden'*, Notitie 8.25026-PC 1, 18 april 2000. (INTERN).
- Laag, P.C. van der, Peppink G. (2000): *Clusteranalyse: micro-WK*. Memo 8.27199-GR 1. Petten, november 2000 (INTERN).
- Matheson, James E., Michael M. Menke and Stephen L. Derby (1989): Managing R&D Portfolio's for Improved Profitability and Productivity, Strategic Decisions Group. *The Journal of Science Policy and Research Management*, Vol. 4 (No. 4), 400-412 (1989), Tokyo, Japan.
- Moss, R.H. and Schneider, S.H. (2000): Uncertainties in the IPCC TAR: Recommendations to Lead Authors for More Consistent Assessment and reporting, in: *The Third Assessment Report - Cross Cutting Issues Guidance Papers*, Uncertainties, pp. 33-51, IPCC supporting material, Geneva, Switzerland.
- NCRP (1996): *A Guide for Uncertainty Analysis in Dose and Risk Assessments Related to Environmental Contamination*, NCRP Commentary No. 14, Bethesda, May 10, 1996.
- Palisade Corporation (2000): *Guide to Using @RISK - Risk Analysis and Simulation Add-in for Microsoft Excel*, Version 4, March 2000.
- Polle, A.N. (1996): *Sensitivity and Uncertainty Analysis Applied to a Repository in Rock Salt*, ECN-I--96-0243, ECN, Petten.
- Prij, J. et al. (1994): *PROSA, PRObabilistic Safety Assessment - Nederlandse samenvatting van het ECN/RIVM/RGD-eindrapport*, ECN-I--94-026, ECN, Petten.
- Rademakers et al. (1993-199?): Verschillende voorbeelden van risico- en betrouwbaarheidsanalyses voor windturbines.
- Reliability Engineering & System Safety, 54 (1996), *Special Issue On: Treatment of Aleatory and Epistemic Uncertainty*, Elseviers Science Limited, 91-257, November/December 1996.
- Risbey, J., J. van der Sluijs, J. Ravetz, P. Janssen (2001): *A Checklist for Quality Assistance in Environmental Modeling*, Utrecht University, Report No. NW&S-E-2001-11, Utrecht.

- RIVM (1999a): *Meten, rekenen en onzekerheden - De werkwijze van het RIVM-Milieuonderzoek*, RIVM rapport 408129005, RIVM, Bilthoven.
- RIVM (1999b): *Review RIVM-instrumentarium Milieubalans 1999*, (zie o.a. review Turkenburg & van der Sluijs, NW&S, 4. De behandeling van onzekerheden), RIVM rapport 25170137, RIVM, Bilthoven.
- RIVM/MNP (2003). *Leidraad voor het omgaan met onzekerheden*, RIVM, Bilthoven.
- RMNO (1999): *Geïntegreerde modellen: brug tussen onderzoek en beleid?* Verslag van een Studieconferentie d.d. 29 maart 1999, Raad voor het Milieu- en NatuurOnderzoek, RMNO-nummer 139.
- RMNO (2000): *Willens en wetens - De rollen van kennis over milieu en natuur in beleidsprocessen*, Uitgeverij Lemma, ISBN 90 5189 867 3.0
- Rotmans (1999): *Integrated assessment models: uncertainty, quality and use*. In: *Geïntegreerde modellen: brug tussen onderzoek en beleid?* Verslag van een Studieconferentie d.d. 29 maart 1999, Raad voor het Milieu- en NatuurOnderzoek, RMNO-nummer 139, p. 91-120.
- Saris, F.W. (2000): 15. Notitie van F.W. Saris aan J.J.C. Bruggink, Betreft: ENGINE-projecten 2000, DIR 00.057, 9 maart 2000. (INTERN).
- Seebregts, A.J. (1997): *A Critical Review of Existing Guidelines for Uncertainty Analysis*, in: *Proceedings ESRA Technical Committee Uncertainty Modelling, Report on the Benchmark Workshop Uncertainty/Sensitivity Analysis Codes* (Ed.: R.M. Cooke), 24-25 March 1997, Delft University of Technology, The Netherlands. (ook als ECN-R--97-004).
- Seebregts, A.J., Daniëls, B.W. (2000a): *Omgaan met onzekerheden, Intern ECN BS Werkdocument 1: Literatuurstudie, raamwerk voor evaluatie, stellingen* (INTERN).
- Seebregts, A.J., Daniëls, B.W. (2000b): *De ECN-praktijk: Checklist met vragen hoe in uitgevoerde studies en rapportages met onzekerheden is omgegaan - Aanzet tot inventarisatie van specifieke bronnen van onzekerheid*, intern ECN BS werkdocument, versie 29 maart 2000 (INTERN).
- Seebregts, A.J., G. Goldstein, K. Smekens (2002), 'Energy/Environmental Modelling Using the MARKAL Family of Models', in: Chamoni, P. et al. (Eds), *Operations Research Proceedings 2001 - Selected Papers of the International Conference on Operations Research (OR2001)*, Duisburg, September 3-5, 2001, Springer Verlag, Berlin, ISBN 3-540-43344-9, 2002.
Ook via: <http://www.ecn.nl/library/reports/2001/rx01039.html>
- Seebregts, A.J., J.R. Ybema, A. Gijsen, P. Janssen, J. Olivier, R. Thomas, R. van den Wijngaart (2002): *Onzekerheden: achtergrondnotitie bij Referentieraming broeikasgasemissies 2001-2010*, ECN/RIVM rapport (in voorbereiding).
- Sluijs, J.P. van der (1997): *Anchoring amid uncertainty. On the management of uncertainties in risk assessment of anthropogenic climate change*. PhD Thesis, Utrecht University, The Netherlands.
- Sluijs, J.P. van der, J. Potting, J. Risbey, D. van Vuuren, S. Corral, J. Ravetz (2001): *Uncertainty Assessment of the IMAGE/TIMER B1 CO₂ Emissions Scenario, using the NUSAP Method*, Department of Science Technology and Society, Utrecht University, The Netherlands.
- Spoelstra, S. (2000a): *Meetpraktijk EE*, projectnotitie, 17 juli 2000. (INTERN).

