

50331044-KPS/TPE 03-1112 Revisie 1  
Classificatie: 2 (beschikbaar voor derden)

Productnummer 50331003.CL.3 03P3.11.4

## **Invloed van de koelwatertemperatuur op vermogen en rendement voor een STEG-, kolengestookte en Combi-eenheid**

Arnhem, 10 februari 2004

Auteurs P.J. Ploumen en S.P.N. van Rijen  
KEMA Power Generation & Sustainables

TSA Power Generation 2003

Opdrachtgevers: DELTA  
Electrabel  
E.ON  
EPZ  
Essent  
Nuon Power Buggenum  
Reliant

---

auteur : P.J. Ploumen	04-02-10	beoordeeld : S.P.N. van Rijen	04-02
24 blz. 0 bijl. JMW		goedgekeurd : H.A. Jenner	04-02-

---

vrijgave TSA: N. Bolt 04-

© KEMA Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden.

Dit document bevat vertrouwelijke informatie. Overdracht van de informatie aan derden zonder schriftelijke toestemming van of namens KEMA Nederland B.V. is verboden. Hetzelfde geldt voor het kopiëren van het document of een gedeelte daarvan.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

**INHOUD**

	blz.
EXECUTIVE SUMMARY .....	4
1 Inleiding .....	6
2 Selectie van de eenheden en basisgegevens .....	6
3 Berekeningsmethodiek .....	8
4 Bespreking berekeningsresultaten .....	10
5 Berekeningen met aangepast condensorontwerp .....	19
6 Conclusies .....	22
LITERATUUR.....	24

Revisie 1

**EXECUTIVE SUMMARY**

In the Dutch situation cooling in general is designed for small temperature differences and large flows to meet water authority regulations.

Another way of discharging the heat of power plants to the cooling water was investigated. By doing so the cooling water flow will be reduced.

The purpose of the reduction of the cooling water flow was to discharge the heat with a higher outlet temperature on the surface water of the river in order to increase the heat transfer of the water to the ambient air.

Due to the increased heat transfer caused by discharging with higher outlet temperature on surface water of the river the cooling water temperature will be lower for the next power plant in flow direction of the river and will result in a higher electricity production.

The influence of reduction of the cooling water flow on the power production and efficiency was determined for three different power stations in the Netherlands. The power stations considered were a coal-fired power station, a combined cycle unit and a combi unit.

The influence of the cooling water inlet temperature on the power production proved to be approximately 3 promille per degree.

However, for supercritical power plants the reduction of power is 2,1 promille per degree and for the combined cycle the reduction of power is 3,4 promille per degree.

Reducing the cooling water flow will result in efficiency and power reduction. However, these reductions are smaller than the reductions caused by limitations of 30 °C cooling water temperature.

The value of not delivered electricity is approximately 30 to 50 EUR/MWh.

To achieve the maximum efficiency each cooling system must be optimised with respect to operation, cooling water conditions, fuel cost, distance from power plant to cooling water intake. A design based on a much lower cooling water flow is not useful.

The influence of the reduction of the cooling water flow on power reduction is strongly dependent on the design of the condenser. Especially the “terminal difference” is important.

The results show that a desk study is necessary to design the optimal cooling system for future electricity production within European regulation. This so-called Cold End optimisation study will give answers to the solution with lowest environmental impact to water and air.

Revisie 1

## 1 INLEIDING

In het kader van de studie KOELWATERNORMEN NIEUWE STIJL van de Commissie Integraal Waterbeheer (afgekort CIW) is voorgesteld om het koelwater in bepaalde situaties op hogere temperaturen te lozen en ervoor te zorgen dat het warme koelwater aan het oppervlak van de rivier teruggevoerd wordt zonder te veel menging. Het gevolg hiervan is dat de warmte opgeslagen in het koelwater sneller aan de omgevingslucht wordt afgestaan. Een hogere lozingstemperatuur wordt bereikt door de hoeveelheid koelwater te reduceren.

De invloed van het beperken van de koelwaterstroom op het afgegeven vermogen en rendement voor elektriciteitscentrales worden in deze studie nader onderzocht. De impact van de beperking is groot, gezien iedere niet geleverde MWh een waarde vertegenwoordigt van EUR 30 tot EUR 50.

Dit onderzoek is uitgevoerd voor drie verschillende typen centrales. De werktitel van deze studie is: rendementstudie CIW-Nr3. De modellering en analyses zijn uitgevoerd door S.P.N. van Rijen en P.J. Ploumen.

De inhoud van dit rapport is als volgt.

In hoofdstuk 2 worden de gekozen eenheden beschreven en de basisgegevens vermeld. In hoofdstuk 3 wordt de berekeningsmethodiek toegelicht. De berekeningsresultaten worden besproken in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 wordt de invloed van een aangepast condensorontwerp behandeld. Tot slot volgen de conclusies in hoofdstuk 6.

## 2 SELECTIE VAN DE EENHEDEN EN BASISGEGEVENS

Op basis van een beperkt model is de invloed van de koelwatertemperatuur en de koelwaterstroom bepaald op het vermogen en de lozingstemperatuur van de beschouwde centrale. Voor dit project zijn drie typen centrales beschouwd:

- kolengestookte eenheid
- STEG-eenheid
- Combi-eenheid.

De ontwerpgegevens van de condensor van de beschouwde eenheden zijn in tabel 2.1 opgenomen.

