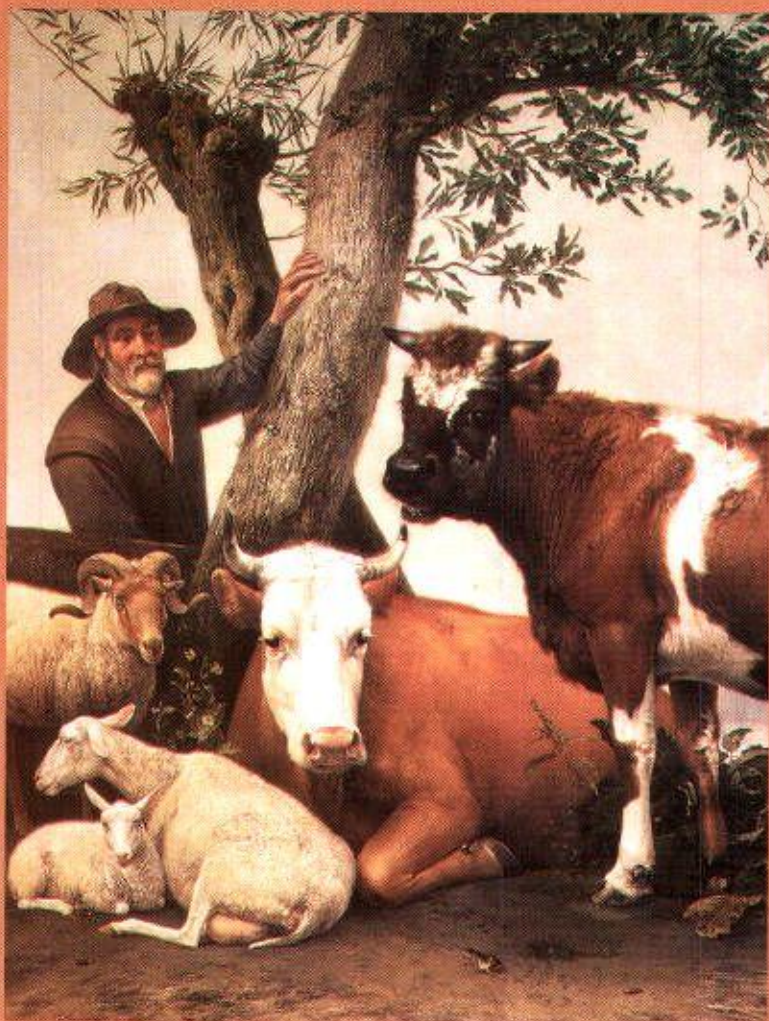


OVER DE RATIO VAN COÖPERATIE

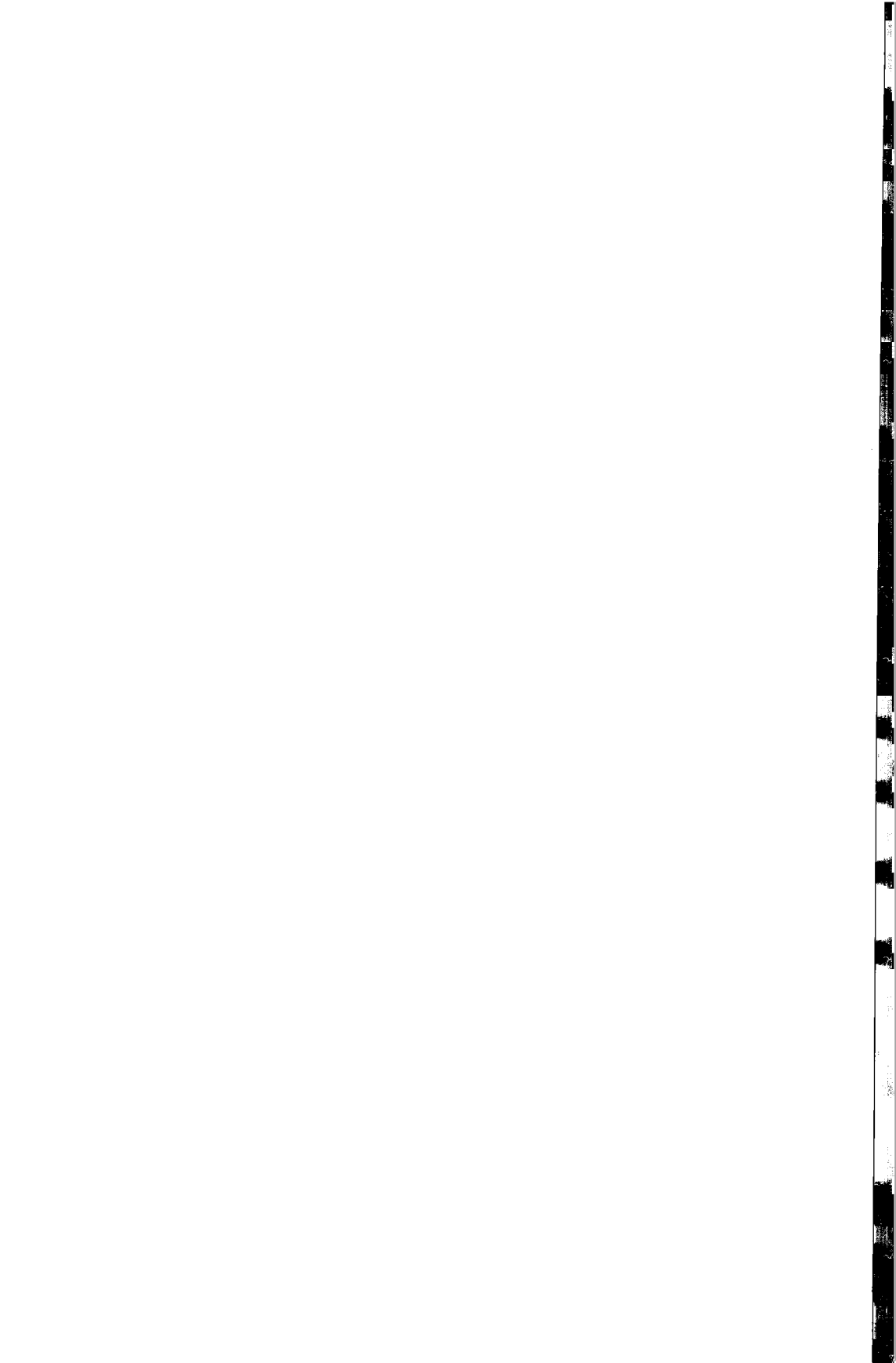
*een speltheoretische benadering met een
toepassing bij de mogelijke invloed van
diergeneesmiddelen op voedselveiligheid*



H. Vaarkamp

Stellingen

1. Coöperatie is een rationeel verklaarbaar fenomeen.
2. De instelling van de veehouder is de belangrijkste factor bij de borging van de voedselveiligheid.
3. Dankzij het bestaan van een dierenartsencoöperatie zijn de transactiekosten in een dierenartsenpraktijk extreem laag.
4. De registratie van diergeneesmiddelen door nationale overheden moet onmiddellijk Europees geharmoniseerd worden.
5. Landbouwhuisdieren hebben dierenartsen ook als ambassadeurs nodig.
6. De vertaling van het tiende gebod: Gij zult niet begeren.... moet zijn: Gij zult niet haken naar....
7. De termen melkkoe en spaarvarken zijn obsoleet geworden.
8. Het begrip dat respect wat anders is dan begrip, verdient respect.



)

OVER DE RATIO VAN COÖPERATIE

een speltheoretische benadering met een toepassing bij de
mogelijke invloed van diergeneesmiddelen op voedselveiligheid

H. Vaarkamp

2001

WAGENINGEN UNIVERSITEIT

ISBN: 90-5808-379-9
Coverfoto: Paulus Potter "The young bull"
Koninklijk Kabinet van schilderijen
Mauritshuis Den Haag
Zetwerk en druk: Bek grafische producties, Veghel

OVER DE RATIO VAN COÖPERATIE

**een speltheoretische benadering met een toepassing bij
de mogelijke invloed van diergeneesmiddelen op
voedselveiligheid**

ABOUT REASONS FOR COOPERATION

**a game theoretical approach and an application to the
potential influence of veterinary medicinal products on
food safety**

(with a summary in English)

Proefschrift

ter verkrijging van de graad van doctor aan de Wageningen Universiteit
op gezag van de Rector Magnificus,
Prof. Dr. Ir. L. Speelman, ingevolge het besluit van het College voor Promoties
in het openbaar te verdedigen op woensdag 14 februari 2001
des namiddags om vier uur in de Aula.

door

Hendrik Vaarkamp

geboren op 22 juni 1950 te Terschuur

Promotores:

Prof. Dr. Ir. G. van Dijk
Leerstoel Theorie en praktijk van coöperatie
Wageningen Universiteit
Prof. Dr. A. Pijpers
Faculteit der Diergeneeskunde
Universiteit Utrecht

Promotiecommissie:

Prof. Dr. Ir. G. Broekstra
(Universiteit Nyenrode)
Prof. Dr. Ir. R.B.M. Huirne
(Wageningen Universiteit)
Prof. Dr. Ir. J.M.A. Viaene
(Universiteit Gent)

Opgedragen aan mijn vader, Rijk Vaarkamp (1921-1970)

INHOUD	blz.
1. Inleiding en probleemstelling	3
2. Literatuuroverzicht	13
3. Het Prisoner's Dilemma als testcase voor gedrag	29
4. Directe reciprociteit: de acht stellingen van Axelrod	41
5. Indirecte reciprociteit: het computersimulatiemodel van Nowak & Sigmund	53
6. Vertrouwen als correctie in het Nowak & Sigmundmodel	61
7. Voedselveiligheid en diergeneesmiddelen: introductie op de toepassing	71
7.1 Inleiding	71
7.2 De Benzaproopen™-casus	75
7.3 De FVE-enquête	80
8. Coöperatie en voedselveiligheid: toepassing van het gemodificeerde model	83
8.1 Inleiding	83
8.2 Stabiliteit als <i>offspring</i> proportioneel is met <i>payoff</i>	86
8.3 Stabiliteit als <i>offspring</i> proportioneel is met <i>payoff</i> en imago	86
8.4 Stabiliteit bij asymmetrische educatieaanbieding	87
8.5 Stabiliteitsontwikkeling als vertrouwen meespeelt	88
9. Algemene discussie	95
10. Samenvatting	109
Summary	111
11. Literatuur	113
Appendix 1: Image <i>and</i> trust make cooperation win in a computer simulation of indirect reciprocity	117
Appendix 2: Questionnaire	123
Appendix 3: De originele Fortrancode van Nowak & Sigmund	129
Dankwoord	133
Curriculum vitae	135

1. Inleiding en probleemstelling

Als dierenarts in de praktijk tussen 1975 en 1990 in Noord-Brabant viel mij op hoe uitgesproken de boeren pro of contra het verschijnsel coöperatie waren. In de voorafgaande eeuw waren vanuit de boerengelederen coöperaties opgezet uit onvrede met de toenmalige marktsituatie betreffende de aan- en verkoop van hun behoeften respectievelijk hun producten. Aankoop betrof voornamelijk veevoer en verkoop hoofdzakelijk melk en slachtdieren. In de genoemde periode 1975-1990 bestond in Noord-Brabant voor melk ternauwernood een ander afzetkanaal dan het coöperatieve. Voor de aanschaf van veevoer en de afzet van slachtdieren bestonden echter naast een coöperatieve mogelijkheid ook particuliere kanalen.

De coöperaties in deze sectoren waren in zoverre geslaagd dat de markt erdoor gedisciplineerd was: de tarieven die gehanteerd werden door zowel de coöperatieve als de particuliere kanalen verschilden niet veel. Daar waar de boeren de keus hadden uit ofwel een coöperatie ofwel een particulier als handelspartner bleek die keuze per boer in die tijd een steevaste: men was ofwel altijd coöperatief ofwel nooit. Die keuze was kennelijk eerder bepaald en de gemaakte keuze werd niet vaak betwijfeld. Elke boer was destijds in dit opzicht voorspelbaar. Wie eenmaal coöperatief was bleef het en wie anders gekozen had bleef eveneens bij zijn keuze.

Geconfronteerd met deze overtuigingen heb ik dikwijls gepoogd om de werkelijke argumenten voor de keuze tussen coöperatie en particulier te vinden. Telkenmale bleek weer dat de verschillende keuzen gebaseerd waren op uiteenlopende redenen, aannames en vermoedens. Men leek zich zelfs voor een "hard" vergelijking niet te interesseren.

Gezien de enorme zakelijke belangen die op het spel stonden vond ik het vreemd dat zo weinig van nuchter afwegen sprake was bij de keuze om al of niet coöperatief te handelen. Het moest toch mogelijk zijn om op grond van rationele economische overwegingen die keus te maken?

Vanaf 1990 werd ik verantwoordelijk voor het reilen en zeilen van de dierenartsencoöperatie Ad Usum Veterinarium, kortweg de AUV. Deze coöperatie is in 1969 door dierenartsen opgericht om dezelfde reden als waarom veel eerder de boerencoöperaties opgericht waren: onvrede met een bestaande marktsituatie. In dit geval betrof het de onduidelijkheid over de kwaliteit van de door de dierenartsen aan te schaffen diergeneesmiddelen en de onzekerheid over de

prijsstelling van dezelfde diergeneesmiddelen. Kwaliteit en eerlijkheid wilden de dierenartsen, en daarom richtten ze een coöperatie op. Evenals bij boeren disciplineerde de coöperatie de markt; na verloop van tijd waren kwaliteit en eerlijkheid gemeengoed geworden en viel het voor een nieuweling in het vak niet meer mee om op grond van deze twee criteria onderscheid te maken tussen de eigen coöperatie en de particuliere aanvoerlijnen. En net zo als bij de boeren bleken de dierenartsen vaak ten principale voor of tegen de coöperatie, en net zo min waren de aangevoerde argumenten consistent. "Geloof, hoop en liefde" leken een grotere rol te spelen dan koele berekening.

Als AUV-verantwoordelijke kwam ik terecht in het bestuur van de Nationale Coöperatieve Raad voor land- en tuinbouw. Deze NCR behartigt sinds vele decennia de belangen van de coöperaties die met de land- en tuinbouw gelieerd zijn. Alleen al de omvang van deze coöperaties rechtvaardigt het bestaan van de NCR, die in de loop van de twintigste eeuw de belangenbehartiging van de coöperaties op verschillende manieren vorm heeft gegeven. Een deel van deze taak is echter onveranderd: het bijdragen tot het in stand houden en uitbreiden van de kennis van de coöperatieleer. De NCR geeft vorm aan dit deel van zijn taak door een leerstoel bij de Wageningen Universiteit te bemannen. Hieruit blijkt mede dat over coöperatie veel te denken en te zeggen valt, zowel over de coöperatie in institutionele als over coöperatie in functionele zin.

Waar wetenschap in het spel is zijn zekerheden meestal ver te zoeken. Mijn oorspronkelijke verwondering dat de keuze om al of niet deel te nemen aan een coöperatie zo weinig streng rationeel onderbouwd leek, bleek allermindst een gevolg van het ontbreken van kennis ten aanzien van economische rationaliteit te zijn. Over de wereld heen is een niet onaanzienlijke groep economen met de vraag naar deze rationaliteit bezig, maar een afdoend antwoord lijkt nog geenszins gevonden.

Wetenschap is tot het laatste kwart van de twintigste eeuw vooral een kwestie geweest van inductie. Men nam een complexe situatie waar, bedacht een verklarende theorie en stelde een hypothese op. Op grond van deze theorie werden experimenten bedacht waarmee de hypothese getoetst kon worden, waarna deze verworpen of (vooralsnog) niet verworpen werd (Popper, 1934). Complexiteit werd verklaard door eenvoudiger te vatten wetmatigheden. Grote successen zijn op vele gebieden zo behaald. Door deze aanpak is bijvoorbeeld de schijnbaar onverklaarbare sterrenloop zodanig

begrepen dat al jaren van tevoren exact voorspeld kon worden dat op 11 augustus 1999 een zonne-eclips te zien zou zijn.

In de tweede helft van de twintigste eeuw kwam een andere methode van wetenschap ook in zwang. In plaats van de verklaring vanuit de complexiteit ontstond de verklaring vanuit het eenvoudige. Op het gebied van de coöperatieleer werden Axelrod en Hamilton in het begin van de tachtiger jaren fameus, toen zij met behulp van eenvoudige aannames denkbeeldige individuen lieten interageren en nagingen welke strategie het meest effectief was bij herhaalde contacten tussen deze individuen. Uit een totaal nieuwe hoek leek een eerste antwoord te komen op de vraag hoe coöperatie kan ontstaan in een zgn. *non policed society*.

De vraag naar het waarom van coöperatie heb ik in dit proefschrift in dat kader geplaatst. Weliswaar kent de speltheoretische aanpak allerlei beperkingen, maar toch leek het met de genoemde methode denkbaar om meer inzicht te krijgen in de algemene vraag waarom coöperatie ontstaat. Deze aanpak wordt in bredere zin toegepast om allerlei (socio-)biologische verschijnselen beter te leren begrijpen. Het laatste decennium is een ware stroom van pogingen op gang gekomen om natuurkundige, biologische en culturele verschijnselen te kunnen verklaren met behulp van wat is gaan heten *artificial life* oftewel Alife. In de woorden van Gutowitz: *the field of artificial life examines "life as it could be" based on understanding the principles and simulating the mechanisms of real biological forms. Just as airplanes use the same principles as birds, but have fixed wings, artificial lifeforms may share the same principles, but not the same implementation in chemistry.*

De evolutionaire benadering zoals door Axelrod c.s. toegepast, is één van de drie fundamentele algoritmen in Artificial Life. Neurale netwerken en zgn. *cellular automata* vormen de twee andere. De term Artificial Life is in zwang gekomen sinds 1987, toen Christopher Langton van het Santa Fe Institute (New Mexico USA) deze term introduceerde op het First International Artificial Life Symposium. Alife omvat kortweg de pogingen die ondernomen worden om synthetische systemen (zoals robots) zich als levende organismen te laten gedragen. Op het Internet zijn intussen talloze "publicaties" te vinden die betrekking hebben op Alife en alles wat er mee samenhangt. Een fraaie, helaas anonieme beschrijving van wat Alife losmaakt bij sommigen en van de interpretatie van Alife is te vinden op www.arch.usyd.edu.au/~rob/links/artificial-life.html:

“The field of Artificial Life has fascinated me for several years now. The idea that life can be defined without the dependence upon carbon-based matter of which we are made is both alluring and frightening. The technologies which many researchers are using to study Artificial Life are often hypnotic in their actions, stirring deep emotional responses with observers who can recognise certain life-like qualities in their behaviour. It is hard to resist the temptation to assign intentions normally reserved for living organisms. Artificial life is breaking down the barriers between our ideas of machines and organisms.”

De centrale vraag van deze studie (hoe kan coöperatie ontstaan) is door de speltheoretische benadering verengd tot: hoe kan coöperatie in een virtuele wereld ontstaan wanneer geen sprake is van directe reciprociteit noch van centraal gezag?

Onder directe reciprociteit moet in speltheoretisch verband verstaan worden de directe relatie tussen individuen; als twee spelers samen een spel spelen en beiden weten dat zij nog (veel) langer van elkaar afhankelijk zijn om resultaat te boeken, is sprake van directe reciprociteit. Ontbreekt bij een speler deze wetenschap en zijn verdere ontmoetingen uitgesloten of onwaarschijnlijk, terwijl de tegenspelers wel tot dezelfde populatie behoren, dan bestaat een situatie van indirecte reciprociteit.

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de literatuur die betrekking heeft op de bijdragen die vooral de speltheoretici door middel van evolutionair onderzoek sindsdien geleverd hebben aan de centrale vraag hoe coöperatie kan ontstaan. Bovendien wordt de plaats van een speciale publicatie aangeduid; deze publicatie is het aangrijpingspunt voor de onderhavige studie geworden.

Hoofdstuk 3 is gewijd aan het Prisoner's Dilemma dat de *E.Coli* van de speltheoretici is geworden (de meest gebruikte bacterie bij biologisch onderzoek is de *Escherichia Coli*); ook de verrassende winnende strategie bij internationale computertoernooien rondom het Prisoner's Dilemma, de zgn. Oog-om-oog-strategie, wordt hier besproken en geanalyseerd.

Het bleek dat vanuit het niets het verschijnsel coöperatie opdook en soms consistent bleek. Deze ontdekking was het resultaat van puur speltheoretische experimenten, opgezet door wiskundigen en

mogelijk gemaakt door het beschikbaar komen van de computer. Met behulp van de computer kunnen immers schier eindeloze reeksen bewerkingen in korte tijd uitgevoerd worden, zoals het volgen van de karakteristieken van een virtuele populatie die zich volgens een omschreven algoritme ontwikkelt. Wat voordien onmogelijk was door tijdgebrek, mankrachttekort en foutenneiging werd in die tijd mogelijk door de "number crunching capacity" van de computer.

In Hoofdstuk 4 wordt de speltheoretische analyse van Axelrod besproken. De nieuwe ontwikkeling in de coöperatieleer wordt aan de hand van acht stellingen van Axelrod toegelicht. Directe reciprociteit is in deze theorie een voorwaarde voor het ontstaan van coöperatie. Het uitvoerig toelichten van de acht stellingen van Axelrod heeft twee redenen: ook al is deze theorie al geruime tijd gepubliceerd, in het Nederlands is bij mijn weten nog nooit een goede synopsis van dit basale werk verschenen. Daarnaast is te voorzien dat voor verder onderzoek naar aanleiding van de uitkomsten van deze studie gebruik gemaakt zal kunnen worden van de theorieën van Axelrod.

Naast de gangbare economisch geschoeide aanpak kwam zo de speltheoretische benadering. Steeds weer werd melding gemaakt van nieuw inzicht dat voortkwam uit computerexperimenten. Zo publiceerden Nowak en Sigmund in 1998 in *Nature* een artikel waarin aangetoond werd dat coöperatie zich ook ontwikkelde in een zgn. *non-policed society*, waarin individuen interageren op grond van (verschillende) coöperatieve neiging en imago, maar nu zonder directe reciprociteit. In hun model vergrootte coöperatief gedrag het imago van de actor en daarmee de bereidheid tot coöperatie bij anderen (en andersom). Door de populatie steeds te vervangen door nakomelingen op grond van het individuele cumulatieve resultaat van de interacties ontstonden in dit Nowak-Sigmund-model nieuwe, enigszins veranderde populaties. Daarbij bleek dat coöperatie na verloop "spontaan" een kenmerk werd van "genetisch" robuuste populaties. Deze Nowak-Sigmund-studie behelsde de bouw van een computermodel dat in onze ogen perspectief bood om meer te weten te komen over het gezochte antwoord op de vraag naar de rationaliteit van coöperatief gedrag. Mede vanwege onze voorliefde voor het bouwen van computerprogramma's is op grond van de gegevens uit het genoemde artikel in *Nature* het Nowak-Sigmund-model nagebouwd. Het resultaat van vele herhalingen van het beschreven

experiment bleek echter keer op keer verschillend.

De uitkomst van Nowak en Sigmund was in feite een toevalstreffer, die onvoldoende reden voor hun conclusie bood. Correspondentie met Nowak leverde het originele Fortran-programma op en herhaling van het in *Nature* beschreven experiment bevestigde opnieuw dat de uitkomst een toevallige was. Het model zelf echter bleef waardevol en werd het begin van een reeks zelfgemaakte modellen, waarin nagegaan kon worden of coöperatie ontstond in virtuele situaties.

In Hoofdstuk 5 wordt het Nowak-Sigmund-simulatiemodel beschreven en wordt aangetoond dat de uitkomst van hun experiment toevallig was; ook wordt aangetoond dat het daadwerkelijk uitgevoerde experiment lichtelijk anders van opzet was dan beschreven is in het oorspronkelijke *Nature*-artikel. Correctie in de proefopzet in de zin van de beschreven methode bleek echter een totaal andere uitkomst te geven. Coöperatie ontstond in het geheel niet meer.

Hoofdstuk 6 omvat de beschrijving van een eigen modificatie van het Nowak-Sigmund-model. Eerst is nagegaan of voortplanting op grond van *image score* in plaats van op grond van *payoff* het resultaat veranderde. Daarna is met behoud van het oorspronkelijke *offspring*recept het model uitgebreid met het begrip *vertrouwen*. Het honderdvoudig herhaald uitvoeren van het Nowak-Sigmund-experiment met dit gemodificeerde simulatiemodel wees uit dat coöperatie nu wel ontstaat, zij het niet altijd, maar in de duidelijke meerderheid der gevallen. De gebruikte modificatie is ingegeven door de in Hoofdstuk 4 beschreven resultaten van Axelrods werk.

In de meeste gevallen ontwikkelt coöperatie zich tot een robuust verschijnsel in het gemodificeerde model en dat is een toename van kennis in de coöperatieleer.

Appendix 1 wordt gevormd door een artikel dat aangeboden is aan *Nature*, als vervolg op de publicatie van Nowak en Sigmund (1998a). In dit artikel wordt aangetoond dat de uitkomst van het eerder gepubliceerde experiment een toevalsbevinding was en dat het introduceren van vertrouwen in het computersimulatie model daarentegen wel het ontstaan van coöperatie zonder directe reciprociteit op grote schaal laat zien.

Er bestond een interessante reden om het gemodificeerde Nowak-Sigmund-model te gebruiken om kennis te vergroten: voedselveiligheid. Voedselveiligheid is (mede) afhankelijk van wat gebeurt in een bepaald krachtenveld, dat van de distributie en het gebruik van diergeneesmiddelen. De distributie is het proces waarin diergeneesmiddelen het traject doorlopen van fabriek tot dier. Al degenen die in dit proces een rol spelen, kunnen dit proces beïnvloeden. Omdat in de tweede helft van de twintigste eeuw een maatschappelijk fenomeen steeds belangrijker proporties kreeg, werd deze distributie een proces dat steeds meer politieke aandacht heeft gekregen. Het bedoelde maatschappelijke fenomeen is de afkeer van chemische substanties als zodanig. Meer speciaal raakte de samenleving beducht voor contaminatie van voedsel met (restanten van) producten uit de chemische industrie. Diergeneesmiddelen zijn behalve als heilzame middelen ook te beschouwen als chemische producten en de behandeling van dieren met diergeneesmiddelen zou derhalve kunnen leiden tot gevreesde vervuiling van bijvoorbeeld vlees en melk. Het gevolg is geweest dat vanuit nationale en Europese overheden steeds meer regelgeving is ontstaan om genoemd gevaar te keren. Het voldoen aan regelgeving is in feite een vorm van samenwerking, van coöperatie. Dientengevolge is in de distributieketen coöperatie van belang om de effectiviteit van deze regelgeving te bewerkstelligen. De zgn. *free riders*, een bekend begrip in de coöperatieleer, vormen een erkend gevaar in dit verband. De *free rider* coöpereert op wezenlijke momenten juist niet, omdat zulks hem op dat moment (groot) voordeel oplevert. De vraag rees dus in hoeverre het verschijnsel coöperatie te verwachten is wanneer cruciale actoren in de distributie van diergeneesmiddelen voor de keuze staan om ofwel regelgeving te respecteren ofwel om eigen gewin te zoeken met het gevaar van het in de waagschaal stellen van de voedselveiligheid. Vooruitlopend op het onderzoeken van deze kwestie is eerst nagegaan welke opvattingen bestaan bij bepaalde actoren in het veld. Onder dierenartsen uit vele landen van Europa is een onderzoek gehouden naar hun mening betreffende de *state of the art* van de kwaliteit van de diergeneesmiddelen distributie en het diergeneesmiddelengebruik in hun land.

Hoofdstuk 7 is een introductie op de toepassing van het gemodificeerde model in een praktische situatie. Deze praktische situatie wordt eerst beschreven en de samenhang tussen het gebruik van (bepaalde) diergeneesmiddelen en de voedselveiligheid wordt toegelicht. Ook wordt verslag gedaan van oorspronkelijk werk naar residuvorming van een tot voor kort

zeer veel gebruikt diergeneesmiddel voor biggen, als bewijs dat de zaak in kwestie wel degelijk van betekenis is – iets wat door de diverse actoren in het veld nogal eens betwijfeld lijkt te worden. Dit hoofdstuk bevat tevens een korte samenvatting van de resultaten van een door ons gehouden enquête onder dierenartsen uit vele Europese landen. Deze enquête meet het belang van het onderwerp, zoals dat subjectief wordt ervaren door dierenartsen, alsmede de variabelen waarmee men in het veld rekening houdt bij het *risk assessment* van het gebruik van diergeneesmiddelen voor voedselproducerende dieren.

In Hoofdstuk 8 wordt de toepassing van het gemodificeerde Nowak-Sigmund-model beschreven; met behulp van dit simulatiemodel wordt nagegaan welke invloed verschillende factoren hebben op het ontstaan van coöperatie danwel defectie (non-coöperatie), nu opgevat als het verkleinen respectievelijk vergroten van bedreigingen van de voedselveiligheid door het duo veehouder-dierenarts, dat de beslissing neemt over het gebruik van diergeneesmiddelen. Door telkenmale in het simulatiemodel verschillende factoren te variëren (hoeveelheid educatie, betrappingskans etc.) is nagegaan wanneer coöperatie wel en niet te verwachten is en hoe voedselveiligheid dus bevorderd kan worden.

De speltheoretische benadering wordt natuurlijk gekenmerkt door beperkingen wanneer een vergelijk getrokken wordt tussen de resultaten van experimenten met een computersimulatiemodel en de alledaagse werkelijkheid. Desalniettemin is het interessant om bepaalde lijnen door te trekken en te discussiëren over de implicaties van de gevonden resultaten.

Hoofdstuk 9 is gewijd aan enige algemene discussie betreffende de resultaten met het gemodificeerde computersimulatiemodel en de toepassing van dit model in de praktische situatie waarin het gebruik van diergeneesmiddelen van invloed kan zijn op de voedselveiligheid.

Per saldo is door gebruik te maken van een speltheoretisch model het antwoord op de oorspronkelijke vraag naar het waarom van het gedrag van boeren in de praktijk niet volledig verkregen, maar de oplossingsrichting is wel duidelijker geworden.

De onderhavige studie omvat dus een introductie in de speltheoretische benadering van het antwoord op de vraag hoe coöperatie (in de zin van samenwerking) spontaan kan ontstaan zonder centraal gezag. Deze introductie vergt toelichting op het Prisoner's Dilemma en de bespreking van acht stellingen van Axelrod. Directe reciprociteit is tot dan een absolute voorwaarde om coöperatie te kunnen laten ontstaan. Het eigen werk vervolgt met de analyse van recent baanbrekend werk van Nowak & Sigmund.

Uit deze analyse blijkt dat hun resultaat een toevalsbevinding is en hun conclusies derhalve onvoldoende rechtvaardigt.

Vervolgens is het computersimulatiemodel op twee manieren gewijzigd en is nagegaan of coöperatie dan wel ontstond. Toen dat inderdaad zo bleek te zijn is een artikel met deze bevindingen, bestemd voor speltheoretici, geschreven.

Het gemodificeerde model is daarop toegepast in een praktisch-diergeneeskundige setting. Eerst is aangetoond dat de gestelde eisen aan een diergeneesmiddel inderdaad gerechtvaardigd zijn, wat niet altijd door iedereen als vanzelfsprekend lijkt te worden ervaren. Daarna is nagegaan in hoeverre deze setting door dierenartsen als probleemgebied wordt ervaren. Hiertoe is een onderzoek gedaan onder 30 dierenartsen uit verschillende landen in Europa. Vervolgens is op een cruciaal beslismoment in de distributieketen van diergeneesmiddelen het gemodificeerde model toegepast en is nagegaan onder welke omstandigheden de voedselveiligheid het best gegarandeerd kan worden, binnen de gestelde kaders.

Het gebruik van het gemodificeerde computersimulatiemodel van Nowak en Sigmund bij vraagstukken op het terrein van diergeneesmiddelen-distributie en voedselveiligheid heeft - binnen dit kader - nieuw inzicht opgeleverd. De rol van vertrouwen is uit de exclusiviteit van het domein van "geloof, hoop en liefde" gehaald en toegevoegd aan het domein van de rationaliteit. Het belang daarvan is kernachtig omschreven door Vos (1995), die stelt dat zonder rationaliteit moraal en ethiek snel zullen ontaarden in subjectivisme en willekeur. Dat is funest voor de ethiek. Objectiviteit en onpartijdigheid zijn essentieel om een belangrijk beroep als dat van de dierenarts in stand te houden. Integriteit is een hoog goed daarbij en voldoende rationaliteit een voorwaarde.

De kennistoename die het resultaat is van dit onderzoek, kan een bruggenhoofd zijn voor verder onderzoek in de coöperatieleer en in de diergeneeskunde.

2. Literatuuroverzicht

Het woord *coöperatie* is een Latijns derivaat en betekent samenwerking. Het woord coöperatie wordt in het dagelijks leven van het jaar 2000 vaak gebruikt voor een specifieke ondernemingsvorm, namelijk die waarbij de eigenaars van een bedrijf tegelijk de klanten zijn en waarbij die eigenaars leden zijn van een speciaal daartoe opgerichte vereniging, de coöperatieve vereniging. Deze vorm van zakendoen is gestoeld op het begrip samenwerking en vandaar de in zwang geraakte benaming "coöperatie" voor de combinatie van een specifiek soort bedrijf met de bijbehorende eigenaarsvereniging. Het gevolg van het grote succes van de coöperatieve vorm van ondernemen heeft geleid tot een aparte tak van wetenschap betreffende de theorie en de praktijk van coöperatie (Meulenberg *et al.* 1993, van Dijk 1997, 1999, Nilsson & van Dijk 1997). In deze studie wordt echter het begrip coöperatie letterlijker opgevat, namelijk als een gedragspatroon dat gekenmerkt wordt door samenwerking. Echte of virtuele individuen staan bij deze benadering dan voor de keus: samenwerken of niet-samenwerken (=defecteren). Nowak & Sigmund stellen: *Humans have achieved one of the pinnacles of sociality, and the complexity of their cooperative actions is without parallel* (Nowak & Sigmund, 1998). De grote vraag was en is hoe evolutionair gezien coöperatie op deze schaal heeft kunnen ontstaan.

Sinds Adam Smith in 1776 de theoretische basis legde voor het begrip "de vrije markt" en daarbij repte van een "invisible hand" die kenmerkend zou zijn voor de vrije marktordening, is de ruimte voor niet-rationele beweegredenen van de *homo economicus* sterk beperkt geworden (van Dijk, 2000). Het zou dus mogelijk moeten zijn om strikt analytisch na te gaan waarom de keuze tussen coöperatie en defectie gemaakt wordt.

Voordat in de laatste twintig jaar van de twintigste eeuw opeens een reeks van speltheoretische publicaties over het ontstaan van coöperatie ontstond, was in economisch-rationele zin weinig bekend over het ontstaan van coöperatie.

Schelling (1960) gebruikte als één van de eersten het Prisoner's Dilemma in zijn beschouwingen over conflicthantering en het was Alexander (1974) die voor het eerst evolutionaire ontwikkelingsmodellen ontwierp om het ontstaan van sociaal gedrag te kunnen nagaan.

Bij de meeste verklaringen wordt het Prisoner's Dilemma (PD) gehanteerd als standaardmodel voor de keuze tussen coöperatie en defectie. Dit model is in 1950 geïntroduceerd door Flood en Dresher en wordt technisch in deze studie nader besproken. Het waardevolle van het PD is dat het de lastige keuze tussen coöperatie en defectie, die in het dagelijks leven vaak voorkomt, in termen van *payoff* (beloning) vertaalt. Het dilemma dat in het PD centraal staat, is de keuze tussen twee mogelijkheden, coöperatie of defectie; defectie levert meer op dan coöperatie, ongeacht wat de tegenspeler doet. Ditzelfde geldt echter ook voor de tegenstander en het gegeven is dat wanneer beiden defecteren, beiden slechter af zijn dan wanneer beiden gecoöperereerd hadden. Vandaar het dilemma.

Vanaf 1980 zijn computers meer en meer gemeengoed geworden als hulpmiddel voor onderzoek. Hoewel de eerste computers al omtrent 1950 gebouwd zijn, was het gebruik dusdanig ingewikkeld en was de capaciteit van die eerste generaties computers nog zo gering, dat het nog bijna drie decennia geduurd heeft alvorens van algemeen gebruik sprake kon zijn. Eerst rond 1980 konden andere dan puur technische disciplines op enige schaal beschikken over computers met een acceptabele capaciteit. Deze ontwikkeling is onverminderd doorgegaan en daardoor is te verklaren dat bepaalde uiterst complexe computersimulatiemodellen al na enkele jaren betrekkelijk moeiteloos honderdvoudig herhaald kunnen worden in een fractie van de tijd die de oorspronkelijke bouwers nodig hadden om hun eerste versies te beproeven. Sinds 1980 heeft de speltheorie aanzienlijk kunnen bijdragen aan de inzichten omtrent het ontstaan van coöperatie, eenvoudig omdat in eindeloze reeksen evolutionaire ontwikkelingen in betrekkelijk korte tijd nagebootst kunnen worden. Het kunnen inzetten van computers die binnen enkele jaren alweer overtroffen worden door veel snellere, verklaart de belangrijke rol van de speltheoretische aanpak. Het PD kwam daarbij centraal te staan.

