

## Intelligentie in netten : modekreet of uitdaging?

**Citation for published version (APA):**

Kling, W. L. (2002). *Intelligentie in netten : modekreet of uitdaging?* Technische Universiteit Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/2002

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

**TU/e**

technische universiteit eindhoven

Intreerede  
7 juni 2002

prof.ir. W.L. Kling

# intelligentie in netten:

modekreet of uitdaging?

/ faculteit elektrotechniek

---

Intreerede

Uitgesproken op 7 juni 2002  
aan de Technische Universiteit Eindhoven

# intelligentie in netten:

modekreet of uitdaging?

prof.ir. W.L. Kling

# Inleiding



## **Mijnheer de Rector Magnificus, dames en heren,**

De elektriciteitswereld is in beweging, staat dagelijks in de krant op de economische pagina met goed nieuws. Ik geef u een korte opsomming van actuele ontwikkelingen:

De bedrijfsresultaten zijn positief; de omzet stijgt en de dividenduitkering is naventant. Alle bedrijven willen in private handen komen, want dat biedt extra mogelijkheden. De reclame-uitgaven bereiken recordhoogten. De service krijgt alle aandacht en dus mag het technisch niet fout gaan, want dat is bijzonder slecht voor het imago. Hoog gekwalificeerd personeel wordt met spoed gezocht. Er moet verjongd worden, er is behoefte aan creativiteit, nieuwe ideeën, dynamiek in denken en doen.

Ook de aanleverende industrie, vooral in de hoek van de ICT en de consultancy, beleeft hoogtijdagen. Alles moet onderzocht worden, veel moet anders en dat in hoog tempo. Het aantal ambtenaren dat zich met elektrische energie bezighoudt is de laatste jaren vertienvoudigd.

Zie hier de uitdaging voor de technische universiteiten. Er zijn ingenieurs nodig die moeten worden opgeleid. En er zijn voldoende thema's voor onderzoek, want alles moet kunnen en de techniek moet daarvoor oplossingen bieden. Die thema's zijn nieuw, ze hebben een multidisciplinair karakter en er is een groot maatschappelijk draagvlak voor. Kortom, welke universiteit zou de elektrische energietechniek niet als speerpunt willen hebben? Deze heeft de toekomst, aantrekkingskracht en krijgt meer en meer wetenschappelijke aandacht.

Ik vind het daarom een voorrecht om niet alleen op de TU Delft maar ook op deze universiteit actief te mogen zijn als deeltijdhoogleraar in het vakgebied van de Elektriciteitsvoorziening.

In deze intrede wil ik met u een aantal zaken doorlopen die naar mijn oordeel momenteel cruciaal zijn voor de ontwikkeling van het vakgebied. Zo wil ik u informeren over de onderzoeksvragen die aan de orde zijn en wat wij met deze vragen op de TU/e aankunnen. Ik word geacht mij specifiek bezig te houden met de toepassing van intelligentie in netten, zo staat in mijn aanstelling. Graag wil ik in deze rede de stelling onder-

bouwen dat intelligentie in netten meer is dan zomaar een modekreet en daadwerkelijk noodzakelijk is.



Verdeelstations in het elektriciteitsnet

figuur 1

Elektriciteitsnetten vormen een onmisbare schakel tussen de opwekkers en de verbruikers van elektrische energie. Elektriciteit moet namelijk getransporteerd worden. Een ander belangrijk gegeven is dat de momentane opwekking en het momentane verbruik altijd min of meer in evenwicht horen te zijn. Intelligentie moet ervoor zorgen, dat die balans gehandhaafd blijft en dat er geen instabiliteit ontstaat. Daarnaast moeten overbelastingen worden voorkomen, moeten de spanningen binnen de toegestane marges blijven en moeten kortsluitingen tijdig worden geëlimineerd.

Door ontwikkelingen in de elektriciteitsmarkt, met name bij de opwekking, zal in de nabije toekomst de functie van de netten veranderen. De aard en de plaats van de opwekking zullen wijzigen. Grootchalige opwekking zal zich concentreren op daarvoor geschikte locaties en decentrale opwekking zal toenemen; dat beïnvloedt de distributienetten. In figuur 2 is weergegeven hoe ABB dit toekomstbeeld ziet. Naast centrale grootchalige opwekking zullen er, verspreid in het systeem, ook diverse andere vormen van opwekking komen.

Als gevolg van de deregulering zullen de productie-eenheden in het systeem ook op een andere wijze bedreven worden, zodat hun bijdrage aan de handhaving van netspanning en frequentie vermindert of zelfs vervalst.



Toekomstbeeld ABB ('Distributed utility'-concept)

figuur 2

Er is nog een andere ontwikkeling. Door de nadruk op het duurzaam opwekken van elektriciteit verandert de aard van de primaire energiedrager van de aangesloten opwekkers. Deze primaire energiedrager kan nauwelijks gestuurd worden. Daardoor voldoen de klassieke regel- en stuurmechanismen in de toekomst wellicht niet meer. Dit is nog geen bewijs van mijn stelling dat intelligentie in netten dringend noodzakelijk is, maar deze rede is ook nog niet afgelopen. Ik schets nu voor 'leken' de structuur waarin de elektriciteitsbedrijven moeten opereren sinds de wetgeving in Nederland is aangepast, zoals trouwens ook in alle ons omringende landen. Vervolgens beschrijf ik de trends die ik waarneem bij de aanbodzijde van elektrische energie. Daarna zal ik ingaan op de concrete onderzoeksvoorstellen die recentelijk in onze groep gedefinieerd zijn op het gebied van intelligente netten.

Ten slotte zal ik enkele persoonlijke dankwoorden uitspreken, want zoals eerder gezegd: hier te mogen staan is voor mij een hele eer.

# Organisatie elektriciteitsvoorziening

## Hoe het was

De Elektriciteitswet van 1998 heeft gezorgd voor grote veranderingen in de elektriciteitssector. Tot dat moment was er sprake van een nutsvoorziening waarin de nadruk lag op samenwerking, centrale planning en een geoptimaliseerde bedrijfsvoering voor het totale systeem. Feitelijk had de Elektriciteitswet van 1989 dat tot in de puntjes willen regelen. Voor 1989 bestond er in Nederland geen wetgeving. Samenwerking tussen regionale bedrijven, die overigens het beste voor hadden met hun eigen regionale klanten, gebeurde min of meer op basis van vrijwilligheid.

