Ministerie van Verkeer en Waterstaat/RIZA

Potentiële Koelcapaciteit Rijkswateren 2005-2050

Quick scan klimaatscenario's

December 2005

Ministerie van Verkeer en Waterstaat/RIZA

Potentiële Koelcapaciteit Rijkswateren 2005-2050

Quick scan klimaatscenario's

dossier V3515-66.001

registratienummer WG-SE20051920

versie 3

December 2005

©

INHOUD **BLAD**

1	INLEIDING	3
1.1	Aanleiding	3
1.2	Doelstelling	4
1.3	Leeswijzer	4
2	AANPAK EN SELECTIE VAN SCENARIO'S	7
2.1	Aanpak	7
2.2	Geselecteerde scenario's voor het berekenen van de potentiële koelcapaciteit.	8
3	MODELRESULTATEN	11
3.1	Inleiding	11
3.2	Semi-kwantitatieve beschouwing	11
3.3	Leeswijzer bij de kaarten (bijlage 3)	13
3.4	Resultaten	14
4	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	17
4.1	Conclusies	17
4.2	Aanbevelingen	18
5	REFERENTIES	20
6	COLOFON	22

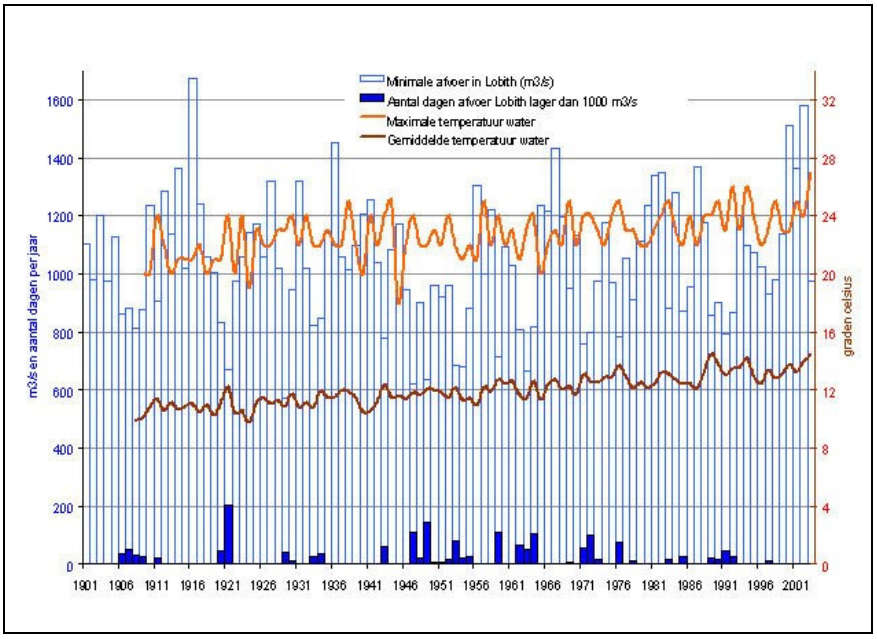
BIJLAGEN

1 Scenario's t.b.v. Potentiële koelcapaciteit
2 SOBEK landelijk warmtemodel
3 Kaarten Potentiële koelcapaciteit (5% onderscheiding)
4 Kaart VHR gebieden en worstcase scenario

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

De industrie langs de Nederlandse wateren maakt gebruik van oppervlaktewater voor koeling. Aan de lozingen van koelwater worden normen gesteld in verband met de waterkwaliteit en het ecologisch goed functioneren. Met name sinds 1989 komen regelmatig koelwaterbeperkingen voor als gevolg van te hoge temperaturen van het oppervlaktewater. Een voorbeeld hiervan is de 'code rood' welke in 2003 werd afgekondigd, mede als gevolg van te warm oppervlaktewater. Door koelwaterbeperkingen neemt de beschikbare capaciteit van de elektriciteitsvoorziening af. Dit kan in extreme situaties leiden tot stroomuitval met grote maatschappelijke schade tot gevolg.



Figuur 1-1: Trendmatige ontwikkeling in de watertemperatuur bij Lobith sinds 1900.

Uit Figuur 1-1 is af te lezen dat de watertemperatuur bij Lobith sinds 1910 trendmatig toeneemt. Deze trend wordt veroorzaakt door klimaatverandering en door een toename van de (bovenstroomse) lozingen in het buitenland. Door de klimaatverandering en de verwachte stijging van de vraag naar energie zal de beschikbaarheid van koelwater in de toekomst een steeds groter probleem worden.
Het ministerie van V&W wil inzicht krijgen in 'waar bij mogelijke klimaatveranderingen koelcapaciteit vanuit het watersysteem aanwezig is'. Dit om transparantie te bieden naar de gebruikers van koelwater.

Een van de mogelijke maatregelen is het bouwen van nieuwe centrales op locaties waar voldoende potentiële koelcapaciteit beschikbaar is, nu en in de toekomst. Hiervoor is het noodzakelijk dat de problematiek in kaart gebracht wordt. Een eerste verkenning hierin is het landelijk in beeld brengen van de potentiële koelcapaciteit. Dit om een eerste indruk te krijgen van de aard van de problematiek en door welke factoren deze veroorzaakt wordt.

1.2 Doelstelling

Box 1: Doelstelling Quick-scan "Potentiële koelcapaciteit Rijkswateren 2005-2050"

Het doel van de quick-scan is het in beeld brengen van de potentiële koelcapaciteit van diverse rijkswateren, nu en in 2050, onder invloed van de meest recente klimaatverandering.

Om meer inzicht te krijgen in de toekomstige effecten van klimaatverandering en economische groei op de potentiële koelcapaciteit van de Nederlandse wateren is een quick-scan uitgevoerd. Hierbij is er vooralsnog voor gekozen:

- de bandbreedte in klimaatverandering en energievraag in beeld te brengen;
- door een landelijk beeld (kaart) van de potentiële koelcapaciteit te maken;
- waarbij de actuele emissies **niet** zijn meegenomen in de beschouwing.

Met de resultaten van deze quick-scan kan men oplossingsrichtingen verkennen waarmee bijvoorbeeld locaties kunnen worden aangewezen waar de potentiële koelcapaciteit ruimschoots voldoende is voor toekomstige lozing.

Box 2: Definitie van "Potentiële koelcapaciteit"

De **potentiële koelcapaciteit** wordt gedefinieerd als de ruimte van een watersysteem om op te warmen tot een bepaalde **maximaal** toegestane temperatuur. Deze lozingsruimte wordt voor een groot deel bepaald door het verschil tussen de achtergrond temperatuur en de maximaal toegestane watertemperatuur. De potentiële koelcapaciteit wordt bepaald **zonder** dat huidige nationale lozingen meegenomen worden in de beoordeling. Wel wordt de thermische belasting uit het buitenland meegenomen bij de beoordeling van het landelijke beeld.

De potentiële koelcapaciteit van een watersysteem wordt bepaald door 2 factoren:

- de toelaatbare opwarming van het water en het debiet (de warmtelozingscapaciteit);
- het afkoelende vermogen via het oppervlak (de koelcapaciteit).

De *warmtelozingscapaciteit* is voor stromende wateren afhankelijk van het debiet en de mate waarin het water nog niet de maximaal toelaatbare watertemperatuur bereikt heeft.
De *koelcapaciteit* van een watersysteem is het vermogen om een surplustemperatuur (watertemperatuur hoger dan de evenwichtstemperatuur zonder lozingen) weer kwijt te raken aan de atmosfeer. De koelcapaciteit is groter als het afkoelende oppervlak groter is en de verblijftijd langer.

De norm voor de *maximaal toelaatbare watertemperatuur* is voor de meeste binnenwateren 28°C en voor de kustwateren 25°C.

1.3 Leeswijzer

Deze quick-scan geeft een korte analyse van de te verwachten knelpunten inzake de potentiële koelcapaciteit van de Nederlandse rijkswateren nu en in 2050. In hoofdstuk 2 wordt allereerst ingegaan op de toegepaste methodiek, daarna volgt een beschrijving van de geselecteerde scenario's. In hoofdstuk 3 volgen de resultaten van de berekeningen van

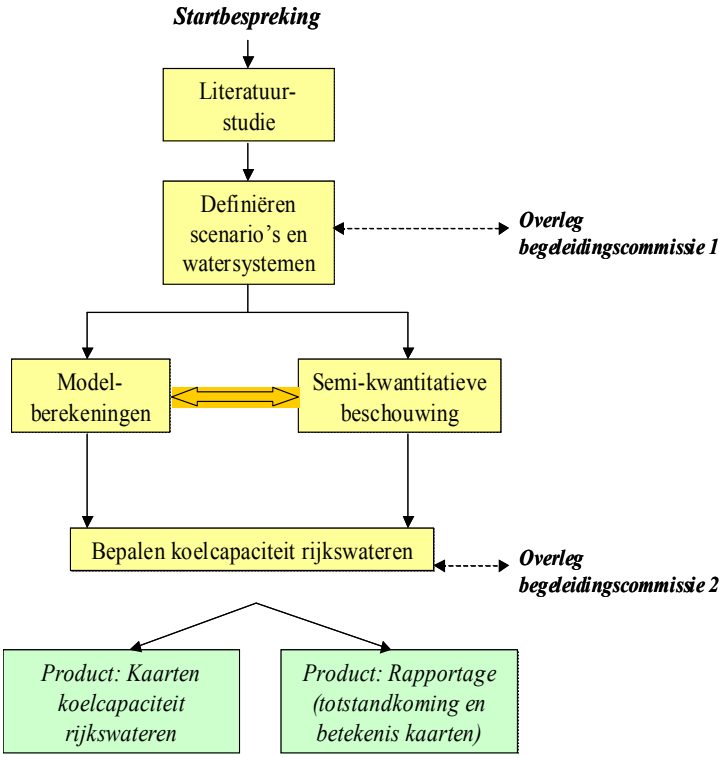
de potentiële koelcapaciteit voor verschillende klimaatscenario's. Hoofdstuk 4 omvat de conclusies en de aanbevelingen naar aanleiding van deze quick-scan.

In bijlage 1 is achtergrondinformatie te vinden over de methodiek en de toelichting bij de keuzes van de scenario's. Ook is er informatie te vinden over de gebruikte randvoorwaarden met betrekking tot waterstanden, rivierafvoer en watertemperatuur. Bijlage 2 omvat een technische beschrijving van de waterkwaliteitsberekeningen door SOBEK. Bijlagen 3 en 4 omvatten de kaarten met daarin de potentiële koelcapaciteit en de locatie van VHR gebieden in Nederland.

2 AANPAK EN SELECTIE VAN SCENARIO'S

2.1 Aanpak

De aanpak van de quick-scan is schematisch weergegeven in Figuur 2-1.



Figuur 2-1: Stappenschema Quick-scan "Potentiële koelcapaciteit Rijkswateren 2005-2050"

Op basis van de literatuurstudie is gekozen voor de meest actuele en geaccepteerde klimaatscenario's (o.a. uit de droogtestudie) en daaraan gekoppelde prognoses voor de ontwikkeling van de energievraag.
Voorspellingen met betrekking tot de toekomstige vraag naar elektriciteit laten een toename zien tot mogelijk 200% in 2050 (CPB/RIVM, 2004). Hoewel het rendement van elektriciteitsopwekking in de toekomst zal toenemen, is deze rendementsverbetering waarschijnlijk niet voldoende om te compenseren voor de stijgende vraag. In deze studie wordt uitgegaan van een (bereikbare) rendementsverbetering van 38% (Ploumen, 2004).

De potentiële koelcapaciteit van de Rijkswateren in 2050 is bepaald door gebruik te maken van het SOBEK landelijk warmtemodel (zie bijlage 2). Het landelijke Sobek-model berekent de actuele watertemperatuur uit de meteorologische gegevens en de gemeten watertemperaturen op de modelranden (de zee, Rijn, Maas, Vecht en Roer; de Schelde is niet meegenomen in de beschouwing). Voor nadere details wordt verwezen naar bijlage 1. Omdat het beschikbare model niet alle Nederlandse wateren dekt, is voor een aantal

wateren (waaronder de Zeeuwse meren, de Zeeuwse en Hollandse kuststrook, en de Waddenzee) een semi-kwantitatieve beschouwing uitgevoerd (zie §3.2).