Al in 1976 kwam van Smith het vermoeden dat het nadoen van de tegenspeler wellicht de beste strategie zou zijn om in een herhaald PD maximaal te scoren, maar hij kwam puur conceptueel tot dit vermoeden; van experimenten met behulp van computers was bij hem nog geen sprake (Smith 1976).

Axelrod (1981) is de geestelijke vader geweest van een tweetal internationale computertoernooien waaraan iedereen kon meedoen; samen met de bioloog Hamilton nodigde hij de deelnemers uit om

een strategie in te sturen om mee te doen aan een toernooi waarin elke ingezonden strategie het op zou nemen tegen elke andere ingezonden strategie; dat opnemen bestond uit het 200 keer spelen van het PD, dus door 200 achtereenvolgende gelijktijdige beslissingen, waarbij het resultaat van elk gelijktijdig genomen tweetal beslissingen bijdroeg zowel aan de scores van de individuele strategieën als van het geheel. De uitkomst van dit toernooi en de herhaling van dit toernooi (met iets andere spelregels) was dat de strategie TFT (TIT FOR TAT, oftewel oog-om-oog) van Anatol Rapoport de winnaar was. Deze vaststelling heeft geleid tot een reeks van onderzoeken in de jaren die volgden. Was TFT echt wel de beste strategie of waren er nog betere te bedenken? Was het PD niet te rigide? Was de hele speltheoretische aanpak wel geoorloofd? Vooral in de negentiger jaren van de twintigste eeuw, toen computers overal ingeburgerd raakten en snel meer capaciteit kregen, kwam een publicatiestroom op gang.

Anno 2000 is *Artificial Life* (Alife) de verzamelnaam van de projecten waarin gepoogd wordt om (socio-)biologische verschijnselen te laten vertonen door virtuele "individuen". Alife wordt beschouwd als een deel van het onderzoeksterrein betreffende kunstmatige intelligentie. Werk op het gebied van Alife vindt altijd plaats met zgn. *autonomous agents*, programma's die een sensor- en een effectorfunctie hebben. De sensorfunctie behelst het meten van parameters uit de externe omgeving en de effectorfunctie impliceert verandering van de externe of interne omgeving. Van belang is dat er geen sprake is van voortdurende interventie door gebruikers of programmeurs: de systemen zijn vergaand autonoom. Robotica is een aansprekend voorbeeld van Alife-activiteiten. Het Santa Fe Institute in New Mexico is de bakermat van Alife en conform de tijdgeest wordt vanuit dit instituut vrijwel uitsluitend via het Internet gecommuniceerd.

De motor die de drijvende kracht is in de meeste Alife-simulaties is een algoritme dat kunstmatige individuen in staat stelt om zich te ontwikkelen en aan te passen aan hun omgeving. Drie types algoritmen worden daarbij onderscheiden: neurale netwerken, evolutionaire algoritmen en *cellular automata* (Gutowitz, 1995, www.Maru.cs.ritsumei.ac.jp/~alife/index-e.html).

Neurale netwerken zijn lerende algoritmen. Met behulp van deze algoritmen kunnen systemen getraind worden in het herkennen van beelden, bijvoorbeeld. Een neurale netwerk bestaat uit een reeks sensoren (de "neuronen"), die onderling verbonden zijn via een

netwerk. Een neurale netwerk bestaat uit *layers*: een input-layer, een verwerkingslayer (ook wel de hidden layer genoemd) en een outputlayer.

Evolutionaire algoritmen hebben betrekking op evolutionaire veranderingen in populaties met individuen. Volgens Gutowitz is de interesse voor evolutionaire algoritmen nog maar kort ontstaan vergeleken met de *hype* rond neurale netwerken. Dientengevolge is de literatuur ten aanzien van evolutionaire systemen dienovereenkomstig minder van omvang. Genetische algoritmen zijn speciale varianten van de evolutionaire algoritmes; deze worden ingezet om naar analogie van de DNA-duplicatie in de natuur (compleet met mutatie en *crossing-over*) een optimale oplossing te vinden voor praktische en industriële problemen.

Een *cellular automaton* is een afzonderlijk dynamisch systeem waarin de positie, de tijd en de verschillende staten van dit systeem aparte entiteiten zijn. Ruimtelijke matrices bevatten cellen en per cel zijn diverse status mogelijk. Interactie met buurcellen bepaalt de volgende status van een cel en zo is ontwikkeling van matrices te volgen.

De studie naar antwoorden op de specifieke vraag “hoe kan coöperatie in een virtuele wereld ontstaan wanneer geen sprake is van directe reciprociteit noch van centraal gezag?” is door ons beperkt tot een studie met evolutionaire algoritmen. De reden voor deze beperking is tweërlei. Ten eerste is de lijn die Axelrod begonnen is in zijn boek *The Evolution of Cooperation* (1984) duidelijk gebaseerd op evolutionaire algoritmen en is daar bij lange na nog niet alles over onderzocht. Ten tweede vergt het werken met *cellular automata* meer wiskundige analyse dan daadwerkelijk experimenteren met simulatiemodellen – en dat laatste heeft mijn voorkeur. De toepassing van neurale netwerken is extreem complex, terwijl de veel eenvoudiger evolutionaire algoritmen nog steeds nieuwe ontwikkelingen te zien geven. Daar komt bij dat de apparatuur die neurale netwerkbouw vereist niet gemakkelijk toegankelijk is. Er waren dus voornamelijk praktische redenen om het antwoord op de centrale vraag te zoeken met evolutionaire algoritmen.

Het boek van Axelrod *The Evolution of Cooperation* (1984) wordt verder in deze studie besproken, omdat het op weergaloze wijze de start van de speltheoretische benadering van het centrale vraagstuk naar de herkomst van coöperatie weergeeft. Axelrods werk markeert de start van een reeks onderzoekingen.

Axelrod & Dion publiceerden in 1988 de resultaten van nadere analyse van de invloed van de andere parameters dan de reciprociteit in het herhaald PD. Elke variabele (de “*shadow of the future*”, het aantal spelers etc.) bleek een eigen invloed te hebben op het antwoord op de vraag welke strategie de optimale is. Enquist (1990) toonde het belang van toekomstverwachting (*weight*) in de evolutionaire speltheorie aan.

In 1992 publiceerden Nowak en Sigmund een eerste variant op TFT, die nog beter dan TFT zou zijn, “*generous TFT*” oftewel GTFT; bij GTFT is de kans dat coöperatie beantwoord wordt door coöperatie vrijwel 100% (niet helemaal) en de kans dat defectie door coöperatie beantwoord wordt niet 0% zoals in TFT, maar 33,3%. Grim (1996) meende echter dat GTFT in dat laatste geval 66,6% kans op coöperatie moet geven. Hij modificeerde de setting om herhaald het PD te spelen lichtelijk en stelde dat de door hem voorgestelde ruimtelijke structuur (waarin spelers steeds tegen hun burens spelen) de biologische werkelijkheid meer benaderde dan de oorspronkelijke constructie. Nowak, Simon en Grimm onderstreepten hier een conclusie van Axelrod dat er niet één daadwerkelijk beste strategie is om het herhaald PD te spelen, maar dat alles afhangt van de strategie van de tegenstander; tegelijk poogden zij om voor het mengsel van te verwachten tegenstanderstrategieën de optimale strategie te vinden, hetgeen opnieuw afhing van de samenstelling van dat mengsel.

Nowak en Sigmund publiceerden in 1992 ook het verloop van de verdeling van verschillende strategieën in een populatie wanneer herinnering geen enkele rol speelt. Chaos was het gevolg. Beurtelings voerden volstrekt verschillende strategieën de boventoon, soms zelfs gedurende verrassend lange tijd. De chaos werd door hen als boeiend beschreven, maar coöperatie ontstond niet. Geheugen bleek onontbeerlijk.

Pollock en Dugattin publiceerden in 1992 een variant op TFT, te weten Observer TFT, oftewel OTFT; bij deze strategie tellen de waarnemingen van niet-betrokken individuen mee bij de opstelling van een TFT-speler. Hier valt het woord *reputatie* voor het eerst, als mogelijke determinant voor het ontwikkelen van coöperatie.

Met behulp van de theorie betreffende het herhaald PD beschreef Enquist (1993) hoe zelfs bij vogels *free riders* de neiging tot coöperatie sterk verminderen. Hierin is een aanwijzing te zien dat

ervaring via herinnering de coöperatiegeneigdheid bij dieren beïnvloedt - een stap om een connectie tussen het virtuele model en de biologische realiteit te veronderstellen.

Nowak en Sigmund vonden in 1993 de zgn. Pavlov-strategie, ook wel genoemd naar het voornaamste kenmerk daarvan: *win-stay, lose-shift*; het wezen van deze strategie is namelijk: *cooperate if and only if both protagonist and opponent played identically in the last round*. Deze strategie zou in bepaalde opzichten nog beter zijn dan TFT (Nowak & Sigmund, 1993b).

Bendor (1995) experimenteerde ook met voorwaardelijk coöperatieve strategieën (een variabel aantal condities voordat tot coöperatie besloten wordt) en concludeerde dat wanneer coöperatief gedrag eenmaal ontstaan is op grond van zulk conditioneel beslissingsgedrag, er sprake is van een uitermate robuuste situatie. Hij repte van een evolutionair evenwicht dat gemakkelijk ontstaat en moeilijk te verstoren is.

In de Axelrod-opzet om herhaald het PD te spelen is gelijktijdigheid van beslissing een wezenlijk kenmerk van het experiment; beide spelers kennen wel de voorgeschiedenis van hun spel tot dan toe, maar besluiten tezelfdertijd over de volgende zet. In werkelijkheid worden deze beslissingen heel vaak niet simultaan genomen en kan de tweede speler reageren op de eerste. Wedekind en Milinski (1996) analyseerden dit verschil en kwamen tot de conclusie dat de keuze voor de beste strategie sterk afhangt van genoemd onderscheid. TFT en Pavlov scoren heel verschillend in de onderscheiden situaties. Nowak en Sigmund hadden zich in 1994 al uitgesproken over de wezenlijke verschillen tussen achtereenvolgend en gelijktijdig beslissen bij het PD.

Ferrière en Michod hebben geanalyseerd in hoeverre mobiliteit een rol speelt bij het ontstaan van coöperatie. In het hoofdstuk over de stellingen van Axelrod wordt nagegaan hoe robuust een strategie is wanneer "indringers" een andere strategie toepassen als zij binnendringen in een populatie van individuen met een andersoortige strategie. De invloed van mobiliteit van degenen met de verschillende strategieën op deze robuustheid bleek niet onaanzienlijk (Ferrière en Michod, 1995, 1996).

Volgens Brembs bestonden in 1996 intussen drie soorten verklaringen voor het ontstaan van coöperatie. Ten eerste verklaringen die

uitgaan van het toevallig ontstaan van coöperatie als bijverschijnsel van puur zelfzuchtig gedrag (Dugatkin *et al.*, 1992), ten tweede verklaringen die altruïsme op basis van verwantschap als basis hanteren (Hamilton, 1964) en ten derde verklaringen op grond van wederkerig altruïsme tussen niet-verwante individuen (Trivers, 1971).

Nowak en Sigmund (1998a) zijn bondiger bij hun indeling: verwantschap, groepselectie en wederkerig altruïsme vormen elk mogelijkheden tot verklaring, waarbij direct altruïsme directe reciprociteit inhoudt (*I'll scratch your back if you scratch mine*, uitgesproken door individuen die er van uitgaan dat ze elkaar nog vaak zullen ontmoeten). Brems heeft eveneens alle PD-parameters nog eens nader beschouwd en concludeerde dat er geen einde is aan het PD en de toepassingen ervan (Brems, 1996).

Frean (1996) voerde ook gedifferentieerde gedragspatronen in tussen coöperatie en defectie, maar concludeerde dat ook dan TFT de winnende strategie is in een complexe opzet van het herhaald PD. Sherratt en Roberts (1999) maakten evenzo onderscheid tussen de mate van coöperatie die ontstaat en de (variabele) investeringsbereidheid (een nieuwe parameter om de realiteit na te bootsen), die getoond wordt bij speltheoretische ontmoetingen; naarmate voorzichtiger en gedifferentieerder omgegaan werd met vragen om coöperatief gedrag ontstond sneller een bescheiden vorm van coöperatie; werden de investeringen groter dan floreerde coöperatie.

Stephens (1996) stelde het PD als zodanig aan de kaak en stelde voor het CD voortaan te gebruiken, waarbij CD stond voor het Cook's Dilemma. Het CD zou ontdaan zijn van nodeloze beperkingen van het PD, maar Stephens' voorstel heeft tot dusverre geen navolging gekregen.

Boerlijst, Nowak en Sigmund beschreven in 1997 ook nog CTFT, *contrite* TFT, als TFT-variant. CTFT hanteert het begrip *good standing*; coöperatie wordt toegepast als de tegenstander in *good standing* is of als de speler dat zelf niet is. In alle andere gevallen volgt defectie. Ook werd de zgn. Prudent Pavlov-strategie geïntroduceerd (voorzichtig *win-stay, lose-shift*: deze handelt als de Pavlov-strategie, maar hervat coöperatie pas na twee keer wederzijdse defectie). In dezelfde tijd publiceerden Nowak en Sigmund verdere theorie over de dynamiek van indirecte reciprociteit; zij onderstreepten hoe juist onderscheidend (discriminerend) altruïsme behoedt voor het

lot van degene die al-te-goed-is-buurmans-gek-gedrag vertoont (Nowak & Sigmund, 1998b).

Nishimura & Stephens hebben in 1997 gepubliceerd over de relatie tussen *weight*, zijnde de maat voor de toekomstverwachting, en de *payoff*. Voor de interactie tussen de TFT-strategie en de ALL D (de volstrekt weigerachtige) hebben zij correcties voorgesteld.

In hetzelfde jaar 1997 heeft Koeslag geschreven over het belang van *koinophilia*, het verschijnsel dat dieren die een seksuele partner zoeken, bij voorkeur een dier kiezen dat zo min mogelijk afwijkt van wat gewoon is in de populatie; kennelijk zijn afwijkingen (mutaties) verdacht, eenvoudig omdat deze in het algemeen de *fitness* verminderen, aldus Koeslag. Koeslag beschouwde mannelijk-vrouwelijke samenwerking als vorm van coöperatie. Zijn analyses toonden aan dat zonder koinophilia geen evolutionair stabiele strategie ontstaat (Koeslag, 1997).

Sherratt & Roberts gebruikten in 1998 zgn. genetische algoritmen om aan te tonen dat de binaire beslissing tussen coöperatie en defectie verfijning kan gebruiken; zij introduceerden de begrippen *generosity* en *choosiness*, respectievelijk voor gedoseerd donor zijn en kieskeurig defecteren. Hun bleek dat, als de verhouding tussen kosten en baten bij de verschillende keuzes maar niet te veel opliep, het verschijnsel coöperatie zich anders (namelijk sneller) ontwikkelde dan bij de puur binaire benadering (“alles of niets”). Hetzelfde tweetal onderzoekers propageert sinds 1998 een strategie die gekenmerkt wordt door *testing the water*; niet te hard van stapel lopen is een kenmerkend onderdeel van de door hen bepleite strategie om hoog te scoren in het herhaald PD (Roberts & Sherratt, 1998b).

Het begrip Assessor werd in 1998 ingevoerd door Castro c.s.; de Assessorstrategie begint coöperatief, maar defecteert langer dan TFT bij tegenslag; Castro stelde dat zonder directe reciprociteit deze strategie uiteindelijk succesvoller is dan TFT (Castro *et al.*, 1998).

Het belang van de herinnering aan eerdere ervaring is door verschillende onderzoekers gerapporteerd. Milinski & Wedekind (1998) onderstreepten met hun analyse dit belang, in navolging van Crowley (1996), die overigens gevonden heeft dat het van belang is om niet de hele geschiedenis van de eerdere confrontaties nog mee te rekenen, maar uitsluitend de laatste set. Crowley vond eveneens

dat dit uitsluitend gold wanneer de reeks confrontaties voldoende lang was. Sandholm (1996) daarentegen concludeerde uit zijn onderzoek dat de PD-prestaties van een speler toenemen naarmate diens geheugen meer geschiedenis kon vasthouden. Ook Billard (1996) wees op het cruciale belang van het geheugen; zijn proeven met “automata” die in staat waren feedback op te slaan, wezen uit dat het vastleggen (en gebruiken) van eerdere ervaringen essentieel was voor het ontstaan van coöperatie.

In 1998 publiceerden Nowak en Sigmund de resultaten van een experiment met een computersimulatiemodel, waarin *image scoring* een centrale rol speelde; de keuze tussen coöperatie en defectie werd in dit model bepaald door het vergelijken van de image score van een recipiënt en de (erfelijk bepaalde) coöperatie-neiging van de donor. Hun conclusie was dat ook zonder directe reciprociteit (tot dan de *conditio sine qua non* voor het ontstaan van coöperatie), derhalve via indirecte reciprociteit coöperatie kan ontstaan in een zgn. non policed society (Nowak & Sigmund, 1998a). Deze publicatie is de basis van deze studie, omdat bij eigen onderzoek gebleken is dat het resultaat van Nowak en Sigmund een toevalstreffer was, waarop dus geen definitieve conclusies gebaseerd kunnen worden.

Dugatkin (1999) toonde aan dat (biologische) verwantschap weliswaar de naam heeft coöperatief gedrag te bevorderen, maar dat toch onder bepaalde omstandigheden verwantschap het ontstaan van grotere coöperatieve verbanden juist belemmert. In dergelijke gevallen kunnen (zoals gebruikelijk) externe *free riders* op extreme wijze gebruik maken van het ontbreken van coöperatie.

Johnson (1999) analyseerde de waarde van computersimulatiemodellen (en meer speciaal die waarbij het PD gebruikt wordt); hij maakte een sterkte-zwakte-vergelijking met andere methoden van sociobiologisch onderzoek en concludeerde dat de speltheoretische benaderingen met behulp van het PD grote resultaten opgeleverd heeft, maar dat er ook bezwaren kleven aan deze aanpak, zoals de betrekkelijk rigide, binaire beslissingsalgoritmen die typerend zijn voor de “individuen”; toch stelde hij dat nog veel te verwachten is van de speltheoretische benadering. Een groot voordeel noemde hij vooral de aantallen beslissingen en de autonomie van de beslissers. Wahl en Nowak (1999) ontwierpen een algemeen model om een strategie voor het herhaald PD te bepalen; de verschillende parameters zijn traploos verstelbaar. Hun conclusie was dat verschil-

lende groepen van strategieën te onderscheiden zijn, maar dat de groep die net als TFT in eerste instantie “vriendelijk” is (dus niet als eerste defecteert), maar tegelijk *uncompromising* is, het beste scoort, waarbij opvalt dat deze groep ook nog gekenmerkt wordt door optimisme, dit wil zeggen de aanname op voorhand dat de tegenspeler wel coöperatief zal reageren uiteindelijk.

In 2000 publiceerden Nowak, Page en Sigmund hun analyses over de evolutie van *fairness*, eerlijkheid in de zin van sportiviteit. Zij introduceerden daarvoor het *Ultimate Game* als model, een spel waarin twee spelers een bepaalde buit te verdelen hebben. Hun conclusie was dat *fairness* evenals coöperatie ontstaan kan door de koppeling met reputatie (*image*).

Wedekind & Milinski hebben in 2000 de proef op de som genomen en aangetoond dat bij mensen waar directe reciprociteit hoogst onwaarschijnlijk is, *image scoring* inderdaad effectief is om coöperatie te bewerkstelligen (Wedekind & Milinski, 2000).

Interessant is de analyse van Stephens, die nagegaan heeft wat uitstel van beloning betekent voor het gedrag van dieren; ook daar geldt dat naarmate de toekomstverwachting een grotere rol speelt, coöperatief gedrag zich eerder ontwikkelt (Stephens, 2000).

Intrigerend is de conclusie van Posch, Pichler en Sigmund (1999) dat “*in a large variety of social interactions self centred rules (based uniquely on one’s own payoff) cannot suffice*”. Hier wordt het speltheoretisch bewijs geleverd voor wat Fukuyama al eerder als uitgangspunt had genomen in zijn studie *Trust* (Fukuyama, 1995).

In het later volgende eigen onderzoek naar de uitkomst van het experiment met computersimulatiemodel van Nowak & Sigmund (1998a) wordt gebruik gemaakt van *trust*, vertrouwen. De individuen in het genoemde model beschikken over drie eigenschappen c.q. scores. De eerste eigenschap is een index voor coöperatiegeneigdheid, die in het oorspronkelijke experiment erfelijk en onveranderlijk is. De tweede eigenschap is een imago-score, die bij de aanvang van een generatie voor alle individuen gelijk aan nul is, maar door interacties tijdens de generatie verhoogd en verlaagd kan worden, afhankelijk van coöperatief of defectief gedrag. De derde eigenschap is de *payoff*, de cumulatieve waarde die het resultaat is van interacties. In het oorspronkelijke experiment veranderen de imago-score en de *payoff* uitsluitend wanneer een

individu rechtstreeks betrokken is bij een interactie; de index voor coöperatiegeneigdheid blijft tijdens de hele generatie onveranderd. In het door ons gemodificeerde model verandert de coöperatiegeneigdheid echter wel, namelijk als gevolg van de persoonlijke ervaringen van het individu alsmede (zij het in tienvoudig mindere mate) door de waargenomen interacties waarbij andere individuen betrokken zijn. De coöperatiegeneigdheid verandert dientengevolge door de gebeurtenissen. De onderliggende aanname is dat een individu een positieve correlatie veronderstelt tussen de gedragspatronen van een ander in vergelijkbare situaties. Men gelooft in de betrouwbaarheid van de ander. Deze uitdrukking wordt gehanteerd in Van Dale's woordenboek voor de Nederlandse taal: *vertrouwen is het geloof in iemands betrouwbaarheid*.

Fukuyama (1995) heeft een standaardwerk geschreven over vertrouwen: *Trust: The social virtues and the creation of prosperity*. Hierin staat (p. 7):

“Thus, economic activity represents a crucial part of social life and is knit together by a wide variety of norms, rules, moral obligations and other habits that together shape the society. One of the most important lessons we can learn from an examination of economic life is that a nation's well-being, as well as its ability to compete, is conditioned by a single, persuasive cultural characteristic: the level of trust in the society.”

Ook Van Dijk stelt (*forthcoming* 2000) dat de wetmatigheden van het neo-liberalisme bepaald niet al het economisch gedrag van mensen kunnen verklaren. Fukuyama waagt zich zelfs aan een percentage: hij veronderstelt dat de neo-klassieke economie niet meer dan 80% van het economisch gedrag kan verklaren (wat op zichzelf een ongeëvenaard hoog percentage is, volgens Fukuyama). Waar zit de verklaring voor die ontbrekende 20%?

“Economic life is deeply inbedded in social life and cannot be understood apart from the customs, morals and habits of the society in which it occurs. In short, it cannot be divorced from culture.”

Fukuyama hanteert voor *culture* de volgende definitie: *culture is inherited ethical habit* (p. 34). Wat “ethic” betreft gebruikt hij de benadering van Aristoteles: *ethical virtue is for the most part the product of habit (ethos) and has indeed derived its name, with a*

slight variation of form, from that word. Cultuur is doorslaggevend en overgeërfde gewoontes bepalen de cultuur, aldus Fukuyama. Mede op grond van het werk van Weber en Durkheim komt hij tot de slotsom dat vertrouwen een kritische succesfactor in de economie is en dat het ontstaan ervan meer te maken heeft met godsdienstige gewoonten dan met rationele berekeningen (p. 36). Fukuyama relateert de neoklassieke *homo economicus* die uitsluitend op grond van rationaliteit persoonlijke winstmaximalisatie nastreeft met het volgende voorbeeld (p. 37):

“Modern economists tend to identify rational ends with the maximum of utility, which is generally understood as the greatest possible consumer welfare. In this respect, many traditional cultures (including the traditional culture of the West) are arational or simply irrational with respect to ends because economic well-being ranks lower than other objectives. A devout Bhuddist, for example, believes that the end of life is not the accumulation of material possessions but precisely the opposite: the annihilation of the desire for possession and the dissolution of the individual personality into a universal nothingness. It is an act of considerable intellectual hubris to believe that only economic goals in the narrow sense can be considered rational. Much of the Western tradition itself, with its rich religious, ethical and philosophical currents, would have to be discarded as irrational.”

De stelling dat cultuur gebaseerd is op gewoonten wil niet zeggen dat daardoor de rationaliteit ontbreekt. Wat nu gewoonte is, is dikwijls eerder ontstaan op grond van rationaliteit. Het leven zit vol met gewoonten die niet als uitkomst van rationeel overleg worden ervaren, maar bij nader inzien wel degelijk op rationele afspraken berusten. Als voorbeeld geeft Fukuyama de beslissing om te betalen in een winkel, waar ontsnappen zonder te betalen ook mogelijk is. Omgekeerd is het ook mogelijk dat irrationele culturele tradities, die als pure gewoonte uitgevoerd worden, bijdragen tot winstmaximalisatie in de meest enge zin des woords. Fukuyama verwijst daarbij naar het voorbeeld dat Max Weber toelicht in zijn boek *The Protestant Ethic and the Spirit of Capitalism* (1930), waarin de Puriteinen afzien van materieel bezit en daardoor bepaalde deugden internaliseren, zoals eerlijkheid en werklust. Het gevolg van deze ontwikkeling was dat juist de Puriteinen uiteindelijk opvallend kapitaalkrachtig werden op grond van de opgebouwde cultuur. Als praktisch voorbeeld van de rol die vertrouwen speelt in het

dagelijks economisch leven geldt de theorie omtrent de transactiekosten. Fukuyama beschrijft (p.200) hoe al in de dertiger jaren van de twintigste eeuw een raadselachtige tegenstelling waargenomen werd tussen enerzijds de principes van de vrije markt en anderzijds de organisatie van ondernemingen. Het kapitalisme zweert bij een vrije markt en mededinging, maar kapitalistische ondernemingen zijn hiërarchiek georganiseerd en gebruiken coöperatie als interne strategie. De medewerkers worden geacht samen te werken en vooral niet onderlinge competitie aan te gaan. Het was Coase (1937) die licht bracht in deze duisternis door als volgt te redeneren: de vrije markt heeft als kenmerk het prijsmechanisme, waardoor vraag en aanbod in evenwicht komen. Binnen een onderneming echter wordt het prijsmechanisme onderdrukt en worden leveranties op commando gedaan. Als dat prijsmechanisme dan zo voortreffelijk is, waarom bestaan er dan eigenlijk complexe ondernemingen? Het antwoord is: vanwege de transactiekosten. Het prijsmechanisme werkt wel zeker, maar elke leverantie op de markt impliceert onderhandelingen, contracten, *check* en *doublecheck*, het bij elkaar brengen van partijen etc. etc. Hierdoor ontstaan voor elke leverantie transactiekosten. Om deze steeds weer terugkerende kosten te reduceren is het aangewezen om de toeleverende (en soms ook afnemende) partijen onder hetzelfde dak te brengen, waaronder geen tijd en geld verloren gaat met steeds weer het organiseren van transacties.

Oliver Williamson (1975) heeft deze transactiekostentheorie verder uitgebreid. Transactiekosten kunnen aanzienlijk zijn, omdat mensen nu eenmaal niet altijd en allemaal te *vertrouwen* zijn. De *homo economicus* als partij op de vrije markt lijkt zelfs per definitie niet te vertrouwen; deze is immers bezig met zijn persoonlijke winstmaximalisatie en dat is per definitie niet in het belang van de andere partij. Opportunisme en *bounded rationality* zijn maar al te vaak wezenskenmerken van handelspartners en dientengevolge is het verstandiger om geïntegreerde ondernemingen op te zetten, waardoor de transactiekosten die direct het gevolg zijn van onvoldoende vertrouwen, vermeden kunnen worden (opportunisme en *bounded rationality* zijn speltheoretisch voorbeelden van niet-coöperatief gedrag, omdat de voorspelbaarheid van gedrag hierdoor niet vastligt). Kay (1982) bouwt voort op Williamsons theorie en definieert zelfs soorten synergie op grond van transactiekosten. Williamson gaat zo ver, dat hij stelt dat een onderneming door zal groeien totdat de meerdere kosten die het gevolg zijn van de schaalvergroting niet meer opwegen tegen de resterende transactiekosten. Vertrouwen is in deze theorie het sleutelbegrip.

Fukuyama stelt tenslotte (p. 41):

“There is no doubt that human beings are, as the economists say, fundamentally selfish and that they pursue their selfish interests in a rational way. But they have also a moral side in which they feel obligations to others, a side that is frequently at cross-purposes with their selfish instincts. As the word culture itself suggests, the more highly developed ethical rules by which people live are nurtured through repetition, tradition and example. These rules may reflect a deeper adaptive rationality; they may serve economically rational ends; and in the case of few individuals they may be the product of rational consent. But they are transmitted from one generation to another as arational social habits. These habits in turn guarantee that human beings never behave as purely selfish utility maximizers postulated by economists.”

Vertrouwen is aldus gekenschetst als een cruciaal kenmerk in de ontwikkeling van menselijke activiteiten. Tot dusverre is vertrouwen altijd gerangschikt onder de begrippen die vallen onder de twintig procent van Fukuyama, die niet verklaard kan worden vanuit de gangbare economische theorieën. Nu in deze studie vertrouwen in strikt speltheoretische zin een *conditio sine qua non* is gebleken voor het ontstaan van coöperatie wanneer directe reciprociteit ontbreekt, lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat vertrouwen ook op strikt rationele gronden een onmisbare entiteit is in het menselijk leven.

Het integreren van culturele normen en waarden in de traditionele economie is een onderwerp dat de laatste jaren veel aandacht krijgt. Het toekennen in 1998 van de Nobelprijs voor economie aan Amartya Sen, hoogleraar aan de Harvard University, onderstreept deze waarneming. Sen stelt in zijn boek *Choice, Welfare and Measurement* dat hongersnood in een democratie nooit voorkomt. Vanuit deze stelling geeft hij een analyse waarin het aantal (politieke) vrijheden een rol speelt om de economische realiteit te verklaren. Zo acht Sen beloningen niet uitsluitend materieel van aard; de wens om in vrede met onszelf en met anderen willen leven is volgens hem een rationele economische factor, inclusief de manier waarop samenlevingen waardering hebben voor deze en vergelijkbare “culturele” waarden. Hij pleit bijvoorbeeld voor meer aandacht voor de prikkels die mensen krijgen om zich in te zetten voor de ander en de samenleving als geheel (Sen, 1982).

Traditionele economische theorie, speltheoretische *bottom up*-benadering van de realiteit met computersimulatiemodellen, leidend tot een uitgebreid Alife waarin het onderscheid tussen organismen en machines begint te vervagen en de hang van de *homo sapiens* naar rationele verklaring van wat hij intuïtief als waar ervaart: dat is het decor van deze studie.

3. Het Prisoner's Dilemma als testcase voor gedrag

In 1984 publiceerde Robert Axelrod het boek *The Evolution of Cooperation* waarin beschreven wordt hoe in de jaren 1979-1984 geheel nieuwe inzichten in de coöperatieve leer zijn verkregen. In die jaren kwamen personal computers beschikbaar die het voor velen mogelijk maakten gebruik te maken van de fascinerende "number crunching"-capaciteiten van computers. In 1981 beschreven Axelrod en Hamilton in *Science* (1981) hoe zij op het spoor kwamen van deze nieuwe inzichten. Hamilton had als bioloog al sinds 1963 gestudeerd op de verklaringen van altruïstisch en sociaal gedrag, niet alleen bij mensen maar ook (bijvoorbeeld) bij insecten.

Axelrod had zichzelf de vraag gesteld wanneer een persoon nu moet samenwerken, en wanneer niet, als er sprake is van een terugkerende interactie met een andere persoon. In zijn eigen woorden: moet een vriend doorgaan met het begunstigen van een andere vriend als die laatste niets terugdoet? Moet een zaak doorgaan met het leveren van diensten aan een klant die failliet lijkt te gaan? Hoe intens moeten de Verenigde Staten een politieke tegenstander proberen te straffen voor een vijandige daad en welk gedrag kan het best vertoond worden om die tegenstander toch weer over te halen tot samenwerking?

Om een antwoord op deze vraag te krijgen maakte hij gebruik van het bekende Prisoner's Dilemma (PD). Het PD is in 1950 geformuleerd door Merrill Flood en Melvin Dresher (Hamilton, 1981). In het PD zijn twee misdadigers opgepakt en afzonderlijk opgesloten, nadat ze elkaar beloofd hebben om samen te werken en alle beschuldigingen categorisch te zullen ontkennen. De twee hebben samen een misdaad begaan en zullen afzonderlijk verhoord worden. De individuele gevangene staat nu voor de keus: ofwel hij houdt woord en ontkent ofwel hij verraadt de ander en pleit zichzelf daarmee vrij. Het gegeven is dat de ene gevangene niet weet wat de andere zal doen: houdt die zich aan zijn belofte of zal hij op eenzelfde manier zich trachten te ontlasten door de ander de schuld te geven? Houden ze beiden woord (dus blijven ze beiden ontkennen) dan is de kans op strafontloping redelijk voor beiden. Verraden ze ieder elkaar dan volgt voor beiden flinke straf. Echter, houdt de ene woord maar verraadt de ander hem, dan is de verrader vrij en valt alle last op de eerste. Woord houden is dus riskant. Omgekeerd: zelf verraden waar de ander woord houdt levert het meeste voordeel op voor de verrader. Vanuit het individu gerekenend levert verraad dus meer op, ongeacht wat de ander doet.

In het speltheoretisch geformaliseerde PD wordt niet van gevangenen maar van spelers gesproken, A en B. Beiden staan voor de keuze: samenwerken of verraden. Kiezen beiden voor samenwerking dan ontvangen beiden een beloning van 3 punten. Verraden beiden elkaar dan is de beloning 1 punt per persoon. Verraadt de ene speler, maar blijft de ander samenwerken dan is de beloning voor de verrader 5 punten en voor de ander 0 punten. In schema:

tabel 3.1: beloningsschema Prisoner's Dilemma (ontvangen punten per speler)

		Speler A	
		Samenwerken	Verraden
Speler B	Samenwerken	A: 3 punten B: 3 punten	A: 5 punten B: 0 punten
	Verraden	A: 0 punten B: 5 punten	A: 1 punt B: 1 punt

Van belang is het uitgangspunt dat de beloningsvolgorde zo geconstrueerd wordt dat per speler éénzijdig verraad (T van *temptation*) de meeste punten oplevert ($T = 5$), respectievelijk gevolgd door samenwerking door beiden (R van *reward*, $R = 3$), beiderzijds verraad (P van *punishment*, $P = 1$) en éénzijdige trouw (S van *sucker's payoff*, $S = 0$). Het gegeven is dat $T > R > P > S$ en dat $R > (T + S) / 2$.

Het dilemma wordt duidelijk wanneer men zoals Kevin McFarlane in *Sociological Notes* No. 20, 1994, zich verplaatst in speler A, die zich afvraagt wat hij zal doen en er daarbij eerst vanuit gaat dat speler B zal samenwerken. Dan kan speler A ofwel 3 punten krijgen (bij samenwerking door hemzelf, A) ofwel 5 punten scoren (door zelf als A verraad te plegen). Werkt B samen dan is verraad dus altijd de beste optie voor A.

Gaat A er echter van uit dat B verraad pleegt dan zijn er weer twee mogelijkheden: ofwel A werkt samen en eindigt met 0 punten ofwel A verraadt B en ontvangt 1 punt. Opnieuw is de conclusie dat verraad voor A de beste optie is. Nu staat voor A vast dat wat B ook doet verraad voor hem, A, de meeste punten oplevert.

De genoemde redenering geldt echter ook voor speler B natuurlijk. Ook die besluit dat verraad voor hem de beste keuze is om zo veel mogelijk punten te scoren.

Het gevolg is dat beiden verraad plegen en zo ieder 1 punt ontvangen; toch is het gegeven dat wanneer ze beiden samengewerkt hadden hun beloning 3 punten per speler zou zijn geweest. Individuele rationaliteit leidt dus tot een mindere dan de maximale score - dat is het dilemma.

Op deze manier is het PD een eenvoudige, abstracte formulering van heel alledaagse en heel interessante situaties, waarin wat het beste is voor een individu leidt tot wederzijds verzaken, terwijl samenwerking duidelijk meer opgeleverd zou hebben. Die herkenning heeft Axelrod ertoe geleid om aan de hand van het PD de vraag waarom coöperatie dan toch ontstaat in een zgn. non policed society, te benaderen.