In de jaren '80 dacht men dat de elektriciteitssector maar eens goed geregeld moest worden. Men scheidde de productie van elektriciteit van de leveringsactiviteiten van de bedrijven. Dit naar het voorbeeld van Engeland, waar de regionale bedrijven zich niet bemoeiden met de productie en waar het nationale productiebedrijf een 'pool' van productiemiddelen bedreef.

In Nederland fungeerde Sep als 'pool' ofwel als intermediair tussen de vraag van de regionale bedrijven en de opwekking van de producenten. Import en export van elektriciteit verliepen ook via Sep.

De leveringszekerheid voor de klanten werd volledig door de techniek bepaald. Aan de vraag van de afnemers moest sowieso worden voldaan. Daarop werd gestuurd. Allereerst met voldoende opgesteld productievermogen in relatie tot de maximaal te verwachten vraag. De berekening van de reservefactor heeft de gemoederen jaren beziggehouden. Ten tweede met een intelligent systeem van op en afregelen van productievermogen, afhankelijk van de veranderingen in de vraag en toegerust om storingen op te vangen.

En dan ten derde met voldoende redundantie in de netten, voor het transport van de elektriciteit vanaf de locaties waar deze wordt opgewekt naar de plaatsen waar ze wordt verbruikt.

Omdat voor de punten 1 en 2, dat wil zeggen voor de reservestelling en de regelacties, ook een beroep op het buitenland kan worden gedaan, laat de statistiek zien dat de leveringszekerheid voor de afnemers tot dusverre grotendeels bepaald wordt door het functioneren van de netten.

Gemiddelde waarden periode 1996-2000	Ten gevolge van storing in :			
	LS-net	MS-net	HS-net	totaal
Onderbrekingsverwachting (aantal/jaar)	0,016	0,211	0,146	<b>0,373</b>
Gemiddelde onderbrekingsduur (minuten)	184	80	47	<b>71</b>
Jaarlijkse uitvalduur (minuten/jaar)	2,9	16,9	6,8	<b>27</b>

Kengetallen voor de  
leveringszekerheid

tabel 1

## Hoe het wordt

In de nieuwe situatie is het nutsdenken vervangen door handelsdenken. Afnemers van elektriciteit zijn vrij, of worden dit binnenkort, in de keuze van de leverancier van elektriciteit. Ook de productie, de opwekking van elektriciteit, is vrij. Momenteel is er sprake van concurrentie. Er kan gehandeld worden in elektriciteit via elektriciteitsbeurzen, maar ook onderhands of bilateraal met contracten.

Essentieel is dat er op het moment van uitvoering op het net een evenwicht is tussen vraag en aanbod. TenneT heeft als taak om de balans in Nederland te handhaven. Dat kan door de opwekkers te verzoeken op of af te regelen of om reservevermogen in te zetten. Een andere mogelijkheid is de afnemers te vragen de belasting te verminderen. Dit lijkt verdacht veel op hoe het vroeger gebeurde, maar we moeten voor ogen houden dat de drijfveer om hier aan mee te doen een heel andere is. Ook dit is een markt geworden. Het probleem ligt nu bij de systeemoperator TenneT, en niet zoals vroeger bij de producenten die de vraag moesten volgen.

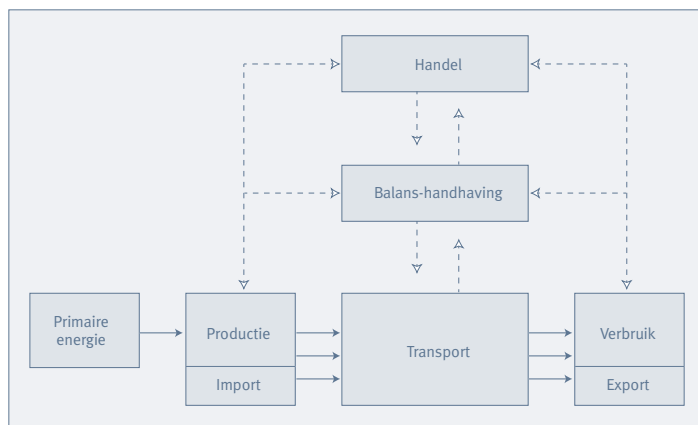
Het probleem is door de marktwerking ook veel complexer geworden, waardoor andere oplossingen gevonden moeten worden dan vroeger gebruikelijk was. Informatieverwerking en -bewerking zijn essentieel geworden en bieden ook nieuwe opties.

De nieuwe situatie is getekend in figuur 3. De fysieke stromen gaan vanuit de opwekking via de transportnetten naar de verbruikers. De import en export worden daarin verdisconteerd. Dit is niet anders dan

vroeger. Maar de aansturing is wezenlijk veranderd. Opwekkers en verbruikers worden gezien als aangeslotenen op een uitgebreid net. Zolang zij aan de spelregels van het systeem voldoen, zijn ze in principe ontheven van enige verantwoordelijkheid om het systeem te laten werken.

figuur 3

Organisatie van de elektriciteitsvoorziening



De systeemoperator handhaaft de balans en stabiliteit. Intelligentie in het systeem helpt hem daarbij. Allereerst, zoals genoemd, de informatietechnologie en op basis daarvan de analyse- en voorspellingsmogelijkheden en ten derde de stuur- en regelactiviteiten. Maar de systeemoperator blijft toch in belangrijke mate afhankelijk van het gedrag van de aangeslotenen. Marktfalen zoals bijvoorbeeld structureel te weinig beschikbaar productievermogen ten opzichte van de vraag heeft onontkoombaar repercussies voor de afnemers. Californië heeft wat dit betreft de ogen geopend. Natuurlijk kan men met regelgeving proberen verplichtingen op te leggen aan de marktpartijen, maar als dat er vele zijn en als deze zeer divers van aard zijn zal de effectiviteit van de maatregelen niet hoog zijn. En dan opper ik nog niet eens de vragen wie er zou moeten controleren en wat de norm zou moeten zijn die daarbij gehanteerd wordt.

Zoals de elektriciteitsvoorziening nu georganiseerd is zal de markt via het prijsmechanisme zijn werk moeten doen. Dat kan ook betekenen



dat er betaald wordt voor het aanhouden van reservevermogen of dat afnemers een vergoeding ontvangen voor de bereidheid om op afroep afgeschakeld te worden. Dit alles in internationaal perspectief, want de voordelen van het grote gekoppelde net mogen niet verloren gaan. Alleen op die manier kan de leveringszekerheid op het huidige hoge niveau blijven.