De semi-kwantitatieve beschouwing is op dezelfde manier uitgevoerd als de SOBEK berekeningen volgens de methodiek van bijlage 2. De watertemperaturen zijn afgeleid uit historische meetreeksen van rijkswaterstaat (www.waterbase.nl) en uit satellietbeelden van het KNMI. In de semi-kwantitatieve analyse wordt de evenwichtstemperatuur als uitgangspunt genomen en aangepast voor veranderende klimatologische omstandigheden in de toekomst. De analyse is toegepast op een aantal grote wateren in Nederland.

Aangezien er een deel overlap is tussen de resultaten uit SOBEK en de gegevens van de semi-kwantitatieve methode is tevens een dataset beschikbaar om de watertemperaturen uit de SOBEK berekeningen te kunnen valideren.

Voor de referentiesituatie van de beschouwde klimaatscenario's zijn een gemiddeld jaar en een droog jaar gekozen om ook de natuurlijke variabiliteit in beeld te brengen. De referenties zijn het jaar 2000 voor een gemiddeld jaar en het jaar 2003 voor een droog jaar. Het voordeel van beide jaartallen is dat ze dicht bij elkaar liggen en niet beïnvloed zullen zijn door trendmatige ontwikkelingen. De keuzes zijn teruggekoppeld met de begeleidingscommissie bestaande uit vertegenwoordigers van de overheid en de e-sector.

Het eindproduct is een kaart per scenario. In de kaarten staat het resultaat van zowel de modelberekeningen als wel de semi-kwantitatieve analyse. Het resultaat is weergegeven in een 5-percentielwaarde. Dit betekent dat in 5% van de dagen de potentiële koelcapaciteit de gegeven waarde onderschrijdt. Dit komt overeen met ongeveer 6 dagen gedurende een zomerperiode van juni t/m september. Deze keuze geeft een goed beeld van de trends in de klimaatscenario's. Focussen op te extreme gebeurtenissen in de berekeningen kan het beeld van de trends en de bandbreedte vertroebelen. De 10-percentielwaarde is ook berekend maar niet gerapporteerd, omdat het beeld vrijwel identiek is.

2.2 Geselecteerde scenario's voor het berekenen van de potentiële koelcapaciteit.

Bij de klimaatscenario's is onderscheid gemaakt naar veranderingen in:

- de evenwichtstemperatuur (de watertemperatuur wordt beïnvloed wordt door de luchttemperatuur)
- de afvoer (van Rijn en Maas)
- de buitenlandse belasting (door klimaat en energievraag)

Er is gekozen voor 3 van de meest actuele en geaccepteerde klimaatscenario's (o.a. uit de droogtestudie). In de volgorde van rapportage voor het verkennen van de bandbreedte:

- Gematigd (KNMI-Controllist)
- Hoog (KNMI-Milieudenker)
- Laag (KNMI-Marktoptimist)

De bandbreedte is verder in beeld gebracht door voor elk klimaatscenario 2 afvoersituaties te beschouwen:

- een gemiddeld jaar

- een droog jaar

Op basis van de literatuurstudie is de ontwikkeling van de energievraag gekoppeld aan het klimaatscenario. De huidige trend in de toename van watertemperatuur is gebruikt voor de bepaling van de invloed van de ontwikkeling van buitenlandse belasting. De huidige trend wordt voor 1/3 toegeschreven aan het klimaat en voor 2/3 aan warmtelozingen. Op basis van de prognose voor de energievraag is door extrapolatie de bijbehorende buitenlandse belasting berekend (zie bijlage 1). Hierbij is rekeninggehouden met een (te bereiken) rendementsverbetering van 38%.

In overleg met de begeleidingsgroep is besloten om in de quick-scan de volgende scenario's te beschouwen:

- 3 temperatuurscenario's (gematigd, hoog, laag) met
- voor elk 2 afvoerscenario's (gemiddeld en droog jaar) en
- het realiseren van een rendementsverbetering van 38%

Samen met de 2 referentiescenario's zijn er totaal 8 scenario's doorgerekend voor het verkennen van de bandbreedte in de potentiële koelwatercapaciteit (zie tabel 2-1).

tabel 2-1: Scenario's voor de quick scan "Koelcapaciteit Rijkswateren 2005-2050".

Situatie 2050 t.o.v. 2000		**Klimaat**	**KNMI Controllist Gematigd**		**KNMI Milieudenker Hoog**		**KNMI Marktoptimist Laag**	
38% rendementsverbetering		**Emissie/belasting**	RC/SRES-B2		GE/SRES-A1		SE/SRES B1	
		Afvoer	gemiddeld	droog	gemiddeld	droog	gemiddeld	droog
Scenario	**Verandering t.o.v. referentie**		**Sc1**	**Sc2**	**Sc3**	**Sc4**	**Sc5**	**Sc6**
	Evenwicht en buitenlandse belasting +ºC		**1,25**	**1,25**	**3,85**	**3,85**	**-1,20**	**-1,20**
Klimaat	Evenwichtstemperatuur +ºC		1,0	1,0	2,0	2,0	0,5	0,5
	Neerslag zomerhalfjaar %		1	-15	2	-15	0,5	-15
	Verdamping %		4	24	8	24	2	24
	Zeespiegel cm		0,25	0,25	0,45	0,45	0,1	0,1
Emissie	Buitenlandse belasting +ºC		0,25	0,25	1,85	1,85	-1,70	-1,70
Afvoer	Afvoer Rijn %	juni	-2,5	-20,1	-5,1	-20,1	-1,3	-20,1
		juli	-3,1	-20	-6,2	-20	-1,6	-20
		augustus	-3,8	-19,7	-7,6	-19,7	-1,9	-19,7
		september	-4	-17	-8	-17	-2	-17
	Afvoer Maas %	juni	3,1	-18	6,1	-18	1,6	-18
		juli	0,5	-20,8	0,9	-20,8	0,3	-20,8
		augustus	-0,9	-18	-1,8	-18	-0,5	-18
		september	-4,1	-17	-8,1	-17	-2,1	-17

tabel 2-2: Bronvermelding behorende bij tabel 2-1

Parameters:	**Bronnen:**
Temperatuur, neerslag en verdamping:	Können, 2001, Watertekortopgave, 2005, KNMI (mondelinge mededeling)
Afvoer per zomermaand:	De Wit, 2001; Van Deursen & Kwadijk, 1993
Droogtescenario:	Können, 2001; De Droogtestudie van Nederland
Buitenlandse belasting:	CPB/RIVM, 2004

Een uitgebreide omschrijving van de scenario's en de uitgangspunten bij het vaststellen van de scenario's voor de koelcapaciteit is gegeven in bijlage 1.

3 MODELRESULTATEN

3.1 Inleiding

Het resultaat van deze quick-scan is een bandbreedte schatting van de potentiële koelcapaciteit van de Nederlandse rijkswateren, m.a.w de potentiële koelcapaciteit van de Nederlandse rijkswateren zonder implementatie van de huidige nationale lozingen. De buitenlandse belasting is wel verwerkt in de randvoorwaarden.
Eerst wordt ingegaan op de semi-kwantitatieve beschouwingen voor een aantal specifieke wateren. Vervolgens worden een beknopte leeswijzer bij de kaarten gegeven en worden de resultaten beschreven van de geselecteerde klimaatscenario's. De belangrijkste kaarten zijn weergegeven in de tekst. De complete set kaarten is opgenomen in bijlage 3.

3.2 Semi-kwantitatieve beschouwing

Met het SOBEK landelijke warmtemodel zijn de geselecteerde scenario's berekend. Daar waar het model niet dekkend is bij het bepalen van de koelcapaciteit, is een alternatieve semi-kwantitatieve benadering toegepast. Hierbij wordt uitgegaan van de evenwichtstemperatuur die bekend is vanuit de database van het KNMI en Rijkswaterstaat. De warmtelozingscapaciteit wordt bepaald voor het hele watersysteem, zonder te kijken naar warmteuitwisseling. Hierdoor kan een onderschatting van het koelend vermogen voorkomen.

Om een scheiding aan te brengen in de hoeveelheid te beschouwen gebieden is een selectie gemaakt van gebieden met elk een eigen invloed op de koelcapaciteit. Het gaat hier om de volgende gebieden.

- Friesche- en Groningse Boezem
- Zeeuwse wateren
- Kuststrook Holland
- Waddenzee en Dollard

Een belangrijke aanname bij de semi-kwantitatieve beschouwing is de huidige water-temperatuur. Deze is afgeleid uit meetreeksen van rijkswaterstaat en satellietbeelden van het KNMI. (zie bijlage 1).

Friesche- en Groningse Boezem
De Friesche- en Groningse boezem vervult een aparte rol in Nederland. Doordat dit gebied niet in directe verbinding staat met de grote rivieren kan volledig handmatig bepaald worden wat de doorvoercapaciteit van de boezem is. In het Waterakkoord Noord (1997) staan afspraken tussen partijen als provincie en waterschap met betrekking tot de watervoorziening onder normale en extreme omstandigheden.
Tijdens droogte zal de doorstroming in de Friesche- en Groningse boezem opgevoerd worden. Echter, uitgaande van de verhouding tussen oppervlak en doorstroming van de meren wordt er geen significante bijdrage verwacht van de doorstroming aan het koelend vermogen van de boezem. De koelcapaciteit van de meren wordt in dat geval volledig bepaald door het zelfkoelend vermogen van de meren. In kleinere vaarten en kanalen (de

Zwemmer, Pr. Margrietkanaal) zal de doorstroming waarschijnlijk wel invloed hebben op de koelcapaciteit, maar in deze quick-scan zal hier verder geen aandacht aan worden geschonken.

Zeeuwse wateren
De Zeeuwse wateren kunnen worden onderverdeeld in drie gebieden; de Westerschelde, Zeeuwse Noordzeekust en de overige meren (Oosterschelde, Grevelingen, Volkerak, etc), waarbij de scheiding gemaakt is op grond van doorstroming en oppervlak.
De Westerschelde wordt tweemaal daags van vers zeewater voorzien. Gedurende een getijperiode kan dit leiden tot grote watertemperatuurfluctuaties. Aangezien het getij-volume dominant is boven de rivierafvoer van de Schelde gerekend moeten worden met het getijvolume, welke wordt geschat op 2.2 mrd m³. Voor het bepalen van de koelcapaciteit is dit een grote overschatting (zie Box 3).
Naast de zeewaartsedoorstroming heeft de Westerschelde ook te maken met rivierafvoer van de Schelde. Een factor die in deze studie niet wordt meegenomen is de lozing op de Schelde door Belgische industrie.

Box 3: Effect van getijbeweging op de koelcapaciteit

In een getijdenrivier of estuarium keert de stroomrichting dagelijks om, bij vloed stroomt water landinwaarts, bij eb stroomt het water naar zee. In de berekening van de koelcapaciteit worden beide debieten gebuikt. In werkelijkheid zal recirculatie van eerder geloosde warmte optreden waardoor de koelcapaciteit in praktijk aanmerkelijk lager zal zijn dan nu berekend. In de toekomst kan een aangepaste berekeningswijze koelcapaciteit tot realistischere waarden leiden. Zo'n berekening dient rekening te houden met reststromen en dispersieve menging en kan bijvoorbeeld gebaseerd worden op de berekende zoutgradiënt in het gebied.

Kuststrook Holland
De fluctuaties in de watertemperatuur langs de kust van Holland (Maasvlakte - Den Helder) wordt voornamelijk bepaald door de kustlangse stroming als gevolg van het getij. De invloed van de warme golfstroom is hierin duidelijk waarneembaar (Figuur B6). In principe zijn er voor de hele kuststrook van Holland geen beperkingen voor het lozen van koelwater. In de buurt van Den Helder moet echter worden bekeken of de thermische pluim de watertemperatuur van de Waddenzee niet teveel beïnvloedt. Voor de Waddenzee geldt andere regelgeving.

Waddenzee en Dollard
De waddenzee kan worden verdeeld in verschillende regionen, begrensd door de kustlijn en de wantijen van de verschillende eilanden. Er kan vanuit worden gegaan dat geen uitwisseling van water mogelijk is over de wantijen, waardoor de potentiële koelcapaciteit van de waddenzee niet wordt beïnvloed door een lozing elders op de Waddenzee

Deze benadering biedt mogelijkheden om lozing op de Waddenzee mogelijk te maken. Toch zit er een groot knelpunt in deze benadering. Evenals de Westerschelde kent een groot gedeelte van de Waddenzee een beschermde status. Niet alleen is er sprake van VHR gebieden, de kans is groot dat de gehele Waddenzee binnen enkele jaren op de

werelderfgoedlijst van de UNESCO staat. Deze status zal nieuwe wetgeving ten aanzien van ingrepen in de Waddenzee vereisen.
Ook de Eems kent de status van VHR gebied. Echter hier is wel sprake van koelwaterlozing (Eemshaven). Het zelfkoelend vermogen van de Waddenzee en de doorspoeling door getijbeweging zorgt ervoor dat er een grote warmteuitwisseling is waardoor een lozing snel uit beeld verdwijnt.