Axelrod vroeg zich dus af hoe het mogelijk is dat in een wereld zonder centraal gezag, bevolkt door puur op eigengewin gerichte individuen, dan toch samenwerking, coöperatie, kan ontstaan. Deze vraag intrigeerde hem, want *"we all know that people are not angels, and that they tend to look after themselves and their own first. Yet we also know that cooperation does occur and that our civilisation is based upon it. But, in situations where each individual has an incentive to be selfish, how can cooperation ever develop?"* (Axelrod, 1984).

De Engelse filosoof Thomas Hobbes (1588-1679) brak zich in zijn magnum opus *Leviathan* (1651) al het hoofd over dezelfde vraag. Voordat er regeringen bestonden, zo schreef hij, werd de natuur beheerst door zelfzuchtige individuen die zo meedogenloos met elkaar omgingen dat het leven eenzaam, arm, onaangenaam, ruw en kort was. Zonder regering kon coöperatie niet ontstaan, volgens Hobbes, en daarom hield hij een warm pleidooi voor sterke regeringen. Het antwoord op de vraag wat de taak van regeringen moet zijn heeft derhalve altijd te maken gehad met de vraag of coöperatie kan ontstaan *zonder* centraal gezag.

Axelrods hypothese werd dat doordat de genoemde individuen elkaar *steeds weer* tegenkomen hun strategie bij interacties bepaald wordt door eerdere ervaringen met eenzelfde soort interacties. Een individu heeft herinneringen aan eerdere vergelijkbare interacties en maakt diensgevolge op een andere manier de keuze tussen samenwerken of verraden. *To cooperate or to defect*, dat is de gebruikte term in de Engelstalige speltheorie: samenwerken of niet-samenwerken. Om de beladen term "verraden" verder te vermijden wordt hier het Anglicisme "defecteren" verder gebruikt, als term voor non-coöpereren danwel verraden of overlopen, zoals de formele vertaling van "to defect" luidt.

Om na te gaan welke strategie de beste is in een *herbaald* PD, dat is dus een PD waarin dezelfde spelers elkaar steeds weer tegenkomen en op grond van hetzelfde algoritme moeten interageren, schreef

Axelrod in 1980 een computertoernooi uit. Het aantal malen dat het PD gespeeld moest worden was onbekend aan de deelnemers, om te voorkomen dat dit aantal een rol zou gaan spelen. In het dagelijks leven is immers ook nagenoeg nooit zeker of een interactie tussen twee personen de laatste is. Een uitgangspunt in het toernooi was ook dat steeds twee spelers tegelijk interageren, en niet meer. Gegeven was ook dat elke speler de ander herkent en op de hoogte is van de strategie (en de resultaten) van eerdere ontmoetingen tussen hen beiden. Hierdoor was het mogelijk om bij de strategie-bepaling voor een gegeven interactie de voorgeschiedenis van gelijksoortige interacties tussen dezelfde spelers een rol te laten spelen. Belangrijk was ook dat bij een interactie beide spelers volstrekt gelijktijdig hun keuze (coöpereren of defecteren) moesten maken; eerst afwachten wat de ander deed was daarmee uitgesloten. Nadrukkelijk werd vastgesteld dat de interactie van het moment niet alleen gevolgen had voor het vergaarde puntentotaal van een speler op het moment van interactie, maar ook voor de toekomst. De betreffende interactie droeg immers bij aan de geschiedenis van interacties, waar weer verder beleid op gebaseerd kon worden. In die zin, zo stelde Axelrod, kan de toekomst alvast een schaduw werpen op het heden en daardoor de huidige strategie beïnvloeden.

Veertien wetenschappers namen de handschoen op en stuurden een computerprogramma in om aan het toernooi mee te doen. De inzenders kwamen uit vijf verschillende vakgebieden, namelijk de wiskunde, de sociologie, de economie, de psychologie en de politieke wetenschappen. De omvang van de ingestuurde programma's varieerde van 4 tot 77 instructieregels. Elk programma duelleerde met alle andere volgens de eerder beschreven regels; bovendien moest elk programma het tegen een kopie van zichzelf opnemen en tegen een programma dat *random* keuzes maakte. Elke match bestond uit precies 200 interacties. Het hele toernooi werd vijf keer herhaald om te zien in hoeverre de uitslag varieerde. In totaal moest elk programma per toernooi 15 keer aantreden en werden per toernooi 120 wedstrijden gespeeld. Na vijf keer het volledige toernooi gespeeld te hebben was de uitslag bekend. Het programma TIT FOR TAT ("oog om oog") van prof. Anatol Rapoport (Universiteit van Toronto) bleek de beste strategie te bevatten. Deze uitslag was opmerkelijk, omdat dit programma het kleinst van omvang was (vier regels). Rapoport's strategie was doodsimpel: begin coöperatief en doe vervolgens altijd wat de tegenstander de vorige keer deed. Anders dan bijvoorbeeld bij programma's die schaakstrategieën opleveren (waar eenvoud altijd

tot snelle ondergang leidt) bleek eenvoudig hier het kenmerk van het ware.

Axelrod en Hamilton, de organisatoren van het toernooi, kwamen tot de ontdekking dat het vriendelijk zijn van de strategieën bepalend was voor de uiteindelijke positie op de ranglijst. Vriendelijkheid werd door hen gedefinieerd als niet-de-eerste-zijn-die-defecteert. De strategieën die als de acht eerste op de uitslag voorkwamen bleken alle de genoemde vriendelijkheid te bezitten; omgekeerd was er bij de zes hekkensluiters van deze eigenschap geen sprake.

Het programma TTT FOR TAT (TFT) scoorde gemiddeld 504.5 punten per match in het toernooi. De gemiddelde score was 410 punten en de standaardafwijking 89 punten.

De grondigheid van het computertoernooi suggereert dat de TFT-strategie altijd de beste strategie is om een herhaald PD-spel te winnen. Deze suggestie is onjuist, zoals ook blijkt uit het volgende, eigen experiment, waarin speler A de TFT-strategie toepast en speler B steeds volstrekt willekeurig coöpereert of defecteert, onafhankelijk van het gedrag van speler A.

Het volgende programma toont de werkwijze in het toernooi en bewijst genoemd nadeel.

```

10  'TTT FOR TAT' tegen RANDOM (A = andere speler, B = eigen
    speler) HV 2000
20  RANDOMIZE TIMER
25  A = INT(2*RND(1)):LM = A 'eerste move A
30  B = 1 'coop start B
40  GOSUB 200 'eerste beloning bepalen
50  FOR X = 2 TO 200
60  A = INT(2*RND(1)):B = LM:GOSUB 200 'A random, B volgt
    vorige A
70  LM = A 'last move van A = volgende move B
80  NEXT X
90  PRINT"totale beloning A = ";TA:PRINT"totale beloning B = ";TB
100 STOP
200 'SR beloning bepalen
210 IF A = 0 AND B = 0 THEN BA = 1:BB = 1:GOTO 220
212 IF A = 0 AND B = 1 THEN BA = 5:BB = 0:GOTO 220
214 IF A = 1 AND B = 0 THEN BA = 0:BB = 5:GOTO 220
216 IF A = 1 AND B = 1 THEN BA = 3:BB = 3
220 TA = TA+BA:TB = TB+BB 'beloning toevoegen
225 RETURN

```

De uitkomst van deze tweestrijd is vaker gunstig voor de erratische, willekeurig opererende speler B dan voor speler A die steevast de TFT-strategie hanteert.

TFT won het toernooi dus ondanks het feit dat dit programma tegenover een programma dat volkomen *at random* kiest in het nadeel is (de score tegen zo'n onberekenbare tegenstander blijft hangen bij 447 ± 88 punten). Juist omdat alle andere tegenspelers *nooit* volstrekt willekeurig te werk gingen, maar op de één of andere manier rekening hielden met het gedrag van de tegenspeler, won uiteindelijk de TFT-strategie. Dit feit geeft te denken.

Opvallend was vooral dat de vriendelijke strategieën vooral in hun onderlinge matches hoge scores behaalden. Als beide spelers samenwerken levert dat 3 punten per speler op, zodat 200 ontmoetingen waarbij voortdurend samengewerkt wordt, de scores opstuwden naar 600, ruim boven het gemiddelde van 410 punten.

Vriendelijk zijn, d.w.z. niet de eerste zijn die defecteert, bleek dus een belangrijke eigenschap om het ver te schoppen in het toernooi. Nadere analyse leverde Axelrod en Hamilton nog wat opmerkelijks op. Downing heeft in 1975 al de zgn. Downing-regel opgesteld als mogelijke verklaring van wat (menselijke) proefpersonen in het PD doen. Het hanteren van de Downing-regel komt er op neer dat de speler probeert om de strategie van de andere speler te begrijpen en zich vervolgens daaraan aanpast. De opzet is dat als de andere speler zich niets gelegen laat liggen aan de goede bedoelingen van de Downingspeler, uitsluitend defectie volgt ("dan maar niet-reactie"); reageert de andere speler echter positief dan is coöperatie het devies. Om na te gaan in hoeverre de andere speler positief reageert wordt uit de historie de kans berekend dat coöperatie de reactie zal zijn op coöperatie en ook de kans dat coöperatie ontvangen zal worden bij defectie door de Downingspeler. Op grond van het vergelijk tussen deze twee kansen wordt de beslissing coöperatie of defecteren genomen. In eerste instantie is er nog weinig geschiedenis om de Downing-regel toe te passen en krijgt deze strategie klap op klap. Na verloop van tijd echter "leert" de Downingstrategie echter dat coöperatie meer oplevert dan defectie en hierdoor blijkt deze regel als *kingmaker* te kunnen worden bestempeld.

Een tweede *kingmaker* bleek de eigenschap "vergevingsgezindheid" te zijn. Eenvoudig gezegd is vergevingsgezindheid de neiging om nog samen te werken nadat de andere speler gedefecteerd heeft. Bij

het vergelijk tussen de vriendelijke strategieën bleek dat het minst vergevingsgezinde programma het laagst scoorde. Dat was het programma waarin niet als eerste gedefecteerd wordt, maar dat na één keer defecteren door de ander *uitsluitend* nog defectie toepast. TIT FOR TAT daarentegen slaat wel onmiddellijk terug na defectie, maar laat daarna de zaak rusten en geeft de ander weer gewoon kans. Ook dit geeft te denken.

Dat TFT het toernooi won wil niet zeggen dat er geen betere strategieën te bedenken waren geweest. Bij de invitatie voor het toernooi stuurden Axelrod en Hamilton een voorbeeldstrategie mee waarin pas defectie toegepast werd nadat de andere speler tweemaal gedefecteerd had ondanks coöperatie van de eigen kant (TIT FOR TWO TATS). Alle deelnemers aan het toernooi besloten minder coulant te zijn in hun strategie, maar achteraf bleek dat deze voorbeeldstrategie het toernooi gewonnen zou hebben. Zelfs doorgewinterde strategie-experts onderschatten dus het belang van vergevingsgezindheid, volgens Axelrod. Nog een interessant feit werd waargenomen: als de strategie die de genoemde Downing-regel had gebruikt, maar in eerste instantie wat coöperatiever was geweest (dus coöperatief begonnen was), dan zou deze strategie veruit de sterkste gebleken zijn. Optimisme over het gedrag van de ander, ook al is nog niets daadwerkelijk bekend, bleek een belangrijke eigenschap te zijn om (zeer) hoog te scoren. Een derde waarneming die te denken geeft.

Axelrods analyse van de toernooiresultaten was dat alle deelnemers (toch niet de minste strategen) steeds weer de fout maakten om meer competitief te zijn dan goed voor henzelf was; dat men bovendien niet genoeg vergevingsgezind en te pessimistisch over het gedrag van de ander was.

Om één en ander nogmaals te testen werd een tweede computertoernooi uitgeschreven. De deelnemers aan dit toernooi kregen allen de beschikking over de resultaten van het eerste, inclusief de beschouwingen van Axelrod en Hamilton. De deelname aan het tweede toernooi was veel groter dan aan het eerste. Uit zes landen kwamen 62 deelnemers, inclusief de deelnemers aan het eerste toernooi.

Alle deelnemers wisten dat TFT het eerste toernooi gewonnen had en dat deze strategie de eenvoudigste was geweest in het eerste toernooi. Niemand bleek echter in staat een betere strategie te bedenken, want TFT won ook het tweede, grote toernooi, opnieuw ingezonden door Anatol Rapoport (en door hem alleen).

Het tweede toernooi werd net zo gehouden als het eerste, maar met dit verschil dat het aantal interacties van een match niet vaststond (in het eerste steeds 200), zulks om te vermijden dat de wetenschap dat nog slechts één of enkele interacties te gaan waren, de beslissingen zou kunnen beïnvloeden. Elke interactie kon in het tweede toernooi de laatste van een match blijken te zijn (deze kans was ingesteld op 0,00346).

Het tweede toernooi omvatte meer dan een miljoen interacties, maar desondanks bleken dezelfde zaken een rol te spelen als in het eerste toernooi. Opnieuw bleek vriendelijkheid een kritische succesfactor. De top-15-strategieën waren allemaal vriendelijk, op nummer 8 na; van de 15 laagst eindigende strategieën was er niet één vriendelijk. Binnen de vriendelijke strategieën bleek dat standaard-onmiddellijke-vergelding van groot belang was. Trage vergelding verminderde de scores steeds weer. Naast vriendelijkheid bleek onmiddellijke vergelding alsmede vergevingsgezindheid cruciaal voor succes. Deze drie eigenschappen zijn niet alleen kenmerkend voor de dubbele winnaar TIT FOR TAT, maar voor de hele kopgroep. Omgekeerd bleek het ontbreken van één of meer van deze drie eigenschappen de positie op de ranglijst sterk negatief te beïnvloeden.

De les van het eerste toernooi (Axelrod, 1980a) die aan alle deelnemers van het tweede bekend was, luidde: wees vriendelijk en vergevingsgezind. Bij het tweede toernooi bleek dat de deelnemers op verschillende manieren gereageerd hadden op deze les. Van de 62 strategieën bleken er 39 deze les in praktijk te brengen, maar enkele tientallen waren gebaseerd op het idee: als anderen vriendelijk en vergevingsgezind zijn heeft het zin om daar voordeel uit te halen. Duidelijk werd dat de scores van de eerstgenoemde vriendelijke en vergevingsgezinde strategieën flink te lijden hadden onder de *free riders*; opvallend was echter dat de *free riders* zelf het toch uiteindelijk niet best deden. Door gebruik/misbruik te maken van de goedwillende strategieën liepen de *free riders* genoeg klappen op om de scores van beiden lager te maken dan onderlinge samenwerking opgeleverd zou hebben. Niet één *free rider* eindigde in de top. TIT FOR TAT was de onbetwiste winnaar van het tweede toernooi. Een vierde waarneming die te denken geeft.

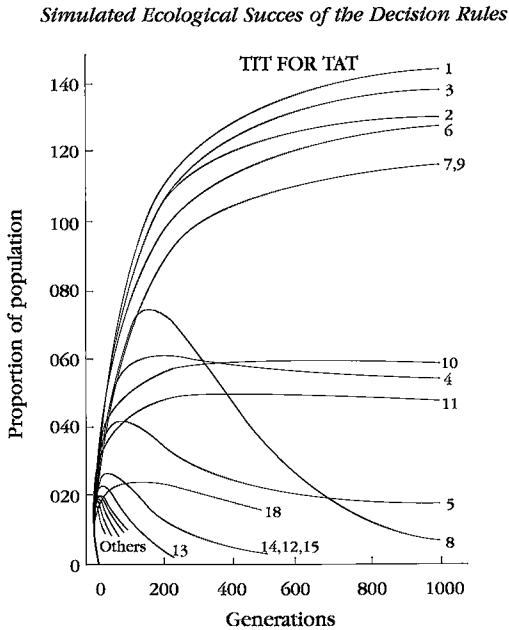
De grote vraag was of een andere opzet van het toernooi, met weer andere strategieën, hetzelfde resultaat zou opleveren. Axelrod en Hamilton bouwden zes compleet andere toernooien en testten de robuustheid van TFT. Vijf maal won TFT en eenmaal werd TFT tweede. De conclusie: TFT is een robuuste strategie.

Om na te gaan of een bepaalde strategie robuust is onder uiteenlopende omstandigheden is het nuttig om een vergelijking te trekken met voorbeelden uit de biologie, zoals beschreven door Dawkins (1976) en Maynard Smith (1978). Stel dat een diersoort aangetroffen wordt waar de individuele dieren steeds (herhaald) interageren alsof het PD van toepassing is: bij een ontmoeting kunnen ze samenwerken of dat juist niet doen; ook kan het ene dier het andere misleiden als dat wel wil samenwerken en zo een maximale buit behalen. Stel dat de betrokken dieren zowel andere dieren kunnen herkennen als zich kunnen herinneren hoe eerdere ontmoetingen afgelopen zijn. Een generatie dieren kan dan beschouwd worden als een eerder beschreven Axelrodtoernooi. Per dier kan de gevolgde strategie enigszins verschillen en ook daarin schuilt overeenkomst met de toernooien. De gedachte was nu om de meer succesvolle strategieën meer te laten overgaan naar de volgende generatie dan de minder succesvolle. De voortplantingsgraad hangt dus af van de mate van succes. Hoe hoger een strategie scoort des te groter is de kans op voortplanting. Volgen we nu verschillende generaties op het punt van de verdeling van de oorspronkelijke strategieën dan wordt na verloop van tijd (van generaties) duidelijk welke strategie wint en hoe het afloopt met andere.

Axelrod en Hamilton lieten 1000 generaties lang de strategieën elkaar ontmoeten, waarbij de generatiewisseling plaatsvond proportioneel naar de behaalde scores. In figuur 3.1 staat grafisch het verloop weergegeven.

Uit figuur 3.1 valt op dat de 11 strategieën die in het tweede toernooi het laagst scoorden al na 5 generaties gehalveerd zijn; de middenmoters weten zich daarentegen redelijk te handhaven en de toppers van het toernooi winnen gestaag meer terrein. Na 50 generaties is het gedaan met de verliezers en blijven de anderen constant of groeien. De winnaars groeien eerst ten koste van de echte verliezers en daarna ook ten koste van de middenmoters. Dit verloop lijkt enigszins op het biologische *survival of the fittest*, met dien verstande dat uitsluitend competitie tussen de origineel bestaande strategieën plaatsvindt. In de natuur speelt mutatie een belangrijke rol, de plotselinge introductie van een lichtelijk andere, nieuwe strategie. Opvallend is dat die strategieën die floreren ten koste van anderen (*free riders*) verdwijnen zodra de te gebruiken strategieën verdwenen zijn. Dit lot werd vooral gedemonstreerd door de enige niet-vriendelijke strategie in de top-15 van het

toernooi. Deze strategie kreeg pas problemen na de 200^e generatie toen de prooiën waarop het succes gebaseerd was weggevaagd waren; na 1000 generaties was deze strategie net zo uitgestorven als die prooi-strategieën. Axelrod onderstreept keer op keer het belang van de ontdekking dat *free riding* (dus profiteren van anderen) uiteindelijk een zelfvernietigend proces blijkt in deze “ecologische analyse”.



Figuur 3.1: Het verloop van de verdeling van de strategieën in 1000 generaties (bron: Axelrod, 1984)

Heel duidelijk werd in dit experiment dat TFT opnieuw de winnende strategie was en zelfs nog sterker groeide dan elke andere strategie. *Stelling 1 van Axelrod* was al eerder door hem geformuleerd: er bestaat voor het PD geen absoluut beste strategie, onafhankelijk van de andere strategieën. In de praktijk bleek TFT de meest succesvolle strategie, ook toen andere strategieën bedacht werden in de wetenschap dat TFT bestond en dat tegen TFT gestreden moest worden. De enige manier om TFT te kunnen bijbenen is als TFT doen; elk alternatief betekende een mindere score.

Al met al is TFT een robuuste, succesvolle strategie vanwege ten eerste de vriendelijkheid, ten tweede vanwege de onmiddellijke vergelding van defectie, ten derde de vergevingsgezindheid en ten slotte dankzij de helderheid (herkenbaarheid) van de strategie, aldus Axelrod. Die helderheid is de vijfde opmerking die te denken geeft.

De uitkomsten van de puur speltheoretische experimenten geven dus tot vijfmaal toe stof tot overdenking. Axelrod en Hamilton (1981) ontvingen de *Newcomb Cleveland Prize of the American Association for the Advancement of Science* voor hun gedachten over de betekenis van de experimenteel gevonden kritische succesfactoren, maar nu in een biologische en sociale context. Een stroom van publicaties met daarin het verslag van studies over en experimenten met de gevonden kritische succesfactoren was al ontstaan in deze jaren en zwol nog aan. Titels als *The Evolution of Cooperative Breeding in Birds* (Emlen, 1978), *When Doves Conspire* (Fagen, 1980) en *The Relationship between Mating System and Simultaneous Hermaphroditism in the Coral Reel Fish, Hypoplectrum Nigricans* (Fischer, 1980) zijn voorbeelden van toepassingen in de biologie. *The Cyprus Conflict as a Prisoner's Dilemma* (Lumsden, 1983), *Cooperation Under the Security Dilemma* (Jervis, 1976) en *The Effect of Westernization on Cooperative Behaviour in Central Africa* (Bethlehem, 1975) zijn drie voorbeelden waarbij de sociale toepassing geldt.

Nu vastgesteld is dat bij herhaalde interacties tussen non-complexe "individuen", dat wil zeggen individuen die uitsluitend op grond van simpele algoritmes hun gedrag bepalen, vier kritische succesfactoren bestaan, is het interessant om na te gaan in hoeverre complex reagerende echte mensen, leden van de moderne maatschappij, op een vergelijkbare manier maatschappelijk succes boeken. Is het niet zo dat velen het beeld herkennen van een mens die vriendelijk aan elke interactie begint, die bij negatieve reactie direct zijn (haar) tanden ook laat zien, die tegelijk vergevingsgezind is (niet na blijft mokken) en die dat gedrag consistent overbrengt naar haar (zijn) omgeving (dus als zodanig bekend staat), is het niet zo dat zo'n mens inderdaad in onze maatschappij de beste kansen heeft om "het goed te doen", zowel in economisch als in sociaal verband? Vormt de set van de genoemde vier kritische succesfactoren niet een rationeel aanknopingspunt voor de centrale vraag hoe coöperatie ontstaat?

Dit vermoeden is aanleiding geweest om de speltheoretische stellingen van Axelrod nader te analyseren in Hoofdstuk 4.

4. Directe reciprociteit: de acht stellingen van Axelrod

Kan coöperatie ontstaan in een wereld gevuld met egoïsten zonder centraal gezag? Axelrods antwoord op deze vraag is bevestigend. Daartoe ontwikkelde hij een redenering die al in beginsel opgezet was door John Maynard Smith in de zeventiger jaren (Smith, 1976). Een achttal stellingen wordt in logische volgorde speltheoretisch ontwikkeld, waarna conclusies mogelijk zijn.

Omdat de toekomst altijd onzeker is (zullen we elkaar nog wel weer tegenkomen?) zullen degenen die het herhaald PD spelen minder waarde hechten aan toekomstige resultaten dan aan het resultaat van de beslissing waar zij op dat moment voor staan. Shubik (1971) heeft het begrip *weight* geïntroduceerd waarmee bedoeld wordt de mate waarin het resultaat van een beslissing minder van waarde wordt geacht dan dat van de vorige. Shubik noemt *weight* daarom een *discount parameter*. Stel dat in een reeks van beslissingen geldt dat elke beslissing slechts half zo belangrijk wordt geacht als de vorige. *Weight* (w) is dan gelijk aan 0,5. Een hele serie beiderzijdse defecties, die elk steeds één punt per speler opleveren, heeft dan een waarde van 1 na de eerste beslissing, 0,5 na de tweede, 0,25 na de derde etc., oftewel gesommeerd 2. In het algemeen geldt dat wanneer telkens 1 punt gescoord wordt de gesommeerde waarde gelijk is aan $1 + w + w^2 + w^3 + \dots$, wat neerkomt op $1/(1-w)$ mits $-1 < w < 1$ (som van een sommeerbare meetkundige rij). Als elk resultaat bijvoorbeeld 0,9 waard is van het vorige heeft zo'n resultaat (dat 1 punt oplevert per speler) een gesommeerde waarde van $1/(1-0,9) = 10$ punten. Een serie van 3 beslissingen om wederzijds te coöpereren (3 punten per speler resultaat per keer) levert gesommeerd zo 30 punten op aan elke speler. Axelrod geeft het voorbeeld van een match tussen twee strategieën, het welbekende TFT en ALL D, d.w.z. de strategie waarbij *altijd* defectie toegepast wordt. Bij de eerste zet is TFT coöperatief en defecteert ALL D per definitie. Resultaat: 0 punten voor TFT en 5 voor ALL D. Nu gaat TFT vergelden en defecteert in alle volgende zetten, want ALL D blijft immers ook defecteren. De subjectieve waarde van de eerste zet voor de ALL D-speler is dan gelijk aan

$$5 + w \cdot 1 + w^2 \cdot 1 + w^3 \cdot 1 \dots = 4 + 1/(1-w).$$

In feite is w een maat voor het rekening houden met de toekomst. Een lage waarde van w (dicht bij 0) geeft aan dat met de toekomst ternauwernood rekening wordt gehouden; een waarde van w dicht

tegen 1 aan geeft het andere uiterste weer: de toekomst wordt van groot belang geacht.

Stelling 1 van Axelrod: **als w groot genoeg is bestaat er geen optimale strategie die losstaat van de strategie van de andere speler.**

Het bewijs is als volgt. Stel de andere speler hanteert ALL D. De beste strategie is dan om zelf ook *altijd* te defecteren. Stel echter dat de andere speler de strategie van de permanente vergelding toepast, d.w.z. hij coöperereert totdat hij een keer met defectie geconfronteerd wordt; daarna defecteert hij permanent, wat de ander ook doet. In dit geval is het de beste strategie om *nooit* te defecteren. Dit laatste is waar mits de winst die de allereerste keer behaald kan worden door defectie minder geacht wordt dan het permanente verlies dat na de eerste keer opgelopen wordt doordat de ander uitsluitend nog defecteert. Daar is uitsluitend sprake van als w maar groot genoeg is, d.w.z. als de toekomst voldoende telt. De conclusie is derhalve dat het antwoord op de vraag wel of niet coöpereren (zelfs bij de eerste zet) afhangt van de strategie van de ander. Vooropgesteld dat w groot genoeg is bestaat er dus geen optimale strategie.

Als dan in toernooien en evolutionaire modellen gebleken is dat TFT de winnende strategie is en op steeds grotere schaal gebruikt wordt, zal uiteindelijk dan nog enige andere strategie overblijven of wordt de winnende strategie voorgoed ieders strategie? Het antwoord op deze vraag benaderde Axelrod met behulp van het eerdere werk van John Maynard Smith (1976). Daarin wordt een model beschreven waarin een hele populatie individuen bestaat die dezelfde strategie hanteert; daarnaast is er een enkele mutant met een andersoortige strategie. Er wordt nu gesteld dat de strategie van de mutant de populatie "invadeert", binnendringt, als de mutant een betere score bereikt dan het standaardindividu met de standaardstrategie ten opzichte van een ander standaardindividu. Duidelijk is dat de nieuwkomer uitsluitend interacties aangaat met individuen die de standaardstrategie hanteren. Feitelijk komt binnendringing er op neer dat de nieuwkomer beter dan het gemiddelde van de populatie presteert. Hier komt een sleutelbegrip van de evolutionaire biologie in beeld: een strategie is *pas collectief stabiel* als geen enkele andere strategie kan binnendringen.

De biologische motivatie voor deze benadering van John Maynard Smith is gebaseerd op de vertaling van de scores in termen van

fitness, die de overlevingskansen en de voortplantingsmogelijkheden van het individu bepaalt.

Alle mogelijke mutaties kunnen voorkomen, maar alleen wanneer een mutatie een bovengemiddeld voordeel biedt zal binnendringing in de populatie mogelijk zijn en vroeger of later plaatsvinden.

Collectief stabiele strategieën vormen dus een belangrijk begrip, want deze zijn noodzakelijk om mutanten weerstand te bieden.

Wil een strategie door allen als enige gebruikt kunnen (blijven) worden dan zal deze strategie niet “binnengedrongen” mogen kunnen worden, anders gaat het een keer mis. Overigens moet bij het begrip collectief stabiele strategie uitgegaan worden van de situatie dat nieuwe strategieën in redelijk isolement door bepaalde individuen uitgetoetst worden; als er clusters van zo experimenterende individuen ontstaan kunnen heel andere, ingrijpende gevolgen optreden, zo zal later blijken.

Stelling 2 van Axelrod: TFT is collectief stabiel uitsluitend indien w tenminste net zo groot is als de grootste van $(T-R)/(T-P)$ en $(T-R)/(R-S)$.

Eerst wordt een notatie voorgesteld voor het resultaat (de score) van strategie A die interageert met strategie B, namelijk $V(A|B)$. Strategie A dringt een populatie in waarin de individuen strategie B hanteren als $V(A|B) > V(B|B)$. Als er geen strategie A bestaat waarvoor geldt $V(A|B) > V(B|B)$ dan is strategie B *collectief stabiel*. Om stelling 2 te bewijzen wordt eerst aangetoond dat de uitspraak “als w tenminste net zo groot is als de grootste van $(T-R)/(T-P)$ en $(T-R)/(R-S)$ kan noch de ALL D-strategie noch de DC-strategie TFT binnendringen” gelijkwaardig is aan stelling 2. Vervolgens worden twee implicaties van deze uitspraak bewezen.

Eerst beschouwen we dus een match tussen ALL D en TFT.

De termen voor de diverse mogelijke scores in het herhaald PD zijn T, R, P en S (resp. *temptation*, *reward*, *punishment* en *sucker's payoff*, zie hoofdstuk 3), waarvoor geldt $T > R > P > S$ en $R > (T+S)/2$. Bij de eerste zet tussen ALL D en TFT krijgt de ALL D-speler T en daarna steeds P, waardoor de totale score van de ALL D-strategie uitgedrukt wordt als

$$V(\text{ALL D}|\text{TFT}) = T + wP/(1 - w)$$

Bij een match tussen TFT en TFT zelf geldt

$$V(\text{TFT}|\text{TFT}) = R + wR + w^2R + w^3R \dots = R/(1 - w)$$

ALL D kan 'TFT' niet binnendringen als geldt

$$T + wP/(1-w) \leq R/(1-w)$$

$$\text{oftewel } w \geq (T-R)/(T-P)$$

Evenzo laten we TFT een match aangaan met de zgn. DC-strategie waarin standaard defectie en coöperatie steeds afgewisseld worden, te beginnen met defectie.

Zet	beslissing DC	beslissing TFT	score DC
1	D	C	T
2	C	D	S
3	D	C	T
4	C	D	S

Dus dan geldt:

$$\begin{aligned} V(\text{DC}|\text{TFT}) &= T + wS + w^2T + w^3S + w^4T + \dots = \\ &= T(1 + w^2 + w^4 \dots) + S(w + w^3 + w^5 \dots) = \\ &= T(1 + w^2 + w^4 \dots) + wS(1 + w^2 + w^4 \dots) = \\ &= (T + wS)/(1 - w^2) \end{aligned}$$

Als 'TFT' een stabiele strategie is en niet binnen te dringen is door de DC-strategie moet gelden:

$$\begin{aligned} V(\text{DC}|\text{TFT}) &\leq V(\text{TFT}|\text{TFT}) \\ (T + wS)/(1 - w^2) &\leq R/(1 - w) \\ \text{zodat} \\ w &\geq (T-R)/(R-S) \end{aligned}$$

Als nu voor w maar geldt dat $w \geq (T-R)/(T-P)$ èn $w \geq (T-R)/(R-S)$ dan is TFT niet binnen te dringen door ALL D noch door de DC-strategie. De voorwaarde die in stelling 2 genoemd wordt betreffende de grootte van w is dus *dezelfde* als die geldt voor de uitspraak dat noch ALL D noch de DC-strategie TFT kunnen binnendringen.

Als w maar groot genoeg is kunnen noch ALL D noch de DC-strategie TFT binnendringen, dat is nu aangetoond.

De mogelijkheden voor een strategie om te reageren op TFT zijn beperkt: ofwel men coöpereert voortdurend (en scoort net zo veel, maar niet beter dan TFT), ofwel men alterneert coöperatie en defectie (wat afwisselend 5 en 0 punten voor beiden oplevert, dus weer geen verschil), ofwel men defecteert continu (wat de eerste keer 5 punten oplevert, maar verder steeds 1). Het is dus onmogelijk

om tegen TFT een strategie in te zetten die hoger scoort dan de score van TFT vs. TFT op de langere termijn. Als w de berekende waarden van $(T-R)/(R-S)$ en $(T-R)/(T-P)$ maar minstens evenaart is TFT een collectief stabiele strategie.

Nadat Axelrod bewezen had dat TFT een collectief stabiele strategie is was zijn volgende stap om alle collectief stabiele strategieën te karakteriseren. Hieraan ten grondslag ligt het idee dat binnendringing voorkomen wordt zolang het maar regel is dat de binnendringer slechter af is door zijn gedrag dan wanneer hij de standaardstrategie had gevolgd. Strategie B hoeft zich geen zorgen te maken over de handelwijze van A bij zet n in het herhaald PD als vaststaat dat voortaan $V(A|B) \leq V(B|B)$, aannemende dat A vanaf zet n uitsluitend nog defecteert. Axelrod definieert de *secure position* van B bij zet n als geldt

$$V_n(A|B) + w^{n-1}P/(1-w) \leq V(B|B)$$

omdat het beste wat A nog doen kan vanaf zet n steeds maar defecteren is en dus P scoren.

Waar stelling 2 van Axelrod inhoudt dat TFT een collectief stabiele strategie is op voorwaarde dat de toekomst genoeg meetelt, kan het voorgaande gebruikt worden om aan te tonen dat deze conclusie feitelijk geldt voor elke strategie die als eerste coöperereert.

Stelling 3 van Axelrod: elke strategie die als eerste kan coöpereren kan uitsluitend collectief stabiel zijn als w groot genoeg is.

Stel dat B zo'n strategie is en het opneemt tegen ALL D. Als B al in de eerste zet coöperereert geldt

$$V(\text{ALL D}|B) \geq T + wP/(1-w)$$

want bij die eerste zet defecteert ALL D en incasseert daardoor T , maar daarna moeten beide het doen met P . In het PD geldt dat $R > P$ en dat $R > (S+T)/2$. Het maximale resultaat dat B kan behalen tegen B zelf is $R/(1-w)$, zijnde het resultaat van constant coöpereren. $V(B|B)$ kan dus nooit groter zijn dan $R/(1-w)$, oftewel

$$R/(1-w) \geq V(B|B)$$

Het gevolg is dat $V(\text{ALL D}|B) > V(B|B)$ waar is in alle gevallen waarvoor geldt

$$T + wP/(1-w) > R/(1-w)$$

dus als

$$w < (T-R)/(T-P)$$

Dit houdt in dat ALL D in een B-strategie binnendringt die bij de eerste zet coöpereert mits w kleiner is dan $(T-R)/(T-P)$. Alleen wanneer w groot genoeg is kan een dergelijke binnendringing voorkomen worden. De eigenschap om niet de eerste te zijn die defecteert leidt tot de bestempeling “vriendelijk” voor een strategie. Een vriendelijke strategie is feitelijk meer flexibel dan een onvriendelijke, maar deze flexibiliteit is niet onbegrensd. Een vriendelijke strategie moet *getart* worden alvorens tot defectie over te gaan en dat blijkt uit stelling 4.

Stelling 4 van Axelrod: Wil een vriendelijke strategie collectief stabiel kunnen zijn dan moet deze getart worden door de eerste defectie van de andere speler.

Het bewijs voor deze stelling is eenvoudig: zou de vriendelijke strategie niet getart worden door de eerste defectie bij zet n , dan zou deze niet collectief stabiel zijn omdat binnendringing mogelijk zou zijn door een strategie die uitsluitend op zet n defecteert.

Stelling 5 van Axelrod: ALL D is te allen tijde collectief stabiel.

Een populatie van individuen die *altijd* defecteren (ALL D) is niet binnen te dringen voor iemand die een willekeurig andere strategie hanteert – vooropgesteld dat de nieuwkomers steeds individueel arriveren. Stel dat de ALL D hanterende populatie B's zijn en de nieuwkomers A's genoemd worden. De A's zijn belangrijk voor elkaar (ze komen in een cluster), maar niet voor de B's, omdat hun aantal ten opzichte van de B's te verwaarlozen is. De speltheoretische uitdrukking is nu dat een *p-cluster* van A's bij de B's binnendringt als

$$pV(A|A) + (1-p)V(B|B) > V(B|B)$$

waarbij p het deel aangeeft van de interacties die aan beide kanten met strategie A afgewikkeld worden. Als p dus maar groot genoeg is wordt binnendringing mogelijk. De interacties conform A vs. B tellen dus niet mee bij deze bepaling; A's zijn dan “normale” individuen. Alleen als de A's zelf A's ontmoeten ontstaat kans op binnendringing.

