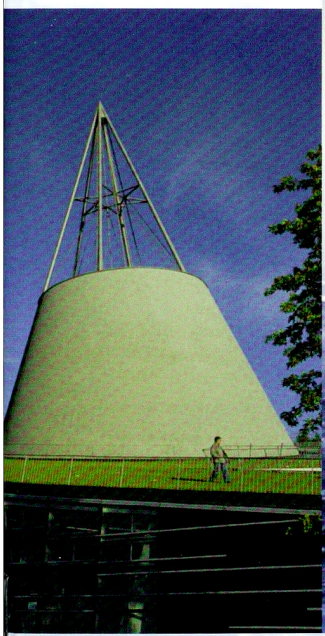
Ter zee, te land en in de lucht

Afscheidsrede

2 november 2001

Prof. dr. ir. J.H. Vugts



TU Delft
Technische Universiteit Delft

Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen

Ter zee, te land en in de lucht

prof. dr. ir. J.H. Vugts

Vugts, J.H.

"Ter zee, te land en in de lucht"
Afscheidsrede Technische Universiteit Delft
gehouden op 2 november 2001
Druk: DocVision BV, Delft

ISBN 90-9015382-9

Trefwoorden: Technische Universiteit Delft; onderwijs; onderzoek; offshore technologie; offshore installaties; platforms; energie; energiegebruik; energievoorziening; windenergie

Ter zee, te land en in de lucht

Rede, uitgesproken bij zijn afscheid als hoogleraar Offshore Technologie
aan de Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van
de Technische Universiteit Delft
op vrijdag 2 november 2001.

door prof. dr. ir. J.H. Vugts

"In elk einde ligt een nieuw begin besloten"

Mijnheer de Rector Magnificus,
leden van het College van Bestuur,
collegae hoogleraren, docenten en medewerkers van de universiteit,
dames en heren studenten,
familieleden, vrienden en collega's van buiten de universiteit,
zeer gewaardeerde toehoorders.

Dames en heren,

Inleiding

Toen ik begon na te denken over mijn afscheidsrede vond ik het moeilijk om een onderwerp te kiezen. Een voor de hand liggende optie was te spreken over mijn vakgebied, de Offshore Technologie. Een vakgebied waarin ik zelf nooit gestudeerd heb omdat het toentertijd eenvoudigweg nog niet bestond. Ik ben er pas na mijn promotie ingerold doordat ik bij Shell in dienst trad. Maar ook een vakgebied waarin ik 30 jaar met grote voldoening heb gewerkt en waardoor ik nog steeds gemotiveerd kan raken.

Een ander mogelijk onderwerp was de Technische Universiteit Delft. Een universiteit waaraan ik ben opgeleid, waaraan ik de eerste 7 tot 8 jaar van mijn loopbaan als wetenschappelijk medewerker en promovendus verbonden ben geweest, en waarvan ik nu aan het einde van mijn loopbaan alweer 9 jaar opnieuw deel uit maak. Ook op bestuurlijk vlak heb ik daaraan een bescheiden bijdrage geleverd in de vorm van twee kortstondige perioden als respectievelijk interim en waarnemend decaan van de Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen. Dit jaar heb ik me opnieuw voor de faculteit ingezet als projectleider voor het opstellen van het nieuwe curriculum van de opleiding civiele techniek in de Bachelor-Master-structuur, die in september 2002 zal worden ingevoerd. Dat was een intensieve periode, van maart tot september dit jaar, die een groot gat sloeg in mijn voorbereidingstijd voor allerlei zaken, waaronder deze rede. Voor het onderwerp universiteit pleitte dat de techniek, de opleiding voor techniek en de universiteit als instrument daarvoor mij zeer aan het hart gaan. En er zijn ontwikkelingen gaande die me oprecht zorgen baren.

Of, als derde mogelijkheid, moest ik mij richten op de energievoorziening in de toekomst en op de rol daarin van windenergie buitengaats? Een ontwikkeling waardoor ik de laatste vijf jaar gefascineerd ben geraakt, en die van groot maatschappelijk belang voor de nabije toekomst is.

Geen enkele keuze kon mijzelf overtuigen en daarom heb ik maar besloten u een drieluik voor te zetten. De consequentie daarvan is dat ik in minder dan drie maal 15 minuten mijn belangrijkste punten op deze drie gebieden over het voetlicht zal moeten brengen. Dat lijkt nauwelijks mogelijk. U zult dan ook voor lief moeten nemen dat ik niet in veel bijzonderheden kan treden. Ik troost mij echter met de gedachte dat ik in een afscheidsrede best meningen mag verkondigen die nu eens niet spijkerhard wetenschappelijk onderbouwd behoeven te worden. Het voordeel voor u is wellicht nog dat een ieder er iets van zijn gading in kan vinden en dat de verandering van spijs verslapping van de aandacht tegengaat.

Offshore Technologie

Inleiding

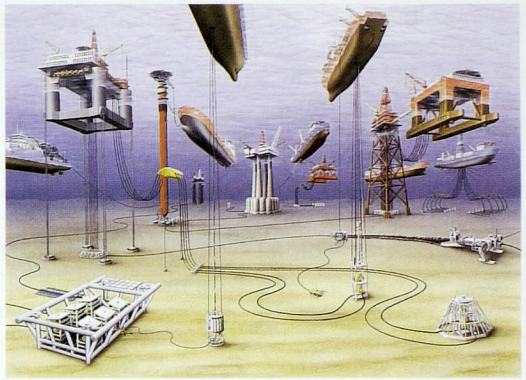
Met een korte beschouwing over offshore technologie wil ik proberen de gemiddelde toehoorder of lezer wat beter bekend te maken met dit vakgebied. Ik zal u daartoe een beknopt overzicht geven van offshore installaties, kort ingaan op de huidige situatie en me dan richten op de toekomst, zoals die zich naar mijn verwachting verder zal ontwikkelen.

Offshore technologie bestaat nu ruim 50 jaar en is in de één of andere vorm gedurende ca. 25 jaar in het opleidingsprogramma van de Technische Universiteit Delft opgenomen. Hoewel er gemakkelijk over offshore gesproken wordt ben ik er van overtuigd dat betrekkelijk weinig mensen met enige nauwkeurigheid weten wat dat inhoudt. Ik wil proberen daarin wat meer duidelijkheid te scheppen. Wat ik onder offshore technologie versta is in een wat losse omschrijving:

> De technologie voor kunstmatige en stationaire constructies op, in of onder de zee, die dienen voor het winnen van natuurlijke rijkdommen of voor de ondersteuning van een publieke voorziening.
> De omgeving waarin de installaties zich bevinden en de aard van hun toepassing hebben daarbij altijd een grote invloed op het ontwerp, op de exploitatie en op het beheer van deze installaties.

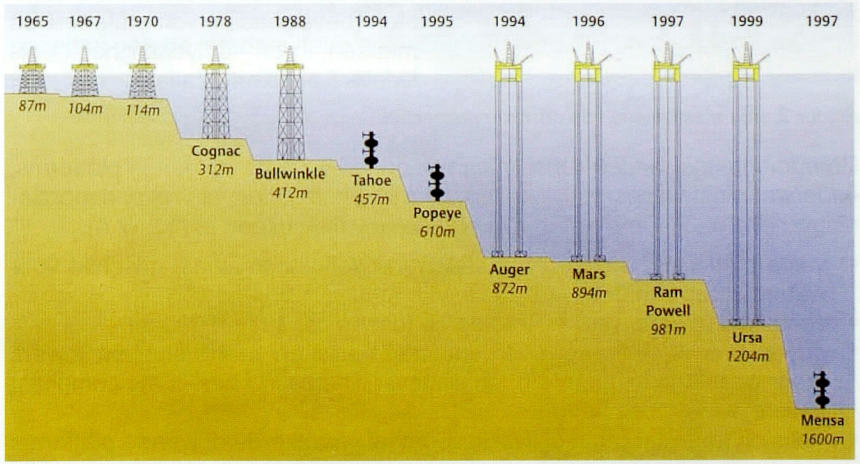
Voorzieningen voor andere maritieme activiteiten, zoals transport over water door de koopvaardij, de visserij en de marine vallen dus buiten het terrein van de offshore techniek. Natuurlijk zijn er raakvlakken, maar het is toch goed om de hoofdstromen van de verschillende maritieme gebieden uit elkaar te houden. De grote verscheidenheid aan offshore installaties wordt geïllustreerd door figuur 1, die een goede indruk geeft van de variatie en de grote verschillen in de technische uitdagingen die daarmee gepaard gaan. De oorsprong en tot op heden voornaamste toepassing van offshore technologie is de opsporing en winning van olie en gas buitengaats. De processen die bij deze industriële activiteiten worden gevolgd (zoals het boren van putten) en het materieel dat daarbij wordt gebruikt (zoals inrichtingen voor de behandeling van olie of gas) hebben vanzelfsprekend grote invloed op de installaties waarop of waarmee die activiteiten worden verricht. Maar volgens de door mij gegeven omschrijving reken ik die processen en dat materieel zelf niet tot de offshore technologie.

Sinds haar geboorte in de Golf van Mexico in 1947 heeft offshore technologie een zeer snelle ontwikkeling doorgemaakt, waarbij record op record gevestigd en weer gebroken werd (zie fig. 2 voor Shell installaties).