- Spoelstra, S. (2000b): *Techno-economische beoordeling van een foto-elektrochemische reactor*, ECN-I--01-001, ECN, Petten, december 2000.
- USNRC (U.S. Nuclear Regulatory Commission) PRA Working Group (1994): *A Review of NRC Staff Uses of Probabilistic Risk Assessment*, NUREG-1489, USNRC, Washington, DC 20555-0001, March 1994. (Speciaal: Appendix C. Guidance on PRA Terms and Methods: C.2 Probability and Statistics (Page C-15 to C-39); C.5 Expert Judgment (Page C-129 to C-148); C.6 Uncertainty and Sensitivity Analyses (Page C-149 to C-181)).
- Vose D. (2000): *Risk Analysis – A quantitative guide*, 2nd edition. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester.
- Wynne, B. (1992): *Uncertainty and Environmental Learning - Reconceiving Science and Policy in the Preventative Paradigm*. Global Environmental Change 2 (2), June 1992, pp. 111-127.
- Ybema, J.R. et al. (1999): *De bijdrage van duurzame energie in Nederland tot 2020*. ECN-C--99-053. ECN, Petten, the Netherlands.
- Ybema, J.R., A.J.M. Bos, A..J. Seebregts (1998): Incorporating the long term risk for deep emission reduction in near term CO₂ mitigation strategies, in: *Journal of hazardous materials*, Vol. 61 (1998); p. 217-227.
- Ybema, J.R., Boonekamp, P.G.M., Smit, J.T.J. (1995): *Including Climate Changes in Energy Investment Decisions*, ECN-C--95-073, Petten, August 1995.
- Ybema, J.R.; Dril, A.W.N. van; Daniëls, B.W.; Harmsen, R.; Wijngaart, R. van den (2002): *Referentieraming energie en CO₂ 2001-2010*, ECN-C-02--010, ECN/RIVM, Petten.

BIJLAGE A MCA: MONTE CARLO ONZEKERHEIDSANALYSE

De volgende principes zijn specifiek bedoeld voor Monte Carlo onzekerheidsanalyse, en zijn gebaseerd op.

Burmaster, D.E., and Anderson, P.D.: *Principles of Good Practice for the Use of Monte Carlo Techniques in Human Health and Ecological Risk Assessments*, Risk Analysis, Vol. 14, No. 4, 1994.

Eigen ervaring (o.a. van Ad Seebregts, Peter van der Laag, en Gerard Peppink)

Granger Morgan, M., Henrion, M.: *Uncertainty: A guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis*, Cambridge University Press, 1990.

Janssen, P.H.M., Slob, W., Rotmans, J.: *Gevoeligheidsanalyse en Onzekerheidsanalyse: een inventarisatie van Ideeën, Methoden en Technieken*, RIVM Report nr. 958805001, Bilthoven, The Netherlands, July 1990 (in Dutch, 'Sensitivity Analysis and Uncertainty Analysis: An Inventory of Ideas, Methods, and Techniques').

Vose, D. (2000): *Risk analysis – A quantitative guide*, second edition, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester.

Een 'vertaling' van de 14 principes uit (Burmaster & Anderson, 1994) staat hieronder. Opgemerkt zij dat deze principes:

- Niet alles dekken.
- Modelstructuur onzekerheid en het effect van afgekapte verdelingen niet noemen.
- Niet altijd even zinvol zijn. Ook deze principes dienen, net als de richtlijn, flexibel te worden gebruikt. Het gebruik en de invulling hangt af van het type studie, de complexiteit van het gebruikte model, de beschikbaarheid van data, etc.

De 14 principes:

