

1. Inleiding

Elk van de afgelopen drie eeuwen werd gekenmerkt door een nieuwe technologie. De achttiende eeuw was het tijdperk van de grote mechanische systemen die bij de Industriële Revolutie hoorden. De negentiende eeuw was de eeuw van de stoommachine. In de twintigste eeuw is de belangrijkste technologie het vergaren, bewerken en verspreiden van informatie. In deze eeuw is het onder andere gekomen tot de aanleg van een wereldwijd telefoonnetwerk, de uitvinding van radio en televisie, de geboorte en ongeëvenaarde groei van de computerindustrie, de lancering van communicatiesatellieten en natuurlijk Internet.

Door de snelle technische vooruitgang in de huidige eeuw zijn deze gebieden snel met elkaar aan het versmelten en verdwijnen de verschillen tussen het verzamelen, transporteren, opbergen en bewerken van informatie in hoog tempo. Organisaties met honderden kantoren, verspreid over een groot geografisch gebied, beschouwen het als een normale zaak dat zij de huidige toestand in zelfs het verst verwijderde buitengebied met een druk op de knop kunnen inspecteren. Naarmate ons vermogen om informatie te vergaren, te bewerken en te verspreiden groeit, neemt de vraag naar nog meer geavanceerde informatieverwerking sneller toe.

Hoewel de computerindustrie nog jong is vergeleken met andere industrieën (zoals de autoindustrie en de luchtvaart), hebben computers in korte tijd spectaculaire vooruitgang geboekt. In de eerste twintig jaar van hun bestaan waren computersystemen in sterke mate gecentraliseerd, meestal in één grote zaal. Niet zelden had die zaal glazen wanden, waardoor de bezoekers naar het grote elektronische wonder daarbinnen konden staan gapen. Een middelgroot bedrijf of een universiteit had misschien een of twee computers, terwijl zeer grote instellingen er hoogstens enkele tientallen hadden. Het

idee dat er veertig jaar later miljarden zeer veel krachtiger computers, kleiner dan postzegels, in massaproductie zouden worden gefabriceerd, was toen pure sciencefiction. Het samensmelten van computers en communicatiesystemen heeft verstrekkende invloed gehad op de manier waarop computersystemen worden georganiseerd. Het eens gangbare idee van een ‘computercentrum’ als een zaal met een grote computer, waar de gebruikers hun werk heen brengen, is volstrekt achterhaald (hoewel datacenters met duizenden internetservern weer steeds gewoner worden). Het oude model van één computer die voorziet in alle rekenbehoeften van de organisatie, wordt nu snel vervangen door een model waarin een groot aantal afzonderlijke, maar onderling verbonden computers het werk doen. Deze systemen worden **computernetwerken** genoemd. Het ontwerp en de analyse van deze netwerken vormen het onderwerp van dit boek.

We zullen in het hele boek de term ‘computernetwerk’ gebruiken voor een verzameling onderling door één technologie verbonden, autonome computers. We zeggen dat twee computers onderling verbonden zijn als ze in staat zijn informatie uit te wisselen. De verbinding hoeft niet uit koperdraad te bestaan; er kunnen ook glasvezels, microgolven, infrarood en communicatiesatellieten worden gebruikt. Netwerken zijn er in allerlei soorten en maten, zoals we later zullen zien. Ze zijn gewoonlijk op elkaar aangesloten om grotere netwerken te vormen, met **Internet** als het bekendste voorbeeld van een netwerk van netwerken.

In de literatuur worden een computernetwerk en een **gedistribueerd systeem** nogal eens verward. Het belangrijkste verschil is dat in een gedistribueerd systeem meerdere autonome computers voor de gebruiker één samenhangend systeem lijken te zijn. Meestal heeft het één model of paradigma dat wordt gepresenteerd aan de gebruikers. Vaak is een laag software boven op het besturingssysteem, vaak **middleware** genoemd, verantwoordelijk voor de implementatie hiervan. Een bekend voorbeeld van een gedistribueerd systeem is het World Wide Web. Dit werkt bovenop Internet volgens een model waarin alles eruitziet als een document (webpagina).