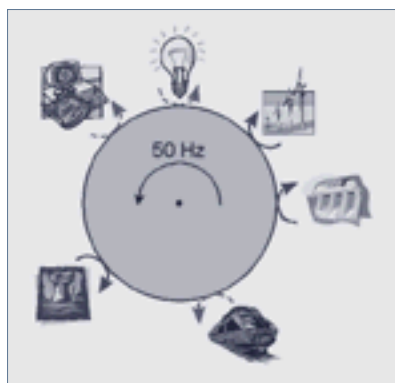
## Vergelijking met internet

Helaas kan het elektriciteitsnet nog steeds niet werken zonder centrale bewaking en besturing. De fijne afstemming in de vermogensbalans moet continu gebeuren. Dit is niet vanzelfsprekend, omdat het moeilijk is om precies te voorspellen wat de afnemers vragen en wat de opwekkers doen.

Het systeem werkt echter als een soort vliegwiel met een zeer kleine opslagcapaciteit. De gelijkennis met het internet gaat hier mank. Men kan niet onbeperkt energie in het net pompen of eruit halen. Daarvoor mist het elektriciteitsnet nog de noodzakelijke intelligentie; het is bij lange na niet adaptief genoeg. Het kan geen pakketjes elektrische energie opslaan en die op geschikte momenten doorsturen zoals het internet doet.

figuur 4

Evenwicht in een elektriciteitsvoorzieningsstelsel; analogie met een vliegwiel



Het evenwicht in een elektriciteitsnet is labiel en afhankelijk van de regelmogelijkheden van de aangeslotenen. Dit probleem is groter als er op grote schaal onzekere en niet-stuurbare bronnen zoals zonnecentrales of windturbines gebruikt worden voor de elektriciteitsopwekking. De netfrequentie is de maat die aangeeft of opwekking en belasting op een gegeven moment daadwerkelijk in evenwicht zijn. Verstoringen van

dit evenwicht kunnen alleen worden opgevangen door de roterende massa van generatoren in elektriciteitscentrales. Als er te veel energie wordt toegevoerd, gaat het toerental van de machines omhoog. Bij te weinig energie wordt rotatie-energie aan de machines onttrokken, waardoor deze langzamer gaan draaien. Dit is te vergelijken met een vliegwiel dat op toeren moet blijven, zoals weergegeven in figuur 4. Regelingen merken veranderingen in het toerental op en grijpen in om de vermogensbalans te herstellen en de frequentie terug te brengen naar de nominale waarde.

Zonder opslag in het systeem of gerichte adaptieve sturingen op de interfaces met de aangeslotenen lijkt een elektriciteitsnet dus in de verste verte niet op het internet. Toch is het voor onderzoekers en ontwerpers van belang en zelfs een uitdaging om het denken achter internet goed voor ogen te houden. De organisatie van de elektriciteitsvoorziening heeft tenslotte al wel allerlei trekjes van internet. De techniek mag daarbij niet achterblijven.



# Grootschalige opwekking

## Conventionele opwekking

De geschetste problematiek wordt niet alleen beïnvloed door de organisatiestructuur van de elektriciteitsvoorziening. Er zijn ook andere interessante ontwikkelingen. Ik bespreek nu de trends in de opwekking en begin met de grootschalige opwekking in grote centrales.

Feitelijk is de voorziening nu nog grotendeels op dergelijke centrales gebaseerd. Nederland telt vijf locaties met een productievermogen van meer dan 1000 MW. De grootste locatie is Eemshaven; deze heeft een vermogen van 2300 MW. De belangrijkste brandstofsoorten voor de Nederlandse centrales zijn gas en kolen. Een moderne kolenlocatie is bijvoorbeeld Maasvlakte (zie figuur 5).

figuur 5

Locatie voor groot-  
schalige opwekking  
(Maasvlakte)



De verandering in de aard en plaats van de grootschalige opwekking is merkbaar doordat opwekking zich meer en meer concentreert op bepaalde, meestal excentrisch gelegen vestigingsplaatsen. Die trend was er al en zal alleen maar doorzetten, ook doordat bepaalde brand-

stoffen en aandrijftechnieken slechts op een beperkt aantal locaties zijn toegestaan.

Met het vervagen van de landsgrenzen kan die concentratie zelfs leiden tot grote gebieden zonder enige vorm van conventionele grootschalige opwekking en dus tot transporten over grote afstand. Dit heeft consequenties voor de spanningshuishouding en de stabiliteit in het systeem. Blindvermogen transporteren over grotere afstand leidt tot grote spanningsverschillen en dat is ontoelaatbaar. In het net zelf zullen daarom middelen aanwezig moeten zijn om de spanning te ondersteunen. Dat wordt dan een functionaliteit van het net, terwijl dat vroeger een service was van de grootschalige productie. Probleem is dat deze service wel eens niet meer aanwezig kan zijn op de plaatsen waar ze gewenst is. Hetzelfde geldt voor de handhaving van de stabiliteit. Die is het meest gewaarborgd bij een goede spreiding van de grote productiemiddelen over het systeem en korte afstanden tussen de centrales.

We kijken even verder: naar het huidige gekoppelde systeem in Europa. Dat strekt zich uit van Portugal in het zuidwesten tot en met Polen in het noordoosten. Dat is een afstand van 3000 km. De totale omvang van het aangesloten productievermogen is 450 000 MW. Als er in zo'n systeem slingeringen ontstaan, dan is het niet zo eenvoudig om die te dempen. Bekend zijn de zogenaamde interregio oscillaties, die in alle grote systemen worden waargenomen. De frequentie van het verschijnsel is laag (0,2 – 0,8 Hz). Soms zijn ze slecht gedempt, waar-door er een risico is op instabiliteit. In 1996 heeft dit verschijnsel in de Verenigde Staten daadwerkelijk tot een black-out geleid. Als namelijk de transporten over de verbindingen bij een opslingering in het bereik van de beveiligingen komen, dan worden die uitgeschakeld. Dat heeft gevolgen voor andere verbindingen die de transporten dan te verwerken krijgen. Meestal gaat dat niet goed.

