

De omslag van schaalvoordelen in schaalnadelen bij de Nederlandse elektriciteitsopwekking

DR. G. J. VAN HELDEN - DR. J. MUYSKEN*

De kostenvoordelen die grootschalige elektriciteitsopwekking biedt, kunnen gemakkelijk omslaan in kostennadelen. In dit artikel wordt het verband onderzocht tussen de schaal van elektriciteitsproductie-eenheden, de brandstofefficiëntie en de bezettingsgraad. Op grond van hun berekeningen concluderen de auteurs dat de positieve schaaffecten (arbeid- en kapitaalbesparing) van grote opwekkingseenheden gemakkelijk te niet kunnen worden gedaan door de hogere vaste kosten per eenheid produkt die met de slechtere benutting van deze grote eenheden samenhangen. Zij zijn dan ook van mening dat bij de huidige onzekere afzetontwikkeling voor elektriciteit het opstellen van kleinere productie-eenheden serieus moet worden overwogen.

1. Inleiding

Het grootste deel van de Nederlandse elektriciteitsopwekking geschiedt door middel van stoomturbines die zijn verbonden met ketels die met fossiele brandstoffen worden gestookt. In het recente verleden zijn daarbij productie-eenheden van steeds grotere schaal in gebruik genomen. Deze ontwikkeling werd veelal gemotiveerd met de schaalvoordelen die ermee te behalen waren: de inzet van produktiefactoren per geproduceerde eenheid is in de regel geringer, naarmate de schaal van de productie-eenheid groter is.

Recent is twijfel gerezen omtrent de kostenvoordelen van grote eenheden voor elektriciteitsopwekking 1). In dit artikel wordt ingegaan op de vraag of deze twijfel gegrond is. Eerst wordt verslag gedaan van een empirisch onderzoek naar de brandstofefficiëntie (par. 2) en benutting (par. 3) van stoomturbines in Nederland gedurende de periode 1955-1979. Vervolgens wordt in paragraaf 4 een eenvoudig model ontwikkeld waarmee schaalvoor- en nadelen van turbines kunnen worden bepaald. Dit model wordt van een empirische inhoud voorzien op basis van de in paragraaf 2 en 3 gepresenteerde informatie. Ter afsluiting worden de conclusies over schaalvoor- en nadelen uit paragraaf 4 gebruikt om het (toekomstige) investeringsbeleid van de gezamenlijke elektriciteitsproducenten in Nederland aan een kritische beschouwing te onderwerpen; dat gebeurt in paragraaf 5. Het blijkt dat de elektriciteitsproducenten nog steeds doorgaan op de in 1975-1980 ingeslagen weg, i.c. met het in bedrijf nemen van grote eenheden. Naar onze mening dient de bouw van relatief kleine eenheden meer dan tot nu toe in de beleidsafweging van de elektriciteitsproducenten te worden betrokken.

2. De brandstofefficiëntie van stoomturbines in Nederland

We gaan ervan uit dat bij elektriciteitsproductie de stoomturbine kan worden opgevat als de productie-eenheid. Ten einde de brandstofefficiëntie van stoomturbines te analyseren, zijn gegevens verzameld van in totaal 89 turbines die gedurende de periode 1955-1979 aan de openbare elektriciteitsproductie in Nederland hebben deelgenomen. Deze

89 turbines zijn verantwoordelijk voor een groot deel van de Nederlandse elektriciteitsproductie: voor het jaar 1973 b.v. wordt 76% van de totale productie en zelfs 93% van de productie met fossiel gestookte stoomturbines gedekt door de beschikbare gegevens. Een nadere verantwoording omtrent de gegevensverzameling is te vinden in een afzonderlijke publikatie 2).

