955
2004
012

Menselijk beslissen in theorie en praktijk tijdens het herhaalde prisoners dilemma.

Luit Gazendam
Nieuwe Kerkhof 23 a
9712 PW Groningen
0890464

Onder supervisie van:

Rineke Verbrugge, Kunstmatige Intelligentie, Rijksuniversiteit Groningen
René Jorna, Bedrijfskunde, Rijksuniversiteit Groningen

Oktober 2002 – oktober 2004

Kunstmatige intelligentie
Rijksuniversiteit Groningen

968.

Voorwoord

Deze scriptie is het resultaat van een lang, soms moeizaam maar ook interessant en leerzaam proces. De kern van het onderzoek is tijdens dit proces twee keer veranderd. Het is begonnen als een onderzoek naar hoe mensen over de toekomst redeneren tijdens het spelen van het herhaalde prisoners dilemma. Na enige studie werd het duidelijk dat het bestuderen van het redeneren tijdens het spelen van het herhaalde prisoners dilemma in een experimentele setting, los van het redeneren over de toekomst, al een mooie opgave is voor een afstudeerscriptie. Daarbij had ik nog geen oog voor wat later een groot deel van het onderzoek is gaan uitmaken en een tweede herdefinitie van het onderzoek opleverde: het bij de theorieën formuleren van hypothesen voor het herhaalde prisoners dilemma. Het op een fatsoenlijke manier komen tot voorspellingen voor de redeneringen die mensen hanteren volgens drie verschillende beslissingstheorieën bleek een niet triviale opgave. Een groot deel van het onderzoek houdt zich dientengevolge bezig met het onderzoeken van hoe resultaten van proefpersonenexperimenten met het herhaalde prisoners dilemma aan beslissingstheorieën gekoppeld kunnen worden.
Hoewel deze herinterpretaties niet wenselijk waren voor het snelle verloop van mijn afstudeerproject, hebben ze mij toch veel geleerd en uiteindelijk een zeer bevredigend gevoel opgeleverd over dit afstuderen. Het kostte me echt veel moeite om deze draaien te maken, maar het is me duidelijk dat deze noodzakelijk waren om tot een redelijk onderzoek te leiden. Ik wil hier dan ook mijn dank uitspreken voor mijn begeleiders Rineke Verbrugge en René Jorna die mij gestuurd hebben in dit dynamische proces. Op momenten dat ik redelijk tevreden was over mijn product hebben ze mij laten inzien dat mijn werk nog cruciale manco's vertoonde en dat structurele veranderingen noodzakelijk waren. Ook wil ik hen bedanken mij te leren een scriptie te schrijven, structuur aan te brengen in een grote tekst en rekening te houden met mijn lezer. Ten slotte wil ik hen bedanken voor het geduld dat ze met mij gehad hebben.
Naast mijn begeleiders wil ik hier mijn ouders bedanken voor de voortdurende interesse in mijn scriptie en de ondersteuning die ze me tijdens mijn afstuderen gegeven hebben. Ook mijn vrienden wil ik bedanken voor hun ondersteuning. Ten slotte wil ik Sanne bedanken die mij lief is, mij gesteund heeft door haar aanwezigheid, geholpen heeft met discussies over mijn scriptie en getracht heeft mijn lichte vorm van dyslexie uit mijn scriptie te verbannen.

Groningen 24 oktober 2004

Inhoudsopgave

1 INLEIDING 3

1.1 VERSCHILLENDE BESLISSINGSTHEORIEËN: TIJD VOOR EEN VERGELIJK 3
1.2 HET PRISONERS DILEMMA 5
1.3 HET EXPERIMENT: METEN VAN OVEREENKOMSTEN TUSSEN THEORIEËN EN PRAKTIJK 7
1.4 PROBLEEMSTELLING EN DOELSTELLING 7
1.5 OPBOUW VAN DEZE SCRIPTIE 9

