

# Lozing van koelwater in de toekomst

## 1. Inleiding

In deze cursus neemt mijn voordracht een wat bijzondere plaats in, omdat de elektrische centrales wel veel koelwater nodig hebben, maar geen substantieel afval aan het geloosde water toevoegen. De vraag in hoeverre de aan het water toegevoegde warmte nuttig of schadelijk kan zijn zal later worden besproken. Er zal eerst een prognose worden gegeven voor de behoefte aan koelwater, resp. de lozing van koelwater in de toekomst.

Bij de te maken prognose van de koelwaterbehoefte zal hoofdzakelijk worden gelet op de produktie van elektriciteit. In de huidige situatie zijn de elektrische centrales namelijk de grootste koelwatergebruikers.

## 2. Koelwaterbehoefte van een elektrische centrale; geloosde warmte

Waterkrachtcentrales kunnen in ons land geen rol van betekenis vervullen door het ontbreken van voldoende niveauverschillen.

Ook windkrachtcentrales hebben in ons land weinig kans van slagen. Weliswaar is er in Rusland op dit gebied weer een nieuwe ontwikkeling gaande. Men denkt daar onder anderen over 1000 windmolens met een diameter van 50 m, achter elkaar te plaatsen in een dal in Siberië waar de Bora grote en regelmatige windsnelheden levert. De onregelmatige, relatief zwakke winden in ons land maken dergelijke projecten echter geheel kansloos.

Gasturbines kunnen in beperkte mate worden gebruikt voor het opwekken van piekvermogen [1], maar sommige typen hebben ook koelwater nodig.

Andere methoden van elektriciteitsopwekking (directe conversie) waarbij mogelijk minder koelwater nodig zou kunnen zijn, moeten nog een lange weg van ontwikkeling doorlopen.

Voor de in punt 3 te maken prognose zal daarom uit worden gegaan van de koelwaterbehoefte van het huidige type van centrale waarin elektriciteit wordt opgewekt met behulp van stoomturbines.

Het mag bekend worden verondersteld dat een dergelijke elektrische centrale (koud) koelwater nodig heeft om verschillende redenen, die kort zullen worden vermeld. De subtiële constructie van een moderne stoomturbine vereist bijzonder zuiver ketelvoedingswater. Het zou oneconomisch zijn dit zorgvuldig toebereide water uit de laatste trap van de turbine als stoom te laten ontwijken, nog afgezien van de enorme hinder voor de omgeving die het afblazen van de honderden tonnen stoom per uur zou veroorzaken.

Naast deze min of meer triviale reden die een condensor en daarmee een zekere koeling van die condensor nodig maakt, is het uit een oogpunt van rendement nodig de stoom in een condensor bij lage temperatuur en lage druk te condenseren. Het warmteverbruik van een centrale per opgewekte kWh stijgt namelijk ongeveer 2,5 % per °C toename van de temperatuur van het koelwater. Terloops zij hierbij onmiddellijk opgemerkt, dat het belang van een economische bedrijfsvoering van een centrale in deze parallel loopt met de belangen van diegenen die bezorgd zijn voor een te sterke opwarming van de openbare wateren. Dit ter geruststelling van deze laatste

categorie. Het veelvuldig geciteerde schrikbeeld van de kokende Rijn is irreal: boven de 30 à 35° C verliest de Rijn als koelmiddel iedere technische en economische betekenis.

De hoeveelheid warmte die door een moderne centrale gestookt met conventionele brandstof via het koelwater wordt geloosd, zal in de toekomst ongeveer 280 Mcal/sec. bedragen per 1000 MW opgewekt elektrisch vermogen. Dit komt neer op een koelwaterstroom van bijvoorbeeld 40 m<sup>3</sup>/sec. bij een opwarming van 7° C voor een centrale van 1000 MW. Voor Nederland is 1000 MW op het ogenblik een grote centrale en hiervoor is dus al het debiet van een kleine rivier aan koelwater nodig. Voor de toekomst denkt men aan centrales van 2 à 5000 MW. Kerncentrales lozen thans nog ca. 50 % meer warmte, maar te verwachten is dat dit in de toekomst gunstiger zal worden. Daarom zal in het volgende worden aangenomen dat gemiddeld voor een centrale van 1000 MW een koelwaterstroom van 50 m<sup>3</sup>/sec. nodig is, die bij een centrale met conventionele brandstof wat minder dan 6° C wordt opgewarmd en bij een kerncentrale wat meer dan 6° C.

