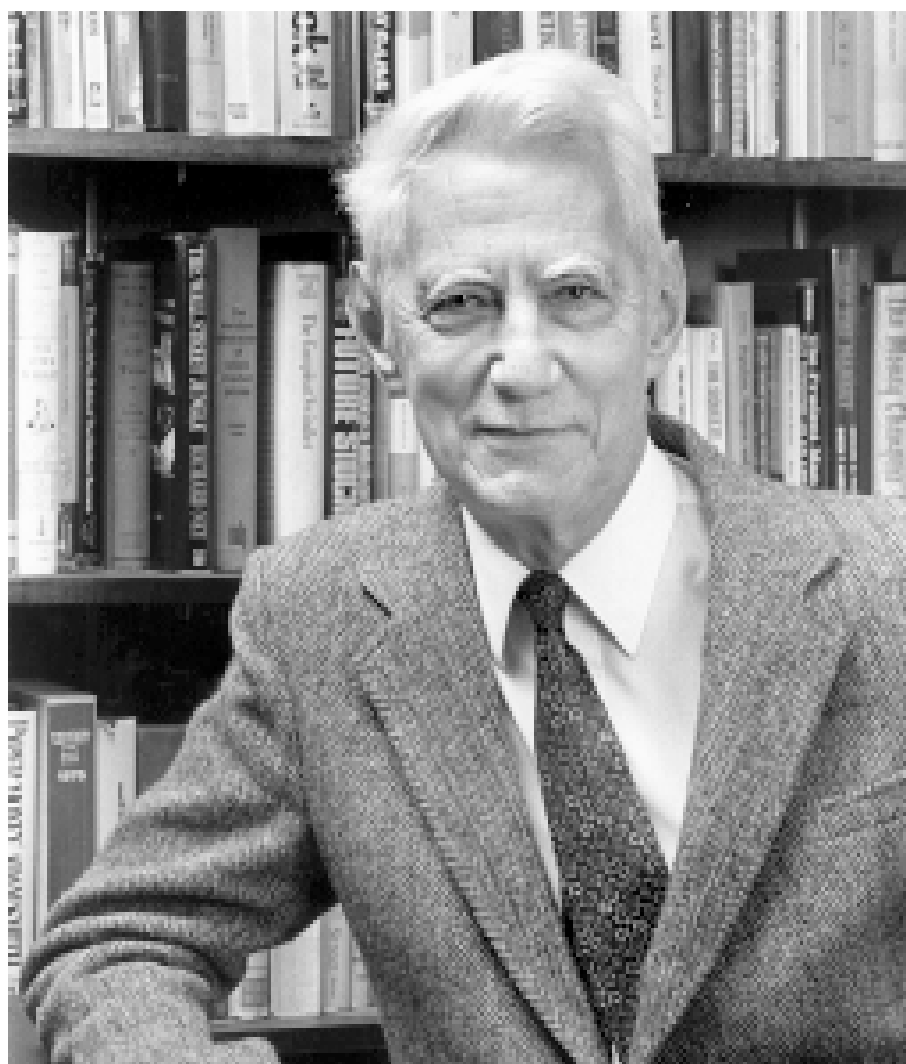


Levensbericht door K.A. Schouhamer Immink

Claude Elwood Shannon

30 april 1916 – 27 februari 2001



Claude Elwood Shannon

Dr. Claude Elwood Shannon, sinds 1975 buitenlands lid van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, is op 27 februari 2001 overleden in Medford, USA, na een lang gevecht met de ziekte van Alzheimer.

Shannon werd op 30 april 1916 in Petoskey, Michigan, USA, geboren. Hij begon zijn studie wiskunde en elektrotechniek aan de Universiteit van Michigan, Ann Arbor in 1936. Zijn ingenieursexamen en promotiewerk verrichtte hij bij het Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, waar hij promoveerde in 1940. Zijn afstudeerverslag behorende bij het examen van elektrotechnisch ingenieur is getiteld '*A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*'. Dit werk werd vooral gemotiveerd door de sterke behoefte van de telecommunicatie-industrie om een wiskundige taal te ontwerpen, die het gedrag van complexe schakelapparatuur eenvoudig kan beschrijven. De implicaties van Shannon's artikel bleken echter veel breder, daar het een handzame beschrijving bleek te verschaffen waarmee men moderne digitale computers kan construeren. De eerste elektronische computers zijn pas in de jaren vijftig gebouwd, en het is daarom interessant te vermelden dat het in de jaren veertig door Shannon bedachte woord 'bit' (de afkorting van binary digit) door de domesticatie van computers een alledaagse term is geworden.

