

Gevolgen van energievoorziening voor de waterkringloop

Voordracht uit de 41ste vakantiecursus in drinkwatervoorziening. 'Effecten van milieuverontreinigingen op de waterkringloop', gehouden op 5 en 6 januari 1989 aan de TU Delft.

1. Inleiding

Onze maatschappij gebruikt voornamelijk energie die vrijkomt bij verbranding van fossiele brandstoffen. Van deze brandstoffen wordt ongeveer een kwart, voornamelijk in de vorm van kolen en gas, gebruikt voor elektriciteitsopwekking. Daarnaast wordt in Nederland momenteel een paar procent van de elektriciteit opgewekt in kerncentrales en een nog geringer deel door wind- en waterkracht. Elektriciteit is in onze samenleving een onmisbare vorm van energie.



DRS. F. B. J. KOOPS
NV KEMA, Arnhem

Gebruik van elektriciteit is een schone vorm van energiegebruik, maar de productie van elektriciteit heeft milieuconsequenties. In deze bijdrage aan de 41e vakantiecursus drinkwatervoorziening wordt een overzicht gegeven van de gevolgen van elektriciteitsproductie voor de kwaliteit van zoete oppervlaktewateren. Elektriciteitsproductie kan langs verschillende wegen de waterkringloop beïnvloeden:

- elektriciteitscentrales gebruiken oppervlaktewater als koelwater;
- bij verbranding van fossiele brandstoffen ontstaan afvalprodukten die in de waterkringloop terecht kunnen komen;
- kerncentrales lozen enige radioactiviteit in de koelwaterstroom;
- waterkrachtcentrales kunnen het afvoerregime en de visstand in rivieren beïnvloeden;
- CO₂-emissie in de atmosfeer kan via klimaatsbeïnvloeding gevolgen hebben voor de waterkringloop.

2. Elektriciteitsproductie

In een elektriciteitscentrale wordt in de stoomketel water verhit tot stoom met hoge druk en hoge temperatuur. De verhitting van water tot stoom gebeurt door verstoken van fossiele brandstoffen of door kernreacties in een kerncentrale. De gevormde stoom drijft tijdens expansie turbines aan, die direct zijn gekoppeld aan de generator. Na passage van de turbines wordt de geëxpandeerde en afgekoelde stoom in de condensor gecondenseerd en als water teruggevoerd naar de stoomketel. De condensor wordt gekoeld met oppervlaktewater. In een waterkrachtcentrale worden waterkracht turbines aangedreven door het langsstromende water. Het rendement is

Samenvatting

Elektriciteitsgebruik is een schone vorm van energiegebruik, maar elektriciteitsproductie heeft milieuconsequenties. Elektriciteitsproductie kan de waterkringloop langs verschillende wegen beïnvloeden:

- door lozing van opgewarmd koelwater;
- door chemische bestrijding van afzettingen in koelwatersystemen;
- door depositie van met de rookgassen afgevoerde verzurende stoffen in oppervlaktewateren;
- door lozing van effluent van rookgasontzwavelingsinstallaties;
- door lozing van radio-activiteit in de koelwaterstroom van kerncentrales;
- door schade aan vis door inzuigen met koelwater en bij passage door waterkrachtcentrales.

Door normering van thermische, chemische en radio-actieve lozingen van elektriciteitscentrales zijn de gevolgen van elektriciteitsproductie voor de waterkringloop gering.

Lozing van kooldioxyde kan in de volgende eeuw tot een toename van de mondiale gemiddelde temperatuur leiden, met vergaande consequenties voor de waterkringloop.

Maatregelen ter vermindering van de kooldioxyde-emissie zullen zowel voor de elektriciteitsproductie als voor de totale energievoorziening zeer ingrijpend zijn.

afhankelijk van de hoeveelheid passerend water en van het hoogteverschil van het water voor en na de turbine.

