

Darwin en het Internet

'The fundamental purpose of brains is to produce future'
(Paul Valéry)

Rede

In verkorte vorm uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van bijzonder hoogleraar in De Evolutie van Internet bij het Tilburg centre for Creative Computing (TiCC) van de Faculteit Geesteswetenschappen van de Universiteit van Tilburg op woensdag 9 september 2009

door

G. van Oortmerssen

Darwin en het Internet

CiP-gegevens Koninklijke Bibliotheek Den Haag

Oortmerssen, G. van

Darwin en het Internet / G. van Oortmerssen
Tilburg: Universiteit van Tilburg
Faculteit Geesteswetenschappen – TiCC
Inaugurale Rede Tilburg

ISBN: 978-90-78886-38-9

Uitgegeven door: Universiteit van Tilburg
Faculteit Geesteswetenschappen
TiCC
Postbus 90153
5000 LE Tilburg

© 2009 Het auteursrecht berust bij de schrijver

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt worden, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteur of de uitgever.

Inhoud

| | |
|---|-----------|
| Inleiding | 5 |
| De ontwikkeling van ICT | 7 |
| Geschiedenis..... | 7 |
| Toekomst..... | 10 |
| Compressie, connectiviteit en complexiteit | 15 |
| Compressie..... | 15 |
| Connectiviteit..... | 17 |
| Complexiteit..... | 20 |
| De evolutie en het Internet | 23 |
| Kennis, macht en ethiek | 29 |
| ICT-onderzoek en -onderwijs | 31 |
| Conclusie | 39 |
| Dankwoord | 41 |
| Referenties | 45 |

Mijnheer de Rector Magnificus,

*Dames en heren verbonden aan de Universiteit van Tilburg,
En voorts allen die deze plechtigheid met uw aanwezigheid hebt willen
vereren,*

Zeer gewaardeerde toehoorders!

Inleiding

Wij leven in een buitengewoon fascinerende tijd. We zitten midden in een revolutie. Een technologische revolutie die zijn invloed doet gelden op alle terreinen van het leven.

In de geschiedenis van de mensheid hebben zich eerder technologische revoluties voorgedaan die van grote invloed zijn geweest op de ontwikkeling, zoals de uitvinding van het schrift, de boekdrukkunst, de stoommachine en de elektriciteit. De meest recente revolutie is die van de Informatie- en Communicatie Technologie, kortweg ICT. De ICT-revolutie heeft een ongeëvenaarde impact op ons leven. We kunnen op ieder moment, waar we ook zijn, communiceren met vrijwel iedereen op aarde, vinden op het web in korte tijd informatie over de meest uiteenlopende onderwerpen, en rijden met onze TomTom moeiteloos naar een adres waar we nog niet eerder zijn geweest. ICT is doorgedrongen tot in alle haarvaten van onze samenleving en speelt een dominante rol in ons leven en werken. Het belang van ICT zal in de toekomst alleen maar toenemen. In de economie en bij de aanpak van de grote maatschappelijke uitdagingen op het gebied van klimaatverandering, duurzaamheid, gezondheidszorg, onderwijs, mobiliteit en veiligheid zal ICT een cruciale rol spelen. ICT heeft invloed op ons gedrag en ons sociale leven, en raakt daarmee aan het wezenlijke van ons mens-zijn.

Ik wil in het kort de geschiedenis van de ICT tot nu toe schetsen en de ontwikkelingen die ons nog te wachten staan verkennen. Ik zal vervolgens een aantal kenmerkende aspecten van de ontwikkeling bespreken en daarna een poging doen om ICT te plaatsen in het grotere

geheel van de geschiedenis van de mensheid en van de evolutie. Tot slot zal ik een aantal opmerkingen maken over onderzoek en onderwijs op het gebied van ICT.

De titel van mijn rede – Darwin en het Internet – suggereert dat ik het over het Internet zal hebben. Strikt genomen staat de term Internet voor het netwerk dat wereldwijd computers en computernetwerken met elkaar verbindt, maar in het populaire taalgebruik gebruiken we dit begrip voor veel meer: surfen op het Wereld Wijde Web bijvoorbeeld. In deze rede zal ik de term Internet breed gebruiken: voor het grotere samenhangende geheel van met elkaar verbonden computers, routers, andere op het Internet aangesloten intelligente apparaten, en voor de informatie die op het Internet beschikbaar is, het World Wide Web. Internet is daarmee het concrete product van de Informatie- en Communicatie Technologie.

De ontwikkeling van ICT

Geschiedenis

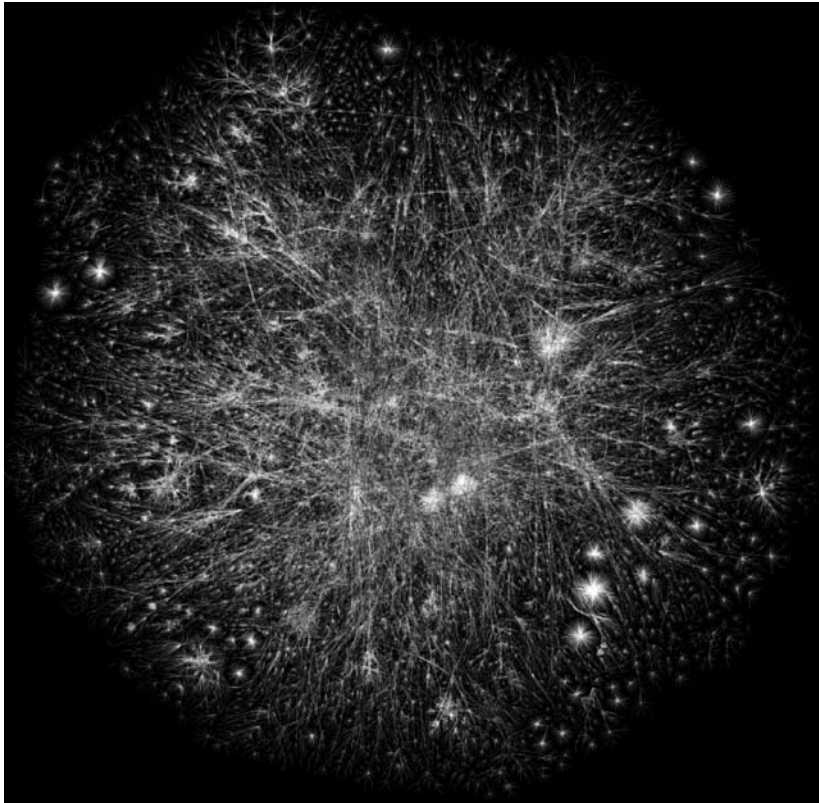
De eerste digitale computers werden direct na de tweede wereldoorlog gebouwd. In de jaren '50 en '60 van de vorige eeuw deden zogenaamde mainframes hun intrede in de wetenschappelijke wereld, bij grote bedrijven voor administratieve toepassingen of technische ontwerpberekeningen, en in het militaire domein. Mainframecomputers waren groot, vulden een flinke zaal die voorzien moest zijn van airconditioning om oververhitting te voorkomen. Er waren speciaal opgeleide operateurs nodig voor de bediening. De rekensnelheid en geheugencapaciteit van deze mastodonten was uiterst bescheiden in vergelijking met wat we tegenwoordig gewend zijn.

In de jaren '70 kwam de zogenaamde minicomputer. Ook die had nog een behoorlijke omvang, maar er was geen speciale computerzaal meer nodig. Daarmee was de minicomputer geschikt voor allerlei decentrale toepassingen, bijvoorbeeld in laboratoria. De decentralisatie zette pas goed door met de komst van de pc, de personal computer, in het begin van de jaren '80. Daarmee begon de democratisering van de ICT: de computer, die in het begin alleen toegankelijk was voor een kleine elite in de beroepspraktijk, werd bereikbaar voor de consument en kwam daarmee ook in de privésfeer. De computer werd niet alleen kleiner en goedkoper, maar ook krachtiger en kreeg meer geheugencapaciteit. Die ontwikkeling gaat nog steeds door, ik kom daar later nog op terug.

Binnen organisaties begon men naast terminals ook pc's te verbinden met de centrale computer. Er ontstonden computernetwerken waarvoor medewerkers toegang kregen tot de centrale gegevens en applicaties van de organisatie. In de Verenigde Staten ging men rond 1970 computercentra van een aantal universiteiten, die betrokken waren bij defensie-onderzoeksprogramma's, met elkaar verbinden. Dit netwerk, ARPAnet (ARPA staat voor Advance Research Program Agency), breidde zich gaandeweg uit, eerst in de VS, en daarna naar Europa. ARPAnet ontwikkelde zich uiteindelijk tot het Internet. De naam Internet komt van *internetworking*, het onderling verbinden van lokale computernetwerken. Het Internet heeft in enkele tientallen jaren een

enorme groei doorgemaakt, van aanvankelijk 4 met elkaar verbonden computers, tot 1,5 miljard in 2008.

Figuur 1 is een grafische weergave van de topologie van het Internet zoals dat er nu uitziet.



Figuur 1. Topologie van het Internet

Nederland heeft vanaf het begin vooropgelopen bij de ontwikkeling van Internet. De eerste verbinding op het vasteland van Europa met het oorspronkelijk Amerikaanse Internet, is in 1986 tot stand gekomen met het CWI (Centrum Wiskunde & Informatica). Dat heeft er uiteindelijk toe geleid dat Amsterdam een van de drukste hubs, knooppunten van het Internet is geworden (AMS-IX, de AMsterdam Internet eXchange).

Kenmerkend voor het Internet en voorwaarde voor het succes ervan, zijn de architectuur en het feit dat de informatie digitaal en met een gestandaardiseerd protocol (TCP/IP) wordt verzonden.