Op dit moment is er in Europa een Wide Area Measuring System (WAMS) geïnstalleerd waarmee op 30 verschillende plaatsen frequentie en vermogenstroom geregistreerd worden. Daaruit blijkt dat bijvoorbeeld bij een verstoring in Spanje of Portugal de frequentieafwijking die daarvan het gevolg is pas na 1,5 sec wordt geregistreerd in Polen en Hongarije. De regelende productie-eenheden aldaar reageren dus te laat en zorgen voor een reactie die averechts kan werken voor het systeem.

De frequentie gaat dan oscilleren evenals de vermogensuitwisseling. Die trillingen worden in het huidige West-Europese gekoppelde systeem meestal snel weggedempt. Maar daarbij spelen de voortransporten een belangrijke rol en die nemen voortdurend toe.

figuur 6

Wide Area Measuring System (WAMS) toegepast in het UCTE-net



Dit is voer voor universiteiten. Zij kunnen met gericht onderzoek regelfilosofieën ontwikkelen, maatregelen bestuderen en de systeemoperators adviseren over het ontwerp. Feitelijk moet men steeds op zoek naar regelconcepten die de zaak lokaal stabiel houden, adaptief zijn en weinig reageren op fenomenen die zich veraf voordoen. Pas dan krijgt het transportnet kenmerken van het internet.

### Grootschalige windenergie

De introductie van grootschalige, duurzame bronnen is wellicht een nog interessanter en zeker actueler onderwerp. In West- en Noord-Europa zijn grote windparken gepland. Er wordt gestudeerd op grote zonnecentrales in Zuid-Europa en Noord-Afrika. En de Nederlandse overheid verwacht veel van de plaatsing van windturbines op zee, te meer omdat het daar harder, vaker en constanter waait dan op land. De planning is om in 2020 6000 MW offshore windenergie in bedrijf te hebben.

Onlangs is toestemming gegeven om acht kilometer uit de kust bij Egmond aan Zee een eerste park van 100 MW te bouwen. Iets verder uit de kust komt ook een park van vergelijkbare omvang en vlak voor de Zeeuwse kust hebben de Belgen het voornemen een park te bouwen. Dit kan er dan uitzien zoals in figuur 7, een foto van het windpark Utgrunden, 12 kilometer uit de kust van Zweden. Dit relatief kleine park is eind 2000 in bedrijf genomen en bestaat uit zeven windturbines met een vermogen van 1,5 MW per turbine. Dit park is met een wisselspanningskabel op 20 kV aangesloten op het Zweedse net.

Afhankelijk van de omvang van de toekomstige parken en de afstand tot de aansluitpunten op het net zal een keuze gemaakt moeten worden voor de manier waarop de parken worden aangesloten. Bij grote afstanden is een gelijkstroomverbinding noodzakelijk, omdat de blindstroom in de kabels dan niet meer te compenseren is.

figuur 7

Windpark op zee (Utgrunden Zweden)





## Decentrale opwekking

De introductie van grootschalige windenergie in het elektriciteitsvoorzieningssysteem compliceert de handhaving van de energievermogensbalans. De primaire bron voor de windturbines is namelijk niet stuurbaar; wind kan alleen maar afgeremd worden en niet andersom. Daarnaast is het geleverde vermogen uiterst onzeker. De resterende conventionele opwekking zal dus de variaties en onzekerheden in de belasting van de afnemers moeten compenseren, maar ook de fluctuaties en onzekerheden in het door de windturbines opgewekte vermogen.

Ook dynamisch gezien kunnen er grote veranderingen optreden in de output van windcentrales. Gemeten zijn vermogensveranderingen van 40% in 15 minuten tijd. Dat zou bij 6000 MW op de Noordzee een verandering betekenen van 2500 MW in het Nederlandse systeem. Daarnaast zullen er dan zeker ook veranderingen optreden in de invoeding van de ons omringende landen. Waarschijnlijk zijn deze veranderingen in het grote gekoppelde systeem technisch nog wel op te lossen. De vraag is echter hoe dit valt te organiseren in een volledig geliberaliseerde elektriciteitswereld.

Zonder intelligente regelacties en vooral zonder regelfilosofieën die aansluiten bij de markt kunnen duurzame bronnen nooit een hoge penetratiegraad krijgen. Ze zijn dan te afhankelijk van het conventionele productiepark binnen de eigen regelzone. Hier komen de nadelen van dergelijke bronnen te sterk naar voren.

Dit zijn voor universiteiten wederom interessante thema's. Het gaat hier om technische, economische en organisatorische kwesties die in onderlinge samenhang moeten worden beschouwd.

De definitie van decentrale opwekking is niet altijd even duidelijk. Eenvoudigweg kan gesteld worden dat decentrale opwekking een zodanige omvang heeft dat ze aangesloten kan worden op het distributienet en dat ze over het algemeen niet centraal wordt aangestuurd. Voorbeelden zijn gasmotoren, diesels, kleine gasturbines, microturbines, zonnecentrales, kleinschalige waterkracht, brandstofcellen en windturbines.

Op dit moment is nog weinig opwekking in de distributienetten aanwezig. Via het transportnet wordt het grootste deel van het gevraagde watt-vermogen en blindvermogen aangevoerd. Door de komst van meer decentrale bronnen zal het distributienet zich anders gaan gedragen. Dit betekent bijvoorbeeld dat de transportflow's en de spanningsprofielen in het net sterk kunnen wisselen, afhankelijk van de opwekking en het verbruik op een bepaald moment. Echter, zeker in de midden- en laagspanningsnetten moeten de variaties in de spanning binnen nauwe marges blijven om geen hinder te veroorzaken bij de andere aangeslotenen. Er zal dus geregeld moeten worden. Deze situatie is geheel anders in de bestaande distributienetten, die zich passief gedragen. De transportrichting is eenduidig en de hoeveelheid te transporteren vermogen is redelijk voorspelbaar. Sturing is niet nodig of kan met simpele acties worden uitgevoerd. Dat verandert dus bij decentrale opwekking.

Bijzondere aandacht vergt het feit dat generatoren aangesloten op de distributienetten veelal automatisch afschakelen bij kortsluitingen in het net en vervolgens na korte tijd weer terugkomen. Daardoor kunnen bij hoge penetratie van dergelijke bronnen problemen ontstaan in het net waarop aangesloten is. De gevolgen kunnen zelfs merkbaar zijn op systeemniveau. Een promotieonderzoek in onze groep concentreert zich op dit moment op deze effecten van decentrale opwekking in de distributienetten.