Tabel 2.1 Ontwerpgegevens beschouwde condensors

ontwerpgrootheid	eenheid	kolen	Combi	STEG
vermogen stoomturbine	MWe	650	250	127
vermogen unit (bruto)	MWe	650	334	355
koelwater inlaattemp.	°C	12,5	15	12
koelwater uitlaattemp.	°C	18,1	21	18,7
Delta T	K	5,6	6	6,7
Grädigheid	K	4,2	6,3	3,0
koelwaterstroom	kg/s	27900	12990	7513
warmtelozing	MWth	652,8	321,8	210,4
KA-waarde	kW/K	98202	29622	36731
KA-waarde specifiek	1/MWth	150,4	92,1	174,6

Nadat de analyses waren uitgevoerd zijn nog additionele gegevens van de koelwaterpompen van de beschouwde eenheden opgevraagd.

Deze gegevens zijn in tabel 2.2 vermeld. Opgemerkt hierbij is dat de gegevens voor opgenomen vermogen en koelwaterstroom gelden per pomp.

Tabel 2.2 Ontwerpgegevens per koelwaterpomp

ontwerpgrootheid	eenheid	kolen	Combi	STEG
aantal pompen	-	2	2	1
toerengeregeld		ja	ja	nee
opvoerhoogte	MWk			
- rivier/zee		7,2	4,13 tot 6,24	11,24
- koeltoren		21,3		
opgenomen vermogen	KW			
- rivier/zee		1159	440	947
- koeltoren		3102		
koelwaterstroom	M <sup>3</sup> /s			
- rivier/zee		13,95	10 (max)	7,42
- koeltoren		11,95		

Revisie 1

### 3 **BEREKENINGSMETHODIEK**

Het berekeningsmodel is gebaseerd op de koelwatercorrectie grafieken en de warmtebalans behorende bij ontwerpcondities van de betreffende eenheid. Opgemerkt wordt dat de correctie grafieken voor de kolengestookte eenheid en de Combi op basis van metingen zijn vastgesteld. De correctie kromme voor de STEG is geleverd door de fabrikant. Op basis van de warmtebalans worden de benodigde parameters voor de condensor bepaald om de afwijkende condities door te rekenen. De berekeningen worden uitgevoerd voor de matrix koelwaterstroom – koelwater inlaattemperatuur. De beschouwde koelwaterstromen zijn:

- 60%-design stroom
- 70% design stroom
- 80% design stroom
- 90% design stroom
- 100% design stroom.

De beschouwde koelwater inlaattemperaturen zijn:

- ontwerptemperatuur (15 °C; 12 °C; 12,5 °C; ontwerp is verschillend per eenheid)
- 18 °C
- 20 °C
- 22 °C
- 25 °C.

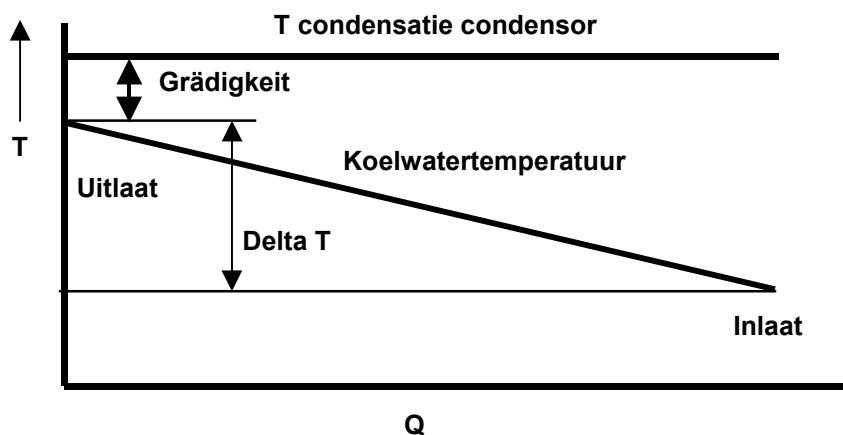
Voor alle situaties geldt dat de thermische input van de eenheid constant (op ontwerpwaarden) wordt gehouden waarbij een gelijke hoeveelheid stoom aan de condensor aangeboden wordt. De thermische input van de condensor zal bij alle varianten iets afwijken door een verandering in condensordruk. Deze verandering is kleiner dan 1% van het ontwerp warmteaanbod.

De berekeningen zijn met het softwarepakket SPENCE<sup>®</sup> uitgevoerd. Hiermee wordt de condensor van de eenheid gemodelleerd. Dit model berekent de condensordruk als functie van de koelwater-stroom en –temperatuur. Deze condensordruk is maatgevend voor het afgegeven vermogen van de stoomturbine.

Door de leveranciers van de beschouwde eenheden zijn correctiegrafieken afgegeven voor het vermogen van de stoomturbine (of totale eenheid) als functie van de condensordruk. Deze correcties zijn opgenomen in de modellen van de eenheden.



Het effect van veranderende koelwaterdebiet en temperatuur op het opgenomen vermogen van de koelwaterpomp wordt ook bepaald. Hierbij is steeds uitgegaan van een 0,5 bar opvoer hoogte omdat ten tijde van de uitvoering van de berekeningen de concrete gegevens niet bekend waren.



Figuur 3.1 Toelichting begrip Grädigkeit bij condensor

In figuur 3.1 is toegelicht wat het begrip Grädigkeit betekent. Dit is het temperatuursverschil tussen condensatietemperatuur en de uitlaattemperatuur van het koelwater. De Grädigkeit wordt ook aangeduid als “Terminal Difference” (EU, 2001).

Uit de waarden van de Grädigkeit van de beschouwde condensors (zie tabel 2.1) blijkt dat de verschillen groot zijn. De laagste waarde bedraagt 3,0K en de hoogste 6,3K. De verschillen worden door het ontwerp verklaard. Bepalend in het ontwerp zijn dikte van condensorpijp, warmtegeleidingscoëfficiënt van de condensorpijp, diameter condensorpijp.