Na een jaar aan het Institute for Advanced Study in Princeton verbonden te zijn geweest, begon hij zijn loopbaan in 1941 bij de beroemde Bell Telephone Laboratories (Bell Labs), waar hij tot zijn pensionering in 1972 verbleef. In 1956 ging hij terug naar het MIT, waar hij tot zijn emeritaat in 1978 Donner Professor of Science was, zowel in de faculteit der wiskunde als in de elektrotechniek.

Vlak na de Tweede Wereldoorlog, in 1948, publiceerde Shannon zijn tweede, nu klassieke, artikel genaamd '*A Mathematical Theory of Communication*', waarmee hij een geheel nieuwe tak van toegepaste wetenschap startte, namelijk de informatietheorie. Hij stelt in de inleiding van zijn artikel dat 'het fundamentele probleem van communicatie is het exact of zo goed mogelijk reproduceren van een verzonden bericht'. Shannon's revolutionaire artikel houdt zich bezig met zeer praktische, maar ook zeer fundamentele, vragen, die hij vaak op een uiterst elegante wijze wist te beantwoorden. Eenvoudige vragen zoals: wat is informatie? Kan men de informatie-inhoud van een informatiegenererende bron wiskundig formuleren? Is het mogelijk foutvrij berichten te verzenden over een transmissiekanaal dat ernstig door imperfecties zoals ruis wordt verstoord? Shannon beschouwde communicatie als een stochastisch proces. De standaard semantische betekenis van informatie speelt geen rol in de theorie. Een 'informatiebron', gemodelleerd als een stochastisch proces, genereert informatie, 'tekst', die verzonden moet worden door een 'kanaal', dat gedefinieerd is door een wiskundige relatie, die de overgangswaarschijnlijkheid vastlegt tussen het ingangs- en uitgangssignaal. De maat voor informatie-inhoud is zeer eenvoudig gedefinieerd als het gemiddeld aantal 'enen' en 'nullen' dat nodig is om een bericht te versturen. De ontwerper van een transmissiesysteem mag een apparaat, een '*encoder*', plaatsen tussen bron en kanaal. Deze encoder bestaat in

feite uit twee encoders met verschillende taken. Allereerst wordt de brontekst getransformeerd naar een gecodeerde tekst, die met minder ‘enen’ en ‘nullen’ kan worden weergegeven dan de brontekst door het verwijderen van mogelijk aanwezige redundantie. Deze stap noemt men wel broncodering. Na deze codeerstap wordt de gecodeerde tekst getransformeerd in een gecodeerd bericht dat minder gevoelig is voor de onderhavige kanaalverstoreningen. Deze stap noemt men kanaalcodering. Een apparaat, *decoder*, vertaalt, zo goed als mogelijk, het ontvangen gecodeerde en mogelijk met fouten behepte signaal naar de brontekst. Hij bewees wiskundig dat door toepassing van digitale codes kan worden gecommuniceerd met fouten die met een willekeurig kleine kans voorkomen. Om dit te kunnen bewerkstelligen moet de encoder een zeer complexe code gebruiken, die niet noodzakelijkerwijs te implementeren is, en een zeer grote tijdsvertraging tot gevolg heeft tijdens het codeer- en decodeerproces.