In een computernetwerk zijn deze samenhang, dit model en de software niet aanwezig. Gebruikers hebben te maken met fysieke computers, zonder dat het systeem probeert om deze computers als een samenhangend geheel weer te geven of te laten werken. Als de computers verschillende hardware en verschillende besturingssystemen hebben is dit volledig zichtbaar voor de gebruikers. Als een gebruiker een toepassing op een computer op afstand wil uitvoeren, moet hij* inloggen op die computer en de toepassing daar uitvoeren.

Het komt erop neer dat een gedistribueerd systeem een softwaresysteem is dat boven op een netwerk is gebouwd. De software geeft het een hoge mate van samenhang en doorzichtigheid. Het verschil tussen een netwerk en een gedistribueerd systeem zit hem dus in de programmatuur (vooral het besturingssysteem) en niet in de apparatuur. Beide onderwerpen overlappen elkaar wel. Zowel in gedistribueerde systemen als in computernetwerken moeten er bijvoorbeeld files worden overgebracht.

* ‘Hij’ kan in het gehele boek worden gelezen als ‘hij of zij’.

Het verschil heeft betrekking op de vraag wie het verplaatsen laat doen: het systeem of de gebruiker. Hoewel dit boek voornamelijk over netwerken gaat, zijn veel van de onderwerpen ook van belang voor gedistribueerde systemen. Raadpleeg voor meer informatie over gedistribueerde systemen Tanenbaum en Van Steen (2007).

1.1 Toepassingen van computernetwerken

Voordat we ingaan op de technische details is het de moeite waard na te gaan waarom men in computernetwerken geïnteresseerd is, en waarvoor ze kunnen worden gebruikt. Per slot van rekening zouden netwerken, als niemand erin geïnteresseerd zou zijn, nauwelijks gebouwd worden. We zullen beginnen met de traditionele toepassingen bij bedrijven, ons daarna richten op thuisnetwerken en de recente ontwikkelingen met betrekking tot mobiele gebruikers en eindigen met sociale aspecten.

1.1.1 Bedrijfsnetwerken

Veel organisaties werken met een groot aantal computers. Een bedrijf met veel filialen kan bijvoorbeeld in elke vestiging iedere medewerker uitrusten met een computer, om deze te gebruiken om producten te ontwerpen, brochures te schrijven en de salarisafrekeningen te doen. Sommige computers hebben mogelijk in het begin afzonderlijk gewerkt, maar op een bepaald moment kan de bedrijfsleiding ertoe hebben besloten ze met elkaar te verbinden, om zo in staat te zijn informatie door het hele bedrijf te verspreiden.

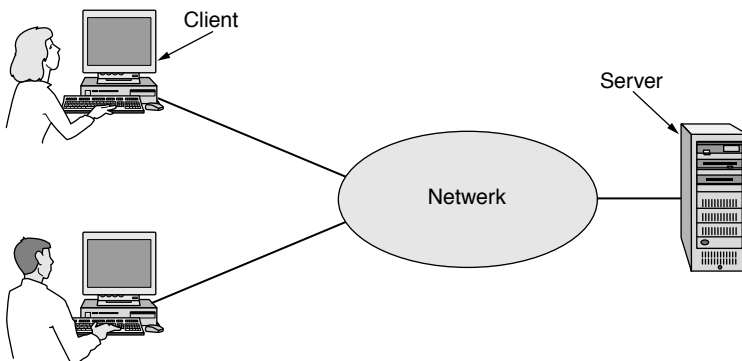
In iets algemenere termen geformuleerd gaat het hier om **resource sharing**, het gezamenlijk gebruiken of delen van faciliteiten. Het doel hiervan is alle programma's, apparaten en vooral gegevens beschikbaar te stellen aan iedereen op het netwerk, onafhankelijk van de plaats van de faciliteit of de gebruiker. Een voor de hand liggend en veelvoorkomend voorbeeld is een groep kantoormedewerkers die een printer delen. Geen van de medewerkers heeft een eigen printer nodig en een krachtige printer in een netwerk is vaak goedkoper, sneller en gemakkelijker te onderhouden dan een grote verzameling printers voor persoonlijk gebruik.