De overgedragen hoeveelheid warmte in de condensor wordt bepaald door de volgende formules:

$$Q = kA \cdot \Delta T_{ln} \tag{3.1}$$

Met:

- Q: overgedragen hoeveelheid warmte in kW
- KA: warmte overdrachtscoëfficiënt maal oppervlak in kW/K
- $\Delta T_{ln}$ : het logaritmische temperatuursverschil

Revisie 1

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \tag{3.2}$$

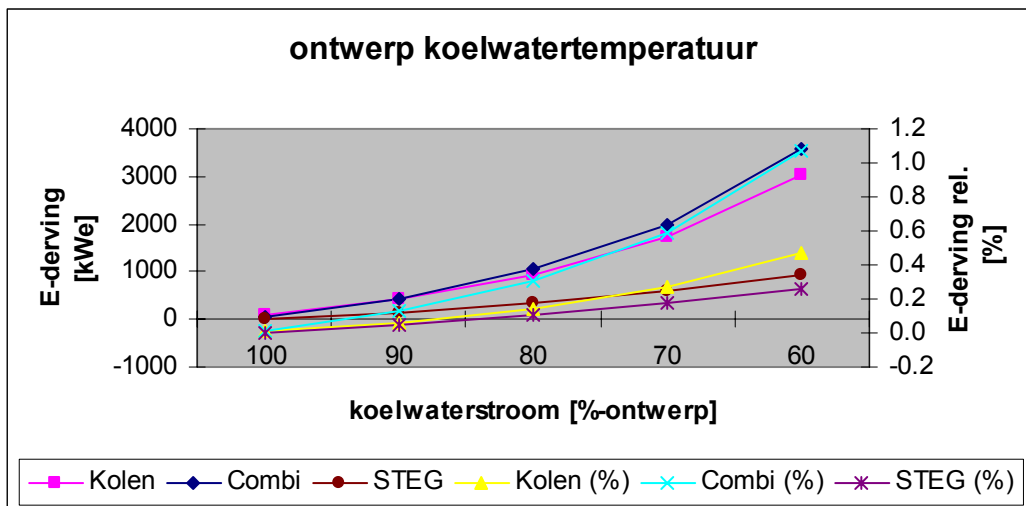
Met:

- Q: overgedragen hoeveelheid warmte in kW
- ΔT: temperatuursverschil koelwater in K
- cp: specifieke warmtecapaciteit van water in kJ/kgK
- m: koelwaterstroom in kg/s

#### 4      **BESPREKING BEREKENINGSRESULTATEN**

In figuur 4.1 is het verloop aangegeven van de vermogensderving voor de beschouwde type eenheden indien de koelwaterstroom gereduceerd wordt. Hierbij is steeds de ontwerpkoelwater inlaattemperatuur van de beschouwde eenheid aangenomen.

Tevens is de relatieve elektriciteitsderving van de gehele eenheid aangegeven.



Figuur 4.1 Vermogensderving bij verlaging van de koelwaterstroom bij ontwerp koelwater-temperatuur

De bijbehorende gegevens worden ook in tabel 4.1 aangegeven.

Tabel 4.1 Vermogensderving bij verlaging van de koelwaterstroom bij ontwerp koelwater-temperatuur

koelwaterstroom [%]	absolute E-derving			relatieve E-derving		
	Kolen [kWe]	Combi [kWe]	STEG [kWe]	Kolen (%) [%]	Combi (%) [%]	STEG (%) [%]
100	94	39	-6	0.0145	0.0117	-0.0017
90	415	440	152	0.0638	0.1317	0.0428
80	926	1039	360	0.1425	0.3111	0.1013
70	1738	1981	616	0.2674	0.5931	0.1733
60	3051	3570	922	0.4694	1.0689	0.2594

Per centrale wordt nog nader ingegaan op het ontstaan van de elektriciteitsderving. Deze is de som van de elektriciteitsderving van de stoomturbine door een hogere tegendruk en de reductie van pompvermogen ten gevolge van een lagere koelwaterstroom.

De kleine afwijkingen die optreden bij 100% koelwaterstroom geven de afwijking van het model aan met de praktijk.

De gegevens van de kolencentrale voor de ontwerp temperatuur van 12 °C zijn gegeven in tabel 4.2. De gegevens voor de Combi met een ontwerp temperatuur van 15 °C en de gegevens voor de STEG met een ontwerp temperatuur van 12 °C volgen uit tabel 4.3 respectievelijk tabel 4.4.

Tabel 4.2 Invloed reductie koelwaterstroom op vermogen en condensatiedruk voor de kolengestookte eenheid bij ontwerp koelwatertemperatuur

T koelwater 12.5 °C		Tkw uitlaat [°C]	E-derving stoomturb [kWe]	delta E koelw.pomp [kWe]	Absolute E-derving [kWe]	Relatieve Ederving [%]
koelwaterflow [%]	p condensor [mbar]					
100	27900	27.0	94	0	94	0.0145
90	25110	28.1	596	-181	415	0.0638
80	22320	29.5	1289	-363	926	0.1425
70	19530	31.4	2283	-545	1738	0.2674
60	16740	34.0	3778	-727	3051	0.4694

Revisie 1

Tabel 4.3 Invloed reductie koelwaterstroom op vermogen en condensatiedruk voor de Combi bij ontwerp koelwatertemperatuur

T koelwater		15 °C		Tkw uitlaat [°C]	E-derving stoomturb [kWe]	delta E koelw.pomp [kWe]	Absolute E-derving [kWe]	Relatieve Ederving [%]
koelwaterflow		p condensor						
[%]	[kg/s]	[mbar]	[°C]					
100	12990	36.1	20.9	39	0	39	0.0117	
90	11691	38.4	21.6	524	-84	440	0.1317	
80	10392	41.3	22.4	1208	-169	1039	0.3111	
70	9093	45.4	23.5	2234	-253	1981	0.5931	
60	7794	51.3	24.9	3908	-338	3570	1.0689	