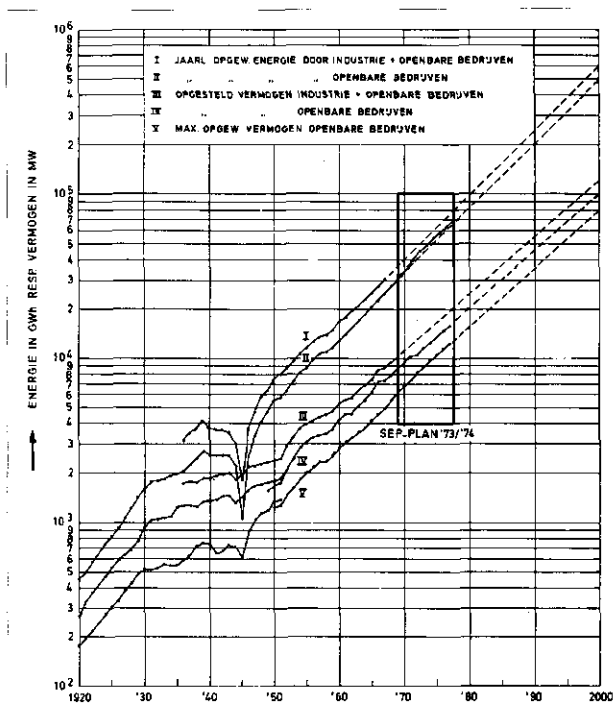
## 3. De toekomstige behoefte aan elektriciteit

Om een goede prognose van de behoefte aan koelwater te kunnen geven is eerst een prognose van de behoefte aan elektriciteit nodig. Een dergelijke prognose is moeilijk nauwkeurig te geven. Het heeft echter ook niet zo veel zin over een nauwkeurige prognose te beschikken. De toename van de behoefte aan elektriciteit is namelijk zo groot, dat een fout van bv. 30 % in de voor het jaar 2000 geschatte behoefte alleen maar betekent dat de geschatte behoefte in feite enkele jaren eerder of later optreedt. Voor de behoefte aan koelwater maakt dit geen wezenlijk verschil.

Er wordt daarom volstaan met een simpele grafische extrapolatie van de gegevens van het Centraal Bureau voor Statistiek en van de NV SEP uit het verleden, terwijl tevens gebruik wordt gemaakt van de cijfers voor de naaste toekomst tot 1977/78 uit het SEP-plan 1973/74. Aan deze bronnen ontleend zijn de in afb. 1 uitgezette gegevens:

- I de totale jaarlijks opgewekte elektrische energie in GWh door de industrie en de openbare nutsbedrijven tezamen;
- II de totale jaarlijkse opgewekte elektrische energie in GWh door de openbare nutsbedrijven alleen;
- III het totale opgestelde vermogen in MW van industrie en openbare bedrijven tezamen;
- IV het totale opgestelde vermogen in MW van de openbare bedrijven alleen;
- V het maximaal opgewekte vermogen in MW door de openbare bedrijven alleen.

Bij de grafische extrapolatie van deze gegevens naar het jaar 2000 vormen de jaren om en nabij de oorlog van 1940-1945 een storend element. Het verloop van de verschillende lijnen na 1955 is echter zo regelmatig, dat een extrapolatie naar het jaar 2000 vrij nauwkeurig mogelijk lijkt. Hierbij is dan aangenomen dat er geen nieuwe storende gebeurtenissen als oorlogen of zware economi-



Afb. 1  
Grafische extrapolatie van de behoefte aan electriciteit tot het jaar 2000. Een fout van bv. 30% in het geraamde opgesteld vermogen van 100.000 MW in het jaar 2000 betekent alleen dat het geraamde bedrag enkele jaren eerder of later wordt bereikt.

sche crises optreden, dat er geen plotselinge wijzigingen in het gebruikspatroon van elektrische energie ontstaan en dat er geen plotselinge verzadiging in de behoefte aan electriciteit optreedt. Het is in dit verband van belang zich te realiseren, dat bijvoorbeeld in de Verenigde Staten waar het elektriciteitsverbruik per inwoner ca. 3 maal zo groot is als in Nederland, van verzadiging ook nog geen sprake is.