De milieuconsequenties van elektriciteitsproductie zijn afhankelijk van de gebruikte brandstof, zoals is aangegeven in tabel I.

In het huidige brandstofpakket voor de Nederlandse elektriciteitscentrales speelt olie nauwelijks een rol. Gas is als brandstof in vergelijking met steenkool relatief schoon. De milieuconsequenties voor de waterkringloop door verstoken van fossiele brandstoffen in elektriciteitscentrales worden daarom bezien voor elektriciteitsproductie met steenkool als brandstof.

3. Koelwater

Gebruik van oppervlaktewater als koelwater voor elektriciteitscentrales is onafhankelijk van de brandstof. Koelwatergebruik heeft twee milieuaspecten, het innemen van oppervlaktewater met de daarin meegevoerde organismen en het lozen van opgewarmd water.

3.1. Het innemen van koelwater

Een centrale van 600 MW (elektrisch)

gebruikt ongeveer 25 m³ koelwater per seconde (90.000 m³/h). Het koelwater passeert grofroosters, zeven met een maaswijdte van circa 5 mm, en pompen. Plankton, vislarven en jonge vis worden door het koelwater meegevoerd. Mechanische schade aan plankton is niet aantoonbaar, maar vislarven zijn wel gevoelig voor passage door een koelwatersysteem. Afhankelijk van de soort varieert de sterfte van vislarven van 30 tot 95%, met een gemiddelde van ongeveer 50% [Haddingh, 1979]. Jonge vis kan de zeven niet meer passeren. De sterfte van uitgezeefde vis is afhankelijk van het afvoersysteem. Als de uitgezeefde vis als afval wordt afgevoerd is de sterfte uiteraard 100%. Door een goed afvoersysteem, terug naar het oppervlaktewater, kan de sterfte tot circa 60% worden teruggebracht. De meeste vis is aan het eind van de eerste zomer sterk genoeg om zich tegen inzuigen met het koelwater te verzetten. De visschade betreft voornamelijk visstadia die ook van nature een hoog sterftepercentage vertonen. De invloed van de extra sterfte door een centrale aan een bepaald oppervlaktewater is klein ten opzichte van de natuurlijke sterfte in dat water en verdwijnt in de

TABEL I - Globaal overzicht van de brandstofafhankelijke milieuconsequenties van elektriciteitsproductie.

Milieuconsequentie	Brandstof				
	Kolen	Olie	Gas	Uranium	Waterkracht
CO ₂	+	+	+	-	-
SO ₂	+	+	-	-	-
NO _x	+	+	+	-	-
vlieg-as	+	-	-	-	-
radio-actief afval	-	-	-	+	-
koelwater	+	+	+	+	-
afvoer en vis in rivieren	-	-	-	-	+

ruis van de natuurlijke fluctuaties in de visstand door migratie, voedselaanbod en klimatologische omstandigheden [Hadderingh et al, 1988].

3.2. *Lozing van koelwater*

De lozing van kunstmatig opgewarmd water is gebonden aan richtlijnen ter bescherming van het milieu [CKN, 1983]. Algemene koelwaterrichtlijnen:

- een maximale lozingstemperatuur van 30 °C;
- een maximaal verschil tussen inlaat- en uitlaattemperatuur van 7 K in de zomer en 15 K in de winter.

Koelwaterrichtlijn voor rivieren:

- de temperatuurverhoging gemiddeld over het dwarsprofiel van de rivier mag niet hoger zijn dan 3 K boven de natuurlijke temperatuur;
- er mag geen koelwater worden geloosd bij een zuurstofgehalte in de rivier van minder dan 5 mg/l, tenzij het geloosde koelwater intensief wordt belucht.