1. Geef de complete modelstructuur en data
2. Bereken een (deterministisch bepaalde) puntwaarde
3. Presenteer uni- of multivariate gevoeligheidsanalyses (GA's) als filter voor kandidaatparameters in de MCA; geef aan welke parameters niet in de GA meegenomen zijn, en de reden waarom
4. Perk het aantal parameters in op basis van beschikbare middelen en tijd en veronderstelde impact op eindpunten
5. Geef gedetailleerde informatie over de input verdelingen: (i) figuur kansverdeling; (ii) tabel met minimum, 5-percentiel, gemiddelde, mediaan, 95-percentiel, maximum; (iii) onderbouwing van deze verdeling via empirische data, literatuur, expertmening
6. Laat zien welk deel de 'natuurlijke' variabiliteit bevat en welk deel de 'gebrek aan kennis' onzekerheid; de laatste is mogelijk wel te reduceren door meer onderzoek, metingen etc. Opgemerkt zij dat de literatuur talloze verschillende terminologie hanteert voor dit onderscheid, zie bijvoorbeeld (Seebregts, 1997). Wij zullen voorlopig bovenstaande begrippen hanteren.
7. Gebruik empirische data voor de keuze van kansverdelingen, voor zover mogelijk; anders is een - gedocumenteerde - vorm van elicitering van expertmeningen een alternatief.
8. Bespreek de gebruikte methoden om van data tot verdelingen te komen.
9. Bespreek 'sterke' afhankelijkheden tussen input parameters: sterk is een correlatiecoëfficiënt ≥ 0.6 en de impact op de eindpunten.

10. Geef voor elk van de verdelingen van de eindpunten gedetailleerde grafische informatie in een appendix.
11. Voer een probabilistische gevoeligheidsanalyse uit om de effecten van ‘natuurlijke’ variabiliteit van ‘gebrek aan kennis’ onzekerheid te kunnen onderscheiden’.
12. Onderzoek de stabiliteit van de centrale momenten van de output verdeling voor: het aantal simulaties, de vorm van de input verdelingen (met name het effect van de staarten van de verdelingen), afhankelijkheden.
13. Geef aan welke random generator is gebruikt (met name van belang bij een groot aantal simulaties; er kan dan periodiciteit optreden; voor een beperkt aantal toepassingen kan dat funest zijn bijvoorbeeld voor het bepalen van faalkansen uit het aantal ‘hits’).
14. Bespreek de beperkingen in de methoden en in de resultaten (zie ook Stap 3.4 van de richtlijn).

Tabel A.1 Voorbeelden van Monte Carlo analyses bij ECN (selectie t/m 2000)

Referentie	Toepassingsgebied
Blok, B.M.: <i>The Mobilisation Model and Parameter Sensitivity - For subrosion and diapirism of a salt repository</i> , ECN-I--93-049, Petten, December 1993.	Opslag radioactief afval
Prij, J. et al: <i>PROSA, PRObabilistic Safety Assessment</i> - Nederlandse samenvatting van het ECN/RIVM/RGD-eindrapport, ECN-I--94-026, Petten, mei 1994	Opslag radioactief afval
J. Marivoet, P. Escalier des Orres, J. M. Gomit, J. Wibin, J. Prij and K. H. Marten: <i>The EVEREST project. Sensitivity analysis of geological disposal systems, in Proc. SAMO'95, Symposium on Theory and Applications of Sensitivity Analysis of Model Output in Computer Simulation (SAMO)</i> , EUR report 16331, Luxembourg, 1996.	Opslag radioactief afval
A.N. Polle: <i>Sensitivity and Uncertainty Analysis Applied to a Repository in Rock Salt</i> , ECN-I--96-0243, Petten, December 1996.	Opslag radioactief afval
Ruyter van Steveninck, J. de: <i>Toepassing van simulatietechnieken in de probabilistische breukmechanica</i> , ECN-I--94-060, maart 1995.	Probabilistische breukmechanica (o.a. windturbines)
Seebregts, A.J., Duncan, J.D.: <i>Application of the SBWR PRA to Respond to Risk-Based Regulation Issues for Advanced Reactors</i> , In: Proceedings of the Int. Conf. on Probabilistic Safety Assessment Methodology and Applications PSA'95, November 26-30, 1995, Seoul, Korea. (ECN-RX--95-040, October 1995)	Risicoanalyse kernreactorontwerp
Seebregts, A.J., Schoonakker, H.A.: <i>PSA-Based Optimization of Technical Specifications for the Borssele Nuclear Power Plant</i> , In: Cacciabue, P.C., Papazoglou, I.A. (Eds.): <i>Probabilistic Safety Assessment and Management '96, ES-REL'96 - PSAM-III</i> , June 24-28, 1996, Crete, Greece, pp. 32-38. (ECN-RX--96-001, January 1996)	Risicoanalyse kerncentrale
Götz, W.W.J., Seebregts, A.J., Bedford, T.J.: <i>Influence Diagrams and Decision Tree Modelling for Severe Accident Management</i> , In: Proceedings PSA'96 Probabilistic Safety Assessment - Moving Towards Risk Based Regulation, International Topical Meeting ANS, Park City, Utah, September 29 - October 3, 1996. (ECN-RX--96-018, May 1996)	Ongevalsbeheersing kerncentrales
Borg, N. van der (1998): <i>Proposed procedure for the evaluation of uncertainties in load measurements on wind turbines</i> , ECN-C--98-006, ECN, Petten.	Belastingsmetingen windturbines
Van der Laag P.C., Dijkstra J.W., van der Woude R.R., Polle A.N.: <i>Modelling van de met Hoogovengas gestookte 144 MWe-STEG-WKK Centrale IJmond-1</i> . ECN rapport ECN-CX--98-063. Petten, september 1998.	Proces- en systeemanalyse WKK-installatie
DA-pilot, <i>decision analysis bij wijze van proef toegepast op twee ENGINE-projecten</i> , G. Peppink, Sep N.V. PO/EMT 99-002, 11 januari 1999.	Decision analysis R&D portfolio
Spoelstra, S. (2000): <i>Techno-economische beoordeling van een foto-elektrochemische reactor</i> , ECN-I--01-001, ECN, Petten, december 2000.	Techno-economische evaluatie