De architectuur heeft een gedecentraliseerde netwerktopologie waardoor het Internet flexibel en weinig kwetsbaar is. Mocht er een verbinding uitvallen, dan kan er altijd een andere route gevonden worden. Het digitale karakter van de informatie maakt het mogelijk een boodschap in stukken (z.g. pakketten) te hakken, die stuk voor stuk verzonden worden. De pakketten kunnen via verschillende routes reizen, op de bestemming worden ze weer in de juiste volgorde samengevoegd.

De ontwikkeling van Internet sinds de jaren '70 betreft niet alleen het aantal aansluitingen, ook de snelheid van informatietransport neemt voortdurend toe. Naast vaste aansluitingen kwam er ook draadloze toegang tot Internet.

Internet werd in het begin bijna uitsluitend in het militaire domein en in de wetenschappelijke wereld gebruikt, voor email en het onderling uitwisselen van informatie. De grote doorbraak en democratisering van Internet begon in 1994, nadat Tim Berners Lee bij CERN het World Wide Web had ontwikkeld. Via het protocol dat hij bedacht werd het mogelijk om met een simpele muisklik toegang te krijgen tot informatie (een webpagina) die op een willekeurige, op het Internet aangesloten computer opgeslagen is. Evenals het Internet zelf groeit de hoeveelheid informatie die via het World Wide Web beschikbaar is met grote snelheid. Op dit moment zijn er al meer dan een biljoen (10^{12}) webpagina's.

Het Internet heeft inderdaad voor een ongekennde democratisering gezorgd. Iedereen kan niet alleen toegang krijgen tot op het web aanwezige informatie, het is ook mogelijk om zelf informatie op het web te plaatsen. Iemand kan een videoclip van zichzelf op YouTube zetten en binnen korte tijd wereldberoemd worden. Ongetwijfeld speelt het feit dat het gebruik over het algemeen gratis is een belangrijke rol in het succes van Internet.

In dezelfde jaren dat het Internet en het World Wide Web aan hun opmars begonnen, vond een andere, evenzeer fascinerende ontwik-

keling plaats, die van de mobiele telefoon. Midden jaren '90 was de GSM nog een bijzonderheid voor een beperkte groep zakelijke gebruikers, enkele jaren later was de mobiele telefoon bereikbaar voor alle consumenten. Op dit moment zijn er in Nederland 20 miljoen mobiele telefoonaansluitingen, meer dan 1 per persoon dus. Wereldwijd worden er meer dan een miljard mobiele toestellen verkocht per jaar. Inmiddels maakt meer dan de helft van de wereldbevolking gebruik van de mobiele telefoon. Ook bij deze stormachtige ontwikkeling was de digitalisering van de technologie een belangrijke factor. Was de mobiele telefoon oorspronkelijk bedoeld voor spraakverkeer, inmiddels is het een alleskunner. Veel mobiele telefoons geven toegang tot het Internet, en ontsluiten daarmee alle mogelijkheden van email en web. Ook zijn er mobieltjes met GPS die helpen navigeren en informatie verschaffen over de specifieke locatie waar u zich bevindt.

Het samengaan van mobiele telefoon en Internettoepassingen is een illustratie van een andere ontwikkeling, die van convergentie. De verschillende toepassingen en netwerken voor informatie en communicatie, zoals Internet, telefoon, radio en televisie worden langzamerhand allemaal volledig digitaal en maken allemaal gebruik van dezelfde technologie, het Internet Protocol. Daarmee ontstaat er één allesomvattend en geïntegreerd netwerk voor alle toepassingen. De convergentie in de technologie leidt ook tot convergentie in diensten. Coolen (1998) wees al in 1998 op deze ontwikkeling.

Toekomst

De toekomst voorspellen is een hachelijke zaak. Wie had de snelle ontwikkeling van Internet en mobiele telefoon en de geweldige impact die dat op onze samenleving heeft kunnen voorzien? Toch kunnen we over een aantal ontwikkelingen wel uitspraken doen, zoals ik hoop duidelijk te maken.

Om te beginnen zal de kracht en snelheid van processoren, de chips die het hart van de computer vormen, nog een aantal jaren met enorme snelheid blijven groeien. Daarmee gepaard gaat een voortdurende prijsdaling, waardoor intelligentie in steeds meer apparaten wordt ingebouwd. Op dit moment bevat iedere TV, iedere auto al vele com-

puters en een zeer grote hoeveelheid *software (embedded systems)*. In de toekomst worden meer en meer apparaten op deze manier van intelligentie voorzien. Ook de geheugenopslagcapaciteit volgt deze ontwikkeling. We ervaren dat bijvoorbeeld als we een geheugenkaart voor de digitale camera kopen: voor dezelfde prijs krijgt u nu veel meer capaciteit dan een jaar geleden.

De snelheid van het datatransport zal verder groeien. Het traditionele vaste telecomnetwerk wordt langzamerhand geheel vervangen door glasvezel en bij draadloze communicatie zullen nieuwe technieken zoals *Long Term Evolution* en *Wimax* de transportcapaciteit, ook wel bandbreedte genoemd, aanzienlijk vergroten. Mobiel Internet wordt ook echt mobiel, in die zin dat we er ook gebruik van kunnen maken als we ons met hoge snelheid in de trein of het vliegtuig verplaatsen.

Een van de belangrijkste ontwikkelingen is de verdere groei van het Internet. Het blijkt dat het aantal knooppunten, *nodes*, tot nu toe elke 5 jaar verdubbelt. U zult zich misschien afvragen of het realistisch is te verwachten dat die groei doorzet, zodat binnen afzienbare tijd het aantal aangesloten apparaten groter zal zijn dan het aantal mensen op aarde. Ja, dat is realistisch, want niet alleen computers, maar ook mobiele telefoons (die inmiddels ook al kleine computers zijn), de TomTom, en vele andere apparaten worden in toenemende mate met het Internet verbonden.

De wijze waarop het Internet groeit bepaalt ook in hoge mate de structuur en karakter van het Internet. Hoewel door mensen gemaakt, ligt er geen ontwerp aan het totale Internet ten grondslag. Iedereen kan apparaten aansluiten, de groei is organisch en niet gecontroleerd. Het Internet organiseert zichzelf.

Een belangrijke en ingrijpende nieuwe ontwikkeling is het koppelen van sensoren aan het Internet: videocamera's, sensoren voor het bepalen van plaats en beweging, temperatuur, geluid, druk, enz. Al die sensoren leveren informatie over de actuele toestand van onze wereld. Een mooi voorbeeld is buienradar.nl, waarop u kunt zien waar het in

Nederland regent. Handig als we een dagje naar het strand willen, maar dit soort informatie is natuurlijk ook uiterst waardevol voor het plannen en besturen van allerlei economische activiteiten, zoals de landbouw.

Sensoren die aan het Internet gekoppeld zijn maken het mogelijk allerlei processen te bewaken en te beheersen. Een voorbeeld van een toepassing is dijkbewaking. Sensoren in een dijk zijn via een draadloos netwerk op Internet aangesloten en maken het mogelijk de toestand van de dijk continu op afstand te bewaken. In Nederland worden hier al proeven mee gedaan (het IJkdijk-project).

Sensoren kunnen ook gekoppeld worden aan regelsystemen en actuatoren zodat allerlei processen automatisch bestuurd kunnen worden. De sensoren in de dijk kunnen bijvoorbeeld aan een controlesysteem gekoppeld zijn dat de hele waterhuishouding in Nederland regelt en indien nodig waterkeringen zoals de Oosterscheldedam automatisch via Internet sluit. In de toekomst kunnen auto's met elkaar via Internet communiceren en hun rijgedrag automatisch aan elkaar aanpassen voor een optimale doorstroming op de snelweg en het verminderen van aanrijdingen.

De digitale informatie die tot nu toe voornamelijk door mensen is ingevoerd in het World Wide Web zal in de toekomst worden aangevuld met informatie die automatisch en continu door sensoren wordt aangeleverd. Daarmee ontstaat een digitaal beeld van onze werkelijkheid dat elk moment aan de actuele situatie wordt aangepast.

De totale hoeveelheid informatie op het Internet zal daardoor exponentieel blijven toenemen.

Naast sensoren zullen *RFID-tags* op grote schaal worden toegepast. RFID staat voor Radio Frequency IDentification. Een goedkope en relatief simpele chip kan op allerlei artikelen worden geplakt en geeft daarmee de mogelijkheid om via sensoren radiografisch de locatie van die artikelen te volgen. De chip kan ook een hoeveelheid informatie over het betreffende object bevatten. Op die manier is alles in de toekomst vindbaar en kenbaar.

Doordat de apparaten die we bij ons dragen, zoals de mobiele telefoon of PDA (*Personal Digital Assistant*) via GPS (*Global Positioning*

System) weten waar we ons bevinden, kan er specifieke en relevante informatie aan ons worden doorgegeven. Bijvoorbeeld over winkels, restaurants of wetenswaardigheden over de betreffende plek, of wie van onze vrienden en bekenden toevallig in de buurt zijn en waar ze zich precies bevinden. Dit soort nieuwe dienstverlening noemt men wel *context awareness*.

De exponentiële groei van de beschikbare informatie roept nieuwe vragen en uitdagingen op. Hoe zorgen we voor wat we informatiehygiëne zouden kunnen noemen? Er is veel informatie op het web die niet meer juist is, en tegelijkertijd kan er informatie die historische waarde heeft verdwijnen. Hoe beheersen we als persoon de informatie die over onszelf te vinden is op het web? Hoe vinden we in de overvloed aan informatie dat wat voor ons interessant is? Zoekmachines worden steeds geavanceerder, en er wordt ook hard gewerkt aan wat men het semantisch web noemt. In het semantische web worden zoekmachines als Google nog intelligenter, doordat er meer op de betekenis van termen gezocht kan worden, d.w.z. in de context en niet alleen op het voorkomen ervan op een webpagina. Het vereist dat informatie op het web voorzien is van zogenaamde meta-informatie, die aangeeft wat de aard van de informatie is.