Nog belangrijker dan het fysiek delen van bronnen zoals printers en tapebackup-systemen is echter het delen van informatie. Zowel voor kleine als grote bedrijven is gedigitaliseerde informatie van vitaal belang. De meeste bedrijven hebben klantenbestanden, productinformatie, voorraadbestanden, een boekhouding, belastinggegevens en nog veel meer gegevens die online beschikbaar zijn. Als alle computers van een bank plotseling zouden crashen, zou die bank binnen vijf minuten moeten sluiten. Een moderne productiefaciliteit met een computergestuurde assemblagelijijn zou nog geen vijf seconden blijven draaien. Zelfs een klein reisbureau of een advocatenkantoor met drie medewerkers is tegenwoordig in sterke mate afhankelijk van computernetwerken waardoor de medewerkers direct toegang kunnen krijgen tot essentiële informatie en documenten.

Bij kleinere bedrijven staan alle computers vaak in één enkele ruimte, maar bij grotere bedrijven zijn de computers en medewerkers vaak verspreid over tientallen kantoren en productiefaciliteiten in meerdere landen. Toch kan het nodig zijn dat een verkoop-

medewerker in Brussel toegang heeft tot een voorraadbestand in bijvoorbeeld Singapore. Door middel van netwerken die **VPN's (Virtual Private Networks)** genoemd worden, kunnen de individuele netwerken op verschillende locaties met elkaar verbonden worden tot één groot overkoepelend netwerk. Met andere woorden, het simpele feit dat een gebruiker toevallig 15.000 km van zijn gegevens verwijderd is, mag niet de reden zijn dat hij bepaalde gegevens niet zou kunnen gebruiken alsof deze op zijn eigen computer zouden zijn opgeslagen. Dit doel kan worden samengevat als de poging om de geografische barrière te slechten.

Het informatiesysteem van een bedrijf kan, sterk vereenvoudigd, worden voorgesteld als een of meer databases met bedrijfsinformatie en een aantal medewerkers die op afstand daar toegang toe hebben. In dit model worden de gegevens opgeslagen op krachtige computers die **servers** genoemd worden. Vaak staan deze bij elkaar opgesteld en ze worden meestal onderhouden door een systeembeheerder. De medewerkers zelf hebben eenvoudiger computers (die **clients** genoemd worden) op hun bureau staan. Met deze computers krijgen ze toegang tot gegevens op afstand, waarmee ze bijvoorbeeld een spreadsheet maken. (Soms zullen we de menselijke gebruiker van de clientcomputer ook 'client' noemen. Uit de context zal echter duidelijk zijn of de computer of de gebruiker ervan bedoeld wordt.) De client- en servercomputers zijn met elkaar verbonden door een netwerk, zoals is weergegeven in figuur 1-1. Merk op dat we het netwerk als een eenvoudige ovaal hebben voorgesteld en ons niet hebben bekommerd om de details. We zullen deze vorm gebruiken wanneer we een netwerk in de abstracte zin willen aanduiden. Wanneer meer detail noodzakelijk is, zal dat in de figuur worden weergegeven.



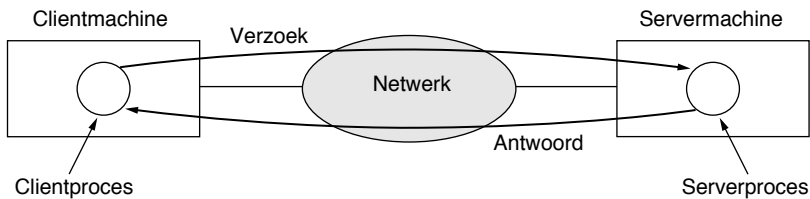
Figuur 1-1 Een netwerk met twee clients en een server.

Dit systeem wordt het **client-servermodel** genoemd. Het wordt op grote schaal toegepast en vormt de basis voor veel netwerkgebruik. Het populairste voorbeeld is dat van een **webapplicatie**, waarbij de server webpagina's met informatie uit zijn database genereert in reactie op verzoeken van clients die veranderingen in de database kunnen aanbrengen. Het client-servermodel is van toepassing wanneer client en server zich in hetzelfde gebouw (bijvoorbeeld van hetzelfde bedrijf) bevinden, maar ook wanneer de afstand tussen de twee veel groter is. Wanneer iemand bijvoorbeeld thuis een pagina

op het World Wide Web raadpleegt, wordt hetzelfde model gebruikt; in dat geval is de webserver op afstand de server en de pc van de gebruiker de client. Meestal kan een server een groot aantal (honderden of duizenden) clients tegelijk bedienen.