Koelwaterrichtlijn voor kanalen:

- in Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal mag per vestigingsplaats maximaal 10% en totaal 20% van het kanaaloppervlak meer dan 3 K worden opgewarmd. Deze richtlijnen zijn in belangrijke mate gebaseerd op in Nederland en in het buitenland uitgevoerd onderzoek en zijn zodanig vastgesteld dat het aquatisch ecosysteem dat koelwater ontvangt, niet nadelig wordt beïnvloed [Koops et al, 1980]. Opwarming van organisch verontreinigd water zal de afbraak van organische stof bevorderen en daarmee het zuurstofverbruik verhogen. Bij sterke organische verontreiniging kan dit leiden tot ernstig zuurstofgebrek. In het begin van de jaren zeventig, toen het Rijnwater bij Lobith in de zomer regelmatig werd aangevoerd met zuurstofconcentraties van minder dan 3 mg/l, deed dit probleem zich in de praktijk voor. Het zuurstofgehalte in de Rijn is geleidelijk verbeterd, met in de laatste jaren minima van meer dan 6 mg/l. In de Maas doen zich nog wel zuurstofproblemen voor. Na Luik daalt het zuurstofgehalte vaak sterk ten gevolge van organische verontreiniging. Bij lage Maasafvoer kan het zuurstofgehalte tussen Luik en Eijsden dalen tot 2 à 3 mg/l.

Stroomafwaarts van Eijsden neemt het zuurstofgehalte weer toe. Voor de centrales aan de Maas bij Maasbracht en Buggenum is de Maasafvoer eerder beperkend voor de koelwaterlozing dan het zuurstofgehalte ter plaatse.

Temperatuurverhoging van oppervlaktewater kan planten- of planktongroei bevorderen zolang licht, CO₂ en nutriënten niet beperkend zijn. Kunstmatig toegevoerde warmte wordt weer afgegeven

aan de atmosfeer waardoor meetbare temperatuurverhoging beperkt blijft tot de omgeving van centrales. In Nederland wordt door elektriciteitsproductie totaal ongeveer 90 km² zoetwater meer dan 1 K opgewarmd. Dit is ongeveer 3% van het Nederlandse zoetwateroppervlak.

Uitgaande van een toename van biochemische activiteit met een factor 1,5 tot 3 bij een temperatuurtoename van 10 K, betekent dit een theoretische bijdrage aan de eutrofiëring van minder dan 1%.

3.3. *Aangroeibestrijding*

Bestrijding van zich in koelwatersystemen afzettende organismen kan enige invloed hebben op de waterkwaliteit. Bacterieafzetting in condensatorpijpen vermindert de warmte-overdracht en moet daarom worden verwijderd. Dit kan door sponsrubberballetjes door de pijpen te persen. Deze methode moet vaak worden gecombineerd met discontinue chloordosering om de pijpen schoon te houden. Chloor verstoort de fotosynthese en veroorzaakt sterfte van plankton. Daarnaast kunnen in het koelwater zeer lage concentraties gechloreerde organische verbindingen worden gevormd, in zoetwater voornamelijk chloroform. Ondanks de lage concentraties (6-10 µg/l), waardoor directe effecten moeilijk aantoonbaar zijn, zijn dit, door mogelijke mutageniteit of carcinogeniteit, ongewenste verbindingen in het oppervlaktewater [Bean et al., 1980; Cumbie et al., 1985]. Afzetting van mosselen in inlaatsystemen kan worden voorkomen met koperhoudende aangroeiwerende verf. Deze verf is alleen toepasbaar in zoetwater, in brak en zoutwater is de werkingduur te kort. Door deze verf wordt koper, als werkzame stof, aan het koelwater afgegeven, maar deze toevoeging bedraagt slechts enkele procenten van het reeds in het water aanwezige koper. Bij onvoldoende effect van aangroeiwerende verf is het soms noodzakelijk de mosselafzetting te bestrijden door éénmaal per jaar gedurende 2 à 3 weken continu een lage dosis chloor aan het koelwater toe te voegen. Door zorgvuldige chloordosering is het chloorverbruik door de elektriciteitscentrales de

laatste jaren sterk verminderd.