Tabel 4.4 Invloed reductie koelwaterstroom op vermogen en condensatiedruk voor de STEG-eenheid bij ontwerp koelwatertemperatuur

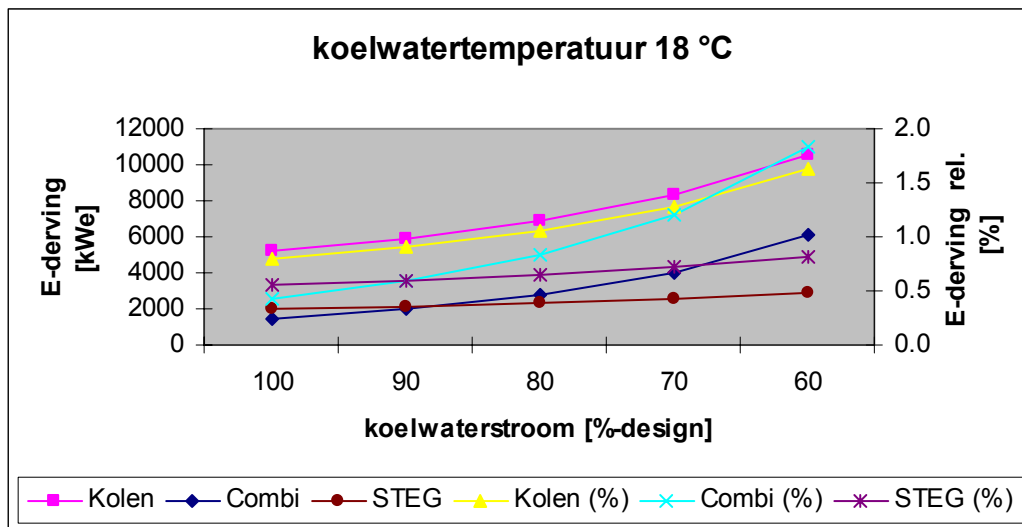
T koelwater		12 °C		Tkw uitlaat [°C]	E-derving stoomturb [kWe]	delta E koelw.pomp [kWe]	Absolute E-derving [kWe]	Relatieve Ederving [%]
koelwaterflow		p condensor						
[%]	[kg/s]	[mbar]	[°C]					
100	7513	26.0	18.7	-6	0	-6	-0.0017	
90	6762	27.4	19.4	201	-49	152	0.0428	
80	6011	29.3	20.4	457	-97	360	0.1013	
70	5259	31.9	21.5	762	-146	616	0.1733	
60	4508	35.6	23.1	1117	-195	922	0.2594	

Uit deze analyse van de vermogensderving van de drie beschouwde eenheden bij ontwerp koelwatertemperatuur blijkt dat de verlaging van de koelwaterstroom een veel groter effect heeft op de elektriciteitsderving van de stoomturbine dan de reductie in pompvermogen. Hierbij moet wel rekening worden gehouden met de opvoerhoogte van de koelwaterpompen. In deze berekeningen is om een goede vergelijking van de verschillende condensators mogelijk te maken uitgegaan van een opvoerhoogte van 0,5 bar. In de praktijk zullen deze opvoerhoogtes verschillen. In het geval van de kolengestookte eenheid blijkt de opvoerhoogte circa 40% hoger te zijn en bij de STEG 125% hoger. De consequentie hiervan is dat in de praktijk de reductie in opgenomen vermogen van de koelwaterpompen voor de kolengestookte eenheid en de STEG-eenheid hoger is dan in de tabellen aangegeven. Indien de opvoerhoogte aanzienlijk hoger wordt is het mogelijk om een optimaal bedrijfspunt te vinden waarbij de som van de elektriciteitsderving van de stoomturbine en de reductie van koelwaterpompvermogen minimaal wordt.

Deze analyses zijn ook uitgevoerd voor de verschillende inlaat koelwatertemperaturen.

De resultaten zijn als volgt:

- koelwater inlaattemperatuur 18 °C in figuur 4.2 en tabel 4.5
- koelwater inlaattemperatuur 20 °C in figuur 4.3 en tabel 4.6
- koelwater inlaattemperatuur 22 °C in figuur 4.4 en tabel 4.7
- koelwater inlaattemperatuur 25 °C in figuur 4.5 en tabel 4.8.

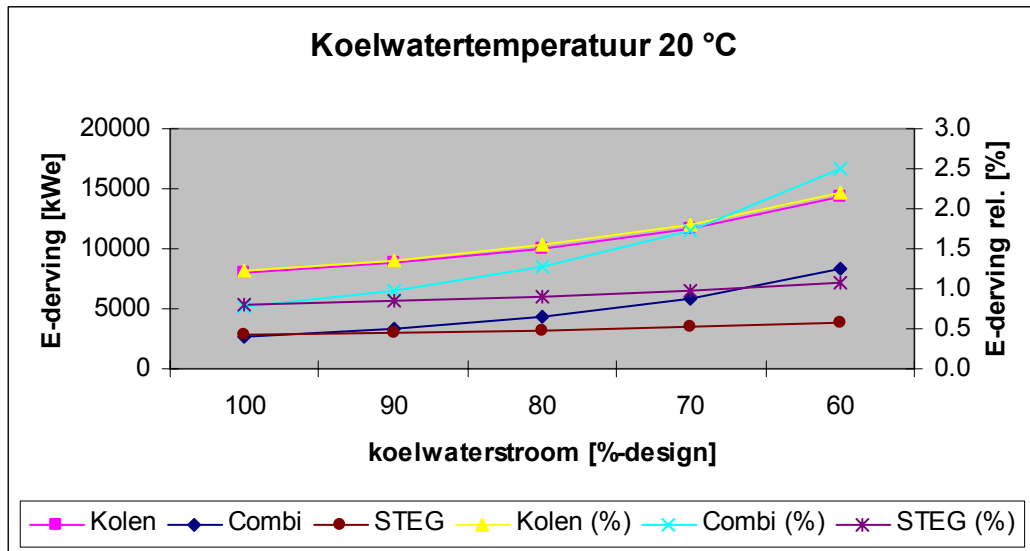


Figuur 4.2 Vermogensderving bij verlaging van de koelwaterstroom bij koelwatertemperatuur 18 °C