Een voorbeeld van binnendringing door een cluster is het volgende. Een populatie waarin uitsluitend ALL D wordt toegepast krijgt bezoek van een groep individuen die TFT toepassen. De waarde van w wordt gesteld op 0,9. Ontmoetingen tussen de ALL D-toepassers leveren onveranderlijk 1 punt op met een gesommeerde waarde van 10 punten ($1 + w \cdot 1 + w^2 \cdot 1 + \dots = 1/(1 - w)$). Ontmoetingen tussen een TFT-toepasser en een ALL D-gebruiker brengen de TFT-toepasser eerst 0 als score en vervolgens steeds 1 punt, wat te sommeren valt tot 9 punten ($0 + w \cdot 1 + w^2 \cdot 1 + w^3 \cdot 1 + \dots = 1/(1 - w) - 1$). TFT-toepassers die elkaar ontmoeten coöpereren natuurlijk en scoren steeds 3 punten per ontmoeting, oftewel 30 punten gesommeerd ($3 + w \cdot 3 + w^2 \cdot 3 + \dots = 3/(1 - w) = 30$). Dit betekent dat de TFT-toepassers driemaal zoveel scoren bij hun onderlinge ontmoetingen als de ALL D-gebruikers. Als de TFT-toepassers dus elkaar maar genoeg tegenkomen zal hun gemiddelde score groter worden dan die van de ALL D-individen. Het verlies van het ene punt (9 i.p.v. 10) dat TFT-toepassers lijden bij hun (frequente!) ontmoetingen met ALL D-spelers kan meer dan gecompenseerd worden door de veel hogere scores die zij bij hun (schaarse) onderlinge contacten behalen.

Stel dat p het deel van de TFT-interacties is dat plaatsvindt tussen twee TFT-toepassers, dan is $1 - p$ het deel van de TFT-interacties dat zich afspeelt tussen een TFT-gebruiker en een ALL D-toepasser. De gemiddelde score voor een TFT-gebruiker wordt dan $30p + 9(1 - p)$; dit gemiddelde moet vergeleken worden met de gemiddelde score in de ALL D-populatie die 10 punten bedraagt. Als p maar groter is dan $1/21$ zal de gemiddelde score van de TFT-toepasser dus al beter zijn dan die van de standaardpopulatie. In woorden: als 5% van alle TFT-interacties tussen twee TFT-spelers gebeurt is binnendringing in de ALL D-populatie al mogelijk.

Waar een enkeling onmogelijk een ALL D-populatie kan binnendringen lukt dat een groep TFT-ers wel, op voorwaarde dat ze in het begin redelijk wat onderling contact hebben, want daar is de voorsprong in score te behalen.

Zodra de nieuwkomers in aantal toenemen (of steeds meer bestaande individuen zich tot de nieuwe strategie bekeren) vormen ze geen verwaarloosbare fractie meer en zal het aantal heterogene contacten toenemen. Als we uitgaan van volledige *random* menging van de twee groepen waarbij q het percentage nieuwkomers is dan zullen de nieuwkomers het beter doen dan de oorspronkelijke individuen als geldt

$$qV(A|A) + (1-q)V(A|B) > qV(B|A) + (1-q)V(B|B)$$

Stel dat hier de A's TFT gebruiken en de B's de ALL D-strategie en houden we voor het herhaald PD de standaardwaarden voor T, R, P en S aan, dan blijkt dat als q maar groter is dan $1/17$ al aan de genoemde ongelijkheid wordt voldaan. Zodra de nieuwkomers maar een paar procent van de totale populatie uitmaken kunnen zij zich met vertrouwen mengen in de hele populatie en zijn ze niet langer afhankelijk van hun onderlinge samenwerking.

Op deze manier kan geleidelijk coöperatie ontstaan in een wereld vol steeds afwijzende individuen, volgens Axelrod. De vraag is welke strategieën het meest doelmatig zijn om ALL D-populaties binnen te dringen.

Stelling 6 van Axelrod: de strategieën die ALL D kunnen binnendringen in de kleinste clusters zijn die strategieën die maximaal discriminerend zijn (zoals TFT).

Een strategie wordt *maximaal discriminerend* genoemd als deze uiteindelijk wel wil coöpereren, ook al heeft de tegenspeler dat nog nooit gedaan; bovendien geldt dat als een keer gecoöpereerd wordt daarna nooit meer met ALL D gecoöpereerd wordt, maar wel altijd met een andere speler die dezelfde strategie hanteert.

Om ALL D binnen te kunnen dringen moet een strategie per definitie als eerste kunnen coöpereren, ook al is er van coöperatie van de andere zijde nog geen sprake geweest.

Zoals eerder gesteld is binnendringen in B door een p -cluster A's mogelijk indien

$$pV(A|A) + (1-p)V(B|B) > V(B|B)$$

Hieruit is af te leiden dat de A-strategieën die ALL D (de B's) met de laagste p -waarde kunnen binnendringen die strategieën zijn die de kleinste waarde van p^* hebben, waarbij

$$p^* = [V(B|B) - V(A|B)]/[V(A|A) - V(A|B)]$$

In woorden: de verhouding tussen enerzijds het verschil tussen de scores die de ALL D-spelers onderling behalen en die door de

binnendringers met de ALL D-spelers bereikt worden en anderzijds het verschil tussen de scores van de binnendringers onderling en de die van de binnendringers met de ALL D-spelers. Gegeven is dat

$$V(A|A) > V(B|B) > V(A|B)$$

want de interacties van de indringers onderling leveren hogere scores op dan die van de ALL D-spelers onder elkaar, en deze weer meer dan die van de indringers met de ALL D-spelers. Uit de formule voor p^* is af te lezen dat de waarde van p^* minimaal wordt als $V(A|A)$ en $V(A|B)$ maximaal zijn. Deze maxima worden bereikt als A een maximaal discriminerende strategie ten opzichte van B is. Dat geldt voor TFT, want TFT coöperereert altijd bij de eerste zet, TFT doet dat eens en nooit weer met ALL D en TFT werkt altijd samen met zichzelf.

Stelling 7 demonstreert dat vriendelijke strategieën beter in staat zijn dan niet-vriendelijke om zichzelf tegen binnendringing door een cluster te beschermen.

Stelling 7 van Axelrod: als een vriendelijke strategie niet door een individu binnengedrongen kan worden kan dat evenmin door een cluster van zulke individuen.

Wil een cluster individuen dat strategie A toepast een populatie waar strategie B de standaard is kunnen binnendringen dan moet er een waarde van $p \leq 1$ zijn voor de A-cluster waarvoor geldt:

$$pV(A|A) + (1-p)V(A|B) > V(B|B) \text{ (zie toelichting bij stelling 5)}$$

Als B een vriendelijke strategie is geldt dat $V(A|A) \leq V(B|B)$; $V(B|B)$ is dan namelijk gelijk aan $R/(1-w)$ oftewel het maximaal te behalen resultaat bij toepassing van B door beide zijden. Omdat conform de basisregels van het herhaald PD de score bij beiderzijdse samenwerking groter is dan het gemiddelde van de *sucker's payoff* S en de *temptation* T, dus $R > (T + S)/2$, is $R/(1-w)$ de maximale score. Binnendringen lukt uitsluitend wanneer $V(A|B) > V(B|B)$, maar dat geldt ook voor een enkel individu dat strategie A hanteert en bij B binnen wil dringen.

Tenslotte beschrijft Axelrod *territoriale* systemen waarin spelers enkel met hun burens interageren. Een generatie lang vinden zo

ontmoetingen plaats en de score per speler wordt bepaald door de gemiddelde score die de spelers tijdens de generatie met hun burens behaald hebben. Aan het eind van de generatie wordt per speler nagegaan of er burens zijn die beter gescoord hebben en zo ja, dan schakelt de bewuste speler over op de strategie van de meest succesvolle buurspeler. Mochten er meerdere zijn die *ex aequo* beter scoren dan wordt willekeurig één gekozen om te imiteren. De concepten met betrekking tot binnendringing en stabiliteit worden dan als volgt overgeplant naar de territoriale systemen: stel dat een enkel individu dat strategie A gebruikt, terechtkomt op een locatie waar ieder ander strategie B gebruikt. Als uiteindelijk *alle* locaties in het territorium overgeschakeld zijn van strategie A naar strategie B spreekt Axelrod van het *territoriaal binnendringen* van strategie B door strategie A. Strategie B heet dan *territoriaal stabiel* als geen enkele andere strategie zo weet binnen te dringen.

Stelling 8 van Axelrod: als een strategie collectief stabiel is, is die strategie ook territoriaal stabiel.

Het bewijs van deze stelling is eenvoudig. Stel er is een territoriaal systeem waarin op één individu na iedereen een standaardstrategie hanteert en wel een collectief stabiele strategie. De ene uitzondering gebruikt een nieuwe strategie. Per definitie heeft geen enkel aanpalend individu een reden om na afloop van de generatie over te stappen naar de strategie van de uitzondering. Tegelijk passen de aanpalende individuen de standaardstrategie toe met de standaard-individuen die hen omringen en deze interacties leveren per definitie een hogere score op. Per saldo zal geen enkel individu overschakelen op de nieuwe strategie van het ene individu. Collectief stabiele strategieën zijn dus ook territoriaal stabiele strategieën.

Dit bewijs wordt gegeven voor territoriale systemen die gebaseerd zijn op een rechthoekig rooster. Het bewijs geldt in het algemeen voor alle territoriale systemen die niet te veel vervlochten zijn. Meer specifiek: het bewijs geldt voor elk systeem met de eigenschap dat voor elk punt in het territorium een buurpunt van een buurpunt bestaat, dat niet het buurpunt van het eerste territoriumpunt is. Hierdoor wordt bewezen dat bescherming tegen binnendringing niet moeilijker is in een territoriaal systeem dan in een systeem waarin menging vrijelijk plaatsvindt. Axelrod trekt hier de conclusie dat onderlinge samenwerking, coöperatie, net zo eenvoudig duurzaam kan blijken in een (niet al te dicht vervlochten) territoriaal systeem als in systeem waar vrijelijk alles gemengd wordt.

De acht stellingen van Axelrod vormen een theoretisch fundament onder de kritische succesfactoren uit Hoofdstuk 2. De rationaliteit van het ontstaan van coöperatie onder de voorwaarde van directe reciprociteit maar zonder centraal gezag, is op een volstrekt nieuwe manier aangetoond.

De waarneming dat in de huidige samenleving vroeger onvoorstelbare voorbeelden van samenwerking veelvuldig voorkomen en dat coöperatie in feite de *conditio sine qua non* is voor het bestaan van deze complexe samenleving, gaat voor het eerst gepaard met een theoretische onderbouwing van de mogelijke ontstaanswijze van coöperatie. De sombere visie van Thomas Hobbes kan voorzien worden van rationele kanttekeningen.

De vraag blijft of willekeurige voorbeelden van complexiteit benaderd kunnen worden met de *bottom up*-benadering van Axelrod c.s. Deze vraag klemde te meer daar directe reciprociteit de voorwaarde was om de in dit hoofdstuk toegelichte benadering toe te passen. Een actueel complex fenomeen is (bijvoorbeeld) de samenwerking die bestaat (of zou moeten bestaan) om maximale voedselveiligheid te bewerkstelligen. Directe reciprociteit is geen kenmerk van de handelwijze van de actoren in deze maatschappelijke keten. Kort samengevat is juist het ontbreken van direct contact tussen de consument van een voedingsmiddel van dierlijke oorsprong en de primaire producent van dat voedsel een kenmerk. Op basis van modellen die gestoeld zijn op directe reciprociteit is de speltheoretische analyse nog niet te maken in dit specifieke geval. Daarvoor is de introductie van simulatiemodellen waarin indirecte reciprociteit voldoende is, nodig. Hoofdstuk 5 is aan deze ontwikkeling gewijd.

5. Indirecte reciprociteit: het computersimulatiemodel van Nowak & Sigmund

Vijftien jaar na het verschijnen van Axelrods boek *The Evolution of Cooperation* verscheen in *Nature* een artikel van Nowak en Sigmund getiteld *Evolution of indirect reciprocity by image scoring*. In dit artikel wordt een nieuw theoretisch raamwerk gepresenteerd dat gebaseerd is op *indirecte* reciprociteit.

Tot dusverre was de theorie omtrent coöperatieontwikkeling altijd gestoeld op *directe* reciprociteit, te weten de steeds weer terugkerende ontmoetingen tussen dezelfde individuen of groepen individuen. Het model van Nowak en Sigmund vereist niet dat twee individuen elkaar ooit weer tegenkomen. Individuele keuzes in gedrag kunnen desalniettemin coöperatieve strategieën bevorderen doordat rekening gehouden wordt met eerder gedrag van de tegenspelers jegens anderen. Nowak en Sigmund stellen dat coöperatief gedrag lucratief is omdat het aan de coöperant een waardevol *imago* geeft (Nowak & Sigmund, 1992a).

Hun werk bestaat uit computersimulaties en analytische modellen die de voorwaarden specificeren waaronder sprake is van evolutionaire stabiliteit van indirecte reciprociteit. Daarbij wordt aangetoond dat de kans om het imago van de tegenspeler te kennen groter moet zijn dan de *cost-to-benefit* ratio van een altruïstische daad. Nowak en Sigmund stellen aan het eind van hun artikel voor om de conclusie te trekken dat het ontstaan van coöperatie bij *indirecte* reciprociteit een beslissende stap geweest moet zijn bij de ontwikkeling van menselijke samenlevingen.

De computersimulatie van Nowak en Sigmund (vanaf hier: het NS-model) bouwt voort op de systemen van Axelrod. Men gaat uit van een populatie van 100 individuen, die elk gekenmerkt worden door twee eigenschappen en een "portemonnee"; de eerste eigenschap is een erfelijk overgedragen index voor de mate van coöperatiebereidheid, de K-index; de tweede eigenschap is een imago-index, die bij de "geboorte" van het individu op 0 staat en tijdens het leven veranderen kan (en meestal zal), de I-index. De K-index, de aangeboren neiging tot coöpereren varieert van -5 tot +6, waarbij -5 staat voor altijd onvoorwaardelijke coöperatiebereidheid en +6 voor permanente defectie. Bij de start van de eerste populatie krijgt ieder individu *at random* een K-index, waarbij de kans op elke score (van -5 tot +6) even groot is. Bij de start is, zoals gesteld, de I-index van alle individuen 0.

Nu wordt 125 keer willekeurig een duo individuen uitgekozen. Het ene wordt als donor bestempeld en het andere als recipiënt. De donor is degene die beslist over de uitkomst van de interactie die hoort bij elke ontmoeting. Is de I-index van de recipiënt groter dan of gelijk aan de K-index van de donor dan coöperereert de donor, wat betekent dat de recipiënt 1 punt in zijn portemonnee krijgt, maar dat vreemd genoeg de donor niet armer wordt. Weigert de donor coöperatie dan verandert er niets in de "portemonnee" noch bij de recipiënt noch bij de donor. Vitaal is het gegeven dat bij coöperatie het imago van de donor met 1 punt vergroot wordt en dat bij defectie door de donor diens imago met 1 punt verminderd wordt (waarbij de I-index niet lager dan -5 en niet hoger dan $+5$ gaat). Het imago van de recipiënt verandert dus niet bij deze interacties; een individu kan uitsluitend een verandering van de I-index ondergaan als het donor is. Een donor met (erfelijke) K-index -2 zal dus uitsluitend met een recipiënt coöpereren als de I-index van de recipiënt tenminste gelijk aan -2 is, dus niet met een recipiënt met een I-index van -3 , -4 of -5 . Zou de K-index van de donor echter -4 zijn dan zou de donor zelfs nog toegeeflijk zijn jegens een recipiënt met I-index -3 en -4 .

De populatie ondergaat zoals gesteld 125 keer deze procedure, waarbij 125 keer willekeurig twee individuen gekozen worden. Een individu is dus gemiddeld slechts 2,5 keer bij een interactie betrokken en de kans dat een individu niet meer dan één interactie meemaakt is flink. Vandaar dat de directe reciprociteit geen rol van betekenis kan spelen.

Nadat de 125 interacties afgewerkt zijn wordt de balans opgemaakt; de inhoud van de "portemonnee" geldt als maatstaf voor succes. De populatie wordt vervangen door een nieuwe, waarbij het behaalde succes van een individu de kans op "voortplanting" bepaalt. Hoe groter de totaalscore in generatie n des te meer kans op voortplanting in generatie $n+1$. Deze proportionele voortplanting houdt in dat de K-indexen overerven, maar dat de nieuwe individuen opnieuw met een I-index van 0 en een lege portemonnee starten. In de nieuwe generatie zal dus de verdeling van de K-indexen anders zijn dan in de eerste (waar immers *at random* gestart werd). De NS-methode houdt in dat nagegaan wordt hoe de K-indexen verdeeld raken na herhaalde generatiewisselingen.

De resultaten van deze computersimulatie bleken belangwekkend. Waren de 12 K-indexen per definitie in generatie 1 nog *random* verdeeld, na 10 generaties namen de K-indexen -1 , 0 en $+5$ relatief

sterk toe. Na 20 generaties waren het -4 , -1 en 0 die de boventoon voerden, maar na ongeveer 150 generaties bleef nagenoeg uitsluitend K-index 0 over; de rest was bijna verdwenen. Na de 166e generatie was K-index 0 als enige nog over en bestond de populatie compleet uit individuen met K-index 0 . Het bleek dus in dit experiment dat K-waarde 0 als enige na verloop van 166 generaties over was; de populatie was stabiel geworden en was uniform *kritisch coöperatief*.

Nowak en Sigmund stellen op grond van dit experiment voor *“that the emergence of indirect reciprocity was a decisive step for the evolution of human societies”*. In een inleidende column van *Nature* (1998, vol. 393) schrijft Régis Ferrière als hoofdredacteur:

“How do moral systems evolve? The common view, rooted in game theory, is that cooperation and mutual aid require tight partnerships among individuals, or close kinship. But this dogma is now being shaken and, on page 573 of this issue, Nowak and Sigmund report a new mathematical model to show that cooperation can become established even if recipients have no chance to return the help to their helper. This is because helping improves reputation, which in turn makes one more likely to be helped.

Nowak and Sigmund's stance differs radically from classical approaches, because they assume that any two organisms are unlikely to interact twice. This excludes any direct reciprocity, meaning that you should not expect your assistance to be returned by somebody you helped on a previous encounter, but by somebody else”.

De auteurs tonen in het genoemde artikel een viertal tabellen, waarin de veranderingen van de verdeling van de K-waarden door de generaties zichtbaar worden. Op grond van de gegevens in het *Nature*-artikel is daarop door ons een computerprogramma geschreven dat echter steeds verschillende uitslagen gaf. Navraag bij de auteurs leverde het oorspronkelijk gebruikte computerprogramma op, geschreven in Fortran (Appendix 3).

Uit deze Fortrancode blijkt dat de regels bij de ontmoetingen tussen de individuen toch enigszins anders waren dan in het artikel vermeld stond. Uit het volgende fragment kunnen de verschillen opgemaakt worden:


```
if (is(i1).ge.ip(i2)) then
  f(i1)=f(i1)+rr
  is2=is(i2)+1
else
  f(i1)=f(i1)+dd
  f(i2)=f(i2)+dd
  is2=is(i2)-1
endif

if (is2.gt.max) is2=max
if (is2.lt.min) is2=min
is(i2)=is2

enddo
```

Hieruit (en uit de waarden voor *rr* en *dd*, zie Appendix 3) blijkt dat bij coöperatie de donor niet 1 punt ontvangt, maar 1,1 punt; evenzo dat bij defectie zowel de donor als de recipiënt 0,1 punt ontvangen. Opnieuw werd door deze originele software bevestigd dat coöperatie de recipiënt wel iets oplevert (1,1 punt), maar dat de donor daar niet armer van wordt. De in *Nature* vermelde opzet was dus anders dan de daadwerkelijk in het oorspronkelijke experiment toegepaste.

Daarop is het door ons in eerste instantie gemaakte programma aangepast aan de exacte condities van het oorspronkelijke model en is het fameuze experiment van Nowak en Sigmund *bonderdvoudig* herhaald.

Het programma dat daarvoor gebruikt werd:

```
10 'Nowak & Sigmund-model HV 2000 TITEL: NSHV20
15 RANDOMIZE TIMER:GN=0:CLS 'eerste generatie
20 DIM P(100,2):DIM N(100) 'P=100 individuen met 3 kenmerken:
   K,I,S(core)
25 DIM K(12):DIM F(500,12) 'lijst van K-indexverdeling + K-freq per
   generatie
30 DIM RS(100,2) 'resultatenarray
40 FOR EX=1 TO 100 '100 experimenten
50 GOSUB 200 ' bouw eerste populatie
60 GOSUB 500 ' check K-verdeling
65 GOSUB 600 ' opslag K-indexverdeling + controle op stabiliteit
   populatie
66 IF SW=11 THEN SW=0: GOTO 90 'experiment klaar, volgende
   start
70 GOSUB 700 ' 125 interacties
80 GOSUB 800:GOTO 60 ' generatiewisseling en opnieuw starten
90 NEXT EX
100 CLS:FOR S=1 TO 100:PRINT RS(S,0);RS(S,1);:NEXT S:STOP'100
   experimenten klaar.
```

```
200 'SR bouw eerste populatie *****
230 FOR X=1 TO 100 ' eerste random K-indexen uitdelen
240 P(X,0)=INT(12*RND+1)-6
250 NEXT X
260 RETURN *****
500 ' SR check K-indexverdeling ' <<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<
510 FOR X=1 TO 12:K(X)=0:NEXT X 'leegmaken K-scorelijst
520 FOR X=1 TO 100
530 K(P(X,0)+6)=K(P(X,0)+6)+1 'meten nieuwe K-verdeling
540 NEXT X
560 RETURN '<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<
600 'CLS ' SR opslag K-indexverdeling '++++++
610 GN=GN+1:'PRINT "generatie : "; GN:'PRINT 'generatienummer +
schermdemo
620 FOR X=1 TO 12:F(GN,X)=K(X):NEXT X 'aantal met K-index X-6
625 'GOSUB 1000 'schermdemo van verdeling van K-waarden
(grafisch)
630 FOR X=1 TO 12:IF F(GN,X)=100 THEN GOSUB 1200 'populatie
stabiël, einde experiment
635 IF SW=11 THEN RETURN
640 NEXT X
650 RETURN ' +++++
700 ' SR 125 interacties xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
710 FOR X=1 TO 125
720 D=INT(100*RND+1):R=INT(100*RND+1):IF D=R THEN 720
'donor/recipient
730 IF P(R,1)>=P(D,0) THEN GOTO 760 'coöperatie
740 P(D,1)=P(D,1)-1: IF P(D,1)<-5 THEN P(D,1)=-5
'defectie=imagoverlies D
745 P(R,2)=P(R,2)+.1:P(D,2)=P(D,2)+.1 ' toch allebei iets bij defectie
GOTO 780 'defectie afgerond
760 P(D,1)=P(D,1)+1:IF P(D,1)>5 THEN P(D,1)=5 ' imago +1,
coöperatie
770 P(R,2)=P(R,2)+1.1 'portemonnee recipient +1.1, coöperatie
780 NEXT X
790 RETURN ' 125 interacties afgerond xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
800 ' SR generatiewisseling ///////////////////////////////////////////////////
805 TS=0 'teller totaalscores alle individuen
810 FOR X=1 TO 100
820 TS=TS+P(X,2) 'totale score sommeren
830 NEXT X
840 FOR X=1 TO 100:TT=0 '100 opvolgers kiezen
850 CH=RND*TS 'willekeurige keuze in totaal score
860 FOR T=1 TO 100 '1 opvolger kiezen
862 TT=TT+P(T,2):IF TT>CH THEN 870 'zoek overschrijding + vinden
864 NEXT T
866 N(X)=P(100,0):GOTO 885 'kopie nr.100
870 N(X)=P(T,0) 'kopiëren van de K-waarde van uitverkoren individu
885 NEXT X
890 FOR X=1 TO 100:P(X,0)=N(X):P(X,1)=0:P(X,2)=0:N(X)=0:
NEXT X 'resetten
```

```

895 RETURN ' //////////////////////////////////////
1200 ' SR resultaat vastleggen per experiment
1210 RS(EX,0)=GN:RS(EX,1)=X-6 'generatie waarin stabiliteit optreedt
1215 PRINT EX,RS(EX,0),RS(EX,1)
1220 FOR X=1 TO 100:FOR Y=0 TO 2:P(X,Y)=0:NEXT Y:NEXT X 'reset
P(100,2)
1225 FOR X=1 TO 100:N(X)=0:NEXT X 'reset N(100)
1230 FOR X=1 TO 12:K(X)=0:NEXT X ' reset K(12)
1240 FOR X=1 TO 500:FOR Y=1 TO 12:F(X,Y)=0:NEXT Y:NEXT X
' reset F(500,12)
1250 GN=0 'generatie op 0
1255 SW=11 'signaal dat experiment klaar is
1260 RETURN

```

Opnieuw bleek dat na verloop van tijd één K-waarde overbleef en opnieuw bleek deze niet altijd 0 te zijn. In tabel 5.1 is af te lezen hoe bij honderdvoudige herhaling van het experiment de diverse K-waarden als enige resteerden, en na hoeveel generaties.

tabel 5.1: resultaten van 100 herhalingen van het oorspronkelijke NS-experiment

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	8	2	8	5	12	10	2	9	11	9	11	13
gem. aantal generaties	96	84	86	130	113	61	128	89	120	134	92	88
stdev. aantal generaties	38	18	38	71	75	41	38	28	90	96	70	67

Nowak bevestigde de juistheid van onze interpretatie van de onderzoeksmethode, maar reageerde niet meer op de bovenstaande resultaten. Het blijkt dus dat Nowak en Sigmund hun conclusies baseren op de uitkomst van één experiment. Wordt het experiment echter honderdvoudig herhaald dan wordt inderdaad steeds één K-waarde de enige overblijvende strategie, maar *welke is onbekend*.

Uit bovenstaande tabel blijkt dat elke K-waarde een kans maakt en dat K-waarde 0 geen speciale kans heeft. De kansen zijn *random*.

Na het vaststellen van de onhoudbaarheid van de conclusie van Nowak en Sigmund is nagegaan in hoeverre het door hen gebruikte model gebruikt kan worden om de invloed van andere variabelen op de ontwikkeling van coöperatie te meten.

Ten eerste is bepaald hoe de resultaten van het NS-experiment zijn als de donor bij coöperatie wel degelijk een kostenpost heeft, zij het dat die kosten lager zijn dan de opbrengsten voor de recipiënt.

De recipiënt ontvangt bij coöperatie 1,1 punt, dus zijn de kosten voor coöperatie bij de donor gesteld op 0,5 punten.

Om iets weg te kunnen geven moet een donor wel iets hebben, dus

wordt aan het begin van een generatie het bezit van alle individuen op 5 punten gezet. Meer verschil is er niet met het oorspronkelijke NS-experiment. Het oorspronkelijk programma heeft hiervoor slechts aangepast te worden in twee opzichten. Regel 240 wordt uitgebreid en regel 765 wordt toegevoegd:

240 $P(X,0)=INT(12*RND+1)-6:P(X,2)=5$ 'bovendien voorraad van 5 punten

765 $P(D,2)=P(D,2)-.5$ 'coöperatiekosten voor donor

Het honderdvoudig uitvoeren van deze variant van het Nowak-Sigmundexperiment leverde de volgende resultaten op (tabel 5.2):

tabel 5.2: De winnende strategieën in 100 NS-experimenten wanneer coöperatie ook kosten oplevert aan donor

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	0	0	0	0	0	0	11	22	15	18	20	14
gem. aantal generaties	-	-	-	-	-	-	128	102	74	138	126	98
stdev. aantal generaties	-	-	-	-	-	-	55	73	47	110	89	73

Opvallend is nu dat uitsluitend nog de *minder coöperatieve* strategieën overleven; er is zelfs geen enkel voorbeeld van een strategie met een K-waarde < 1 die ook maar een enkele keer als enige strategie overblijft. Wanneer de individuen dus van meet af aan beschikken over bezit, zal weinig coöperatief gedrag ontstaan onder de standaard NS-condities (waarin de beslissing coöperatie of defectie plaatsvindt op grond van imago en voortplanting gebeurt naar rato van verworven bezit).

In deze tweede experimentenreeks werd dus rekening gehouden met de kosten van de donor voor coöperatie, zijnde 0,5 punten, tegenover de opbrengsten voor de recipiënt van 1 punt. De vraag rees of deze duidelijke uitslag anders wordt wanneer de "startvoorraad" niet 5 maar 3 punten is.

Uit de volgende tabel blijkt dat geen verschil te maken (tabel 5.3):

tabel 5.3: De winnende strategieën in 100 NS-experimenten wanneer de startvoorraad voor coöperatie niet 3 maar 5 punten bedragen

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	0	0	0	0	0	0	11	25	15	17	19	13
gem. aantal generaties	-	-	-	-	-	-	123	118	85	132	116	127
stdev. aantal generaties	-	-	-	-	-	-	54	69	36	141	64	74

Het kleinere startkapitaal maakt geen verschil: als een donor kosten heeft voor een coöperatieve daad overleven uitsluitend defectie-strategieën.

De betekenis van deze uitslag (binnen de Nowak-Sigmundcondities) is dat coöperatie zeker niet ontstaat wanneer een startpopulatie al over enig bezit beschikt. Voortplanting vindt plaats op grond van uiteindelijk resultaat ("bezit", *payoff*) en de NS-hypothese als zou indirecte reciprociteit (handelen op grond van imago) de evolutie van coöperatie bevorderen wordt niet bevestigd.

6. Vertrouwen als correctie in het Nowak & Sigmundmodel

Het feit dat het oorspronkelijke experiment van Nowak en Sigmund een toevallige uitkomst bleek te hebben en dat het invoeren van enige kosten voor de coöpererende donor het ontstaan van coöperatie zelfs minder waarschijnlijk maakt, is reden geweest om het NS-model te modificeren en om vervolgens na te gaan of het ontstaan van coöperatie met indirecte reciprociteit alsnog aantoonbaar zou zijn. Daartoe is teruggegrepen op de kritische succesfactoren die bij de toernooien van Axelrod c.s. een grote rol bleken te spelen, te weten vriendelijkheid, optimisme, vergelding, vergevingsgezindheid en helderheid (duidelijkheid).

Geloof in iemands betrouwbaarheid – dat is de definitie in Van Dale's woordenboek van het woord *vertrouwen*. De TFT-strategie begint altijd met coöperatie *ondanks* de wetenschap dat defectie van de andere zijde maximaal rendement oplevert voor de ander en minimaal resultaat voor de eigen score. TFT begint dus met vertrouwen. Uit Axelrods onderzoek is gebleken dat deze eigenschap essentieel bleek om hoog te scoren in de beschreven toernooien. Bij de Nowak-Sigmund-experimenten is deze cruciale eigenschap niet ingebouwd. De 125 interacties per generatie verlopen vanaf de eerste keer *at random*. Het is het vergelijk tussen de mate van erfelijk bepaalde coöperatieneiging van de donor en het opgebouwde imago van de recipiënt, de vrager, dat de beslissing coöpereren of defecteren oplevert. Aangezien elk NS-individue gemiddeld slechts 2,5 keer betrokken raakt bij een dergelijke interactie is er geen sprake van directe reciprociteit en evenmin van een flinke kans op wraak of beloning; een interactie tussen twee dezelfde individuen is hoogst onwaarschijnlijk in een NS-experiment.

Het is echter mogelijk om de invloed van vertrouwen na te gaan door naast coöperatieneiging en imago de mate van vertrouwen een rol te laten spelen bij de coöperatieneiging. Daarbij is de volgende modificatie doorgevoerd. Aan het begin van de interacties in een generatie is de coöperatieneiging exact gelijk aan de geërfde K-strategie, maar deze verandert door de opgedane ervaringen, zowel de eigen ervaringen als die van de andere individuen. Immers, in het oorspronkelijke NS-experiment is het de donor die de beslissing neemt of de recipiënt iets zal ontvangen, ja of nee. Die beslissing verandert het imago van de donor en dat imago is van

belang als de donor een andere keer de recipiënt wordt. In het volgende NS-experiment blijft de K-waarde wel een erfelijke zaak, maar wordt ervaring als factor ingevoerd. De eerste interactie van een individu vindt plaats op exact dezelfde manier als in het oorspronkelijk NS-experiment: de donor vergelijkt zijn aangeboren K-waarde met het imago van de recipiënt. Alleen wanneer die imago-index minimaal even groot is als zijn K-waarde besluit de donor tot coöpereren. Deze beslissing beïnvloedt echter nu het vertrouwen van de recipiënt. Valt hem namelijk coöperatie ten deel dan neemt zijn eigen coöperatieneiging toe. Omgekeerd, bij teleurstelling neemt die neiging af. Een K-waarde van +6 betekende altijd defectie en een K-waarde van -5 voortdurende coöperatie. Hoe groter de K-waarde, des te geringer de coöperatieneiging. Een verminderd vertrouwen moet dus de K-waarde vergroten en omgekeerd. Niet alleen de eigen ervaringen beïnvloeden de coöperatieneiging, maar ook de interacties waarbij de individuen niet zelf betrokken zijn, zij het in mindere mate.

In het navolgende NS-experiment wordt bepaald hoe de K-waardenverdeling, de coöperatieneiging, gaat veranderen door de generaties heen als deze oorspronkelijk erfelijk bepaalde neiging verandert door eigen ervaringen en waargenomen gedrag. Uitgangspunt is dat elk individu alle 125 interacties ofwel aan den lijve ondervindt ofwel waarneemt, waarbij eigen ervaring tien keer meer invloed heeft dan waargenomen acties op de coöperatieneiging in het vervolg. Elk individu start met de geërfde neigingsindex en past die neiging vervolgens aan. In tabelvorm (tabel 6.1):

tabel 6.1: K-aanpassingen als gevolg van ervaringen

uitslag confrontatie	gevolg voor K-waarde daarna
<i>Defectie</i> - ervaring:	
zelf betrokken als recipiënt	+ 1 punt
waargenomen bij andere koppels	+ 0,1 punt
<i>Coöperatie</i> - ervaring:	
zelf betrokken als recipiënt	- 1 punt
waargenomen bij andere koppels	- 0,1 punt

Het eigen NS-experiment waarin vertrouwen aldus als factor meespeelt, verschilt niet van het oorspronkelijke ten aanzien van de generatiewisselingsystematiek: de *offsprong* is proportioneel ten opzichte van de *payoff* en de K-waarde die overerft is de oorspronkelijke K-waarde die nog niet veranderd is door ervaringen.

Een honderdvoudige uitvoering van genoemd experiment leverde de volgende uitkomst op (tabel 6.2):

tabel 6.2: De resultaten van 100 gemodificeerde NS-experimenten, waarin vertrouwen een rol speelt

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	20	20	18	11	5	7	3	3	3	2	1	7
gem. aantal generaties	79	84	71	66	60	70	86	56	91	121	163	194
stdev. aantal generaties	55	87	75	56	30	21	60	11	29	104	-	124

De resultaten geven aan dat coöperatie nu duidelijk *wel* ontstaat. In gemiddeld minder dan 100 generaties wordt de populatie stabiel met in meer dan 80% van de gevallen een duidelijk coöperatieve strategie. De niet-coöperatieve strategieën blijven in minder dan 20% van de gevallen over, maar na significant meer generaties.

De grootte van de aanpassingen van de K-waarden (1 respectievelijk 0,1 punt voor zelf ondervonden en waargenomen ervaringen) zijn afgeleid van de oorspronkelijke aanpassingen in de imago- en *payoffscores*. Het is belangrijk om de robuustheid van deze uitkomst te toetsen. Om na te gaan of andere aanpassingen hetzelfde effect sorteren is de experimentenreeks herhaald en wel eerst met 0,5 punt aanpassing in de K-waarde voor eigen ervaring en opnieuw 0,1 punt als gevolg van waarnemingen.

Tabel 6.3 bevat de nieuwe numerieke aanpassing.

tabel 6.3: K-aanpassingen als gevolg van ervaringen; invloed eigen ervaring gebalveerd

uitslag confrontatie	gevolg voor K-waarde daarna
<i>Defectie</i> - ervaring: zelf betrokken als recipiënt waargenomen bij andere koppels	+ 0,5 punten + 0,1 punt
<i>Coöperatie</i> - ervaring: zelf betrokken als recipiënt waargenomen bij andere koppels	- 0,5 punten - 0,1 punt

Op grond van deze halvering van de invloed van eigen ervaring ontstond het volgende resultaat (tabel 6.4):

tabel 6.4: De resultaten van 100 gemodificeerde NS-experimenten, waarin vertrouwen een rol speelt, maar het gevolg van eigen ervaring gebalveerd is

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	23	25	18	14	6	3	3	1	2	0	2	3
gem. aantal generaties	98	90	79	85	30	77	66	130	75	-	226	181
stdev. aantal generaties	76	77	110	75	8	38	30	-	52	-	251	61

Het blijkt dat halvering van de aanpassing door eigen ervaring de uitkomsten van de experimenten niet significant verandert; opnieuw is de overblijvende strategie in verreweg de meeste gevallen een coöperatieve.