De aandacht blijft gericht op verdere vermindering van het chloorverbruik.

4. **Steenkool als brandstof voor elektriciteitsproductie**

4.1. *Kolensamenstelling*

Steenkool bestaat voor 80 à 85% uit koolstof maar bevat daarnaast een reeks andere elementen. De samenstelling van steenkool is variabel en wisselt per winplaats [Van der Sloot et al., 1983]. In tabel II is als voorbeeld de globale samenstelling van steenkool uit het oosten van de Verenigde Staten weergegeven.

De 2% 'rest' van de steenkool in tabel II bestaat uit een 40-tal elementen waaronder ruim 30 zware metalen. De concentratie van deze zware metalen is in steenkool lager of ongeveer gelijk aan de gemiddelde concentratie in de bodem. De concentratie van slechts vier zware metalen is in kolen meestal duidelijk hoger dan in de bodem. Dit betreft arsenicum en seleen (circa tienmaal hoger) en gallium en uranium (circa tweemaal hoger).

Steenkool is ontstaan uit ingekoold plantemateriaal. Alle elementen in steenkool zijn door planten opgenomen uit het hen omringende milieu of zijn afkomstig uit bodembestanddelen tussen het ingekoolde plantemateriaal. Behalve de noodzakelijke nutriënten nemen de planten ook andere spoorelementen op. Bepaalde plantesoorten concentreren sommige spoor-elementen. Zink wordt bijvoorbeeld geconcentreerd in zinkviooltjes, vanadium in vliegezwammen en de Amerikaanse notensoort Hickory (*Carya alba*) is in staat een hele reeks zware metalen te concentreren [Bouska, 1981; Bowen, 1966].

Bij verbranding van steenkool komen alle er in voorkomende elementen weer in één of andere vorm in het milieu terug. Dit is in principe een natuurlijk proces dat ook plaatsvindt bij vertering van planteresten. Door inkoling is dit proces uitgesteld. De snelheid waarmee de in steenkool opgeslagen elementen weer vrijkomen veroorzaakt echter problemen. Volgens Kuenen en Van der Vlerk [1951] levert plantemateriaal dat in een eeuw werd gevormd uiteindelijk 4 mm steenkool. De totale dikte van de steenkoollagen in Zuid-Limburg is ongeveer 100 m, dus gevormd in een periode van ongeveer 25 miljoen jaar. Als deze hoeveelheid in een eeuw wordt opgestookt komen de door de planten opgenomen elementen 250.000 maal zo snel vrij als ze oorspronkelijk waren opgenomen. De milieuconsequenties van het stoken van steenkool zijn problemen die het gevolg zijn

TABEL II - *Globale samenstelling van een steenkoolsoort.*

Element	Percentage
C	80
H	4,7
O	5,3
Si	3
Al	2
N	1,6
S	0,8
Fe	0,6
rest	2

TABEL III – Hoeveelheid verstookte kolen en hoeveelheden reststoffen van een 600 MW met kolen gestookte centrale, met rookgasontzwaveling, in tonnen per jaar.

kolen	1.200.000
vliegias	115.000
bodemias	16.500
gips	58.000
CO ₂ -uitworp	3.000.000
SO ₂ -uitworp	3.000
NO _x -uitworp	7.000
stof	150

van het versneld vrijkomen van elementen met als gevolg lokaal te hoge concentraties in de biosfeer.

4.2. Invloed van verbranding van kolen op de waterkringloop

Tabel III geeft een overzicht van de hoeveelheden reststoffen die ontstaan bij verbranding van steenkool in een met kolen gestookte centrale van 600 MW. Vliegias is de as die met de rookgassen wordt meegevoerd en daarna uit de rookgassen wordt afgevangen. Bodemas valt in gesmolten toestand in de ketel naar beneden, en wordt in bluswater opgevangen.