3.3 Leeswijzer bij de kaarten (bijlage 3)

De potentiële koelcapaciteit van de zoete Nederlandse oppervlaktewateren is met behulp van het landelijke model in Sobek (Meijers & Boderie, 2004) in kaart gebracht voor de huidige situatie en voor diverse toekomstscenario's. De potentiële koelcapaciteit is daarbij berekend als de maximaal mogelijke capaciteit onder de vigerende hydrologische en meteorologische condities.
De *potentiële koelcapaciteit* wordt uitgedrukt in vermogen (MW) *per modelsegment*. De koelcapaciteit is per dag berekend voor een zomerperiode (1 juni t/m 30 september) en wordt weergegeven als 5-percentielwaarde. Deze waarde zal circa 6 dagen per zomer nog worden onderschreden en niet volledig beschikbaar zijn. In de berekeningen is *geen* rekening gehouden met lokale beperkingen die kunnen leiden tot een lagere of hogere capaciteit. Te denken is aan onvolledige menging (lagere warmtelozingscapaciteit) en thermische stratificatie (hogere koelcapaciteit, lagere warmtelozingscapaciteit).

De kaarten zijn bedoeld om het landelijke beeld van de potentiële koelcapaciteit te kunnen vergelijken voor verschillende klimaatscenario's. Voor een locatie specifieke situatie kan nog geen directe interpretatie worden gemaakt omdat:

- de koelcapaciteit wordt berekend en weergegeven per segment en niet voor het watersysteem als geheel
- er geen rekening is gehouden per lokale beperkingen
- de invloed van (actuele) bovenstroomse Nederlandse warmtelozingen niet is meegenomen

Voorbeelden
Het Noordzeekanaal (NZK) bestaat uit relatief kleine segmenten. Per segment wordt de potentiële koelcapaciteit vooral bepaald door het koelende oppervlak om dat het debiet gering is. De koelcapaciteit van een deel van het NZK zal bij benadering gelijk zijn aan sommatie van de samenstellende modelsegmenten. Bij doorstroomkoeling verandert het debiet en kan gunstige thermische stratificatie optreden waardoor in de praktijk de locatie specifieke koelcapaciteit groter of kleiner kan zijn.

De Waal bestaat uit segmenten waarbij het grote debiet bepalend is voor de potentiële koelcapaciteit. De berekende waarde voor een segment is bij benadering gelijk aan de koelcapaciteit van de gehele Waal (omdat het gehele debiet al wordt benut).
Uit de kaart voor het droge referentiescenario (Figuur 3-2) blijkt dat er potentieel capaciteit is voor 7000 MW, circa 7 centrales van ieder 1000 MW. Daar hoort dan op basis van het bovenstaande bij opgemerkt te worden dat:

- Het huidige geïnstalleerde vermogen van de centrale bij Nijmegen hier nog van afgetrokken dient te worden;

- Als het resterende vermogen bij geplaatst wordt, de resterende koelcapaciteit van de benedenstroomse Rijntakken (incl. Rotterdamse havens, Merwede etc.) zo klein wordt dat daar nagenoeg geen vermogen meer geïnstalleerd kan worden of überhaupt nog koelwaterlozingen kunnen plaatsvinden;
- Er technische voorzieningen getroffen moeten worden om de maximale capaciteit te realiseren, dat wil zeggen om al het Waalwater homogeen op te warmen tot de maximale temperatuur van 28°C (lozing aan de bodem, diffusors). Welk deel van de potentiële capaciteit in de praktijk economisch rendabel benut kan worden, is sterk afhankelijk van lokale omstandigheden

3.4 Resultaten

De potentiële koelcapaciteit wordt gepresenteerd in de vorm van een kaart voor elk van de beschouwde scenario's (zie tabel 2-1). De kaarten voor de klimaatscenario's van een gemiddeld jaar moeten worden vergeleken met het referentiejaar 2000, de klimaat-scenario's voor een droog jaar met het referentiejaar 2003.

In Figuur 3-1 is de vergelijking tussen de referentie jaren 2000 en 2003 en de verschillende scenario's weergegeven.

Een overzicht van de bandbreedte van de potentiële koelcapaciteit voor de beschouwde scenario's is geven in tabel 3-1. Hierbij is ook de onderlinge vergelijking gemaakt tussen alle scenario's met het jaar 2000 als referentie.

tabel 3-1: Relatieve veranderingen van de koelcapaciteit per scenario voor een gemiddeld jaar en een droog jaar, tevens voor alle scenario's onderling.

Scenario		Gemiddeld
KNMI Controllist (gematigd)	Sc1	85%
KNMI Milieudenker (hoog)	Sc3	54%
KNMI Marktoptimist (laag)	Sc5	110%
referentie 2000	Sc7	100%

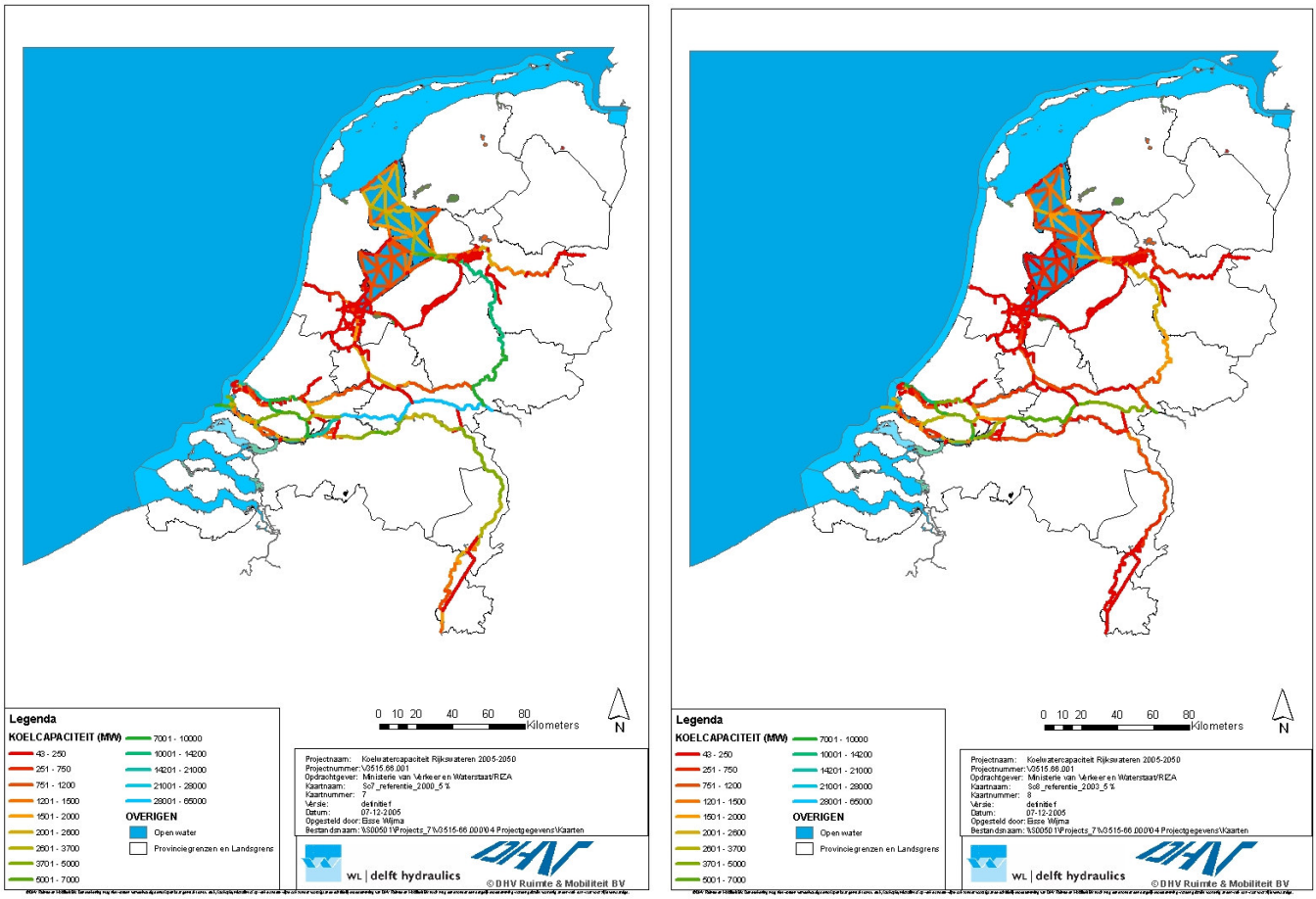
Scenario		Droog
KNMI Controllist (gematigd)	Sc2	95%
KNMI Milieudenker (hoog)	Sc4	73%
KNMI Marktoptimist (laag)	Sc6	106%
referentie 2003	Sc8	100%

Scenario		Gemiddeld		Droog
KNMI Controllist (gematigd)	Sc1	85%	Sc2	29%
KNMI Milieudenker (hoog)	Sc3	54%	Sc4	23%
KNMI Marktoptimist (laag)	Sc5	110%	Sc6	32%
referenties	Sc7	100%	Sc8	31%

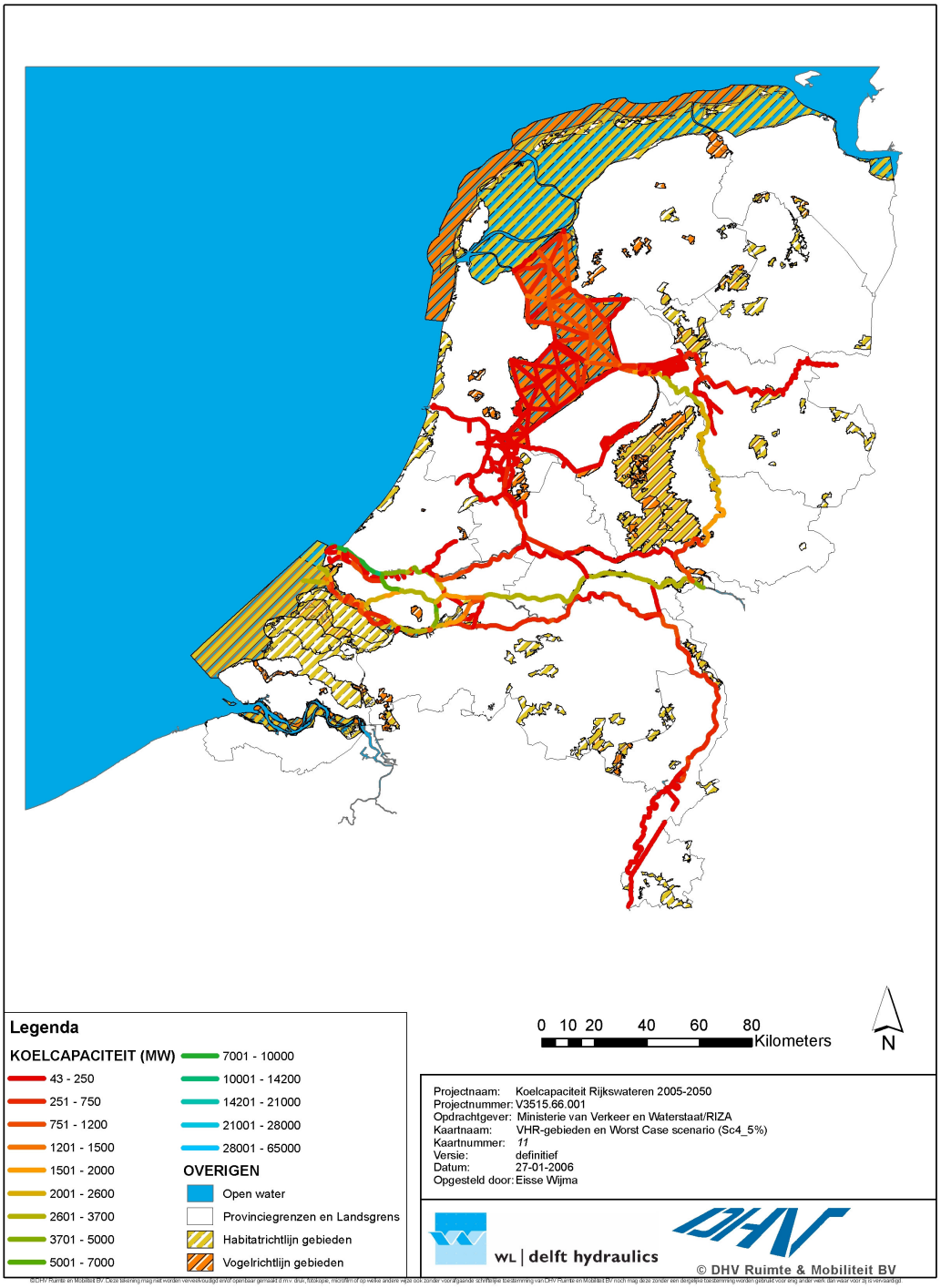
- Voor een *gemiddeld jaar* is het jaar 2000 als uitgangspunt genomen (100%). Scenario 5 laat een kleine toename zien van de potentiële koelcapaciteit ten opzichte van het referentiejaar die mede wordt veroorzaakt door de gehanteerde verwachte rendementsverbetering in de e-sector. In scenario 3 zorgt de combinatie van een toename van de luchttemperatuur en toename van de buitenlandse belasting voor een halvering van de potentiële koelcapaciteit.
- Voor een *droog jaar* is het beeld vergelijkbaar, al zijn de afwijkingen ten opzichte van het referentiejaar 2003 kleiner. De potentiële koelcapaciteit in een droge zomer (Sc8) is slechts 31% van een gemiddelde zomer (Sc7). Het verschil in debiet in een droog jaar is blijkbaar dominant boven de temperatuursinvloeden als gevolg van opwarming van de lucht en de extra buitenlandse belasting.