Als we het client-servermodel beter bekijken, zien we dat daarbij twee processen (d.w.z. actieve programma's) betrokken zijn; één proces op de clientcomputer en één proces op de servercomputer. De communicatie voltrekt zich doordat het clientproces een bericht over het netwerk naar het serverproces verzendt. Het clientproces wacht vervolgens op antwoord. Wanneer het serverproces het verzoek ontvangt, voert het de gewenste werkzaamheden uit of spoort de gevraagde gegevens op en zendt een antwoord terug naar het clientproces. Deze berichten zijn weergegeven in figuur 1-2.

De tweede reden voor het opzetten van een computernetwerk heeft meer te maken met mensen dan met informatie of computers. Een computernetwerk kan een krachtig **communicatiemedium** zijn voor medewerkers. Nagenoeg elk bedrijf met twee of meer computers heeft nu **e-mail**, waarmee medewerkers een groot deel van hun dagelijkse communicatie afhandelen. Bij de koffieautomaat klagen veel medewerkers tegenwoordig over de hoeveelheid e-mail die ze elke dag moeten verwerken (onder andere omdat leidinggevenden ontdekt hebben dat ze dezelfde (vaak inhoudsloze) berichten naar al hun ondergeschikten kunnen verzenden met slechts één druk op de knop).



Figuur 1-2 Het client-servermodel werkt met verzoeken en antwoorden.

Telefoongesprekken tussen medewerkers kunnen via het computernetwerk overgedragen worden in plaats van via de telefonieaanbieder. Deze technologie heet **IP-telefonie** of **Voice over IP (VoIP)** als er internettechnologie wordt gebruikt. De microfoon en luidspreker aan ieder uiteinde kunnen toebehoren aan een voor VoIP geschikte telefoon, of de computer van de medewerker. Bedrijven zijn zeer gecharmeerd van deze manier om op telefoonkosten te besparen. Maar er zijn nog mooiere vormen van communicatie mogelijk geworden dankzij computernetwerken. Er kan video worden toegevoegd aan het geluid, zodat medewerkers elkaar kunnen zien en horen als zij een vergadering houden. Deze techniek is een krachtig middel om de kosten en tijd voorheen besteed aan reizen uit te sparen. **Desktop sharing** geeft medewerkers op afstand de gelegenheid een grafisch computerscherm te zien en daar interactie mee te hebben. Dit maakt het twee of meer medewerkers die ver van elkaar werken gemakkelijk om een gemeenschappelijk notitiebord te lezen en te beschrijven, of samen een rapport te schrijven. Wanneer een van hen een online document wijzigt, kunnen de anderen dat meteen zien, zonder dat ze dagen op een brief hoeven te wachten. Dit versnelt het samenwerkingsproces tussen geografisch verspreide groepen op een manier die niet

eerder mogelijk was. Meer ambitieuze vormen van coördinatie op afstand, zoals telezorg, staan nog in de kinderschoenen (bijvoorbeeld het op afstand monitoren van patiënten) maar kunnen veel belangrijker worden. Sommigen zijn van mening dat vervoer en communicatie tegen elkaar strijden en dat de winnaar de ander overbodig zal maken.

Het derde doel voor veel bedrijven is elektronisch zakendoen met hun leveranciers en klanten. Dit nieuwe model, **e-commerce** (electronic commerce, elektronisch zaken-doen) genoemd, is de afgelopen jaren sterk gegroeid. Luchtvaartmaatschappijen, boekhandels en andere commerciële aanbieders hebben gemerkt dat veel klanten houden van het gemak van thuiswinkelen. Als gevolg daarvan zetten veel bedrijven catalogi van hun producten en diensten online en nemen zij online bestellingen aan. Fabrikanten van bijvoorbeeld auto's, vliegtuigen en computers kopen subsystemen van verschillende leveranciers en assembleren vervolgens de onderdelen. Door gebruik te maken van computernetwerken te gebruiken, kunnen fabrikanten hun orders op het juiste moment elektronisch plaatsen. Daardoor vermindert de noodzaak van grote voorraden en verbetert de efficiency.