Figuur 1: Voorbeelden van offshore installaties[1]

Dat gaat tot op de huidige dag zo door. Het grootste stalen platform staat op de bodem van de Golf van Mexico in een waterdiepte van 535 m. Deze constructie is daarmee aanzienlijk hoger dan de hoogste wolkenkrabber. Het hoogste bouwwerk ter wereld staat dus niet op het land maar in de zee. Er wordt op dit moment al naar nieuwe voorkomens van olie of gas gezocht in waterdieptes van 2500-3000 m. Bij zulk diep water zullen er mogelijk geheel andere oplossingen gezocht en gevonden moeten worden.



Figuur 2: Shell Group deepwater developments[2]

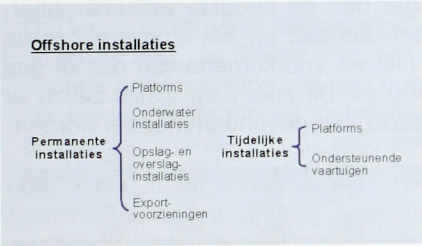
Natuurlijk zijn dit unieke gevallen. De dagelijkse werkelijkheid is in de regel aanmerkelijk minder indrukwekkend, maar ze blijft steeds aansprekend. Het gedenkboek '50 Years Offshore'[3], waartoe ik ter gelegenheid van het

50-jarig jubileum van de offshore het initiatief genomen heb en dat in 1997 het licht zag, geeft een goed overzicht van de ontwikkelingen die gedurende deze periode hebben plaats gehad.

Offshore installaties: een overzicht

Ik onderscheid offshore installaties in permanente en tijdelijke installaties (figuur 3). De permanente worden ontworpen om gedurende hun gehele economische levensduur van doorgaans 25 tot 50 jaar op één en dezelfde locatie te blijven. Daarentegen worden tijdelijke installaties ontworpen om een bepaalde taak te verrichten, waarvoor ze zich van locatie naar locatie begeven. Ze blijven slechts gedurende een periode van dagen tot maanden op één bepaalde plaats. Om hun mobiliteit worden ze daarom ook wel mobiele installaties genoemd.

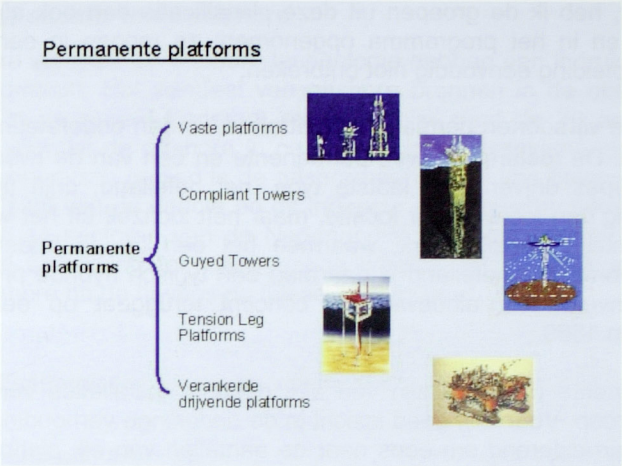
Elk van deze twee hoofdgroepen wordt verder onderverdeeld, waarmee een overzichtelijke classificatie wordt bereikt. Permanente installaties vinden we vooral terug bij de productie van een olie- of gasreservoir. Tijdelijke installaties hebben als drie belangrijkste taken het opsporen van olie- en gasvelden (seismisch onderzoek, boren), constructiewerk buitengaats (kraanschepen, pijpenleggers), en ondersteunende diensten (bevoorrading van materieel en mensen, een drijvend hotel als tijdelijke accommodatie).



Figuur 3: Een classificatie van offshore installaties

Permanente installaties kunnen logisch onderverdeeld worden in platforms, onderwaterinstallaties, opslag- en overslaginstallaties, en exportvoorzieningen (figuur 3). De permanente platforms vallen uiteen in (figuur 4):

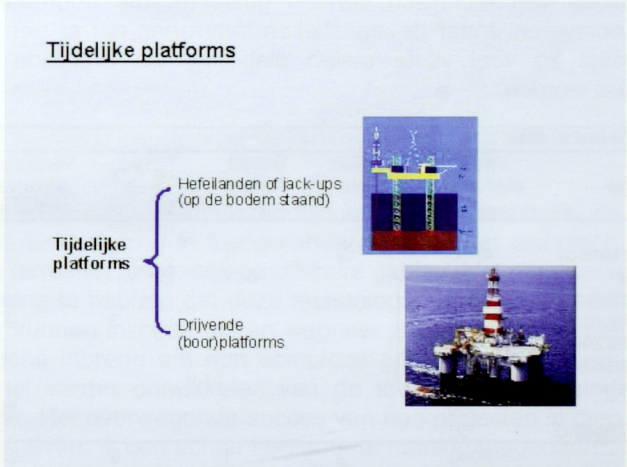
- vaste platforms, overwegend stalen vakwerkconstructies, geschikt voor waterdieptes van 0 tot 450 m;
- compliant towers, voor waterdiepten tussen ca. 300 en 900 m;
- guyed towers, die veel overeenkomst vertonen met compliant towers maar gestaagd zijn; ze hebben ongeveer hetzelfde bereik als compliant towers;
- Tension Leg Platforms of TLPs, verticaal verankerde drijvende platforms die thans geïnstalleerd zijn in dieptes die variëren van 150 tot ca. 1200 m en in nog aanmerkelijk dieper water toepasbaar zijn;
- normaal verankerde drijvende platforms, die over een groot bereik aan waterdieptes toepasbaar zijn, van ca. 50 m tot misschien wel 2500 m.



Figuur 4: De groep van de permanente platforms

Tijdelijke installaties worden overeenkomstig verdeeld in platforms en ondersteunende vaartuigen (figuur 3), terwijl de tijdelijke platforms uiteenvallen in hefeilanden of jack-ups en drijvende (boor)platforms (figuur 5).

Deze hele classificatie in hoofd- en subgroepen brengt tevens de onderlinge samenhang van de offshore activiteiten in beeld. Bij het opzetten van de interfacultaire opleiding Offshore Technologie, waarover



Figuur 5: De groep van de tijdelijke platforms

later meer, heb ik de groepen uit deze classificatie dan ook als leidraad genomen en in het programma opgenomen; ze mogen in een allround offshore opleiding eenvoudig niet ontbreken.

Drie van de vijf soorten permanente platforms worden ondersteund door de zeebodem. De resterende twee permanente en één van de twee tijdelijke platform types drijven. Het laatste type, het hefeiland, drijft tijdens zijn verplaatsing van locatie naar locatie, maar heft zichzelf uit het water voor het verrichten van zijn werk, waarmee het een op de bodem staand platform wordt. Het hefeiland is daarmee een typisch hybride product van offshore inventiviteit, alhoewel het concept teruggaat op een patent-aanvraag in 1869.

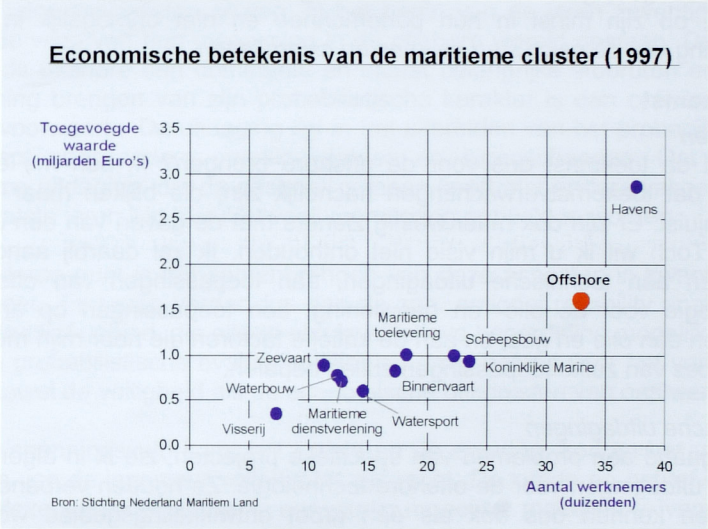
De permanente platforms zijn van alle offshore installaties verreweg de grootste groep. Voor een goed inzicht in de onderlinge verhoudingen is het dan ook verhelderend om eens naar de aantallen van elk platformtype te kijken (figuur 6). Tegenover de 7000 permanente platforms zijn er slechts ca. 770 tijdelijke platforms (11%), te weten ongeveer 460 jack-ups, 200 semi-submersibles, 50 boorschepen en 60 submersibles of boorbakken. Zulke aantallen plaatsen de wereld offshore wel in perspectief. Nu zullen slimmeriken misschien opmerken dat deze aantallen het verleden en niet de huidige situatie weerspiegelen. Tegenwoordig zou het accent zo sterk op diep water en op marginale velden liggen dat er verder alleen maar drijvende platforms worden geïnstalleerd. Niets is echter minder waar. Weliswaar staat het diepe water volop in de belangstelling en worden er huzarenstukjes van technisch kunnen geleverd, die doorgaans goede publiciteit opleveren, maar de statistieken tonen aan dat er per jaar meer dan 10 maal zo veel vaste stalen platforms als drijvende platforms geïnstalleerd worden.