De brandstofefficiëntie van een turbine — strikt genomen, van de tot die turbine behorende ketel — wordt gedefinieerd als het quotiënt van de warmte-inhoud van de brandstofinzet en de warmte-inhoud van de opgewekte elektriciteit 3). We beschouwen de maximale waarde van dit quotiënt over de

* Beide auteurs zijn verbonden aan de Economische Faculteit van de Rijksuniversiteit Groningen. Met dank aan drs. R. ter Brugge (Instituut voor Sociale Geografie van de RUG) en drs. H. G. Wienke (EGD) voor hun commentaar op een eerdere versie van dit artikel.

1) Zie E. van der Hoeven, Overcapaciteit in de Nederlandse elektriciteitsopwekking, *ESB*, 25 juni 1980, blz. 732-736; B. Bakker, Schaalvergroting en overcapaciteit in de Nederlandse elektriciteitsopwekking: een model ter vergelijking van 300 en 600 MW strategieën, Groningen, 1980 (ongepubliceerd doctoraal werkstuk Rijksuniversiteit Groningen, Subfaculteit Scheikunde); zie ook Th. G. Cowing, Technical change and scale economies in an engineering production function: the case of steam electric power, *Journal of Industrial Economics*, jg. 23, blz. 135-152; H. R. Wills, Estimation of a vintage capital model for electricity generation, *Review of Economic Studies*, jg. 45, blz. 495-510; en R. W. Vellema, Overcapaciteit in de Nederlandse elektriciteitsopwekking, *ESB*, 6 augustus 1980, blz. 876-878.

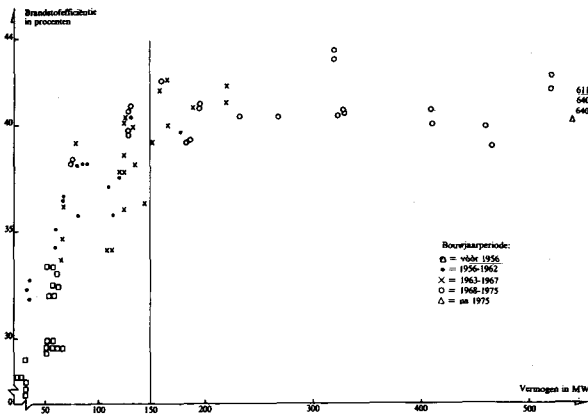
2) G. J. van Helden en J. Muysken, *Gegevens gebruikt bij het onderzoek naar produktiefuncties voor de elektriciteitsopwekking in Nederland*, IEO-memorandum nr. 74, Groningen, 1980.

3) Idealiter zou men de brandstofefficiëntie moeten betrekken op de afgegeven elektriciteit. Het verschil tussen afgegeven en opgewekte elektriciteit heeft betrekking op het „eigen verbruik” van een productie-eenheid; dit bedraagt 2 tot 5% van de opgewekte elektriciteit. Volgens mededelingen gedaan door medewerkers van de Arnhemse Instellingen is evenwel van een uniforme definiëring van het begrip eigen verbruik geen sprake. Om die reden hebben wij het brandstofverbruik van een turbine gedefinieerd per eenheid opgewekte elektriciteit.

waarnemingsperiode als de beste technologische karakterisering van een turbine 4).

Om te bezien in hoeverre bij de brandstofefficiëntie van turbines sprake is van schaalvoordelen en technologische vooruitgang, zijn respectievelijk de vermogens (in MW) en de bouwjaren in verband gebracht met de maximale brandstofefficiënties van de betrokken turbines. In figuur 1 is dit verband grafisch weergegeven. Uit de figuur blijkt dat er sterke schaafeffecten zijn voor turbines met een vermogen tot 150 of 200 MW 5); voor turbines met een groter vermogen zijn echter niet of nauwelijks schaafeffecten aanwezig. Voorts valt aan figuur 1 te ontleen dat recentere bouwjaren tot 1968 een hogere brandstofefficiëntie impliceren (technologise vooruitgang) 6), maar dat na 1968 de verschillen in brandstofefficiëntie minimaal zijn.