BIJLAGE B EM: GEBRUIK VAN EXPERTMENINGEN

Expertmeningen worden vaak (soms onbewust) al gebruikt in kwalitatieve zin bij het maken van keuzes en veronderstellingen. Bij gebrek aan andere bronnen van data, hetzij via metingen hetzij via literatuur, zijn expertschattingen van kwantitatieve grootheden vaak de enige optie. Op dit gebied is er een breed scala aan protocollen en methoden, zie bijv. (Morgan & Henrion, 1990), (Cooke, 1991), (USNRC, 1994), (Cooke & Goossens, 2000), (IPCC, 2000a), en (Vose, 2000)

B.1 Belang van onderbouwing en documentatie

Een belangrijk aspect bij het eliciteren van dergelijke expertmeningen is dat zowel de procedure (protocol) als de resultaten helder en goed worden gedocumenteerd: wat was de procedure, wie waren de experts, wat was gevraagd, wat is er uit gekomen, niet alleen sec getalsmatig maar ook de onderbouwing van ieders mening? Duidelijk dient te zijn wat precies door expertmeningen is bepaald, of het één of meerdere experts betrof, of het alleen interne of ook externe experts betrof. Zo mogelijk dienen, zeker achteraf, expertmeningen niet anoniem te zijn. ‘Bias’ dient zo veel mogelijk te worden voorkomen.

In de nucleaire risico-analyses is het internationaal niet alleen goede praktijk, maar veelal voorgeschreven dat dit soort meningen, leidend tot data voor allerlei analyses, helder, traceerbaar en liefst ook reproduceerbaar worden gedocumenteerd. Dat hoeft niet perse in openbare rapporten terug zijn te vinden, maar wel in vertrouwelijke rapportages bijvoorbeeld voor de vergunning-verlener.

Aan de studies die we bij ECN verrichten, hoeven we dergelijke zware eisen niet op te leggen, maar het volgen van deze strikte procedures in een wat beperktere omvang kan de kwaliteit van ons werk doen toenemen. Het vastleggen van de eerdere ervaring leidt er ook toe dat bij volgende studies men sneller en efficiënter kan werken. In die zin, is de tijd al vrij snel terugverdiend.

B.2 Niet alleen schatten van inputs maar ook van ‘resultaten’

Expertmeningen kunnen niet alleen kwantitatieve schattingen over input waarden betreffen, zoals bijvoorbeeld een range of een (subjectieve) kansverdeling, maar ook een schatting van de onzekerheid (een range, spreiding) in een modelresultaat, als het bepalen van zo’n onzekerheid niet op andere manieren mogelijk is. Bijvoorbeeld een range op basis van meer dan één scenario of meerdere gevoeligheidsanalyses.

Vragen aan PLAMOCO-ers

Als voorbereiding op de 4^e bijeenkomst op woensdag 12 december 2001, staat hieronder een aantal vragen over het gebruik van expertmeningen. Een 10-tal ECN-ers hebben deze vragen beantwoord. Het betreft in de meeste gevallen personen die zelf al actief met expertmeningen hebben gewerkt in studies met Monte Carlo onzekerheidsanalyses.

1. Gebruik je expertmeningen voor het kwalitatieve deel van je model/studie/analyse?
 - nooit
 - soms
 - vaak
 - altijd
2. Gebruik je expertmeningen voor het kwantitatieve deel van je model/studie/analyse?
 - nooit
 - soms
 - vaak
 - altijd
3. **Wanneer ga je over tot het gebruik van expertmeningen?**
 - gebrek aan metingen/statistiek
 - gebrek aan andere literatuurbronnen
 - om meer draagvlak te creëren (met name bij het inschakelen van externe experts)
 - anders, namelijk: ...(vul in)
4. Wat voor experts betreft het?
 - intern
 - extern
5. Hoeveel experts betrek je ongeveer per afgebakende studie/analyse?
6. Als je voor een bepaalde schatting of een bepaalde kansverdeling meer dan 1 expert tot je beschikking hebt, hoe combineer je dan die verschillende meningen tot 1 schatting of kansverdeling?
 - via consensus
 - ‘alles optellen en uitmiddelen’
 - andere formele mathematische methoden voor het ‘poolen’ van expert judgements, zoals ...(vul in)
 - anders, namelijk ... (vul in)
7. Ben je op de hoogte van verschillende procedures/protocollen voor het gebruik van expertmeningen?
 - nee
 - ja

Indien ja, hieronder een lijstje met mogelijkheden, gaarne ook aangeven of je met de gebruikte procedures uit de voeten kunt:

 - (Morgan & Henrion, 1990) bijv. het daarin beschreven Stanford/SRI protocol
 - (Cooke, 1991)
 - (USNRC, 1994)
 - (Cooke and Goossens, 2000)
 - (IPCC, 2000a) noemt o.a. ook Stanford/SRI protocol
 - (Vose, 2000) en cursus @Risk
 - andere of eigen procedures, namelijk ... (vul in)