1.1.2 Thuisnetwerken

In 1977 was Ken Olsen directeur van de Digital Equipment Corporation, op dat moment de op een na grootste computerleverancier in de wereld (na IBM). Op de vraag waarom Digital de markt voor persoonlijke computers links liet liggen, zei hij: 'Er is geen enkele reden waarom de mensen thuis een computer zouden moeten hebben.' De geschiedenis bewees zijn ongelijk en Digital bestaat niet meer. Aanvankelijk kocht men computers voor tekstverwerking en spelletjes. De laatste tijd echter was internettoegang waarschijnlijk de belangrijkste reden om een thuiscomputer aan te schaffen. Vandaag de dag zijn bij veel consumentenelektronica-producten, zoals settopboxen, gameconsoles en klokradio's, een computer en netwerk mogelijkheden ingebouwd, vooral voor draadloze netwerken. Er worden op grote schaal thuisnetwerken gebruikt voor entertainment, onder meer het luisteren naar, bekijken van en zelf maken van muziek, foto's en video's.

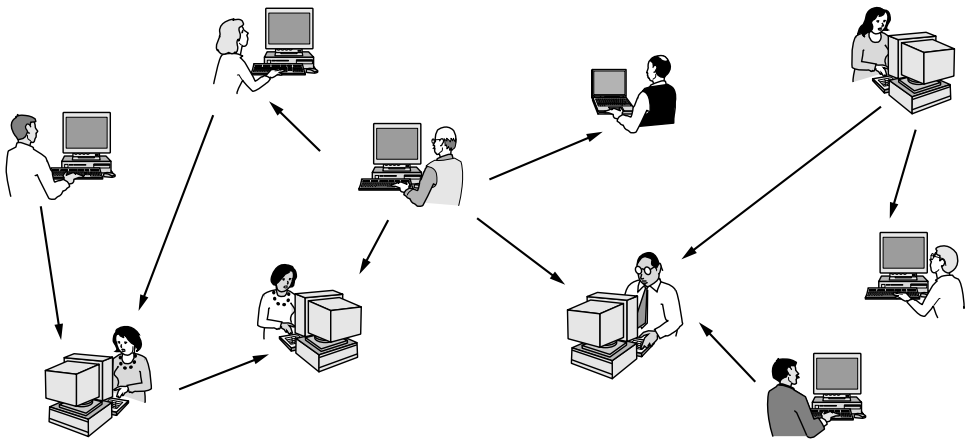
Internettoegang biedt thuisgebruikers **connectiviteit** met computers elders. Net zoals bedrijven, kunnen ook thuisgebruikers informatie raadplegen, communiceren met andere mensen en producten en diensten kopen door e-commerce. Het belangrijkste voordeel zit hem echter in de verbinding met de buitenwereld. Bob Metcalfe, de uitvinder van Ethernet, stelde dat de waarde van een netwerk evenredig is met het kwadraat van het aantal gebruikers, omdat dit ruwweg overeenkomt met het aantal verschillende verbindingen die kunnen worden gemaakt (Gilder, 1993). Deze hypothese is bekend geworden onder de naam "Wet van Metcalfe". Waarmee verklaard kan worden dat de enorme populariteit van het Internet het gevolg is van de omvang ervan.

Toegang tot informatie op afstand is er in veel vormen. Surfen over het World Wide Web om informatie te vinden of gewoon voor de lol is er een van. Er is informatie beschikbaar over kunst, zaken, koken, de overheid, gezondheid, geschiedenis, hobby's, ontspanning, wetenschap, sport, reizen en nog veel meer. Beschrijven waar mensen voor de lol naar zoeken is ondoenlijk en in sommige gevallen ook niet netjes.