De aandacht van velen werd vooral getrokken door de limietformule voor de kanaalcapaciteit C . De kanaalcapaciteit is de maximale snelheid van informatieoverdracht met een zo kleine fout als men wil door een voldoende lange foutencorrigerende code te benutten. We veronderstellen een signaal met gemiddeld vermogen P dat verstuurd wordt door een transmissiekanaal dat behept is met additieve Gaussische ruis met vermogensdichtheid N . Wanneer het kanaal een kanaalbandbreedte W heeft, is de kanaalcapaciteit

$$C = W \log (1 + P/N) \text{ bit / sec.}$$

Het is onmogelijk om betrouwbaar informatie sneller over te brengen dan de door bovenstaande formule aangegeven kanaalcapaciteit. De theorie van Shannon toonde aan dat door codering een grote winst was te bereiken in zowel de kwaliteit als kwantiteit van informatietransmissie en informatieopslag. Echter, voor ingenieurs enigszins teleurstellend, wist Shannon niet hoe de door zijn capaciteitsformule beloofde snelheidswinst zou kunnen worden gerealiseerd. Foutencorrigerende codes stonden in 1948 namelijk nog in de kinderschoenen. Bell Labs collega, Richard Hamming, publiceerde in 1948 codes, die slechts een enkele bitfout in ontvangen binaire woorden kunnen corrigeren. Het onderzoek naar adequate foutencorrigerende codes is veel later op zeer grote schaal gestimuleerd door het NASA ruimtevaartprogramma. Hierdoor werd het in de zestiger jaren mogelijk om berichten en foto's van de planeet Mars naar de aarde over te brengen. De wiskundigen Reed en Solomon publiceerden in 1965 buitengewoon krachtige codes, waarvan zij de correctiekracht wiskundig bewezen, maar waarvan zij niet wisten hoe ze de correctiekracht op eenvoudige en efficiënte wijze konden benutten. Pas tien jaar later werd een efficiënte decodeeralgoritme ontwikkeld voor deze *Reed & Solomon codes*. Deze codes zijn zeer veelzijdig in het corrigeren van combinaties van enkele en lange reeksen van bitfouten en zijn daardoor zeer geschikt voor praktische toepas-

singen in opslagmedia van digitale informatie. Shannon heeft nog bewust mogen meemaken dat digitale codes wijd werden toegepast in de Compact Disc, modems, Internet, digitale TV, etc. Zonder overdrijving kan worden gesteld dat genoemde alledaagse producten, die de basis vormen van onze informatiemaatschappij, niet hadden kunnen bestaan zonder de toepassing van digitale codes.

In 1949 publiceerde Shannon het artikel '*Communication Theory of Secrecy Systems*', dat cryptografie van een kunst in een wetenschap veranderde.

Zijn latere werk op het gebied van schakende machines en kunstmuizen, die na een leerperiode hun weg door doolhoven wisten te vinden, was een eerste poging om machines te 'leren leren'. Deze zeer vroege leerexperimenten vormen de basis voor het latere vakgebied kunstmatige intelligentie. Hij schreef in 1950 het artikel 'Programming a Computer for Playing Chess'. Door zijn belangstelling voor computerschaak had Shannon persoonlijk contact met Max Euwe. In 1965, tijdens een rondreis door Rusland, ontmoette hij de toenmalige schaakwereldkampioen, Botwinnik, die ook zeer geïnteresseerd was in computerschaak. Zij discussieerden geruime tijd over hun gezamenlijke interesse. Shannon maakte van de gelegenheid gebruik om Botwinnik uit te dagen voor een partij schaak. Shannon verloor na een wedstrijd van 42 zetten, hetgeen als een fraaie prestatie werd beschouwd. Vaak is naar aanleiding van experimenten met computerschaak beweerd dat een schaakmachine nooit en te nimmer zou kunnen winnen van een menselijke schaakkampioen. Bijna dertig jaar later, in 1996, verloor de wereldkampioen, Kasparov, na een serie van 24 wedstrijden van IBM's schaakcomputer '*Deep Blue*', en na deze menselijke nederlaag zijn er nog maar weinigen die de stelling durven te verdedigen dat 'de' mens beter schaakt dan 'de' computer.