Tabel 4.5 Vermogensderving bij verlaging van de koelwaterstroom bij koelwatertemperatuur 18 °C

koelwaterstroom [%]	absolute E-derving			relatieve E-derving		
	Kolen [kWe]	Combi [kWe]	STEG [kWe]	Kolen (%)	Combi (%)	STEG (%)
100	5199	1404	1945	0.7998	0.4204	0.5473
90	5907	1956	2104	0.9088	0.5856	0.5920
80	6901	2767	2313	1.0617	0.8284	0.6508
70	8344	4020	2571	1.2837	1.2036	0.7234
60	10549	6116	2878	1.6229	1.8311	0.8098

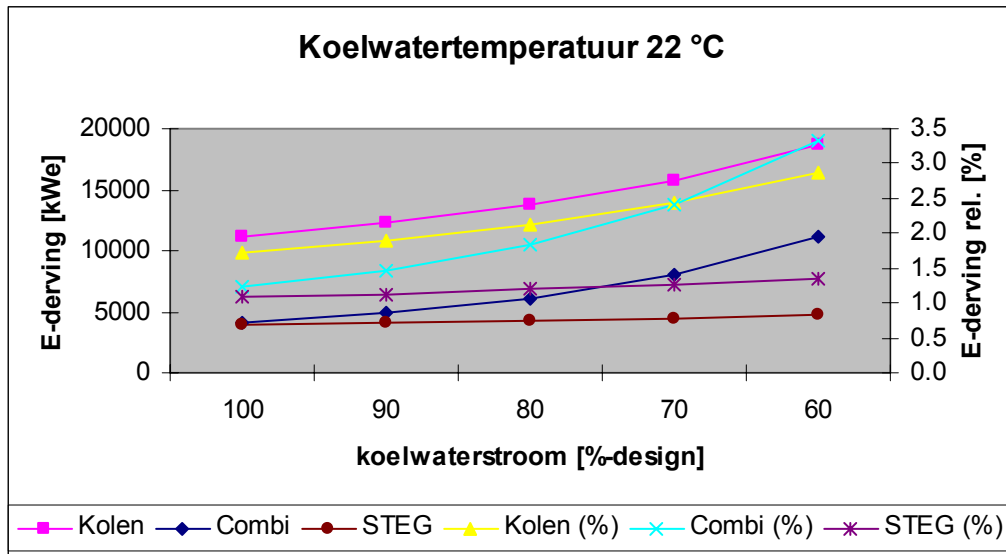
Revisie 1



Figuur 4.3 Vermogensderving bij verlaging van de koelwaterstroom bij koelwatertemperatuur 20 °C

Tabel 4.6 Vermogensderving bij verlaging van de koelwaterstroom bij koelwatertemperatuur 20 °C

koelwaterflow [%]	absolute E-derving			relatieve E-derving		
	Kolen [kWe]	Combi [kWe]	STEG [kWe]	Kolen (%)	Combi (%)	STEG (%)
100	7919	2597	2843	1.2183	0.7775	0.7999
90	8793	3281	3003	1.3528	0.9823	0.8450
80	10005	4275	3212	1.5392	1.2799	0.9038
70	11743	5802	3471	1.8066	1.7371	0.9766
60	14355	8346	3779	2.2085	2.4988	1.0633

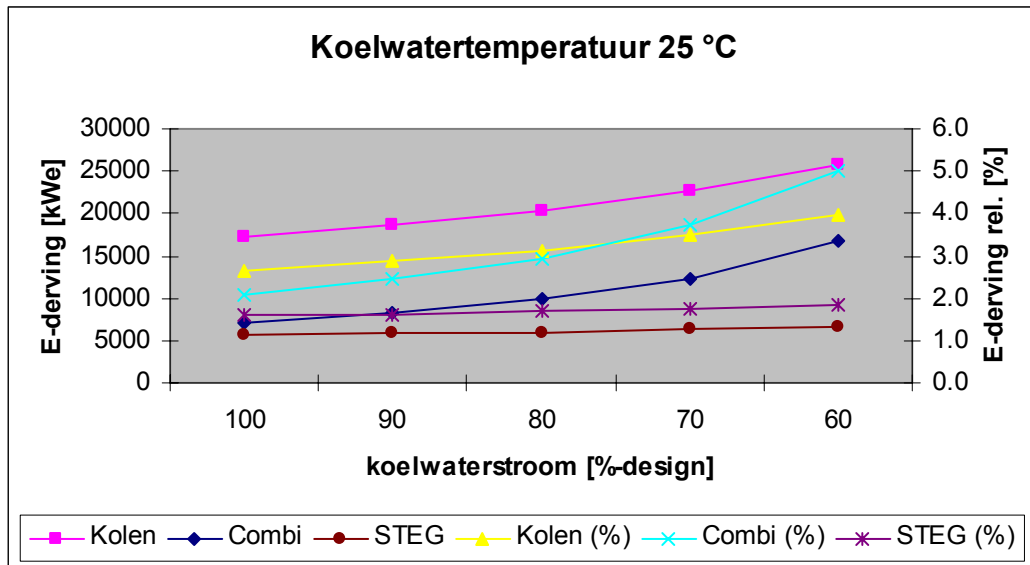


Figuur 4.4 Vermogensderving bij verlaging van de koelwaterstroom bij koelwatertemperatuur 22 °C