- De natuurlijke variabiliteit tussen gemiddelde en droge zomers is daarmee maatgevend ten opzichte van de beschouwde klimaatscenario's. Alleen in geval van het hoge klimaatscenario zijn aanzienlijk meer problemen met koelwaterlozingen te verwachten. Overigens geldt dit alleen indien de rendementsverbetering van 38% ook daadwerkelijk wordt gerealiseerd.
- Het worst-case scenario (Sc4) is weergegeven in Figuur 3-2. Hierin is onder meer te zien dat de potentiële koelcapaciteit van de kustwateren groot zal blijven. De Maas wordt sterk beperkt en zelfs de Waal neemt aanzienlijk in koelcapaciteit af.

Uit de vergelijking volgt dat voor enkele stilstaande wateren (Markermeer en Randmeren) de watertemperatuur door SOBEK te hoog wordt ingeschat. De koelcapaciteit van deze wateren zal op deze manier te laag worden ingeschat. Dit aspect dient in een vervolgstudie nader te worden onderzocht. Aanbevolen wordt het model (nader) te valideren op basis van metingen van watertemperaturen in de huidige situatie bij de actuele warmtelozingen (mede gebruikmakend van bij de industrie beschikbare meetgevens van actuele inname/lozingstemperaturen en koelwaterdebieten).



Figuur 3-1: Een vergelijking van de potentiële koelcapaciteit per segment in de referentiejaren; links referentie gemiddeld (2000), rechts referentie droog (2003)



Figuur 3-2: potentiële koelcapaciteit voor droog jaar met maximale klimaatverandering (worst case) en de Vogel- en Habitatrichtlijn gebieden.

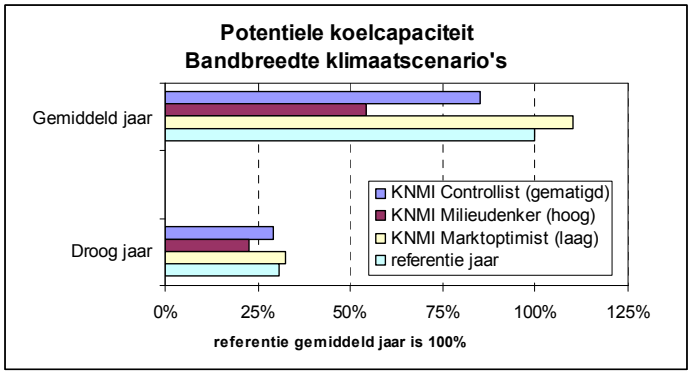
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1 Conclusies

Deze quick-scan heeft de potentiële koelcapaciteit van Nederlandse wateren voor het jaar 2050 in kaart gebracht en geeft een beeld van de bandbreedte die kan ontstaan door de effecten van klimaatveranderingen, daarmee biedt het een platform voor verdere discussie.

Voor het verkennen van de bandbreedte zijn scenario's beschouwd voor een gematigde ontwikkeling, een extreem ongunstige en een optimistische ontwikkeling. Voor elk klimaatscenario zijn de veranderingen in kaart gebracht voor de zomerperiode van een gemiddeld jaar en van een droog jaar. Berekend zijn de capaciteiten die per segment in 5% van tijd in de zomerperiode worden onderschreden. Dat wil zeggen dat er circa 6 dagen zijn waarin de potentiële koelcapaciteit lager is dan weergegeven op de kaart. In paragraaf 3.3 wordt een nadere toelichting gegeven op de kaarten en een aantal aspecten die van belang zijn bij het gebruik en de interpretatie.

Klimaatverandering beperkt de potentiële koelcapaciteit significant door de combinatie van afnemende debieten en verhoging van de watertemperatuur. Met name in de droge jaren is de potentiële koelcapaciteit flink lager, wat nog versterkt wordt door de verwachte klimaatverandering (zie figuur 4-1).



figuur 4-1: bandbreedte van de de potentiële koelcapaciteit van de verschillende scenario's in 2050

Tabel 4-1: Relatieve veranderingen van de potentiële koelcapaciteit per scenario

Scenario		Gemiddeld		Droog
KNMI Controllist (gematigd)	Sc1	85%	Sc2	29%
KNMI Milieudenker (hoog)	Sc3	54%	Sc4	23%
KNMI Marktoptimist (laag)	Sc5	110%	Sc6	32%
referenties	Sc7	100%	Sc8	31%

Het beeld van de quick-scan is dat:

- De bandbreedte voor de beschouwde klimaatveranderingen is voor een gemiddeld jaar aanzienlijk (54-110%).
- Voor een *droog jaar* is het beeld vergelijkbaar, al zijn de afwijkingen ten opzichte van het referentiejaar 2003 kleiner (73-106%).
- De potentiële koelcapaciteit in een droge zomer (Sc8) is slechts 31% van een gemiddelde zomer (Sc7) (zie Tabel 4-1). Het verschil in debiet in een droog jaar is blijkbaar dominant boven de temperatuursinvloeden als gevolg van opwarming van de lucht en de extra buitenlandse belasting.
- De natuurlijke variabiliteit tussen gemiddelde en droge zomers is daarmee maatgevend ten opzichte van de beschouwde klimaatscenario's. Alleen in geval van het hoge klimaatscenario zijn aanzienlijk meer problemen met koelwater-lozingen te verwachten.
- Overigens zijn de resultaten alleen geldig indien de gehanteerde rendements-verbetering van 38% ook daadwerkelijk wordt gerealiseerd.

Uit het landelijke beeld van de kaarten komt duidelijk naar voren dat:

- De Waal en de IJssel in potentie geschikt zijn als vestigingsplaats voor grote warmtelozers.
- Verder lijken locaties langs de kust geschikt. Echter de toegepaste benadering is voor kust locaties te eenvoudig en dient daar rekening gehouden te worden met de werkelijk optredende menging (zie aanbevelingen). Daarnaast gelden voor delen van de kust ook beperkingen ten gevolge van de Vogel- en Habitatrichtlijn (zie VHR-gebieden in Figuur 3-2 en bijlage 4).

4.2 Aanbevelingen

De huidige quick-scan geeft een goed inzicht in de bandbreedte van de landelijk beschikbare potentiële koelcapaciteit voor de beschouwde klimaatscenario's.
Echter, de e-sector en vergunningverleners zijn veelal geïnteresseerd in de concrete beschikbare koelcapaciteit op een specifieke locatie. Het landelijke beeld van de potentiële koelcapaciteit is daarvoor niet direct bruikbaar zoals aangegeven in de voorbeelden voor het Noordzeekanaal en de Waal (zie §3.3). Daarvoor zijn aanvullende berekeningen nodig.
Onderzocht zou kunnen worden of er mogelijkheden zijn om een (dergelijke) meer direct praktisch toepasbare koelcapaciteit te berekenen en om beter rekening te houden met lokale onvolledige menging.

In een vervolgstudie kan de toegepaste methodiek voor de berekeningen en de presentatie van de koelcapaciteit mogelijk nog worden verbeterd. Hiervoor doen wij een aantal aanbevelingen. Volledigheidshalve zijn ook een aantal technisch-inhoudelijke aanbevelingen voor het Sobek-model gedaan, deze zijn opgenomen in bijlage 2.

Locatie specifieke koelcapaciteit
Voor het afleiden van de (resterende) locatie specifieke koelcapaciteit dient rekening gehouden te worden met:

- de actuele (gemeten) warmtelozingen door de industrie
- de prognose voor bovenstroomse Nederlandse warmtelozingen

Aanbevolen wordt om het model op basis van het beschikbare meetnet (aangevuld met actuele metingen van de industrie) uit te breiden en de huidige situatie in detail door te rekenen en te valideren/verifiëren. Hierbij kan ook het effectieve zelfkoelingsgetal in de berekeningen worden vastgesteld. Dit is een belangrijke waarde in de berekening van het de koelcapaciteit door atmosferische afkoeling.

Methodiek

De berekening- en presentatiemethodiek kan nog veranderd worden.

In kwalitatieve zin bevelen we de volgende mogelijkheden aan:

- Apart presenteren van de koelcapaciteit door *atmosferische afkoeling*.
  Deze grootheid hangt lineair af van het beschikbare oppervlak en is daarmee gevoelig voor de gekozen kaarteenheid waarop gepresenteerd wordt. Dat zou bijvoorbeeld een (deel-)stroomgebied kunnen zijn;
- Aparte presentatie van de koelcapaciteit als gevolg van *opwarming van het beschikbare debiet*. Dit deel van de koelcapaciteit is in principe onafhankelijk van de grootte van het modelsegment, omdat het debiet, behoudens laterale toestroming, niet afhangt van de segmentgrootte.

In kwantitatieve zin bevelen we aan de berekening van de koelcapaciteit te verbeteren door beter rekening te houden met lokale onvolledige menging (2D stromingspatroon en/of thermische stratificatie) door aanpassingen van de modelinstellingen:

- in de *kuststrook* rekening te houden met het werkelijke menggedrag (al dan niet met gebruikmaking van een 2D-model).
- in *getijdengebieden* rekening te houden met de opwarming van het vloedwater.

.

5 REFERENTIES

Beersma, J.J. en T.A. Buishand, (2002). Droog, droger droogst; bijdrage van het KNMI aan de eerste fase van de Droogtestudie Nederland. KNMI-publicatie; 199-I, KNMI, De Bilt.

Boderie, P.M.A. and L. Dardengo, (WL|Delft Hydraulics) (2001). Warmtelozing in oppervlaktewater en uitwisseling met de atmosfeer. In opdracht van RWS-RIZA Lelystad (Q3315/RI-3765)

CIW, Commissie Intergraal Waterbeheer, (2004). CIW beoordelingssystematiek warmtelozingen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, conceptrapport.

CPB/RIVM, (2004). Four Futures for Energy Markets and Climate Change, Den Haag, The Netherlands. ISBN 90-5833-171-7

ICIS, (2002). Scenario's voor de Droogtestudie Nederland, Memo .

IPCC, (2001). IPCC Third Assessment Report: Climate change 2001. Synthesis report. IPCC, Geneva, Switzerland.

IPCC, (2001). Summary for policymakers. A report of working group of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Inspectie Verkeer en Waterstaat (2005). Koelwater, handreiking en inspectiekader voor Wvo- en Vvh-vergunningverlening. September 2005.

KNMI, (2005) De Nieuwe Klimaatscenario's. Memo behorende bij informatiemiddag 24 mei 2005.