2 SPELTHEORIE EN PRISONERS DILEMMA 10

SPELTHEORIE 10

2.1 UTILITEIT 10
2.2 RATIONALITEIT 11
2.3 UTILITEIT ALS SCHAKEL TUSSEN DE MENS EN ONBEPERKTE RATIONALITEIT 11
2.4 SPELEN ALS BOMEN 12
2.5 SPELEN ALS TABELLEN 13
2.6 ZERO SUM SPELEN 14
2.7 MINIMAX EN MAXIMIN 14
2.8 GEMENGDE STRATEGIEËN 15
2.9 NASH-EQUILIBRIUM 16
2.10 DOMINANTIE, ITERATIEF REDENEREN EN DE THEORY-OF-MIND: WAAROM RATIONEEL SPELEN SOMS DOM IS. 17
2.11 PROBLEMEN MET DE SPELTHEORIE 20
2.12 BEPERKTE RATIONALITEIT 21
2.13 HET SPELTHEORETISCH INTERPRETEREN VAN DE WERELD 24
2.14 EEN RESUMÉ VAN DE PARAGRAFEN OVER DE SPELTHEORIE 25

HET PRISONERS DILEMMA 26

2.15 DE ONTDEKKING VAN HET PD: HET EXPERIMENT VAN FLOOD EN DRESHER 26
2.16 MOGELIJKE VERANTWOORDINGEN BIJ EEN KEUZE 28
2.17 PRISONERS DILEMMA'S IN DE MENSELIJKE CULTUUR 28
2.18 PROBLEMEN BIJ HET PD IN DE PRAKTIJK 29
2.19 HET HERHAALDE PRISONERS DILEMMA (RPD) 30
2.19.1 Terugredeneer paradox (Achterwaartse inductie paradox) 30
2.19.2 Strategieën bij het herhaalde prisoners dilemma 31
2.19.3 Tit-for-tat in de mensenwereld 33
2.20 EEN KORTE SAMENVATTING VAN DE PARAGRAFEN OVER HET PRISONERS DILEMMA 33

3 SNELLE HEURISTIEKEN EN HET HERKENNINGSGERICHTE BESLISSINGSMODEL 35

3.1 HET HERKENNINGSGERICHTE BESLISSINGSMODEL VAN GARY KLEIN 35
3.2 SNELLE HEURISTIEKEN: VUISTREGELS DIE SNEL EN EFFICIËNT ZIJN 39
3.3 EEN KORTE SAMENVATTING VAN DE HERKENNINGSGEBASEERDE BESLISSINGSTHEORIE EN DE SNELLE HEURISTIEKEN 44

4 METHODEN EN TECHNIEKEN 45

4.1 DE COMMON KADS-METHODIEK 45

4.2 SIGNAALANALYSE ALS ANALYSEMETHODE VOOR PATRONEN IN REDENEERTIJDEN 49
4.3 KUIPERS WAARHEIDSBENADERINGSMETHODE EN STATISTIEK 50
4.4 DE DONDERS-AFTREK-METHODE: TIJDSDUREN VAN MENTALE PROCESSEN ... 52

5 HET TOEPASSEN VAN DE BESLISSINGSMODELLEN OP HET RPD. 53

5.1 DE DRIE THEORIEËN EN TIJD 53
5.1.1 Speltheorie 54
5.1.2 Snelle heuristieken 56
5.1.3 Herkenningsgebaseerde beslissingstheorie 58
5.2 DE DRIE THEORIEËN EN UITKOMSTEN 61
5.2.1 Vaststellen van een maat voor een goede en een slechte uitkomst 61
5.2.2 Voorspellingen van de theorieën voor de uitkomsten 64
5.3 HET RPD EN REDENERINGEN: DE DRIE THEORIEËN EN HET COMMON KADS TAAKTYPE 64
5.3.1 Common KADS taaktype van het spelen van het RPD volgens de speltheorie 65
Inferentielijst als bij het RPD geredeneerd wordt volgens de speltheorie 67
5.3.2 Common KADS taaktype van het spelen van het RPD volgens de snelle heuristieken theorie 67
Inferentielijst behorend bij de snelle heuristieken 69
5.3.3 Common KADS taaktype van het spelen van het RPD volgens de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie 70
Inferentielijst behorend bij de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie 71
5.3.4 Falsificatiecriteria voor de redeneringen 72
5.4 EEN KORTE SAMENVATTING VAN DE HYPOTHESEN 74

6 HET EXPERIMENT 76

6.1 DE DRIE GEBRUIKTE AUTOMATEN, EEN BIAS NAAR COÖPERATIEF 77
6.2 HET EXPERIMENT EN TIJD 78
6.3 HET EXPERIMENT EN UITKOMSTEN 79
6.4 HET EXPERIMENT EN DE HARDOPDENKPROTOCOLLEN 80
6.5 PROEFPERSONEN 80