Permanente installaties						**Platforms**
Platform type	Vaste platforms	Compliant Towers	Guyed Towers	Tension Leg Platforms	Verankerd drijvende platforms	Totaal
USA						
Golf van Mexico	4000	2	1	5		4000
Westkust	45					45
Mid/zuid Amerika	340				8	350
Europa – Noordzee	400			3	20	425
Middellandse zee	100				3	100
Afrika – Westkust	380				9	390
Midden Oosten	700					700
Azië	950				19	970
Austr./Nw. Zeeland	30				7	40
Totaal	~ 7000	2	1	8	66	~ 7000

Figuur 6: Aantallen permanente platforms in de wereld (1999)

De huidige situatie in de offshore

De offshore industrie en offshore technologie hebben een indrukwekkende opmars gemaakt. Het aandeel van offshore bronnen in de olie- en gas-productie in de wereld bedraagt respectievelijk rond de 30 en de 20%. Daarmee voorziet de offshore in ca. 15% van de wereldenergiebehoefte. Ook op economisch gebied is de offshore een factor van belang. Figuur 7 brengt de som van de directe en de indirecte economische betekenis voor elk van de 11 sectoren van de Nederlandse maritieme cluster in beeld[4]. Zowel met betrekking tot toegevoegde waarde als de werkgelegenheid neemt offshore na de havens de tweede plaats in.



Figuur 7: Economische betekenis van de verschillende sectoren van de maritieme cluster (1997)

De belangrijkste belanghebbenden van offshore technologie, de oliemaat-schappijen, trekken zich in toenemende mate uit het technisch gebeuren op velerlei terreinen terug; ook op offshore gebied. Het management schijnt de overtuiging te hebben dat deze technologie volwassen is en dat ze die eenvoudig kunnen inkopen als en wanneer ze die nodig hebben. Ze laten de technische inbreng om hun complexe projecten te kunnen uitvoeren, alsmede het verder ontwikkelen van de technologie vrijwel geheel aan derden over. Het overwegende succes van hun projecten in diep water lijkt ze gelijk te geven. Ik ben echter een andere mening toegedaan.

Een kenmerk van de achter ons liggende periode was de gezamenlijke inzet van alle partijen die bij nieuwe ontwikkelingen betrokken waren. Die praktijk was heel succesvol en bracht grote vooruitgang. De spil in dat web waren de oliemaatschappijen met de diepgaande en veelzijdige kennis die ze zelf in huis hadden, en de financiële kracht waarmee ze die gezamenlijke inspanningen konden ondersteunen. Die rol van de oliemaatschappijen kan door geen enkele andere partij worden overgenomen. Een gezamenlijke inzet is nu nog net zo nodig als toen. De uitdagingen houden gelijke tred met de wisselende aard en complexiteit van de projecten en zijn even groot. Ik ben er van overtuigd dat de oliemaatschappijen op termijn de gevolgen van de verandering in hun aanpak zullen gaan merken, op zijn minst in hun portemonnee en niet onmogelijk in een toeneming van de risico's en de kans op calamiteiten.

De toekomst

Algemeen

Wat zal de toekomst ons voor de offshore brengen? Ik ben me ervan bewust dat toekomstverwachtingen hachelijk zijn; die blijken maar al te vaak onjuist. Er zijn ook maar weinig zieners met de gaven van een Jules Verne. Toch wil ik u mijn visie niet onthouden. Ik zal daarbij aandacht schenken aan technische uitdagingen, aan toepassingen van offshore technologie voor de olie- en gaswinning, aan toepassingen op andere gebieden dan olie en gas, en aan de kritieke factoren die naar mijn mening het succes van zulke toepassingen zullen bepalen.

Technische uitdagingen

Voorbijgaand aan problemen van specifieke projecten, zie ik in algemene zin drie uitdagingen voor de offshore technologie. Ze houden verband met elkaar en kunnen dus ook als één groot ontwikkelingsgebied worden gezien. Dat zijn ten eerste een voortdurende verbetering van de nauwkeurigheid van onze berekeningen, ten tweede een verdere overgang van een deterministische naar een probabilistische aanpak, en ten derde kwantificering van evaluaties met behulp van 'betrouwbaarheids'-analyses.

De drang naar steeds betere en meer volledige modellen, die meer nauwkeurige berekeningen mogelijk moeten maken, is begrijpelijk. Dit betekent o.a. dat niet-lineaire invloeden geformuleerd en in rekening gebracht moeten worden. We moeten daarbij wel oppassen dat we geen schijnverbeteringen aanbrengen door in te zoomen op de voor de hand liggende en ogenschijnlijk meest belangrijke niet-lineaire effecten. Voorbijgaan aan niet-lineaire interacties is niet op voorhand toelaatbaar. Zulke interacties komen doorgaans pas aan het licht in een systematische benadering van hogere orde. Die is echter uitermate moeilijk en wordt zelden nagestreefd.

Een meer intuïtief en selectief onderzoek van bepaalde tweede orde aspecten is dan ook meer regel dan uitzondering.

Ook met betere modellen zullen er echter vele onzekerheden blijven bestaan. Die komen voort uit de natuurlijke omgeving, de fysische processen die verantwoordelijk zijn voor de ondervonden belastingen en het gedrag van materialen en de constructie als zodanig. Daarop heeft mijn tweede punt betrekking: een verdere overgang van een deterministische naar een probabilistische aanpak. Lineaire probabilistische modellen, uitgaande van de zee als een gaussisch proces, zijn reeds lang gemeengoed geworden, ook al worden ze in de dagelijkse praktijk nog vaak als werk voor specialisten gezien. In het begin van de jaren zeventig heb ik aan de wieg van hun toepassing in de offshore wereld gestaan. De zee is voor de offshore een dominante en uiterst belangrijke stoorbron en het in rekening brengen van zijn probabilistische karakter is dan ook een grote stap voorwaarts. De uitdaging ligt in het uitbreiden van het probabilistische concept naar andere omstandigheden en eigenschappen. Dat is een enorme uitdaging, die de offshore gemeen heeft met andere vakgebieden. De laatste jaren lijkt hier niet veel vooruitgang geboekt te worden.

Mijn derde punt is het samenbrengen van deze aspecten in kwantitatieve analyses. Een stap verder dus dan de zgn. notional reliability analysis op constructief gebied, die alleen een kwalitatieve beoordeling mogelijk maakt. Zulke probabilistische evaluaties zijn van groot belang voor het verbeteren van zowel de veiligheid als de economische uitkomsten van ons werk.

In dit spanningsveld komt het inzicht en de ervaring, kortom het vakmanschap van de ingenieur volledig tot zijn recht. De kunde en het lef om een complexe werkelijkheid in zo eenvoudig mogelijke modellen te vangen, de gevoeligheden en onzekerheden daarvan te evalueren, de resultaten vervolgens te beoordelen en op grond van alle verkregen informatie beslissingen te nemen is de kern van het ingenieur zijn. Die bekwaamheid verkrijg je niet in het hoger beroepsonderwijs, en ook niet met wetenschappelijke studie of wetenschappelijk onderzoek alleen. Daarvoor zijn aanvullend jaren van toepassing en training in de beroepspraktijk nodig. Het is van groot belang dat ingenieurs vanuit die beroepspraktijk die deze bekwaamheid bezitten, de kans krijgen om zowel hun kennis en ervaring als hun emoties aan komende generaties door te geven. Dat geldt zowel voor opleidingen aan de TU als voor interne scholing binnen een bedrijf.

Toepassingen voor olie en gas

Naast de voortgaande exploitatie van olie- en gasvondsten in middelmatig diep water (zeg tot ca. 300 m) zal de ontsluiting van het diepe tot ultradiepe

water, van 1000 tot 3000 m, beslist doorzetten. Dat gebeurt met drijvende platforms in combinatie met voorzieningen op de zeebodem. De voornaamste problemen daarbij betreffen het op zijn plaats houden van het platform en het dynamisch gedrag van platform, ankerlijnen en vooral de risers of stijgbuizen, die het platform met de zeebodem verbinden. De offshore engineering problemen voor de voorzieningen op de zeebodem betreffen vooral het neerlaten en nauwkeurig positioneren met behulp van drijvend installatiematerieel. Daarbij speelt de dynamica van een last aan een hijsdraad van enkele kilometers lengte een belangrijke rol.

Over het opruimen van platforms aan het einde van hun economische levensduur is en wordt veel gespeculeerd. Het is een toepassingsgebied dat naar mijn mening niet om oplossing van fundamentele technische problemen vraagt. Het is veeleer een kwestie van creatief gebruik van bekende technieken, gecombineerd met degelijke ingenieurskennis en vaardigheden. Er zal misschien grootschalig en gespecialiseerd materieel voor moeten worden ontwikkeld. Dat vraagt dan om de ondernemingszin van entrepreneurs die er brood in zien om op deze markt te opereren. De omvang van deze markt hangt zeker niet alleen af van de grootte en de leeftijd van de platformpopulatie. De olieprijs, de algehele economische situatie in de wereld, en de steeds evoluerende inzichten met betrekking tot de afwegingen van milieu aspecten hebben een minstens even grote invloed. Het is immers in ieders belang om schaarse middelen aan geld, materieel en menskracht zodanig in te zetten dat daarmee een maximaal nuttig effect voor het algemeen welzijn van huidige en latere generaties wordt behaald. Die afweging is een sociaal en politiek proces, waarvan de uitkomst moeilijk te voorspellen is[5]. De enige conclusie kan daarom zijn dat de markt voor het opruimen van platforms uiterst onzeker is.