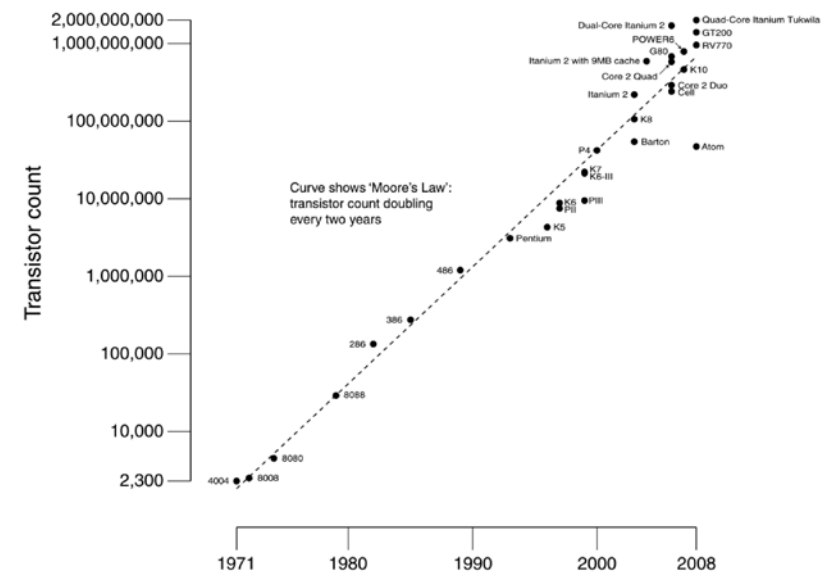
Compressie, connectiviteit en complexiteit

Wanneer we de ontwikkeling van de ICT tot nu toe analyseren, dan zijn er drie begrippen die voortdurend een belangrijke rol spelen: compressie, connectiviteit en complexiteit.

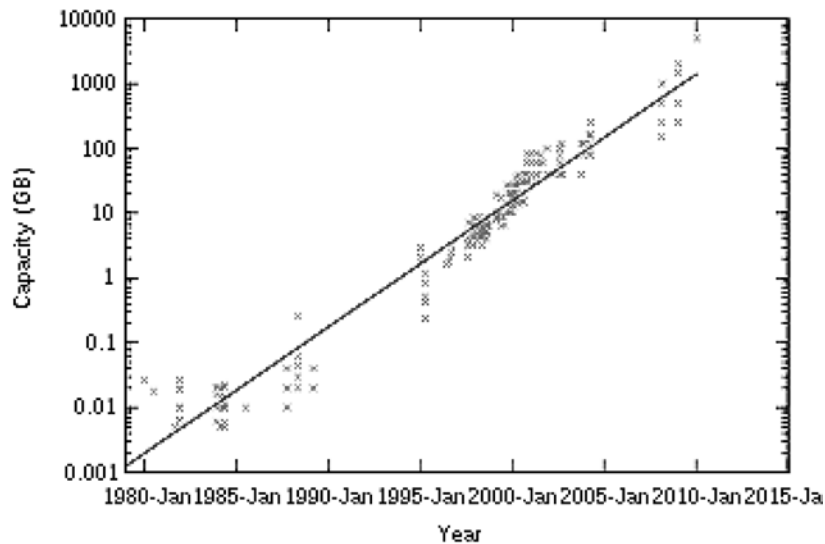
Compressie

In 1965 formuleerde Gordon Moore, een van de oprichters van de computerchipfabrikant Intel, een wetmatigheid die sindsdien bekend staat als de wet van Moore. Die stelt dat het aantal transistoren op een geïntegreerd circuit, een chip, ongeveer iedere anderhalf jaar verdubbelt. Figuur 2 geeft een grafische weergave van de wet van Moore. Merk op dat de verticale schaal logaritmisch is. Het verband tussen tijd en aantal transistoren is dus niet lineair, maar exponentieel: de toename versnelt.

CPU Transistor Counts 1971-2008 & Moore's Law



Figuur 2. De wet van Moore



Figuur 3. Groei van de opslagcapaciteit van harde schijven

De toename van het aantal transistoren op een chip is mogelijk door miniaturisering. De afmetingen van transistoren worden steeds kleiner: de lengteschaal wordt gecomprimeerd. Een groter aantal transistoren en kleinere onderlinge afstanden betekent ook een grotere reken-snelheid. De wet van Moore vertaalt zich dus niet alleen in het comprimeren van de ruimte, maar ook van de tijdschaal. Niet alleen de snelheid en daarmee de prestatie van processoren neemt toe, ook de geheugencapaciteit volgt ongeveer de wet van Moore. Figuur 3 geeft als voorbeeld de groei van de opslagcapaciteit van harde schijven. En dat alles voor dezelfde kosten. Per euro krijgt u dus over anderhalf jaar tweemaal zoveel rekencapaciteit, tweemaal zoveel geheugen, en tweemaal zoveel pixels in uw digitale camera als vandaag.

De ontwikkeling van hardware volgt al ruim 40 jaar de wet van Moore, en dat zal nog wel even doorgaan. Maar niet heel lang, want er zijn fysieke grenzen aan de miniaturisering. Het is evident dat transistoren niet kleiner kunnen worden dan moleculen. Oplossingen hiervoor zijn het 'stapelen' van chips en het gebruik van multicore processors. We zien dus dat de ontwikkeling van de ICT mogelijk is door het

comprimeren van de lengte- en de tijdschaal. Maar *toepassing* van de moderne ICT leidt op zich ook weer tot compressie van ruimte en tijd. Afstanden kunnen we moeiteloos overbruggen. In de oudheid was de wereld van de mens zeer beperkt. Door gemotoriseerd vervoer, met name straalvliegtuigen, konden grote afstanden in relatief korte tijd worden overbrugd. Maar met moderne ICT kunnen we instantaan communiceren met alle plaatsen op aarde. Afstanden betekenen niet veel meer, de lengteschaal is samengeperst. Hetzelfde geldt voor de tijd. Met het vastleggen van informatie wordt de geschiedenis vollediger gedocumenteerd, terwijl moderne computersimulaties het ons mogelijk maken om verder en beter vooruit te kijken en bijvoorbeeld te voorspellen hoe ons klimaat zal veranderen.

Connectiviteit

Wanneer we een aantal elementen met elkaar verbinden tot een groter geheel ontstaat er een netwerk. Netwerken zijn overal om ons heen. De moleculen die met elkaar reageren in een levende cel vormen een netwerk. Maar ook een biologisch ecosysteem is een netwerk, en onze economie. En ieder van ons maakt deel uit van sociale netwerken.

ICT is de technologie die verbindingen maakt. Verbindingen tussen computers, maar ook verbindingen tussen mensen onderling, en tussen mensen en informatie.

De oorspronkelijke motivatie om computers met elkaar te verbinden was om efficiënter gebruik te maken van de dure rekencapaciteit. In de eerste fase is Internet echter vooral gebruikt voor email en uitwisselen van informatie. Tegenwoordig wordt het delen van computer-capaciteit weer steeds belangrijker. Voor bepaalde soorten geavanceerd wetenschappelijk rekenwerk wordt steeds meer gebruik gemaakt van *grid computing*, waarbij een groot aantal computers op verschillende locaties gekoppeld worden en als één geheel de berekeningen uitvoeren. Het meest extreme voorbeeld hiervan is het project *Seti@home*. De niet-gebruikte capaciteit van pc's over de hele wereld wordt via Internet ingezet om data van radiotelescopen te analyseren, met als doel buitenaardse intelligentie op te sporen. Iedereen kan hier op vrijwillige basis aan meedoen. Op dit moment zijn er drie miljoen computers bij dit project betrokken. Ook de industrie volgt deze trend.

Men spreekt dan van *cloud-computing*. We gebruiken steeds vaker software die niet op onze eigen computer draait maar elders, zonder dat we weten waar. Bij informatie is dat al zo. We hebben toegang tot webpagina's die 'ergens' beschikbaar zijn.

De verbindingen die Internet legt zijn zo krachtig dat het netwerk en alle daarop aangesloten apparatuur langzamerhand één groot, samenhangend geheel vormen. Er wordt nu al gezegd: het netwerk is de computer.

Binnen Internet kunnen we een gelaagdheid waarnemen. Allereerst hebben we het eigenlijke Internet, de fysieke netwerkstructuur die met glasvezel, koperdraad of radiogolven computers en *routers* met elkaar verbindt. Daarbovenop hebben we het World Wide Web, de informatie. Ook dat vormt een netwerk, van webpagina's die via *hyperlinks* met elkaar zijn verbonden. Hoewel vaak met elkaar verward of vereenzelvigd, zijn Internet en World Wide Web verschillende netwerken. Bovenop het World Wide Web kunnen we het netwerk van mensen, via Internet met elkaar verbonden, onderscheiden. Dat sociale netwerk wordt overigens niet alleen gefaciliteerd, maar ook meer en meer gevormd en beïnvloed door Internet. We spreken tegenwoordig wel over Web 2.0 om de sterke verwevenheid tussen Internet en sociale netwerken, en de nieuwe applicaties die daarop inspelen, aan te duiden. Een voorbeeld van een snel opkomende Web 2.0 dienst is Twitter. Via Twitter kunnen we met bekenden korte berichten uitwisselen, bijvoorbeeld over wat we op een bepaald moment aan het doen zijn. Op het eerste gezicht niet erg interessant, maar recent hebben we voorbeelden kunnen zien van de kracht van deze dienst. Barack Obama heeft zeer effectief van Twitter gebruik gemaakt tijdens zijn verkiezingscampagne, en na de presidentsverkiezingen in Iran was Twitter hét middel om demonstraties te organiseren of met de buitenwereld te communiceren. Via Twitter blijven we continu op de hoogte van activiteiten van mensen waarmee we op een of andere manier verbonden zijn, en zo kan een sociaal bewustzijn ontstaan.