Veel kranten verschijnen nu al online en kunnen aan de eigen voorkeuren worden aangepast. Het is mogelijk om de krant te laten weten dat je alles over corrupte politici, grote branden, schandalen waarin beroemde mensen verwickeld zijn en epidemieën wilt weten, maar alsjeblieft niets over voetbal. Terwijl je 's nachts ligt te slapen, wordt de krant in je computer geladen. Er zal een golf van ontslagen volgen onder twaalfjarige krantenbezorgers, maar de kranten zijn onverdeeld positief omdat de distributie altijd al de zwakste schakel in de productielijn was. Echter, wil dit model slagen, dan moet men wel eerst uitvinden hoe er in deze nieuwe wereld geld te verdienen valt - iets dat niet geheel vanzelfsprekend is, aangezien Internetgebruikers verwachten dat alles gratis is.

De volgende stap na kranten (plus periodieken en wetenschappelijke tijdschriften) is de online digitale bibliotheek. Veel professionele organisaties, zoals de ACM (www.acm.org) en de IEEE Computer Society (www.computer.org), hebben al veel publicaties en conferentieresultaten online beschikbaar gemaakt. Door e-book readers en online bibliotheken zullen gedrukte boeken mogelijk in onbruik raken. Sceptici kunnen nog even terugkijken naar het effect dat de boekdrukkunst had op het geïllustreerde manuscript in de Middeleeuwen. Veelal wordt voor het verkrijgen van toegang tot deze informatie gebruikgemaakt van het client-servermodel, maar er is nog een ander populair model voor het verkrijgen van toegang tot informatie; dat luistert naar de naam **peer-to-peercommunicatie** (Parameswaran et al., 2001). Met deze vorm kunnen individuele gebruikers die voor de gelegenheid een groep vormen, communiceren met andere in de groep, zoals afgebeeld in figuur 1-3. In principe kan iedere deelnemer communiceren met een of meerdere andere deelnemers; er is geen vaste scheiding in clients en servers.

In veel peer-to-peersystemen, zoals BitTorrent (Cohen, 2003), is er helemaal geen centrale database met content. In plaats daarvan houdt iedere gebruiker lokaal zijn eigen database bij, en een lijst van andere mensen in de buurt die eveneens deelnemer zijn aan dit systeem.



Figuur 1-3 In een peer-to-peersysteem zijn er geen vaste clients en servers.

Een nieuwe gebruiker kan dan bij iedereen die reeds deelnemer is, kijken wat deze beschikbaar heeft en de namen krijgen van andere deelnemers om te zoeken naar meer content of meer namen. Dit zoekproces kan oneindig vaak herhaald worden om zo een grote lokale database op te bouwen van wat er her en der allemaal te vinden is. Het is voor mensen al gauw een eentonige bezigheid, maar computers blinken daar juist in uit. Peer-to-peercommunicatie wordt vaak gebruikt voor het delen van muziek en video's. Dit beleefde zijn hoogtepunt rond 2000, met een muziekdeelservice genaamd Napster, die werd stilgelegd na wat waarschijnlijk de grootste auteursrechtenschending uit de geschiedenis was, voor zover bekend (Lam en Tan, 2001; Macedonia, 2000). Er zijn echter ook legale toepassingen van peer-to-peercommunicatie. Zoals fans die muziek uit het publieke domein delen, families die foto's en filmbeelden delen, en gebruikers die vrij beschikbare softwarepakketten downloaden. In feite is ook een van de populairste toepassingen van Internet, e-mail, in wezen peer-to-peer. Deze vorm van communicatie zal waarschijnlijk sterk groeien in de toekomst.

Bij alle genoemde toepassingen gaat het om interactie tussen een persoon en een database ergens anders. De tweede vorm van netwerkgebruik bestaat uit interactie tussen personen – eigenlijk de versie die de eenentwintigste eeuw biedt van de telefoon uit de negentiende eeuw. **E-mail** wordt nu al dagelijks door miljoenen mensen op grote schaal gebruikt en het is al heel gewoon dat er naast tekst ook audio en video in e-mail wordt verzonden. Het overbrengen van geuren in berichten kan nog even duren. Elke zichzelf respecterende tiener is tegenwoordig verslaafd aan **chatten**. Deze dienst, afgeleid van de UNIX-applicatie *talk* die sinds ongeveer 1970 wordt gebruikt, stelt twee personen in staat om realtime berichten uit te wisselen.