7 RESULTATEN 82

7.1 CONSTATERINGEN TIJDEN 82
7.2 CONSTATERINGEN OPBRENGSTEN 87
7.3 CONSTATERINGEN FALSIFICATIES REDENERINGEN 91
7.4 STATISTISCHE RELEVANTIE VAN DE UITKOMSTEN 94
7.5 SAMENVATTING RESULTATEN 95

8 CONCLUSIES 97

8.1 CONCLUSIES OP BASIS VAN DE EXPERIMENTEN 97
8.2 KANTTEKENINGEN BIJ DE UITKOMSTEN VAN DE EXPERIMENTEN EN BIJ DE THEORIEËN 98
8.3 ALGEMENE CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK 99
8.3.1 Algemene conclusie 99
8.3.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek 99

9 BRONVERMELDING 101

1 Inleiding

De speltheorie is de meest gangbare theorie om het gedrag van mensen in een spel te beschrijven. Speltheoretici bestuderen naast werkelijk gedrag en voorspellingen voor gedrag ook optimale strategieën. Er zijn twee soorten commentaar op de speltheorie: ten eerste dat de speltheorie de menselijke rationaliteit overschat en ten tweede dat de experimentele (laboratorium)setting die de speltheorie doorgaans hanteert tot rationele resultaten leidt. Beide commentaren leggen de nadruk op hoe een beslissing tot stand komt.

Er zijn alternatieve beslissingstheorieën die zichzelf positioneren op basis van deze twee commentaren. In tegenstelling tot de onbeperkte rationaliteit bestudeert de snelle heuristieken theorie hoe met behulp van eenvoudige efficiënte vuistregels toch goede beslissingen genomen kunnen worden. De herkenningsgebaseerde beslissingstheorie bestudeert hoe mensen in de werkelijke wereld beslissingen nemen in plaats van hoe mensen in een laboratoriumsetting beslissen.

Naast dat er discussie is tussen meerdere theorieën over aspecten van het menselijke beslissen, is er nog zeer veel onbekend over hoe beslissingen tot stand komen. Het bestuderen van het beslissingsproces is dus interessant zowel om inzicht te verkrijgen in het menselijke beslissen als om argumenten op te leveren die de discussie kunnen voeden. Een interessant spel om het menselijke beslissen bij te bestuderen is het herhaalde prisoners dilemma (RPD).

1.1 Verschillende beslissingstheorieën: tijd voor een vergelijk

Speltheorie en haar kritieken

Mensen maken beslissingen. Er zijn verschillende theorieën die beschrijven hoe mensen hun beslissingen maken. Eén van deze theorieën is de speltheorie. De speltheorie is in 1944 begonnen als poging van de beroemde wiskundige John von Neumann samen met de econoom Oskar Morgenstern om voor de axiomatische basis van de economie te zorgen[1]. Volgens de speltheorie maken mensen hun beslissingen op basis van rationele, volledig uitgewerkte redeneringen. Deze rationaliteit uit zich volgens de speltheorie in (wiskundige) optimalisatie van eigen nut (belangen). Op deze visie van onbeperkte rationaliteit is veel commentaar.

Een grote criticus van de speltheoretische beslissingstheorie is Herbert Simon. Herbert Simon beweerde dat mensen beperkt rationeel[2] zijn: "*boundedly rational agents experience limits in formulating and solving complex problems and in processing (receiving, storing, retrieving, transmitting) information*[3]." Simon stelde dat de rationele speltheorie voorbij gaat aan de cognitieve beperkingen van de mens. Hij suggereerde dat de begrensd rationele mensen vuistregels gebruiken en dat ze toereikende alternatieven selecteren in plaats van het maximale na te streven.

De speltheorie maakt onderdeel uit van een theoretisch verklarend onderzoeksprogramma[4] dat niet zeer sterk gefundeerd is in een beschrijvend

---

[1] Neumann, J. von & Morgenstern, O., 1944, *The Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press, Princeton, NJ.

[2] *Beperkt rationeel* is een vertaling van *boundedly rational*. *Beperkte rationaliteit* is een vertaling van *bounded rationality*.

[3] Simon, Herbert, 1957, *Models of Man*, Wiley, New York.