Het gebruikspatroon zou in de beschouwde periode drastisch kunnen veranderen door een algemene invoering van air-conditioning of door het invoeren op grote schaal van elektrische auto's. Door het eerste zal hoofdzakelijk het verschil in zomer- en winterbelasting en door het tweede het verschil in dag- en nachtbelasting worden genivelleerd.

Het meest betrouwbaar is daarom vermoedelijk nog wel de extrapolatie van het opgesteld vermogen of de via een zekere veiligheidsfactor daarmede gekoppelde maximale belasting. Uit afb. 1 valt af te lezen dat hieruit voor het jaar 2000 te verwachten is:

een opgesteld vermogen van ca. 100 000 MW  
een maximale belasting van ca. 80 000 MW

Zonder ingrijpende wijziging in het huidige belastingspatroon zou bij deze waarden behoren:

een gemiddelde zomerbelasting van ca. 50 000 MW.

In de hierna volgende koelwaterprognose is uitgegaan van het opgesteld vermogen, zodat er dus nog een zekere reserve is ingebouwd voor mogelijke veranderingen in het belastingspatroon. Herhaald zij echter dat een onzekerheid in de geschatte behoefte aan electriciteit de situatie wat betreft het koelwater alleen enkele jaren eerder of later doet optreden dan in het jaar 2000. Uiteraard zal van tijd tot tijd de behoefte opnieuw moeten worden geraamd.

#### 4. De wijze waarop in de koelwaterbehoefte van elektrische centrales kan worden voorzien

In punt 2 is betoogd dat voor conventionele en nucleaire centrales in de toekomst gemiddeld een koelwaterstroom van 50 m<sup>3</sup>/sec. nodig is, waarbij de opwarming in de condensor wat minder resp. wat meer dan 6° C bedraagt. De wijze waarop in deze koelwaterstroom kan worden voorzien zal nu nader worden beschouwd. Er zijn drie duidelijk verschillende methoden, terwijl als vierde een of andere combinatie van deze drie methoden mogelijk is.

*Eerste methode: doorstroomkoeling.* Indien er voldoende aanvoer van (koud) koelwater is, bijvoorbeeld uit een rivier, en dit koelwater kan na opwarming in de centrale op afdoende wijze worden afgevoerd, bijvoorbeeld door een andere of door dezelfde rivier, dan heeft men voor de betreffende centrale een probleemloze koeling, afgezien van waterloopkundige en nautische moeilijkheden.

*Tweede methode: oppervlaktekoeling.* Indien er in het geheel geen aanvoer van koud water mogelijk is, maar er staat wel een afkoelend wateroppervlak (bv. een meer) ter beschikking, dan kan men het koelwater aan de ene kant uit het meer onttrekken en na de opwarming in de condensor het warme water aan de andere kant van het meer weer lozen. Indien het oppervlak van het meer groot genoeg is, dan zal het water op zijn weg van uitlaat naar inlaat voldoende afkoelen om opnieuw door de centrale ingenomen te worden. Per MW van de centrale is dan ongeveer 1/2 ha wateroppervlak nodig. In het hiernavolgende zal echter voorzichtigheidshalve worden gerekend met 1 ha per MW, omdat er rekening mee wordt gehouden dat niet alle ter sprake komende oppervlakken volledig kunnen worden benut, bijvoorbeeld bij plaatsing van meerdere centrales aan één groot meer. Voor één centrale en één geheel te benutten wateroppervlak kan in de voor de koeling maatgevende zomermaanden gerekend worden met ongeveer 1/2 ha per MW.

Opgemerkt zij, dat aan het eind van punt 3 is besloten om voor de koelwaterprognose de belasting gelijk te stellen aan het opgesteld vermogen, hetgeen nog een extra reserve oplevert indien het belastingspatroon van de centrales in de toekomst niet verandert.

*Derde methode: Koeltorens.* Indien er noch voldoende aanvoer van koud water noch voldoende koelend oppervlak aanwezig is, dan kan gebruik worden gemaakt van koeltorens. Een koeltoren van enkele honderden MW is echter een gebouw van ongeveer 100 m hoog en een ongeveer even grote doorsnede aan de voet. Om in het jaar 2000 het gehele op te wekken elektrische vermogen op deze wijze te koelen, zouden er dus enkele honderden van deze bouwwerken nodig zijn in ons land, waarvoor de benodigde ruimte moeilijk te vinden zal zijn. Bovendien zou een dergelijk massaal gebruik van koeltorens ongetwijfeld klimatologische problemen in de omgeving veroorzaken door nevelvorming en tijdens de winter door ijzel.