Er zijn ook messaging services voor berichten aan meerdere personen tegelijkertijd, zoals de dienst **Twitter**, die mensen in staat stelt om korte tekstberichten, 'tweets' genoemd, te sturen aan hun kring van vrienden of ander geïnteresseerd publiek. Computerprogramma's kunnen het Internet gebruiken om geluid (bijvoorbeeld internet-radio) of video (zoals YouTube) over te brengen. Naast een goedkope manier om verre vrienden op te bellen, kunnen deze programma's ook mooie nieuwe mogelijkheden bieden, zoals teleleren, wat inhoudt dat je het college van acht uur 's morgens kunt bijwonen zonder het ongerief daar eerst voor uit bed te moeten komen. Op de lange duur zou het gebruik van netwerken om de communicatie van mens tot mens te bevorderen wel eens belangrijker kunnen blijken dan wat dan ook. Misschien wordt dit wel enorm belangrijk voor mensen die op geografisch lastige locaties wonen, en krijgen zij hierdoor dezelfde toegang tot diensten als mensen die midden in een grote stad wonen. Tussen de mens-tot-menscommunicatie en het toegang zoeken tot informatie in vinden we de programma's voor **sociale netwerken**. Hier wordt de informatiestroom gestuurd door de band die mensen aangeven met elkaar te hebben. Een van de meest populaire sociale netwerken is **Facebook**. Daar kunnen mensen hun persoonlijke profiel bijhouden en veranderingen delen met anderen, van wie zij hebben aangegeven dat het hun vrienden zijn. Er zijn ook programma's voor sociale netwerken waarin je via vrienden van vrienden ergens geïntroduceerd kunt worden, nieuwsberichten kunt sturen aan vrienden net zoals bij het eerdergenoemde Twitter, en nog veel meer. In een nog min-

der hecht verband kunnen groepen mensen samenwerken aan het creëren van content. Een wiki, bijvoorbeeld, is een website die de deelnemers aan een gemeenschap gezamenlijk onderhouden. De beroemdste wiki is **Wikipedia**, een encyclopedie die iedereen vrij mag bijwerken, maar er zijn nog duizenden andere wiki's.

Onze derde categorie is elektronisch winkelen in de breedste zin van het woord. Thuiswinkelen is nu al enorm populair omdat gebruikers de catalogi van duizenden bedrijven online kunnen bekijken. Sommige van deze catalogi zijn interactief en laten producten vanuit verschillende gezichtspunten zien, met instellingen die gepersonaliseerd kunnen worden. Nadat de klant op die manier een product heeft gekocht, maar problemen met de bediening ervan ondervindt, is online technische ondersteuning een logisch vervolg. Een ander gebied waarin e-commerce al volop wordt gebruikt is de toegang tot financiële instellingen. Veel mensen betalen hun rekeningen en beheren hun bankrekeningen en beleggingen elektronisch. Deze tendens zal zich zeker verder voortzetten wanneer netwerken veiliger zullen worden.

Een toepassing waaraan bijna niemand gedacht had, zijn de elektronische marktplaatsen. Het online veilen van tweedehands goederen is een enorme industrie geworden. In tegenstelling tot traditionele e-commerce, waarbij het client-servermodel gebruikt wordt, zijn online veilingen peer-to-peer, in die zin dat dezelfde consumenten kunnen optreden als koper en als verkoper.

Enkele van deze vormen van e-commerce hebben namen die gebaseerd zijn op het feit dat 'to' net zo wordt uitgesproken als het Engelse '2'. De populairste worden opgesomd in figuur 1-4.

Aanduiding	Volledige naam	Voorbeeld
B2C	Business-to-consumer (bedrijven voor particulieren)	Boeken online bestellen
B2B	Business-to-business (bedrijven voor bedrijven)	Autofabrikant bestelt banden bij leverancier
G2C	Government-to-consumer (overheid voor particulieren)	Overheid die belastingformulieren elektronisch distribueert
C2C	Consumer-to-consumer (consumenten voor consumenten)	Online veilen van tweedehands goederen
P2P	Peer-to-peer	Delen van files

Figuur 1-4 Enkele vormen van e-commerce.