Alle thans bekende gebieden met offshore ontwikkelingen blijven interessant. Daarnaast moeten we vooral denken aan de Kaspische Zee, wat één van de oudste gebieden is waar al in de 19e eeuw langs de kust olie werd aangetroffen en gewonnen. Door allerlei omstandigheden is de ontwikkeling van de Kaspische Zee achter gebleven bij gebieden in de westerse wereld. Langzamerhand komt deze nu echter op gang en de verwachtingen zijn hoog gespannen. Later zullen tenslotte de nagenoeg onontgonnen arctische gebieden in de Noordelijke IJszee langs de kusten van Canada, Scandinavië en Rusland volop in de belangstelling komen, en hele nieuwe uitdagingen met zich meebrengen.

Andere toepassingen dan voor olie en gas
Naast de olie-industrie zal offshore technologie verder zijn weg vinden naar andere toepassingsgebieden. Dat gebeurt nu al bijvoorbeeld bij het lanceren van satellieten vanaf drijvende en verplaatsbare lanceerinstallaties en bij het leggen van stroom- en telecommunicatiekabels. Voor de toekomst voorzie ik nog twee andere belangrijke toepassingsgebieden. In de eerste plaats zijn dat buitengaatse windparken. In tegenstelling tot de trend naar steeds dieper water bij de olie- en gaswinning zal het bij offshore windparken blijven gaan om eenvoudige vaste constructies dicht bij de kust in waterdiepten van 10-15 m, later oplopend tot 25-30 m. Ik kom op offshore windenergie nog terug. Het tweede toepassingsgebied betreft uitbreidingen van de infrastructuur op het land. Niet door middel van landaanwinning of opgespoten terreinen, maar in de vorm van zeer grote drijvende eilanden voor de kust ten behoeve van vliegvelden, fabrieken of hele stadswijken.

Kritieke succesfactoren
Voor elk van deze toepassingen is uitstekende kennis en ervaring op verschillende technische gebieden nodig. Maar daarnaast hangt succes naar mijn stellige overtuiging van drie kritieke factoren af. De eerste is echt teamwerk, leidend tot multidisciplinaire samenwerking en integratie van verschillende technologieën, ervaringen en manieren van werken. Dat stelt hoge eisen aan mensen om boven hun eigen discipline uit te kunnen en te willen stijgen. De tweede is de noodzaak van uitstekende communicatie binnen en buiten het team. Het sociale en industriële klimaat hiervoor lijkt echter steeds ongunstiger te worden. Internationalisering gaat hand in hand met individualisering. Het toenemend gebruik van informatie- en communicatietechnologie heeft vele goede kanten, maar zou in dit opzicht wel eens een belemmering kunnen zijn. Door ICT groeit de informele consultatie sterk, wat zich slecht verdraagt met nauwgezetheid bij de behandeling van complexe zaken over disciplinaire grenzen heen. Het leidt ook letterlijk tot 'afstandelijke contacten' in plaats van de aloude leerling-meester relatie.

Mijn derde kritieke factor tenslotte betreft de mensen, waar uiteindelijk alles van afhangt. Ik vrees dat er al snel een tekort zal zijn aan ingenieurs en andere beroepsgroepen, die de juiste combinatie van diepte en breedte aan kennis en ervaring hebben en over de vereiste integratieve kwaliteiten beschikken. Het klimaat binnen ondernemingen, dat tegenwoordig nogal gedomineerd wordt door financiële en organisatorische factoren, maar ook het klimaat bij universiteiten en researchinstellingen is m.i. niet bevorderlijk om deze eigenschappen te ontwikkelen. De korte termijn belangen overschaduwen lange termijn ontwikkelingen volkomen. Voor grote en gecompliceerde toekomstige projecten zijn die nu juist van levensbelang. Ik voorzie dan ook een tekort aan ingenieurs, zowel in aantallen als in de aard van de vereiste kennis en ervaring, als het voornaamste obstakel bij de realisatie van zulke projecten.

De technische universiteit Delft

De opleiding Offshore Technologie

Daarmee ben ik vanzelf bij het tweede deel van mijn drieluik aangekomen: de universiteit. In de 9 jaar die ik als hoogleraar aan de TU Delft verbonden ben geweest zijn er 136 jonge ingenieurs met specialisatie Offshore Technologie opgeleid; waarvan 74 onder mijn directe begeleiding en verantwoordelijkheid als voorzitter van de afstudeercommissie. Als lid van afstudeercommissies heb ik aan de begeleiding van nog 21 andere offshore studenten, alsmede van 7 studenten van andere faculteiten een bijdrage mogen leveren. Verder zijn er op dit moment nog 7 offshore studenten met de voltooiing van hun afstudeerwerk bij mij bezig. Voorwaar geen slechte oogst voor een deeltijdaanstelling van 0.4 fte.

Ik vermeld deze aantallen niet om u te imponeren. Het was mijn taak, maar ik ben er wel trots op. Ik heb het werk met veel plezier gedaan. Het overdragen van kennis en ervaring naar een nieuwe generatie is een boeiende en uiterst belangrijke taak die mij veel voldoening schenkt. Afstudeerders zijn daarbij de krenten in de pap. Het is de beste gelegenheid die je als leraar krijgt (en ook een *hoog*leraar is een leraar!) om je leerlingen op te leiden. Ze vormen de kroon op het werk in de jaren die daaraan voorafgaan.

De opleiding in de offshore technologie aan de TU Delft is in de zeventiger jaren moeizaam op gang gekomen in reactie op de enorme ontwikkelingen in de Noordzee die toen gaande waren. In mijn intreerede[6] heb ik een beknopt overzicht van deze ontwikkelingen gegeven en ik zal mij hier beperken tot enkele van de meest saillante feiten. Het begon in 1975 met de oprichting van de Werkgroep Offshore Technologie en de instelling van een zgn. blokcollege Offshore Technologie. Dat blokcollege beoogde een breed opgezet overzicht te geven van een vakgebied dat nog sterk in ontwikkeling was. Er werd door een 25-tal docenten aan meegewerkt, die zowel van verschillende toenmalige afdelingen van de Technische Hogeschool als vanuit de industrie afkomstig waren. Zonder andere afdelingen tekort te doen is offshore technologie altijd gevoed vanuit de vakgebieden Civiele Techniek, Maritieme Techniek, Werktuigbouwkunde en, gezien de prominente toepassing op olie en gas, vanuit Petroleumwinning, wat een onderdeel van Technische Aardwetenschappen is. Het samenbrengen, op elkaar afstemmen en van daaruit verder ontwikkelen van kennis, technieken en gereedschappen uit deze vakgebieden was essentieel om werkelijk van offshore technologie te kunnen spreken. De continuïteit en de coördinatie van al deze activiteiten gedurende de afgelopen 25 jaar is steeds verzorgd door een hoogleraarspositie binnen Civiele Techniek met een omvang van 0.4 fte.

Bij de invoering van de twee-fasen structuur in 1982 wordt er binnen de opleiding Civiele Techniek voor het eerst een speciale afstudeerrichting Offshore Technologie ingesteld. De eerste, meer specifiek offshore opgeleide ingenieurs kwamen dus pas na 1986 op de markt. Toen ik in 1992 aantrad was ik bij Shell al meer dan 20 jaar in de offshore werkzaam. In die periode had ik midden in de enorme technische ontwikkelingen gestaan en daar zelf een bijdrage aan mogen leveren. Ik had daar ook kennis gemaakt met de industriële praktijk. Wat ik bij de TU aantrof was hiervan maar een gebrekkige afspiegeling. Ik heb mij dan ook ingezet om dit aanzienlijk te verbeteren. Dat is in 1997 voor een groot deel gerealiseerd met de vorming van de interfacultaire afstudeerrichting Offshore Technologie, waaraan wordt deelgenomen door Civiele Techniek, Maritieme Techniek, Technische Aardwetenschappen en Werktuigbouwkunde. Deze interfacultaire afstudeerrichting werd tegelijk met het opnieuw invoeren van het vijfjarig curriculum ingesteld. Het heeft me ruim vier jaar gekost om dat te bereiken en het stemt tot voldoening dat het gelukt is. De eerste studenten die volgens dit interfacultaire programma zijn opgeleid zijn vorig jaar afgestudeerd. De ervaring is natuurlijk nog beperkt, maar ik kan u melden dat zowel de studenten zelf als de bedrijven, die hun een stage- of afstudeerplaats aanbieden, en bedrijven waar afgestudeerden recent als werknemer in dienst getreden zijn, enthousiast zijn.

Interfacultaire Offshore Technologie is een unieke opleiding. Niet alleen binnen Nederland, want ik durf de stelling aan dat er in de gehele wereld geen vergelijkbare opleiding bestaat. Ze is opgezet als een kopstudie voor 15 tot 25 studenten per jaar. De combinatie van selectieve breedte en diepgang in het studieprogramma biedt afgestudeerden ruime mogelijkheden op de arbeidsmarkt. Naast offshore bedrijven met hun zeer diverse activiteiten zijn dat bijvoorbeeld ingenieursbureaus, civiele aannemers, bouwwerven en toeleveranciers. Het werkterrein van deze afgestudeerden is bij uitstek internationaal en de Delftse offshore ingenieurs moeten heel goed in staat geacht worden op de internationale markt te concurreren.