[4] Voor meer informatie over onderzoeksprogramma's verwijs ik naar Kuipers, T. A. F. (2001), *Structures in Science. Heuristic patterns based on cognitive structures*. Synthese Library, Volume 301, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

onderzoeksprogramma. Dat betekent dat de nadruk bij de speltheorie op de ontwikkeling van het theoretisch kader ligt en niet op de empirische toetsing. Dit uit zich in een sterk prescriptief karakter van de speltheorie. De focus van de speltheorie ligt op optimale uitkomsten, beslissingen zijn dan een middel om een resultaat te bereiken. Hoe deze beslissingen tot stand komen, welke capaciteiten nodig zijn om deze optimale keuzen te maken en of een mens over deze capaciteiten beschikt, zijn bij de speltheorie van secundair belang.

Snelle heuristieken

Ook de snelle heuristieken theorie[5] gaat uit van een theoretisch kader dat relatief weinig praktisch getoetst is. De snelle heuristieken theorie gaat uit van het idee dat mensen door gebruik te maken van snelle en eenvoudige vuistregels op een zeer goede manier omgaan met hun beperkte rationele vermogens. Deze vuistregels zijn voor de menselijke geest hanteerbaar en kunnen toch nog zeer goede resultaten tot gevolg hebben.

De herkenningsgebaseerde beslissingstheorie

Een andere becommentariërende theorie, de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie[6] van Gary Klein, maakt deel uit van een verklarend onderzoeksprogramma dat sterk gestoeld is op experimenten en heeft een meer descriptief karakter. Niet alleen wordt er weinig aandacht aan experimenteel werk gegeven door speltheoretici, volgens Klein leidt de keuze voor een laboratoriumopstelling, waarin slechts een variabele veranderd wordt, tot de rationeel georiënteerde resultaten van speltheoretici. Klein bestudeert beslissingsgedrag van onder andere brandweerlieden buiten het laboratorium, tijdens het verrichten van hun werk. De focus is op het beslissingsproces gericht. Niet zozeer het resultaat, maar de menselijke capaciteiten en het beslissingsproces zelf krijgen bij de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie de primaire aandacht. Op basis van de bestudering van de omgeving waarin beslissingen genomen worden vindt Klein het verwonderlijk dat mensen onder tijdsdruk en op basis van gebrekkige, soms tegenstrijdige gegevens goede beslissingen kunnen nemen. In deze werkelijke omgeving vindt Klein bijna geen aanwijzingen voor rationeel speltheoretisch beslissingsgedrag.

Een vergelijk leidt tot nieuwe inzichten

Verschillende theorieën (speltheorie, snelle heuristieken, herkenningsgebaseerde beslissingstheorie) hebben dus een andere manier om tegen het beslissen van mensen aan te kijken. Alle drie de theorieën geven aan dat er nog relatief weinig bekend is over het beslissen van mensen. Een experimentele setting waarin we de drie theorieën proberen te vergelijken kan dus veel meer opleveren dan argumenten voor de discussie tussen de theorieën: het experiment met echte mensen kan ook ons inzicht in het beslissen van mensen verdiepen. Door de verschillende visie van de drie theorieën is het moeilijk om een spel te verzinnen dat gezien kan worden als een neutrale kandidaat voor een vergelijk. De herkenningsgebaseerde beslissingstheorie is niet toegespitst op beslissen bij een spel. Verder is het noodzakelijk dat het kiezen niet neer komt op het uitrekenen van een sommetje. Voor de speltheorie daarentegen moet

---

[5] Gigerenzer, G., Todd, P. M. & the ABC research Group (1999). *Simple Heuristics That Make Us Smart*, Oxford: Oxford University Press.

[6] Klein, G. (1998). *Sources of Power, How People Make Decisions*. Cambridge, Massechusetts: The MIT Press.

het een spel zijn met duidelijke regels en een gegeven beloningsstructuur. Een zeer geschikte kandidaat is het herhaalde prisonersdilemma. Het is door speltheoretici verzonnen om een hoeksteen van de speltheorie, het Nash-equilibrium, te toetsen. Er is echter tot nu toe geen bevredigende oplossing. Het is uitgebreid bestudeerd en leent zich voor een experiment waarin zowel het beslissingsproces als de resultaten bestudeerd kunnen worden. Toch kent het geen oplossing die je zomaar kan uitrekenen.