Een indruk van de grootte van dit probleem kan verkregen worden door de volgende beschouwing. In koeltorens verdampt 1 à 2% van het koelwaterdebiet, dus per 1000 MW 1 à 2% van 50 m<sup>3</sup>/sec., d.i. 0,5 à 1 m<sup>3</sup> per seconde. Denkt men zich voor een centrale van 1000 MW (er wordt nu al gedacht aan centrales van 3 à 6000 MW) 3 koeltorens opgesteld voor 333 MW elk op een terrein van 10 ha (tussen de koeltorens onderling en de andere gebouwen is enige afstand nodig), dan moet de atmos-

feer boven dit terrein van 10 ha dus 0,5 à 1 m<sup>3</sup>/sec. aan water in de vorm van damp opnemen.

De aan het wateroppervlak van een koelmeer verdampde hoeveelheid water is ongeveer twee maal kleiner dan bij een koeltoren. Zelfs al stelt men de hoeveelheid gelijk dan behoeft de atmosfeer boven een koelmeer per 1000 MW slechts 0,5 à 1 m<sup>3</sup>/sec. water op te nemen over een oppervlak van 1000 ha. De plaatselijke belasting van de atmosfeer met waterdamp is dus bij koeltorens ruim 100 maal groter dan bij gebruik van oppervlaktekoeling. Door het KNMI wordt op het ogenblik een nadere studie van de hier globaal aangeduide klimatologische problemen gemaakt.

Afgezien van bovengenoemde bezwaren zullen koeltorens ook om economische redenen voorlopig alleen in incidentele gevallen een oplossing van het koelprobleem kunnen leveren omdat zij kostprijsverhogend op de stroom werken door verhoogde investering en door verhoogd brandstofgebruik. Worden koeltorens, condensoren en turbines zo gunstig mogelijk aan elkaar aangepast, dan bedraagt deze prijsverhoging van de stroom vergeleken met koeling op open water zeker 5 % voor de z.g. natte koeltorens. Gaat men om de klimatologische bezwaren over op z.g. droge koeltorens dan bedraagt de kostprijs zelfs minstens 10 %.

Bovengenoemde bezwaren tegen koeltorens sluiten niet uit, dat het in bepaalde gevallen gewenst kan zijn op beperkte schaal koeltorens toe te passen en dan wel meestal bij de vierde methode.

*Vierde methode: gemengde koeling.* Indien er wel enige aanvoer van koud koelwater en/of enig koelend oppervlak beschikbaar is, dan kan men beide methoden toepassen (hetgeen in de praktijk het meest voorkomt), eventueel nog gecombineerd met een of enkele koeltorens.

## 5. De potentieel in Nederland aanwezige koelingsmogelijkheden

In het hiernavolgende zullen voor de koeling in aanmerking komende wateren worden opgesomd in een volgorde, die deels op geografische en deels op koeltechnische gronden is gekozen.

### 5.1 Koeltorens

In het voorafgaande is al betoogd dat koeltorens zeker een oplossing voor het Nederlandse probleem als geheel kunnen leveren. Het is echter denkbaar dat in bijzondere gevallen en voor gedeelten van centrales of als additioneel koelmiddel gebruik zal worden gemaakt van koeltorens en vooral ook tegen het einde van deze eeuw als de andere koelmiddelen schaars worden. Vanwege de eerder opgesomde bezwaren wordt de bijdrage van koeltorens hier echter op niet meer dan ongeveer 10.000 MW geschat.

### 5.2 De bovenrivieren

Zolang de rivieren in niet opgewarmde toestand ons land binnenkomen, zou het gehele debiet van deze rivieren in principe voor koeling kunnen worden gebruikt. De enige rivieren die een belangrijke rol kunnen spelen zijn de Rijn (Waal), de Maas en de IJssel.

Het debiet van de Maas op zich kan geruime perioden van het jaar zo klein worden (25 m<sup>3</sup>/sec. of nog minder) dat het in deze beschouwing nauwelijks een rol speelt. De Maas zal echter onder punt 5.3.4 nog nader ter sprake komen in combinatie met oppervlaktekoeling.