Wat er de afgelopen jaren is opgebouwd is bereikt met een deeltijdhoogleraar, een UHD en een deeltijdsecretaresse, tezamen 1.9 fte, en de incidentele steun van een student-assistent en een promovendus. Dat was beslist onvoldoende; uitbreiding van de staf met een universitair docent is noodzakelijk en ik appelleer dan ook aan de faculteit en de industrie gezamenlijk om dit mogelijk te maken. In dit opzicht verlaat ik mijn post met enige zorg, mede doordat de benoeming van een opvolger nog steeds niet rond is. Daarnaast vervullen ook bepaalde ontwikkelingen aan de TU mij met zorg. Dat betreft dan met name het omgaan met 'kwaliteit' en de strategische keuze van het College van Bestuur voor een researchuniversiteit.

De TU Delft en kwaliteit

De TU Delft streeft volkomen terecht naar kwaliteit. Dat verdient alom waardering en ieders steun. De missie in de strategienota van het College van Bestuur uit 1994[7] stelt: *"De TU Delft wenst te functioneren als een internationaal toonaangevende technische universiteit, zowel op het gebied van onderwijs als op het gebied van onderzoek. Zij engageert zich daarbij aan de belangrijkste maatschappelijke en technisch-wetenschappelijke problemen en uitdagingen, draagt bij aan de oplossingen hiervan en wenst daar ook op te worden aangesproken."* Daar sta ik volledig achter. Maar de accentverschuiving naar onderzoek als haar primaire taak, zoals in de zojuist uitgekomen nieuwe strategienota wordt gesteld, steun ik niet.

Kwaliteit bestaat in vele soorten en maten en laat zich niet eenvoudig bepalen. Kwaliteit van onderzoek afmeten aan de hand van publicaties, de zgn. citation-index en impactfactoren is een gebrekkig middel. Er bestaat geen universele waarderingsgrondslag voor publicaties; die verschilt van vakgebied tot vakgebied. Dat is reeds vele malen opgemerkt. Collega Lootsma van de faculteit ITS illustreerde dat in zijn afscheidsrede[8] nog eens voor de informatica, waar conferentiebijdragen een veel grotere rol spelen dan in de natuurwetenschappen. Dat geldt voor alle relatief jonge en zich snel ontwikkelende vakgebieden. Een vergelijking met oude, sinds lang gevestigde disciplines en hun in vroeger tijden gevormde eerbiedwaardige instituties met bijbehorende tijdschriften is dan ook misplaatst.

Er bestaat overigens gerede twijfel of publicaties überhaupt wel een geschikt instrument zijn om onderzoek te beoordelen en te sturen, zoals Lootsma verder opmerkt. Het Centrum voor Wetenschaps- en Technologie-Studies in Leiden heeft berekend welk percentage van de artikelen binnen 5 jaar na verschijnen niet geciteerd is door anderen dan de auteur(s) zelf. Dat is voor de natuurwetenschappen 47% en voor de technische wetenschappen 35%[9]. Het percentage artikelen dat zelden of nooit geciteerd wordt is vermoedelijk zeer hoog; er wordt wel een getal van 90% genoemd.

Soortgelijke problemen met het beoordelen van kwaliteit doen zich voor bij het benoemen van nieuwe hoogleraren. Zichtbare en telbare kwaliteitskenmerken kunnen en mogen geen hoge drempel voor een keuze zijn. Bekwame ingenieurs, die bereid zijn om vanuit de beroepspraktijk over te stappen naar de universiteit, worden op deze manier onredelijk benadeeld, zeer tot schade van de universiteit en haar opleidingen. De ingenieursrichtingen van een technische universiteit moeten juist de schakel zijn tussen fundamentele en toegepaste wetenschap enerzijds en onze samenleving anderzijds. Er zou dan ook meer op het oordeel van een breed samengestelde benoemingscommissie moeten worden vertrouwd, die zich

tenslotte baseert op een zorgvuldige procedure en zgn. 'peer review', ondersteund door onafhankelijk referenties van buiten de universiteit.

De TU Delft als researchuniversiteit

Het andere punt van zorg betreft de afkondiging dat de TU Delft een researchuniversiteit zou moeten worden met onderzoek als primaire taak. Dat onderzoek zou zelfs fundamenteel-technologisch gericht moeten zijn. Onderwijs komt op de tweede plaats en zou in de MSc-fase een afgeleide van het onderzoek moeten zijn. Ook ik ben uiteraard voorstander van goed onderzoek. De stelling in de nieuwe strategienota[10] van het College van Bestuur, dat *"excellent onderzoek de sleutel voor excellent onderwijs is en de inhoud en het niveau van de studie in hoge mate bepaalt"* is echter uit de lucht gegrepen en in strijd met het wezen van een universiteit.

In zijn onlangs gehouden afscheidsrede[11] gaat collega Vogelesang ook op dit punt in. Hij stelt dat de integratie van universitair onderwijs met onderzoek en ontwikkeling het belangrijkste resultaat van zijn universitaire loopbaan is[12]. In het onderzoek onderscheidt hij 'science-oriented research' en 'object-oriented research'. Ik denk dat ik dat mag vertalen als respectievelijk fundamenteel en toegepast onderzoek; waarbij het laatste misschien zelfs wel ontwikkelingswerk genoemd kan worden. Hij introduceert dan de 'academische werkvloer' als een concept, waar beide vormen van onderzoek én onderwijs bij elkaar komen om de beste resultaten te bereiken. In zijn geval gaat dat in de meest letterlijke zin op, omdat zijn werk zich voor een belangrijk deel in zijn laboratorium afspeelt. Het concept 'academische werkvloer' laat zich echter gemakkelijk veralgemeniseren naar omstandigheden die meer specifiek op verschillende situaties van toepassing zijn.

Ik ben het volkomen met hem eens. Het onderscheid tussen fundamenteel en toegepast onderzoek is in vele gevallen nogal vaag, vooral in de context van een technische universiteit. Er is heel weinig werkelijk nieuws onder de zon. Het nieuwe ligt juist vaak besloten in wat er met een bepaald idee of een bepaald verschijnsel kan worden gedaan; in de toepassing dus. Of daarop nu een etiket fundamenteel onderzoek, toegepast onderzoek of ontwikkelingswerk wordt geplakt is naar mijn mening volstrekt onbelangrijk. Het is een glijdende schaal, waarop de positie alleen door subjectieve inschatting is aan te geven. Technologie is volgens een gangbare opvatting naar de Amerikaanse econoom John Kenneth Galbraith de 'toepassing van natuurwetenschap of andere georganiseerde kennis voor praktische doeleinden'[13]. Daar draait het bij een technische universiteit bij uitstek om. En om dat doel te bereiken horen 'research and development' onverbrekelijk bij elkaar.

Aan een universiteit dient onderwijs als een volstrekt legitieme en gelijkwaardige activiteit naast onderzoek te staan. Natuurlijk zal dat onderzoek het onderwijs ondersteunen en natuurlijk moeten de resultaten in het onderwijs verwerkt worden. Maar het mag niet omgekeerd worden: dat onderwijs alleen maar de moeite waard is als het van de frontlijn van het onderzoek wordt afgeleid. Het is ook onzinnig om te stellen, zoals soms gedaan wordt, dat de beste onderzoekers tevens de beste docenten zijn. De kwaliteit van een docent wordt meer bepaald door zijn persoonlijke eigenschappen dan door zijn onderzoeksbekwaamheid.

Waarom zouden we verder willen ontkennen dat het opleiden tot bepaalde beroepen *ook* een taak van de universiteit is? Ze wordt daarmee helemaal niet gelijkgeschakeld met het hoger beroepsonderwijs. Die staan als twee complementaire instituten naast elkaar. Het onderscheid ligt in het aanleren van een academische attitude, dat wil zeggen (en ik citeer uit 'Samen een stap verder', het rapport voor de curriculumherziening van de opleiding Civiele Techniek[14]) van: *"een innerlijke houding tegenover bepaalde ervaringsfeiten die kan worden verkregen door academische vorming, ... en die de afgestudeerde in staat stelt vraagstukken in en rond zijn vakgebied en professie met behulp van wetenschappelijke methoden te analyseren, waarbij hij blijk geeft van gevoeligheid voor fundamentele achtergronden en de culturele en maatschappelijke context."* Het opleiden tot een beroep is ook bepaald geen kenmerk van een technische universiteit. Aan algemene universiteiten worden eveneens beroepsbeoefenaren opgeleid. Denk maar aan de medische, juridische en economische studies. Het is zelfs een historisch gegeven dat de universiteiten in Italië ontstaan zijn als opleidingsinstituten voor de geneeskunde en voor beroepen die nodig waren voor het stadsbestuur[15].