1.2 Het prisoners dilemma

Het prisoners dilemma (PD) dankt zijn naam aan een anekdote die de spanning van het conflict in het spel moet illustreren:
Twee leden van een bende worden opgepakt en apart opgesloten. Ze krijgen ieder apart te horen dat ze belastend bewijs kunnen leveren tegen de ander of dat ze kunnen zwijgen. De te verwachten celstraf hangt af van het gedrag van de ander en is weergegeven in de volgende tabel:

	B zwijgt	B geeft belastende verklaring
A zwijgt	1 jaar 1 jaar	3 jaar 0 jaar
A geeft belastende verklaring	0 jaar 3 jaar	2 jaar 2 jaar

x jaar = straf A y jaar = straf B

Zwijgen komt hier overeen met samenwerken, een belastende verklaring geven met niet samenwerken. Wat er ook gebeurt, getuigen tegen de ander (praten) vermindert de straf met een jaar. Het probleem is echter dat de ander tot dezelfde conclusie kan komen, waardoor voor beiden de uitkomst van twee jaar celstraf bereikt wordt, wat vervelender is dan ieder maar een jaar celstraf.
Het prisoners dilemma is ooit ontworpen om een deel van de speltheorie, namelijk het Nash-equilibrium, te testen. Het Nash-equilibrium is een evenwichtspunt waarbij de spelers, ongeacht wat de anderen gedaan hebben, geen betere keuze hadden kunnen maken. De speltheorie ziet in het Nash-equilibrium een optimale uitkomst. In het bovenstaande PD is de uitkomst van ieder twee jaar celstraf het Nash-equilibrium. Het prisoners dilemma tart de stelling dat het Nash-equilibrium een optimale uitkomst is.

Het herhaalde prisoners dilemma
Een variant van het prisoners dilemma is het herhaalde prisoners dilemma (RPD). Dit bestaat uit een serie opeenvolgende PD's. Denk bijvoorbeeld aan twee leden van een bende die niet voor één misdrijf, maar voor vijf verschillende misdrijven opgepakt worden. De misdrijven worden één voor één behandeld. Als nu het ene bendelid de andere verraadt bij de behandeling van het eerste misdrijf, dan is de kans klein dat het bedrogen bendelid tijdens de behandeling van het tweede misdrijf nog coöperatief zal zijn. Het grote verschil met een enkelvoudig PD is dus dat de keuze in de voorgaande beurten invloed heeft op de keuze in de beurt erna. In hoofdstuk 2 ga ik dieper in op het prisoners dilemma en haar herhaalde variant.

Het herhaalde prisoners dilemma als goed onderwerp voor het vergelijk
Het tarten van het Nash-equilibrium maakt het PD, naast dat het goed bestudeerd is en zich leent voor een experimentele opstelling, tot een interessant dilemma om het in paragraaf 1.1 genoemde vergelijk op toe te passen. Het PD is onder andere bestudeerd door speltheoretici, economen, biologen en sociologen. De positie van het prisoners dilemma binnen de speltheorie, enerzijds zwakke plek, anderzijds intens bestudeerd, maakt het PD tot een boeiend dilemma om een keer praktisch te bestuderen.
Het herhaalde prisoners dilemma biedt extra voordelen boven het PD. Het RPD is veel bestudeerd in een round robin[7] setting. De round robin setting is een interessante setting om voor het vergelijk te gebruiken omdat het aan voorwaarden voldoet die belangrijk zijn voor de becommentariërende herkenningsgebaseerde beslissingstheorie: het doel van het round robin RPD is namelijk niet eenduidig/vastomlijnd. Bij vastomlijnde problemen als het enkelvoudige PD is het makkelijk om wel alles door te rekenen. De menselijke klasse schuilt volgens de snelle heuristieken en herkenningsgebaseerde beslissingstheorie in het onder tijdsdruk en op basis van gebrekkige informatie maken van goede beslissingen. Deze randvoorwaarden zijn aanwezig bij een RPD in de round robin setting.
Gezien de ambivalente positie van het RPD binnen de speltheorie is het nog maar de vraag of de overeenkomst tussen de praktijk en de speltheorie groter is dan tussen de praktijk en de becommentariërende theorieën. Mijn idee is dat de speltheorie in dit vergelijk wel eens opvallend weinig overeenkomsten kan vertonen met de praktijk. Ik heb het idee dat het prisoners dilemma de achilleshiel van de speltheorie blootlegt.