Können, G.P., (2001). Climate scenario's IRMA and perspectives. In: M.B.A van Asselt, H. Middelkoop, S.A. van 't Klooster, W.P.A. van Deursen, M. Haasnoot, J.C.J. Kwadijk, H. Buiteveld ,G.P. Können, J. Rotmans, N. van Gemert and P. Valkering, Development of flood management strategies for the Rhine and Meuse basins in the context of integrated river management, pp. 183-189. Report of the IRMA-SPONGE project 3/NL/1/164 / 99 15 183 01, NCR-publication 16-2001, WL|Delft Hydraulics, Delft.

Kroon, T., Versteeg, R., Klopstra, D. (2005). Eindrapportage Watertekortopgave. Droogtestudie Nederland.

Meijers, E. & Boderie, P.M.A., (WL|Delft Hydraulics) (2004). SOBEK Landelijk temperatuurmodel.. December 2004. Project EMP3804/Q3861.

Ploumen P.J., (2004). Droogtestudie koelwaterproblematiek E-productie, KEMA-rapport 50480449-KPS/PIR 04-1060

Van Deursen, W.P.A. & J.C.J. Kwadijk, (1993) 'RHINEFLOW: an integrated GIS water balance model for the river Rhine,' Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management, HydroGIS 1993.

Van Deursen, W.P.A., (2002) Klimaatveranderingen in de stroomgebieden van Rijn en Maas, modelstudies met RHINEFLOW-3 en MEUSEFLOW-2. Carthago Consultancy.

Waterakkoord Noord (1997) Het Rijk, Friesland, Groningen, Noordoostpolder, Wold en Wieden en Groot Salland.

Wijdeveld, A. en A. Kuin, (WL|Delft Hydraulics) (2003). Temperatuurmodellering Maas met Sobek. December 2003 (Q3527).

Wit, M.J.M. de (ED.), (2001). Effect of climate change on the hydrology of the river Meuse. NOP Report 410200090, RIVM, Bilthoven.

6 COLOFON

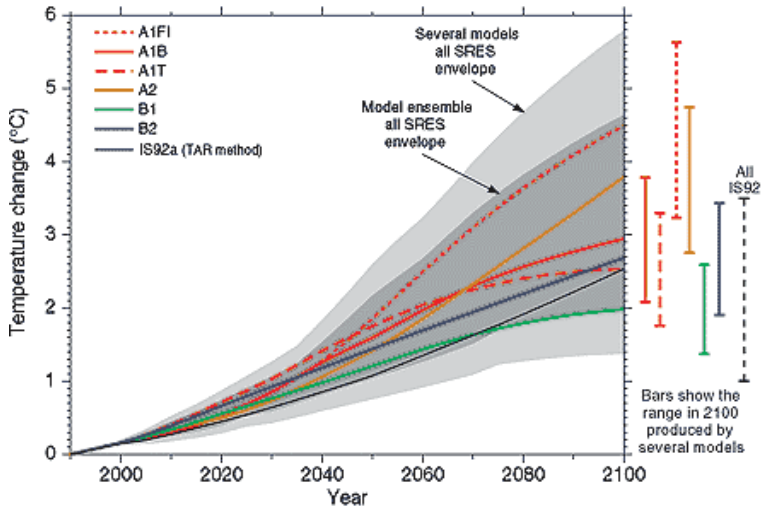
Opdrachtgever	:	Ministerie van Verkeer en Waterstaat/RIZA
Project	:	Potentiële Koelcapaciteit Rijkswateren 2005-2050
Dossier	:	V3515-66.001
Omvang rapport	:	45 pagina's
Auteur	:	E.Wijma
Bijdrage	:	P.Boderie (WL) J.Krijgsman
Projectleider	:	J.Krijgsman
Projectmanager	:	T.Louters
Datum	:	28 december 2005
Naam/Paraaf	:	

BIJLAGE 1 Scenario's t.b.v. potentiële koelcapaciteit

In deze bijlage wordt de keuze voor de verschillende scenario's toegelicht. De scenario's zijn gebaseerd op drie verschillende scenario's voor afvoer, klimaat en buitenlandse belasting van het rivierwater. De keuze voor deze drie scenario's komt voort uit de invloed die zij hebben op de potentiële koelcapaciteit van de rijkswateren. De kwantificering van de scenario's komt uit eerder uitgevoerd onderzoek naar de effecten van mondiale klimaatverandering en economische groei, zowel op nationaal niveau (KNMI/RIZA) als internationaal niveau (IPCC). In paragraaf 2.2 is een kwantitatief overzicht gegeven van de inhoudelijke effecten van de verschillende scenario's. Achtereenvolgens zal eerst besproken worden hoe de klimaatscenario's tot stand zijn gekomen. Daarna zullen de afvoerscenario's en de buitenlandse belasting scenario's van het rivierwater besproken worden.

Uitgangspunten scenario's

Bij de toekenning van de verschillende scenario's is in hoofdzaak gebruik gemaakt van de IPCC klimaatgegevens. Het IPCC (Intergovernmental Panel on Climat Change) produceert ongeveer om de 5 jaar mondiale klimaatscenario's (IPCC, 2001). Klimaatscenario's zijn opgebouwd uit emissiescenario's en modelberekeningen met GCM's (global circulation models). Emissiescenario's zijn toekomstscenario's van de chemische en thermische lozing op de atmosfeer, bodem- en oppervlaktewater. De emissiescenario's geven een bepaald beeld van de regionale of mondiale ontwikkelingen door een verschil in nadruk op sociaal-economische of juist ecologisch duurzame ontwikkelingen (KNMI, 2005). In Figuur B1 zijn de mogelijke toekomstige ontwikkelingen van klimaatverandering zichtbaar over de periode 1990 tot 2100. De verticale lijn aan de rechterkant van de grafiek geeft de bandbreedte weer van een emissiescenario berekend met verschillende GCM's. De bandbreedte van alle scenario's bij elkaar wordt weergegeven door een minimum mondiaal gemiddelde temperatuursstijging van 1.4 ºC en een maximum temperatuursstijging van 5.8 ºC voor 2100. De bandbreedte variatie in de toekomstige temperatuursstijging wordt voornamelijk veroorzaakt door verschillen in de gebruikte klimaatmodellen (KNMI, 2005).



Figuur B1: voorspelling van toekomstige ontwikkelingen in klimaat, weergegeven door verschillende mondiale emissiescenario's voor de periode 1990-2100 (IPCC, 2001)

Een belangrijke aanname bij de definitie van de koelwaterscenario's is de koppeling tussen de grootheden van verschillende scenario's, zo zijn op mondiaal niveau de IPCC klimaatscenario's gekoppeld aan de IPCC SRES emissiescenario's. Op regionaal niveau leidt dit er toe dat regio specifieke klimaatscenario's van het KNMI gekoppeld zijn aan regionale emissie/economiescenario's. Deze worden vertegenwoordigd door de CPB/RIVM scenario's "FOUR FUTURES for Energy Markets and Climat Change" (zie Box 4). Bij het vaststellen van de scenario's is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de regionale scenario's. Deze geven een gedifferentieerder en regio-specifieker beeld van de ontwikkelingen in klimaat en de uitstoot van broeikasgassen dan de mondiaal geldende IPCC scenario's. Centraal zullen in deze quick-scan staan: KNMI klimaatscenario's (Können, 2001), droogtestudie van Nederland (Beersma & Buishand, 2004) en CPB/RIVM (2004) energiescenario's.

Klimaatscenario's

Naast de mondiaal geldende klimaatscenario's van het IPCC heeft het KNMI klimaatscenario's ontwikkeld specifiek geldend voor West-Europa. Deze scenario's zijn gebaseerd op de GCM's maar worden vervolgens vertaald naar locale klimaatveranderingen. De vertaling van GCM-projecties is gebaseerd op statistische verbanden tussen historische gegevens en modelberekeningen (KNMI, 2005). Voor de huidige KNMI klimaatscenario's wordt deze methode gehanteerd. In het voorjaar van 2006 worden nieuwe klimaatscenario's openbaar gemaakt, deze zullen in hoofdzaak gebaseerd zijn op regionale klimaatmodellen (zie bijlage 1) [1].

[1] meer info: http://www.droogtestudie.nl/instrumentarium/basisinformatie/samenvattingen/9/

Afvoerscenario's

De scenario's voor de toekomstige afvoerverdeling van de Maas en Rijn komen uit modelberekeningen met RHINEFLOW-3 en MEUSEFLOW-2.1 (de Wit, 2001; van Deursen & Kwadijk, 1993, Van Deursen, 2002). Afvoer veranderingen ontstaan door veranderingen in de circulatiepatronen boven Europa welke resulteren in veranderingen in neerslag en verdamping.

Voor de toekomstige afvoerverdeling worden twee scenario's gedefinieerd. Het eerste scenario is gebaseerd op een gemiddelde zomerafvoer uit 2000 gecorrigeerd met een bepaald percentage per maand. Het tweede scenario is een droog scenario dat speciaal is ontworpen in het kader van WB21 (t.b.v. de Droogtestudie Nederland). De scenario's voor een droog jaar worden in deze quick-scan gedefinieerd als de toekomstige afwijking van de afvoer van een gemiddelde zomer met extreem lage afvoeren. In deze quick-scan wordt 2003 gehanteerd als droge zomer en zullen de droge scenario's 2003 als referentiejaar hebben.

Gemiddeld jaar (referentiejaar 2000)
Het gemiddelde scenario kent over de gehele zomer periode een geringe afvoer afname. De veranderingen in zomerafvoer variëren echter sterk over de zomermaanden en zijn ook per rivier verschillend. De Rijn kent over de hele zomerperiode een afname van de gemiddelde afvoer, de Maas daarentegen kent een toename in de vroege zomer en een vrijwel even sterke afvoer afname in september. Voor de Rijn kan dit patroon verklaard worden doordat zij voor een groot deel afhankelijk is van sneeuwsmeltwater uit de Alpen. Bij een verhoogde temperatuur zal er minder sneeuw in de Alpen te vinden zijn en zal het eerder afsmelten. Het afvoerkarakter van de Rijn zal voor de zomerperiode verschuiven van een gecombineerde sneeuwsmelt/regenval gedomineerde rivier, naar een regenrivier. De Maas kent een ander verloop van de afvoerverandering in de toekomst. Aangezien de Maas momenteel al een regenrivier is wordt zij niet beïnvloedt door veranderingen in de sneeuwsmelt. Voor het stroomgebied van de Maas is voorspeld dat de winterneerslag zal gaan toenemen. Veel neerslag zal tijdelijk in de bodem worden geborgen en tijdens het voorjaar en vroege zomer leiden tot een verhoogde bijdrage aan de rivierafvoer. In de maand september zal de afvoerverandering voor beide rivieren vrijwel gelijk zijn.

Omdat de afvoerverdeling sterk gekoppeld is aan een bepaald klimaatscenario is per klimaatscenario een specifieke afvoerverandering opgenomen zoals berekend met de modellen RHINEFLOW en MEUSEFLOW.

Droog jaar (referentiejaar 2003)
Naast het 'gemiddelde' scenario is er in 2001 (Können, 2001) een droogtescenario gedefinieerd op basis van vernieuwde inzichten. In het droogtescenario wordt de koppeling tussen neerslag en temperatuur verbroken. Dit voorstel gaat uit van een hoge schatting voor de temperatuur in combinatie met een neerslag afname van 10% (Können, 2001). Volgens de nieuwste KNMI berekeningen (KNMI, 2005) is de kans groot dat een 'droog' scenario zal optreden, echter de onderbouwing voor het optreden is van geheel andere aard.

Voor de verdeling van de scenario's betekent dit dat geen onderscheid gemaakt wordt tussen het droogtescenario en de verschillende klimaatscenario's. Voor elk klimaatscenario zal gerekend worden met één droogtescenario, anders dan de 'gemiddelde' afvoerscenario's die voor elk temperatuurscenario een verschillende afvoerverandering kennen.