8. Heb je behoefte aan meer concrete tips en trucs als het gaat over het gebruiken van expertmeningen ten behoeve van Monte Carlo onzekerheidsanalyses?
- ja, namelijk ook wat betreft de volgende gebieden ... (vul in)
 - nee

Resultaten PLAMOCO-4 vragenlijst

10	Totaal aantal respondenten	%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Expertmeningen, kwalitatief											
	Nooit	10%						1				
	Soms	70%		1	1	1	1		1	1	1	
	Vaak	0%										
	Altijd	20%	1									1
2	Expertmeningen, kwantitatief											
	Nooit	0%										
	Soms	50%		1		1		1		1	1	
	Vaak	20%			1		1					
	Altijd	30%	1						1			1
3	Wanneer?											
	Gebrek aan metingen en/of statistiek	70%	1		1	1		1		1	1	1
	Gebrek aan andere literatuurbronnen	70%	1		1		1	1		1	1	1
	Voor meer draagvlak	60%		1	1		1		1		1	1
	Anders	10%										1
4	Wat voor experts?											
	Intern	90%	1	1	1	1	1	1	1	1		1
	Extern	20%									1	1
5	Hoeveel experts per studie/analyse											
	Aantal		2 a 3	2 tot 5	4 a 5	2	1 a 3	3	2 a 3	0 tot 2	1 a 2	3 tot 5
6	Combineren van verschillende expertmeningen ('pooling')											
	Consensus	70%	1	1		1	1			1	1	1
	Optellen+middelen	30%				1		1				1
	Andere formele mathematische methoden	0%										
	Anders, nl. (*)	30%	1		1				1			
7	Bekend met protocollen/procedures gebruik expertmeningen?											
	Nee	50%				1		1	1	1	1	
	Ja (**)	50%	1	1	1		1					1
8	Behoeft aan concrete tips en trucs?											
	Nee	30%			1					1	1	
	Ja (***)	70%	1	1		1	1	1	1			1

(*) 6 anders

Probabilistische optelling met discrete functie, met weegfactor (1)

Weegfactoren (3)

Indien geen consensus, dan brede range (7)

(**) Ja, procedures

SDG plus Vose (@Risk) (1)

@Risk (2)

Vose (@Risk) (3, 5)

(***) 8 behoefte

Juiste kansverdeling (1)

Wegen van expertmeningen (5)

Hoe consistente resultaten te krijgen? (7)

Op 1 handzaam A4-debelangrijkste tips (10)

B.3 Referenties Bijlage B

- Cooke, Roger M. (1991): *Experts in Uncertainty – Opinion and Subjective Probability in Science*, Oxford University Press, Oxford.
- Cooke, R.M., L.H.J. Goossens (2000): *Procedures Guide for Structured Expert Judgment*, European Commission, Directorate-General for Research, EUR 18220 EN, Brussels, 2000.
- Granger Morgan, M., Henrion, M. (1990): *Uncertainty: A guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis*, Cambridge University Press, 1990.
- IPCC (2000a): *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, Geneva, May 2000, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/gp/report.htm>
- RIVM (1999b): *Review RIVM-instrumentarium Milieubalans 1999*, (zie o.a. review Turkenburg & van der Sluijs, NW&S, 4. De behandeling van onzekerheden), RIVM rapport 25170137, RIVM, Bilthoven.
- USNRC (U.S. Nuclear Regulatory Commission) PRA Working Group (1994): *A Review of NRC Staff Uses of Probabilistic Risk Assessment*, NUREG-1489, USNRC, Washington, DC 20555-0001, March 1994.
Appendix C. Guidance on PRA Terms and Methods: C.2 Probability and Statistics (Page C-15 to C-39); C.5 Expert Judgment (Page C-129 to C-148); C.6 Uncertainty and Sensitivity Analyses (Page C-149 to C-181)
- Vose D. (2000): *Risk Analysis – A quantitative guide*, 2nd edition. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester.

BIJLAGE C VRAGEN BS-QUICKSCAN

Hieronder een kopie van de betreffende pagina op ECN-Intranet (<http://ecnfac.ecn.nl/local/project/onzekeer/bs-qs.html>).

Inmiddels (d.d. 3 juli) afgesloten: resultaten zijn nu beschikbaar

Doel van deze BS-quickscan

Doel van onderstaande enquête is om op een snelle en eenvoudige wijze een beeld te krijgen van:

1. de huidige ECN-praktijk wat betreft het omgaan met onzekerheden in beleidsgerichte projecten (vragen 1 t/m 5);
2. de behoefte aan richtlijnen en hulpmiddelen om beter met onzekerheden om te gaan (vraag 6);
3. een ruwe inventarisatie van onzekerheden, relevant voor BS-studies (vraag 7); een aantal van jullie zal in een later stadium wellicht nog in detail worden gevraagd voor een completer beeld.

Onzekerheden kunnen bijvoorbeeld betrekking hebben op data die men gebruikt, computermodellen (indien die gebruikt worden), bepaalde veronderstellingen van de onderzoeker, de effectiviteit van bestaand of voorgesteld beleid, nog onbekend beleid in de toekomst.

De focus is (vooralsnog) op beleidsgerichte projecten en onderzoek. De inschatting is dat de resultaten van de quickscan ook bruikbaar zijn voor de meer wetenschappelijk georiënteerde projecten.