4.2.1. Verzuring

De zwavel in steenkool wordt verbrand tot SO₂. Ruim 90% van de SO₂ wordt in een rookgasontzwavelingsinstallatie uit de rookgassen verwijderd en als gips gebonden. De rest van de SO₂ komt met de rookgassen in de atmosfeer. Stikstofoxyden worden voor een gering deel gevormd door oxydatie van stikstof in de brandstof, het grootste deel ontstaat in de vuurhaard door oxydatie van stikstof in de toegevoerde verbrandingslucht. Door stootechnische maatregelen wordt de hoeveelheid geëmitteerde NO_x zo laag mogelijk gehouden. Momenteel wordt bij een aantal centrales onderzocht of verdere reductie van NO_x-uitworp mogelijk is. Zwavel- en stikstofoxyden dragen bij aan verzuring van het milieu. Momenteel bedraagt de totale zure depositie gemiddeld over Nederland ongeveer 5.300 eq.H⁺/ha/jaar. Ook oppervlaktewateren worden met deze depositie belast. Het grootste deel van de Nederlandse oppervlaktewateren is goed gebufferd, zodat zure depositie niet leidt tot verzuring van het oppervlaktewater. Vennen op arme zandgronden zijn echter in het algemeen slecht gebufferd en hier zijn desastreuze effecten van verzuring opgetreden. Van de totale zure depositie in Nederland is 41% afkomstig uit Nederlandse bronnen en 59% afkomstig uit het buitenland. De Nederlandse elektriciteitsproductie draagt momenteel voor ongeveer 4% bij aan de totale depositie in Nederland

[VROM, 1987]. Een verdere beperking van de NO_x-uitworp door centrales is in de naaste toekomst te verwachten.

4.2.2. Lozing van afvalwater

Vanuit het milieu bezien vormt het afvalwater van een rookgasontzwavelingsinstallatie de belangrijkste afvalwaterstroom. Met een rookgasontzwavelingsinstallatie wordt de emissie van zwaveloxyden in belangrijke mate voorkomen, maar wordt wel afvalwater geproduceerd met het grootste deel van de zware metalen die na het vliegiasfilter met de rookgassen worden meegevoerd. Dit afvalwater wordt gezuiverd en het effluent wordt via de koelwaterstroom op het oppervlaktewater geloosd. Enige andere afvalwaterstromen kunnen in dit zuiveringsproces worden meegenomen. Het zuiveringsstap met relatief hoge gehalten aan zware metalen, wordt met de steenkool teruggestookt en komt uiteindelijk in de vliegias terecht. Door de grote hoeveelheid afgevangen vliegias heeft het terugstoken van de in vergelijking geringe hoeveelheid zuiveringsstap geen noemenswaardige verrijking van zware metalen in de vliegias ten gevolge. De kwaliteitseisen van rookgasontzwavelingsafvalwater na zuivering zijn weergegeven in tabel IV. Ter vergelijking is de basiskwaliteit voor oppervlaktewater vermeld.

Gezien de resultaten van proefnemingen op semi-technische schaal wordt verwacht dat in tabel IV genoemde streefwaarden straks in zuiveringsinstallaties voor nieuwe centrales bereikbaar zullen zijn. Het chloridgehalte in het effluent is geen probleem bij centrales aan zout- of brak water, maar bijvoorbeeld in de Maas betekent een dergelijke lozing bij lage afvoer een aanmerkelijke bijdrage aan de chloridelast. In de lozingsvergunningen van kolengestookte centrales aan de Maas

TABEL IV – Kwaliteitseisen van gezuiverd afvalwater van een rookgasontzwavelingsinstallatie van een 600 MW-centrale, met basiskwaliteit als referentie.

hoeveelheid	40 m ³ /uur		
pH	6,5-8,5		
zwevend stof	< 20 mg/l		
chloride	35 g/l		
Zware metalen	Vergunningswaarde µg/l	Streefwaarde µg/l	Basiskwaliteit µg/l
Cd	10	1	2,5
Hg	10	1	0,5
As	50	20	50
Zn	200	50	200
Cr	200	15	50
Cu	50	10	50
Ni	200	15	50
Pb	100	50	50

zijn daarom beperkingen vastgelegd van de chloridelozingen bij lage Maasafvoer.