Vervolgens is nagegaan in hoeverre de aanpassingen in de K-waarden ten gevolge van de waargenomen interacties de uitkomsten van de experimenten beïnvloeden (tabel 6.5). In tabel 6.6 is te zien hoe in een reeks van 100 experimenten opnieuw steeds een enkele strategie overblijft, maar dat deze strategie nu net als in het oorspronkelijke model minstens zo vaak defectief als coöperatief is.

tabel 6.5: K-aanpassingen als gevolg van ervaringen; invloed waarnemingen nihil

uitslag confrontatie	gevolg voor K-waarde daarna
<i>Defectie</i> - ervaring:	
zelf betrokken als recipiënt	+ 1 punt
waargenomen bij andere koppels	+ 0 punten
<i>Coöperatie</i> - ervaring:	
zelf betrokken als recipiënt	- 1 punt
waargenomen bij andere koppels	- 0 punten

tabel 6.6: De resultaten van 100 gemodificeerde NS-experimenten, waarin vertrouwen een rol speelt, maar uitsluitend de eigen ervaring de coöperatiegenetgheid beïnvloedt

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	6	1	3	5	20	6	1	13	11	12	6	16
gem. aantal generaties	187	49	107	95	70	70	91	110	72	76	72	95
stdev. aantal generaties	89	-	15	50	36	35	-	67	38	33	48	49

Herhaling van de experimentreeks met een andere dosis aanpassing ten gevolge van eigen ervaring en verschillende invloed van waarnemingen van andere interacties, leverde de volgende resultaten op (tabellen 6.7 t/m 6.10):

tabel 6.7: K-aanpassingen als gevolg van ervaringen; invloed waarnemingen nihil

uitslag confrontatie	gevolg voor K-waarde daarna
<i>Defectie</i> - ervaring:	
zelf betrokken als recipiënt	+ 2 punten
waargenomen bij andere koppels	+ 0 punten
<i>Coöperatie</i> - ervaring:	
zelf betrokken als recipiënt	- 2 punten
waargenomen bij andere koppels	- 0 punten

tabel 6.8: De resultaten van 100 gemodificeerde NS-experimenten, waarin vertrouwen een rol speelt, maar uitsluitend de eigen ervaring de coöperatiegeneigdheid beïnvloedt

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	2	6	7	11	13	10	0	4	6	9	9	23
gem. aantal generaties	79	118	101	77	107	42	-	105	119	66	70	64
stdev. aantal generaties	1	59	42	35	60	18	-	51	68	49	25	19

tabel 6.9: K-aanpassingen als gevolg van ervaringen en waarnemingen

uitslag confrontatie	gevolg voor K-waarde daarna
<i>Defectie</i> - ervaring:	
zelf betrokken als recipiënt	+ 1 punt
waargenomen bij andere koppels	+ 0,2 punten
<i>Coöperatie</i> - ervaring:	
zelf betrokken als recipiënt	- 1 punt
waargenomen bij andere koppels	- 0,2 punten

tabel 6.10: De resultaten van 100 gemodificeerde NS-experimenten, waarin vertrouwen een rol speelt, doordat de eigen ervaring en de waarnemingen de coöperatiegeneigdheid beïnvloeden

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	26	24	17	17	10	3	2	1	0	0	0	0
gem. aantal generaties	60	52	69	46	50	40	47	35	-	-	-	-
stdev. aantal generaties	26	21	40	19	30	9	3	-	-	-	-	-

Het is duidelijk dat de waarnemingen van coöperatie en defectie bij anderen een doorslaggevende functie hebben om coöperatieve strategieën te laten winnen. Zonder de invloed van deze waarnemingen is de winnende strategie maar betrekkelijk zelden een coöperatieve.

De grote waarde van het computersimulatiemodel van Nowak & Sigmund is en blijft gelegen in het feit dat na verloop van generaties *altijd* homogeniteit ontstaat. Waar in den beginne de coöperatiegeneigdheid per definitie *random* verdeeld is en alle individuen puur op eigenbelang uit zijn, is na verloop van tijd te zien hoe stabilisatie in een bepaalde richting optreedt, overigens vaak niet dan nadat verwarrende amplitudes in de frequenties van de verschillende coöperatieneigingen te zien zijn geweest.

Voordat na een (groot) aantal generatiewisselingen stabiliteit in de populatie ontstaat verandert de verdeling van de K-waarden voortdurend en wel in een mate die voorspellingen voor de uiteindelijke afloop onmogelijk maken. In de volgende tabel is af te lezen hoe deze verdeling na 1, 10, 25, 50, 100 en 150 generatiewisselingen was in een aantal experimenten (tabel 6.11):

tabel 6.11: Verloop K-waardenverdeling in NS-experiment met winnende strategie -4 na 106 generaties

k-waarde	aantal generaties					
	1	10	25	50	100	106
-5	14	2	0	0	0	0
-4	5	19	48	27	93	100
-3	9	10	0	0	0	0
-2	5	3	7	2	0	0
-1	6	0	0	0	0	0
0	10	0	0	0	0	0
1	9	37	0	0	0	0
2	9	12	37	71	7	0
3	7	0	0	0	0	0
4	9	4	0	0	0	0
5	9	11	8	0	0	0
6	8	2	0	0	0	0

Te zien is hoe in de eerste generatie de K-waarden willekeurig verdeeld zijn over de populatie. In de tiende generatie domineert strategie +1 (37%), maar scoren de coöperatieve strategieën -3 en -4 ook bovengemiddeld. De vijftiengste generatie vertoont een tweedeling in coöperatieve en defectieve K-waarden -4 en +2. In generatie 50 is strategie +2 dominant aanwezig (71% van de individuen). Voordat na ruim 100 generaties de populatie homogeen coöperatief werd met strategie -4 was deze afloop dus allerminst duidelijk.

Ook het volgende voorbeeld onderstreept de onduidelijkheid van de afloop tijdens het experiment. Hier resteert uiteindelijk strategie -3 al na 61 generaties (tabel 6.12):

tabel 6.12: Verloop K-waardenverdeling in NS-experiment met winnende strategie -3 na 61 generaties

k-waarde	aantal generaties				
	1	10	25	50	61
-5	14	8	32	0	0
-4	7	0	0	0	0
-3	5	11	48	95	100
-2	7	34	20	5	0
-1	5	4	0	0	0
0	10	0	0	0	0
1	7	0	0	0	0
2	10	9	0	0	0
3	5	10	0	0	0
4	11	2	0	0	0
5	10	0	0	0	0
6	9	22	0	0	0

tabel 6.13: Verloop K-waardenverdeling in NS-experiment met winnende strategie -3 na 68 generaties

k-waarde	aantal generaties				
	1	10	25	50	68
-5	10	19	10	0	0
-4	4	0	0	0	0
-3	8	15	13	60	100
-2	10	0	0	0	0
-1	8	19	27	40	0
0	12	26	5	0	0
1	12	0	0	0	0
2	10	19	45	0	0
3	10	2	0	0	0
4	5	0	0	0	0
5	5	0	0	0	0
6	6	0	0	0	0

Het verloop van het laatste experiment (tabel 6.13) toont wederom aan dat de uitkomst halverwege het experiment nog niet te voorzien valt: strategie +2 is na 25 generaties duidelijk dominant (45%), maar is na 50 generaties compleet verdwenen.

Discussie

Het betrekkelijk wilde verloop van de verdeling van de K-waarden door de generaties heen geeft stof tot denken. Het gebruik van het computersimulatiemodel waarin in den beginne een volstrekt

willekeurige verdeling is van de coöperatiegeneigdheid en waarin uiteindelijk slechts één meestal (zeer) coöperatieve strategie overblijft, toont aan dat voordat deze homogene staat bereikt is maar weinig zichtbaar is van deze uiteindelijke uitkomst. Een waarnemer die na 10, 25 of zelfs 50 generatiewisselingen poolshoogte neemt van de dan heersende verdeling heeft vaak geen reden om te veronderstellen dat homogene coöperatie uiteindelijk zal ontstaan. Sterker nog, na enkele tientallen generaties lijken de non-coöperatieve strategieën nogal eens aan de winnende hand. Opvallend is dat alvorens homogeniteit bereikt wordt juist een duidelijke tweedeling tussen defectieve en coöperatieve strategieën bestaat. Deze waarneming doet denken aan de talloze keren in de geschiedenis dat populaties maximaal verdeeld zijn en zich verdelen over twee volledig tegengestelde subpopulaties. Alle overige verschillen tussen de individuen schijnen niet meer mee te tellen in de grote tweekamp en beide kampen gaan elkaar te lijf over het ene grote verschil tussen de subpopulaties. Oorlogen en presidentsverkiezingen komen als voorbeeld hiervan tevoorschijn. Evenals in de zonet behandelde experimenten is na de confrontatie tussen de blokken een zekere homogeniteit het gevolg. De verliezers van dramatische oorlogen worden niet meer gehoord en iedereen lijkt bekeerd tot de filosofie van de overwinnaar. In de aanloop naar de apotheose is dit echter allerminst zichtbaar. Halverwege het traject dat doorlopen wordt voor de homogeniteit kan elke strategie bedrieglijk echt de potentiële winnaar lijken – iets wat in de realiteit van alledag uitermate herkenbaar is.

Vertrouwen maakt dat coöperatie wint in het gemodificeerde NS-model. Het zij nogmaals vermeld dat vertrouwen in dit model niet meer is dan het veronderstellen van een sterk positieve correlatie tussen gedrag dat door een individu in een bepaalde situatie wordt vertoond en het gedrag dat later in eenzelfde setting vertoond zal worden. Vertrouwen in de zin van “goed” vertrouwen is iets anders. De vriendelijkheid van de winnende strategieën in de Axelrodtoernooien hield in dat nooit als eerste gedefecteerd werd. Deze opstelling kan geassocieerd worden met “goed” vertrouwen: men treedt in een nieuwe situatie op alsof de tegenpartij coöperatief zal zijn. De waarde van dit “goed” vertrouwen is door Axelrod voldoende aangetoond. Vertrouwen in de hier genoemde zin is meer basaal van aard en in het geheel niet beladen met de positieve lading van “goed” vertrouwen; hier gaat het enkel om de genoemde correlatie tussen ervaring en waarneming enerzijds en de verwachting van de afloop van een volgende ontmoeting anderzijds.

Conclusie

De rol van vertrouwen voor het ontstaan van coöperatie in het NS-computersimulatiemodel is in eerste instantie aangetoond door gebruik te maken van empirische parameters. De robuustheid van de uitkomst is vervolgens aangetoond door deze parameters te veranderen en steeds opnieuw een volle reeks van honderd experimenten te verrichten. Daarbij is duidelijk geworden dat in het model de eigen ervaringen als zodanig onvoldoende van invloed zijn om coöperatie te doen ontstaan. De waarnemingen van interacties elders zijn noodzakelijk om dit te bewerkstelligen.

Dit brengt de vraag naar de mate van reciprociteit naar voren. Nowak & Sigmund achten juist het ontstaan van coöperatie zonder directe reciprociteit van groot belang. Hun systeem, waarin imago de kritische factor wordt geacht, maar waarin de individuen elkaar vrijwel zeker nooit meer tegenkomen, wordt dientengevolge gekenmerkt door indirecte reciprociteit. De tweedeling direct-indirect is echter geen binaire. Omdat indirect alles omvat wat niet direct is (als het gaat om reciprociteit) is de mate van indirectheid interessant. Directe reciprociteit is gebaseerd op herhaald contact tussen dezelfde individuen en indirecte reciprociteit refereert aan herhaald contact via intermediaire begrippen of individuen; het imago van een individu is zo'n intermediair begrip. Waarneming van interacties elders en het verdisconteren van deze waarnemingen in de eigen opstelling is een vergelijkbaar intermediair begrip. In het imago van een individu is de voorgeschiedenis van diens handelen besloten en in die zin staat imago voor de gestolde herinneringen aan eerdere daden van het individu. Waarnemingen en ervaringen leiden in dit model tot aanpassing van de coöperatiebereidheid, omdat sterke correlatie tussen eerder en later gedrag onder dezelfde omstandigheden een impliciet uitgangspunt is. De samenvattende term voor dit uitgangspunt is vertrouwen. Alleen wanneer dit vertrouwen stochastisch in het model zit ontstaat coöperatie. Indirecte reciprociteit bestaat omdat via imago en op basis van vertrouwen de afloop van interacties wordt beïnvloed. Coöperatie kan ontstaan zonder dat er sprake is van directe reciprociteit, mits vertrouwen een rol speelt - dat is de conclusie van dit onderzoek.

7. Voedselveiligheid en diergeneesmiddelen: introductie op de toepassing

7.1 Inleiding

Nu in het voorgaande meer inzicht is verworven in het antwoord op de centrale vraag hoe coöperatie ontstaan kan zijn, rijst de vraag in hoeverre het ontworpen (gemodificeerde) computersimulatiemodel ook praktisch toepasbaar is. Een actueel vraagstuk anno 2000 is het garanderen van de voedselveiligheid. Voedselveiligheid hangt deels af van voedselcontaminatie en voedselcontaminatie kan bestaan uit (restanten van) bepaalde diergeneesmiddelen. De belangrijkste actor bij de preventie van deze laatste vorm van contaminatie is de dierhouder en voor zijn gedrag is naast de *de facto* aanwezige inslag van de dierhouder de educatieve inbreng van de dierenarts van belang. Dat is in het kort de redenering die in dit hoofdstuk toegelicht wordt.

Gezondheid voor mensen en dieren wordt als een zeer hoog goed beschouwd en de kwaliteit van het voedsel wordt als een belangrijke factor voor gezondheid beschouwd (*Voedsel en Groen*, Ministerie van LNV, 2000, van Dijk *et al.* 1999). Over de herkomst van voedsel voor mensen zijn enige vaststellingen van belang. David Pimental *et al.* (1986) stellen dat 90% van het menselijk voedsel afkomstig is van slechts 15 plantensoorten en de producten van 6 soorten landbouwhuisdieren. Volgens Ritchie (1979) wordt van de half miljoen plantensoorten die het plantenrijk vormen, slechts 0,2 % ingezet (ca. 1000 species) voor menselijk gebruik. Daarbij komt dat de 15 voornaamste eetbare planten al twee- tot tienduizend jaar geteeld worden. In de USA vormen slechts 30 plantensoorten 95 % van het Amerikaanse plantaardige dieet. Opvallend is dat in de geschiedenis het lot van hele volkeren en beschavingen sterk beïnvloed is door de beschikbaarheid van een plantensoort als voedselbron (rijst, aardappels, tarwe). Dezelfde constatering is ook mogelijk betreffende de voedingsmiddelen van dierlijke oorsprong. Slechts drie diersoorten, rundvee, varkens en pluimvee, leveren anno 2000 het overgrote deel van deze producten (Amato, 1993). De Britse geneticus J.B.S. Haldane stelde al: *Civilisation is based not only on man, but on plants and animals* (Amato, 1993). Door de massieve vraag naar de producten van dierlijke oorsprong (melk, vlees, eieren) worden de producerende dieren in grote tot zeer grote zgn. koppels gehouden. Zoals een monocultuur van een plantensoort risico's inhoudt van productieverstoring door ziekten, zo staat een groot koppel gelijksoortige

dieren altijd bloot aan het risico van productieverstorende aandoeningen; een luchtweginfectie bij pluimvee bijvoorbeeld kan de eierproductie over langere tijd sterk reduceren. Ondanks de voortdurende ontwikkelingen op het terrein van de preventieve diergeneeskunde raken in de hele wereld dagelijks vele koppels productiedieren ziek en wordt aan dierenartsen gevraagd deze ziekten te genezen. Sinds het midden van de twintigste eeuw bestaan hiervoor onder andere diergeneesmiddelen, die pathogene microbiële agentia bestrijden en zodoende het leed voor de dieren verminderen en de productie herstellen. De zgn. antimicrobiële middelen vormen ongeveer een kwart van alle gebruikte diergeneesmiddelen in Europa (FEDESA, 1999).

Antimicrobiële middelen zijn farmaca die veelal *oraal* aan de koppels dieren toegediend worden, gemengd door het voeder of door het drinkwater. Een dergelijk middel moet in het lichaam een zekere concentratie bereiken om effectief te zijn tegen de te bestrijden micro-organismen. Nadat deze concentratie is bereikt (door gedurende enkele dagen het middel toe te dienen) en nadat de dieren weer genezen zijn, wordt verdere toediening gestaakt en begint de uitwasperiode. De concentratie zakt terug en wordt uiteindelijk weer nul. Gedurende de tijd dat de concentratie nog niet nul is kunnen de producten van de dieren echter gecontamineerd zijn met residuen van het gebruikte farmacon of de metabolieten ervan. Alvorens een diergeneesmiddel op de markt mag worden gebracht voor gebruik bij voedselproducerende dieren moet daarom de genoemde farmacokinetiek goed bekend zijn. Deze verschilt namelijk per farmacon en per diersoort. Tegelijk moet vaststaan welke concentratie nog acceptabel is in de te consumeren producten, de zgn. maximale residulimiet (MRL). Zodra de MRL en de farmacokinetiek bekend zijn kan voor het betreffende diergeneesmiddel bij de betreffende diersoort de zgn. wachttijd vastgesteld worden, dat wil zeggen de minimaal in acht te nemen periode tussen de laatste toediening van het diergeneesmiddel en het moment waarop de producten weer veilig te consumeren zijn. Deze wachttijd varieert per diersoort en per farmacon in de alledaagse praktijk van enkele dagen tot meerdere weken en tijdens deze wachttijd zijn de producten van de behandelde dieren dus nog niet te consumeren, hetgeen een duidelijke schadepost is voor de eigenaar van de koppel.

Aangezien volledige controle op *elk* dier, op *elk* product en op *elk* koppel onmogelijk is en de consument toch absolute zekerheid over

de veiligheid van het product wil, bestaat een probleem. De actoren in de diergeneesmiddelendistributie opereren nagenoeg als individuen zonder centraal gezag (persoonlijke vaststelling), zoals de virtuele individuen in de experimenten van Axelrod en Nowak & Sigmund. Onder de actoren in de diergeneesmiddelendistributie worden diegenen verstaan die een beslissing kunnen nemen om diergeneesmiddelen toe te passen bij koppels dieren.

Het is de dierenarts die in overleg met de dierhouder de beslissing over de medicatie neemt, maar er bestaan verschillen tussen veehouders en verschillen tussen dierenartsen, in overigens identieke situaties. De dierhouder is ten principale verantwoordelijk voor het respecteren van de genoemde wachttermijn en de dierenarts is verantwoordelijk voor de juiste informatie betreffende deze wachttermijn (Diergeneesmiddelenwet 1986).

Educatie van de dierhouders door de dierenarts is (naar analogie van het in Nederland geformuleerde verantwoorde antibioticumbeleid, Casparie 1990) een belangrijk middel om verantwoord gebruik van diergeneeskundige antimicrobiële middelen door dierhouders te bevorderen (Van den Bogaard *et al.*, 1993).

Voedselveiligheid wordt van groot belang geacht; de kwaliteit van het voedsel kan gevaar lopen wanneer te veel residuen van diergeneesmiddelen in het voedsel voorkomen; de belangrijkste actor voor het vrijwaren van de consument in dit opzicht is de dierhouder die nadat een medicatie noodzakelijkerwijs heeft plaatsgevonden, de minimaal in acht te nemen wachttermijn moet respecteren. Naast de van nature aanwezige bereidheid tot *compliance* is de educatieve kwaliteit van de begeleidende dierenarts van belang voor deze *compliance*.

De instelling van de dierhouder en de educatieve kwaliteit van de dierenarts bepalen dientengevolge in deze redenering het risico van blootstelling aan diergeneesmiddelenresiduen bij de consument van producten van dierlijke oorsprong (Van den Bogaard *et al.* 1993).

De vraag is hoe de volksgezondheid het best kan worden gegarandeerd. Onder het garanderen van de volksgezondheid wordt hier verstaan: het minimaliseren van de kans dat een consument voedsel bereikt dat een grotere concentratie diergeneesmiddel bevat dan de desbetreffende MRL. De Nederlandse situatie is dat het tweetal dierenarts-veehouder de beslissing neemt over medicaties bij

voedselproducerende dieren. De hele distributieketen van diergeneesmiddelen eindigt bij hen. De bewaking van de voedselveiligheid in dit opzicht convergeert naar dit tweetal. Coöperatie in de zin van *compliance* met de bestaande regelgeving is dientengevolge hier dus van het grootste belang.

Vanzelfsprekend is het respecteren van de wachttermijn niet de enige manier om het risico op voedselcontaminatie met te veel diergeneesmiddelenresiduen te minimaliseren. In het hele fabricage- en distributiesysteem van diergeneesmiddelen wordt aandacht besteed aan kwaliteit ingevolge de Diergeneesmiddelenwet (1986). Bij de “verwerking” van dieren en hun producten tot voedsel vindt kwaliteitsbewaking en -controle plaats. Het al dan niet respecteren van de wachttermijn is echter modelmatig de meest bepalende factor bij de bedoelde voedselveiligheidsgarantie.

Het toepassen van een formeel speltheoretisch model in een praktische situatie vereist het definiëren van de “randen” van de analogieën. Het beschouwen van het gedrag van mensen van vlees en bloed in vergelijk met de virtuele individuen in de computersimulatiemodellen die volgens een haarscherp algoritme handelen (het algoritme is de scherprechter), is aan beperkingen onderhevig. In een (in dit opzicht) ideale wereld zou de echte rechter het algoritme van de simulatiemodellen moeten verpersoonlijken. De uitgangspunten bij de toepassing die aanstaande is, zijn als volgt. De dierhouder die over het respecteren van de wachttijd beslist wordt geacht te leven in een wereld zonder centraal gezag. Wat hij doet, dat wil zeggen hoe hij beslist, wordt niet opgemerkt behalve in een klein aantal der gevallen (betrapping door een externe instantie). De dierenarts oefent geen formeel gezag over de dierhouder, maar is zijn adviseur.

De dierenarts stamt uit een populatie waarvan de individuen gelijk over ter zake doende kennis beschikken, maar onderling verschillen in educatieve vaardigheid. Deze restrictie ten aanzien van kennis is niet helemaal reëel, omdat er in werkelijkheid wel verschil in kennis zal bestaan; hier wordt echter aangenomen dat dit verschil in kennis niet gecorreleerd is met het verschil in educatieve vaardigheid. *Compliance* bij de dierhouder met de adviezen van de dierenarts wordt gedefinieerd als coöperatie, als samenwerkend gedrag.

Defectie is het tegengestelde gedrag.

De economische gevolgen van coöperatie respectievelijk defectie worden opgevat als *payoff* en betrapping leidt tot aanpassing van de *payoff*.

Aldus is het praktische toepassingsgebied uiteengezet en het aangrijpingspunt voor coöperatie/defectie gepreciseerd.

7.2 De Benzaprocpen™-casus

Het respecteren van wachttijden is de focus van de toepassing van het gemodificeerde model in het volgende hoofdstuk; één van de redenen dat dit respecteren niet vanzelfsprekend plaatsvindt is het ongeloof bij betrokkenen in de mogelijkheid dat residuen nog lang na het beëindigen van een succesvolle medicatie aanwezig blijven in de herstelde dieren. De kinetiek van farmaca is voor veel dierhouders een gesloten boek en voor veel dierenartsen een per definitie verouderd boek. De resultaten van nieuwe research vormen onderdeel van een geheim dossier en de uit deze resultaten afgeleide wachttijden voor diergeneesmiddelen zijn niet alleen het resultaat van farmacokinetische gegevens, maar ook van voor velen onwaarschijnlijke ADIs (acceptable daily intake) en onbekende (grote) veiligheidsfactoren. Residuen zijn onzichtbaar en dus bestaat de neiging tot bagatelliseren. Om de kennis omtrent de farmacokinetiek te vergroten en om tegengas te geven aan het genoemde bagatelliseren is een studie uitgevoerd naar de residuvorming van een penicilline bevattend diergeneesmiddel, Benzaprocpen™. Dit middel werd tot voor enkele jaren veelvuldig gebruikt ter genezing van (pasgeboren) biggen met navel- en gewrichtsontstekingen.

MRLs doen er daadwerkelijk toe – de Benzaprocpen™-casus

H. Vaarkamp^[1]

SAMENVATTING:

Er wordt verslag gedaan van een onderzoek naar de residuvorming bij varkens van een in Nederland veel gebruikt langwerkend penicillinepreparaat. Tien weken na de laatste injectie met deze depotverbindingen bleken op de injectieplaatsen nog concentraties penicilline aangetroffen te worden die vele malen groter waren dan de toegestane maximale residulimiet. Dientengevolge is het onmogelijk om het bewuste diergeneesmiddel nog langer bij voedselproducerende dieren te gebruiken.

^[1] Artikel geaccepteerd door het Tijdschrift voor Diergeneeskunde, december 2000

Inleiding

Volgens *Regulation 2377/93/EC* mag geen enkel diergeneesmiddel (VMP = Veterinary Medicinal Product) op de markt zijn voor de behandeling van voedselproducerende dieren, tenzij bewezen is dat na een zeker aantal dagen na het beëindigen van de medicatie de residuenconcentratie ervan de voor dat diergeneesmiddel vastgestelde maximale residulimiet (MRL) niet te boven gaat.

Europese *Regulations* (Verordeningen) zijn rechtstreeks van kracht in de EU en er bestaat geen nationale interpretatie van deze regelgeving zoals dat wel het geval is met *Directives*, richtlijnen.

Als gevolg van deze betrekkelijk recent ingevoerde eis moet de farmacokinetiek van vele, allang bestaande en veel gebruikte VMPs getoetst worden aan de recent vastgestelde MRLs. Het komt nogal eens voor dat zeer bekende diergeneesmiddelen dientengevolge van de markt moeten verdwijnen, althans voor de indicatie bij (bepaalde) voedselproducerende dieren. In het operationele veld wekken deze terugtrekkingen vaak grote verbazing, eenvoudig omdat men zo gewoon was deze middelen te gebruiken. In dit artikel wordt ingegaan op het farmacokinetisch onderzoek van het VMP Benzapropen™, dat in het kader van de registratie van diergeneesmiddelen uitgevoerd is. Het (eerste) Nederlandse formularium voor varkens omvatte het gebruik van langwerkende penicillines bij biggen.

De MRL voor penicilline in spieren, nieren, lever en vet van voedselproducerende dieren is Europees bepaald op 0,075 IU/g. In Nederland werd het onderzochte VMP veel gebruikt bij de behandeling van biggen met artritis. Biggen krijgen in hun eerste levensweek nogal eens last van artritis tengevolge van primaire navelontstekingen. De navelstreng wordt daarbij als de *porte d'entrée* voor pathogene micro-organismen beschouwd, waardoor ontstekingen elders (en vooral in de gewrichten) kan ontstaan. Benzapropen™ is een waterige suspensie die 150.000 IU procaine-benzylpenicilline en 150.000 IU benzathine-benzylpenicilline per ml bevat en die per injectie intramusculair toegediend moet worden met als dosering 50.000 IU benzylpenicilline/kg lichaamsgewicht (25.000 IU uit de benzathine-benzylpenicilline en 25.000 IU uit de procaine-benzylpenicilline). Om de gevolgen van Verordening 2377/93/EC aan te tonen wordt hier verslag gedaan van een studie naar de farmacokinetische eigenschappen van Benzapropen™.

Materiaal & methoden

Van mei 1995 tot oktober 1995 is de plasmakinetiek van Benzaproepen™ bestudeerd met behulp van 8 biggen; de residudepletie is onderzocht bij 16 biggen. Residudepletie wordt gedefinieerd als het verdwijnen van (delen van) het diergeneesmiddel in lever, nieren, spieren, vet, huid, plasma en de injectieplaatsen. Na een injectie met het diergeneesmiddel verspreidt dit zich over het lichaam (het diergeneesmiddel bestaat uit een combinatie van twee depotpenicilline-verbindingen; eerst treedt hydrolyse op en vervolgens resorptie en verspreiding van de penicilline). Ten gevolge van verschillende fysiologische functies worden na verloop van tijd op verschillende plaatsen in het lichaam verschillende concentraties gemeten. Door op strategische plaatsen in het lichaam concentratiebepalingen te verrichten is het mogelijk om de uitwassnelheid te voorspellen. Wetenschappelijk is de MRL vastgesteld voor het noodzakelijke veiligheidsniveau voor de consument. *Clearance*, voldoende uitwassing, houdt in dat voldoende depletie heeft plaatsgevonden om de restconcentratie van het diergeneesmiddel onder de MRL te krijgen.

Achttien gezonde jonge varkens (9 mannelijk, 9 vrouwelijk) met een leeftijd van 11 tot 13 weken en met een lichaamsgewicht van 26 tot 34 kilogram, zijn tweemaal geïnjecteerd met het langwerkende penicillineproduct met een dosering van 1 ml per 6 kilo lichaamsgewicht, met een tussentijd van 72 uur. De dieren zijn zowel links als rechts ingespoten in de nek. De dieren waren gehuisvest op stro, in afzonderlijke hokken met telkens vier of twee dieren.

Na 2, 24 en 72 uren na de eerste injectie en na 2, 24, 71, 120, 168 uren en 2 en 3 weken na de tweede injectie zijn bloedmonsters van de dieren verzameld.

Na 4, 6, 8 en 10 weken na de tweede injectie zijn telkens vier dieren geslacht. Bij het slachten werden bij alle dieren steeds monsters verzameld van bloed, urine, nieren, lever, spieren, huid en de injectieplaatsen. De injectieplaatsen zijn tijdens deze studie geanalyseerd nadat de geslachte dieren 5 tot 24 uur ingevroren waren (NB.: benzylpenicilline blijft bij -20 graden Celsius minstens 13 weken stabiel). Daarbij werden de nekspieren en het omgevende subcutane weefsel uitgesneden, in kleine stukjes gesneden en gehomogeniseerd op eenzelfde manier als andere materialen zoals nier en lever. De bepaling van de penicillineconcentratie in de verzamelde monsters is verricht met behulp van de microbiologische methode waarbij *Bacillus Subtilis* BGA en *Micrococcus Luteus* als

teststammen worden gebruikt. De kwantitatieve limiet van deze methode is 0,010-0,020 IU/ml of gram weefsel, dus significant lager dan de MRL (0,075 IU/g).

Resultaten

De plasmakinetische data van het langwerkende penicillineproduct bij de acht dieren zijn vermeld in tabel 7.1.

Na de eerste injectie bewoog de hoogste penicilline-plasmaconcentratie zich tussen 0.67 en 3.59 IU/ml (gemiddeld 2.28 IU/ml), hetgeen waargenomen werd tussen 1 tot 2 uren na de injectie.

Na de tweede injectie varieerden de hoogste concentraties van 1.99 tot 4.61 IU/ml (gemiddelde 3.30 IU/ml) en opnieuw werden deze pieken aangetroffen 2 uur na de tweede injectie.

Ongeveer een dag na elke injectie zakte de gemiddelde penicillineconcentratie in het plasma tot respectievelijk 0.26 en 0.39 IU/ml.

72 Uur na beide injecties lagen de gemiddelde penicillineconcentraties redelijk dicht bij elkaar, namelijk op 0.14 en 0.15 IU/ml.

Eén week na de tweede injectie kon nog steeds in vier van de acht plasmamonsters penicilline aangetoond worden. Twee weken na de laatste injectie werd in plasma echter geen penicilline meer aangetoond.

De residudepletie-resultaten staan vermeld in tabel 7.2.

In de monsters van lever, nieren, spieren, buikvet, plasma en huid werd geen penicilline meer aangetroffen op 4, 6, 8 en 10 weken na de laatste injectie. In de urinemonsters konden echter wel penicillinesporen aangetroffen worden na 4, 6, 8 en 10 weken na de laatste injectie. Kennelijk heeft een bepaalde penicillinebron voortdurend de nieren voorzien van genoeg penicilline om dit uit te scheiden in de urine. De vermoedelijke bron was natuurlijk het depot dat op de injectieplaatsen ontstaan was. Procaine-benzylpenicilline en benzathine-benzylpenicilline zijn immers depotverbindingen.

De dieren zijn zowel links als rechts ingespoten in de nek. Deze injectieplaatsen zijn onderzocht op residuen van penicilline. In tabel 7.3 zijn de uitslagen vermeld.

Conclusie

Injecties bij jonge varkens met het langwerkende penicillinepreparaat Benzaprocpen™ leidden na 10 weken nog tot residuen op de injectieplaatsen in concentraties ver boven de vastgestelde MRL

voor penicilline. Alle injectieplaatsen bleken aantoonbare penicilline-concentraties te blijven bevatten. De afname van de penicilline-concentraties op de injectieplaatsen was erratisch en gering. De gemiddelde concentratie op de injectieplaats was 10 weken na de laatste injectie nog steeds ongeveer 5 IU/ml, wat veel te hoog is ten opzichte van de MRL van 0.075 IU/g.

Als gevolg van deze studie is het onmogelijk gebleken om een wachttijd voor Benzapropen™ te bepalen en dientengevolge mag dit diergeneesmiddel niet langer bij voedselproducerende dieren gebruikt worden. MRLs doen er daadwerkelijk toe.

tabel 7.1: Penicilline-concentraties (IU/ml) in plasma na twee intramusculaire injecties met een tijdsinterval van 72 uur; dosis 50.000 IU penicilline/kg lichaamsgewicht (nq=concentratie lager dan meetbaar met deze test).

Uren na eerste injectie	0	2	24	72	74	96	144	192	240	408	576
gem.	nq	2.28	0.26	0.14	3.30	0.39	0.15	0.07	0.016	nq	nq
stdev.	-	1.15	0.08	0.01	0.99	0.20	0.03	0.03	0.02	-	-

tabel 7.2: Penicilline-concentraties (IU/g of IU/ml) in plasma(PLS), lever(LIV), nieren(KID), spieren(MUS), vet(FAT), urine(URI) and build(SKN) na twee intramusculaire injecties met 72 uur tijdsinterval; dosis: 50.000 IU penicilline/kg lichaamsgewicht (nq=concentratie lager dan meetbaar met deze test).

dier nummer	geslacht na laatste inj. (weken)	KID	LIV	MUS	URI	FAT	SKN	PLS
1	4	nq	nq	nq	0.27	nq	nq	nq
2	4	nq	nq	nq	0.13	nq	nq	nq
3	4	nq	nq	nq	0.11	nq	nq	nq
4	4	nq	nq	nq	0.67	nq	nq	nq
5	6	nq	nq	nq	nq	nq	nq	nq
6	6	nq	nq	nq	nq	nq	nq	nq
7	6	nq	nq	nq	0.14	nq	nq	nq
8	6	nq	nq	nq	0.11	nq	nq	nq
9	8	nq	nq	nq	0.016	nq	nq	nq
10	8	nq	nq	nq	0.081	nq	nq	nq
11	8	nq	nq	nq	0.11	nq	nq	nq
12	8	nq	nq	nq	0.16	nq	nq	nq
13	10	nq	nq	nq	0.087	nq	nq	nq
14	10	nq	nq	nq	0.046	nq	nq	nq
15	10	nq	nq	nq	nq	nq	nq	nq
16	10	nq	nq	nq	0.012	nq	nq	nq

tabel 7.3: Penicilline-residuen op de injectieplaatsen

dier nummer	geslacht na laatste injectie (weken)	linker injectieplaats			rechter injectieplaats		
		conc. IU/g	gewicht gram	totaal IU	conc. IU/g	gewicht gram	totaal IU
1	4	19.9	254	5055	14.2	264	3749
2	4	29.3	213	6241	19.7	262	5161
3	4	25.6	251	6426	22.7	281	6379
4	4	15.9	287	4563	17.1	293	5010
gem.		22.7		5571	18.4		5075
stdev.		5.9		906	3.6		1076
5	6	4.52	289	1306	9.00	240	2160
6	6	6.87	281	1931	0.8	260	1009
7	6	6.76	385	2603	17.1	285	4874
8	6	4.69	309	1449	0.72	275	198
gem.		5.71		1822	7.68		2060
stdev.		1.3		585	7.1		2041
9	8	3.58	194	695	3.82	202	772
10	8	4.65	189	879	2.35	224	526
11	8	24.5	181	4435	4.2	203	2883
12	8	11.1	225	2498	6.13	185	1134
gem.		11.0		2127	6.63		1329
stdev.		9.6		1739	5.3		1066
13	10	7.85	187	1468	0.15	244	36.6
14	10	3.03	269	815	0.75	296	222
15	10	7.07	266	1881	1.67	309	516
16	10	2.48	231	573	1.13	240	271
gem.		5.11		1184	0.93		261
stdev.		2.7		599	0.6		197

7.3 De FVE-enquête

Alvorens het gemodificeerde model van Nowak & Sigmund toe te passen is eerst nagegaan in hoeverre praktiserende dierenartsen in verschillende landen oordelen over de kwaliteit van het distributiesysteem en het diergeneesmiddelengebruik in hun eigen land. Daartoe is een enquête (Appendix 2) gehouden onder de afgevaardigden van alle Europese landen naar de UEVP, de *Union Européenne des Vétérinaires Praticiens*, de sectie van de *Federation of Veterinarians in Europe* (FVE) waarin de praktiserende dierenartsen vertegenwoordigd zijn; ook is aan de leden van de EASVO dezelfde vragenlijst voorgelegd. De EASVO is de *European Association of State Veterinary Officers*, de FVE-sectie bestaande uit dierenartsen in overheidsdienst, onder meer belast met de controle op de uitvoering van de nationale veterinaire relevante wetgeving. In totaal hebben 30 dierenartsen deze vragenlijst ingevuld, waarbij van alle EU-landen op Italië en Luxemburg na en van een achttal non-EU-landen de practici antwoord gegeven hebben; de overheidsdierenartsen hebben veel minder gerespon-

deerd, zodat het (interessante) vergelijk tussen de opvattingen van enerzijds de overheids-dierenartsen en anderzijds de praktiserende dierenartsen niet meetbaar is gebleken.