Tabel 4.7 Vermogensderving bij verlaging van de koelwaterstroom bij koelwatertemperatuur 22 °C

koelwaterflow	absolute E-derving			relatieve E-derving		
	Kolen	Combi	STEG	Kolen (%)	Combi (%)	STEG (%)
[%]	[kWe]	[kWe]	[kWe]	[%]	[%]	[%]
100	11193	4078	3864	1.7220	1.2210	1.0872
90	12258	4924	4025	1.8858	1.4743	1.1325
80	13714	6145	4235	2.1098	1.8398	1.1916
70	15760	8015	4494	2.4246	2.3997	1.2645
60	18736	11128	4804	2.8825	3.3317	1.3517

Revisie 1



Figuur 4.5 Vermogensderving bij verlaging van de koelwaterstroom bij koelwatertemperatuur 25 °C

Tabel 4.8 Vermogensderving bij verlaging van de koelwaterstroom bij koelwatertemperatuur 25 °C

koelwaterflow [%]	absolute E-derving			relatieve E-derving		
	Kolen [kWe]	Combi [kWe]	STEG [kWe]	Kolen (%)	Combi (%)	STEG (%)
100	17250	6989	5628	2.6538	2.0925	1.5836
90	18590	8155	5790	2.8600	2.4416	1.6292
80	20343	9831	6000	3.1297	2.9434	1.6882
70	22656	12387	6261	3.4855	3.7087	1.7617
60	25651	16660	6572	3.9463	4.9880	1.8492

Bij alle beschouwde eenheden heeft vermindering van de hoeveelheid koelwater een negatief effect op het vermogen en rendement, ongeacht de temperatuur van het koelwater. Dit blijkt uit bovenstaande tabellen en grafieken. De vermogensdalingen zijn ten opzichte van de ontwerpsituatie.

Daarnaast is de procentuele afwijking opgenomen. De verschillen zijn allemaal gerelateerd aan het vermogen van de gehele eenheid. Geconstateerd wordt dat het relatieve verlies voor alle eenheden verschillend is. Dit is te verklaren doordat de ontwerpcondities voor de



condensors onderling verschillen. De Grädigkeit, koelwater intredetemperatuur en opwarming zijn voor de beschouwde eenheden verschillend (zie de ontwerpgegevens in tabel 2.1).

Het effect van de koelwaterstroom op het vermogen en rendement volgt uit tabel 4.9.

Zo geeft de verlaging van de koelwaterstroom van 100% naar 60% bij de beschouwde kolen-eenheid bij ontwerpcondities een verlaging van het vermogen en rendement van 0,45%. Voor de Combi en STEG is de verlaging 1,06% respectievelijk 0,26%.

Tabel 4.9 Effect door verandering van de koelwaterstroom op het vermogen

effect door verandering in flow effect op vermogen			
100% flow	Kolen (%) [%]	Combi (%) [%]	STEG (%) [%]
ontwerp	0.0145	0.0117	-0.0017
18	0.7998	0.4204	0.5473
20	1.2183	0.7775	0.7999
22	1.7220	1.2210	1.0872
25	2.6538	2.0925	1.5836
60% flow			
ontwerp	0.4694	1.0689	0.2594
18	1.6229	1.8311	0.8098
20	2.2085	2.4988	1.0633
22	2.8825	3.3317	1.3517
25	3.9463	4.9880	1.8492
60% - 100% flow			
ontwerp	0.4549	1.0572	0.2611
18	0.8231	1.4108	0.2625
20	0.9902	1.7213	0.2634
22	1.1605	2.1108	0.2645
25	1.2925	2.8955	0.2656

In tabel 4.10 is het effect van de koelwatertemperatuur ten opzichte van het ontwerp aangegeven op het vermogen en rendement.

Deze gegevens zijn berekend met behulp van de gegevens van tabel 4.9.

Revisie 1

Tabel 4.10 Vermogensderving en rendementsderving door afwijkende koelwatertemperaturen

	effect door temperatuur t.o.v. het design		
100% flow	Kolen (%) [%-%]	Combi (%) [%-%]	STEG (%) [%-%]
ontwerp			
18	0.7854	0.4087	0.5490
20	1.2038	0.7659	0.8016
22	1.7075	1.2093	1.0889
25	2.6394	2.0808	1.5853
60% flow			
ontwerp			
18	1.1535	0.7623	0.5504
20	1.7391	1.4299	0.8039
22	2.4131	2.2629	1.0923
25	3.4769	3.9192	1.5898
60% - 100% flow	effect door doorstroming cond.		
ontwerp			
18	0.3682	0.3536	0.0014
20	0.5352	0.6641	0.0023
22	0.7055	1.0536	0.0034
25	0.8375	1.8383	0.0045

Tot slot wordt de invloed van een verhoging van de koelwatertemperatuur met 1K bepaald.

Hiervoor zijn de gegevens in de ontwerpsituatie met ontwerp temperatuur gebruikt en de gegevens bij nominale koelwaterstroom en een koelwatertemperatuur van 25 °C.

De gegevens zijn samengevat in tabel 4.11.

Tabel 4.11 Bepaling van de vermogensderving per graad koelwaterstijging

Variabele	Eenheid	Kolen	Combi	STEG
Design temp.	°C	12.5	15	12
Vermogensderving 25 °C	kWe	17250	6989	5628
Vermogensderving design	kWe	94	39	-6
Vermogensderving abs.	kWe	17156	6950	5634
Temp. verschil met design	K	12.5	10	13
Vermogensderv. per graad abs.	kWe/K	1372	695	433
Vermogensderv. per graad rel.	promille/K	2.1	2.8	3.4

Hieruit volgt dat de vermogensderving per graad koelwaterstijging ongeveer 3 promille bedraagt. Dit is de richtwaarde die wordt aangegeven in (EU, 2001). Ook blijkt dat de vermogensderving voor een centrale met superkritische stoomcondities lager is. De vermogensderving voor de beschouwde koleneenheid is slechts 2,1 promille per graad. Bij een STEG-eenheid met een maximale stoomdruk van circa 100 bar is de vermogensderving enigszins hoger, namelijk 3,4 promille per graad koelwaterstijging.