Figuur 1. De relatie tussen brandstofefficiëntie en vermogen met indicatie van de bouwjaarperiode



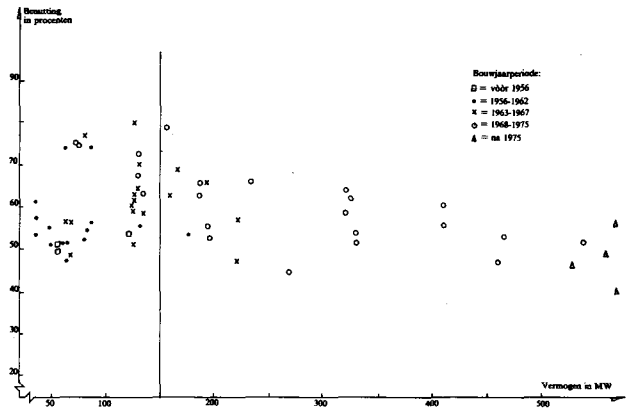
Als nadere toelichting op figuur 1 merken we nog het volgende op. Ten eerste is er een sterke samenhang tussen de schaal en het bouwjaar van turbines: zo is de gemiddelde schaal van turbines in de bouwjaarklassen ouder dan 1956, 1956-1962, 1963-1967, 1968-1975 en jonger dan 1975 respectievelijk 47, 85, 132, 272 en 605 MW. Ten tweede is er geen verband tussen het bouwjaareffect op de brandstofefficiëntie en het vermogen en evenmin tussen het vermogenseffect op de brandstofefficiëntie en het bouwjaar 7).

Ten slotte is komen vast te staan, hoewel dat verder niet uit figuur 1 blijkt, dat het brandstoftype van een turbine (m.n. kolen, olie, gas, kolen/olie en olie/gas) geen significante invloed heeft op de brandstofefficiëntie van zo'n turbine 8). Deze resultaten worden bevestigd door onderzoek aan de hand van recente Amerikaanse data 9).

3. De benutting van stoomturbines in Nederland

Zoals uit de volgende paragraaf zal blijken speelt de benutting van turbines een rol bij de bepaling van schaafeffecten. De benuttingsgraad van een turbine wordt gedefinieerd als het quotiënt van de feitelijke en maximale productie per jaar 10). Uit onderzoek is naar voren gekomen dat de benutting van een turbine afneemt naarmate het vermogen groter is 11). Een reden hiervoor is dat grotere eenheden meer kans hebben op technische mankementen en moeilijker zijn te bedienen 12). Wij hebben daarom op basis van onze gegevens de benutting van Nederlandse turbines nader onderzocht. Hierbij zijn wij ervan uitgegaan dat de gemiddelde benutting over de eerste drie jaren na het bouwjaar van een turbine de normale operatie van een turbine goed weergeeft 13). Turbines zijn dan ook onderling vergelijkbaar.

Figuur 2. De relatie tussen benutting en vermogen met indicatie van de bouwjaarperiode



Op een zelfde wijze als in figuur 1 is in figuur 2 de benutting van de turbines in verband gebracht met het vermogen en de bouwjaarperiode. Uit figuur 2 valt af te lezen dat voor turbines beneden de 150 MW er geen relatie aanwezig lijkt tussen de benutting enerzijds en vermogen of bouwjaar anderzijds. Voor turbines met een groter vermogen is daarentegen duidelijk een negatief verband te zien tussen benutting en vermogen; het bouwjaareffect is minder duidelijk aanwijsbaar. Globaal gesproken kan de elasticiteit van het vermogen ten opzichte van de benutting worden gesteld tussen de $-0,10$ en $-0,25$. De nadere toelichting op figuur 1 is verder ook van toepassing op figuur 2.

4. Schaafeffecten

Bij het beoordelen van de schaafeffecten van turbines dient men uiteindelijk te kijken naar de kosten per eenheid produkt. Hierbij onderscheiden wij variabele kosten, i.c. brandstofkosten, en vaste kosten, i.c. investerings- en arbeidskosten 14).