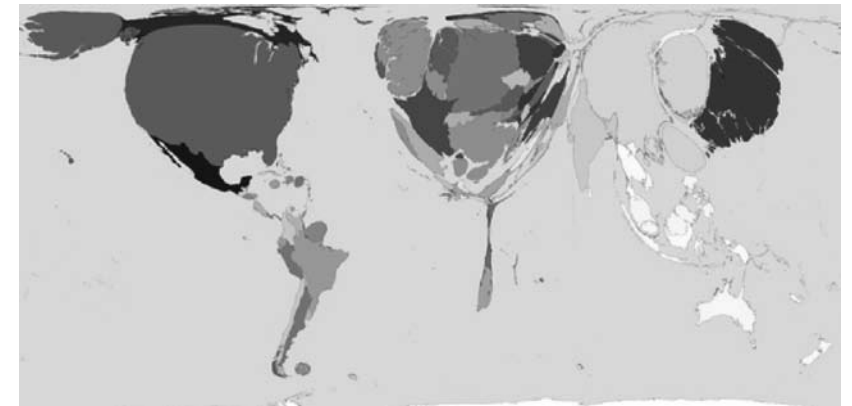
De opkomst van Internet heeft de wetenschappelijke belangstelling voor netwerken sterk gestimuleerd. Fascinerend is dat veel netwerken in natuur en maatschappij zich op eenzelfde manier gedragen als

Internet, zie bijvoorbeeld Barabasi (2002) en Baken et al. (2007).

Belangrijke eigenschappen van Internet en web zijn:

- het netwerk groeit en evolueert;
- in het netwerk bevindt zich een aantal *hubs*, knooppunten met een groot aantal verbindingen, die voor de samenhang zorgen;
- het netwerk heeft een grote mate van robuustheid, er kunnen knopen en verbindingen uitvallen zonder dat de werking van het geheel in gevaar komt.

Wij zijn in korte tijd gewend geraakt aan Internet. We vinden het vanzelfsprekend dat we over vrijwel elk onderwerp informatie kunnen vinden via Wikipedia of een zoekmachine. Googelen is inmiddels een werkwoord dat in de Van Dale is opgenomen. Velen van ons emailen dagelijks met mensen over de hele wereld. Daarom is het goed om erop te wijzen dat deze vanzelfsprekendheid nog niet overal op aarde geldt. De website worldmapper.org bevat een collectie wereldkaarten, waar gebieden in grootte worden aangepast op basis van een gekozen grootheid. Figuur 4 geeft de wereldkaart voor het aantal internetgebruikers.



Figuur 4. Wereldwijde verdeling van Internet gebruikers

Wat direct opvalt is dat het continent Afrika vrijwel verdwenen is. Behalve in Zuid-Afrika zijn er nauwelijks Internetaansluitingen. Met name in rurale gebieden is het probleem in Afrika – naast de

armoede – de afwezigheid van infrastructuur. Neem Macha, een dorp in Zambia waar de mensen voor eigen gebruik maïs verbouwen. In dit soort dorpen zien jonge mensen met ambitie geen toekomst. Zij trekken naar de grote steden, waar hen in de meeste gevallen ook een leven in armoede wacht. In 2003 is er in Macha een bijzonder project gestart. Via een satellietverbinding is het dorp toen aangesloten op Internet. In het dorp zelf is een draadloos netwerk aangelegd door lokale mensen, die hiervoor een training hebben gekregen en er is een coöperatie opgericht, Linknet, die eigenaar en beheerder van het netwerk is. De effecten van de beschikbaarheid van Internet in Macha zijn buitengewoon groot (Matthee et al. 2007). Een belangrijke gebruiker is het lokale zendingshospitaal, dat nu veel effectiever malaria en AIDS kan bestrijden. De lokale bevolking gebruikt Internet om te communiceren met familieleden en vrienden en om informatie te vinden. Ook zijn er jonge mensen die langs digitale weg studeren aan de universiteit. Een van de dorpelingen heeft via Internet uitgezocht hoe hij zonnebloemen moet verbouwen en heeft daarmee zo'n succes dat er navolging is voor deze innovatie in de landbouw. Het dorp heeft flink wat geld verdiend met een data-entry project voor een Amerikaanse organisatie. Het overall effect: het dorp ontwikkelt zich, er ontstaan nieuwe bronnen van inkomsten, er is een toekomst voor jonge mensen en er is hoop.

Momenteel wordt het Linknet-model geïmplementeerd in diverse dorpen in Zambia, waarbij Macha als opleidingscentrum fungeert. Er zijn in Afrika nog heel veel dorpen zoals Macha, waar de wereld voor de bewoners beperkt blijft tot een paar vierkante kilometer rondom hun hutje. De casus Macha leert ons hoe waardevol internetconnectiviteit is en hoe effectief om mensen meer controle over hun toekomst te geven. We leven pas echt in een *connected world* als al onze mede-wereldburgers zijn aangesloten op het Wereld Wijde Web.

Complexiteit

In de loop van de ontwikkeling is de complexiteit van ICT toegenomen. Computers zelf zijn zeer complex geworden, door de enorme toename van het aantal transistoren op chips, de omvang van programmatuur en de hoeveelheid informatie die ze bevatten. Daarnaast

zijn ze ook nog eens via netwerken met elkaar verbonden, netwerken die in zichzelf ook zeer complex zijn, zowel voor wat betreft hun architectuur als hun werking.

Bij het toepassen van ICT gaan nog veel dingen mis. Grote, complexe projecten overschrijden vaak hun budget en leveren nogal eens niet het gewenste resultaat op. En hoe vaak gebeurt het niet dat we bij een presentatie moeite hebben om de beamer aan de praat te krijgen? Alles wordt veel te complex, roepen we wel eens, en daardoor krijgt het begrip een negatieve bijklank. Maar is dat wel terecht? Er gaan toch ook zoveel dingen goed. ICT maakt ons leven in veel gevallen een stuk gemakkelijker en aangener. Een computer is veel gebruiksvriendelijker geworden dan in de beginfase. De computer werd rond 1970 nog door een speciaal opgeleide operateur bediend en die communiceerde in een soort geheimtaal met het apparaat. Gegevens en programma's werden via ponskaarten ingelezen. Vergelijk dat eens met het gemak waarmee we tegenwoordig via beeldscherm en muis met onze pc werken. Dat kan alleen dankzij het feit dat de computer complexer is geworden. Als we naar de natuur kijken constateren we dat de complexiteit van het leven, zeker bij hogere dieren en de mens, nog veel groter is dan die van het Internet. Misschien moeten we zeggen dat er nog veel dingen mis gaan in de ICT omdat de complexiteit nog niet groot genoeg is.

Taylor (2001) geeft de volgende omschrijving van complexe systemen:

- 1 een complex systeem bestaat uit vele verschillende onderdelen, die op vele manieren onderling verbonden zijn;
- 2 diverse onderdelen kunnen zowel parallel als in serie interacteren, zodat zowel gelijktijdige als volgtijdelijke gebeurtenissen kunnen plaatsvinden;
- 3 complexe systemen vertonen zelf-organisatie;
- 4 zelf-organisatie leidt tot structuren die een gevolg zijn van de interactie tussen onderdelen, maar is niet noodzakelijkerwijs reduceerbaar tot die interactie;
- 5 emergent gedrag kan gegenereerd worden door lokale interacties, maar heeft een globaal karakter;
- 6 complexe systemen zijn niet statisch maar evolueren; dat veronderstelt dat complexe systemen open en adaptief zijn;

- 7 emergentie treedt op in een kleine waarschijnlijkheidsruimte tussen orde en wanorde.

We kunnen constateren dat het Internet voldoet aan de meeste van de genoemde eigenschappen. Daarnaast wordt gesproken over emergent gedrag, een begrip waar ik in het volgende deel op terug kom.

De evolutie en het Internet

In 'The Origin of Species' toont Darwin (1859) de belangrijke rol die het mechanisme van natuurlijke selectie speelt in de evolutie van biologische soorten. Het principe van *survival of the fittest* zien we ook terug in de ontwikkeling van de ICT. Met hoge snelheid komen er voortdurend nieuwe pc's, mobiele telefoons en andere gadgets op de markt, telkens met nieuwe variaties in vormgeving en functionaliteit. De markt bepaalt welke producten overleven en zich verder ontwikkelen. We zien dat niet alleen in de ontwikkeling van hardware. Ook op het web verschijnen voortdurend nieuwe sites en zien we dat de *fittest* websites zeer snel kunnen groeien en overleven. Denkt u maar aan Google, YouTube en Twitter. Vele andere komen en gaan.

Mijn visie is dat de relatie tussen Internet en evolutie verder gaat dan alleen maar een analogie. Dat Internet, of misschien is het juister om te zeggen dat technologie (waar Internet op dit moment het voorfront van vormt) in feite een voortzetting is van de evolutie, een volgende stap in de geschiedenis van onze wereld.

Maar, kunt u tegenwerpen, voortplanting is een essentieel element bij de evolutie en technologie werkt met heel andere materialen dan moeder natuur.