## 5 **BEREKENINGEN MET AANGEPAST CONDENSORONTWERP**

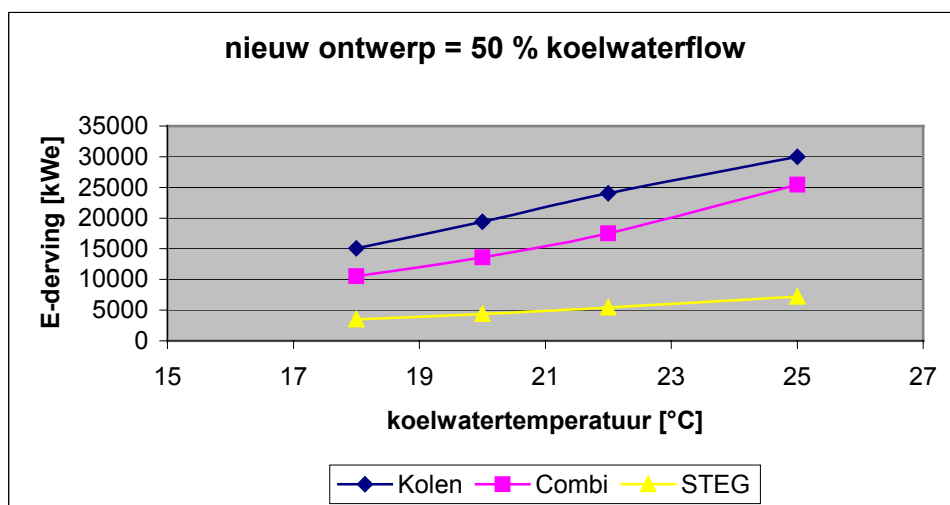
Tevens zijn nog berekeningen uitgevoerd met een aangepast condensorontwerp. In deze situatie is gesteld dat de ontwerpstroom gelijk is aan 50% van de stroom van de oorspronkelijke koelwaterstroom. Dit impliceert ook een verdubbeling van de temperatuursverhoging van het koelwater. Immers dezelfde hoeveelheid warmte dient te worden afgevoerd (zie vergelijking 3.1).

De vermogensderving is als functie van de koelwatertemperatuur voor de beschouwde eenheden met aangepast condensorontwerp bepaald en gepresenteerd in figuur 5.1 en tabel 5.1.

De vermogensderving is hier zo hoog omdat de condensordruk aanzienlijk stijgt ten gevolge van de optredende hogere condensatietemperatuur. De condensatietemperatuur in de condensor is globaal gelijk aan de lozingstemperatuur plus de Grädigheid.

In figuur 5.2 is voor het aangepaste ontwerp de lozingstemperatuur gepresenteerd.

Revisie 1



Figuur 5.1 Vermogensderving bij aangepast condensorontwerp

Tabel 5.1 Vermogensderving bij aangepast condensorontwerp

koelwatertemp. [°C]	absolute E-derving		
	Kolen [kWe]	Combi [kWe]	STEG [kWe]
design	6211	7023	1520
18	15088	10527	3480
20	19415	13620	4381
22	24046	17518	5407
25	29972	25438	7179

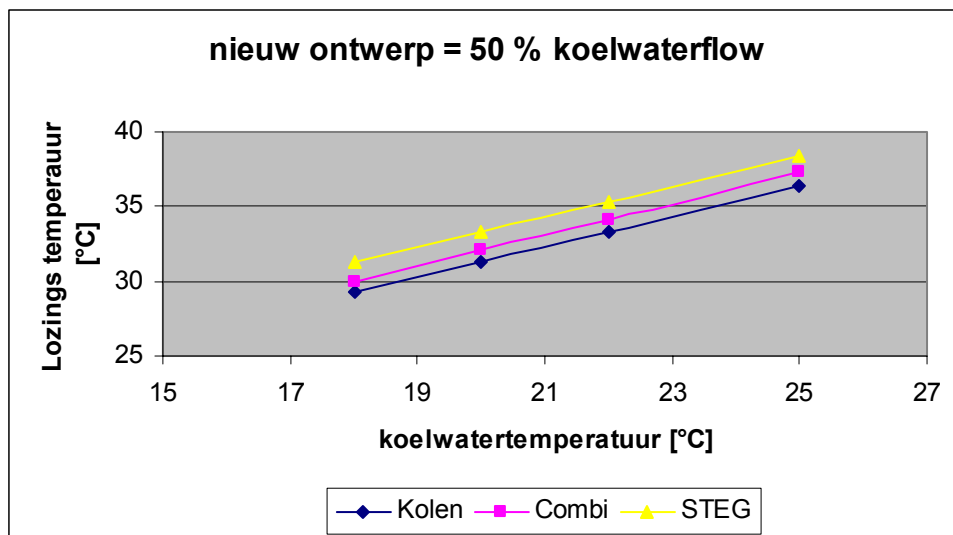
De veranderingen van het ontwerp van de condensor blijken uit de KA-waarden. In tabel 5.2 zijn de KA waarden van het oorspronkelijke ontwerp en van het nieuwe ontwerp gegeven.