Aangezien in paragraaf 2 is gebleken dat de verbruikte hoeveelheid brandstof per eenheid produkt niet varieert met het vermogen voor turbines boven de 150 MW, kan worden gesteld dat er geen schaafeffecten optreden bij de variabele

4) Zie G. J. van Helden en J. Muysken, Economies of scale and technological change in electricity generation in the Netherlands, te verschijnen in *De Economist*, jg. 129.

5) De schaafeffectiviteit over dit vermogensinterval is ca. 0,12. Zie ons nog te verschijnen artikel in *De Economist*.

6) Het bouwjaareffect op de brandstofefficiëntie bedraagt over dit bouwjaarinterval ongeveer 1% per jaar. Zie ons nog te verschijnen artikel in *De Economist*.

7) Zie verder idem.

8) Idem.

9) Zie Cowing, op.cit.; P. L. Joskow en F. S. Mishkin, Electric utility fuel choice behavior in the United States, *International Economic Review*, jg. 18, blz. 719-736; zie verder ons nog te verschijnen artikel in *De Economist*.

10) Benuttingsgraad = productie in MWh per jaar/vermogen in MW \times 8.760 uren per jaar.

11) Zie A. J. Abdulkarim en N. J. Lucas, Economies of scale in electricity generation in the United Kingdom, *Energy Research*, jg. 1, blz. 223-231; en Van der Hoeven, op.cit.

12) Abdulkarim en Lucas, op.cit., blz. 224-226. Het is niet uitgesloten dat de relatief lage benuttingsgraad van grote eenheden mede veroorzaakt wordt door een gebrek aan ervaring bij de bouw en bediening van deze „nieuwste generatie” produktie-eenheden.

13) Uiteraard zijn er voor enkele turbines uitzonderingen gemaakt. Een nadere uitwerking van de invloed van de benutting vindt u in G. J. van Helden en J. Muysken, *Diseconomies of scale for plant utilisation in electricity generation*, op aanvraag verkrijgbaar bij de auteurs.

14) Arbeidskosten — in de zin van kosten voor bediening en onderhoud — worden tot de vaste kosten gerekend omdat de inzet van arbeid niet zozeer bepaald wordt door de omvang van de produktie als wel door de beschikbaarheid van de machine.

kosten. Eventuele schaafeffecten moeten derhalve worden gezocht bij de vaste kosten per eenheid produkt.

Terwijl variabele kosten direct zijn gerelateerd aan de produktie, hebben vaste kosten niet zozeer betrekking op de geproduceerde hoeveelheid van een machine, X (MWh/jaar), maar op de produktiecapaciteit, V (MW). Om de vaste kosten per eenheid produkt te kennen, dient men dan ook de levensduur van de machine te kennen, alsmede de benuttingsgraad. Hoe langer een machine meegaat, des te lager zijn de kosten per eenheid produkt ceteris paribus; hoe hoger de benuttingsgraad is, des te lager zijn de kosten per eenheid produkt ceteris paribus. Ter wille van de eenvoud gaan wij ervan uit dat de levensduur voor eenheden groter dan 150 MW gelijk is en dat de verwachte benutting van de machine kan worden bepaald aan de hand van de feitelijke benuttingsgraad voor de eerste drie jaar na installatie (zie par. 3) 15). De vaste kosten per eenheid produkt kunnen dan worden bepaald als de vaste kosten per jaar per MW vermogen gedeeld door de benuttingsgraad, b . Als VK de vaste kosten per jaar weergeeft, kunnen de vaste kosten als volgt in formule worden geschreven:

$$\frac{VK}{X} = \frac{VK}{V} \cdot \frac{1}{b \times 8.760} \quad (1)$$

In de literatuur wordt er vaak van uitgegaan dat er een vaste relatie is tussen de investeringskosten per jaar en het vermogen van een turbine. Bij recent empirisch onderzoek aan de hand van Amerikaanse gegevens kwam men tot de conclusie dat de investeringskosten per jaar proportioneel variëren met het vermogen 16). Andere onderzoeken concluderen echter tot een elasticiteit van het vermogen ten opzichte van de investeringskosten die ongeveer 0,8 bedraagt 17).