Scenario's voor de Buitenlandse Belasting

Invloed lozing op oppervlaktewatertemperatuur
De temperatuur van de Rijn bij Lobith is de afgelopen 100 jaar met ca. 3,3 °C toegenomen. In deze periode is de gemiddelde watertemperatuur toegenomen van 11,8 tot 14,1 °C. Dit is voor 2/3 een gevolg van het toegenomen koelwatergebruik in Duitsland en voor 1/3 van de algehele temperatuurstijging ten gevolge van klimaatverandering. (CIW, 2004). Niet alleen de e-sector is verantwoordelijk voor koelwaterlozing, de industrie als geheel bepaalt uiteindelijk de totale thermische belasting van het oppervlaktewater. In deze quick-scan gaan wij ervan uit dat de ontwikkeling van de lozing bepaald wordt door de economische ontwikkeling binnen het stroomgebied (Rijn en Maas)

Economische/Emissie scenario's
De buitenlandse belasting van het rivierwater wordt sterk bepaald door (socio-) economische ontwikkelingen in het stroomgebied van een rivier. Op mondiaal niveau zijn door het IPCC emissiescenario's opgesteld (SRES-scenario's) die deze ontwikkelingen beschrijven. Emissiescenario's zijn mondiale voorspellingen van economische groei en de relatie met uitstoot van broeikasgassen. De scenario's beschrijven het verloop van uitstoot van broeikasgassen, klimaatverandering en bijbehorende gevolgen aan de hand van ontwikkelingsaannamen. Het zijn geen exacte voorspellingen, maar ze geven inzicht in de mogelijke consequenties van het niet uitvoeren van klimaatbeleid[2]. Op regionaal niveau zijn door het CPB/RIVM (2004) energie scenario's opgesteld, waarin voorspellingen gedaan worden van de toekomstige energiebehoefte van West-Europa. De filosofie achter deze scenario's is conform die van de SRES scenario's maar dan specifiek toegespitst op Europa. Deze scenario's worden de *"FOUR FUTURES for Energy Markets and Climate Change"* genoemd (Figuur B3). Ondanks de verschillen met mondiale emissiescenario's zijn er belangrijke raakvlakken in de manier waarop de relatie tussen het gebruik van fossiele brandstoffen in verband gebracht wordt met klimaatveranderingen. De scenario's geven elk hun eigen invulling aan de manier waarop in de komende 50 jaar met klimaatverandering, armoede en energie wordt omgegaan.

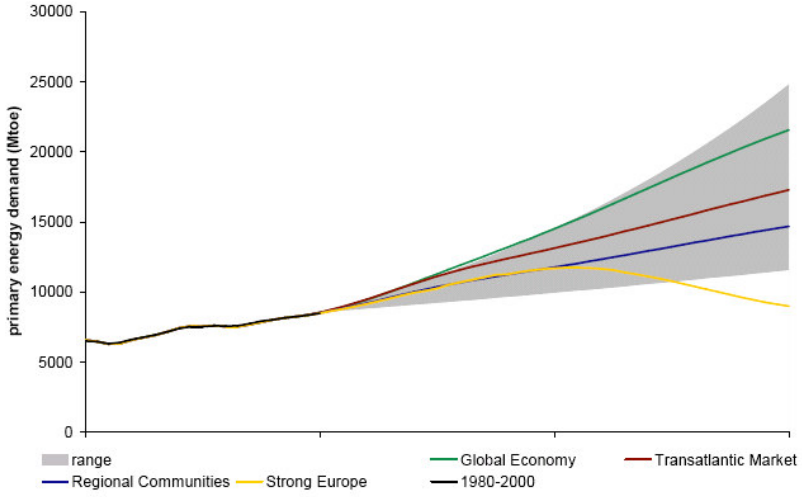
Scenario's voor de thermische belasting buitenland

Aangezien emissiescenario's de totstandkoming van de klimaatscenario's bepalen kan worden geconstateerd dat er naast de bestaande drie klimaatscenario's geen onderverdeling wordt gemaakt in aparte emissiescenario's, oftewel, elk KNMI klimaatscenario is gekoppeld aan een specifiek energiescenario.

[2] bron: http://www.rivm.nl/persberichten/klimaatmodel.jsp

De energiescenario's worden in deze quick-scan vertegenwoordigd door de invloed van de buitenlandse lozing op het oppervlaktewater van de Rijn en de Maas. In een studie naar de koelwaterproblematiek tijdens droogte (Ploumen, 2004) wordt een vooruitblik gedaan naar de toekomstige ontwikkelingen van in de lozing van koelwater van de Nederlandse centrales. Een belangrijke conclusie in dit rapport is dat er verwacht mag worden dat, door technologische ontwikkelingen, het rendement van de centrales zal verbeteren, wat zal leiden tot een reductie van de specifieke warmtelozing in 2050. Volgens Ploumen, (2004) zal de koelwaterlozing in 2050 gereduceerd zijn met 50% (per unit opgewekte energie wordt 50% minder geloosd). De reductie van de koelwaterlozing per opgewekte eenheid energie als gevolg van technologische ontwikkelingen zal ook zijn uitwerking hebben op de overige industriële sector. Er wordt daarom aangenomen dat ook deze sector een afname kent van thermische lozing per geproduceerde eenheid in 2050.

Het toegevoegde derde scenario (t.o.v. plan van aanpak) voor buitenlandse belasting zal een verlaging van de buitenlandse belasting inhouden t.o.v. de huidige situatie. Deze verlaging van de buitenlandse belasting kan resulteren uit succesvolle Nederlandse diplomatie of technologische ontwikkeling.



Figuur B2: Voorspelling energie behoefte van Europa voor 4 scenario's. Voorspelling tot 2030 inclusief historische energie behoeft 1980-2000 (CPB/RIVM, 2004)

Uitgaande van de energiebehoeftescenario's van Figuur B2 is de invloed van de thermische lozing uit het buitenland gekwantificeerd en weergegeven in de volgende tabel (B1). De totstandkoming van de kwantificering van energiebehoefte naar een invloed op de thermische belasting is verderop in deze bijlage te vinden.

Tabel B1: effect van toename energiebehoefte op de lozing van koelwater in 2050 ten opzichte van referentiejaar 2000.[3]

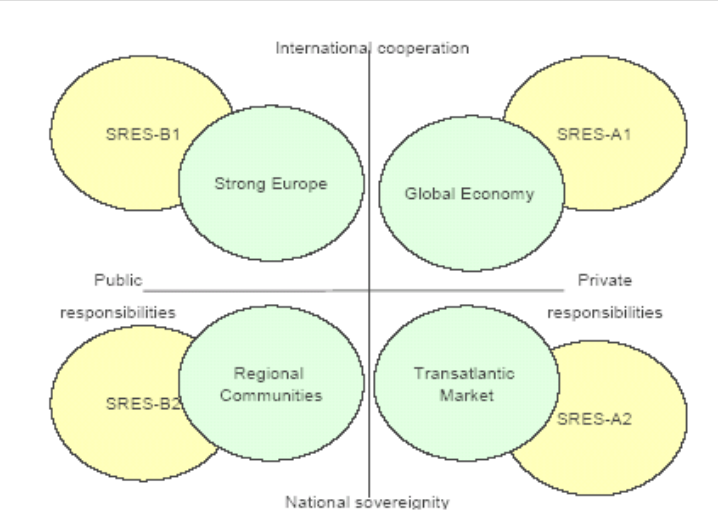
Rendementsverbetering 38%		2050 Mtoe*	toename Mtoe	T toename C	afname Mtoe	correctie C	Tbelasting C	Tlucht C	Ttotaal C
referentie jaar 2000		9000							
KNMI_Controllist:	**SC4, SC4**	16000	7000	**2,00**	6080	-1,74	0,26	**1,0**	1,26
KNMI_Milieudenker:	**SC3, SC4**	25000	16000	4,57	9500	-2,71	1,86	2,0	3,86
KNMI_marktoptimist:	**SC5, SC6**	5000	-4000	-1,14	1900	-0,54	-1,69	0,5	-1,19

Box 4: Achtergrondinformatie emissiescenario's

Achtergrondinformatie emissiescenario's

Om een indicatie te krijgen van de toekomstige ontwikkelingen op het gebied van buitenlandse belasting is gekeken naar de toekomstvoorspelling van de energiebehoefte. In figuur B3 is in een schema weergegeven hoe de emissiescenario's zich tot elkaar verhouden. Parallel aan de SRES-emissiescenario's staan de energiebehoeftescenario's ("FOUR FUTURES")van het CPB/RIVM. De scenario's voor de energiebehoefte zijn gebaseerd op de IPCC–SRES (emissie) scenario's maar zijn specifiek toegespitst op de socio-economische ontwikkelingen in West-Europa. Ondanks dat de nadruk op Europa ligt, spelen mondiale aspecten van energiegebruik en klimaatbeleid nadrukkelijk een rol. Ondanks enkele andere verschillen wordt er vanuit het CPB/RIVM duidelijk een link gelegd tussen de IPCC-SRES emissiescenario's en de energiebehoefte scenario's FOUR FUTURES.

Vanwege de toespitsing op Europa en de aansluiting op de toekomstige energiebehoefte is gebruik gemaakt van de FOUR FUTURES als richtlijn voor de buitenlandse belasting.



Figuur B3: de FOUR FUTURES in vergelijking met de SRES emissiescenario's.

De belangrijkste karakters van de FOUR FUTURES (kort overzicht van de economiescenario's). Het vierde scenario **Transatlantic Markets** wordt voor deze studie niet behandeld.

*) Mtoe: Million ton oil equivalent

Strong Europe:
In dit scenario wordt economische groei vooropgesteld door een gelijke verdeling van welvaart. De Europese Unie wordt uitgebreid, waarbij samenwerking voorspoedig verloopt op zowel economisch, geografisch en politiek vlak. Leden van de Unie leren van elkaar, waardoor ervaringen wijd verspreid worden binnen de Unie. Voor *Strong Europe* is het belangrijk om brede internationale samenwerking te bereiken, niet alleen op het gebied van handel, maar ook op het gebied van klimaatverandering.

Global Economy:
In *Global Economy* concentreren de Europese overheden zich op hun "core tasks", zoals de levering van publieke diensten en de bescherming van eigendomsrechten. Zij stoppen minder moeite in de herverdeling van inkomens en in een algemene sociale verzekering zodat de inkomensongelijkheid groeit. Hoewel de Europese Unie in politiek opzicht gesegregeerd blijft zal zij in Oostelijke richting uitbreiden om de handelsmogelijkheden optimaal te benutten. Aangezien de internationale samenwerking in niet-handelskwesties ontbreekt, intensiveert het probleem van klimaatverandering, terwijl de Europese belastingen per hoofdinkomen geleidelijk aan zullen dalen als gevolg van concurrentie tussen landen

Regional Communities:
De overheden zijn in dit scenario niet succesvol in het moderniseren van een welzijnstaat, dit druk zwaar op de Europese economieën. De Europese Unie kan niet adequaat omgaan met de Oostelijke uitbreiding, en ook de hervorming van haar eigen instituut faalt. Als alternatief, komt er een kern van rijke Europese landen. De samenwerking in deze subgroep van vrij homogene lidstaten krijgt een meer permanent karakter. De wereld is versplinterd in een aantal handelsblokken, multilaterale samenwerking is bescheiden.
Bron: CPB/RIVM (2004)

Kwantificering van buitenlandse belasting

Om tot een kwantificering te komen van de invloed van de thermische belasting uit het buitenland worden een aantal aannames gedaan. In deze bijlage zullen zij kort worden besproken waarna een uitleg volgt van de gevolgde procedure bij het vaststellen van de verandering van de temperatuur van het oppervlaktewater.

De kwantificering is gebaseerd op de volgende 4 aannamen:

- Een koppeling tussen de KNMI klimaatscenario's en de FOUR FUTURES energie scenario's van het CPB/RIVM.
- Een trend in de opwarming van het binnenkomend rivierwater sinds 1980. Dit is voor 2/3 een gevolg van het toegenomen koelwatergebruik in Duitsland en voor 1/3 van de algehele temperatuurstijging ten gevolge van klimaatverandering. (CIW, 2004)
- Een trend in de energietoename over de laatste 20 jaar (zie Figuur 1-1).
- Toename temperatuur oppervlaktewater en toename energiebehoefte zijn beide een gevolg van economische ontwikkelingen en volgen daardoor dezelfde trendmatige ontwikkeling.

Met deze uitgangspunten kan de invloed van thermische lozing op de temperatuur van het oppervlaktewater worden ingeschat voor de toekomst. De inschatting zal gemaakt worden op basis van verschillende stappen.

- Als eerste wordt de trendmatige ontwikkeling in de invloed van de buitenlandse lozing op de temperatuur van het oppervlaktewater vastgesteld;
- En vervolgens geëxtrapoleerd naar 2050.
- Daarna wordt gecorrigeerd voor de gunstige effecten van rendementsverbeteringen in de centrales voor de hoeveelheid warmtelozing.