Inderdaad worden computers nog steeds door mensen (met hulp van machines!) ontworpen en gemaakt, maar Von Neumann (1966) en Wiener (1948) hebben al theoretisch aangetoond dat zelfreproducerende machines mogelijk zijn. Eigenlijk zien we ook al voorbeelden van zelfreproductie binnen de ICT, denkt u maar aan de computervirussen, die zich razendsnel via het Internet kunnen verspreiden en vermenigvuldigen. En genetische algoritmen maken gebruik van computerprogramma's of agenten, die zichzelf reproduceren met variaties, zodat via selectie de best presterende exemplaren worden ontwikkeld. Dit heeft geleid tot een aparte tak in de informatica, *evolutionary computing* (zie o.a. Adami, 1998).

In het begin van de geschiedenis van het heelal waren er eenvoudige

deeltjes, die in de loop van de tijd moleculen begonnen te vormen. Moleculen werden steeds complexer, tot op een gegeven moment leven ontstond. Een grote stap was de komst van eencelligen. In de cel zijn diverse onderdelen te onderscheiden en zien we al een hoge mate van organisatie. Later komen meercellige wezens, waarin zich meerdere organen met specifieke functies ontwikkelen. In het functioneren van levende wezens, en ook in de ontwikkeling van soorten, speelt informatie een grote rol. De ontwikkeling van een zenuwstelsel bij dieren is daarom een grote stap vooruit in de evolutie. Vóór de komst van gespecialiseerde zenuwcellen vindt informatie-uitwisseling plaats via chemische processen. Moleculen dienen als boodschappers en worden via vloeistofbanen verzonden naar andere delen in het organisme. Dit is het soort informatieoverdracht dat in de cel en in planten plaats vindt (maar ook nog bij mens en dier, denk bijvoorbeeld aan hormonen).

Via een zenuwstelsel kunnen boodschappen echter langs elektrochemische weg verzonden worden, wat veel sneller gaat. Naast een zenuwstelsel ontwikkelen dieren een steeds geavanceerder stelsel van zintuigen, om beter informatie over de omgeving te krijgen en daarmee betere overlevingskansen. Het zenuwstelsel is in het begin zeer simpel. Het wormpje *C.elegans* heeft slechts zo'n 300 zenuwcellen. Maar in de loop van de evolutie neemt het aantal zenuwcellen enorm toe en ontwikkelt zich een centraal zenuwstelsel en hersenen. Dat gaat gepaard met toename van intelligentie, culminerend bij de mens in een brein met zelfbewustzijn.

De mens ontwikkelt taal en werktuigen (technologie). De mens leert en kan het geleerde overdragen. De evolutie op zich kan gezien worden als een leerproces. Darwiniaanse natuurlijke selectie is dan een leerproces van de soort, dat alleen gerealiseerd kan worden via de voortplanting van het individu, waarbij variaties optreden. Sinds de komst van de mens is ook het leren van het individu van belang geworden.

De grote lijn in de evolutie is dus een enorme toename van complexiteit: van elementaire deeltjes, moleculen, eencelligen, planten en dieren, naar mensen en sociale structuren. De evolutie gaat van simpel naar complex, en dat geeft richting aan de geschiedenis. Kenmerkend voor het proces van toenemende complexiteit is dat er op bepaalde

momenten in de ontwikkeling fundamentele veranderingen optreden. Men spreekt dan van emergent gedrag. Er wordt een kritische grens overschreden, te vergelijken met de faseovergangen in de thermodynamica: van vaste stof naar vloeistof, van vloeistof naar gas. De overgang van dode materie naar leven is zo'n faseovergang geweest. Een andere was de komst van intelligentie. De meest recente kritische grensoverschrijding is de komst van het zelfbewustzijn bij de mens.

Naast toenemende complexiteit zien we in de evolutie ook een toename van connectiviteit: overal zien we netwerken in de natuur (chemische reacties in de cel, voedselketens, zenuwstelsels, sociale netwerken) die groeien en evolueren naar grotere complexiteit. We zien ook compressie van de tijd-as: het evolutieproces versnelt naarmate de tijd vordert en de complexiteit toeneemt. Het duurde twee miljard jaar voordat er eencellig leven op de aarde verscheen. Zoogdieren ontstonden 225 miljoen jaar geleden en de mens in zijn huidige vorm is als soort slechts ongeveer 100.000 jaar oud. Doordat de mens kan leren en het geleerde overdraagt, treedt een voortdurende versnelling van de ontwikkeling op. De veranderingen binnen één generatie zijn nog nooit zo groot geweest als in onze huidige tijd.

Informatieoverdracht speelt een belangrijke rol in de biologische evolutie. Met de komst van de zenuwcel kon de snelheid van informatieoverdracht toenemen van centimeters per seconde (chemische boodschappers in bijvoorbeeld bloed) tot enkele tientallen meters per seconde. Maar met ICT wordt het mogelijk om informatie met de snelheid van het licht te transporteren, een enorme sprong voorwaarts, waarmee de evolutie als het ware in een hogere versnelling kan komen.

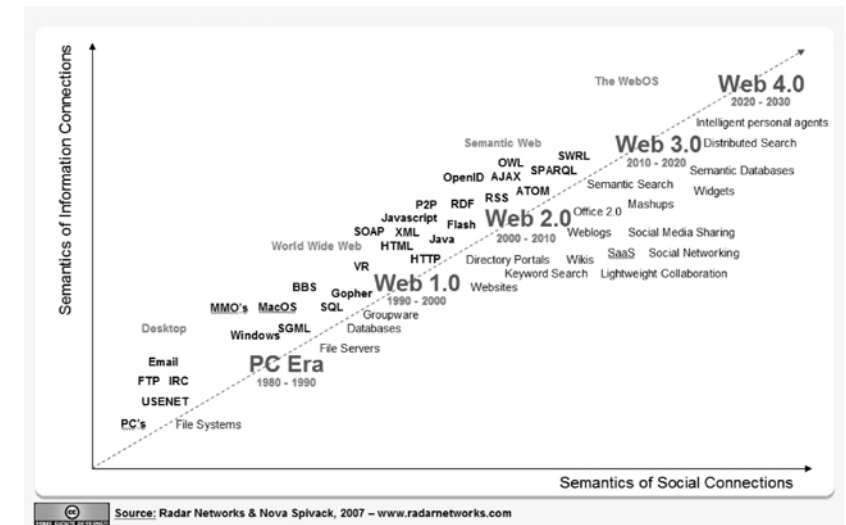
We hebben gezien dat het Internet zich ontwikkelt tot een dichtgeveven web van intelligente apparaten, een schil van intelligentie die steeds meer begint te lijken op een levend organisme, dat informatie verzamelt via eigen zintuigen en acties onderneemt op grond van die informatie. Een organisme dat groeit, leert en evolueert in een steeds hoger tempo. Naarmate de complexiteit verder toeneemt, is te verwachten dat we een nieuwe kritische grens naderen, een faseovergang, die tot nieuw, emergent gedrag leidt.

Er is al veel gespeculeerd, door sciencefictionschrijvers maar ook door wetenschappers, over de komst van bovenmenselijke intelligentie in computers. Vinge (1993) en Kurzweil (2005) voorspellen een wat zij noemen technologische singulariteit, een moment waarop superintelligente, zelfbewuste transhumane machines verschijnen. Zij voorspellen dat de singulariteit binnen enkele decennia zal plaatsvinden. Ze komen tot hun voorspelling op basis van een extrapolatie van de zich voortdurend versnellende technologische ontwikkeling (compressie, de wet van Moore). Het is natuurlijk de vraag wat deze speculaties waard zijn. Zeker is dat de complexiteit van Internet blijft toenemen. Op dit moment zijn er 1,5 miljard intelligente apparaten op het net aangesloten en dat aantal verdubbelt elke 5 jaar. Dit betekent dat binnen drie decennia het aantal intelligente knooppunten in het Internet het aantal hersencellen in het menselijk brein zal overschrijden. Het is te verwachten dat een dergelijke complexiteit tot nieuw en overwacht gedrag zal leiden, maar we kunnen niet voorspellen wat het karakter daarvan zal zijn.

Dennett (1996) wijst erop dat het gebruik van werktuigen de mens ook intelligenter heeft gemaakt. Maar met ICT-werktuigen zijn we een nieuw hoofdstuk in het boek van de evolutie ingegaan, dankzij de snelheid van het licht. De mens kan de race met de computer niet meer bijhouden. Op veel intellectuele terreinen verslaat de computer de mens nu al moeiteloos, collega's Van den Herik en Postma (2009) hebben daar recent op gewezen in hun oratie. Maar zal een computer, of zal het Internet, ooit zelf kunnen denken, voelen, willen, creativiteit en zelfbewustzijn vertonen? Voelen misschien nog wel, het Internet krijgt immers steeds meer zintuigen, maar denken? Dennett (1996) wijst erop dat intentionaliteit een wezenlijk element voor het menselijk denken is. Ondanks alle intelligentie zie ik nog geen intenties, eigen doelstellingen of levenswil in computers of in het Internet, maar evenmin ben ik er zeker van dat dergelijke eigenschappen in machines onmogelijk zijn.

Een wezenlijke vraag lijkt me die naar de relatie tussen mens en Internet, en hoe die zich de komende jaren gaat ontwikkelen. We kunnen speculeren over de ontwikkeling van intelligentie en (zelf)bewustzijn in het Internet, maar het is evenzeer interessant om te bezien wat

het Internet met de mens doet. Het is evident dat Internet of het web significante effecten op de mens heeft. Figuur 5 (Spivack,) geeft de verschillende fasen in de ontwikkeling van het web. Web 2.0 is het interactieve web, met blogs, sociale netwerken, YouTube en Twitter, dus het web zoals we dat op dit moment kennen. Web 3.0, het semantische web, is in ontwikkeling. Het semantische web geeft meer betekenis aan informatie (de verticale as in Figuur 5) maar ook aan sociale relaties die via het web onderhouden worden of tot stand komen (de horizontale as).