### Zonne-energie

Zonne-energiecentrales (zogenaamde PV-systemen) verlaten technisch gezien momenteel het demonstratiestadium. Voor elektriciteitsvoor-

zieningssystemen zijn autonome PV-toepassingen niet interessant. De netgekoppelde systemen zijn dat wel. Dat wil zeggen dat de PV-systemen kunnen terugleveren aan het net. Tussen het PV-systeem en het net wordt daarvoor een inverter, een omvormer van DC naar AC, geïnstalleerd.

In Nederland is het eerste zonne-energieproject van enige omvang gerealiseerd in 1991, later gevolgd door andere demonstratieprojecten. In totaal is daardoor op dit moment zo'n 8 MW aan vermogen aanwezig. Dat zou volgens de plannen van de overheid in 2020 1500 MW moeten worden. Door collega Van Zolingen is onlangs in zijn intreedende aangegeven dat zonne-energie bij lange na nog niet concurrerend is met conventionele opwekking. Het feit dat zonne-energie groen is geeft haar een hogere waarde. Zonder subsidies komt ze in de huidige situatie echter moeilijk van de grond.

figuur 8

Zonnedak op de  
Floriade (foto NUON)



Een eye-catcher is op dit moment het zonnedak op de Floriade. Het zonnedak heeft een vermogen van 2,3 MW en bestaat uit 20.000 panelen. Deze zonne-energiecentrale is aangesloten op het MS-net. De inpassing in het elektriciteitsnet van één zo'n centrale levert geen problemen op. Bovendien: er zullen in Nederland niet veel plaatsen te vinden zijn voor een dergelijk grootschalige toepassing van zonne-energie.

De toepassing in bouwprojecten biedt meer perspectieven. Daarom is het logisch te veronderstellen, dat dergelijke installaties worden aangesloten op het LS-net. Tot nu toe is er nauwelijks onderzoek gedaan naar de consequenties voor het LS-net als daar grote hoeveelheden zonnepanelen op worden aangesloten.

figuur 9

Project met zonne-  
panelen in Langedijk



Samen met NUON is binnen onze groep studie verricht naar het gedrag van PV-systemen in de LS-netten, dit in het kader van een afstudeerproject. De wijk Mayersloot-West in de Noord-Hollandse gemeente Langedijk is daarbij als voorbeeld genomen (zie figuur 9).

Elektrotechnisch gezien zijn de beïnvloeding van het spanningsniveau en de netvervuiling door de inverters de belangrijkste onderzoeksthema's. Invoeding van PV-vermogen leidt tot verandering van het spanningsniveau; er treedt een spanningsverhoging op ten opzichte van de situatie zonder PV. Omdat met beide situaties rekening gehouden moet worden, de zon schijnt ook wel eens niet, is de keuze van de regelstrategie belangrijk. Als er niet geregeld wordt, zoals nu nog vaak het geval is, moet de uitgangssituatie goed gedefinieerd worden om binnen de toelaatbare grenzen te blijven. Bij een hoge penetratie PV-vermogen moet een meer intelligente oplossing gekozen worden.

### Windenergie

In Nederland zijn op dit moment zo'n 1300 windturbines aanwezig met in totaal iets minder dan 500 MW aan opgesteld vermogen. De kleinste



turbines hebben een vermogen van enkele kW's; de grootste heeft een vermogen van 2,5 MW en de trend wijst op 3 MW en in de iets verdere toekomst zelfs op 5 MW per turbine.

Individuele turbines worden meestal aangesloten op het laagspanningsnet; parken met meerdere turbines op het middenspanningsnet. Echt grote parken zoals hiervoor besproken voor offshore-toepassingen zijn op land niet zo waarschijnlijk; daarvoor is onvoldoende ruimte te vinden. Figuur 10 bevat een plaatje van een moderne, kleine windturbine. Dit is de Turby van het bedrijf Core, die ook op de Floriade te zien is. De werking is gebaseerd op het Darrieus-principe dat onafhankelijk is van de windrichting. Daarmee is deze windturbine bij uitstek geschikt voor plaatsing op gebouwen. De koppeling met het net gaat via een inverter. De elektrotechnische effecten zijn daardoor te vergelijken met de genoemde kleine zonnecentrales.

figuur 10

Kleine windturbine  
(Turby)



Voor grotere windturbines worden vrijwel altijd twee of drie wieken gebruikt en een krui-mechanisme om de wieken op de wind te richten. Er worden in principe drie verschillende concepten toegepast voor de omzetting naar elektriciteit.

Het eerste principe is gebaseerd op een asynchrone generator. De slip en daarmee het toerental van de asynchrone generator varieert met het

opgewekte vermogen. Deze variaties in de slip zijn echter klein, zodat dit concept in het algemeen wordt aangeduid als een 'constant toerental'-turbine. Deze vraagt altijd blindvermogen. In de praktijk zal men dit meestal compenseren met de installatie van condensatoren.

Het tweede werkingsprincipe is gebaseerd op een inductiegenerator. De statorwinding is aan het net gekoppeld; de rotorwinding is verbonden met een spanningsbronmzetter waarvan de andere zijde aan het net gekoppeld is. Door de DC-tussenstap kan de rotorwinding worden gevoed met stroom met een stuurbare frequentie. Zo ontstaat een 'variabel toerental'-turbine.

Het derde gangbare turbineconcept is gebaseerd op een synchrone generator die aan het net gekoppeld is door een vermogenselektronische omzetter, zodat het toerental van de generator volledig ontkoppeld is van de netfrequentie. Ook hierbij is dus een 'variabel toerental'-bedrijf mogelijk.

De variabeltoerental-concepten bieden in theorie de mogelijkheid om het blindvermogen dat opgenomen of afgegeven wordt te sturen. Dit moet dan wel in het ontwerp van de vermogenselektronische interface worden meegenomen. Het net kan daar vervolgens dankbaar gebruik van maken en de spanningshuishouding optimaliseren.

### Andere kleinschalige centrales

Om allerlei redenen zijn er altijd al kleine opwekkers aanwezig geweest in de netten, vaak als onderdeel van industriële installaties of om dienst te doen als gecombineerde warmtekrachtinstallatie. Hun aantal is tot dusverre redelijk overzichtelijk geweest.