Box 5: Stappen voor de kwantificering van de buitenlandse belasting

Stap 1: Volgens Figuur B2 volgt het scenario Regional Communities de trendmatige ontwikkeling in energievraag over de laatste 20 jaar. Hierdoor kan worden geconcludeerd dat dit scenario hoort bij de trendmatige ontwikkeling van aanname 3. Uitgaande van aanname 1 volgt dan dat de invloed van thermische lozing op de temperatuur van het rivierwater toeneemt met 2 °C waarbij de invloed van de lucht 1 °C is.

Stap 2: vanaf deze stap laten we de trendmatige ontwikkeling volgens los omdat de energievraag zich niet meer volgens een bepaald trend uit het verleden ontwikkelt. Uit de figuur volgt dat voor het Regional Communities scenario de energiebehoefte in 2040, circa 6000 Mtoe meer bedraagt dan in 2000. Voor 2050 zal dit ongeveer 7000 Mtoe zijn. Het Global Economy scenario vertegenwoordigt de bovenschattig in de bandbreedte van de berekeningen. Voor dit scenario wordt voor 2050 een schatting gedaan van een toename van 16000 Mtoe ten opzichte van 2000. Het Strong Europe scenario vertegenwoordigt de ondergrens van de bandbreedte. Voor dit scenario geldt dat door Europese samenwerking en toepassing van duurzame energie de totale energievraag zal afnemen met 4000 Mtoe t.o.v. 2000. Via een kruislingse vermenigvuldiging ten opzichte van het Regional Communities scenario leidt dit tot respectievelijk 4.57°C lozing toename en –1.14°C lozing toename. Hierbij moet wel worden benadrukt dat de waarden zoals ze zijn gepresenteerd een indicatie geven van de ontwikkelingen van energie. Het belangrijkste uitgangspunt is dat de waarden een bandbreedte vertegenwoordigen die zich verhoudt met de onzekerheid binnen de scenario's van klimaat en emissie.

Stap 3: Aangezien verwacht wordt dat er door technologische ontwikkeling een reductie zal optreden voor wat betreft de koelwaterlozing, zal deze ook meegenomen worden in de uiteindelijke scenario's. Volgens KEMA (Ploumen, 2004) wordt er gesproken over een lozingsafname voor 2030 tot wel 38%. Om een midden schattig te geven van de afname zal ook voor 2050 gebruik worden gemaakt van de 38% reductie van thermische vervuiling. Via dezelfde methode als onder stap 2 beschreven is wordt de verandering in lozingstemperatuur berekend. Deze methode gaat uit van een rendementsverbetering van 38% op de *totale* energie vraag. Er is geen apart scenario opgesteld om de rendementsverbeteringen door te rekenen omdat bij de invulling van de scenario's al vrij ruim is omgegaan met de onzekerheden.

Uit de tabel volgt dat het boven scenario een grote toename verwacht voor de watertemperatuur als gevolg van lozing en toename luchttemperatuur. Het midden scenario voorspeldt vrijwel geen verandering, het lage scenario voorspeldt een afname van de watertemperatuur.

Situatie 2050 t.o.v. 2000		Klimaat	KNMI Controllist Gematigd		KNMI Milieudenker Hoog		KNMI Marktoptimist Laag	
38% rendementsverbetering		Emissie/belasting	RC/SRES-B2		GE/SRES-A1		SE/SRES B1	
		Afvoer	gemiddeld	droog	gemiddeld	droog	gemiddeld	droog
Scenario	**Verandering t.o.v. referentie**		**Sc1**	**Sc2**	**Sc3**	**Sc4**	**Sc5**	**Sc6**
	Evenwicht en buitenlandse belasting +ºC		**1,25**	**1,25**	**3,85**	**3,85**	**-1,20**	**-1,20**
Klimaat	Evenwichtstemperatuur +ºC		1,0	1,0	2,0	2,0	0,5	0,5
	Neerslag zomerhalfjaar %		1	-15	2	-15	0,5	-15
	Verdamping %		4	24	8	24	2	24
	Zeespiegel cm		0,25	0,25	0,45	0,45	0,1	0,1
Emissie	Buitenlandse belasting +ºC		0,25	0,25	1,85	1,85	-1,70	-1,70
Afvoer	Afvoer Rijn %	juni	-2,5	-20,1	-5,1	-20,1	-1,3	-20,1
		juli	-3,1	-20	-6,2	-20	-1,6	-20
		augustus	-3,8	-19,7	-7,6	-19,7	-1,9	-19,7
		september	-4	-17	-8	-17	-2	-17
	Afvoer Maas %	juni	3,1	-18	6,1	-18	1,6	-18
		juli	0,5	-20,8	0,9	-20,8	0,3	-20,8
		augustus	-0,9	-18	-1,8	-18	-0,5	-18
		september	-4,1	-17	-8,1	-17	-2,1	-17

Tabel B2: Scenario's voor de quick-scan potentiële koelcapaciteit .

Tabel B3: Bronvermelding

Parameters:	**Bronnen:**
Temperatuur, neerslag en verdamping:	Können, (2001); Watertekortopgave; (2005), KNMI (mondelinge mededeling)
Afvoer per zomermaand:	De Wit, (2001); Van Deursen (2001) Van Deursen & Kwadijk, (1993)
Droogtescenario:	Können, 2001; De Droogtestudie van Nederland
Buitenlandse belasting:	CPB/RIVM, 2004

Randvoorwaarden

Zeeranden

Waterstanden uit Waterbase (www.waterbase.nl) worden gebruikt voor Den Oever, Kornwerderzand en Hoek van Holland. De 10 minuten waarden worden omgeschreven naar uurwaarden. De faseverschillen tussen de vijf getijranden worden als volgt toegepast:

Tabel B4: Faseverschillen in getij tussen de verschillende modelranden ten opzichte van meetstation Kornwerderzand.

modelrand	**gebruikte meetserie uit waterbase**	**faseverschuiving**
Haringvliet	Hoek van Holland	7:03 uur eerder
Hoek van Holland	Hoek van Holland	6:45 uur eerder
IJmuiden	Hoek van Holland	5:40 uur eerder
Den Oever	Den Oever	0:47 uur eerder
Kornwerderzand	Kornwerderzand	0.00 uur – referentie

Afvoeren bij Lobith en Eijsden

Voor de afvoeren bij Lobith zijn dagwaarden gebruikt voor de periode 2000 t/m 2003. Deze reeksen zijn afkomstig uit Waterbase. In de onderstaande tabellen zijn jaar- en zomergemiddelde waarden gepresenteerd over een periode van 1994 t/m 2004. Dit ter illustratie van de debieten en de spreiding over de afgelopen jaren.

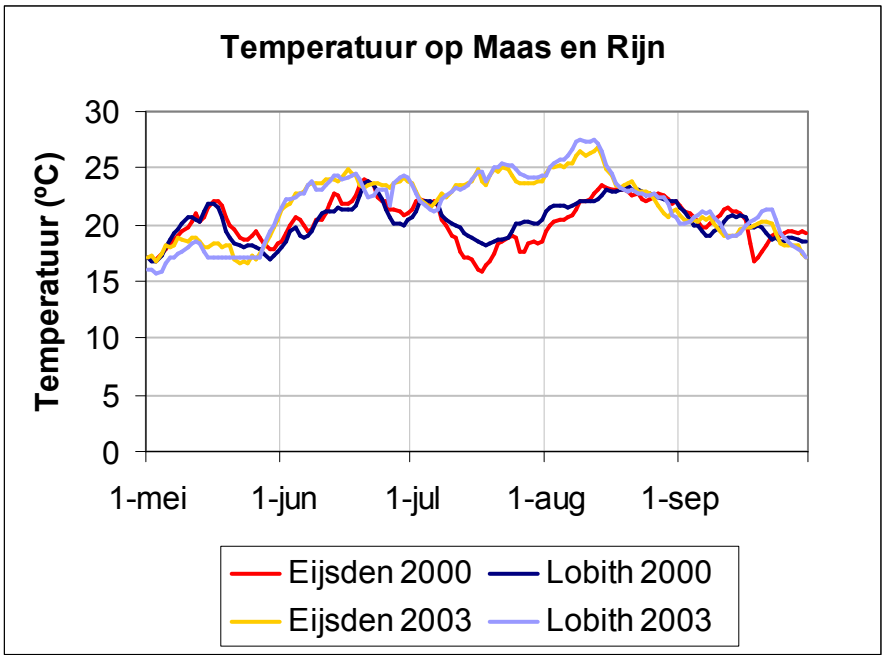
Tabel B5: gemiddelde jaar-debieten en zomer-debieten voor de periode 1994-2004, en de procentuele afwijking ten opzichte van het gemiddelde over deze periode.

Q-zomer	**Eijsden (m³/s)**		**Lobith (m³/s)**	
1994	19	-52%	354	-26%
1995	24	-39%	591	24%
1996	11	-72%	446	-6%
1997	31	-23%	529	11%
1998	20	-51%	358	-25%
1999	18	-56%	630	32%
2000	41	3%	545	15%
2001	21	-47%	560	18%
2002	20	-50%	527	11%
2003	12	-69%	327	-31%
2004	222	456%	369	-22%
gemiddeld	**40**		**476**	

Q-jaar	Eijsden (m³/s)		Lobith (m³/s)	
	280	-19%	1736	-24%
1995	339	-2%	2795	23%
1996	141	-59%	1753	-23%
1997	186	-46%	1914	-16%
1998	294	-15%	2268	0%
1999	312	-10%	2812	23%
2000	318	-8%	2516	10%
2001	375	9%	2849	25%
2002	346	0%	2974	31%
2003	174	-49%	1821	-20%
2004	1031	199%	1626	-29%
gemiddeld	**345**		**2279**	

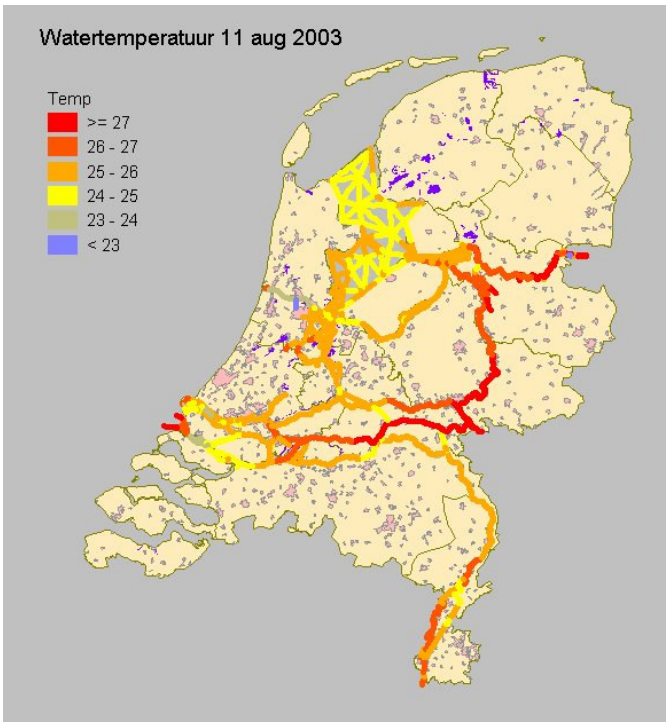
Temperatuur bij Lobith en Eijsden

Voor de temperatuur van de Maas en de Rijn zijn wederom waarden uit Waterbase gehaald. Deze zijn in onderstaande grafiek weergegeven.

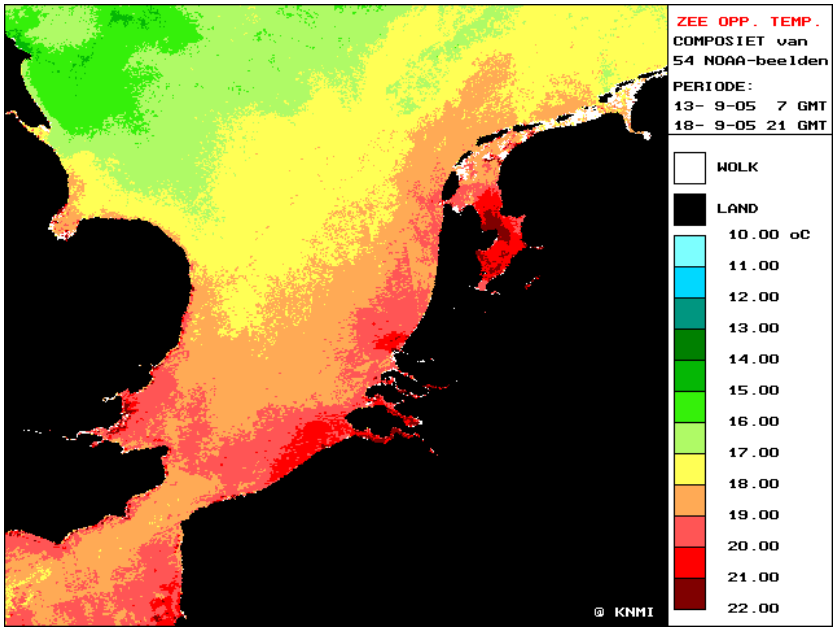


Figuur B4: Watertemperatuur op de Maas en de Rijn voor het gemiddelde jaar 2000 en het droge jaar 2003.