4.2.3. Vliegias

Het overgrote deel van de uit de steenkool afkomstige zware metalen belandt in de afgevangen vliegias in concentraties die gemiddeld tienmaal hoger zijn dan in de steenkool. Bij ongecontroleerd storten van vliegias kunnen deze zware metalen uitlogen en afspoelen naar oppervlaktewateren of in het grondwater terechtkomen. Het grootste deel van de vliegias en bodemas vindt echter momenteel een nuttige bestemming. Het wordt toegepast in de wegenbouw, de cementindustrie en er kan kunstgrint van worden gemaakt. Momenteel wordt vrijwel 100% van de vliegias en alle gips uit de rookgasontzwavelingsinstallaties nuttig gebruikt. Hierdoor blijven de zware metalen in de vliegias gedurende een langere periode buiten de biosfeer. Omdat mogelijk in de toekomst een vliegiasoverschot zou kunnen ontstaan bij een toenemende elektriciteitsproductie uit kolen, wordt momenteel een studie verricht aan gecontroleerde vliegiasopslag waarbij contaminatie van oppervlaktewater of grondwater met uitgeloopte zware metalen wordt voorkomen.

5. Kernenergie

Bij normale bedrijfsvoering van een kerncentrale wordt enige radio-activiteit geloosd in de koelwaterstroom. Deze lozing bestaat voornamelijk uit tritium met daarnaast een geringe hoeveelheid radio-actief kobalt en cesium. De lozing van deze radio-actieve stoffen vindt plaats binnen zeer stringente lozingsvergunningen. In de praktijk blijven de lozingen van radio-activiteit door de twee Nederlandse kerncentrales ver onder de in de vergunning gestelde maxima. Deze lozingen hebben geen consequenties voor milieu of volksgezondheid. De 'ad hoc'-werkgroep 'kerncentrales' van RIWA stelt dan ook in haar rapport van 6 december 1985 dat de reguliere lozingen van een veronderstelde kerncentrale van 1.000 MW aan het IJsselmeer niet noemenswaardig bijdragen via drinkwater aan de stralingsbelasting van de bevolking. De additionele dosis via drinkwater is ongeveer een half promille van de natuurlijke stralingsbelasting. Zoals ook bij het ongeval in Tsjernobyl bleek, kan bij een ernstig ongeval in een kerncentrale aanzienlijk meer radio-activiteit vrijkomen en uitregenen in oppervlaktewateren. Een discussie over de risico's van radio-actieve besmetting van oppervlaktewateren door ernstige ongevallen in verschillende typen kerncentrales, de veilig-

heid van Nederlandse kerncentrales en de eventuele gevolgen van een, hypothetisch, grootst mogelijk ongeval valt echter buiten het kader van dit overzicht.