Het prisoners dilemma als achilleshiel van de speltheorie
Het prisoners dilemma toont aan dat theoretisch optimale uitkomsten soms haaks staan op wat een mens vindt. Dit is volgens mij niet het gevolg van een inconsistentie of fout in de theorie, maar het gevolg van een verkeerde uitgangspositie. Het is net de toren van Babel die men wil bouwen tot de optimale, "goddelijke" uitkomsten, zonder na te denken over de beschikbaarheid van middelen als rationaliteit waarmee de toren opgebouwd moet worden. De poortwachter telt ondertussen alle karren die de toren oprijden en schreeuwt dat de toren nog nooit zo'n harde groei heeft gekend, dit zonder te beseffen dat al deze karren nodig zijn om het afbrokkelen en afslijten van het bouwwerk tegen te gaan. Een samenleving waarin alle energie in het creëren van een paradijs op aarde gestoken wordt, heeft een veel grotere kans dicht bij een hemelse situatie te geraken. Zo ook is de situatie bij het PD. In plaats van te zoeken naar hemelse (optimale) uitkomsten die voor een mens altijd onbereikbaar zullen blijven vanwege zijn gelimiteerde rationele vermogens, kan men beter zijn energie steken in het bestuderen van hoe de (echte) mens met dit dilemma omgaat. Inzicht in hoe mensen met het dilemma omgaan is, mijns inziens, veel betekenisvoller: het PD is namelijk geen theoretisch dilemma, het is een fundamenteel dilemma dat zich op vele manieren manifesteert in ons menselijke bestaan.
Laat ons nu een klein beetje dieper ingaan op wat het vergelijk nodig heeft en wat dientengevolge mijn experiment moet inhouden.

---

[7] Een round robin setting is als een halve voetbalcompetitie: iedereen speelt een keer tegen alle anderen. Deelnemers aan deze halve competitie zijn verschillende strategieën (speelwijzen). Doel van het RPD in een round robin is het winnen van de competitie. Eigenschappen van de winnende strategie zijn voor speltheoretici interessant.

1.3 Het experiment: meten van overeenkomsten tussen theorieën en praktijk

In dit onderzoek wordt bekeken met welke beslissingstheorie het menselijke beslissingsgedrag overeen komt tijdens het spelen van het herhaalde prisoners dilemma. Hiervoor is een experiment opgezet. Aangezien de drie theorieën een verschillende focus hebben, worden drie verschillende typen waarnemingen gedaan tijdens het experiment. De speltheorie heeft een focus op resultaten. De snelle heuristieken gaan uit van adequaat gedrag zowel qua resultaat als in de tijd. De herkenningsgebaseerde beslissingstheorie bekijkt hoe de beslissingen tot stand komen. Drie typen wenselijke waarnemingen zijn *redeneertijden, uitkomsten* en *redeneringen*. De waarneming *redeneertijd* kan bestaan uit twee elementen die samenhangen: de tijdsduur van elke afzonderlijke beslissing en de sequentie van tijdsduren van één reeks opeenvolgende beslissingen. De waarneming *uitkomst* behelst de prestatie (= resultaat) die behaald wordt tijdens het spelen van één geheel RPD[8]. De waarneming *redeneringen* behelst de tijdens het spelen gehanteerde redenering. Praktisch zal dit neerkomen op een hardop uitgesproken redenering[9]. Een uitgebreide beschrijving van het experiment en de drie soorten waarnemingen vindt plaats in hoofdstuk 6.
Bij deze drie soorten gewenste waarnemingen kunnen we voor elk van de drie theorieën hypothesen opstellen. Vervolgens dient bij elke soort gewenste waarneming een meetmethode geformuleerd te worden om de bijbehorende hypothesen te toetsen. Deze meetmethode is bij sommige waarnemingen zeer eenvoudig (twee getallen vergelijken), bij andere waarnemingen ligt deze minder voor de hand. Bij het waarnemen van patronen in een sequentie redeneertijden wordt gebruik gemaakt van de fourieranalyse[10]. Bij de gewenste waarneming redenering is het niet duidelijk hoe er hypothesen opgesteld kunnen worden op basis van de theorieën. De KADS-methode wordt hier eerst gebruikt om de redeneringen op te delen in inferenties. Dit is een methode om de metingen en de voorspellingen van de theorieën in eenzelfde eenheden uit te drukken waarna ze met elkaar vergeleken kunnen worden. Omdat deze methode nodig is om hypothesen op te kunnen stellen, zal ik eerst de methoden en technieken beschrijven in hoofdstuk 4 voordat ik in hoofdstuk 5 de hypothesen formuleer. In hoofdstuk 6 wordt vervolgens uitgelegd voor welke experimentele setting ik heb gekozen om de drie gewenste soorten waarnemingen te realiseren.
Voordat ik in hoofdstuk 2 begin met de behandeling van de speltheorie, is het noodzakelijk om de probleemstelling en doelstelling te formuleren.