De bedoeling van het onderzoek was om inzicht te krijgen in de per definitie subjectieve opvattingen bij dierenartsen over de kwaliteit van de diergeneesmiddelendistributie c.q. het gebruik van diergeneesmiddelen in de verschillende landen. Na statistische bewerking van de ingestuurde gegevens bleek dat het aantal respondenten (30) niet groot genoeg was om harde conclusies te trekken. De volgende trends waren wel waar te nemen.

In het algemeen waren de dierenartsen van mening dat de kwaliteit van zowel de distributie als het gebruik van diergeneesmiddelen in hun land correct is; opvallend genoeg leek geen verband te bestaan tussen de omvang van de overheidsinzet en de mate waarin onregelmatigheden voorkomen. Het gebruik van farmaceutische grondstoffen als diergeneesmiddel (een gevreesde manier om behandelkosten te reduceren) werd overal als insignificant afgedaan. De dierenartsen veronderstelden wel een sterke correlatie tussen de controles op de kwaliteit van het diergeneesmiddelengebruik en de uiteindelijke borging van de veiligheid voor het doeldier, de toediener, de leefomgeving en de consument.

Alhoewel de situatie per land verschilt ten aanzien van de striktheid waarmee diergeneesmiddelen uitsluitend op recept verkrijgbaar zijn, is toch geen correlatie aantoonbaar geweest met het oordeel over de *compliance* met de wettelijke voorschriften. De beschikbaarheid van een voldoende grote reeks van diergeneesmiddelen wordt overal als een probleem ervaren.

De ondervraagde dierenartsen zijn in grote meerderheid van mening dat de (hoge) prijs van diergeneesmiddelen nauwelijks een oorzaak is van verkeerd gebruik van diergeneesmiddelen; ditzelfde geldt voor de zgn. kanalisatiestatus (POM vs. Non-POM, POM=Prescription Only Medicine). Ruim de helft van de respondenten is overtuigd van de werking van mededinging op de prijsvorming van diergeneesmiddelen.

Het magistrale gebruik van diergeneesmiddelen (het zelf fabriceren van een middel) wordt door vrijwel alle responden als "extensive" in hun land aangemerkt; hoewel in absolute zin niet groot is elke vorm van magistraal gebruik duidelijk ongewenst in de ogen van de dierenartsen.

Het verschil in distributiesystemen werd door de respondenten

gevreemd als een oorzaak voor het ontstaan van zwarte markten voor diergeneesmiddelen; harmonisatie van deze systemen wordt gewenst. Daarbij bepleitten de respondenten de POM-status voor alle middelen die de *food safety* negatief kunnen beïnvloeden.

Professionele gedragscodes, residucontrole en farmacovigilantie werden steeds weer aangemerkt als belangrijk voor het verantwoord gebruik van diergeneesmiddelen. Competitie tussen dierenartsen en apothekers bij het afleveren van POM-diergeneesmiddelen werd door een meerderheid als onbelangrijk voor de kwaliteit van het diergeneesmiddelengebruik bestempeld. Het distribueren van deze diergeneesmiddelen door de behandelend dierenarts zelf werd daarentegen door verreweg de meeste respondenten wel van groot belang geacht voor het bewaken van de voedselveiligheid.

Tenslotte oordeelden vrijwel alle respondenten negatief over het adverteren van POM-producten in andere dan professionele media.

Het zij herhaald dat het aantal respondenten niet groot genoeg is geweest om verdergaande conclusies te trekken; daarbij komt dat de subjectiviteit een rol speelt. De bedoeling van het onderzoek was om na te gaan in hoeverre het onderwerp *bewaking van de voedselveiligheid door controle op het gebruik van diergeneesmiddelen* leeft bij dierenartsen in de verschillende delen van Europa.

Op grond van de vanuit alle delen van Europa ingezonden antwoorden vallen de genoemde trends op en de mate van eenstemmigheid. De ondervraagde dierenartsen, toch afkomstig uit zeer verschillende cultuurgebieden, vormen weliswaar een te kleine groep om statistisch verantwoorde conclusies mogelijk te maken, maar waren toch genoeg betrokken bij het onderwerp om een uitgebreide mening vast te leggen. Het onderwerp leeft bij dierenartsen in heel Europa.

8. Coöperatie en voedselveiligheid: toepassing van het gemodificeerde model

8.1 Inleiding

In de hoofdstukken 2 tot en met 6 is puur speltheoretisch nagegaan hoe coöperatie kan ontstaan in een wereld zonder centraal gezag. Nadat dit eerst mogelijk bleek mits er sprake was van directe reciprociteit, werd later duidelijk dat indirecte reciprociteit ook al voldoende was, op voorwaarde dat vertrouwen (in de zin van het kunnen geloven in de betrouwbaarheid van een ander) een rol speelt. Daarna is de vraag gesteld in hoeverre deze vinding toepasbaar is in de werkelijkheid van alledag. In hoofdstuk 7 is een toepassingsgebied in de alledaagse werkelijkheid gedefinieerd. Het strikte computersimulatiemodel, waarin volgens een binair beslissingsschema gewerkt wordt, moet nu toegepast worden op een veel complexere situatie. De "randen" van de analogieën tussen het speltheoretische basismodel en het toepassingsgebied zijn in hoofdstuk 7 besproken.

In het gemodificeerde Nowak-Sigmund-experiment is geen sprake van centraal gezag; individuen raken betrokken bij interacties waarin twee uitkomsten mogelijk zijn: coöperatie of defectie. De oorspronkelijke startpopulatie vertoont een *random* verdeling ten aanzien van coöperatiegeneigdheid. Elk individu heeft bij het begin van een generatie een blanco imagoscore, die getalsmatig halverwege de schaal ligt waarop de coöperatiegeneigingsindex beweegt. Door nu ontmoetingen tussen meer coöperatief geneigde individuen en blanco-imago-bezitters te laten volgen door coöperatie en omgekeerd, door de minder coöperatief geneigde individuen dezelfde blanco-imago-bezitters met defectie te laten confronteren, ontstaan verschillende imagoscores. Immers, coöperatie levert de donor een extra imagopunt op en defectie vermindert diens imagoscore eveneens met een punt. Laten we bovendien de coöperatiebereidheid (die bij de start van een generatie per individu een overgeërfde waarde heeft) variëren door de ervaringen van het individu als recipiënt alsmede door de elders waargenomen gebeurtenissen, dan blijkt in de loop van een betrekkelijk constant aantal generaties de populatie uiteindelijk homogeen coöperatief te worden in verreweg het grootste deel van de experimenten (vier van de vijf keer).

Nowak & Sigmund hebben aangetoond dat een virtuele populatie, die bij de start sterk verschilt wat (aangeboren) coöperatieve

neiging betreft, uiteindelijk op dat punt homogeen wordt als generatiewisseling plaatsvindt op basis van *offspring* die proportioneel is tot *payoff*; deze *payoff* is het resultaat van een beslissing die genomen wordt op grond van het vergelijk tussen de coöperatieniging van het ene individu met het imago van het andere, bij ontmoetingen.

In het hier gemodificeerde NS-experiment blijkt dat deze homogeniteit voornamelijk coöperatief is als (gebrek aan) vertrouwen op grond van eigen en waargenomen ervaringen invloed heeft op de in eerste instantie erfelijk bepaalde coöperatieniging. Zonder dat sprake is van centraal gezag evolueert de populatie naar een situatie waarin de erfelijke neiging tot coöperatie homogeen en stabiel is. Bij de beslissingen die in het NS-experiment steeds genomen worden is sprake van een strikt algoritme. De imagoscore van de recipiënt wordt vergeleken met de (aangepaste) coöperatieniging van de donor. Dit vergelijk bepaalt de uitkomst van de interactie in termen van *payoff*, imagoscore-aanpassing en aanpassing van de coöperatieniging. Directe reciprociteit is goeddeels uitgesloten (uit 100 individuen wordt 125 maal een duo gekozen, zodat gemiddeld een individu slecht 2,5 keer meedoet aan een interactie), waardoor de ontwikkeling van coöperatie op een heel andere manier verklaard wordt dan Axelrod, Hamilton en anderen gedaan hebben (directe reciprociteit is daar steeds een wezenlijk kenmerk van het werk).

Het gemodificeerde NS-model toont dus aan hoe coöperatie ontstaat zonder directe reciprociteit en zonder centraal gezag. Kenmerkend is de generatiewisseling op grond van *payoff*.

Dierhouders die beslissen moeten over het al dan niet respecteren van wachttijden verkeren in een vergelijkbare positie. Hun erfelijk bepaalde neiging tot coöperatie verschilt; bij hun beslissing (al of niet coöpereren) is geen vorm van centraal gezag aanwezig. Per generatie hoeft de beslissing niet vaak door hetzelfde individu genomen te worden. Coöpereren komt neer op het volledig respecteren van de wachttijd, wat slechts een geringe *payoff* oplevert. Door te defecteren bestaat daarentegen een behoorlijke kans op *payoff*, maar ook een kleine(re) kans op sanctie. Coöperatie levert toename van imago op, maar sanctie een afname van imago benevens een negatieve *payoff*.

A- en B-populatie

In de NS-experimenten is de interactie tussen twee individuen van de populatie een wezenlijk gegeven, net als bij Axelrod c.s. Hierdoor

ontstaat tijdens een generatie differentiatie in *payoff* tussen individuen en daarmee in hun voortplantingskans. Zoals eerder gesteld gaat in de NS-experimenten *payoff* aan de recipiënt niet ten koste van de *payoff* van de donor, maar heeft de uitkomst van de interactie uitsluitend gevolgen voor het imago van de donor (en de k-waarde in het gemodificeerde NS-model). In het volgende gemodificeerde NS-experiment is de interactie meer virtueel, namelijk uitsluitend een keuze waar de dierhouder voor gesteld wordt.

Een zgn. A-populatie van 100 individuen verschilt oorspronkelijk *random* in coöperatiegeneigdheid. Deze variatie wordt duidelijk doordat elk A-individu een k-waarde heeft, variërend van -5 tot +6. Daarbij staat +6 voor onvoorwaardelijke defectie en -5 voor onvoorwaardelijke coöperatie.

Bij de start van een generatie heeft elk A-individu een imagoscore gelijk aan 0 evenals een *payoff*-saldo van 0. Nu wordt 125 maal *at random* een individu gekozen. Dit individu moet kiezen tussen coöperatie en defectie. Deze keuze hangt echter ook af van de eigenschappen van het individu waarmee hij geconfronteerd wordt.

Naast de beschreven populatie bestaat namelijk een andere virtuele B-populatie van 20 individuen die eveneens random verdeelde E-waarden dragen. De E-waarde verschilt van -5 tot +6 en E staat voor Educatie. Een E-waarde van -5 is een maximaal educatieve neiging, terwijl een E-waarde van +6 volledige geslotenheid inhoudt. Telkens wanneer een A-individu uit de eerste populatie gekozen is, wordt ook een B-individu uit de tweede populatie *at random* gekozen.

Elk van de 125 interacties houdt in dat de k-waarde van het A-individu wordt vergeleken met de E-waarde van het B-individu en dat de beslissing coöpereren of defecteren valt conform bijgaande tabel 8.1:

tabel 8.1: Beslissingsalgoritme A-B-interactie (C = coöperatie, D = defectie)

	6	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
	5	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
	4	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
	3	C	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D
	2	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D
E-waarde B-individu	1	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D	D
	0	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D
	-1	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D
	-2	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D
	-3	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D
	-4	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D
	-5	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D
		-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
		K-waarde A-individu											

Bij coöperatie is de *payoff* voor het A-individu 1 punt en wordt zijn imagoscore ook met 1 punt verhoogd. Bij defectie bestaat 90% kans op een *payoff* van 3 punten voor het A-individu met gelijkblijvend imago, maar 10% kans op een negatieve *payoff* van 2 punten en een imagoverlies van 2 punten.

Na afloop van de 125 interacties vindt vervanging van de populatie plaats, waarbij de *offspring* proportioneel is met de *payoff*, zoals in het oorspronkelijke NS-experiment.

De vraag is nu in hoeverre de verdeling van de k-waarden in de A-populatie evolueert naar homogeniteit en zo ja, in hoeverre deze homogene waarde een coöperatieve is.

8.2 Stabiliteit als *offspring* proportioneel is met *payoff*

In tabel 8.2 is te zien hoe inderdaad de A-populatie stabiel wordt met één k-waarde, maar dat dit juist overduidelijk uitsluitend de minst coöperatieve k-waarden 6, 5 en 4 zijn. Deze homogenisatie wordt ook snel bereikt, in enkele tientallen generaties.

tabel 8.2: De resultaten van 100 gemodificeerde NS-experimenten waarin *offspring* proportioneel is met *payoff*

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	24	70
gem. aantal generaties	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	47	47
stdev. aantal generaties	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43	35	37

8.3 Stabiliteit als *offspring* proportioneel is met *payoff* en imago

Tot dusverre speelde de imagoscore geen rol bij de vervanging van de A-populatie. Het was uitsluitend de combinatie van de E- en k-waarden die de beslissing coöperatie/defectie bepaalde en daarmee de *payoff*-verdeling. Omdat enkel de *payoff* de overlevingskansen bepaalt is imago geen factor van belang geweest in dit experiment. De vraag is nu of imago van invloed is op de uitkomst van het experiment. Daartoe laten we in een volgend experiment de *offspring* proportioneel zijn tot de som van imago en *payoff* (tabel 8.3):

tabel 8.3: De resultaten van 100 NS-experimenten waarin *offspring* proportioneel is met de som van *payoff* en imago

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	0	0	0	0	0	2	4	8	11	13	27	35
gem. aantal generaties	-	-	-	-	-	63	53	53	66	43	79	63
stdev. aantal generaties	-	-	-	-	-	39	9	17	33	11	41	31

Opnieuw blijken uitsluitend de minst coöperatieve strategieën te overleven, zij het dat de spreiding nu groter is; k-waarde 0 blijft in 2% van de experimenten over als enige strategie.

8.4 *Stabiliteit bij asymmetrische educatieaanbieding*

Tot dusverre is de B-populatie steeds onveranderd gebleven tijdens de generaties. De B-populatie varieert *at random* ten aanzien van E-waarde aan het begin van het experiment en tijdens elke generatie wordt weer begonnen met een willekeurige verdeling van deze E-waarden over de B-individen. Wanneer de verdeling van de E-waarden niet langer *random* is, maar meer geconcentreerd raakt op de lagere waarden, dus wanneer de B-populatie meer educatiegeneigd is, is de vraag of deze grotere educatieneiging invloed heeft op de uitkomsten van dezelfde reeks NS-experimenten. In tabel 8.4 zijn de resultaten zichtbaar van 100 NS-experimenten waarin de E-waarden in de 20 individuen tellende B-populatie niet meer *random* verdeeld zijn, maar meer opgehoopt zijn naar de lagere waarden (dus meer educatief). Dit is bewerkstelligd door bij de toekenning van een E-waarde aan een B-individu een willekeurig getal tussen 0 en 79 te nemen en de getallenreeks van 1 tot en met 78 op te delen in afnemende subreeksen van 12, 11, 10, ..., 2 en 1 getallen; de subreeks waarin het willekeurige getal tussen 0 en 79 viel gaf de respectievelijke E-waarde aan. De subreeks 1-12 stond voor E-waarde -5, die van 76-77 voor E-waarde +5 etc.

tabel 8.4: De resultaten van 100 NS-experimenten waarin de B-populatie meer educatiegeneigd is, *offspring* ~ *payoff*

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	13	82
gem. aantal generaties	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39	39	31
stdev. aantal generaties	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	28	22

Vergelijk van tabel 8.3 en tabel 8.4 leert dat de uitkomsten van de experimenten niet veranderen door deze grotere educatieneiging bij de B-populaties wanneer de *offspring* enkel en alleen bepaald wordt door de *payoff*. Als de generatiewisseling mede bepaald wordt door het imago zijn de resultaten als vermeld in tabel 8.5:

tabel 8.5: De resultaten van 100 NS-experimenten waarin de B-populatie meer educatiegeneigd is, $\text{offspring} \sim \text{payoff} + \text{imago}$

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	0	0	0	1	2	0	1	3	3	13	26	51
gem. aantal generaties	-	-	-	124	84	-	46	47	54	70	51	54
stdev. aantal generaties	-	-	-	-	54	-	-	8	26	52	31	38

Ondanks de (sterk) vergrote educatieneiging in de B-populatie ontwikkelen zich in de A-populatie hoofdzakelijk non-coöperatieve monostrategieën, al blijkt dat bij generatiewisseling op grond van zowel *payoff* als imago duidelijk meer coöperatieve strategieën overleven.

8.5 Stabiliteitsontwikkeling als vertrouwen meespeelt

Door Axelrod is uitvoerig beschreven hoe de TIT FOR TAT-strategie tot tweemaal toe de winnende strategie is gebleken in een computertoernooi, waarbij de inzenders een strategie moesten geven om de maximale score te behalen in een herhaald Prisoner's Dilemma. Hier was sprake van directe reciprociteit, want in het herhaald Prisoner's Dilemma wordt steeds gewedijverd met dezelfde tegenstander en is het resultaat van eerdere ontmoetingen bekend aan beide spelers. Uit de resultaten van deze toernooien bleek dat de winnende strategieën gekenmerkt werden door vriendelijkheid, wat in dit geval wil zeggen dat het onderdeel van de strategie is om niet als eerste te beginnen met defectie. Tegelijkertijd (en onverbrekelijk verbonden hiermee) bestond de eigenschap om defectie door de ander ogenblikkelijk af te straffen. Tenslotte was vergevingsgezindheid een opvallende derde eigenschap. Zodra de ander weer coöperceert wordt niet langer gemokt over eerdere defecties. Deze drie eigenschappen zijn in het eigen onderzoek de aanleiding geweest om in het oorspronkelijke NS-simulatiemodel het begrip *vertrouwen* in te bouwen. Technisch is dat gerealiseerd door de aangeboren k-waarde te laten veranderen door coöperatie respectievelijk defectie. Aan den lijve ervaren defectie leidt er in deze opzet toe dat de k-waarde van de recipiënt met 1 punt afneemt en omgekeerd toeneemt als coöperatie plaatsvindt. De elders in de populatie waargenomen coöperaties en defecties leiden tot een geringe correctie van 0,1 punt in de k-waarden van de toeschouwers. De actuele donor, de beslisser over coöperatie of defectie, ondergaat geen veranderingen in zijn k-waarde. Vertrouwen leidt dus tot een bijstelling van de originele k-waarde door ervaringen, zowel ten goede als ten kwade.

De uitvoering van het zo gemodificeerde NS-experiment leidde tot resultaten die eenduidig coöperatief genoemd kunnen worden. In vier van de vijf gevallen was de overlevende mono-strategie (sterk) coöperatief. Het gemodificeerde NS-experiment heeft aangetoond wat het oorspronkelijke experiment niet deed, namelijk dat de overlevende strategie meestal een (zeer) coöperatieve is. Als vertrouwen als factor een rol speelt bij de opstelling van de individuen kan coöperatie zich ontwikkelen tot de dominante strategie in een *non policed society*. Vertrouwen is in dit model de door ervaringen en waarnemingen gecorrigeerde coöperatie-geneigdheid.

De verdienste van het NS-simulatiemodel is gelegen in het feit dat uiteindelijk één enkele strategie als enige in de populatie overblijft; de conclusie van Nowak & Sigmund dat deze overblijvende strategie de meest kritisch-coöperatieve (k-waarde 0) is, blijkt onterecht geweest. Pas nadat vertrouwen als factor ingebouwd was in het oorspronkelijke simulatiemodel werd duidelijk dat overwegend (sterk) coöperatieve strategieën als enige overblijven.

Bij de uitvoering van de experimenten tot dusverre bleek dat inderdaad steeds weer één strategie overbleef als dominante k-waarde. Generatiewisseling op basis van *payoff* leidde ertoe dat uitsluitend de minst coöperatieve strategieën overleefden, ook al werden de dierenartsen die bij de interacties betrokken werden steeds meer educatiegericht. Speelde imago ook een rol bij de generatiewisseling dan was de verdeling van de winnende strategieën nog steeds voornamelijk weinig coöperatief, ook al wonnen de k-waarden kleiner dan 1 ook enkele malen.

De achtergrond van het gebruikte praktische voorbeeld is de zorg voor de volksgezondheid. Consumenten wensen geen enkele contaminatie van hun voedsel en tegelijkertijd is controle van elk product onmogelijk. Het probleem is dus om systemen te ontwerpen waardoor de kans op contaminatie van voedsel door residuen van diergeneesmiddelen minimaal wordt. Uitgaande van een willekeurige verdeling van de coöperatieneiging onder dierhouders is dan de vraag hoe hun populatie stabiel te krijgen is met een coöperatieve k-waarde als dominante strategie.

Uit de laatstgenoemde experimenten bleek dat coöperatie (=bevordering van voedselveiligheid) niet of nauwelijks ontstaat wanneer *payoff* met of zonder imago als extra factor uitsluitend maatgevend

is voor *offspring*. Toch is in de alledaagse wereld *payoff* de doorslaggevende factor om te overleven als dierhouder. Dientengevolge is bij de volgende experimenten steeds de *payoff* aangehouden als basis voor de *offspring*.

Vertrouwen bleek in de oorspronkelijke NS-simulatiemodellen de doorslaggevende factor te zijn om een populatie coöperatief stabiel te laten worden. Vertrouwen is dan de correctie op de erfelijk bepaalde coöperatiegeneigdheid. De eigen ervaringen plus de waarnemingen van het verloop van beslissingen elders vermeerderen of verminderen de “natuurlijke” coöperatieneiging.

In de volgende 100 NS-simulaties is vertrouwen technisch ingevoerd door de k-waarden van de A-individueen toe- of af te laten nemen op grond van hun directe ervaringen. De B-populatie is wat E-waarden weer *random* verdeeld bij de start. Bij een onbetrapte defectie verandert de coöperatieneiging één punt (k-waarde +1), bij coöperatie wordt de k-waarde één punt minder (dus meer coöperatiegeneigd), maar bij betrapte defectie wordt de k-waarde met 2 punten verminderd (dus wordt de coöperatiegeneigdheid vergroot). Het invoeren van deze correctie resulteert echter in een volstrekt non-coöperatieve selectie: alle experimenten tonen dat k-waarde 6, de minst coöperatieve, overleeft (zie tabel 8.6):

tabel 8.6: De resultaten van 100 NS-experimenten waarin vertrouwen meespeelt, *offspring* ~ *payoff*

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
gem. aantal generaties	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47
stdev. aantal generaties	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39

Dit is een verrassend resultaat. Getest is wat gebeurt wanneer betrapte defectie niet 2 punten maar 1 punt verandering in de k-value geeft. Tabel 8.7 toont de gevolgen.

tabel 8.7: De resultaten van 100 NS-experimenten waarin vertrouwen meespeelt, *offspring* ~ *payoff*, betrapte defectie = k-waarde -1

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
gem. aantal generaties	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14
stdev. aantal generaties	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5

Het blijkt dat de populatie hierdoor alleen maar sneller homogeen compleet defectief wordt. Gemiddeld zijn nog maar 14 generaties

nodig, terwijl bij de experimenten waarin betrapte defectie 2 punten verbetering van de coöperatiegeneigdheid teweegbracht, dit gemiddelde aantal nog 47 bedroeg.

Als defectie ontdekt wordt volgt sanctie in het experiment.

Door deze sanctie wordt de coöperatiegeneigdheid van de zondaar groter, zo is de regel. Het vreemde is dat een vergrote coöperatiegeneigdheid bij de betrapte defectoren leidt tot versnelde selectie van de meest non-coöperatieve strategie, namelijk k -waarde 6, die staat voor permanente defectie.

De laatste reeks experimenten is herhaald, maar nu met een asymmetrische verdeling van de E -waarde in de oorspronkelijke E -populatie. De kans dat een A -individu een B -individu met een grote educatieneiging ontmoet is hier aanzienlijk groter dan in de voorgaande experimenten. De genoemde asymmetrie is bewerkstelligd door een willekeurig getal tussen 0 en 79 te nemen. Er zijn namelijk 12 E -waarden (-5 tot en met +6) en 78 is de som van $12 + 11 + 10 + \dots + 1$. Het zojuist gekozen willekeurige getal ligt ofwel op het traject 1-12 ofwel op 13-23 ofwel 24-33 etc., dus op steeds kortere trajecten. Elk traject staat voor een E -waarde: 1-12 voor -5, 13-23 voor -4 enz. Zodoende ontstaat in de populatie een asymmetrische verdeling van de E -waarden (tabel 8.8):

tabel 8.8: De resultaten van 100 NS-experimenten waarin vertrouwen meespeelt, *offsprong ~ payoff*, betrapte defectie = k -waarde -1, E -waarde vergroot

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
gem. aantal generaties	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14
stdev. aantal generaties	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7

Het blijkt dat deze vergroting van de E -input de uitkomsten van de experimenten niet verandert; opnieuw worden de A -populaties al na gemiddeld 14 generaties stabiel, al is de standaarddeviatie van dat aantal licht toegenomen. Meer educatie door de B -individuen verandert de afloop niet wezenlijk.

Tot dusverre werd uitgegaan van een forse beloning bij onbetrapte defectie, namelijk 3 punten extra *payoff*. Coöperatie leverde 1 punt op en betrapte defectie -2. Wanneer onbetrapte defectie niet 3 punten maar 1,2 punten oplevert (dus 0,2 meer dan coöperatie) verandert de zaak opeens (tabel 8.9):

tabel 8.9: De resultaten van 100 NS-experimenten waarin vertrouwen meespeelt, *offsprong ~ payoff*, betrapte defectie = k-waarde -1, E-waarde vergroot, verschil=0,2

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
gem. aantal generaties	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62
stdev. aantal generaties	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31

Nu is de uitkomst ofwel pertinent non-coöperatief ofwel onvoorwaardelijk coöperatief, want uitsluitend de k-waarden +6 en -5 blijven over, waarbij -5 verreweg het meest voorkomt. Het enige verschil met de voorgaande simulaties is de grootte van het voordeel dat door de A-individueen behaald kan worden door defectie. Als dat verschil onder een bepaalde kritische waarde blijft wordt de B-populatie vrij snel homogeen coöperatief. Dit blijkt ook in een experimentenreeks waarin het voordeel van (onbetrap) defecteren gereduceerd wordt tot 0,1 punt ten opzichte van coöperatie (tabel 8.10):

tabel 8.10: De resultaten van 100 NS-experimenten waarin vertrouwen meespeelt, *offsprong ~ payoff*, betrapte defectie = k-waarde -1, E-waarde vergroot, verschil=0,1

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
gem. aantal generaties	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
stdev. aantal generaties	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Dezelfde reeks experimenten, maar nu met 0,4 punt verschil levert de resultaten op die vermeld zijn in tabel 8.11.

tabel 8.11: De resultaten van 100 NS-experimenten waarin vertrouwen meespeelt, *offsprong ~ payoff*, betrapte defectie = k-waarde -1, E-waarde vergroot, verschil=0,4

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89
gem. aantal generaties	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54
stdev. aantal generaties	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36

De laatste experimentenreeksen draaiden om interacties tussen A-individueen met in eerste instantie een willekeurige coöperatiegeneigdheid en B-individueen die een asymmetrische verdeling ten opzichte van de E-waarde hadden (meer kans op grotere educatie-neiging). Desondanks is pertinente defectie de uiteindelijke

homogene strategie in de A-populatie, zolang het voordeel van defecteren groter is dan een bepaald minimum (0,2 punten in het simulatiemodel). De vraag rees of een eveneens willekeurig verdeelde E-waarde bij de B-populatie dit minimum verhoogt.

tabel 8.12: De resultaten van 100 NS-experimenten waarin vertrouwen meespeelt, *offsprong* ~ *payoff*, betrapte defectie = *k*-waarde -1, E-waarde random, *verschil*=0,4

k-waarde	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
aantal keren winnaar	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	93
gem. aantal generaties	150	-	-	-	-	54	-	-	-	-	-	43
stdev. aantal generaties	156	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22

De verminderde educatie heeft invloed, maar niet bijzonder veel, zo blijkt uit de resultaten die vermeld staan in tabel 8.11 en 8.12.

Duidelijk is dat ondanks (sterk) vergroot aanbod van educatie voornamelijk het verschil tussen de *payoff* bij coöperatie en bij defectie bepalend is voor het antwoord op de vraag of homogeen coöperatie ontstaat. Uiteraard geldt deze conclusie vooral nog uitsluitend onder de voorwaarden die in het simulatiemodel bepaald zijn. Desalniettemin geeft de conclusie reden tot discussie. In een volstrekte *non policed society*, waar niemand iemand dwingt (maar waar wel uiteraard de binaire algoritmes voor beslissingen bestaan, wat ook op te vatten is als een soort gezag), ontstaat uitsluitend maximale kans op voedselveiligheid wanneer het verschil in beloning (*payoff*) tussen coöperatie en defectie niet te groot is. Een vergrote druk op de individuen door educatie door derden verandert daar in beperkte mate iets aan.

9. Algemene discussie

Bij de inleiding van deze studie is weergegeven hoe oorspronkelijk de verbazing over het gebrek aan rationaliteit om wel of niet te coöpereren een drijfveer is geweest voor de studie. In de coöperatieleer heeft de economie lang centraal gestaan bij de benadering van de coöperatieve vraagstukken. De bekende alleswetende *homo economicus* die uitsluitend uit was op persoonlijke winstmaximalisatie, verdroeg zich echter slecht met het wezen van de coöperatie, waar het geven en nemen meer kenmerkend is dan het uitsluitend nemen. De bekende *free rider*, degene die zich juist niets van het gemeenschapsbelang aantrekt en profijt trekt uit het feit dat anderen dat wèl doen, was evenzeer een lastig personage. Al heette één van de eerste Nederlandse coöperaties dan ook “Welbegrepen Eigenbelang”, het viel niet mee om economisch consistente verklaringen op te zetten waarom het verschijnsel coöperatie zo duidelijk de motor is geworden achter zoveel maatschappelijke en andere prestaties. Deze constatering laat onverlet dat wel degelijk een uitgebreide *rational behaviour*-discussie onder economen gaande is. Zo heeft Hansmann in zijn boek *The Ownership of Enterprise* (1996) strikt rationele concepten voor gedrag gedefinieerd om tot een verklaring van economische coöperatie te komen. In deze studie wordt aan deze discussie verder goeddeels voorbijgegaan.

De ruim twintig jaar geleden ontstane nieuwe *bottom up*-benadering via de speltheorie bracht verrassende nieuwe inzichten. Het eenvoudige Prisoner's Dilemma bood de mogelijkheid om te experimenteren met uiteenlopende antwoorden op de vraag welke strategie de beste is om dit dilemma in een herhaalde reeks met dezelfde *counterpart* op te lossen. Het beschikbaar komen van steeds snellere computers heeft in niet geringe mate bijgedragen om het antwoord op deze vraag te vinden. De door Axelrod georganiseerde computertoernooien vormen in dit verband een hoogtepunt in de ontwikkeling van de coöperatieleer. Toen bleek dat de twee Axelrodtoernooien beide gewonnen werden door de eenvoudige eenvoudige strategie TIT FOR TAT (TFT) ontstonden nieuwe inzichten, vastgelegd in de acht stellingen van Axelrod. Een wel heel opmerkelijk resultaat was dat er in feite geen absoluut beste strategie bestaat om het herhaald Prisoner's Dilemma te spelen. Welke strategie de beste is hangt af van wat de andere strategieën behelzen. Desalniettemin bleek TFT niet zomaar de winnende strategie. Analyse van de uiteindelijke uitslag van de

toernooien leverde zonneklaar op dat TFT tot tweemaal toe gewonnen had vanwege drie typische kenmerken:

1. de strategie begint altijd coöperatief;
2. de strategie slaat onmiddellijk terug wanneer defectie vertoond wordt door de ander;
3. de strategie is vergevingsgezind en gaat weer coöperatief verder als de ander weer coöpereert.

Bij deze drie eigenschappen komt de herkenbaarheid van de strategie voor de tegenstander; door de eenvoud herkent de ander het patroon en past zich “wijselijk” aan.

De genoemde drie typische kenmerken spreken bij velen tot de verbeelding. Op deze manier komt men het verst in het leven, zo is de suggestie. Ook in andere disciplines dan de speltheorie werden alras aanknopingspunten gevonden voor de “juistheid” van deze stelling.

De basis voor het voorgaande is onveranderd de herhaalde ontmoeting tussen dezelfde individuen, *directe* reciprociteit oftewel rechtstreekse wederkerigheid. De zegswijze *I 'll scratch your back if you scratch mine* is een korte samenvatting van dit beginsel. Een tweede gegeven bij voornoemde exercities is dat coöperatie-ontwikkeling wordt bestudeerd in een wereld “zonder centraal gezag”. Deze uitdrukking geeft aanleiding tot discussie. De beschreven opvatting van Thomas Hobbes dat coöperatie uitsluitend afdgedwongen kan worden door een sterk bestuur (regering, ouders etc.), is eeuwenlang niet betwist geweest. Toen de speltheoretische experimenten met computers gestart werden, is onder het kopje “materiaal en methoden” schijnbaar luchtig gesteld dat hier sprake was van een *non policed society*. Desalniettemin zijn de regels voor interactie tussen de virtuele individuen messcherp. Op de regel *if...then* bestaan geen uitzonderingen, tenzij die weer even scherp geformuleerd zijn. De vraag rijst dan of dergelijke binaire algoritmen in feite niet ook vorm van centraal gezag representeren. Er bestaat immers geen keus voor een “individu”. Deze vraag geeft te denken. In hoeverre is gedrag een gehoorzamen aan genetische codes te noemen? John Holland, de uitvinder van genetische algoritmen, waarin de celbiologische lotgevallen van chromosomen ten voorbeeld genomen worden voor evolutionaire ontwikkelingen, gaat uit van de stelling dat evolutie een proces is dat door genetische codes geregeld wordt en helemaal niet door

individuen (Davis, 1991). Hetzelfde wordt uitermate helder geformuleerd in Richard Dawkins' *The blind watchmaker* (1986).

In speltheoretische experimenten wordt gesteld dat een *non policed society* niets meer en niets minder inhoudt dan dat afgezien van de gedefinieerde algoritmen geen verdere invloeden van buitenaf op het verloop van de experimenten bestaan. Gesteld echter dat juist de bepaling van deze instructies toegedacht wordt aan "een" actor, dan is vanzelfsprekend deze definitie onvoldoende. De programmeur wordt dan het centrale gezag en zo verdwijnt het toeval.