6. Waterkrachtcentrales

De belangrijkste invloed van waterkrachtcentrales op de waterkringloop is de invloed op het afvoerregime van rivieren door het bouwen van stuwen en dammen. Behalve dat dammen en stuwen een barrière vormen voor migrerende vis, kan een veranderend afvoerregime invloed hebben op het totale ecosysteem in een rivier. Bij de Nederlandse waterkrachtcentrales die reeds zijn gebouwd of zullen worden gebouwd speelt dit geen belangrijke rol omdat de centrales naast reeds aanwezige stuwen in de Maas of de Rijn worden gebouwd. In de Maas zijn dit de stuwen bij Linne en Lith, in de Rijn bij Maurik en Hagestein. Waterkrachtcentrales zijn milieuvriendelijker dan thermische centrales, maar zijn niet absoluut milieuvriendelijk. Behalve de reeds aangegeven barrière voor optrekkende vis in rivieren, zal stroomafwaarts zwemmende vis schade oplopen bij passage door de turbines. Vooral lange vissen lopen een grote kans een klap te krijgen door een turbineschoep. Onderzoek bij een kleine waterkrachtcentrale in de Overijsselse Vecht gaf aan dat vooral bij schieraal, de stroomafwaarts trekkende volwassen paling, schade kan worden veroorzaakt. De waterkrachtcentrales aan Maas en Rijn worden uitgerust met andere typen turbines. Het is niet bekend in welke mate deze turbines vischade zullen veroorzaken. Bij de waterkrachtcentrale in de Vecht wordt onderzocht op welke manier stroomafwaarts zwemmende vis buiten waterkrachtcentrales kan worden omgeleid. Voor optrekkende vis worden bij de nieuwe waterkrachtcentrales vistrappen gebouwd.

7. Kooldioxyde

Bij verbranding van fossiele brandstoffen worden grote hoeveelheden kooldioxyde (CO₂) in de atmosfeer geloosd (zie tabel III). De bijdrage van de elektriciteitsproductie aan de totale CO₂-emissie bedraagt in Nederland ongeveer 25%. Aanvankelijk werd CO₂-emissie niet als verontreiniging gezien, wij ademen ook CO₂ uit en planten nemen het op als grondstof bij de fotosynthese. Door het toenemend verbruik van fossiele brandstoffen sinds het begin van de industriële revolutie, in de tweede helft van de 19e eeuw, is de CO₂-concentratie in de atmosfeer voortdurend gestegen [Okken, 1987]. De CO₂-toename en de toename van een aantal andere spoorstoffen in de

atmosfeer als gevolg van menselijk handelen kan theoretisch ingrijpende gevolgen hebben voor de gemiddelde temperatuur en daardoor voor het klimaat op aarde. Aan deze theorie wordt momenteel nauwelijks getwijfeld, de discussies gaan voornamelijk over de mate waarin een temperatuuroename zal plaatsvinden, de verdeling van de temperatuuroename tussen evenaar en polen en het moment waarop de temperatuuroename aantoonbaar zal zijn. Een mondiaal gemiddelde temperatuurverhoging zal leiden tot een stijging van het zeeniveau door thermische uitzetting van het water en door een toename in afsmelting van gletschers en ijskappen. Voor de waterkringloop in Nederland betekent dit een toenemende verzilting en zonder maatregelen een toenemend risico voor overstromingen. De klimaatsveranderingen ten gevolge van de temperatuuroename kunnen een verandering in neerslagpatroon en in afvoer van de grote rivieren geven. De Rijn kan bijvoorbeeld van gletscherrivier veranderen in een regenrivier.

Hoewel momenteel nog veel onzekerheid bestaat over de reële gevolgen van een toenemende CO₂-emissie kan dit in de komende eeuw het belangrijkste milieu-probleem worden. Van lokale milieu-problemen zoals smog- en afvalproblemen zijn wij via internationale problemen zoals zure regen en verontreiniging van grote rivieren dan bij mondiale milieuproblemen beland, waarvan de oplossing ook een mondiale inspanning zal vereisen. Een belangrijk deel van de wereldbevolking leeft in deltagebieden. In Nederland zal het kustverdedigings-systeem bij een stijging van de zeespiegel tot een bepaalde grens aangepast kunnen worden. Dit geldt niet voor de vele dichtbevolkte delta's in de arme landen. Hier zal een stijging van het zeeniveau al snel tot onoverzienbare gevolgen leiden. Maatregelen ter vermindering van de CO₂-emissie zullen zowel voor de elektriciteitsvoorziening als voor de totale energievoorziening zeer ingrijpend zijn.