Figuur 5. Ontwikkelingsfasen van het web

Als er de komende decennia een kritische complexiteitsgrens wordt overschreden, zouden we van Web x.0 kunnen spreken. Maar van welk systeem zal de complexiteit maatgevend zijn? Van het systeem Internet of van het totale systeem van Internet + mensheid? Dit lijkt me relevant voor de vraag wat Web x.0 zal betekenen. Een virtueel, superintelligent zelfbewustzijn zoals voorzien door o.a. Vinge en Kurzweil, of een sociaal, collectief, humaan bewustzijn gefaciliteerd door het web en in co-existentie met het web? De laatste mogelijkheid roept het visioen van Teilhard de Chardin (1956) in herinnering, van

een noösfeer, een intelligente schil van collectief bewustzijn die de aarde omspant. Teilhard de Chardin ontwikkelde zijn visie in de dertiger jaren van de vorige eeuw, toen er nog geen zicht was op computers of Internet, hoewel zijn beschrijving van de noösfeer ook zeer wel gelezen kan worden als beeld voor het zich evoluerende Internet.

De vragen die opkomen als we nadenken over de evolutie van het Internet zijn buitengewoon belangwekkend. Misschien zijn ze ook verontrustend, maar dat zou dan een reden te meer moeten zijn om ons ermee bezig te houden.

Toen Darwin met zijn evolutietheorie kwam, riep dat veel weerstand op. De gedachte dat de mens van de aap afstamde was verontrustend, en is tot op de dag van vandaag voor sommigen moeilijk te verteren. De gedachte dat computers intelligenter zouden worden dan mensen, of nog erger, dat de evolutie zich voortzet en computers tot een hogere soort zouden leiden, is nog verontrustender. Het is echter de taak van de wetenschap om ook dit soort mogelijkheden te onderzoeken, zelfs als de uitkomst ons niet welgevallig zou zijn.

Kennis, macht en ethiek

Norbert Wiener is de grondlegger van de cybernetica, de wetenschap van communicatie en besturing in machines en levende wezens. In het boek 'God and Golem, Inc.' (1964) houdt hij een aantal beschouwingen over de maatschappelijke consequenties van de cybernetica. In het bijzonder beschouwt hij machines die kunnen leren. Zijn terminologie is wat uit de mode geraakt, maar zijn beschouwingen zijn uiterst relevant voor de moderne ICT.

Communicatie is onlosmakelijk verbonden met kennis, en besturing met macht. Waar intelligente machines ingezet worden voor besturing, is het zaak om ons te bezinnen op de menselijke doelstellingen en daarmee komen we op het terrein van de ethiek. De ontwikkeling van technologie brengt het gevaar met zich mee dat we krachten opwekken die niet meer te beheersen zijn en hun doel voorbij schieten. Een kenmerk van het menselijk brein is dat we vooruit kijken, anticiperen op de toekomst en de toekomst vormgeven (intentionaliteit). Dat doen we in toenemende mate met technologie, meestal met de beste bedoelingen. De techniek kan een zegen zijn, denk maar aan de medische technologie, maar brengt ook vrijwel altijd gevaren met zich mee. Acuut, zoals bij toepassing van nucleaire technologie in wapens, maar ook sluipend, zoals de bedreiging van klimaat en milieu. Op dit moment staan we wat dat betreft voor een gigantische uitdaging. ICT kan ons daarbij helpen, maar kent zelf ook gevaren. Als het Web x.o in de nabije toekomst de intelligentie van de mens overtreft en via talloze controletaken grote invloed op ons leven krijgt, wordt het van het allergrootste belang dat Web x.o handelt in overeenstemming met door ons gewenste waarden.

De complexiteit van veel technische vragen is dermate groot dat die voor de mens niet meer is te overzien. We hebben dan de hulp van de computer nodig om onze doelstellingen te verwezenlijken. Neem als voorbeeld duurzaamheid. Tegenwoordig is er veel aandacht voor de elektrische auto. Die is goed voor het klimaat, denken we, want schoon en geen CO₂-uitstoot. Maar is dat wel zo, als we naar

de totale keten van energieopwekking, energieoverdracht, benodigde energie voor productie, onderhoud en recycling kijken? Die hele keten is zo ingewikkeld dat het nauwelijks is te overzien. Alles hangt met elkaar samen op onze planeet. Een positieve verandering op één bepaald punt kan ongewenste negatieve effecten hebben op een heel ander gebied.

Zo ook in de ICT zelf. Bescherming van de privacy is bijvoorbeeld een waarde waar we erg aan hechten. Maar de systemen worden zo complex en met elkaar vervlochten, dat we het overzicht over de werking van de ICT en de gevolgen voor onze privacy dreigen te verliezen. We hebben dus ICT nodig om ons te helpen de complexiteit van de ICT te beheersen. Het is daarom hoog tijd dat we bij het ontwerpen en bouwen van nieuwe systemen vooraf onze waarden expliciet maken en bewaken of daaraan wordt voldaan. Waar mogelijk zullen we de computer van onze waarden 'bewust' moeten maken, ze in moeten bouwen, om te voorkomen dat er anders een impliciet en diffuus waardensysteem ontstaat waar de computer naar handelt, een systeem waar we geen controle meer op kunnen uitoefenen. Dat vraagt om een andere houding in de wereld van zowel het ICT-onderzoek als in die van het ontwerpen en bouwen van ICT-systemen.

ICT-onderzoek en -onderwijs

ICT speelt een belangrijke rol in ons leven, een rol die in de toekomst nog belangrijker zal worden. De oplossing van vele maatschappelijke problemen is ondenkbaar zonder ICT, en datzelfde geldt voor de creatie van welvaart in een kenniseconomie. Dat op zich is al voldoende reden om fors te investeren in ICT-onderzoek en -innovatie. Als we ICT en Internet zien in het licht van de evolutie, en het versnellende tempo van verandering in aanmerking nemen, dan leidt dat tot een heel andere mate van urgentie.

Wij mensen bouwen (voorlopig nog althans) aan de volgende varianten, dus is het van belang dat we ons bewust zijn van de mogelijke consequenties. ICT-onderzoek gaat niet alleen over begrijpen wat er *is*, maar vooral om te begrijpen wat er *wordt*. Begrijpen, maar ook voorspellen en anticiperen. Door onderzoek maken we de toekomst. Als we invloed op onze toekomst willen uitoefenen, moeten we *nú* onze inspanningen op het gebied van ICT-onderzoek en -innovatie aanzienlijk opvoeren, en een aantal fundamentele vragen op het gebied van complexiteit en de evolutie van netwerken adresseren. Onderzoek op deze terreinen, hoewel fundamenteel van karakter, zal op korte termijn ook tot concrete resultaten kunnen leiden.

Terwijl het belang van ICT stijgt, blijft de publieke financiering van ICT-onderzoek sterk achter, zeker in vergelijking met ons omringende landen, zoals Duitsland, Frankrijk en Finland. Daar ligt het niveau niet alleen relatief hoger, maar groeit de onderzoeksfinanciering ook sterk. In Nederland is het budget min of meer constant, zoals blijkt uit de ICT-scan van ICTRegie 'Achter het scherm' (2008). De verdeling van onderzoeksbudgetten over de verschillende disciplines is sterk historisch bepaald, en het is niet gemakkelijk om verschuivingen aan te brengen. Een relatief nieuw terrein als ICT is daardoor afhankelijk van 'nieuw' geld. In de praktijk komt dat neer op impulsfinanciering zoals vanuit het Fonds voor Economische Structuur (FES, gevoed vanuit aardgasbaten). Binnenkort loopt een aantal grote BSIK-programma's af, en het perspectief voor vervangend FES-geld is niet gunstig.

Daardoor dreigt het onderzoeksvolume zelfs drastisch te dalen. Het is daarom hoog tijd voor een koerswijziging.

Maar moet Nederland eigenlijk wel zelf investeren in dit onderzoek? Sommige mensen denken dat we ICT-onderzoek ook in het buitenland kunnen kopen. Zij zien ICT als een stuk gereedschap. Ik hoop dat ik duidelijk heb kunnen maken dat ICT meer is. ICT is verandering, is toekomst, en daar willen we toch invloed op hebben? Ik zie investeren in ICT-onderzoek als een morele plicht. Daarnaast levert het ook economisch voordeel op. Nederland heeft volop kansen. We hebben een uitstekende netwerkinfrastructuur, lopen voorop met het aantal breedbandaansluitingen en digitale vaardigheden van onze burgers, en hebben uitstekende ICT-onderzoekers. Martin Rem laat in het boek 'Tegen de stroom in' (2009) een groot aantal ICT-successen uit het recente verleden de revue passeren. Veel van die successen zijn nauwelijks bekend bij een groter publiek. Wist u bijvoorbeeld dat het succesvolle Google gebouwd is met een bij het CWI in Amsterdam ontwikkelde computertaal? Dit soort successen kunnen ons inspireren tot grote prestaties in de toekomst.

Niet alleen is het nodig dat het volume van onderzoek toeneemt, ook het karakter van het onderzoek zal veranderen, en we zien dat daar ook al een begin mee is gemaakt. De belangrijke onderzoeksvragen waar we ons mee geconfronteerd zien betreffen niet alleen technologie, maar ook terreinen als biologie, cognitie, psychologie, sociologie, rechten, en filosofie. De onderlinge samenhang van de verschillende deelterreinen wordt sterker. Dat alles vraagt om multidisciplinaire en transsectorale samenwerking (Baken, 2007).