Bij iedere installatie wordt bekeken hoe de eenheid het best kan worden aangesloten. Desnoods worden speciale maatregelen genomen om de inpassing in het net te verbeteren.

Eenheden met een elektrisch vermogen van meer dan 5 MW zijn meestal gebaseerd op de technologie van gasturbines. Een synchrone generator wordt toegepast voor de netaansluiting. Kleinere eenheden zijn vaak gasmotoren en kunnen voorzien zijn van synchrone of asynchrone generatoren.

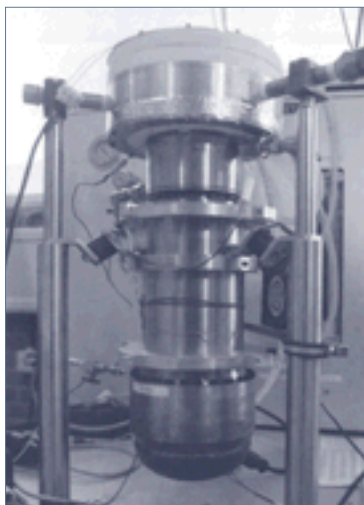
Recentelijk zijn zogenaamde microgasturbines op de markt gekomen met vermogens van rond 100 kW elektrisch, die rechtstreeks op het laagspanningsnet kunnen worden aangesloten. Vaak wordt hierbij een vermogenselektronische interface toegepast; het elektrotechnische gedrag is dan zoals ik eerder heb aangegeven.

Om de mogelijkheden van warmtekracht optimaal te benutten is er een sterke behoefte aan nog kleinere eenheden. De ondergrens voor de microgasturbines ligt op dit moment op 30 kW, terwijl gasmotoren tot 5 kW worden toegepast. Deze eenheden zijn geschikt voor huizenblokken, zwembaden, kleinere bedrijven en tuinders. Voor gewone woningen zouden nog kleinere installaties wenselijk zijn. Gasmotoren kunnen daarvoor geschikt gemaakt worden, maar hebben wat praktische nadelen, vergelijkbaar met die van een automotor. Alternatieven zijn de brandstofcellen en stirlingmotoren.

Figuur 11 geeft een plaatje van een stirlingmotor met een elektrisch vermogen van 500 kW en 4 kW thermisch vermogen. Prototypes hiervan worden momenteel op diverse plaatsen geïnstalleerd. Bepaalde uitvoeringen zijn ook al commercieel verkrijgbaar.

figuur 11

Micro WKK  
met stirlingmotor



De omvang van de installatie wordt altijd gedimensioneerd op de warmtebehoefte. De elektriciteitsbehoefte wordt dan deels geleverd door de WKK-installatie en voor de rest betrokken uit het openbare net. Als dit soort systemen echt op grote schaal zou worden toegepast, ontstaat er in het distributienet een sterk wisselend belastingspatroon, afhankelijk van het al dan niet draaien van de WKK-installaties. Aansturing van de installaties kan vanuit het net gezien dus gewenst of noodzakelijk zijn.

### Autonome systemen

Door de toename van decentrale opwekking is het denkbaar, dat opwekking en afname op lokaal niveau ongeveer in evenwicht komen. Op zo'n moment is er geen of weinig uitwisseling met andere netten. Gezien vanaf de hoger gelegen spanningsniveaus betekent dit een reductie van het afgenomen vermogen. Dit kan zelfs, bij een hoge penetratie van decentrale opwekking in bepaalde netdelen, leiden tot een geïnjecteerd vermogen vanuit het distributienet in het transportnet. Indien er gemiddeld geen netto-uitwisseling plaatsvindt, zou gedacht kunnen worden aan het volledig autonoom laten functioneren van het net. Daarvoor is in ieder geval een opslagsysteem nodig met voldoende capaciteit en vermogen. Omdat dit moeilijk te garanderen is en doorgaans ook niet economisch is, is een bepaalde vorm van netkoppeling altijd wenselijk.

Met het opslagsysteem kan het gebruik van de netkoppeling geoptimaliseerd worden, zodat het quasi-autonome net zich vrij autonoom kan gaan gedragen. Daarvoor is echter wel lokale sturing en intelligentie nodig. Aan de hand van metingen kan men zich een beeld vormen van de toestand van het net en, rekening houdend met de technische en economische randvoorwaarden, een eigen 'beleid' voeren ten aanzien van de bijdrage van ieder van de 'deelnemers' in het proces. In feite is het dan een optimalisatieproces: van de inzet van de opslagsystemen, van de uitwisselingen over de koppelingen en van hetgeen de opwekkers en afnemers wensen in het betreffende net.

Als men het lokale net autonoom zou willen bedrijven, is een opslagsysteem dus onontbeerlijk. Er bestaan verschillende opslagsystemen. Ze onderscheiden zich met name naar de energiec capaciteit, het vermogen en de combinatie van deze beide eigenschappen. Accubatterijen zijn het meest bekend en toegepast. Ze kunnen langdurig vermogen leveren.



Vliegwielen zijn in staat een hoger vermogen te leveren, maar voor kortere tijd. Dit geldt nog sterker voor supercondensatoren. Dit betekent, dat voor de balanshandhaving accubatterijen de voorkeur hebben. Als nieuwe opties bestaan er demonstratieprojecten voor supergeleidende spoelen en zogenaamde flowbatterijen.

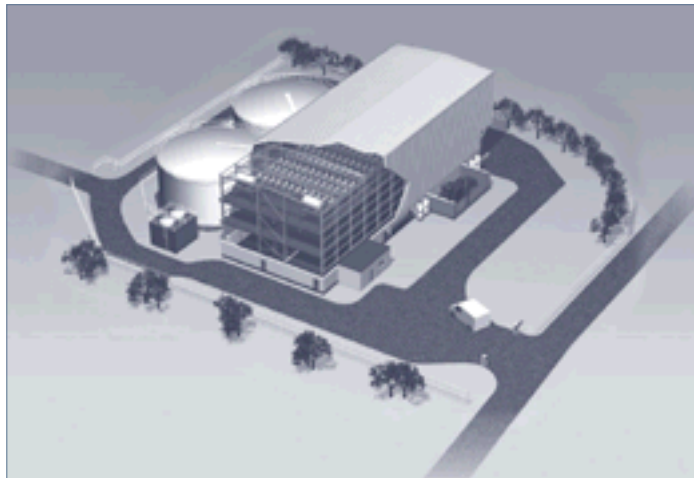
In figuur 12 is een illustratie gegeven van een flowbatterij (Regenesys-opslagsysteem) met een omvang van 120 MWh en die kan ontladen met een vermogen van 15 MW. De energie in een flowbatterij wordt opgeslagen in een zoutoplossing. Zo'n systeem kan zeer modulair worden opgebouwd; het mogelijke werkgebied is dus groot. De ontwerpers van dit systeem zeggen, dat vermogens tussen 5 en 500 MW mogelijk zijn met onlaadtijden van enkele seconden tot meer dan 12 uur. Het rendement is 85%.