8. Conclusie

Elektriciteitsproductie beïnvloedt de waterkringloop in principe langs verschillende wegen. Door normering van thermische, chemische en radio-actieve oplossingen van elektriciteitscentrales zijn de gevolgen van elektriciteitsproductie op de waterkringloop gering. Lozing van kooldioxyde kan tot een toename van de mondiale gemiddelde temperatuur leiden met vergaande consequenties voor de waterkringloop. Maatregelen ter vermindering van de

CO₂-emissie zullen zowel voor de elektriciteitsproductie als voor de totale energievoorziening zeer ingrijpend zijn.

Literatuur

- Bean, R. M. et al. (1980). *Organo-halogen production from chlorination of natural waters under simulated biofouling control conditions*. In: Jolly, R. L. et al. (eds.), *Water chlorination, environmental impact and health effects*. Vol. 3, Ann Arbor, Michigan, Ann Arbor Science Publishers, Inc., pp. 369-377.
- Bouska, V. (1981). *Geochemistry of coal*. Amsterdam, Elsevier.
- Bowen, H. J. M. (1966). *Trace elements in biochemistry*. London, Academic Press.
- Commissie Koelwater Normen (1983). *Overzicht van een aantal vergunningseisen ingevolge de WVO te stellen aan koelwaterlozingen van elektriciteitscentrales*. CKN-nota WH.82.01.
- Cumby, P. M. et al. (1985). *Environmental impacts of chlorine discharges: a utility industry perspective*. In: Jolly, R. L. et al. (eds.), *Water chlorination, environmental impact and health effects*. Vol. 5, Chelsea, Michigan, Lewis Publishers, Inc., pp. 63-71.
- Haddingh, R. H. (1979). *Fish intake mortality at power stations; the problem and its remedy*. In: Hydrobiol. Bull., 13 (2-3), pp. 83-93.
- Haddingh, R. H. et al. (1988). *Research on fish protection at Dutch thermal and hydropower stations*. In: KEMA Scientific & Technical Reports, 6 (2), pp. 57-68.
- Koops, F. B. J. et al. (1980). *Optimizing the use of cooling water to reduce its impact on the aquatic environment*. In: Proceedings of the 11th World Energy Conference (München), pp. 424-439.
- Kuenen, P. H. en Vlerk, I. M. van der (1951). *Geheimschrift der aarde*. 6e druk, Utrecht, W. de Haan.
- Ministerie VROM (1987). *Tussentijdse evaluatie verzuringsbeleid*. 's-Gravenhage, Ministerie VROM.
- Okken, P. A. (1987). *Energie en het broeikaseffect. 't kan eriezen, 't kan dooien*. Rapport ECN ESC-40, Petten, Energie Studie Centrum.
- RIWA-Ad Hoc Werkgroep Kerncentrales (1985). *Vestigingsplaatsen van kerncentrales en de openbare drink- en industrievoorziening*. RIWA, rapport d.d. 6 december 1985.
- Sloot, H. A. van der et al. (1983). *Spoorelementen in steenkool en steenkoolas*. In: Energiespectrum 7 (12), pp. 318-324.

Brabantse Biesbosch staakte innamen Maaswater

Het Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch, dat water aan de Maas onttrekt voor de drinkwatervoorziening van Rotterdam, Dordrecht en delen van West-Brabant en Zeeland, heeft op 30 november jl. het innemen van water in de bekkens gestaakt. Het Maaswater was verontreinigd met ca. 1.000 kg kamfersulfonzuur die een week eerder in Venlo in de Maas terecht was gekomen. Wat zijn eigenschappen betreft is kamfersulfonzuur betrekkelijk weinig giftig, maar door zijn goede oplosbaarheid in water en zijn slechte afbreekbaarheid bestond het gevaar dat zonder maatregelen de verbinding tot in het drinkwater door kan dringen. De innamen zijn op 11 december hervat.