De ervaring leert dat het invullen ca. 5 minuten in beslag neemt, waarbij met name de antwoorden op vraag 7 de meeste tijd vergen.

De resultaten van de enquête zullen ‘anoniem’ worden gepresenteerd, dus jullie privacy zal worden beschermd.

Naam:

E-mail:

Unit:

Groep:

1. Zijn de resultaten en conclusies van je onderzoek bedoeld als informatie voor energie- en milieubeleidsmakers?

(dit kan zijn: adviserend, evaluerend, beoordelend)

ja

Welke instantie(s) betreft het?

(Bijv. EZ, VROM, Provincies, Gemeenten, E-bedrijven, Industrie, ECN zelf, EU, andere internationale organisaties)

nee

2. Besteed je expliciet aandacht aan onzekerheden in je projecten?

nooit

zelden	zelden
af_en_toe	af en toe
meestal	meestal
altijd	(vrijwel) altijd

3. Besteed je aandacht aan onzekerheden in je rapportage?

a. in je projectvoorstel/projectplan? (dus aan het begin van het project, evt. in overleg met de opdrachtgever)

nooit	nooit
zelden	zelden
af_en_toe	af en toe
meestal	meestal
altijd	(vrijwel) altijd

b. in je eindrapport?

nooit	nooit
zelden	zelden
af_en_toe	af en toe
meestal	meestal
altijd	(vrijwel) altijd

4. Welke specifieke methode(n) gebruik je nu om onzekerheden te identificeren en/of te analyseren?

Voor een korte omschrijving van ieder van de methoden, zie [Terminologie](#) (Nog niet beschikbaar)

Vink één of meer opties aan.

☐	ja	Niet van toepassing
☐	ja	Collegiale toetsing (intern review etc.)
☐	ja	Expertmeningen
☐	ja	Extern review (peer review, klankbordgroepen, etc.)
☐	ja	Gevoeligheidsanalyse
☐	ja	Monte Carlo analyse
☐	ja	Quality Assurance methoden (bijv. ISO-procedures, werkinstructies)
☐	ja	Scenario-analyse
☐	ja	Validatie d.m.v. metingen en/of benchmarks/comparisons
☐	ja	Verificatie van de software-implementatie (bijv. is de mathematische modelstructuur juist geïmplementeerd?)
☐	ja	Geen specifieke methode

Andere, niet genoemde methoden, namelijk:

5. Hoe staan je opdrachtgevers in het algemeen tegenover meer informatie over onzekerheden?

niet geïnteresseerd in onzekerheden

soms geïnteresseerd, vraagt hier zelfs om

soms geïnteresseerd, maar pas nadat ECN het heeft aangekaart

(vrijwel) altijd geïnteresseerd, vraagt hier zelfs om

(vrijwel) altijd geïnteresseerd, maar pas nadat ECN het heeft aangekaart

geen mening

6. Heb je behoefte aan richtlijnen, tips en/of andere hulpmiddelen, opdat je 'beter' met onzekerheden kunt omgaan?

ja

bij het opstellen van het projectvoorstel en -plan

tijdens de uitvoering van het onderzoek zelf

bij de rapportage naar de opdrachtgever

nee

7. Geef naar jouw inschatting de 5 belangrijkste bronnen van onzekerheden in het onderzoek dat je momenteel uitvoert.

Het gaat dus om de meest bepalende onzekerheden die de resultaten en dus de (beleidsrelevante) conclusies van je onderzoek bepalen.

Onzekerheden kunnen bijvoorbeeld betrekking hebben op data die men gebruikt, de modelstructuur (indien modellen worden gebruikt), bepaalde veronderstellingen van de onderzoeker, de effectiviteit van bestaand of voorgesteld beleid, nog onbekend beleid in de toekomst.

Bronnen van onzekerheden kunnen gelegen zijn in één van de klassen: basisinvoergegevens, modelstructuur, onvolledigheid. Andere classificaties zijn ook mogelijk. We proberen voorlopig de genoemde klassen aan te houden.

Indien je onzekerheden niet in één van de klassen valt, kun je ze ook bij 'Overige bronnen' kwijt. Probeer zo concreet mogelijk te zijn. Dus zoveel mogelijk in de tekstboxen aangeven welke specifieke gegevens, welke onderdelen van de modelstructuur, etc.

Niet van toepassing/Onbekend/Geen mening, dan naar [‘Stuur antwoorden ...’](#)

Geef hieronder een korte beschrijving van de studie en/of het model dat het betreft (indien je iets specifiek voor ogen hebt; zijn het 'algemene' onzekerheden, dan openlaten)

Data, in het bijzonder: _____

ja

Modelstructuur

ja

Onvolledigheid, d.w.z. datgene wat is niet meegenomen met toch mogelijke impact op het resultaat:

ja

Overige bronnen:

Overige opmerkingen en/of vragen:

[Energieonderzoek Centrum Nederland \(ECN\)](#), Postbus 1, 1755 ZG Petten

Datum: 17 juli 2000

Informatie: seebregts@ecn.nl

BIJLAGE D STELLINGEN BIJ WORKSHOPS

Hieronder staan de stellingen die tijdens het tweede deel van de eerste workshop op 20 juni 2000 zijn besproken. Deze stellingen zijn niet noodzakelijk meningen van het projectteam maar dienden als aanjagers van de discussie.