Een eerste project is onlangs opgeleverd in Engeland en ondersteunt daar de productie van een gasturbine. Verder gaat TVA in de Verenigde Staten een dergelijk systeem installeren in een distributienet.

Het Regenesys-opslagsysteem wordt met een vermogenselektronische interface aangesloten op het net en kan daarom naast actief vermogen ook snel reactief vermogen leveren of opnemen. Zo ondersteunt het de spanning in het net, zowel langzame veranderingen in de spanning als snelle variaties kunnen ermee worden opgevangen.

figuur 12

Regenesys-  
opslagsysteem



Een jaar geleden is de Stuurgroep IOP akkoord gegaan met een innovatiegericht onderzoeksprogramma op het gebied van de elektromagnetische vermogenstechniek (EMVT). Uit een voorstudie was gebleken, dat zo'n IOP wenselijk en haalbaar was en dat de toepassing van intelligentie in netten één van de hoofdthema's zou moeten zijn. Een ideale kans dus om aan onze universiteit het onderzoek in die richting nieuwe impulsen te geven.

Er lopen op dit moment tien IOP-programma's. Deze worden gesubsidieerd door het ministerie van Economische Zaken. Het bedrijfsleven is sterk betrokken bij het definiëren van het programma en straks ook bij de uitvoering. Daarmee wil EZ stimuleren, dat onderzoek aan universiteiten wordt afgestemd op de langetermijn-behoefte van het bedrijfsleven. Tevens is het de bedoeling de kennisinfrastructuur blijvend te versterken en de samenwerking tussen de instellingen die op dit gebied actief zijn verder te bevorderen.

In het geval van het IOP EMVT zijn op het gebied van de elektriciteitsnetten twee universiteiten actief: de TU Delft en de TU Eindhoven. In nauwe samenwerking zijn projectvoorstellen ingediend. Uiteindelijk is onlangs het projectplan voor de komende vier jaar goedgekeurd. Iedereen tevreden dus. De technische thema's die ik hiervoor heb aangevoerd komen alle in het voorgestelde onderzoek voor. Het gaat om de stabiliteit in grote gekoppelde transportnetten, om het ontwerpen van beheersbare distributienetten en het vinden van regelingen voor min of meer autonoom functionerende systemen. Acht AIO's kunnen hiervoor worden ingezet, op beide universiteiten vier en verdeeld over een drietal deelprojecten. Samenwerking met de Capaciteitsgroep Meet- en Besturingssystemen van collega prof. Van den Bosch is al in het projectplan voorzien. Samenwerking met andere disciplines ligt in de rede.

Misschien is het voorgestelde onderzoeksprogramma te ambitieus, maar als universiteit moet je de lat nou eenmaal hoog leggen. Ook hoeft niet

## Het huiscomfortnet



alles in vier jaar te worden opgelost. Wel wordt van de universiteiten verwacht, dat er kennis gegenereerd wordt en overgedragen wordt aan ingenieurs. Het gaat er dus om, dat jonge mensen op een hoog abstractieniveau bezig zijn met thema's die relevant zijn voor de praktijk van nu en in de toekomst. Intelligentie in elektriciteitsnetten is geen modekreet met standaardoplossingen maar een werkelijke uitdaging. De problematiek is uiterst complex.

Bij het definiëren van het genoemde IOP kwam niet alleen intelligentie in netten als thema naar voren, maar ook de moderne huisinstallatie: in feite het net achter het openbare net. Daar is in het verleden nauwelijks onderzoek naar gedaan, maar blijkbaar is er wel behoefte aan. En als je er dieper in duikt, blijkt dit ook een bijzonder interessant thema te zijn met veel typisch elektrotechnische aspecten.

Bij distributienetten in huizen en gebouwen gaat het erom de elektrische energie in de gewenste hoeveelheid, met de gewenste vorm en kwaliteit, op de voor de gebruiker gewenste plaats ter beschikking te stellen. Een belangrijke beperkende factor van een elektriciteitsnet in een huis is het aantal plaatsen waar het net toegankelijk is. Het zou ideaal zijn als op elke willekeurige plaats in een ruimte energie uit de wand, het plafond of de vloer kon worden gehaald. Datzelfde geldt overigens ook voor informatie, maar daar zijn mobiele oplossingen voor.

Het aantal apparaten in huis dat een DC-voeding van lage spanning nodig heeft, neemt stormachtig toe. Dit leidt tot de logische gedachte om een DC-net (met 12V bijvoorbeeld) in huizen te installeren. Dan ontstaat echter het probleem dat het transport van enig vermogen bij lage spanningen vraagt om hoge stromen en dus dikke geleiders. Dit gegeven leidt vervolgens tot de gedachte om de klassieke ééndimensionale geleiders te vervangen door tweedimensionale plaatvormige geleiders. Deze gedachte kan worden uitgebreid naar 230V wisselstroomsystemen. Juist vanwege de eigenschappen van wisselstroom kan een energieplaat met een magnetische koppeling worden ontworpen. En dat levert weer interessante nieuwe gebruiksmogelijkheden op.

Feit blijft dat dit alles moet worden aangebracht in een huis of een gebouw dat ontworpen wordt met een geplande lange levensduur, waarin niet alleen een elektrische infrastructuur moet worden aangelegd maar ook diverse andere systemen. Dat stelt randvoorwaarden aan het ontwerp van de elektrische installatie en vormt tevens een grote uitdaging voor het concept. Dat concept zal intelligent, flexibel, makkelijk wijzigbaar en adaptief moeten zijn.