De IJssel zou eventueel bij Westervoort nog een centrale van 1 à 2000 MW kunnen koelen indien het minimum debiet na kanalisatie 40 m<sup>3</sup>/sec. zou worden, hetgeen evenmin van groot belang is in de onderhavige beschouwing. Maar ook de IJssel zal onder punt 5.3.4 nog nader ter sprake komen in combinatie met oppervlaktekoeling. De enige rivier van werkelijke importantie is de Rijn bij Lobith of de Waal; de Rijn bij Arnhem kan na kanalisatie ook geen grote rol meer spelen (50 m<sup>3</sup>/sec.).

Het debiet van de Rijn daalt niet vaak beneden 1000 m<sup>3</sup>/sec., hetgeen voldoende is voor 20.000 MW. Voor deze 20.000 MW is aangenomen dat de Rijn met een zodanige temperatuur ons land binnenkomt dat opwarming van het gehele debiet met 6° C mogelijk is en dat 6 centrales van 3 à 4000 MW geplaatst kunnen worden aan de Waal. Om dit mogelijk te maken zullen de zandtransportproblemen in de rivier opgelost moeten worden. Een andere afdoende oplossing zou zijn een stuw in de Waal met scheepvaartsluizen en twee zeer grote centrales aan weerszijden. Bovendien zou dan door opstuwung het oppervlak zodanig vergroot kunnen worden met de uiterwaarden, dat ook bij een aanzienlijke opwarming van de Rijn in Duitsland de eerder genoemde 20.000 MW gehaald zou kunnen worden (vgl. 1). Deze laatste oplossing moge revolutionair lijken en uiterst hinderlijk voor de scheepvaart zijn, maar in Duitsland gaat men toch ook over tot de bouw van twee stuwen in de Rijn, weliswaar boven het drukst bevaren gedeelte en in de eerste plaats ter verbetering van de waterdiepte maar toch ook gecombineerd met de belangen van de elektriciteitsvoorziening.

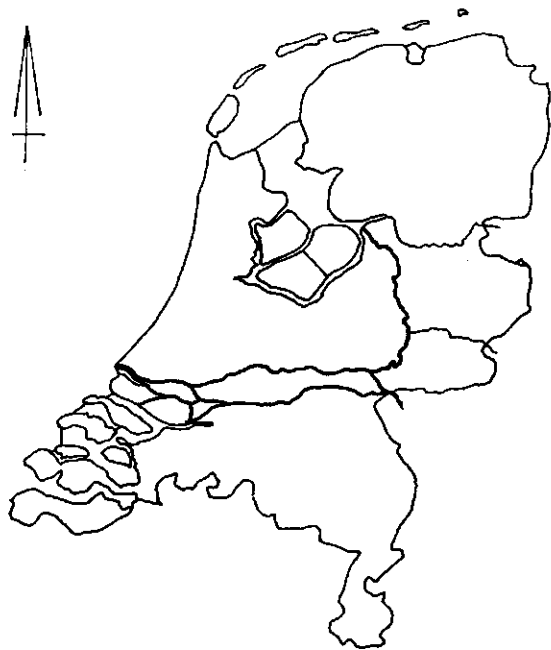
Met de Bovenrivieren is in punt 5.2 het geval van de zuivere doorstroom-koeling behandeld. Het zou mogelijk zijn geografisch indelend nu in punt 5.3 verder te gaan met de Benedenrivieren, maar aangezien daar een gemengde vorm van doorstroming en oppervlaktekoeling optreedt, zal eerst in punt 5.3 de zuivere oppervlaktekoeling behandeld worden.

### 5.3 Oppervlaktekoeling

Het grootste wateroppervlak dat in Nederland ter beschikking staat is het

#### 5.3.1 IJsselmeer

Het IJsselmeer krijgt in de uiteindelijke gedaante een oppervlakte van de orde van 100.000 ha en zou dus volgens de in punt 2 gestelde regel van 1 ha per MW theoretisch 100.000 MW aan elektrische centrales van koelwater kunnen voorzien. Hoewel het koelend vermogen van het meer hiervoor theoretisch inderdaad zelfs ruim voldoende zou zijn, blijkt dit bij nadere beschouwing een niet reële mogelijkheid. Men zou dan namelijk 20 centrales van 5000 MW in het meer moeten bouwen, waartoe het hele meer volgebouwd zou moeten worden met deze centrales, de daarvoor benodigde koelwatergeleide-dammen en de hoogspanningslijnen voor het elektriciteitstransport. Hoewel het benodigde koelend oppervlak aanwezig is, moet om andere redenen vermoedelijk toch wel een aantal van 6 centrales van 3 à 4000 MW als het maximaal bereikbare worden gezien en wel tegen het einde van de twintigste eeuw omdat deze centrales voor de huidige situatie, afgezien van enkele centrales aan de zuidelijke oever, te ver van het zwaartepunt van de belasting liggen. Voor de situatie van het jaar 2000 kan dus voor het IJsselmeer zeker gerekend worden op 20 à 25.000 MW.