Wat betreft de arbeidskosten lijkt de vooronderstelling gerechtvaardigd dat de elasticiteit van het vermogen ten opzichte van de arbeidskosten ongeveer 0,8 is 18). Uitgaande van een verhouding tussen investeringskosten en arbeidskosten van 4:1 19) varieert dan de elasticiteit van het vermogen ten opzichte van de vaste kosten per jaar tussen de 0,8 en 0,96. In formulevorm:

$$VK = C_1 \cdot V^{1-\alpha} \quad 0,04 \leq \alpha \leq 0,20 \quad (2)$$

In par. 3 is geconcludeerd dat er een negatieve relatie bestaat tussen benuttingsgraad en vermogen met een elasticiteit tussen $-0,10$ en $-0,25$. In formulevorm:

$$b = C_2 \cdot V^{-\kappa} \quad 0,10 \leq \kappa \leq 0,25 \quad (3)$$

Terwijl een hoger vermogen leidt tot relatief lagere vaste kosten, leidt het ook tot een lagere benutting. Dit laatste heeft op zich weer hogere vaste kosten per eenheid produkt tot gevolg. Het „vaste kosten per jaar”-effect en het benuttings-effect van het vermogen werken dus tegen elkaar in. Dit blijkt ook als men (2) en (3) in (1) substitueert:

$$\frac{VK}{X} = C \cdot V^{-\epsilon} \quad \epsilon = \alpha - \kappa, C = \frac{C_1}{C_2 \times 8.760} \quad (4)$$

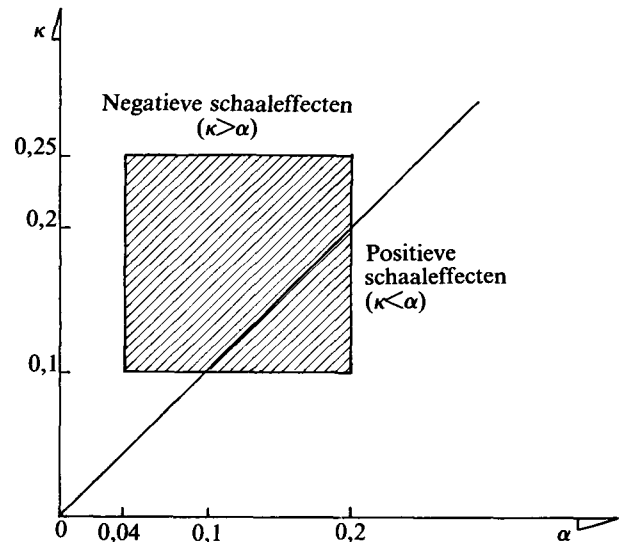
Afhankelijk van het teken van $\epsilon = \alpha - \kappa$ nemen de vaste kosten per eenheid produkt toe of af naarmate het vermogen toeneemt.

Op grond van het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat het teken van de elasticiteit van het vermogen ten opzichte van de vaste kosten per eenheid produkt, $\epsilon = \alpha - \kappa$, bepalend is voor het al dan niet optreden van schaafeffecten bij de elektriciteitsopwekking. De in Nederland geldende situatie is weergegeven in figuur 3, met op de horizontale as α en op de verticale as κ . Het gearceerde gebied geeft aan binnen welke grenzen de waarden voor α en κ liggen voor Nederland. Opmerkelijk is hierbij dat een groot gedeelte van dit gebied

correspondeert met negatieve schaafeffecten: de negatieve invloed van het vermogen op de benutting (par. 3) overtreft dan de „traditionele” schaafeffecten van vermogen op vaste capaciteitskosten.

Zoals men uit figuur 3 kan aflezen is het op zijn minst twijfelachtig of er wel sprake is van positieve schaafeffecten bij de elektriciteitsopwekking in Nederland.