Er is nog een andere overweging die in dit verband belangrijk is. Hoogwaardig onderzoek kan niet worden afgedwongen; het ontstaat niet als gevolg van een genomen strategische beslissing. Het groeit langzaam en op geheel natuurlijke wijze als de omstandigheden daarvoor gunstig zijn. Dan denk ik met name aan het samenkomen van de juiste mensen, goede faciliteiten en een goed sociaal en geestelijk klimaat. Toevallige factoren spelen ook vaak een opvallende en niet geringe rol. Goed onderzoek kan natuurlijk op termijn wel worden bevorderd door faciliterend beleid; door de juiste omstandigheden te scheppen waarin zulk onderzoek kan opbloeien.

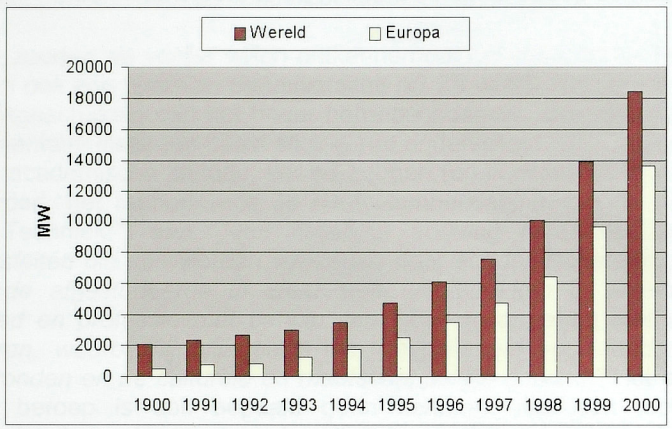
Het belangrijkste product van de TU Delft is zijn ingenieurs; die moeten de potentie die in allerlei ontwikkelingen besloten ligt tenslotte waar maken. De goede naam van Delft is dan ook vooral te danken aan de ingenieurs

die zij aflevert. Die ingenieurs zijn op allerlei terreinen werkzaam en leveren een belangrijke bijdrage aan welvaart en welzijn van onze samenleving. Om hierin te blijven voorzien en die situatie zo mogelijk nog te verbeteren, zijn ingenieurs hard nodig. Ondanks Europeanisering en globalisering doel ik dan op in Nederland opgeleide ingenieurs, waaronder zeker ook onze eigen Delftse ingenieurs. Ik doe daarom een dringend beroep op het bestuur van deze universiteit om de beslissing om van Delft een researchuniversiteit te maken nog eens goed te heroverwegen. Het doet afbreuk aan de goede dingen die ook in de strategienota staan.

Windenergie

Inleiding

In het derde en laatste deel van mijn drieluik wil ik het met u hebben over windenergie, en dan windenergie op zee in het bijzonder. Op wereld- en Europees niveau gaat het heel goed met windenergie, zoals de ontwikkeling van het geïnstalleerde vermogen in de afgelopen 10 jaar duidelijk laat zien (figuur 8).



Figuur 8: Geïnstalleerd windvermogen in de wereld en in Europa

Nederland blijft daar helaas sterk bij achter, ook bij zijn eigen beleidsplannen en nationale doelstellingen, wat vooral veroorzaakt wordt door de trage besluitvorming. Het totale windvermogen in Nederland is thans slechts 475 MW. Twee kleine parken staan in het water van het IJsselmeer. Het eerste, het Lely windpark bij Medemblik (figuur 9[16]), werd in 1994 geplaatst in ca. 5 m waterdiepte en bestaat uit 4 NedWind turbines van 500 kW. Het tweede staat sinds 1996 aan de voet van de dijk bij Dronten in 4 m water en bestaat uit 28 Nordtank turbines van 600 kW. Tezamen is dat 18.8 MW, wat minder dan 4% van het totale Nederlandse windvermogen is. De aanbesteding van het zgn. Near Shore Windpark van 100 MW voor de kust bij Egmond wordt dit najaar dan eindelijk verwacht. Het betreft een windpark op een afstand van ca. 10 km uit de kust in een waterdiepte van rond de 15 m. Het zal in 2003-2004 In bedrijf moeten zijn; 3 tot 4 jaar later dan oorspronkelijk voorzien.

Het is verleidelijk om nu op de technische aspecten in te gaan, die boeiend en uitdagend zijn. Maar het is passender als ik het onderwerp vanmiddag voornamelijk vanuit een maatschappelijke invalshoek benader. Om het in

Figuur 9: Het Lely windpark bij Medemblik

context te plaatsen moet ik dan beginnen met iets te zeggen over energie, energiegebruik en energievoorziening in het algemeen. Energie is van levensbelang voor u, voor mij, voor ons allemaal. Zonder energie kunnen we eigenlijk niets. De hele samenleving is er van doortrokken. Energie is de motor van onze welvaart en ons welzijn. We vinden het in onze westerse wereld echter zo gewoon dat er energie in overvloed tegen heel betaalbare prijzen voorhanden is dat we er zelden bij stilstaan dat dit helemaal niet zo vanzelfsprekend is.

Wat is energie?

Energie is een alledaagse woord maar zeker geen alledaags begrip. Ik heb er de encyclopedie maar eens op nageslagen; die zegt het volgende [17]:

> *"Een moeilijk eenvoudig te omschrijven begrip dat men zou kunnen definiëren als een niet-stoffelijk 'iets', dat in staat is verandering teweeg te brengen aan of in een stoffelijk lichaam of van de ruimte. .....*
> *Energie is een eigenschap van elk natuurkundig systeem; haar waarde hangt uitsluitend af van de toestand van het systeem, niet van de wijze waarop het in die toestand is gekomen."*

Energie bestaat in verschillende vormen zoals mechanische energie, thermische energie, chemische energie en elektrische energie. Elektrische energie is schoon, gemakkelijk te transporteren, veelzijdig in haar toepassingen en doorgaans stil in gebruik. Het is daarom een hoog gewaardeerde vorm van energie in de moderne samenleving. Elektrische energie is echter niet overal voor te gebruiken. Denkt u maar aan de transportsector met auto's, schepen en vliegtuigen, die vooral op vloeibare brandstof (d.w.z. olie) is aangewezen. Al die verschillende vormen van energie worden in verschillende eenheden uitgedrukt, maar dat zijn slechts verschillende namen voor één en hetzelfde begrip. We zullen alle energie hier uitdrukken in de moderne eenheid joule (J).

Naast energie kennen we het begrip vermogen. Vermogen is de hoeveelheid energie die geleverd of verbruikt wordt per tijdseenheid. Vermogen wordt dus uitgedrukt in joule per seconde (J/s), wat een aparte naam gekregen heeft en wel de watt (W). Energie is een systeem- of

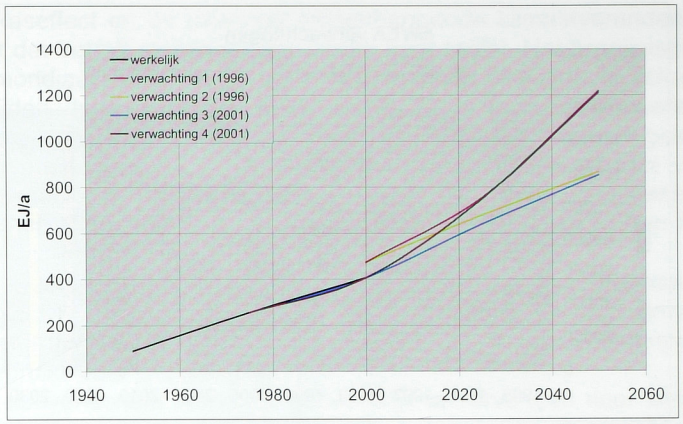
toestandsgrootheid, terwijl vermogen vooral gebruikt wordt om aan te geven wat de maximale hoeveelheid energie per tijdseenheid is die door een apparaat geleverd of verbruikt kan worden. Denkt u bij energie maar aan een hoeveelheid en bij vermogen aan capaciteit. De maximale prestatie van een windturbine wordt dan ook als vermogen opgegeven in kW of MW. Dat is geheel vergelijkbaar met het vermogen van een automotor, dat ook in kW uitgedrukt wordt. Het vermogen betekent natuurlijk niet dat de turbine of de automotor die energie ook altijd levert. De capaciteitsfactor voor windmolens ligt op ca. 25%; dat wil zeggen dat gemiddeld over een jaar ongeveer een kwart van het nominale vermogen daadwerkelijk geleverd wordt. In zijn algemeenheid wordt energiegebruik meestal niet in watt maar in joule per jaar (J/a) uitgedrukt, en omdat de getallen dan zo groot worden in veelvouden daarvan[18].

De hoeveelheid energie die is opgeslagen in de zon, de oceanen en de atmosfeer is onvoorstelbaar groot, maar op zichzelf hebben we daar niet zoveel aan. Net als de energie die verankerd ligt in een zak steenkool, een vat olie of in een stuwmeer in die vorm onbruikbaar is. Bepalend is steeds hoe we een deel van de latent aanwezige energie kunnen aftappen, hoe we die kunnen omzetten in een geschikte vorm, en hoe we die omgevormde energie vervolgens op het juiste moment op de juiste plaats kunnen krijgen om die gedeeltelijk voor onszelf te benutten.