Deze eerste workshop was bedoeld voor de [ENGINE-werkgroep](#) en een aantal andere genodigden.

De stellingen:

- *Huidige ECN-praktijk*
 1. ECN is op dit moment niet immuun voor een ‘RIVM/de Kwaadsteniet-affaire’. Hierbij waren de integriteit en de wetenschappelijke kwaliteit in het geding. Doordat ECN wat minder in het brandpunt van de publiciteit staat, is ECN tot nu toe gevrijwaard gebleven van een dergelijke affaire.
 2. ECN kan wat betreft het omgaan van onzekerheden nog heel wat leren van de aanpak van anderen, bijv. RIVM.
 3. De beschikbare methoden voor het identificeren, analyseren en reduceren van onzekerheden worden bij ECN onvoldoende toegepast.
- *Het belang van de opdrachtgevers versus dat van ECN*
 4. Opdrachtgevers zijn niet geïnteresseerd in onzekerheden. Zij willen alleen eenvoudige antwoorden. Het weergeven van onzekerheden leidt alleen tot meer verwarring en onduidelijkheid.
 5. ECN-ers dienen in hun rapportage zelf zo expliciet mogelijk de relevante onzekerheden weer te geven, ook al vraagt de opdrachtgever er niet om.
 6. Het belangrijkste probleem, en dus uitdaging, van het omgaan met onzekerheden is de communicatie van onzekerheden.
- *Behoeft aan richtlijnen en specifieke hulpmiddelen*
 7. Specifieke richtlijnen voor het omgaan met onzekerheden kunnen het beste worden ingebed in de huidige (ISO) ECN management procedures, onderliggende unit procedures en werkinstructies. Dit biedt de beste garantie op succes. We zien dan minder over het hoofd en het sluit het beste aan bij de huidige ECN-praktijk.
 8. Onzekerheidsanalyse m.b.v. Monte Carlo simulatie biedt goede mogelijkheden voor: het opsporen en het analyseren van een aantal belangrijke bronnen van onzekerheid, en voor het inschatten van de impact op de eindresultaten en conclusies.
Deze methode moet meer worden toegepast bij ECN.

Hieronder staan de stellingen die tijdens BS-projectenmiddag op 13 november 2000 zijn besproken. De projectenmiddag was primair bedoeld voor BS-ers.

Deze stellingen zijn niet noodzakelijk meningen van het projectteam maar dienden als aanjagers van de discussie.

De stellingen

- *De toegevoegde waarde van het explicieter omgaan met onzekerheden*
 1. Expliciet meenemen van onzekerheden in onze studies verhoogt de kwaliteit van ons werk.
 2. Het in meer detail en explicieter omgaan met onzekerheden kost te veel tijd, en staat niet in verhouding tot de extra kwaliteit dat het oplevert.
 3. ECN moet zich beperken tot ‘Good Practice’ op dit gebied. Dat is al lastig genoeg. ‘Best Practice’ of zelfs een meer innovatieve aanpak, gaat te ver voor de beleidsrelevante studies.
- *Meteen of achteraf?*

4. Conform de richtlijn dienen onzekerheden al bij de projectdefinitie/offertefase te worden aangekaart.
5. Pas als resultaten bekend zijn, dient te worden bekeken of we iets over onzekerheden rapporteren.
- *Opdrachtgevers versus ECN en communicatie*
 6. Opdrachtgevers zijn niet geïnteresseerd in onzekerheden. Zij willen alleen eenvoudige antwoorden. Het weergeven van onzekerheden leidt alleen tot meer verwarring en onduidelijkheid:
 - Meer dan 1 scenario begrijpt men al niet.
 - Met een range in de inputs of resultaten kan men ook niet overweg.
 - Monte Carlo, of iets anders probabilistisch, wordt al helemaal ingewikkeld gevonden.
 - Het noemen van te veel beperkingen van de studie ondergraaft de geloofwaardigheid.
 7. ECN-ers dienen in hun rapportage zelf zo expliciet mogelijk de relevante onzekerheden weer te geven, ook al vraagt de opdrachtgever er niet om.

BIJLAGE E ALGEMENE PRINCIPES GOED BELEIDSONDERZOEK

Als prelude tot de ECN richtlijn uit Hoofdstuk 4, wordt aanbevolen ook kennis te nemen van een aantal algemeen geldende principes voor goed beleidsonderzoek, zoals bijvoorbeeld samengevat in (Morgan & Henrion, 1990, zowel Figuur 3.2 als de ‘Ten Commandments for Good Policy Analysis’) of de 10 geboden uit (RMNO, 2000). Sommigen zullen deze principes een open deur vinden, anderen zullen het te ver vinden gaan.

Voor de volledigheid zijn de principes uit (Moragn & Henrion, 1990) hieronder weergegeven.