Figuur 3. Schaafeffecten voor de Nederlandse elektriciteitsopwekking



5. Elektriciteitsplanning

De planning van nieuw opwekkingsvermogen is al lang geen uitsluitende verantwoordelijkheid meer voor de individuele elektriciteitsproduktiebedrijven. Er is sprake van een gecoördineerd investeringsbeleid; mede met het oog hierop is een afzonderlijke organisatie in het leven geroepen, de NV Samenwerkende Elektriciteits-Produktiebedrijven (SEP).

Het doel van deze slotparagraaf is tweeledig. Ten eerste zullen we nagaan hoe het uitbreidingsbeleid van de SEP in het recente verleden zich verhoudt tot de conclusies die in par. 4 zijn getrokken met betrekking tot de schaalvoor- en nadelen van produktie-eenheden. Ten tweede zal ook het uitbreidingsbeleid voor de naaste toekomst in dit licht worden beoordeeld.

In de tabel is de schaal van de in de periode 1975-1979 in gebruik gestelde produktie-eenheden aangegeven. Uit de tabel blijkt dat een belangrijk deel van de uitbreiding van produktie-vermogen tot stand is gekomen in de categorie van de grotere eenheden (> 450 MW): het betreft hier zes van de negen eenheden, totaal 3.554 van de 4.220 MW. Kennelijk is de SEP ervan uitgegaan dat grote produktie-eenheden kostenvoordelen bezitten ten opzichte van kleinere produktie-eenheden. In par. 4 is aannemelijk gemaakt dat dit uitgangspunt niet door de feiten gestaafd wordt. Sterker nog, de veronderstelling dat kleinere eenheden goedkoper kunnen

15) Indien men de levensduur van een machine niet op een tijdbasis definieert (bij voorbeeld 15 jaar) maar als een maximaal aantal bedrijfsuren, zijn benutting en levensduur niet langer onafhankelijke grootheden.

16) Wills, op.cit.; en Joskow en Mishkin, op.cit.

17) Abdulkarim en Lucas, op.cit., en W. H. Comtois, Economy of scale in power plants, *Power Engineering*, 1977, blz. 51-53.

18) Zie Wills, op.cit.; en Joskow en Mishkin, op.cit.

19) Zie Cowing, op.cit.

produceren dan grote eenheden lijkt eerder op te gaan. Bovendien dient men te bedenken dat men bij een minder snelle ontwikkeling van het vereiste produktievermogen, zoals die zich heeft voorgedaan na 1973, met kleinere produktie-eenheden beter in staat was geweest de omvang van vermogensoverschotten te beperken. De totale plan- en bouw tijd is nl. voor kleine eenheden iets geringer dan voor grote. Wat belangrijker is, men hoeft de investeringen bij kleine eenheden voor een kortere periode te plannen. Vooral als afzetverwachtingen aan grote onzekerheden onderhevig zijn, is dit een belangrijk winstpunt: het investeringsbeleid wordt dan flexibeler 20).

Tabel. Uitbreidingsbeleid van de SEP gedurende de periode 1975-1979 a)

Jaar	Vermogensklassen van stoomturbines		
	< 200 MW	200-450 MW	> 450 MW
1975	188 MW	323 MW	526 MW, 526 MW
1976	—	255 MW	—
1977	—	—	611 MW, 640 MW
1978	—	—	511 MW, 640 MW
1979	—	—	—
In aanbouw op 1-1-1980 b)	—	329 MW	596 MW, 642 MW

a) Uitsluitend stoomturbines; ander vermogen, STEG- en gasturbines, is relatief minder belangrijk, resp. \pm 400 MW gedurende de gehele periode 1975-1979.

b) Komt in bedrijf in 1980 tot en met 1983.

Bronnen: SEP-jaarverslagen 1975 tot en met 1979; de vermogens zijn aangepast aan die welke in SEP, *Elektriciteitsplan 1985/1986* zijn gepubliceerd.