Energiegebruik en energievoorziening

Per hoofd van de bevolking gebruiken we in Nederland ongeveer 200 miljard joule per jaar (200 GJ/a). Het gebruik in de Verenigde Staten is ca. 1.5 maal zo hoog en in ontwikkelingslanden ca. 10 maal zo laag. Alleen al door de groei van de wereldbevolking en het optrekken van het welvaartsniveau in de ontwikkelingslanden zal het wereldenergiegebruik dus sterk toenemen. In het totale energiegebruik in de wereld wordt thans voor meer dan 60% door olie en gas voorzien, en door nog eens 23% door kolen. In totaal dus voor 85% door fossiele brandstoffen. Met andere woorden, vrijwel onze hele energievoorziening is gebaseerd op koolstofverbranding. Waterkracht en kernenergie nemen elk ca. 7% voor hun rekening, en alle vormen van duurzame energie tezamen thans slechts 1%. Dit zijn mondiale cijfers; lokale cijfers kunnen daarvan natuurlijk sterk afwijken. Belangrijker dan de situatie van nu is echter de te verwachten situatie in de toekomst.

De ontwikkeling van het wereldenergiegebruik over de afgelopen 50 jaar en de verwachtingen voor de komende 50 jaar geven aan dat het energiegebruik in 2050 het dubbele tot het drievoudige van het gebruik nu zal zijn (figuur 10). De vraag hoe we over 50 jaar in deze levensbehoefte voor onze welvaart kunnen voorzien is dus heel relevant. Behalve dat we

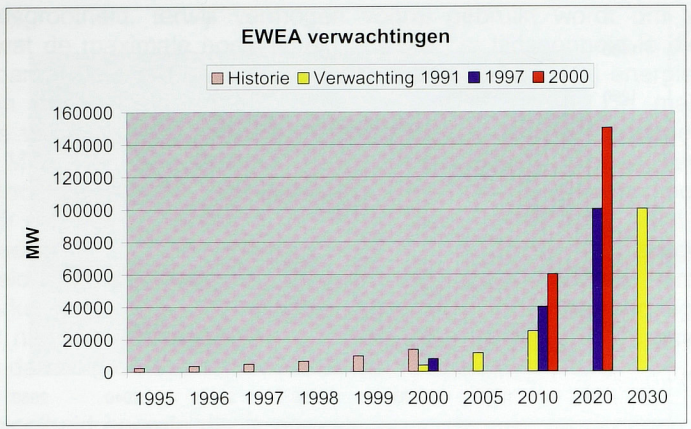


Figuur 10: Wereldenergiegebruik 1950-2000 en verwachtingen voor 2000-2050

het hoofd zullen moeten bieden aan deze sterke groei van het wereldenergiegebruik zullen we op een termijn van ca. 50 jaar ook omgeschakeld moeten hebben op één of meer andere energiebronnen. De piek van olie- en gasproductie ligt waarschijnlijk ergens tussen 2030 en 2040.

De gigantische toename van het energiegebruik sinds de industriële revolutie, en met name gedurende de 20e eeuw, is uitsluitend te danken aan de grote hoeveelheden fossiele brandstoffen; eerst steenkool, daarna olie en nu in toenemende mate aardgas. Nu moet u dit ook weer niet te dramatisch zien; er staat geen energiecrisis voor de deur. Maar feit is en blijft dat de voorraden fossiele brandstoffen eindig zijn en dat we sinds 1860, het begin van het aardolietijdperk, in een onvoorstelbaar hoog tempo bezig zijn om in ca. 200 jaar op te stoken wat de natuur in de loop van miljoenen jaren heeft gevormd. Dat vraagt toch wel om bezinning en is één van de redenen om op duurzame energie over te gaan. De tijd ontbreekt me om te beargumenteren waarom we in 2050 van kolen, waterkracht en kernenergie geen substantieel grotere bijdrage dan thans mogen verwachten.

Een doorbraak naar een energiebron als vervanging van fossiele brandstoffen is er beslist nog niet. De tijd die nodig is om optie(s) hiervoor te realiseren bedraagt tientallen jaren, ook als we ons daar ten volle voor inzetten. De beste dienst die we onszelf dan ook kunnen bewijzen is zo zuinig mogelijk met energie omgaan. Er is geen betere en goedkopere manier om tijd te winnen dan energiebesparing. Maar daarnaast maken we een fundamenteel juiste keuze door zo veel en zo snel mogelijk over te gaan op duurzame energie. Duurzame energie is eeuwigdurend. Dat geldt voor alle energie verkregen uit zon, wind, getijden, golven, en bij voldoende



Figuur 11: EWEA verwachtingen voor geïnstalleerd windvermogen in Europa (1991, 1997 en 2000)

aanplant van snel groeiende gewassen ook voor biomassa. We moeten duurzame energie echter wel in het juiste perspectief blijven zien. Op afzienbare termijn is het uitgesloten dat duurzame energie de rol van fossiele brandstoffen geheel kan overnemen. Maar ze kan wel een substantiële bijdrage leveren. Daarom moet de verdere ontwikkeling van *alle* vormen van duurzame energie krachtig worden bevorderd. Op de korte termijn, dat wil zeggen voor de komende 10 tot 25 jaar, is windenergie echter de enige vorm van duurzame energie die op economische en grote schaal met fossiele brandstoffen kan wedijveren. De European Wind Energy Association (EWEA), daarin gesteund door de Europese Unie, heeft haar verwachting gedurende deze 10 jaar al tweemaal bijgesteld. Die verwachting bedraagt thans 150 000 MW in 2020 (figuur 11). Een belangrijk deel van die groei zal offshore gerealiseerd moeten worden. Zonder iets ten nadele van andere vormen van duurzame energie te zeggen zal ik mij verder dan ook beperken tot windenergie.

Waarom windenergie?

Zoals gezegd is windenergie één van de mogelijkheden, met alle beperkingen van dien, om een toekomstig gat in de wereldenergie-voorziening te helpen opvullen. Er zijn echter meer goede redenen om windenergie te stimuleren. Ik zou die redenen en de goede eigenschappen van windenergie als volgt in zes punten willen samenvatten:

- Windenergie is duurzaam en schoon.
- Het levert een duidelijke bijdrage aan vermindering van de CO_2 uitstoot, die in belangrijke mate verantwoordelijk wordt gehouden voor het broeikaseffect en de daarmee samenhangende klimaatverandering. Er is wat dat betreft steeds minder ruimte voor twijfel. Het broeikaseffect is een mondiaal probleem dat zich niet op lokale of nationale schaal laat bestrijden. Ieder land zal daaraan zijn bijdrage moeten leveren. De reductie van de CO_2 uitstoot in Nederland als gevolg van geleverde windenergie bedroeg in 2000 ca. 1% van de totale uitstoot van de energiesector[19]. Als de plannen van de Europese Commissie voor windenergie gerealiseerd worden kan dat de uitstoot van CO_2 in Europa in 2040 met 11% verminderen[20]. Dat is toch niet gering.
- Wind is vrij en overal beschikbaar. Dat heeft twee grote voordelen: de energie kan in arme landen met eigen middelen worden ontwikkeld zonder import tegen harde valuta, en ze kan verspreid worden opgewekt en gebruikt waar dat nodig is.
- Door conventionele brandstof gedeeltelijk te vervangen door windenergie kan er op olie worden bespaard ten behoeve van de transportsector en als grondstof voor de petrochemische industrie, waarvoor nog geen alternatieven bestaan.
- Diversificatie van energiebronnen en de continuïteit van de energievoorziening zijn voor een land overwegingen van groot economisch en strategisch belang.
- Elke energielevering kost in eerste instantie energie om de benodigde installaties en fabrieken, en de middelen die nodig zijn voor de winning van de energiebron te produceren. De terugverdientijd is de tijd die nodig is om deze gebruikte energie weer terug te winnen; pas daarna wordt er een netto resultaat behaald. Voor windenergie is die terugverdientijd bijzonder kort, slechts 3 tot 6 maanden[21]. Ter vergelijking, voor de thans in Nederland toegepaste technieken voor fotofoltaïsche omzetting van zonne-energie is dat 3 tot 6 jaar[22].

Natuurlijk zijn er ook bezwaren tegen windenergie aan te voeren. Deze zijn voornamelijk emotioneel van aard, zoals horizonvervuiling en het risico voor vogels. De ervaring en alle bekende studies over vogels geven aan dat vogelsterfte door het verkeer, hoogspanningsleidingen en de jacht vele malen groter is dan door windmolens. En of iemand iets mooi of lelijk vindt, is een heel persoonlijke kwestie; daar doe ik geen uitspraak over. Meer objectieve bezwaren zijn mogelijk veiligheid en geluidsoverlast. Dit zijn aspecten die bij alle activiteiten, niet alleen industriële activiteiten, een rol spelen en op dezelfde manier en volgens de daarvoor geldende normen behandeld en beheerst kunnen worden. De economische, maar vooral ook de strategische en politieke afweging van al deze factoren zal van geval tot geval verschillen.