Onze vierde categorie is entertainment. Er zijn hier de afgelopen jaren zulke grote stappen gezet de huiskamer in, dat de verspreiding van muziek, radio- en televisieprogramma's, en speelfilms over Internet al een concurrent begint te worden van de tot nog toe gebruikelijke mechanismen. Gebruikers kunnen mp3-songs en speelfilms in dvd-kwaliteit opzoeken, kopen en downloaden en deze toevoegen aan hun persoonlijke collectie. Tv-programma's bereiken vandaag de dag veel huiskamers via **IPTV**

(**IP-televisie**), een systeem gebaseerd op IP-technologie in plaats van kabel-tv of uitzendingen via de ether. Programma's voor het streamen van media geven de gebruikers de mogelijkheid om af te stemmen op internetradiostations of om te kijken naar recente afleveringen van hun favoriete tv-programma's. Uiteraard kan al deze content vrijelijk door je huis verspreid worden naar allerlei verschillende apparaten, beeldschermen en luidsprekers, gewoonlijk via een draadloos netwerk. Het zal misschien niet lang meer duren dat iedere speelfilm of ieder tv-programma ooit gemaakt, in welk land dan ook, opgezocht kan worden om meteen op je tv-schermbank te worden getoond. Nieuwe speelfilms worden misschien wel interactief, waarbij de kijker af en toe gevraagd wordt welke kant het verhaal op moet gaan (moet Macbeth koning Duncan vermoorden, of moet hij zijn tijd afwachten?) waarbij hij kan kiezen uit alle mogelijke alternatieve scenario's. Ook live-televisie wordt misschien interactief, met publiek dat kan meedoen aan quizprogramma's, kan kiezen tussen deelnemers enzovoort.

Een andere vorm van entertainment is het spelen van games. Inmiddels hebben we al realtime simulatiegames voor meerdere deelnemers tegelijk, zoals verstoppertje spelen in een virtuele kerker en vliegsimulators waarbij de spelers van het ene team de spelers van het andere team uit de lucht proberen te schieten. Virtuele werelden bieden een levensechte omgeving waarin duizenden gebruikers een gedeelde realiteit kunnen beleven dankzij driedimensionale graphics.

Onze laatste categorie is **ubiquitous computing**, computergebruik dat is ingebed in het dagelijks leven, zoals beschreven in de toekomstvisie van Mark Weiser (1991). Veel woningen zijn reeds voorzien van beveiligingssystemen met sensoren op deuren en ramen, maar er zijn nog veel meer sensoren, zoals voor energieverbruik, die daaraan toegevoegd kunnen worden om zo een smart home monitor te maken. Je elektriciteits-, gas- en watermeters zouden het verbruik via het netwerk ook door kunnen geven aan de leveranciers. Dit zou geld besparen, aangezien het niet meer nodig zou zijn om meteropnemers op pad te sturen. En je rookmelders zouden de brandweer kunnen bellen in plaats van veel herrie maken (wat weinig nut heeft als er niemand thuis is). Naarmate de kosten van sensoren en communicatie dalen, zal een steeds groter deel van het meten en rapporteren via netwerken gedaan gaan worden.

Consumentenelektronica-producten hebben steeds vaker mogelijkheden voor aansluiting op netwerken reeds ingebouwd. Zo zijn er high-end fotocamera's met draadloze netwerkmogelijkheden, die foto's naar een beeldscherm in de nabijheid sturen om ze daarop weer te kunnen geven. Professionele sportfotografen kunnen hun foto's ook in realtime naar hun redacties sturen, eerst draadloos naar een accesspoint en dan verder over Internet. Apparaten zoals televisies die aangesloten worden op het lichtnet kunnen gebruikmaken van netwerken over het **lichtnet** om via de elektriciteitsdraden informatie door het hele huis te verzenden. Misschien wekt het geen verbazing om deze objecten aan te treffen op het netwerk, maar ook objecten waarvan we helemaal niet verwachten dat ze een computerfunctie aan boord hebben, kunnen sensoren hebben en informatie doorgeven. Je douche bijvoorbeeld zou het waterverbruik kunnen bijhouden, je een visuele terugmelding kunnen geven tijdens het inzepen, en kunnen doorgeven aan een milieumonitorapplicatie in huis dat je klaar bent, om zo op je waterrekening te kunnen besparen.