Met enkele opmerkingen willen we het bovenstaande nuanceren. Ten eerste zijn de in 1975-1979 in bedrijf gekomen eenheden reeds gepland in de periode 1968-1973. In die

periode werd nog met een veel grotere groei van het vereiste produktievermogen rekening gehouden, terwijl de kostennadelen van grote produktie-eenheden, m.n. de relatief slechtere benutting, wellicht minder duidelijk konden worden onderkend. Ten tweede had men te maken met een nieuwe „generatie” van stoomturbines (500-650 MW) met alle onzekerheden en aanloopproblemen van dien.

Als we naar de toekomst kijken, zien we dat brandstofbesparing en brandstofdiversificatie sleutelwoorden zijn bij de planning van nieuw produktievermogen 21). Brandstofbesparing dient met name te worden gerealiseerd door middel van de installatie van stadsverwarming en warmte/krachtvermogen. Het gaat hier overigens om produktie-eenheden van een betrekkelijk geringe schaal. Hiermee zijn veel hogere thermische rendementen bereikbaar dan met de conventionele elektriciteitsopwekking met stoomturbines. Ten einde minder afhankelijk te worden van gas en olie bij de ondervuring van stoomturbines, worden drie kolengestookte produktie-eenheden gepland voor 1980/1981, 1986/1987 en 1987/1988. Hiermee wordt aan de doelstelling van brandstofdiversificatie inhoud gegeven. Twee van deze koleneenheden komen zelfs eerder in gebruik dan nodig is in verband met het totaal vereiste produktievermogen, aangezien de besparingen in brandstofkosten (door de relatief lage kolenprijs) worden geacht op te wegen tegen de kapitaallasten van het overschot aan vermogen. Wel is opvallend dat de keuze voor de schaalgrootte van de kolengestookte eenheden 500 tot 600 MW bedraagt; dit wordt slechts beargumenteerd met de aanduiding dat het hier om een „gangbare eenheidsgrootte” gaat. Onduidelijk is of men een bewuste afweging heeft gepleegd tussen b.v. drie 200-, twee 300- en één 600 MW-eenheden per produktielokatie. Hiertoe is ons inziens, gezien het voorgaande, alle aanleiding. En, voor de jaren 1986/1987 en 1987/1988 is dat ook nog mogelijk, omdat bedoelde eenheden slechts „voorwaardelijk” zijn gepland. Overigens dient te worden aangetekend dat onze bevindingen over de schaalnadelen van grote produktie-eenheden niet zijn gebaseerd op cijfermateriaal waarin ook koleneenheden van die omvang zijn opgenomen. Dit is echter nog geen reden om de genoemde afweging achterwege te laten.

Zoals uit het voorgaande zal zijn gebleken, achten wij de volgende drie factoren bepalend voor de keuze voor de schaal van een produktie-eenheid:

- de brandstofefficiëntie;
- de vaste kosten per eenheid capaciteit;
- de benutting.

Het spreekt voor zich dat bij feitelijk te nemen investeringsbeslissingen een groot aantal andere factoren tevens een rol speelt, b.v. de capaciteit van het transportnet, bepaalde kenmerken van het bestaande produktie-apparaat, energie- en industriepolitieke overwegingen e.d. Voorts zij aangetekend dat wij ons bij de evaluatie van verschillende schaalgrootten bedienen van formules met constante elasticiteiten. Bij het beoordelen van feitelijke investeringen moet natuurlijk worden uitgekeken naar meer verfijnde calculatiemethoden. Eén en ander neemt niet weg dat wij de mening zijn toegedaan dat de door ons gehanteerde methode zich zeer wel leent voor een globale beoordeling van schaalvoor- en nadelen bij elektriciteitsopwekking.

**G. J. van Helden
J. Muysken**

20) Van der Hoeven, op.cit.

21) SEP, *Elektriciteitsplan 1985/1986*, Arnhem, 1980.