## Dankwoord



Voorbeeld wirwar van snoeren in huizen

figuur 13

Onlangs is door het bedrijf Hager het KISS-concept geïntroduceerd voor de bekabeling in huizen. De afkorting KISS staat voor 'koppelbare installatiestersystemen. In principe biedt het systeem in alle ruimten elektriciteit, telefoon, CAI en andere communicatiemogelijkheden. De draden zijn alle verwerkt in de plinten en op willekeurige plaatsen kan een aansluiting worden gemaakt.

Om onderzoek op dit gebied te starten is samenwerking gezocht met de capaciteitsgroep Fysische Aspecten Gebouwde Omgeving van de faculteit Bouwkunde. Inmiddels is er een concreet voorstel uitgewerkt en een subsidie-aanvraag gedaan.

Hiermee kan een unieke samenwerking totstandkomen tussen vakgebieden die elkaar wel nodig hebben als het gaat om installatie-technieken en de toepassing ervan, maar die elkaar nauwelijks kennen. Ik verwacht dat hieruit zeer interessante, technische innovaties kunnen voortkomen. Daarom ook heeft de industrie grote belangstelling. U heeft ook collega prof. Zeiler hier onlangs over horen spreken.

Tot slot wil ik gaarne nog enige dankwoorden uitspreken.

Ik dank het bestuur van de faculteit Elektrotechniek en het College van Bestuur van de TU/e voor mijn benoeming en het in mij gestelde vertrouwen.

Deze universiteit waaraan ik gestudeerd heb, waar ik gevormd ben, waar ik de switch gemaakt heb van informatietechnologie naar energietechniek, waar ik bestuurlijk actief geweest ben en waar ik mijn vrienden gevonden heb.

Collega hoogleraren en medewerkers van de faculteit en in het bijzonder de medewerkers van de capaciteitsgroep Elektrische Energietechniek dank ik voor de prettige samenwerking tot dusverre en de hulp die ze mij in het eerste jaar gegeven hebben.

De directie van TenneT ben ik zeer erkentelijk voor de mogelijkheid die mij gegeven is om een tweede deeltijd functie aan te gaan naast het normale werk en de deeltijd functie in Delft. Het was directeur Gert Zijl zelf die mij polste voor deze functie, uit naam van de benoemingscommissie; dat heb ik zeer gewaardeerd.

Ik dank mijn collega's bij TenneT voor hun steun en bereidheid om mij werk uit handen te nemen, zodat ik dit kan doen. Ook hun warme belangstelling voor hetgeen er op de universiteiten gebeurt stel ik zeer op prijs.

De collega hoogleraren van de Technische Universiteit Delft hier aanwezig wil ik danken voor de positieve wijze waarop zij gereageerd hebben op mijn benoeming in Eindhoven. Door mijn aanwezigheid in Delft en in Eindhoven vorm ik nu letterlijk en figuurlijk een bruggenhoofd tussen de twee instellingen. Gaarne ben ik bereid alles te doen om de samenwerking tussen de groepen verder te bevorderen. De buitenwacht verwacht niet anders van ons. We zouden dat nog sterker moeten demonstreren. Het IOP is daar een goed voorbeeld van. Collega Blom, beste Jan. Jij hebt ervoor gezorgd, dat ik hier sta. Jouw aanpak is duidelijk. Je hebt dat in je intrede anderhalf jaar geleden ook uitgelegd. Jouw insteek is dat deeltijdhoogleraren de ideeën genereren, het netwerk onderhouden en op zoek gaan naar projecten waar de groep belang bij heeft. Zo krijgt de universitaire groep de



## Curriculum Vitae

noodzakelijke impulsen om voort te gaan.

Zelf vind ik ook het contact met de studenten belangrijk. Daarom verzorg ik graag een college en zie ik graag studenten hun afstudeerwerk bij mij komen doen. Daarbij zal ik wel de steun van de groep nodig hebben voor de dagelijkse begeleiding.

Ten slotte een speciaal woord voor de studenten. De elektriciteitswereld is in beweging met nieuwe organisatievormen, nieuwe producten en nieuwe problemen waarvoor oplossingen moeten worden gevonden. De eisen die aan het technisch functioneren van het systeem gesteld worden nemen toe. Er is een grote roep om duurzaamheid. Elektrische energie kan uitstekend fungeren als drager voor allerlei duurzame energiebronnen. Intelligentie in netten is daarbij een belangrijke randvoorwaarde, zo heb ik in deze rede proberen duidelijk te maken. Kortom, uitdagingen genoeg voor jonge ingenieurs om aan de slag te gaan. Het is aan de TU/e om jullie de opleiding te geven die aansluit op de wensen van de praktijk.

Hiermee sluit ik af. Ik dank u allen voor uw aanwezigheid en uw belangstelling.

Ik heb gezegd.

Prof.ir. W.L. Kling werd op 1 november 2000 benoemd tot deeltijd hoogleraar aan de faculteit Elektrotechniek van de Technische Universiteit Eindhoven. Zijn vakgebied is de openbare elektriciteitsvoorziening en in het bijzonder de toepassing van intelligentie in netten.

Wil Kling (Heesch, 1950) studeerde in 1978 af bij de vakgroep Energievoorziening van de Technische Universiteit Eindhoven. Tot 1983 werkte hij bij de Technisch Economische Afdeling van de N.V. Kema en daarna tot 1998 bij de N.V. Sep, in de afdeling Planning en Onderzoek. Sindsdien is hij bij de landelijke netbeheerder en systemoperator TenneT bv. als senior medewerker Netstrategie en Systeemontwikkeling. Als expert op het gebied van gekoppelde elektriciteitsnetten maakt Wil Kling analyses en ontwikkelt hij toekomstplannen.

Hij is lid van diverse internationale commissies en werkgroepen in verschillende organisaties.

Sinds 1993 is hij hoogleraar aan de TU Delft en sinds 2000 ook aan de TU/e. Zowel in Eindhoven als in Delft geeft hij onderwijs en leidt hij onderzoek op het gebied van ontwerp, planning en bedrijfsvoering van elektriciteitsvoorzieningsystemen.

**Colofon**

Productie:  
Communicatie Service Centrum TU/e

Fotografie cover:  
Rob Stork, Eindhoven

Ontwerp:  
Plaza ontwerpers,  
Eindhoven

Druk:  
Drukkerij Lecturis,  
Eindhoven

ISBN: 90-386-1641-4