In 1998 kwam de eerste publicatie in *Nature* waarin gesteld werd dat *indirecte* reciprociteit ook voldoende zou zijn om coöperatie te laten ontstaan in een wereld zonder centraal gezag. Nowak & Sigmund hadden een ingenieus computersimulatiemodel ontwikkeld waarin de virtuele individuen maar heel weinig kans hadden om elkaar na een ontmoeting nogmaals te ontmoeten. Zij werkten met een populatie die na verloop van tijd vervangen werd door een nieuwe. Tijdens het "leven" van een populatie vinden vele interacties plaats waarbij beslissingen om al of niet te coöpereren genomen worden door de (numeriek bepaalde) coöperatiegeneigdheid van de één te vergelijken met het imago van de ander, ook weer in een index uitgedrukt. Door te coöpereren nam de imago-index van de donor toe en evenzo het bezit (de *payoff*) van de recipiënt. Omgekeerd deed defectie de imagoscore van de donor afnemen. De eerste populatie van individuen werd een willekeurige verdeling van coöperatie-indexen meegegeven. Door echter de volgende populaties te laten ontstaan op zo'n manier dat de individuen met de meeste *payoff* de grootste kans hebben om zich "voort te planten" bleek de verdeling van de coöperatieneigingen te veranderen. Na een kleine 200 generatiewisselingen bleef uiteindelijk nog slechts één coöperatie-index over: de populatie was homogeen geworden. Omdat Nowak & Sigmund als enige coöperatie-index de meest kritische coöperatieve over zagen blijven, publiceerden zij hun resultaten met de conclusie dat ook bij indirecte reciprociteit coöperatie ontstond, zonder centraal gezag. Toen wijzelf daarna het computersimulatiemodel nabouwden (vanwege de boeiende ontdekking) bleek dat wel zeker slechts één coöperatie-index overbleef, maar dat bij herhaling van het gepubliceerde experiment deze index telkens een andere bleek. Daarop is besloten om het oorspronkelijke experiment geautomatiseerd honderdvoudig te herhalen. Uit dit werk bleek dat de populatie onveranderlijk na verloop van tijd homogeen werd, maar dat de

mate van coöperatiegeneigdheid telkenmale verschilde: de uitkomst was in feite volstrekt *random*.

Uitwisseling van de originele software met de auteurs (die de computertaal Fortran gebruikt bleken te hebben) leverde de details op. Het in *Nature* beschreven experiment was feitelijk ietwat anders uitgevoerd dan beschreven; zo was bij coöperatie wel sprake van een opbrengst voor de recipiënt maar niet van enige kosten voor de donor, wat niet erg realistisch is. Daarop is door ons een nauwkeurige replica van het daadwerkelijk uitgevoerde experiment honderdvoudig herhaald. Opnieuw bleek dat de besproken uitkomst een toevalstreffer was geweest. Hierdoor kwam de conclusie van Nowak & Sigmund op losse schroeven te staan.

Indirecte reciprociteit was ingebouwd in het Nowak-Sigmundmodel door met een imagoscore te werken. Deze score speelt een grote rol bij de interactie tussen de individuen en de beslissing die daarbij hoort. Door nu de “erfelijk” bepaalde coöperatieneiging (die de andere bepalende factor is voor de beslissing) enigszins te laten variëren door eigen en andermans ervaringen, ontstond een heel ander resultaat. Nu ontstond in vier van de vijf keren overduidelijk een homogeen (zeer) coöperatieve populatie en wel sneller dan in het oorspronkelijke experiment. Bij deze correctie van het model is niets gewijzigd aan de mate van indirectheid wat reciprociteit betreft. Defecties doen de coöperatiegeneigdheid ietwat afnemen, coöperaties doen deze wat versterken. De overerving blijft echter plaatsvinden op grond van de “aangeboren” index.

Deze aanpassing van het Nowak-Sigmundmodel was ingegeven door de analyses van Axelrod betreffende de kenmerken van de strategie TFT. De consequente reactie die TFT voorschrijft bij coöperatie en defectie (de tweede typische eigenschap van zgn. robuuste strategieën in de toernooien) is de basis voor de correcties in de coöperatiegeneigdheid door ervaringen in het door ons aangepaste Nowak-Sigmundmodel. Vertrouwen is de term voor deze correcties. Wie eenmaal niet coöpereert zal het een volgende keer ook minder snel doen - en omgekeerd. Goed voorbeeld doet goed volgen - en omgekeerd. Verschillende uitspraken die vaak gehoord worden in coöperatieve discussies blijken opeens een rationele basis te krijgen hierdoor.

Vertrouwen wordt in Van Dale's woordenboek gedefinieerd als geloof in iemands betrouwbaarheid. Men gaat dan dus uit van een correlatie tussen het gedrag dat iemand vertoont in een bepaalde

situatie en het gedrag dat men later in eenzelfde situatie zal hebben. Imago is in feite een korte samenvatting van vertrouwen. Zoals gesteld in hoofdstuk 2 heeft Fukuyama aangetoond dat vertrouwen een essentiële factor is voor de verklaring van het economisch leven. Vertrouwen behoort niet tot de begrippenset van de neoklassieke economieleer. Het idee van de vrije markt waar de *homo economicus* voortdurend uit is op persoonlijke winstmaximalisatie, blijkt de basis te kunnen zijn om wel 80% van alle economische verschijnselen te kunnen verklaren (wat een hoge score is voor een theorie, aldus Fukuyama), maar er blijft 20% over waar onvoldoende rationele verklaring voor is. Posch *et al.* (1999) komen op grond van speltheoretische beschouwingen tot dezelfde conclusie. Vertrouwen als onderdeel van de cultuur speelt een rol in dit door Fukuyama niet-rationele genoemde domein. Zijn definitie van cultuur als het geheel van overgeërfde ethische tradities is daarbij interessant. Fukuyama betoogt dat veel culturele aspecten momenteel geen aanwijsbare rationele achtergrond lijken te hebben, maar dat het niet onaannemelijk is dat dezelfde gedragspatronen ooit ontstaan zijn op puur rationele overwegingen. Veel geïnternaliseerde cultuurpatronen (het verbod op diefstal, bijvoorbeeld) zijn zo uiteindelijk de reflecties van rationeel gedrag, ook al rekent men deze “opvattingen” nu tot het domein van geloof, hoop en liefde.

Toen na de Verlichting de mensheid gaandeweg zich meer verliet op ratio en daardoor snelle technische vooruitgang boekte, kwamen de traditioneel-cultureel bepaalde levenswijzen in een steeds eigenaardiger daglicht te staan. Dat iedereen in de donkere middeleeuwen onvoorwaardelijk geloof hechtte aan allerlei duistere machten werd wel logisch geacht – men wist immers niet beter. Maar nu we inzicht hebben gekregen in bijvoorbeeld de bewegingen van de hemellichamen en in de microkosmos, wordt het gewoonte om niet-rationeel verklaarbare opvattingen af te doen als onschuldige folklore waar weinig waarde aan te hechten is. Een tot dusverre weinig rationeel begrip als vertrouwen wordt niet zo veel genoemd in economische analyses. Nu in het gemodificeerde computersimulatiemodel van Nowak & Sigmund vertrouwen een rationele factor is om het ontstaan van coöperatie zonder direct gezag en met indirecte reciprociteit te kunnen verklaren, schuift vertrouwen op naar het rationele domein en krijgen basale cultuur-opvattingen over goedheid, vriendelijkheid en vertrouwen hopelijk meer aanzien in zgn. hard-zakelijke analyses.

Coöperatie versus defectie is in het Prisoner's Dilemma (PD) een eenvoudig gedragspatroon, maar veel vaker kan een tweedeling in

gedrag opgevat worden als een keuze tussen coöperatie en defectie. Hoe vaak staat een mens immers niet voor de keuze om ofwel voor het eigenbelang ofwel voor het algemeen belang te kiezen?

Opnieuw komt de *free rider* in beeld, ook al is deze rol door de analyses van Axelrod inmiddels al voorzien van een (negatieve) rationele basis. In feite is regelgeving te allen tijde een kwestie van een beroep doen op de coöperatiebereidheid van het individu.

Regelgeving ontstaat wanneer onvoldoende vertrouwen bestaat bij de samenleving over een bepaald gedrag van individuen. Centraal staat daarbij het gegeven dat daadwerkelijke, effectieve controle op elk handelen onmogelijk is. Toch wenst de samenleving dat in alle gevallen waarin cruciale keuzes gemaakt moeten worden, de betrokken individuen de juiste keuze maken, ook al is de kans op controle klein. Een voorbeeld van dergelijke regelgeving is de grote hoeveelheid wetten en regels die de voedselkwaliteit van mensen betreft. Mensen nemen hun leven lang meerdere keren per dag voedsel tot zich en een groot deel van dit voedsel is van dierlijke oorsprong. Melk, vlees en eieren zijn naast bepaalde planten hoofdbestanddelen van het menselijk dieet. Zolang de herkomst van deze producten van dierlijke oorsprong voor iedereen duidelijk was werd over controle niet veel gerept. De oorsprong was dichtbij en het in de waagschaal stellen van de kwaliteit ervan raakte de boosdoener binnen de kortste keren zelf. Toen eenmaal de productie van deze voedingsmiddelen van dierlijke oorsprong gaandeweg meer aan het oog van de consument onttrokken werd, veranderde deze houding. Iets wat niet gezien wordt, wordt steeds minder vertrouwd, zeker wanneer zaken aan het licht komen die onvermoed waren en ongewenst geacht worden. De groeiende angst voor chemicaliën *as such*, beginnend in de zestiger jaren van de twintigste eeuw, heeft een almaar toenemende reeks verordeningen tot gevolg gehad. Men raakte beducht voor residuen in melk, vlees en eieren, in granen, groenten en fruit. Deze ontwikkeling is anno 2000 nog eerder in een stroomversnelling geraakt dan verminderd. Voedselveiligheid heeft een hoge prioriteit op menige agenda.

Opvallend is dat juist degenen die wèl oog hebben op de productiewijze (de primaire producenten zowel als de verwerkers) in tegenstelling tot de niet-ingewijden de genoemde afkeer niet delen. Onder varkenshouders vindt men geen vegetariërs, terwijl 30% van de Londense vrouwen onder de 30 jaar geen vlees of vleesproducten zegt te eten in 1999. Er ontstaat dus een kloof tussen producenten en consumenten. De autoriteiten in zo'n samenleving stapelen diensten-

gevolge wet op wet om zo zeker mogelijk te zijn dat de beslissingsbevoegde individuen in de productiesector niet hun eigenbelang laten prevaleren boven het algemeen belang. Dit klemt des te meer omdat de van oudsher bestaande productcontroles niet langer mogelijk zijn, voorzover het karakter ervan nog werkelijk iets voorstelt (het is meestal niet mogelijk om visueel chemische contaminaties vast te stellen). Procescontrole is daarom het sleutelbegrip geworden; processen verlopen in ketens en zo dient de kwaliteit gewaarborgd te worden.

Zo komt de moderne dierhouder in beeld, als beslisser over het lot van vele dieren. Wanneer zijn dieren ziek worden bestaat vaak de mogelijkheid om de dieren een diergeneesmiddel toe te dienen. In feite is de moderne grootschalige dierhouderij uitsluitend mogelijk omdat er diergeneesmiddelen voor vele kwalen bestaan. Zonder deze zou bij een aandoening van enige omvang de ramp niet te overzien zijn immers. Ondanks de grote verbeteringen in huisvestingssystemen blijven dierziektes voorkomen en het is behalve een kwestie van economie ook en vooral een kwestie van beschaving dat zieke dieren indien mogelijk genezen moeten worden. Dierenwelzijn is evengoed als diergezondheid een hoog goed in de meeste culturen. Diergeneesmiddelen zijn derhalve van groot belang in verband met de heilzame werking, maar laten ook sporen na in de voedingsmiddelen van dierlijke oorsprong. Vaak kunnen deze producten pas enige tijd na het beëindigen van een medicamenteuze therapie weer voor menselijke consumptie gebruikt worden; deze tijd staat bekend als de "wachttijd". Een aansprekend voorbeeld wordt gevormd door een koppel van 20.000 kippen dat gemedicineerd moet worden: waar gaat de dagelijkse eiproduktie naar toe tijdens de wachttijd van misschien wel een week? Elke dag waarmee de wachttijd verkort wordt betekent de opbrengst van bijna 20.000 eieren. De pluimveehouder die hier het bewind voert is een cruciale actor bij de bewaking van de voedselveiligheid. Hij staat niet alleen. Qualitate qua hoort bij elk koppel dieren een dierenarts. Elk Europees land heeft minstens één academische opleiding waar dierenartsen opgeleid worden. Elk land heeft een cohort dierenartsen dat van groot belang is voor juist die zorg voor de volksgezondheid. De dierenarts adviseert de pluimveehouder over een medicatie, nadat de diagnose gesteld is. Ondanks routine, ondanks herhaling, de dierenarts speelt overal in Europa deze rol. Naar analogie van de arts voor mensen is de dierenarts de eerst aangewezen raadsman bij medicatie. De educatieve kwaliteit van de dierenarts is dientengevolge van belang voor de attitude van de pluimveehouder.

Omdat bewaking van de volksgezondheid en meer speciaal de bewaking tegen contaminatie met residuen van diergeneesmiddelen een *hot issue* is in 2000, is gekozen voor de toepassing van het gemodificeerde Nowak-Sigmundsimulatiemodel, om na te gaan wanneer de grootste kans op coöperatie (=borging voedselveiligheid) ontstaat. Evenals in de irrationele discussies over wel of niet coöpereren op andere vlakken, is op het punt van deze vorm van bewaking van de voedselveiligheid in het veld sprake van vaak weinig logische debatten. Waar de één roept om harde economische sancties tegen betrapte defectors, bepleit de ander het internaliseren van kwaliteitsborging; waar sommigen alle heil verwachten van educatie door academische professionals, vestigen anderen al hun hoop op technische controles. Ook hier geldt dat de werkers in het veld vaak twijfels hebben over de echte waarde van een residulimiet (MRL); zou het wel echt zo'n vaart lopen? Hoe denken trouwens de dierenartsen in de diverse Europese landen over deze kwesties?

Voor het inzetten van het gemodificeerde model is eerst een enquête gehouden onder 30 Europese dierenartsen, die ieder hun land vertegenwoordigen in de FVE. De uitkomsten van dit onderzoek geven de eerder gesignaleerde dichotomie in opvattingen tussen wel en niet-ingewijden al weer. Ook is een farmacokinetisch onderzoek verricht bij een in Nederland zeer veel gebruikt diergeneesmiddel voor biggen: zou daar rekening met de volksgezondheid moeten worden gehouden? Het resultaat is geweest dat het bewuste middel niet langer voor biggen gebruikt mag worden – een verrassende uitkomst, *juist* voor de ingewijden.

De toepassing van het gemodificeerde simulatiemodel heeft binnen de beperkingen van het model een duidelijke uitkomst opgeleverd. Het verschil in *payoff* is bepalend voor de mate waarin coöperatie in de zin van *compliance* te verwachten is; educatieve variatie bij de adviserende professionals is eveneens een factor, zij het een minder invloedrijke.

In deze studie is op een andere dan de veelal gebruikelijke manier gezocht naar kennisvermeerdering. Waar normaliter op grond van eerdere research een probleemstelling wordt gegeven en vervolgens hypothesen worden getoetst op grond van bepaald materiaal en omschreven methoden, waarna statistisch significante conclusies getrokken worden, is hier het doel geweest om inzicht te verwerven in zaken waar economen mee worstelen en niet goed raad mee weten in de neo-klassieke leer (zie ook Fukuyama, 1995, van Dijk,

1997). De aan den lijve ondervonden tweespalt bij de vraag “waarom wel of niet coöperatie?” vormde het eerste aanknopingspunt om na te gaan in hoeverre rationaliteit de basis kan zijn voor bepaald economisch gedrag. Duidelijk was immers dat emotionaliteit een hoorbare rol speelde bij het antwoord op de genoemde vraag door primair betrokkenen. De tegenhanger van *emotio* is *ratio* en vandaar de titel van deze studie. Als dan zoveel belangrijk gedrag niet op grond van rationaliteit te verklaren valt, is dan die grens tussen *emotio* en *ratio* gefixeerd of kan die verschoven worden? Simon (1961), Cyert en March (1963) zijn begonnen met het dichten van de kloof tussen *ratio* en *emotio*, tussen de *homo economicus* en de realiteit. Aanknopen bij de basistheorieën van Marshall (1922), die in feite een terminologie, een taal, gedefinieerd heeft waarmee economische problemen geanalyseerd kunnen worden, formuleerden zij o.a. de *theory of the firm*, waarin rekening gehouden wordt met onzekerheid in een niet-perfecte markt. Niet langer is de *homo economicus* perfect geïnformeerd en van een stabiele markt hoeft ook nog geen sprake te zijn. Vooroordelen spelen een rol, voorkeuren en afkeren eveneens. De rol van gewoontes, autoriteit en zelfs dociliteit wordt gedefinieerd als factor voor het economische handelen, maar in feite leidt deze theorie tot meer gedragspsychologische definities dan tot meer (rationeel) begrip voor economische verschijnselen. Overigens gebruikte Alfred Marshall al in 1922 de term *organized trust* als sleutelwoord om coöperaties als ondernemingsvorm te verklaren. (Oliver) Williamson besteedt in zijn boek *Markets and Hierarchies* (1975) veel aandacht aan *bounded rationality*, opportunisme, sfeer etc. om ook deze niet-rationele invloeden op het economisch leven een (belangrijke) plaats te geven.

Coöperatie als gedragsconcept is de basis voor de coöperatie als ondernemingsvorm. Deze coöperatie ontstaat altijd op grond van een gemeenschappelijke economische onvrede bij een groep individuen. Als eerste voorbeeld van een economische coöperatie geldt het initiatief van Raiffeisen, die spaarders en ondernemers bijeenbracht in een coöperatieve vereniging om de gemeenschappelijke onvrede van onvoldoende dan wel woekerrente weg te nemen. Het doel van de coöperatie is niet het genereren van winst voor de onderneming, maar van winst voor de leden. De Nederlandse wet omschrijft de coöperatie als een onderneming die haar leden voorziet van “bepaalde stoffelijke behoeften”. In de twintigste eeuw is coöperatief ondernemen uitgegroeid tot een veelvoorkomend verschijnsel, dat voortdurend vergeleken wordt met de

ondernemingsvorm waarin winst wèl het belangrijkste doel is en waar aandeelhouders geld steken in een bedrijf met geen enkel ander doel dan winst maken.

Zoals in de inleiding al gesteld leidt het succes van een coöperatie tot disciplineren van de markt. In feite vormt de coöperatie marktmacht voor individueel machteloze leden op de vrije markt. Door deze disciplineren verdwijnt voor de opvolgers van de oprichters de reden tot coöpereren snel uit beeld. Vennootschappen en coöperaties concurreren immers om de gunst van de individuen en van de oorspronkelijke onvrede is geen sprake meer. Zolang de leden van de coöperatie één en hetzelfde doel hebben (het wegnemen van de onvrede) is samenwerking niet moeilijk. Zodra de onvrede weggenomen is en de belangen van de leden door verdere ontwikkelingen gaan divergeren, krijgt menige coöperatie echter problemen door deze verschillen (van Dijk, *forthcoming*). In het volgende wordt een aantal van deze problemen besproken en wordt daarbij aangegeven in hoeverre de resultaten van deze studie gerelateerd kunnen worden aan mogelijke oplossingen.

Het horizonprobleem

Met het horizonprobleem van coöperaties wordt bedoeld de gevolgen van de verschillende bereidheid bij leden tot het investeren in de coöperatie ten gevolge van de persoonlijke positie van het lid. Een lid dat verwacht al binnen enkele jaren zijn onderneming te staken is vaak minder bereid tot investeren dan een lid dat denkt nog dertig jaar financieel afhankelijk te zijn van de coöperatie. Een lid met grote schulden is eveneens minder geneigd tot diepte-investeringen dan iemand die iets te beleggen heeft. Met horizon wordt dus de financiële reikwijdte bedoeld. Wanneer het ledenbestand van een coöperatie vergrijst, kan het horizonprobleem de ontwikkeling van de coöperatie daardoor in gevaar brengen. Vertrouwen zowel in de zin van goed vertrouwen als van correlatie tussen eerder en later vertoond gedrag, is nodig om coöperatie in een situatie met indirecte reciprociteit te laten ontstaan. Speltheoretisch is aangetoond dat zonder vertrouwen geen homogene populatie waarin gecoöpererd wordt, ontstaat. Het is dan logisch om te stellen dat zonder vertrouwen de bestaande coöperatie weer ten onder zal gaan en het gevolg daarvan is de terugkeer van de oude onvrede. Bij de niet-coöperatieve marktpartijen staat immers winstmaximalisatie van de vennootschap voorop en de onzichtbare hand van Adam Smith staat garant voor dit verloop. Bij horizontdiscussies kan deze wetenschap een rol spelen. Een lid dat zich uitsluitend gedraagt als *homo economicus* en als

zodanig bijvoorbeeld niet bereid is te investeren in zijn coöperatie vertoont dan een gebrek aan vertrouwen en roept daarmee de oude onvrede weer op. De correlatie tussen eerder en later vertoont gedrag vervalt en daarmee de basis voor het wegnemen van de (bedreigende) onvrede.

Het portfoliovraagstuk

In een bepaald ontwikkelingsstadium kan het voor een coöperatie nodig/lucratief zijn om te investeren in activiteiten die niet meer rechtstreeks gerelateerd zijn (of lijken) aan de transacties met de leden. Verschillende leden hechten verschillend belang aan deze activiteiten en daardoor verschilt de investeringsbereidheid. Geld in de coöperatie laten zitten ten behoeve van marketing is zo'n voorbeeld. Het vertrouwen dat in de mening van specifiek deskundigen gesteld wordt is hier de bepalende factor. Zonder dit vertrouwen wordt de coöperatie gehandicapt door onvoldoende middelen, waardoor opnieuw de terugkeer van de oude onvrede dreigt. Het beroep op vertrouwen in deskundigheid heeft dus te maken met het voortbestaan van de coöperatie.

Het incentive-probleem

Coöperatielieden hebben prikkels nodig om te interageren met hun coöperatie; een belangrijke prikkel is de prijsvorming. Stel nu dat een coöperatie ongewoon veel rendement maakt met een activiteit die niet rechtstreeks met de leden te maken heeft, zoals het exploiteren van een business unit in China. Dit grote rendement zou gebruikt kunnen worden om de prijsvorming voor ledentransacties te beïnvloeden. Lange en korte termijn-belangen worden dan vermengd met het gevolg dat de coöperatieve onderneming in beide opzichten zich verkeerd ontwikkelt. Het "opeisen" van lange termijn-resultaten voor korte termijn-transacties is te beschouwen als een gebrek aan vertrouwen, hoezeer de betreffende eis ook begrepen kan worden vanuit de korte termijn-belangen van de leden. Opnieuw staat vertrouwen centraal bij de oplossing van dit incentive-probleem.

Het probleem met corporate governance

Een groeiende coöperatie ziet allengs de belangen van de leden onderling en die van de bestuurders uiteenlopen. Waar bijvoorbeeld het bestuur de lange termijn in het oog houdt en de directie vooral op de korte termijn wil presteren (noodzakelijk in verband met het voortdurende vergelijk tussen de prestaties van de coöperatie en die van beursgenoteerde ondernemingen), kunnen spanningen ontstaan.

Bij gebrek aan vertrouwen tussen bestuur en directie kan dit *corporate governance*-probleem gemakkelijk ontaarden in situaties waarin veel kosten gemaakt moeten worden om nieuwe teams te formeren. Een ander voorbeeld is de verdeling van de in hoofdstuk 2 genoemde transactiekosten. Het probleem van een onderneming om voortdurend in een vrije marktsituatie geconfronteerd te worden met partijen die op eigen winstmaximalisatie uit zijn, wordt veelvuldig opgelost door verticale integratie: men koopt de toeleverancier of afnemer op en introduceert coöperatie en saamhorigheid om de bedoelde transacties te laten verlopen zonder die eerdere voortdurende moeite en kosten. Deze schaalvergroting gaat door totdat de kosten van organisatie en beheer die van de oude transactiekosten passeren. Vertrouwen wordt dus ingezet als middel om transactiekosten te reduceren en is daarom per definitie onmisbaar om als onderneming te overleven.

Het lijdt weinig twijfel dat vertrouwen (ook) van belang is voor zowel het ontstaan van coöperatie als voor het floreren van de coöperatieve onderneming. Door vertrouwen niet langer te beschouwen als een emotioneel begrip maar als een rationeel te duiden mechanisme, wordt een brug geslagen tussen het vasteland van de harde economische parameters waarmee te rekenen valt en het eiland waar cultuurbepalende waarden als integriteit, sympathie en trouw te vinden zijn. Als er één brug te vinden blijkt, lijkt het redelijk om te veronderstellen dat er meer zijn.

Discussie over de betekenis van de ratio van coöperatie is de voedingsbodem geweest voor deze studie. De studie zelf, in de vorm van speltheoretische analyse en toepassing van een opgesteld computersimulatiemodel, is vervolgens weer de aanleiding tot het nadenken over deze ratio. Bij coöperatie als gedragsconcept, bij coöperatie als *compliance* met regelgeving en ook bij coöperatie als ondernemingsvorm, duikt steeds het voorheen zo ongrijpbare begrip vertrouwen op. In de laatste eeuwen is de mensheid overgeschakeld van emotio op ratio om de natuur en zichzelf beter te leren kennen en om vooruitgang te boeken in technisch en sociaal opzicht. De technische resultaten van deze omschakeling zijn in de meeste opzichten fantastisch, maar over de sociale vooruitgang valt meer twijfel te beluisteren. In de Middeleeuwen baseerden grote delen van de mensheid hun gedrag op de Tien Geboden en in het begin van de eenentwintigste eeuw is dat niet anders, ondanks de invloed van de Verlichting. Deze consistentie is opvallend voor wie naar veranderingen speurt. Het vaste geloof dat voor de Middelen-

eeuwers de bron van hun overtuigingen was, wordt weinig meer genoemd in deze tijd – en toch is de uitwerking van de meeste van de Tien Geboden nog even sterk als vroeger. Het is interessant om te lezen hoe in de zeventiende eeuw de staf werd gebroken over de strekking van het werk van Spinoza (1632-1677). Zijn in 1670 uitgegeven *Tractatus logico-politicus* werd enerzijds opgevat als een uiterst ver doorgevoerde uiting van het rationalisme (met zelfs wiskundig geformuleerde ethiek) en anderzijds als een exercitie die ten dienste stond van een mystische visie (Delfgaauw, 1951). Ruim vier eeuwen later is dit pleit nog steeds niet beslecht, maar groeit het vermoeden dat veel wat onder de noemer van irrationaliteit wordt geschaard uiteindelijk tot het rationele domein zal blijken te horen.

Coöperatie – een boeiend fenomeen.

10. Samenvatting

Hoe kan coöperatie, samenwerking tussen mensen, ontstaan in een wereld zonder centraal gezag? Dat is de centrale vraag van deze studie. Sinds het beschikbaar komen van steeds snellere computers is het antwoord op deze vraag gezocht door speltheoretische benaderingen. Waar voorheen het antwoord gezocht werd door de complexe werkelijkheid te ontrafelen, wordt in de speltheoretische benadering met behulp van computersimulatiemodellen een evolutionaire ontwikkeling nagebootst door simpele virtuele individuen volgens eenvoudige voorschriften te laten interageren. Coöperatie en het tegenovergestelde gedrag (hier defectie genoemd) worden speltheoretisch beschouwd door gebruik te maken van het Prisoner's Dilemma (PD).

In het begin van de tachtiger jaren van de twintigste eeuw werd zo voor het eerst aangetoond dat coöperatie kan ontstaan zonder centraal gezag. Hierbij bleek dat de zgn. TIT FOR TAT-strategie (TFT, oog-om-oog) de winnende strategie was in computertoernooien waarbij het erom ging welke dosis coöperatie de juiste is om stabiele ontwikkeling te doen ontstaan. De wezenskenmerken van de TFT-strategie zijn: begin altijd coöperatief, sla onmiddellijk terug als de tegenstander defectie toepast en wees vergevingsgezind. Deze ontdekking is voor veel onderzoekers de inspiratie geweest om deze strategie verder te analyseren en om toepassing ervan in sociobiologische zin na te gaan. De geschiedenis van de ontdekking van de TFT-strategie, het Prisoner's Dilemma en de speltheoretische gevolgtrekkingen zijn in deze studie beschreven.

Voorwaarde voor het ontstaan van coöperatie bleek steeds directe reciprociteit, oftewel het steeds weer in contact komen met dezelfde tegen-/medestanders. In 1998 werd voor het eerst een experiment beschreven waaruit bleek dat indirecte reciprociteit ook voldoende zou zijn om coöperatie te laten ontstaan. Het experiment werd uitgevoerd met behulp van een complex computersimulatiemodel. Door ons is dit model nagebouwd, maar het experiment bleek verrassend genoeg een andere uitkomst te geven, waardoor de conclusies op losse schroeven kwamen te staan. Na het honderdvoudig herhalen van het bewuste experiment bleek de uitkomst steeds te verschillen en kwam vast te staan dat de gepubliceerde uitkomst in feite een toevalsbevinding was geweest. Daarop is een modificatie in het model aangebracht in die zin dat het begrip vertrouwen is ingevoerd. De resultaten van opnieuw honderd experimenten met dit gemodificeerde model waren zodanig dat de oorspronkelijke conclusie, namelijk dat indirecte reciprociteit ook al

genoeg is voor het ontstaan van coöperatie, wèl gerechtvaardigd werd.

Het begrip vertrouwen is hiermee voor de eerste maal uit het domein van geloof, hoop en liefde gehaald en onderdeel geworden van het rationele antwoord op de centrale vraag. Het grote belang van vertrouwen in het (economische) leven is vooral door Fukuyama vastgesteld, maar hij rekende vertrouwen tot het deel van (economisch) belangrijke fenomenen dat niet goed rationeel verklaard kan worden.

Het gemodificeerde computersimulatiemodel is vervolgens toegepast in een alledaagse praktische situatie, namelijk die van een dierenarts en een veehouder die beslissen moeten over de medicatie van een groep voedselproducerende dieren. Eerst is beschreven hoe diergeneesmiddelen en meer speciaal de antimicrobiële middelen niet alleen van groot belang zijn voor de diergezondheid en het dierenwelzijn, maar ook potentiële bronnen zijn van residuen in voedingsmiddelen van dierlijke oorsprong. Oorspronkelijk werk betreffende residuvorming door een in Nederland door dierenartsen zeer veel gebruikt diergeneesmiddel is hier opgenomen als bewijs dat de genoemde zorg om voedselveiligheid wel degelijk terecht is. Daarna is een overzicht opgesteld van een zelf gehouden enquête onder 30 dierenartsen uit allerlei Europese landen, waaruit blijkt dat het onderwerp "leeft".

De vraag bij de toepassing van het gemodificeerde model was op welke manier de garantie ontstaat dat een veehouder de juiste beslissingen neemt ten aanzien van de voedselveiligheid. Het in acht nemen van de juiste wachttermijn is daarbij als coöperatie aangemerkt en het niet respecteren van deze wachttijd als defectie. De resultaten van deze toepassing geven aan dat het verschil in beloning tussen coöperatie en defectie de meest invloedrijke factor is. Het verschil in educatieve vaardigheden bij de dierenarts speelt eveneens een rol, maar een ondergeschikte.

Zo is enerzijds een bijdrage geleverd aan de vergroting van de kennis van de coöperatieleer en anderzijds een nieuwe benadering toegepast van een actueel vraagstuk in de diergeneeskunde.

Summary

The central question in this study is: how can cooperation emerge in a non policed society? Due to the increasing availability of computers the answer has been sought by game theorists, too. In earlier times the search for the answer was characterised by trying to find simple patterns in a complex reality, but game theorists try to compose complex reality by evolutionary development starting with simple virtual individuals interacting according simple rules.

Cooperation and its counterpart defection are studied by using the Prisoner's Dilemma (PD). In the 1980s the strategy TIT FOR TAT (TFT) has been discovered to use the right amount of cooperation to generate stable development. The essential elements of TFT are: always a cooperative start, immediate retaliation when confronted with defection and immediate reconciliation. The discovery of TFT has been inspirational to many scientists; the strategy has been analysed thoroughly and improvements have been proposed. Sociobiologists have found examples of the application of TFT in real life many times.

In this study we pay attention to the history of TFT, the Prisoner's Dilemma and the game theoretical analysis.

For cooperation to emerge direct reciprocity has been a *conditio sine qua non*, so counterparts had to meet over and over again. In 1998 the results of an experiment showed that indirect reciprocity could do the job as well. The experiment used a complex computer simulation model which was rebuilt by us. Surprisingly enough, the repetition of the experiment gave different results all the time, which questioned the conclusion. A hundredfold repetition showed the published result to be just one of many potential outcomes.

We then have modified the model by introducing trust. A new series of one hundred experiments showed the original conclusion now to be right: indirect reciprocity is sufficient to make cooperation emerge, but trust is needed. This might be the first time that trust is no longer restricted to the field of belief, hope and love, and has become part of the rational answer to the central question.

Fukuyama already established the importance of trust in (economical) life, but he considered trust to be part of the economically important phenomena which cannot be explained rationally.

Next, the modified computer simulation model has been applied to an every day practical situation where a veterinary surgeon and a farmer must decide about medication of food producing animals. First the importance of veterinary medicinal products (VMPs) and

especially antimicrobial agents is shown, not only as beneficial compounds for animal health and animal welfare but as risks as well, being potential sources of residues in food originating from animals. Part of the study is some work about residues caused by a widely used VMP for piglets containing penicillin. The aim of this work is to prove the correctness of legislation concerning residues. Farmers and veterinarians are prone to doubt this correctness, but MRLs do really matter. A survey of the results of an enquiry among 30 European veterinary surgeons regarding this subject is given; this survey shows the issue to exist among veterinarians.

Using the modified model the problem to study was to find out how to guarantee that both farmer and veterinarian take the right decisions concerning food safety. Cooperation is respecting the waiting time and defection is not respecting it. The results of the application of the modified model are proof that payoff for the farmer is the most important factor. Educational ability of the veterinary surgeon does have some influence, too, but this influence is only moderate.

Whereas the first part of the study increases our knowledge about cooperative science the second part illustrates a rather new approach to veterinary questions.