Daarnaast is het onvermijdelijk dat we ethische vragen adresseren. Waar Internet steeds meer kennis en macht vertegenwoordigt, is het belangrijk dat we onze waarden expliciteren voordat we nieuwe systemen bouwen en toevoegen aan Internet. Als we duidelijke en gedeelde waarden als uitgangspunt nemen, komen discussies over bijvoorbeeld privacy bij invoering van een elektronisch patiënten dossier in een ander daglicht te staan. Een van de meest fascinerende en belangrijke thema's is complexi-

teit. Zowel het Masterplan ICT van het ICT-onderzoek Platform Nederland (2009) als de langetermijnonderzoeksagenda ICT2030.nl van ICTRegie (2009), identificeren complexiteit als een van de belangrijkste onderzoeksuitdagingen voor de komende jaren. Het is goed dat NWO (2008) recent een programma heeft gestart voor dit thema.

Binnen de ICT-onderzoeksgemeenschap in Nederland hoor je de laatste tijd regelmatig zeggen: 'ICT moet zichzelf opnieuw uitvinden'. ICT is een nog jong en zeer dynamisch onderzoeksterrein. Dat blijkt ook uit de naamgeving, die regelmatig is veranderd: automatisering, computer science, informatica, IT, telematica, informatiekunde,.... ICT is de meest recente benaming, maar ook die voldoet niet meer. Informatie en Communicatie blijven belangrijk, maar Technologie is dus te beperkt.

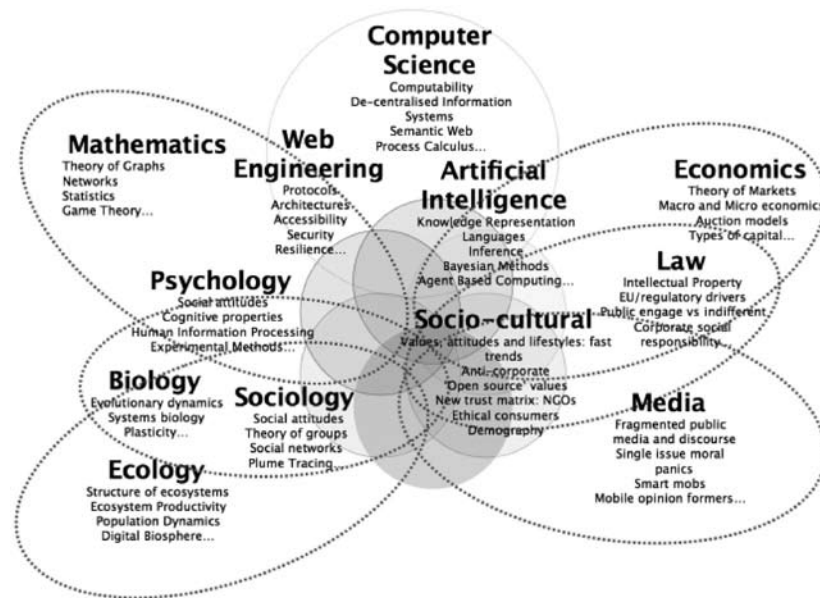
Hoe het onderzoeksterrein ook genoemd wordt, naar mijn mening moeten de komende jaren de volgende elementen deel uitmaken van het onderzoek naar de evolutie van Internet:

- *Informatie en Communicatie*: dit blijven kernbegrippen
- *Connectiviteit*: dit betreft de verbondenheid in flexibele netwerken van infrastructuur (Internet), informatie (web), sociale netwerken en organisaties
- *Transformatie*: refereert aan de bewerkingen die door processoren worden uitgevoerd op informatie
- *Complexiteit*: is een kernbegrip van het evoluerende geheel van het intelligente netwerk
- *Intentionaliteit*: geeft aan dat we de waarden die richting geven aan de evolutie niet langer buiten beschouwing kunnen laten

We zien internationaal al voorbeelden die in de geschetste richting gaan. Bijvoorbeeld het Webscience Research Institute, een samenwerking van MIT en de Universiteit van Southampton, dat zich richt op een synthese van vele disciplines (zie Figuur 6) om aan de toekomst van het World Wide Web te werken.

Uit Figuur 6 blijkt het zeer multidisciplinaire karakter van onderzoek naar de toekomst van Internet en web. Omgekeerd spelen ICT en Internet een zeer belangrijke rol in het verder brengen van alle andere

disciplines. ICT maakt het mogelijk om zeer complexe berekeningen en simulaties uit te voeren, bijvoorbeeld naar klimaatverandering. Maar ook om zeer grote databestanden met geavanceerde methoden te analyseren. Deze toepassing noemt men wel e-science. E-science leidt tot een nieuwe manier van wetenschap bedrijven en leidt tot nieuwe doorbraken, bijvoorbeeld bij het doorgronden van het genoom.



Figuur 6. Web Science Research Institute

In de praktijk is de structuur van ons universitaire stelsel niet bevorderlijk voor multidisciplinaire samenwerking. In een recent artikel in de New York Times pleit Taylor (2009), decaan van de theologiefaculteit van Columbia University, voor een grondige hervorming van de universiteiten. Vergaande specialisatie heeft geleid tot versnippering en isolement van de disciplines, terwijl we samenwerking nodig hebben om vooruitgang te boeken in de echt belangrijke problemen. Je zou kunnen zeggen dat de wetenschap de wereld heeft gedemonteerd in kleine onderdelen, waar we inmiddels heel veel van weten, terwijl

we geen idee hebben hoe we de zaak weer in elkaar moeten zetten. Taylor stelt voor om faculteiten af te schaffen. Die zouden vervangen moeten worden door niet-permanente thema's, zoals *Leven en water*, *Netwerken* en *Complexiteit*.

Daarnaast bepleit hij vergaande samenwerking van universiteiten over landsgrenzen heen, met behulp van de moderne ICT-hulpmiddelen. Universiteiten zouden niet langer moeten proberen een volledig pakket aan te bieden, maar heel goed te zijn in een aantal onderdelen, en samen met andere universiteiten een volledig thema adresseren. Zelf heeft hij dat al in de praktijk gebracht in het Global Education Network, waarin hij bijvoorbeeld samenwerkt met universiteiten in Finland en Australië. Op den duur kan er zo een wereldwijde netwerk-universiteit ontstaan.

Het initiatief van de Europese Gemeenschap tot het oprichten van een EIT, European Institute of Technology, zou zich ook in deze richting kunnen ontwikkelen, mits de invulling voldoende multidisciplinair zal zijn.

Onderzoek aan universiteiten moet goed zijn ingebed in de maatschappij. Enerzijds is interactie met de praktijk nodig om inspiratie op te doen voor nieuwe onderzoeksvragen, anderzijds moet nieuwe kennis zo snel mogelijk zijn weg naar toepassingen vinden. Dit vereist een voortdurende wisselwerking met vele partijen: bedrijven, maatschappelijke organisaties, overheden en instituten voor toegepast onderzoek. Tegenwoordig spreken we wel over het ICT-innovatie-ecosysteem. ICTRegie heeft een duidelijke visie op het belang van het tot stand brengen van dat ecosysteem neergelegd in het document ICT2030.nl (2009) en het COMICT-onderzoeksvoorstel (2009) is een eerste uitwerking van die visie.

Barabasi (2002) laat zien dat natuurlijke ecosystemen netwerken zijn die dezelfde wetmatigheden kennen als bijvoorbeeld Internet. Zo'n netwerk houdt zichzelf in stand, als het eenmaal voldoende kritische massa heeft. Het is flexibel en dynamisch. Cruciaal daarbij is het bestaan van *hubs*, knooppunten met een groot aantal verbindingen. Het ecosysteem overleeft, ook als er knooppunten of zelfs *hubs* verdwijnen. Er komen ook weer nieuwe knooppunten, het ecosysteem organiseert zichzelf.

We zien de eerste contouren van een ICT-innovatie-ecosysteem al verschijnen, waarbij de *hubs* gevormd worden door de IIP's (ICT-innovatieplatforms rond bepaalde thema's), door onderzoeksinstituten zoals TNO, CWI en Novay, en door kernen die zijn gevormd binnen de succesvolle BSIK-programma's MultimediaN, ESI en VL-e. Het COMICT project zal een belangrijke rol spelen bij het opbouwen van dit ecosysteem.

Het onderwijs op het gebied van Internet en ICT staat ook voor de nodige uitdagingen.

Om te beginnen vraagt het dynamische en multidisciplinaire karakter van het gebied om voortdurende aanpassing en innovatie.

Daarnaast moeten we constateren dat de huidige generatie studenten behoort tot de zogenaamde *digital natives*: zij zijn opgegroeid met computers en Internet en hebben vaardigheden ontwikkeld die vele docenten ontberen. Zij zijn de toekomst en wat mij betreft betekent dat ook dat studenten een actieve en participerende rol zullen kunnen en moeten spelen in het onderwijsprogramma. Daarbij zal vanzelfsprekend voortvarend gebruik worden gemaakt van de mogelijkheden die Internet als hulpmiddel biedt.

Een laatste uitdaging die ik wil noemen betreft de teleurstellende instroom van studenten. Met name de puur op techniek gerichte ICT-studies hebben onvoldoende aantrekkingskracht op jonge mensen. Nieuwe curricula die aandacht hebben voor multidisciplinaire thema's als complexiteit, de relatie tussen ICT en de werking van hersenen, de bredere maatschappelijke implicaties en ethische aspecten van ICT zullen naar mijn overtuiging de fascinatie van jonge mensen oproepen en kunnen zorgen voor de broodnodige stijging van studentenaantallen.