Shannon had ook een jongensachtige kant. Zijn toenmalige collega's herinneren zich nog goed dat hij door de gangen van Bell Labs reed op een eenwieler jonglerend met drie ballen. Hij bleef echter een wiskundige en ontwikkelde een wiskundige theorie van het jongleren, waarbij optimale jongleerpatronen werden gevonden en uitgetoet. Hij ontwikkelde en bouwde experimentele jongleermachines. Bovenstaande activiteiten tonen aan dat Shannon in de eerste plaats werd geleid door nieuwsgierigheid en pas daarna door de praktische toepasbaarheid van de resultaten. In zijn eigen woorden 'Ik wil graag weten hoe iets werkt'. Hij had een grote verzameling met mechanische curiosa, waaronder natuurlijk verschillende schaak- en jongleermachines. Erg trots was hij op een kopie van de 'Ultieme Machine'. De Ultieme Machine, gebaseerd op een idee van Mervin Minsky, bestaat uit een houten kastje met een deksel. Op het kastje is een aan/uit schakelaar gemonteerd. Wanneer men de machine aanzet door de schakelaar op 'aan' te zetten, begint het apparaat kwaadaardig te grommen. De deksel gaat open en er verschijnt een handje dat zich langzaam naar de schakelaar beweegt. Het handje zet de schakelaar op 'uit' en verdwijnt weer naar binnen, de deksel slaat met een klap dicht, het

gegrom stopt, en de rust keert weer. Het psychologische effect, wanneer men niet weet wat er staat te gebeuren, is verwoestend. Een apparaat dat werkelijk niets anders kan dan zichzelf uitzetten.

In Nederland behoorde Van der Pol tot degenen die onmiddellijk het grote belang van Shannon's informatietheorie inzagen. Bij de vergadering van de Internationale Wetenschappelijke Radio Unie in 1950, in Zurich, stelde hij een subcommissie voor informatietheorie in, en kort daarna liet hij het adviesorgaan voor radiozaken van de Internationale Telecommunicatie Unie, de CCIR de vraag stellen wat in het licht van de theorie van Shannon de beste modulatie-techniek was. In 1950, twee jaar na de verschijning van Shannon's artikel, werd door Willis Jackson (met E.C. Cherry als rechterhand) het eerste Internationale Informatietheorie Symposium georganiseerd. Informatietheorie kent nog steeds een grote groep van actieve beoefenaren. Er wordt jaarlijks een Internationaal Informatietheorie Symposium georganiseerd dat gemiddeld circa 700 bezoekers trekt. In Nederland ontstonden in de zestiger jaren leerstoelen voor het nieuwe gebied, en, sterk gestimuleerd door Van Soest (Delft), werden eigen bijdragen geleverd. De leerstoelen werden bezet door Boxma (Delft), Gröneveld (Twente) en Schalkwijk (Eindhoven). In de industrie, het Philips Natuurkundig Laboratorium, werd door Stumpers baanbrekend werk verricht in het nieuwe vakgebied. Naar aanleiding van het vijftig jarig bestaan van de Informatietheorie werd in 1998 in het Trippenhuys een Akademiesymposium gehouden met als titel *Information Theory: The first fifty years and beyond*.

Shannon ontving eredoctoraten van tenminste zes universiteiten. Tal van andere wetenschappelijke eerbewijzen viel hem ten deel. Als belangrijkste dienen vermeld te worden: de Medal of Honor van het Institute for Electrical and Electronics Engineers (IEEE) in 1966; de National Medal of Science (Amerika's hoogste wetenschappelijke onderscheiding) in 1966; de Kyoto prijs in Basic Science in 1985; de Audio Engineering Society Gold Medal in 1985. Claude Shannon is een (ere)lid van de Academy of Arts and Sciences; National Academy of Sciences; National Academy of Engineering; KNAW; Royal Irish Academy; Royal Society of London.

Met het overlijden van de heer Shannon verliest onze Akademie een uiterst creatief lid, wiens revolutionaire theorie de basis vormt van de informatiemaatschappij. Hoewel zijn naam weinig bekend is bij het grote publiek, behoort Shannon zeer beslist tot de wetenschappelijke top van de twintigste eeuw. Zijn invloed op het alledaagse leven, die al heel groot is, zal alleen nog maar toenemen.