11. Literatuur

1. Alexander, R.D. (1974), *The evolution of social behaviour*. Annual Review of Ecology and Systemics **5**, 325-83
2. Amato, J.A. (1993), *The great Jerusalem artichoke circus: the buying and selling of the rural American dream*. Minnesota: University of Minnesota Press
3. Axelrod, R. & Hamilton, W.D. (1981), *The Evolution of Cooperation*. Science **211**, 1390-1396
4. Axelrod, R. (1984), *The Evolution of Cooperation*. New York: Basic Books
5. Axelrod, R. & Dion, D. (1988), *The further evolution of cooperation*. Science **242**, 1385-1390
6. Bendor, J. & Swistak, P. (1995), *Types of evolutionary stability and the problem of cooperation*. Proc. Nat. Academy of Sciences of the USA **92**, 3596-3600
7. Bethlehem, D.W. (1975), *The Effect of Westernization on Cooperative Behaviour in Central Africa*. Internal Journal of Psychology **10**, 219-224
8. Billard, E.A. (1996), *Evolutionary strategies of stochastic learning automata in the Prisoner's Dilemma*. Biosystems **39**, 93-107
9. Boerlijst M.C., Nowak, M.A. & Sigmund, K. (1997), *The logic of contrition*. J. theor. Biol. **185**, 281-293.
10. Bogaard, A.E.J.M. van den, Breeuwsma, A.J., Julicher, C.H.M., Mostert, A., Nieuwenhuijs, J.H.M., Vaarkamp, H., Verhoeff, J., Vulto, A. (1994), *Veterinair Antibioticumbeleid: aanbevelingen van een werkgroep*. Tijdschrift voor Diergeneeskunde **119**, 9.
11. Brems, B. (1996), *Chaos, cheating and cooperation*. Oikos **76**, 14-24
12. Castro, L., Serrano, J.M. & Toro, M.A. (1998), *Conceptual capacity to categorize and the evolution of altruism*. J. theor. Biol. **192**, 561-565
13. Coase, R.H. (1937), *The nature of the firm*. Economica **6**, 386-405
14. Crowley, P.H. (1996a), *The role of individual recognition*. Biosystems **37**, 49-66
15. Crowley, P.H. (1996b), *Evolving cooperation: Strategies as hierarchies of rules*. Biosystems, **37**, 67-80
16. Cyert, R.M. & March, G.M. (1963), *A Behavioral theory of the firm*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall
17. Davis, L. (1991), *Handbook of Genetic Algorithms*. New York: Van Nostrand Reinhold
18. Dawkins, R. (1986), *The Blind Watchmaker*. Londen/New York: Norton
19. Delfgaauw, B. (1951), *Beknopte geschiedenis der Wijsbegeerte*. Amsterdam: het Wereldvenster
20. Dugatkin, L.A. (1997), *Can kinship ever inhibit the evolution of cooperation?* Ecoscience, **4**, 460-464

21. Dijk, G. van, (1997), *Implementing the Sixth Reason for Co-operation: New Generation Co-operatives in Agribusiness*. In: J. Nilsson and G. van Dijk (eds.), *Strategies and structures in the agro-food industries* 94-110. Assen: Uitgeverij Van Gorcum
22. Dijk, G. van, Klep, L.F.M. & Merckx, A.J. (1999), *De corrosie van de ijzeren drieboek: over de omslag van de landbouw*. Assen: Uitgeverij van Gorcum
23. Emlen, S.T. (1978), *The evolution of cooperative breeding in birds*. *Behavioral Ecology*, 245-81, Oxford: Blackwell
24. Enquist, M. & Leimar, O. (1990), *The evolution of fatal fighting*. *Animal Behaviour* **39** (1), 1-9
25. Enquist, M. & Leimar, O. (1993), *The evolution of cooperation in mobile organisms*. *Animal Behaviour* **45** (4), 747-757
26. Fagen, R.M. (1980), *When doves conspire*. *Am. Naturalist* **115**, 858-69
27. Fischer, E.A. (1980), *The Relationship between Mating System and Simultaneous Hermaphroditism in the Coral Reel Fish, Hypoplectrum Nigricans*, *Animal Behaviour* **20**, 620-633
28. Ferrière, R. & Michod, R.E. (1995), *Invading wave of cooperation in a spatial iterated Prisoner's Dilemma*. *Proc. Royal Society of London Series B Biological Sciences* **259**, 77-83
29. Ferrière, R. & Michod, R.E. (1996), *The evolution of cooperation in spatially heterogeneous populations*. *Am. Naturalist* **147**, 692-717
30. Frean, M. (1996), *The evolution of degrees of cooperation*. *J. theor. Biol.* **182**, 549-559
31. Fukuyama, F. (1995), *Trust: The social virtues and the creation of prosperity*. New York: The Free Press.
32. Grim, P. (1996), *Spatialization and greater generosity in the stochastic Prisoner's Dilemma*. *Biosystems* **37**, 3-17
33. Hansmann, H. (1996), *The ownership of Enterprise*. Massachusetts: Harvard University Press.
34. Jervis, (1976), *Cooperation Under the Security Dilemma* *World Politics* **30**, 167-214
35. Johnson, P.E. (1999), *Simulation modeling in political science*. *Am. Behavioral Scientist* **42**, 1509-1530
36. Kay, N.M. (1982), *The evolving firm*. Londen: the Macmillan Company
37. Koeslag, J.H. (1997), *Sex, the Prisoner's Dilemma game, and the evolutionary inevitability of cooperation*. *J. theor. Biol.* **189**, 53-61
38. Milinski, M. & Wedekind, C. (1998), *Working memory constrains human cooperation in the Prisoner's Dilemma*. *Proc. Nat. Academy of Sciences of the USA*, **95**, 13755-13758
39. Ministerie van LNV (2000), *Voedsel en Groen*. Beleidsnota LNV juli 2000
40. Lorberbaum, J. (1994), *No strategy is evolutionary stable in the repeated Prisoner's Dilemma*, *J. theor. Biol.* **168**, 117-130

41. Lumsden, M. (1973) *The Cyprus Conflict as a Prisoner's Dilemma* Journal of Conflict Resolution 17, 7-32
42. Marshall, A. (1922), *Principles of Economics*. Londen: The Macmillan Company
43. Meulenbergh, M.T.G., de Boon, H., van Dijk, G. et al. (1993), *Marketing en coöperatie*. Nat. Coöperatieve Raad Land- en Tuinbouw, Eburon, Delft
44. Nilsson, J. & van Dijk, G. (1997), *Strategies and structures in the agro-food industries*. Assen: Uitgeverij Van Gorcum
45. Nishimura, K. & Stephens, D.W. (1997), *Iterated Prisoner's Dilemma: pay-off variance*. J. theor. Biol. 188, 1-10
46. Nowak, M.A. & May, R.M. (1992), *Evolutionary games and spatial chaos*. Nature 359, 826-829
47. Nowak, M.A. & Sigmund, K. (1993a), *Chaos and the evolution of cooperation*. Proc. Nat. Academy of Sciences of the USA 90, 5091-5094.
48. Nowak, M.A. & Sigmund, K. (1993b), *A strategy of win-stay, lose-shift that outperforms tit-for-tat in the Prisoner's Dilemma game*. Nature 364, 56-58
49. Nowak, M.A. & Sigmund, K. (1994), *The alternating Prisoner's Dilemma*. J. theor. Biol. 168, 219-226
50. Nowak, M.A. & Sigmund, K. (1998a), *Evolution of indirect reciprocity by image scoring*. Nature 393, 573-577
51. Nowak, M.A. & Sigmund, K. (1998b), *The dynamics of indirect reciprocity*. J. theor. Biol. 194, 561-574
52. Nowak, M.A., Page, K.M. & Sigmund, K. (2000), *Fairness versus reason in the Ultimate Game*. Science 289, 1773-1775.
53. Pimental, D. et al. (1986), *Perennial grains: an ecology of new crops*. Interdisciplinary Science Review 11, 42-49
54. Pollock, G. & Dugatkin, L.A. (1992), *Reciprocity and the emergence of reputation*. J. theor. Biol. 159, 25-37
55. Popper, K. (1934), *Logik der Forschung*
56. Posch, M., Pichler, A. & Sigmund, K. (1999), *The efficiency of adapting aspiration levels*. Proc. Royal Society of London Series B Biological Sciences 266, 1427-1435
57. Ritchie, G. (1979), *New agricultural crops*. Economic Botany 39, 436-453
58. Roberts, G. & Sherratt, T.N. (1998), *Development of cooperative relationships through increasing investment*. Nature, 394, 175-179
59. Sandholm, T.W. & Crites, R.H. (1996), *Multiagent reinforcement learning in the Iterated Prisoner's Dilemma*. Biosystems 37, 147-166
60. Schelling, T. (1960), *The strategy of conflict*. Cambridge, Mass., Harvard University Press
61. Sen, A. (1982), *Choice, Welfare and Measurement*. Oxford: Blackwell
62. Sherratt, T.N. & Roberts, G. (1998) *The evolution of generosity and choosiness in cooperative exchanges*. J. theor. Biol. 193, 167-177

63. Sherratt, T.N. & Roberts, G. (1999), *The evolution of quantitatively responsive cooperative trade*. J. theor. Biol. **200**, 419-426
64. Shubik, M. (1971), *Games of Status*, Behavioral Sciences, **16**(2), 117-129
65. Simon, H.A. (1961), *Administrative Behavior*. New York: The Macmillan Company
66. Smith, J. Maynard (1976), *Evolution and the theory of games*. Am. Scientist, **64**, 41-45
67. Stephens, C. (1996), *Modelling reciprocal altruism*. British J. for the philosophy of science **47**, 533-551.
68. Stephens, D.W. (2000), *Cumulative benefit games: Achieving Cooperation when players discount the future*. J. theor. Biol. **205**, 1-16
69. Trivers, R.L. (1971), *The evolution of reciprocal altruism*. Quarterly Review of Biology **46**, 35-57
70. Vos, H. (1995), *Filosofie van de moraal*. Utrecht: Het Spectrum
71. Wahl, L.M. & Nowak, M.A. (1999), *The continuous Prisoner's Dilemma: I. Linear reactive strategies*. J. theor. Biol. **200**, 307-321
72. Wedekind, C. & Milinski, M. (1996), *Human cooperation in the simultaneous and the alternating Prisoner's Dilemma: Pavlov versus Generous Tit for Tat*. Proc. Nat. Academy of Sciences of the USA, **93**, 2686-2689
73. Wedekind, C. & Milinski, M. (2000), *Cooperation through image scoring in humans*. Science **288**, 850-852.
74. Williamson, O.E. (1975), *Markets and Hierarchies*. New York: The Free Press

APPENDICES

Appendix 1

Image *and* trust make cooperation win in a computer simulation of indirect reciprocity*

Henk Vaarkamp

AUV Veterinary Surgeons' Cooperative, Postbox 94, 5430 AB Cuijk, The Netherlands

In July 1998 the emergence of indirect reciprocity was shown to be a decisive step in Darwinian evolution by the result of an experiment of Nowak & Sigmund. With an evolutionary computer simulation model they showed the most discriminating cooperative strategy to be the sole survivor. Here we present the results of repeating the experiment 100 times. The result of Nowak & Sigmund turns out to be a random one, which questions their conclusion. However, cooperation really wins when trust is introduced. Trust is the belief in someone's reliability, that is the expectation that someone acts along the same line and not randomly.

In 1998 Régis Ferrière¹ wrote:

How do moral systems evolve? The common view, rooted in game theory, is that cooperation and mutual aid require tight partnerships among individuals, or close kinship. But this dogma is now being shaken and, (...), Nowak and Sigmund report a new mathematical model to show that cooperation can become established even if recipients have no chance to return the help to their helper. This is because helping improves reputation, which in turn makes one more likely to be helped.

Nowak and Sigmund's stance differs radically from classical approaches, because they assume that any two organisms are unlikely to interact twice. This excludes any direct reciprocity, meaning that you should not expect your assistance to be returned by somebody you helped on a previous encounter, but by somebody else.

Nowak & Sigmund describe² how cooperation wins in a computer simulation using this new approach. Their conclusion was drawn after this experiment (description: Nowak & Sigmund²):

* Submitted to *Nature*

Cooperation wins in a computer simulation of indirect reciprocity. The population consists of $n = 100$ individuals. The image scores range from -5 to +5, the strategy (k) values from -5 to +6. The strategy $k = -5$ represents unconditional cooperators, whereas the strategy $k = +6$ represents defectors. In each round of the game, two individuals are chosen at random, one as donor, the other as recipient. The donor cooperates if the image score of the recipient is greater than or equal to the donor's k -value. Cooperation means the donor pays a cost, c , and the recipient obtains a benefit, b . There is no payoff in the absence of cooperation. At the beginning of each generation, all players have image score 0. Hence, strategies with $k > 0$ are termed 'cooperative', because individuals with these strategies cooperate with individuals that have not had an interaction. In each generation 125 donor-recipient pairs (n) are chosen; each player has, on average, 2.5 interactions. The chance that a given player meets the same player again, or that a chain of possible altruistic acts ever leads back to the original donor, is negligibly small. Therefore, direct reciprocity cannot work here. At the end of each generation, players produce offspring proportional to their payoff. At generation $t = 0$ we start with a random distribution of strategies. After $t = 10$ generations, the strategies $k = -1, 0, +2$ and $+5$ have increased in abundance. After $t = 20$ generations, the strategies $k = -4, -1$ and 0 dominate the population. After $t = 150$ generations, the population consists almost entirely of the strategy $k = 0$, which is the most discriminating among all cooperative strategies. Players with this strategy cooperate with everyone who has image score 0 or greater. After $t = 166$ generations all other strategies have become extinct and $k = 0$ is fixed in the population. Parameter values: $b = 1, c = 0.1$ (to avoid negative payoffs we add 0.1 in each interaction).

We have repeated this experiment 100 times and found different results. As in the Nowak-Sigmund experiment all but one strategies became extinct, but the surviving strategy turned out to be changing all the time (table 1).

k-value	n	av.	±
-5	8	96	38
-4	2	84	18
-3	8	86	38
-2	5	130	71
-1	12	113	75
0	10	61	41
1	2	128	38
2	9	89	28
3	11	120	90
4	9	134	96
5	11	92	70
6	13	88	67
	100	102	56

table 1: *Surviving strategies in 100 repetitions of the Nowak-Sigmund experiment*

n = frequency
 av. = average number of generations needed to reach homogeneity
 ± = standard deviation

The cooperative strategies (k<1) survive less frequently (45%) than the non-cooperative strategies (k>0).

After exchanging the program codes with the authors it became clear that the Nowak-Sigmund experiment had been executed in a slightly different way. If cooperation occurred there was a benefit for the recipient of 1.1, but *no cost* for the donor. On the other hand defection brought *both* interactors 0.1 point payoff.

Cost was introduced by changing the rules for cooperation. If cooperation occurred the recipient received 1 point at a cost of 0,5 point for the donor. All individuals were supplied with a payoff of 3 points at the start of every generation to make donorship possible. A new series of experiments showed that now cooperation did not emerge at all (table 2).

k-value	n	av.	±
-5	0	-	-
-4	0	-	-
-3	0	-	-
-2	0	-	-
-1	0	-	-
0	0	-	-
1	11	128	55
2	22	102	73
3	15	74	47
4	18	138	110
5	20	126	89
6	14	98	75
	100	111	64

table 2: *Surviving strategies in 100 repetitions of the Nowak-Sigmund experiment when cost is introduced*

n = frequency
 av. = average number of generations needed for homogeneity
 ± = standard deviation

Trust

Interacting actors in the Nowak-Sigmund-model most probably never meet again in their experiment, because out of a population of 100 individuals 125 times a random couple is chosen, one as donor and the other as recipient. Therefore indirect reciprocity is the new approach. Because direct reciprocity is most unlikely it is interesting to check what happens when trust is introduced in the experiment. According to dictionaries trust is the belief in someone's reliability. This belief is the result of experience, here. To introduce trust in the experiment the k -value of an individual changes by experience. If an individual has been chosen as recipient in the Nowak-Sigmund experiment it has two possible experiences: the donor decides to cooperate or the donor decides to defect. If cooperation is the decision the recipient's k -value changes in a positive way. After defection the k -value of the recipient changes negatively. Since $k = -5$ is unconditionally cooperative and $k = +6$ is absolutely defective a positive change in k -value is a numerical decrease of the k -value with 1 point. For the same reason the k -value of the recipient is increased with 1 point after defection. Due to "personal" experience the k -values of recipients change. However, every interaction which does not involve an individual personally does influence its trust as well, be it far less than by own experience. Every decision to defect or to cooperate causes a slight 0.1 point change in the k -values of the 98 individuals who are not involved in that specific interaction. Again, a decision to cooperate decreases all k -values of the 98 non involved individuals with 0.1 point. A decision to defect increases these k -values with 0.1 point. At the end of each generation, however, the original k -value is generation shows a random distribution of k -values, but during the 125 interactions trust as a result of actual experience and observations plays its part. After 125 interactions the population is replaced by a new one and again as in the first Nowak-Sigmund experiment, offspring is proportional to payoff. The inherited k -values are the ones the parents had.

Table 3 shows the results of 100 runs of the modified Nowak-Sigmund experiment.

When trust is introduced in the original Nowak-Sigmund-experiment

k-value	n	av.	±
-5	20	79	55
-4	20	84	87
-3	18	71	75
-2	11	66	56
-1	5	60	30
0	7	70	21
1	3	86	60
2	3	56	11
3	3	91	29
4	2	121	104
5	1	163	-
6	7	194	124
	100	85	75

table 3: *Surviving strategies in 100 repetitions of the Nowak-Sigmund experiment when trust is introduced*
n = frequency
av. = average number of generations needed to reach homogeneity
± = standard deviation

it is obvious that the surviving strategy is far more likely to be a cooperative one. Four out of five times the k-value of the sole survivor is cooperative. Within the cooperative survivors the more unconditionally cooperative strategies ($k < -2$) are abundant (58 vs. 23). Repeating the experiments while changing the parameters for the impact of experience showed these results to be robust.

Conclusion

The original Nowak-Sigmund computer simulation model has shown that all but one strategies become extinct after many generations. However, the value of this surviving strategy turns out to be a rather random one. If trust is introduced by changes of the k-value during life due to experiences and observations, the surviving strategies in the modified Nowak-Sigmund computer simulation model are abundantly cooperative. Trust has been described by Fukuyama³ as important in every society although it does not (yet) belong to the realm of rational parameters. It seems safe to conclude that in a non-policed society without direct reciprocity image and trust are vital for the development of cooperation, so trust is a rational parameter.

References:

1. Ferrière, R.(1998), *Editorial*, Nature 393, 517
2. Nowak, M.A. & Sigmund, K.(1998), *Evolution of indirect reciprocity by image scoring*. Nature 393, 573-577
3. Fukuyama, F (1995), *Trust: The Social Virtues and the Creation of Prosperity*. New York: The Free Press.

4. In this question, you may indicate which of the following professions are allowed to dispense to farmers or companion animal owners and how much of the total VMP-supply comes through this profession? Please, put a tick in the appropriate box.

Profession	Right to dispense	Supply of VMP			
		None	very few	quite a lot	most of it all
<i>veterinarians</i>					
<i>pharmacists</i>					
<i>wholesalers</i>					
<i>pet shops</i>					
<i>co-operative stores</i>					
<i>manufacturer</i>					
other: _____ _____					

5. Please, indicate the parties that should keep records of sales of veterinary medicines and for which categories of veterinary medicines.

Medicine's category

- a. *veterinarians* 3 _____
- b. *pharmacists* 3 _____
- c. *wholesalers* 3 _____
- d. *retailers* 3 _____
- e. *co-operative stores* 3 _____
- f. *manufacturer* 3 _____
- g. *other, please specify* 3 _____

6. Please, indicate the conditions that should be fulfilled in order a licence for delivering, preparing, and dispensing veterinary medicines to be granted.

Comments

- a) *Technical equipment* 3 _____
- b) *Interior layout* 3 _____
- c) *Personnel education and expertise* 3 _____
- d) *Storage facilities (not technical)* 3 _____
- e) *other:* 3 _____
- f) *other:* 3 _____

7. Could you please indicate which is main distribution route for veterinary medicines in your country?

Main Secondary

1. medicines requiring prescription (POM)

- a. *veterinarian* _____

- b. pharmacist _____
- c. agricultural co-operatives _____
- d. wholesaler _____
- e. other, please specify _____

2. medicines not on prescription (OTC)

- a. veterinarian _____
- b. pharmacist _____
- c. agricultural co-operatives _____
- d. wholesaler _____
- e. other, please specify _____

8. Please, indicate in which of the previously mentioned veterinary medicines categories the following substances belong:

Therapeutic Substance	Category i.e. POM or non-POM	Comments
<i>Anthelmittics</i>		
<i>Hormones</i>		
<i>Narcotic substances</i>		
<i>Antimicrobials</i>		
<i>Vaccines, Antisera</i>		
<i>Vitamins/Minerals</i>		

9. Please, evaluate the distribution system of your country with respect to the black market, delivery efficiency, competitiveness, and safety.

Could you please indicate to what extent you agree with the following?	strongly agree	agree	not agree/ disagree	disagree	strongly disagree
1. <i>The distribution system of veterinary medicinal products in my country actually takes place according to the rule of law.</i>					
2. <i>The size of cross border trade of medicines which are on prescription in my country but not on prescription in other neighbouring country is significant.</i>					
3. <i>Use of bulk chemicals instead of registered products in my country is limited.</i>					
4. <i>The prescription system in my country is so strict that it pushes farmers to resort to illegal outlets.</i>					
5. <i>The distribution system is very monopolistic, making veterinary drugs very expensive, and as a result farmers resort to illegal outlets or illegal drugs.</i>					

	strongly agree	agree	not agree/ disagree	disagree	strongly disagree
6. <i>It is very usual that veterinary medicines are prescribed by veterinarians without having previously inspecting the animal herd.</i>					
7. <i>The control provisions of veterinary legislation in my country are sufficient to prevent illegal and improper use of veterinary medicines.</i>					
8. <i>The control capacity of state authorities is not effective enough to prevent illegal and improper use of veterinary medicines.</i>					
9. <i>The distribution system in my country does promote fast delivery of the necessary medicines to livestock farmers and companion animal owners.</i>					
11. <i>The distribution system in my country does not allow for offering a complete range of veterinary medicines against every disease and for every target species.</i>					
12. <i>The distribution system in my country promotes competition by allowing more than one profession dispensing veterinary medicines and so prices are relatively low.</i>					
13. <i>The use of magistral formulae medicines in my country is not extensive.</i>					
14. <i>The current law provisions and the practice of distribution of veterinary medicines in my country guarantee the safety for target species.</i>					
15. <i>The current law provisions and the practice of distribution of veterinary medicines guarantee the safety for the environment.</i>					
16. <i>The current law provisions and the practice of distribution of veterinary medicines guarantee the safety for the consumer of food of animal origin.</i>					
17. <i>The current law provisions and the practice of distribution of veterinary medicines guarantee the safety for the handler of veterinary medicines.</i>					

10. Please, indicate to what extent you agree with the following sentences:

Could you please indicate to what extent you agree with the following?	strongly agree	agree	not agree/ disagree	disagree	strongly disagree
1. <i>Different distribution systems within the EU lead to different cost structures for veterinary medicines and as result black and grey market emerge.</i>					
2. <i>Harmonisation of the national distribution systems will lead to more competition and lower prices for farmers.</i>					
4. <i>Harmonisation of the national distribution systems will lead to more competition and lower prices for companion animal owners.</i>					
5. <i>More medicines on prescription lead to more safeguarding of consumer safety.</i>					

	strongly agree	agree	not agree/ disagree	disagree	strongly disagree
6. <i>The greater the inspection on all parties throughout the distribution chain (manufacturer, wholesaler, pharmacist, veterinarian, farmer), the smaller the size of black and grey market.</i>					
7. <i>All professions involved with distribution of veterinary medicinal products should be subject to professional codes of conduct.</i>					
8. <i>Residue surveillance schemes and pharmacovigilance are necessary and should be applied in order to monitor illegal activities.</i>					
9. <i>The right to sell medicines on prescription should not be restricted only to one profession, pharmacist or veterinarian, but both because it allows for more competition.</i>					
10. <i>The right to sell medicines on prescription should be restricted only to veterinarians, because it guarantees proper use of medicines.</i>					
11. <i>The more medicines administered by a vet, the more the consumer safety is guaranteed.</i>					
12. <i>Over the counter (OTC) medicines should be supplied by all professions (pharmacists, vets, wholesalers, merchants, co-operatives, manufacturers) to allow for competition and low cost for farmers.</i>					
13. <i>Parties, who deal with OTC medicines, should have taken veterinary pharmacy courses before they are qualified to do so.</i>					
14. <i>The advertising of POM medicines should be restricted to veterinary and pharmacist journals.</i>					

If you have any other remark, comment, or information you may add it below:

We would appreciate if you could send us any brochure with information on the distribution of veterinary medicines in your country (preferably in English, German, French).

Appendix 3: de originele Fortrancode van Nowak & Sigmund

```

* integer valued image levels
program cobenzl
implicit real*8 (a-h,o-z)
parameter (nn=100)
parameter (rr=1.1d+00,dd=0.1d+00)
parameter (min=-5,max=5,max1=6)
parameter (rmut=0.00d+00,rh=0.5d+00)
dimension is(nn),ip(nn),f(nn),ipnew(nn)
dimension fdis(min:max1),pdis(min:max1),sdis(min:max1)
open (unit=10,file='i10.out')
open (unit=12,file='i12.out')
0 timing *****
  idum=-7
  ir =125
  itend=200
  int =1
  int1 =10
  itsam=itend/5
  iz =0
  iz1 =0
  rnn=dfloat(nn)
  rmax=dfloat(max)
* average games per generation for each player *****
  ag=2.*dfloat(ir)/rnn
  irows=itend/int+1
  irows1=itend/int1+1
  write (10,'(f8,f8.2)') irows,ag
  write (10,'(2i10)') min,max1
  write (12,'(2i10)') min,max1
  write (12,'(2i8)') irows1,nn
  write (6,'(f8.2)') ag
* initial *****
* make 12 strategies: -5,-4,...,+6 *****
  do i=1,nn
  ip(i)=nint(12.d+00*ran3(idum)+rh)-6
c   ip(i) =nint(8.d+00*ran3(idum)+rh)-2
  enddo
  ic=0
  do i=min,max1
  pdis(i)=0
  sdis(i)=0
  fdis(i)=0
  enddo
* generations *****
  do it=0,itend
* initialise image and payoff *****
  do i=1,nn
  is(i)=0
  f(i)=0.
  enddo
* playing the game *****
* i1 recipient
* i2 donor
  do j=1,ir
  i1=nint(ran3(idum)*rnn+rh)
  12 continue
  i2=nint(ran3(idum)*rnn+rh)
  if (i2.eq.i1) goto 12
* estimate image of recipient *****

  if (is(i1).ge.ip(i2)) then
  f(i1)=f(i1)+rr
  is2=is(i2)+1
  else
  f(i1)=f(i1)+dd
  f(i2)=f(i2)+dd
  is2=is(i2)-1

```

```

    endif
    if (is2.gt.max) is2=max
    if (is2.lt.min) is2=min
    is(i2)=is2
    enddo
* output *****
    if (jt.ge.iz) then
    iz=iz+int
    ep=0.
    es=0.
    ef=0.
    do i=1,nn
    ep=ep+dfloat(ip(i))
    es=es+dfloat(is(i))
    ef=ef+f(i)
    enddo
    ep=ep/rnn
    es=es/rnn
    ef=ef/rnn
    write (10,'(i10,3f10.4)') it,ep,es,ef
    write (6,'(i10,3f10.4)') it,ep,es,ef
    endif
    if (jt.ge.iz1) then
    iz1=iz1+int1
    write (12,'(i10,3f10.4)') it,ep,es,ef
    do i=1,nn
    write (12,'(3i10,f10.4)') i,ip(i),is(i),f(i)
    enddo
    endif
* sample distribution *****
    if (it.ge.itsam) then
    do i=1,nn
    pdis(ip(i))=pdis(ip(i))+1.
    sdis(ip(i))=sdis(ip(i))+dfloat(is(i))
    fdis(ip(i))=fdis(ip(i))+f(i)
    ic=ic+1
    enddo
    endif
* selection *****
    fsum=0.
    do i=1,nn
    fsum=fsum+f(i)
    enddo
    do j=1,nn
    fsu=fsum*ran3(idum)
    sum=0.
    do i=1,nn
    sum=sum+f(i)
    if (sum.gt.fsu) goto 10
    enddo
    i=nn
10 ipnew(j)=ip(i)
    enddo
* mutate *****

    do i=1,nn
    ran=ran3(idum)
    if (ran.gt.rmut) then
    ip(i)=ipnew(i)
    else
    ip(i)=nint(12.d+00*ran3(idum)+rh)-6
c    ip(i) =nint(8.d+00*ran3(idum)+rh)-2
    endif
    enddo
    enddo
* output distribution *****
    do i=min,max1
    if (pdis(i).gt.0.) then
    sdis(i)=sdis(i)/pdis(i)
    fdis(i)=fdis(i)/pdis(i)/ag
    endif

```

```

pdis(i)=pdis(i)/dfloat(ic)
write (10,'(f5,3f10.4)') i,pdis(i),sdis(i),fdis(i)
enddo
* output final pop *****
do i=1,nn
write (10,'(3i10,f10.4)') i,ip(i),is(i),f(i)
enddo
stop
end

```

C

ran3

```

FUNCTION ran3(idum)
implicit real*8(a-h,o-z)
INTEGER idum
INTEGER MBIG,MSEED,MZ
PARAMETER (MBIG=1000000000,MSEED=161803398,MZ=0,FAC=1.d0/MBIG)
INTEGER i,iff,ii,inext,inextp,k
INTEGER mj,mk,ma(55)
SAVE iff,inext,inextp,ma
DATA iff /0/
if(idum.lt.0.or.iff.eq.0)then
  iff=1
  mj=MSEED-iabs(idum)
  mj=mod(mj,MBIG)
  ma(55)=mj
  mk=1
  do 11 i=1,54
    ii=mod(21*i,55)
    ma(ii)=mk
    mk=mj-mk
    if(mk.lt.MZ)mk=mk+MBIG
    mj=ma(ii)
11  continue
  do 13 k=1,4
    do 12 i=1,55
      ma(i)=ma(i)-ma(1+mod(i+30,55))
      if(ma(i).lt.MZ)ma(i)=ma(i)+MBIG
12  continue
13  continue
  inext=0
  inextp=31
  idum=1
endif
inext=inext+1
if(inext.eq.56)inext=1
inextp=inextp+1
if(inextp.eq.56)inextp=1
mj=ma(inext)-ma(inextp)
if(mj.lt.MZ)mj=mj+MBIG
ma(inext)=mj
ran3=mj*FAC
return
END
FUNCTION gasdev(idum)
INTEGER idum
REAL*8 gasdev
CU  USES ran3
INTEGER iset
REAL*8 fac,gset,rsq,v1,v2,ran3
SAVE iset,gset
DATA iset/0/
if (iset.eq.0) then
1  v1=2.*ran3(idum)-1.
  v2=2.*ran3(idum)-1.
  rsq=v1**2+v2**2
  if(rsq.ge.1..or.rsq.eq.0.)goto 1
  fac=sqrt(-2.*log(rsq)/rsq)
  gset=v1*fac
  gasdev=v2*fac
  iset=1

```

```
else
  gasdev=gset
  iset=0
endif
return
END
```

Dankwoord

Een mens alleen kan niet zo veel. Vanaf de dag dat ik afstudeerde als dierenarts (en zelfs al daarvoor) heb ik het geluk gehad om te kunnen functioneren in een team van collega's, waardoor ik veel mogelijkheden kreeg om van alles te ontwikkelen, van vaardigheden tot kennis. Inspiratie was daarbij het centrale begrip. Het is ook wel eens irritatie geweest, over mezelf, over onszelf, over ons beroep. We weten vaak wel erg weinig. Onderzoek en onderwijs hebben mij altijd getrokken en iets wat je interesseert levert eerder energie op dan dat het dat kost. Zo ben ik aan deze studie begonnen uit nieuwsgierigheid, als kind van mijn tijd dat niet graag iets zomaar aanneemt, maar iets liever uitrekent of strak bewijst vanuit zo min mogelijk axioma's. Door toeval ben ik als jonge dierenarts terechtgekomen in de Groepspraktijk Dierenartsen in Diessen, door toeval raakte ik betrokken bij het PAO-D, door toeval werd ik voorzitter van de Groep Practici Grote Huisdieren van de KNMvD, door toeval was er een directiestoel voor mij bij de dierenartsencoöperatie AUV en door toeval ontmoette ik Gert van Dijk, de hoogleraar coöperatieleer. Met hem heb ik intussen ruim tien jaar ervaring, op vele plaatsen in Nederland, maar ook veel verder weg. Met hem heb ik talloze keren gedebatteerd over het waarom van coöperatie en van hem heb ik de inspiratie gekregen om door te gaan op ongebaande wegen. Daar ben ik hem dankbaar voor.

Anton Pijpers is de volgende man aan wie ik veel dank verschuldigd ben voor het afronden van deze studie. Hij is de veelkunner en opschietter naar mijn hart, ook in wetenschappelijk opzicht.

Vessem was en is een geweldig dorp om te wonen en te werken. Heel veel heb ik geleerd uit talloze gesprekken met "mijn" veehouders, overdag en 's nachts in de praktijk. Al deze mensen dank ik voor hun inspanningen om de veearts antwoord te geven op zijn vaak eigenaardige vragen. Eén man wil ik als boerenvoorman, vriend en inspirator noemen, Jac Roozen. Hij is feitelijk medeverantwoordelijk voor deze studie door zijn permanente neiging tot discussie en debat.

Dank ben ik verschuldigd aan de hoofdbestuursleden van de AUV, onder aanvoering van Koos Voermans en later Henk Jan Ormel. Zij hebben mij steun en ruimte geboden die onder de heersende omstandigheden absoluut niet vanzelfsprekend waren.

Zonder Bob Hoff, mijn collega en *friend for all seasons*, was het ook niet gelukt en dat weten we allebei.

Mijn secretaresse, Germien Martens, heeft extra hard gewerkt en veel geholpen en daar ben ik haar erkentelijk voor.

Mijn dochter Annemarie, zelf bijna afgestudeerd Wagenings econoom, heeft me echt vooruit geholpen met haar vaardigheid in literatuurzoektochten en haar nauwkeurige controle van dit werk. Mijn zoon Rijk heeft zich eveneens van zijn beste kant laten zien. Ik hoop dat bij hen de liefde om in eenzaamheid te werken aan een studie niet al te veel bekoeld is door dit werk in de afgelopen jaren. Ik ben trots op hen en dank hen voor hun solidariteit.

Tenslotte Erica, zelf allang een Wagenings ingenieur en nu ook bijna een Tilburgse theologe; aan haar dank ik te veel om op te schrijven, dus laat ik volstaan met de hulp waar ik in dit opzicht het meest aan gehad heb, te weten haar kritische zin. Scherpzinnigheid gecombineerd met saamhorigheid en zorg, dat was en is fantastisch om te ervaren.

Ik geloof niet in toeval en ik denk dat geluk een beter woord is. Ik heb ontzettend veel geluk en ik ben bijzonder gelukkig met zo veel welwillende mensen om me heen. Die dank ik allen.

Curriculum vitae

De schrijver van dit proefschrift werd op 22 juni 1950 geboren in Terschuur, gemeente Barneveld. Hij behaalde in 1969 op het Corderius College te Amersfoort het diploma gymnasium- β en studeerde daarna diergeneeskunde aan de Faculteit der Diergeneeskunde van de Universiteit Utrecht. Tijdens zijn studie was hij enkele jaren docent biologie en wiskunde bij het middelbaar onderwijs. Hij volgde een extra co-assistentenschap Bedrijfsdiergeneeskunde van vijf maanden bij de Gezondheidsdienst voor Dieren te Utrecht en verrichtte daar onderzoek naar de persistentie van de ziekte van Aujeszky op varkensbedrijven. In april 1976 werd het dierenartsexamen afgelegd. Van 1 mei 1976 tot en met 31 december 1989 was hij praktizerend dierenarts in de Groepspraktijk Dierenartsen te Diessen, waar hij zich naast de algemene praktijk vooral bezighield met de diergeneeskundige begeleiding van (grote) varkensbedrijven. In deze tijd begeleidde hij co-assistenten diergeneeskunde en werd onderzoek verricht naar ultrasonische graviditeitscontrole, ventilatiesystemen en Parvovirose bij varkens. In 1985 ontving de Groepspraktijk Dierenartsen te Diessen de Jaarprijs van het Tijdschrift voor Diergeneeskunde voor een artikel over Parvovirose. Van januari 1986 tot en met oktober 1990 was hij voorzitter van Groep Practici Grote Huisdieren van de Koninklijke Nederlandse Maatschappij voor Diergeneeskunde (KNMvD).

Sinds 1 januari 1990 is de schrijver veterinaire hoofd-directeur van de dierenartsencoöperatie Ad Usam Veterinarium (AUV).

Vanaf 1983 is de schrijver opgetreden als docent bij het postacademisch onderwijs in de diergeneeskunde (PAO-D) betreffende de onderwerpen epidemiologie van varkenspest, Parvovirose, praktijkmanagement, ventilatie, populatiegenetica, veterinaire farmacie, praktijkorganisatie, praktijkfinanciën, automatisering en kwaliteitsbeleid.

In zijn rol van AUV- en KNMvD-bestuurder is de schrijver mede-initiatiefnemer en uitvoerder geweest van het project "Versterking van de farmaceutische scholing van de dierenarts", waarbij meer dan 1200 practici (en andere belanghebbenden) nascholing gevolgd hebben op het gebied van de veterinaire farmacie.

Van 1990 tot en met 1993 was de schrijver voorzitter van de werkgroep "veterinair antibioticumbeleid" van de KNMvD, waarin

bestaand en nieuw beleid geformuleerd is voor het verantwoord gebruik van antimicrobiële middelen door dierenartsen. Dit initiatief heeft mede geleid tot eenzelfde beleid enkele jaren later in FEDESA-verband, onder de titel *The Prudent Use of Antibiotics*.

Als bestuurslid van de Association of Veterinary Cooperatives (AVETCO) is de schrijver initiatiefnemer van vergelijkbare nascholingstrajecten betreffende veterinaire farmacie in het Verenigd Koninkrijk, Frankrijk, Duitsland, Zwitserland en België.

Als Nederlands afgevaardigde naar de Union Européenne des Vétérinaires Praticiens (UEVP), de sectie van pratici binnen de Federation of Veterinarians in Europe (FVE), is de schrijver de opsteller van de in de UEVP en de FVE aangenomen *Five Principles of Veterinary Pharmacy*, een internationale afspraak om te komen tot kennisvergroting ten aanzien van de veterinaire farmacie. Hij is sinds 1994 lid van de Working Party on Veterinary Medicines van de UEVP.

Van 1995 tot 1998 is de schrijver lid geweest van de Technical & Regulatory Committee (TRC) van FEDESA, de European Federation of Animal Health.

Vanaf 1990 is de schrijver lid van het bestuur van de Nationale Coöperatieve Raad voor land- en tuinbouw (NCR) en voorzitter van het Contactcentrum Buitenlandse Aangelegenheden (CBA) van de NCR. In deze hoedanigheid is de schrijver mede-initiatiefnemer en uitvoerder geweest van het Nationaal Debat over de land- en tuinbouw dat de titel *Ter Zake* droeg. Als uitvloeisel daarvan is de Stichting Diergezondheid opgericht en is de *Dierveiligheidsindex* (DVI) geconstrueerd; de schrijver is sinds de oprichting bestuurslid van deze Stichting en na het fuseren ervan bestuurslid van SKOVAR, de Stichting Kolomcertificering Varkenshouderij.

De schrijver is sinds 1999 bestuurslid van de coöperatieve Rabobank Eersel.

Vanuit zijn beroep van dierenarts heeft de schrijver tenslotte als auteur en spreker in binnen- en buitenland vaak kennis uitgedragen over velerlei aspecten van dierenwelzijn, diergezondheid, volksgezondheid en voedselveiligheid.