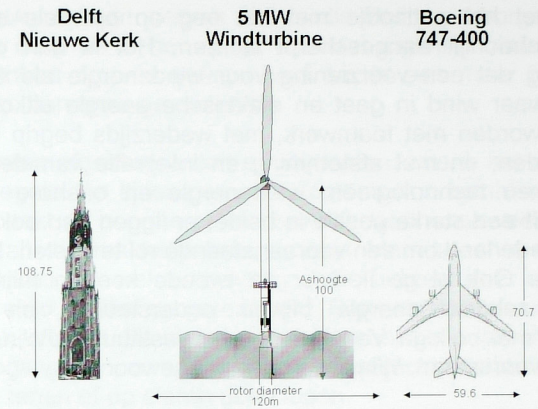
Windenergie en technologie

Windkracht wordt niet meer gebruikt om direct machines aan te drijven, zoals van oudsher het geval was. Naast het klassieke gebruik voor de polderbemaling gold dat ook voor de industriële toepassingen vanaf ca. 1600 in Nederland. De welvaart in onze Gouden Eeuw is voor een belangrijk deel te danken aan de toenmalige industrialisatie, die door windkracht mogelijk werd gemaakt. Nog in het midden van de 19e eeuw stonden er in Nederland ca. 10 000 windmolens met een totaal vermogen van 300 MW[23]. De laatste exemplaren daarvan behoren tot ons cultureel erfgoed, waar we apetrots op zijn! Het aantal moderne windmolens hier te lande is thans nog geen 1400 met een totaal vermogen van 475 MW[24]; dus een zevende van het aantal molens uit de 19e eeuw met een 60% hogere opbrengst. In de tweede helft van de 19e eeuw werd windkracht geleidelijk vervangen door fossiele brandstoffen; eerst kolen en daarna olie.

In moderne toepassing wordt windkracht gebruikt voor de opwekking van elektriciteit, die geleverd wordt aan het openbare net. Daarbij kunnen zich problemen voordoen in de vorm van toegang tot het net en de wisselvalligheid van de opbrengst van windenergie. Zoals de ervaring in andere landen echter laat zien bestaan daar goede oplossingen voor. In Denemarken levert windenergie 13% van de elektriciteitsbehoefte; in Sleeswijk-Holstein in Duitsland 16% en in Navarra in Spanje zelfs 22%. In Nederland is dat nauwelijks 1%[25]. Bij een groter aandeel dan ca. 20% moet er een oplossing gevonden worden voor de opslag van energie. Dat geldt trouwens ook voor grootschalige toepassing van zonne-energie; voor zonne-energie is er echter bovendien nog een echte doorbraak in technologie nodig om de kostprijs drastisch te verlagen.

Moderne installaties voor windenergie zijn hoog ontwikkelde systemen. Voor de klasse van 1-2 MW turbines zijn rotor diameters van 60 tot 80 m regel. Voor turbines van 3 tot 5 MW, die in ontwikkeling zijn, worden diameters van 100 tot 120 m voorzien. Denkt u zich dat eens in: een rotor met een diameter die groter is dan de hoogte van de Nieuwe Kerk op de Markt in Delft! De bladen van zulke turbines zijn groter dan de vleugels van een Boeing 747 (figuur 12).

Voor de huidige Nederlandse doelstelling van 3000 MW aan windenergie in 2020 zouden 1500 turbines van 2 MW nodig zijn. Ongeveer eens zo veel als er nu in het hele land staan. Dat is nog altijd minder dan een derde van het aantal molens dat er in de 19e eeuw stond, maar in een dichtbevolkt land als Nederland is dat natuurlijk toch niet eenvoudig. Uitwijken naar zee ligt dan ook voor de hand. Daar is bovendien het windklimaat beter en zijn de meeste minpunten nog minder bezwaarlijk ook. Voor die 1500 turbines



Figuur 12: Een windmolen van 5 MW

van 2 MW zou slechts een oppervlakte van ca. 20x20 km nodig zijn. En als de schaalvergroting naar grotere vermogens sneller doorzet nog aanzienlijk minder. Voor veel agressievere doelstellingen dan de 3000 MW van nu is er op ons Continentaal Plat dan ook meer dan voldoende ruimte.

De schaalvergroting naar grotere eenheden, de toepassing in de vorm van hele windparken als substantiële elektriciteitscentrales en de plaatsing op zee zijn nodig om verdere prijsdaling te realiseren en aan windstroom ook in zuiver economisch opzicht de voorkeur te geven. We treden met deze ontwikkelingen echter buiten het bestaande ervaringsgebied. Daar moeten we dan ook verstandig en beheerst mee omgaan. Evolutie, stapje voor stapje, verdient de voorkeur boven een letterlijke sprong in het duistere diepe. De vragen die zich voordoen zullen door onderzoek en technologieontwikkeling beantwoord moeten worden. De bijdrage van offshore technologie daarin betreft natuurlijk in de eerste plaats de ondersteuningsconstructie, alsmede de kennis en ervaring die met offshore operaties is opgedaan; dat wil zeggen met de bouw, het transport, het installeren en het offshore onderhoud. Voor de ondersteuningsconstructie zijn verschillende configuraties denkbaar en technisch uitvoerbaar. Voor de eerste offshore toepassingen zullen de monokolommen waarschijnlijk constructief en economisch het meest aantrekkelijk zijn. We praten dan wel over torens van 80 tot 100 m hoog met diameters aan de voet van 4 m of meer.

De bestaande kennis en ervaring uit offshore toepassingen voor de olie- en gasindustrie is vanzelfsprekend uiterst vruchtbaar, maar niet in alle opzichten direct toepasbaar omdat de problemen niet geheel dezelfde zijn.

Verwijzingen

1 Bron OPL; zie noot 3, p. 176.
2 Shell Deepwater Services B.V., "Delivering Shell's integrated deepwater capability"; brochure, 2000.
3 Hans Veldman en George Lagers, "50 Years Offshore"; Foundation for Offshore Studies, Delft, 1997.
4 Stichting Nederland Maritiem Land, "De Nederlandse maritieme cluster", deel 13: Economische betekenis en structuur; uitgevoerd door Policy Research Corporation N.V.; Delft University Press, 1999.
5 Ir. E.P. Heerema, directeur van Excalibur Engineering, "Het platformverwijderingsschip 'Pieter Schelte' "; voordracht voor de Afdeling voor Offshore Techniek van het KIvI op 18 september 2001.
6 Prof. dr. ir. J.H. Vugts, "In woelig water", intreerede aan de TU Delft, gehouden op 17 september 1993; ISBN 90-6275-915-7.
7 College van Bestuur, "Naar een nieuw engagement. Een strategische visie voor de TU Delft."; 1994.
8 Prof. dr. F.A. Lootsma, "Geteld, geteld, gewogen, gebroken"; afscheidsrede aan de TU Delft, gehouden op 13 oktober 2000; ISBN 90-9014217-7; p. 11 en 24/25.
9 Prof. dr. F.A. Lootsma, "Geteld, geteld, gewogen, gebroken"; afscheidsrede aan de TU Delft, gehouden op 13 oktober 2000; ISBN 90-9014217-7; p. 11 en 24.
10 "Engineering the future", strategienota TU Delft van het College van Bestuur, goedgekeurd door de Raad van Toezicht op 27 september 2001.
11 Prof. ir. L.B. Vogelesang, "The integration of academic education and research and development"; afscheidsrede aan de TU Delft, gehouden op 26 september 2001.
12 Interview met Prof. Vogelsesang in Delta 29, 27 september 2001, p. 7.
13 Van Dale, Groot Woordenboek der Nederlandse Taal; 10e uitgave, 1976.
14 Projectteam curriculumherziening Civiele Techniek, "Samen een stap verder - Stepping stones to the future"; augustus 2001; Bijlage 2.
15 Prof. Pieter de Meijer, emeritus hoogleraar Italiaanse letterkunde aan de Universiteit van Amsterdam; redactioneel commentaar in De Academische Boekengids, nummer 23, oktober 2000.
16 European Commission, "Wind Energy-The Facts", a plan for action in Europe; Luxembourg, 1999; deze publicatie van de Europese Commissie is voor hen samengesteld door de European Wind Energy Association EWEA; p. 20.
17 Grote Winkler Prins Encyclopedie; achtste druk, 1980; ISBN 90 10 023001; deel 8.
18 Veelvouden van joule per jaar (J/a) zijn een miljoen of een megajoule per jaar (1 MJ/a = 10^6 J/a), een miljard joule (een gigajoule) per jaar (1 GJ/a = 10^9 J/a), een biljoen joule (een terajoule) per jaar (1 TJ/a = 10^{12} J/a), een petajoule per jaar (1 PJ/a = 10^{15} J/a), en een triljoen joule (een exajoule) per jaar (1 EJ/a = 10^{18} J/a).
De eenheid van vermogen waarmee de capaciteit van een installatie wordt uitgedrukt is de watt (W); 1 W = 1 J/s = (365)(24)(3600) J/a = 31 536 000 J/a = 31,5 MJ/a.
19 Jos Beurskens en Gijs van Kuik, "Alles in de wind", vragen en antwoorden over windenergie; uitgave van ECN en TUD, 2001; p. 10-11.
20 Zie noot 16; p. XIII en 138-144.
21 Zie noot 16; p. XIII.
22 ECN Zonne-energie, "Twintig veelgestelde vragen over zonne-energie", oktober 2000; punt 13.
23 Prof. dr. ir. G.A.M. van Kuik, "Wind verdient beter"; intreerede aan de TU Delft, gehouden op 12 juni 1998; p.2.
24 BTM Consult ApS. "International Wind Energy Development", World Market Update 2000; ISBN 87-987788-1-1; Ringkøbing, Denemarken, maart 2001; p. 5 en 8.
25 Zie noot 19; p. 4 e.v.