Voor de kuststrook is tevens gebruik gemaakt van watertemperatuurkaarten van het KNMI. Figuur B6 geeft een indicatie van de verspreiding van de zeewatertemperatuur voor de Nederlandse kust en de zeewatertemperaturen in de Waddenzee, IJsselmeer en Zeeuwse wateren. Mede op basis van deze gegevens en de metingen uit Waterbase is de potentiële koelcapaciteit bepaald voor de semi-kwantitatieve beschouwing.



Figuur B5: Watertemperatuur op 11 augustus 2003 (DELWAQ schematisatie Nederland)



Figuur B6: Zeewatertemperatuur Zuidelijk deel van de Noordzee 13/9-18/9 2005. (warmste periode van 2005)(bron: KNMI)

BIJLAGE 2 SOBEK landelijk warmtemodel

De warmtelozingscapaciteit[4] (wlc)

De warmtelozingscapaciteit is voor stromende wateren afhankelijk van het debiet en de mate waarin het water nog niet de maximaal toegestane watertemperatuur bereikt heeft. In formule vorm ziet dat er als volgt uit:

$$WLC = Q \times (T_{MAX} - T) \times \rho_w \times c_p$$

waarin:

WLC	=	warmte lozingscapaciteit voor een traject	(MW)
T_{MAX}	=	volgens de norm toegestane maximale watertemperatuur	(ºC)
Q	=	debiet	($m^3.s^{-1}$)
T	=	de huidige of toekomstige watertemperatuur	(ºC)
ρ_w	=	dichtheid van water	($kg.m^{-3}$)
c_p	=	warmtecapaciteit van water, energie (ongeveer 4195 J) om 1 kg water 1 graad in temperatuur te verhogen)	($J.kg^{-1}.ºC^{-1}$)

De warmtelozingscapaciteit van een rivier neemt stroomafwaarts toe als door bijmenging koeler water (met een temperatuur kleiner dan T_{max}), bijvoorbeeld van uit regionale wateren, het rivierdebiet toeneemt.

De koelcapaciteit (kc)

Voor niet stromende wateren stellen we voor om de warmtelozingscapaciteit gelijk te maximeren op de koelcapaciteit (dus in potentie niet meer lozen dan de natuurlijke koeling). De koelcapaciteit van een watersysteem is het vermogen om een opgelegde temperatuurverhoging a.g.v. een warmtelozing (surplustemperatuur) weer kwijt te raken aan de atmosfeer. De koelcapaciteit is groter als het afkoelende oppervlak groter is en de verblijftijd langer[5]. De koelcapaciteit is ook groter naarmate de watertemperatuur meer afwijkt van de 'evenwichtstemperatuur' (de temperatuur die het water zou hebben als de lozing(en) er niet geweest zou zijn).

---

[4] We hebben ervoor gekozen om onderscheid te maken tussen de koelcapaciteit en de warmtelozingscapaciteit. Een deel van de geloosde warmtevracht (warmtelozingscapaciteit) verdwijnt naar de atmosfeer (koelcapaciteit) en een ander deel wordt getransporteerd naar een watersysteem benedenstrooms en vermindert daar de warmtelozingscapaciteit. In termen van waterkwaliteit is de wlc te vergelijken me de maximale emissie die mogelijk is tot de norm opgevuld is, de koelcapaciteit is dan het zelfreinigende vermogen van het watersysteem.

[5] De snelheid waarmee warmte naar de atmosfeer kan verdwijnen (en daarmee de koelcapaciteit) is sterk afhankelijk van windsnelheid. Indien de IPCC klimaatscenario's uitspraken doen over de verandering van windsnelheid is het technisch eenvoudig om hiermee rekening te houden bij het bepalen van de koelcapaciteit.

De koelcapaciteit voor alle wateren is gedefinieerd als:

$$KC = Z \times (T_{MAX} - T) \times Oppervlak$$

waarin:

KC	=	koelcapaciteit van een waterlichaam	(MW)
Z	=	zelfkoelingsgetal[6]	$W.m^{-2}.\ ºC^{-1}$
T_{MAX}	=	volgens de norm toegestane maximale watertemperatuur	(ºC)
T	=	de huidige of toekomstige watertemperatuur	(ºC)
Oppervlak	=	oppervlak van het watersysteem	(m^2)

De watertemperatuur (T)

De huidige en toekomstige watertemperatuur wordt in het landelijk model berekend en wordt voornamelijk bepaald door

- de randvoorwaarden bij Lobith en Eysden;
- de opwarming en afkoeling als gevolg van meteorologische condities in Nederland;
- menging van water in het netwerk van rivieren en instroming uit het landelijk gebied (regionale wateren);

Hoewel het model nog niet gekalibreerd is, is het temperatuurmodel in Delwaq veelvuldig toegepast en bewezen geschikt bevonden om de watertemperatuur in o.a. de Maas (Wijdeveld & Kuin (WL), 2003) en het IJsselmeer (Meijers & Boderie (WL), 2004) te berekenen. De onzekerheden in het model worden grotendeels veroorzaakt door de onvolledigheid en onnauwkeurigheid in de waterlozingen en niet in de effecten van (veranderende) meteorologie. Om die reden kiezen we ervoor om de warmtelozingscapaciteit te berekenen en te presenteren zonder het effect van de huidige of toekomstige Nederlandse warmtelozingen te beschouwen.

6 Voor het zelfkoelingsgetal bestaan empirische formuleringen maar het getal kan ook volgt ook uit het warmtebalans model (Boderie & Dardengo (WL), 2001).

BIJLAGE 3 Kaarten potentiële koelcapaciteit (5% onderschrijding)

Legenda

KOELCAPACITEIT (MW)

- 43 - 250
- 251 - 750
- 751 - 1200
- 1201 - 1500
- 1501 - 2000
- 2001 - 2600
- 2601 - 3700
- 3701 - 5000
- 5001 - 7000
- 7001 - 10000
- 10001 - 14200
- 14201 - 21000
- 21001 - 28000
- 28001 - 65000

OVERIGEN

- Open water
- Provinciegrenzen en Landsgrens

0 10 20 40 60 80 Kilometers

N

Projectnaam: Koelcapaciteit Rijkswateren 2005-2050
Projectnummer: V3515.66.001
Opdrachtgever: Ministerie van Verkeer en Waterstaat/RIZA
Kaartnaam: Sc1_5%
Kaartnummer: *1*
Versie: definitief
Datum: 27-01-2006
Opgesteld door: Eisse Wijma

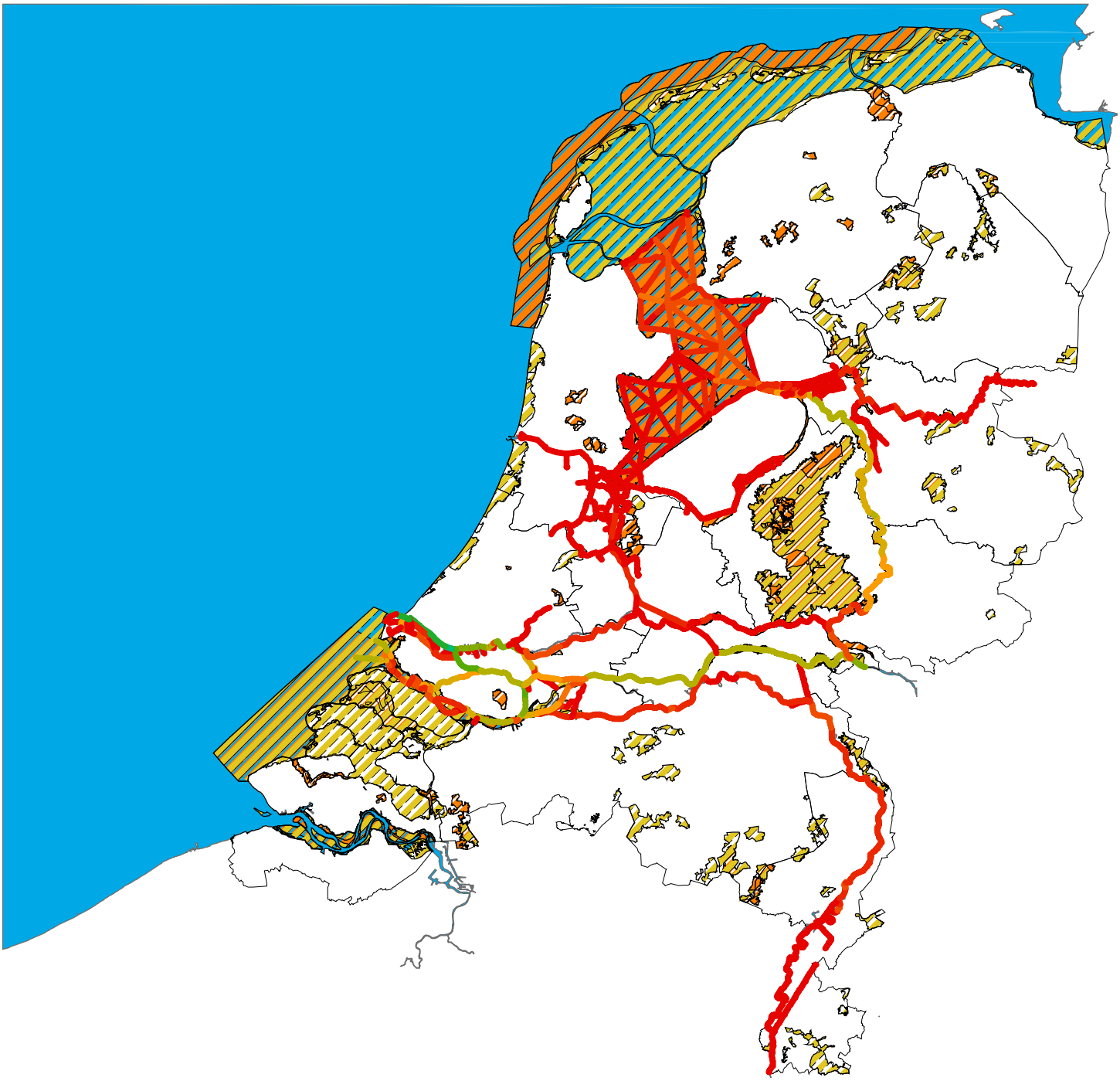
wl | delft hydraulics

DHV

© DHV Ruimte & Mobiliteit BV

© DHV Ruimte en Mobiliteit BV. Deze tekening mag niet worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt d.m.v. druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DHV Ruimte en Mobiliteit BV noch mag deze zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waar voor zij is vervaardigd.

BIJLAGE 4 Kaart VHR gebieden en worstcase scenario



Legenda

KOELCAPACITEIT (MW)

- 43 - 250
- 251 - 750
- 751 - 1200
- 1201 - 1500
- 1501 - 2000
- 2001 - 2600
- 2601 - 3700
- 3701 - 5000
- 5001 - 7000
- 7001 - 10000
- 10001 - 14200
- 14201 - 21000
- 21001 - 28000
- 28001 - 65000

OVERIGEN

- Open water
- Provinciegrenzen en Landsgrens
- Habitatrichtlijn gebieden
- Vogelrichtlijn gebieden

0 10 20 40 60 80 Kilometers

N

Projectnaam: Koelcapaciteit Rijkswateren 2005-2050
Projectnummer: V3515.66.001
Opdrachtgever: Ministerie van Verkeer en Waterstaat/RIZA
Kaartnaam: VHR-gebieden en Worst Case scenario (Sc4_5%)
Kaartnummer: *11*
Versie: definitief
Datum: 27-01-2006
Opgesteld door: Eisse Wijma

wl | delft hydraulics

DHV

© DHV Ruimte & Mobiliteit BV

© DHV Ruimte en Mobiliteit BV. Deze tekening mag niet worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt d.m.v. druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DHV Ruimte en Mobiliteit BV noch mag deze zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waar voor zij is vervaardigd.