De evolutie van Internet is een fascinerend en uitdagend onderzoeksterrein, multidisciplinair van aard en met vele maatschappelijke implicaties. De Universiteit van Tilburg en meer in het bijzonder de Faculteit Geesteswetenschappen en het Tilburg centre for Creative Computing (TiCC) vormen de ideale omgeving om dit terrein verder te exploreren. Met mijn leerstoel wil ik mij gaan inzetten om nieuwe

wegen in te slaan en multidisciplinaire samenwerking tot stand te brengen. Ik verheug me op de toekomstige samenwerking met vele collega's in andere disciplines.

Conclusie

ICT heeft zich de afgelopen halve eeuw ontwikkeld tot een technologie die ons leven revolutionair heeft veranderd. En de ontwikkeling gaat nog steeds door, in een steeds sneller tempo. De grote revolutie staat ons nog te wachten.

Ik heb betoogd dat ICT gezien kan worden als een volgende stap in het proces van evolutie, waarbij een externe schil van intelligentie rond de aarde ontstaat, gekenmerkt door een snelheid van informatietransport die aanmerkelijk hoger is dan die in het menselijk zenuwstelsel. De evolutie wordt gekenmerkt door een steeds toenemende complexiteit. Daarbij zijn fundamenteel nieuwe verschijnselen te verwachten, waar we op dit moment nog geen duidelijke voorstelling van hebben.

In de ontwikkeling zijn twee varianten denkbaar. In de eerste variant vormt het intelligente netwerk een uitbreiding van de menselijke intelligentie, die onze kennis en macht verder vergroot, en die het ontstaan van een sociaal, collectief bewustzijn bevordert. Mens en technologie leven in symbiose.

In de tweede variant ontwikkelt de technologie zich tot een superieure nieuwe 'soort' in de terminologie van Darwin, die een eigen leven gaat leiden en de mens uiteindelijk overheerst.

Er zal aanzienlijk meer geïnvesteerd moeten worden in onderwijs en onderzoek op het gebied van ICT. Dat is gerechtvaardigd door:

- het belang voor onze samenleving en onze economie op dit moment;
- de potentie van ICT voor de economie en de grote maatschappelijke uitdagingen op het gebied van klimaat, energie, duurzaamheid, gezondheid, onderwijs, veiligheid en mobiliteit;
- de grote fundamentele vragen die de voortgaande evolutie van ICT oproept.

Het onderzoek op het gebied van ICT zal hervormd moeten worden, waarbij de belangrijkste verandering bestaat uit een multidisciplinaire aanpak. Niet-technische, sociaalwetenschappelijke en ethische aspecten zullen een wezenlijk onderdeel van het onderzoek moeten uitmaken en bij het ontwikkelen van nieuwe ICT-systemen is het gewenst dat we de waarden van waaruit we handelen duidelijk maken.

Dankwoord

Aan het eind van mijn rede wil ik graag woorden van dank uitspreken.

Allereerst gaat mijn dank uit naar het College van Bestuur en het bestuur van de Stichting Bijzondere Leerstoelen van de Universiteit voor mijn benoeming tot deeltijdhoogleraar.

Hooggeleerde Van der Duyn Schouten, beste Frank,
Wij hebben al vele jaren met elkaar samengewerkt, vooral op bestuurlijk vlak. Dat was voor mij altijd een genoegen, en ik heb veel waardering gekregen voor je bestuurlijke capaciteiten. Ik wil jou speciaal bedanken voor jouw rol in mijn benoeming aan deze universiteit.

Hooggeachte Wit, beste Cor,
De naam van mijn leerstoel is verbonden met jouw persoon, en dat vind ik een grote eer, want ik heb groot respect voor jou. Ik dank je voor je warme belangstelling voor mijn activiteiten in het kader van de leerstoel.

Hooggeleerde Baken, beste Nico,
Mijn contacten met het Cor Wit Fonds verlopen meestal via jouw persoon. Ik wil je danken voor je steun, maar vooral voor de inspirerende gesprekken die we samen hebben. Wij denken vaak in de zelfde richting, en ik hoop dat onze samenwerking in de toekomst vruchten zal afwerpen.

Dan wil ik stilstaan bij Leo Coolen, die ons in 2005 is ontvallen. De loopbanen van Leo en mij zijn een aantal jaren op een bijzondere wijze met elkaar verstrengeld geweest en ik bewaar fijne herinneringen aan onze intensieve samenwerking. Ik vind het heel bijzonder dat ik Leo ben opgevolgd op de Cor Wit leerstoel en ik wil jou, Ria, bedanken voor je betrokkenheid en vriendschap. Fijn dat je hier vandaag aanwezig bent.

Hooggeleerde Van den Herik, beste Jaap,
Dank voor het vertrouwen dat je in me stelt. Ik bewonder je visie, en je enorme werkkraft. Je eist veel van jezelf en je stimuleert de mensen om je heen om boven zichzelf uit te stijgen. Daarmee bereik je veel. We kunnen nog veel van het TiCC verwachten, en ik zal me inzetten daar een bijdrage aan te leveren.

Ook mijn vroegere collega's van MARIN, CWI en TNO, van wie er diverse vanmiddag aanwezig zijn, wil ik bedanken. Ik heb in de loop der jaren veel van jullie geleerd.

En dan natuurlijk mijn huidige collega's van het bureau van ICTRegie. ICTRegie is een boeiend avontuur en we zijn samen vastbesloten om er een succes van te maken. Ik dank jullie voor je enthousiasme en inzet.

ICTRegie is veel meer dan het bureau, het is een netwerk, een ecosysteem in wording. Ik wil iedereen die betrokken is bij ICTRegie, bestuurlijk of via ICT Innovatie Platforms, danken voor hun inzet en steun.

Een bijzonder woord van dank voor Paul 't Hoen, beste Paul, wij werken al lang en bijzonder prettig samen in ICTRegie verband. Dank daarvoor. Ik bewonder je enthousiasme, energie en doorzettingsvermogen.

Dan wil ik hier het kernteam van COMICT noemen: Arnold Smeulders, Peter Apers, Inald Lagendijk, onlangs uitgebreid met Geleyn Meijer. Sinds eind vorig jaar werken we samen aan het COMICT voorstel. Een samenwerking met een ongekeerde intensiteit die een bijzondere band tot stand heeft gebracht binnen het team. Er staat nu een team dat uitstijgt boven lokale belangen en zich verantwoordelijk voelt voor het hele ICT veld in Nederland. Ik dank jullie voor deze bijzondere ervaring. En, het gaat ons lukken!

Ik dank mijn vader, wiens gezondheid het niet toelaat hier aanwezig te zijn, en denk met dankbaarheid aan mijn moeder die al lang geleden is overleden. Mijn ouders hebben mij de waarden bijgebracht die

me gevormd hebben en mij de ruimte gegeven om mijn eigen weg te gaan.

Lieve Irene, al meer dan veertig jaar mijn trouwe metgezel in dit leven. Jou ben ik veel dank verschuldigd. Zonder jouw steun had mijn loopbaan er anders uitgezien. Ik ben je daar zeer erkentelijk voor. Lieve Irene, Jochem, Lise, Katelijne, Sandra, Aernout, Arnold, Dave en Sterre, jullie zijn enorm belangrijk voor mij, samen geven jullie kleur en betekenis aan mijn leven.

Ik heb gezegd.

Referenties

Adami, C., *Introduction to artificial life*, Springer, 1998

Baken, N.H.G., Nico van Belleghem, Edgar van Boven and Annemieke de Korte, *Unravelling 21st Century Riddles - Universal Network Visions from a Human Perspective*, The Journal of The Communication Network, Vol. 5, Oct.-Dec., 2007

Barabási, A-L, *Linked: The New Science of Networks*, Perseus, Cambridge, MA, 2002

Coolen, L.A.A.M., *Er was telefoon*, oratie Universiteit Maastricht, 1998

Darwin, C., *On the Origin of Species*, London, 1859

Dennett, D.C., *Kinds of Minds, Toward an Understanding of Consciousness*, Perseus, 1996

Herik, H.J. van den en Postma, E.O., *Geloof in Computers*, oratie Universiteit van Tilburg, 2009

ICT-onderzoek Platform Nederland (IPN), *Masterplan ICT*, 2009

ICTRegie, *ICT2030.nl, ICT-agenda voor de toekomst van Nederland*, 2009

ICTRegie, *ICT-scan 2008 'Achter het Scherm'*, 2008

ICTRegie, *COMICT, ICT-onderzoeksprogramma*, 2009

Kurzweil, R., *The Singularity is Near*, Penguin, 2005

Mathee, K.W., Mweemba, G., Pais, A.V., Stam, G. van, Rijken, M., *Bringing Internet connectivity to rural Zambia using a collaborative approach*, ICTD2007, Bangalore, India, 2007

Neumann, J. von, *Theory of selfreproducing automata*, 1966

www.worldmapper.org

NWO, *Outline of the NWO strategic theme Dynamics of complex systems*, 2008

www.machaworks.nl

Rem, M., *Tegen de Stroom In*, ICTRegie, 2009

www.link.net.zm

Spivack, N., *The Third-Generation Web is Coming*,
<http://www.kurzweilai.net/meme/frame.html?main=/articles/arto689.html?m%3D3>, (2006)

www.ijkdijk.nl

Taylor, M.C., *The moment of complexity*, The University of Chicago Press, 2001

twitter.com

Taylor, M.C.: *End the University as We Know It*, The New York Times, April 27, 2009

webscience.org

Teilhard de Chardin, P., *La Phénomène humain*, Editions du Seuil, Parijs, 1956

eit.europa.eu

Vinge, V., *The singularity*, San Diego State University, 1993, <http://mindstalk.net/vinge/vinge-sing.html>

buienradar.nl

Wiener, N., *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, MIT Press, 1948,

Wiener, N., *God and Golem, Inc.*, MIT Press, 1964

www.ictregie.nl

www.ict2030.nl

www.esi.nl

www.multimedien.nl

www.vl-e.nl