### 5.3.2 Meren van het Deltagebied

Na voltooiing van de Deltawerken ontstaat een drietal meren: de Oosterschelde, de Grevelingen en het Haringvliet met een gezamenlijk oppervlak van ca. 60.000 ha. Hier kan dus ook potentieel een zeer groot oppervlak voor koeling worden gebruikt. Evenals bij het IJsselmeer lijkt de praktische benutting van dit gehele oppervlak onmogelijk. Er zij hier voorlopig het zelfde vermogen als praktisch bereikbaar gesteld: 6 centrales van 3 à 4000 MW dus een totaal vermogen van 20 à 25.000 MW.

### 5.3.3 Natuurlijke en kunstmatige meren

Indien de plannen voor de centrale aan het Bergummeer en de voorlopig uitgestelde plannen voor een centrale aan de Kagerplassen worden medegegeteld, dan zou er, het binnenmeer van de Lauwerszee en enkele mogelijk nog te maken kunstmatige meren medegegeteld, mogelijk 10.000 MW aan deze meren kunnen worden opgesteld.

### 5.3.4 Koelend oppervlak van Bovenrivieren en van kanalen

Het koelend oppervlak van de Waal, Rijn en IJssel, ca. 25 km<sup>2</sup>, waar in punt 5.2 geen rekening mede is gehouden, zou voldoende zijn voor ca. 5000 MW. Deze oppervlaktekoeling zal niet worden medegerekend. Zij wordt echter van belang indien het koelend oppervlak door opstuwung kan worden vergroot.

Het koelend oppervlak van de IJssel en de Maas is op zichzelf niet groot, maar gecombineerd met oppervlaktekoeling in het Ketelmeer zou het mondingsgebied van de IJssel een centrale van ongeveer 5000 MW mogelijk maken (Ramspol), terwijl langs de Maas grote grindgaten ontstaan, die mogelijk in combinatie met de Maas zelf te gebruiken zijn. Enkele (kleinere) door kanalen te koelen centrales medegerekend zou voor deze categorie toch wel op een totaal vermogen van 10.000 MW kunnen worden gerekend.

### 5.4 Benedenrivieren

Indien hieronder worden verstaan de Lek, Nieuwe Maas,

Nieuwe Waterweg, Beneden Merwede, Nieuwe Merwede en Oude Maas met aangrenzende kanalen en havens en als het oppervlak wordt geschat op 50 km<sup>2</sup>, dan zou met ½ ha per MW rekenende, dit gebied potentieel voldoende koeling leveren voor 10.000 MW opgewekt vermogen, aangenomen dat het doorstromende water reeds zover opgewarmd aankomt dat hierdoor geen verdere calorieën kunnen worden opgenomen.

### 5.5 Estuaria

Als zodanig kunnen worden aangemerkt de Westerschelde en de Eemsmond.

In estuaria treedt een gemengde koeling op: enerzijds is er de (langzame) doorstroming als gevolg van het rivierdebiet en anderzijds vindt oppervlaktekoeling plaats doordat eb- en vloedbewegingen het geloosde koelwater over een groot oppervlak uitspreiden.

Aan de Eemsmond bestaan reeds plannen voor een centrale waarvan uitbouw tot 5000 MW denkbaar is. Aan de Westerschelde zou in principe aan werszijden een grote centrale gebouwd kunnen worden, zodat voor de Westerschelde op 10.000 MW gerekend zou kunnen worden. Aan de Noordzijde van de Westerschelde is reeds begonnen met de bouw van een centrale.

Potentieel kan er voor beide estuaria tesamen dus gerekend worden op 15.000 MW.