Tabel E.2 *Ten commandments for good policy analysis*

-
- | | |
|-----|---|
| 1. | Do your homework with literature, experts, and users |
| 2. | Let the problem drive the analysis |
| 3. | Make the analysis as simple as possible, but no simpler |
| 4. | Identify all significant assumptions |
| 5. | Be explicit about decision criteria and policy strategies |
| 6. | Be explicit about uncertainties |
| 7. | Perform systematic sensitivity and uncertainty analysis |
| 8. | Iteratively refine the problem statement and the analysis |
| 9. | Document clearly and completely |
| 10. | Expose the work to peer review |
-

Bron: Morgan & Henrion, 1990

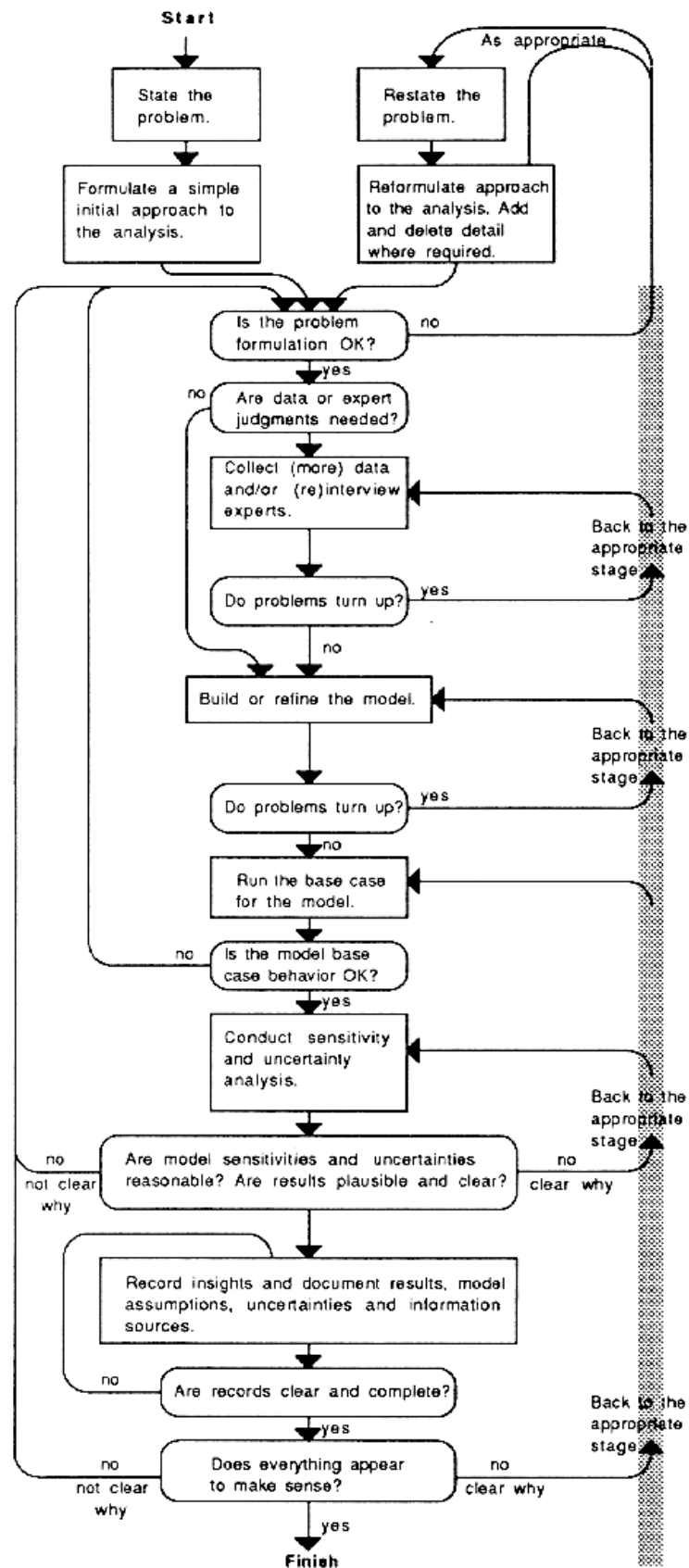


Figure E.1 Illustration of the process of 'good' policy analysis

BIJLAGE F LIJST VAN AFKORTINGEN

BRED	Biomass for greenhouse gas emission REDuction
BS	Beleidsstudies
ENGINE	ENerGy In the Natural Environment acronym voor het lange termijn onderzoeksprogramma van ECN, een samenhangend onderzoekprogramma, gericht op een duurzame energiehuishouding voor de eerste helft van de 21e eeuw. Veel van het lange termijn onderzoek binnen de prioriteitsgebieden -- beleidsstudies, energie efficiency, zon, duurzame energie in de gebouwde omgeving, wind, biomassa en schoon fossiel -- wordt gefinancierd in het ENGINE-programma.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ICIS	International Centre for Integrative Studies (Universiteit Maastricht)
MCA	Monte Carlo onzekerheidsAnalyse
NEV	Nationale EnergieVerkenningen
NUSAP	Numerical, Unit, Spread, Assessment, Pedigree zie ook http://www.nusap.net/
PLAMOCO	PLATform MOnte Carlo Onzekerheidsanalyse, intern ECN platform bestaande uit ruim 20 onderzoekers verspreid over de ECN units en afdelingen, dat er naar streeft eens per kwartaal kennis en ervaring uit te wisselen over deze methode en het gebruik van de @Risk software daarbij
PRIMA	Pluralistic fRamework for Integrated uncertainty Management and risk Analysis
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
SDA	Strategic Decision Analysis
UU-NW&S	Universiteit Utrecht, vakgroep NatuurWetenschap en Samenleving
WKK	Warmte Kracht Koppeling