In het nieuwe ontwerp is uitgegaan van 50% koelwaterstroom en de oorspronkelijke Grädigheid. Het aanzienlijk vergroten van het VO van de condensor zal de Grädigheid beperkt reduceren. Door materiaal met een betere warmtegeleidingscoëfficiënt te kiezen en dunnere condensorpijpen toe te passen wordt de Grädigheid ook verlaagd.

Tabel 5.2 Overzicht van de aangepaste KA-waarden van de condensor bij aangepast ontwerp

KA-waarde condensor kW/K	Kolen	Combi	STEG
Oorspronkelijk ontwerp	98202	29622	36731
Aangepast ontwerp (50%)	73760	22056	22369

Een condensorontwerp gebaseerd op 50% koelwaterstroom betekent een continue lagere elektriciteitsproductie. Het is dan ook beter om uit te gaan van de 100% flow en alleen in bepaalde situaties de flow te reduceren om te komen tot een hogere lozingstemperatuur.



Figuur 5.2 Lozingstemperatuur koelwater bij aangepast condensorontwerp

Revisie 1

## 6 CONCLUSIES

Op basis van de uitgevoerde analyses worden de volgende conclusies getrokken.

- Het wijzigen van het koelwaterdebiet om met een hogere temperatuur te kunnen lozen om zodoende een snellere afkoeling naar de omgeving te realiseren heeft uiteraard rendements- en vermogensderving voor de beschouwde centrale ten gevolge. Echter deze dervingen zijn kleiner dan de nadelen die optreden ten gevolge van lozingsbeperkingen, die nu veroorzaakt worden door vast te houden aan de maximale lozingstemperatuur van 30 °C. Opgemerkt wordt dat de waarde van niet geleverde elektriciteit ongeveer 30 tot 50 EUR/MWh bedraagt. Bovendien wordt bij versnelde warmteafgifte door gelaagde lozing met een hogere temperatuur bereikt dat de intredetemperatuur van het koelwater van een verderop gelegen centrale lager is en daardoor meer elektriciteit kan produceren.
- Uitgaande van de gehanteerde uitgangspunten, blijkt het vermogensverlies ten gevolge van reductie van de koelwaterstroom bij de kolengestookte eenheid relatief laag te zijn. De gevoeligheid voor variatie in temperatuur is voor de koleneenheid en de Combi-eenheid vergelijkbaar. Echter de Combi-eenheid is veel gevoeliger voor verandering in doorstroming van de condensor (zie tabel 4.9). Opgemerkt wordt dat deze resultaten tot stand zijn gekomen bij een gelijke opvoerhoogte van de koelwaterpompen. Bij een hogere opvoerhoogte kan er een optimum optreden tussen de 100% stroom en een lagere stroom.
- De zeewatergekoelde STEG-eenheid is duidelijk ontworpen voor een kleine range in temperatuurvariatie. De gevoeligheid voor variatie in temperatuur is vele malen groter dan bij de andere twee eenheden (zie tabel 4.10). Echter de gevoeligheid voor variaties in doorstroming is minimaal (zie tabel 4.9).
- Het is niet mogelijk een eenduidig effect te voorspellen op netto vermogensverlies ten gevolge van de voorgestelde wijze van warmtelozing (stratificatie). Telkens moet gekeken worden wat de gevolgen zijn voor een specifieke eenheid indien aan het koelwater-temperatuur en/of -stroom regime wordt gesleuteld.
- Voor het bereiken van een zo hoog mogelijk rendement dient elk koelsysteem geoptimaliseerd te worden. Hierbij spelen de bedrijfsvoering, de koelwatercondities, brandstofkosten en de afstand van toevoer van koelwater tot de eenheid een belangrijke rol. Een ontwerp gebaseerd op een veel lagere koelwaterstroom is niet zinvol.

- Algemeen geldt dat een lage condensordruk leidt tot een groter expansietraject voor de stoom in de turbine en daarmee wordt dan meer vermogen geleverd. In hoeverre dit teniet wordt gedaan door meer pompvermogen is sterk situatieafhankelijk met name van koelwaterstroom en opvoerhoogte.
- De vermogensderving bedraagt globaal 3 promille per graad koelwaterstijging. Echter voor de superkritische eenheden is de vermogensderving geringer (ongeveer 2,1 promille per graad) en voor STEG-eenheden is de vermogensderving hoger (ongeveer 3,4 promille per graad).
- Een verhoging van de inlaattemperatuur wordt primair door meteorologische omstandigheden bepaald indien er geen sprake is van koelwaterrecirculatie. De rendementsderving die daardoor optreedt is onafhankelijk van de beoordelingstechniek. De invloed van koelwater debietvermindering op vermogensderving is sterk afhankelijk van het condensorontwerp. Met name de Grädigheid speelt een belangrijke rol.
- De resultaten geven aan dat een desk studie nodig is om de toekomstige elektriciteitsproductie zo optimaal mogelijk te ontwerpen binnen de Europese wetgeving ten aanzien van koelwatergebruik. Deze “koude einde optimalisatie” studie geeft antwoord op de laagst mogelijke milieu-impact zowel water als rookgaszijdig.

Revisie 1

## **LITERATUUR**

EU, 2001. European Commission: Integrated Pollution Prevention and Control IPPC, Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems, December 2001.



**Extern**

---

Begeleiders van product 03P3.11.4 uit Cluster 3 Regelgeving en Milieu (15x)  
KEMA-projectleider: W.C. Kok KPS/M03 (1x)

**Formeel intern**

---

N. Bolt (projectmanager TSA Power Generation) KPS/M05  
S. de Zwart, KPS archief KPS/M05  
KEMA Information Research FIT/H01

**Intern**

---

P.J. Ploumen KPS/M03  
S.P.N. van Rijen KPS/M03  
R. Hunik KPS/M03  
H.A. Jenner KPS/M05  
G. Koopmans KPS/M03