### 5.6 Noordzee

De Noordzee wordt algemeen gezien als een koelwaterreservoir met vrijwel onbegrensde mogelijkheden. Dit is inderdaad het geval, maar het zal uiterst moeilijk zijn deze mogelijkheden technisch en economisch te effectueren. Een centrale aan de Noordzeekust is eigenlijk alleen denkbaar bij Europort en bij IJmuiden. Overal elders aan de Noordzeekust zou men op vrijwel onoverkomelijke moeilijkheden stuiten. Het plaatsen van centrales op kleine eilanden, zoals in het IJsselmeer, vlak buiten de kustlijn zou veel kostbaarder zijn dan in het IJsselmeer.

Tot het jaar 2000 is er dus weinig kans dat het koelend vermogen van de Noordzee verder benut kan worden dan met twee centrales van 5000 MW, een bij Europort en een bij IJmuiden, tesamen 10.000 MW.

Denkbaar is echter dat in de verre toekomst grote eilanden in de Noordzee gebouwd zullen worden om als haven te dienen voor supertankers en mogelijk voor het vestigen van industrieën die op het land geen plaats kunnen vinden. Zouden dit grote, langwerpige of hoefijzervormige eilanden worden met een grootste afmeting van 10 km of meer, dan zouden deze eilanden gelegenheid bieden voor het vestigen van zeer grote centrales, bijvoorbeeld 25.000 MW per eiland. Het elektrotechnische probleem om van deze eilanden de opgewekte stroom naar ons land en mogelijk naar het achterland Duitsland te voeren is echter nog niet opgelost. De oplossing van dit probleem zal vermoedelijk moeten wachten op de ontwikkeling van economisch acceptabele supergeleidende of sterk gekoelde kabels, die niet veel eerder dan het einde van deze eeuw beschikbaar zullen komen.

### 5.7 De Waddeneilanden

Indien de Waddenzee niet wordt drooggelegd, dan zouden vier, misschien vijf Waddeneilanden een centrale van 5000 MW kunnen herbergen, hetzij aan de Noord-

zeekust op het eiland hetzij op een kunstmatig eilandje voor de Noordzeekust. Het koelwater zou dan kunnen worden ingenomen uit de Noordzee en met een koelwaterkanaal dwars door het eiland aan de kant van de Waddenzee moeten worden geloosd. Door de vele onzekerheden zal de aldus op te wekken 25.000 MW pro memorie worden beschouwd, ook al vanwege het probleem van het transport van de elektriciteit naar het vaste land.

Het is denkbaar in geval van inpoldering van de Waddenzee, dat dit op een zodanige wijze zou kunnen geschieden, dat op de beide uiteinden van de afsluitdijk een centrale van ca. 5000 MW geplaatst zou kunnen worden. Hiervoor zou het nodig zijn bij de inpolderingsplannen met deze mogelijkheid rekening te houden.

### 5.8 Resumé van de in Nederland potentieel aanwezige koelingsmogelijkheden

Potentieel is er in Nederland voldoende koelwater voor het opwekken van een elektrisch vermogen dat uit onderstaande tabel volgt:

Koeltorens	10.000 MW
Bovenrivieren	20.000 MW
IJsselmeer	20 à 25.000 MW
Deltagebied	20 à 25.000 MW
Natuurlijke en kunstmatige meren	10.000 MW
Oppervlaktekoeling IJssel en Maas	10.000 MW
Benedenrivieren	10.000 MW
Estuaria	15.000 MW
Noordzee	10.000 MW
	<hr/>
	135.000 MW

Noordzee op kunstmatige eilanden  
en Waddeneilanden

p.m.

Gezien de geraamde behoefte van 100.000 MW in het jaar 2000 is de koelwaterpositie ogenschijnlijk gunstig. Bedacht moet worden dat de potentieel aanwezige koelwaterhoeveelheid wel betrekkelijk voorzichtig is geraamd, maar dat het door allerlei andere dan koeltechnische oorzaken dikwijls onmogelijk zal zijn het potentieel mogelijke te effectueren. Het is dus zaak met de grootst mogelijke zorg de potentieel aanwezige mogelijkheden uit te buiten. Daartoe zal noodzakelijk zijn dat Rijkswaterstaat de koelwatervoorziening ook zal moeten beschouwen als een van de door haar te behartigen levensbelangen van de Nederlandse samenleving en dat planologen rekening houden met de noodzaak om in de komende 30 jaar een aantal centrales met een totaal vermogen van ca. 100.000 MW te bouwen op plaatsen die mogelijkheden voor voldoende koelwater bieden en die dicht genoeg bij de zwaartepunten van de elektrische belasting liggen.

Als bewijs voor de groeiende belangstelling voor de problematiek van de zijde van Rijkswaterstaat moge dienen een artikel van ir. P. J. Wemelsfelder in de Ingenieur [2] en de bestudering van het koelwatervraagstuk in een aantal commissies waarin vertegenwoordigers van de Rijkswaterstaat en van de elektriciteitsbedrijven zitting hebben.

### 6. De eventuele biologische en andere gevolgen van de koelwaterlozing

6.1 De problemen zijn niet gering, maar het best te bestuderen en te beheersen zijn de gevolgen die de koelwaterlozing op grote schaal kan hebben op de water-

beweging, de scheepvaart en op het zand- en slibtransport.

6.2 Een voordeel van de koelwaterlozing wordt gevormd door het ijsvrij houden van de scheepvaartroutes en door het verlengen van het seizoen voor de watersport in voor- en najaar.

6.3 De meteorologische consequenties van de koelwaterlozing op open water zullen waarschijnlijk uiterst gering zijn. Om biologische redenen, zie punt 6.4, eist het RIZA in Nederland op het ogenblik een maximale temperatuur van ten hoogste 30° C, op een van geval tot geval nader te bepalen afstand tot de uitlaat. Men moet nu echter niet de fout begaan hieraan de consequentie te verbinden, dat tegen het jaar 2000 „dus” het gehele IJsselmeer tot 30° C wordt opgewarmd.

In de eerste plaats wordt de temperatuur van 30° C alleen bereikt op momenten dat een extreem hoge natuurlijke watertemperatuur samenvalt met de maximale belasting waarvoor het koelcircuit is ontworpen. In de tweede plaats vindt afkoeling van het opgewarmde water plaats volgens een exponentieel proces, zodat de gebieden met hoge opwarming slechts een klein deel van het gehele wateroppervlak beslaan. Zo laat zich dan ook gemakkelijk berekenen dat de temperatuursverhoging van het IJsselmeer gemiddeld over het gehele oppervlak minder dan 1° C zal bedragen bij de voor dit meer geplande 25.000 MW. Men kan zich moeilijk voorstellen dat deze geringe temperatuursverhoging meteorologische gevolgen van enig belang kan hebben.

6.4 De biologische consequenties van de lozing van opgewarmd koelwater zijn nog maar ten dele bekend. Voor een beknopt overzicht zij bijvoorbeeld verwezen naar een artikel van ir. J. L. Koolen in *Electrotechniek* [3].

In samenwerking met verschillende op hydrobiologisch gebied werkzame instellingen zoals het RIZA, het RIN, het RIVO, het Limnologisch Instituut, het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek en de Binnenvisserij, wordt door een bioloog van de NV KEMA onderzoek verricht naar de gevolgen van het koelwatergebruik door elektrische centrales. In afwachting van de resultaten van dit werk en van onderzoeken in het buitenland wordt voorlopig de hierboven onder punt 6.3 reeds vermelde maximale temperatuur van 30° C gesteld, waarvan nog niet is gebleken dat deze ongewenste hydrobiologische gevolgen heeft.

Het ijsvrij blijven van althans een deel van de wateren moet biologisch als een voordeel worden beschouwd voor vogels en vissen. De verhoging van de watertemperatuur in voor- en najaar zal een verlenging geven van de periode waarin fenolen kunnen worden afgebroken, hetgeen ook als een voordeel aangemerkt moet worden.

Het is dus niet zo dat de lozing van koelwater alleen maar nadelen heeft, indien men tenminste binnen bepaalde grenzen blijft, die door intensief onderzoek nader zullen worden gepreciseerd.

### Literatuur

1. Went, J. J., *Water als koelmiddel voor elektriciteitsopwekking en de daaraan verbonden problemen*. *H<sub>2</sub>O* (3) 1970 (4) pag. 68.
2. Wemelsfelder, P. J., *Worldt warmtelozing door centrales in de toekomst een probleem? De Ingenieur* (80) 1968 (51), pag. B 179.
3. Koolen, J. L., *Gevolgen van de lozing van grote hoeveelheden warm koelwater voor de kwaliteit van oppervlaktewateren*. *Electrotechniek* (48) 1970 (5) pag. 3.