1.4 Probleemstelling en doelstelling

Twee doelen: als argument dienen in de discussie tussen de speltheorie en de snelle heuristieken en de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie en dieper inzicht verwerven in het menselijke beslissen.

Dit onderzoek kent twee doelen: dieper inzicht verwerven in het menselijke beslissen en als argument dienen in de discussie tussen de drie theorieën door het koppelen van

---

[8] Een RPD bestaat uit een serie achter elkaar volgende PD's die met een zelfde medespeler gespeeld worden. De uitkomst van een geheel RPD is dan de som van de prestaties van de afzonderlijke rondes. Als je in een RPD van vijf rondes één keer drie jaar straf en vier keer één jaar hebt verdiend, dan heb je dus voor het gehele RPD 3 + 4*1 = 7 jaar straf verdiend.
[9] Deze hardop uitgesproken redenering heet een 'hardopdenkprotocol'.
[10] De fourieranalyse is een wiskundige techniek die patronen in een tijdsreeks blootlegt.

de resultaten van proefpersonenexperimenten met het herhaalde prisoners dilemma aan de hypothesen die voortvloeien uit de beslissingstheorieën. Het feit dat de speltheorie tot een onderzoeksprogramma behoort dat geen sterke experimentele traditie kent, doet niets af aan de zeggingskracht van de uitkomst van dit onderzoek. Er wordt immers een poging gedaan om een ware verklaring voor beslissingsgedrag te geven, dus zal deze theorie de toets van een experiment moeten kunnen doorstaan. Men zou zelfs kunnen zeggen dat de speltheorie een thuiswedstrijd speelt. Er is namelijk risico genomen door het PD als onderwerp van deze vergelijking te nemen: dit dilemma is uit de speltheorie voortgekomen met als doel haar fundamenten te toetsen. Bij een voor de speltheorie negatieve uitkomst van dit experiment kan nog wel het argument gegeven worden dat de speltheorie bedoeld is om optimaal gedrag te beschrijven. Menselijk gedrag hoeft niet noodzakelijkerwijs optimaal te zijn. Dit argument heeft echter het manco dat het erkent dat de speltheorie een slecht model is voor het beschrijven van menselijk beslissingsgedrag. Natuurlijk zegt dit specifieke experiment voornamelijk iets over hoe mensen beslissen bij het RPD en welke beslissingstheorie dit het beste beschrijft. Toch ben ik van mening dat deze op experimenten gestoelde vergelijking een betekenisvolle stap is voor de discussie tussen de theorieën. Het uitdrukken van de drie theorieën in dezelfde meetbare grootheden is een concretisering die op zichzelf al een verhelderend inzicht in de theorieën oplevert. De speciale positie van het PD binnen de speltheorie zorgt ervoor dat de uitkomst van dit onderzoek door speltheoretici in ieder geval niet genegeerd kan worden.

Doelstelling

Doelstelling is om het inzicht in het menselijke beslissen tijdens het spelen van het RPD te verdiepen en te achterhalen hoe resultaten van proefpersonenexperimenten met het herhaalde prisoners dilemma aan beslissingstheorieën (de rationele keuzetheorie, het herkenningsgerichte beslissingsmodel of de snelle-heuristiekenmethode) gekoppeld worden om zo als argument te kunnen dienen in de discussie tussen deze theorieën.

Probleemstelling

Het prisoners dilemma is bedacht om het Nash-equilibrium, de hoeksteen van de speltheorie, te testen. De speltheorie is gebrekkig in de invulling van de actor (microniveau), zoals blijkt uit de aanname van onbegrensde rationaliteit, terwijl deze invulling de prestaties op macroniveau kan beïnvloeden. Naast de speltheorie zijn er andere soorten beslissingstheorieën zoals de herkenningsgerichte beslissingstheorie en de snelle-heuristiekenmethode die meer invulling geven aan de actor. Hoe kunnen deze theorieën voorspellingen doen voor zowel redeneertijden, uitkomsten als redeneringen en welke van deze theorieën doet de beste voorspellingen voor de prestaties van mensen?

Onderzoeksopzet

Uit de drie theorieën volgen hypothesen voor redeneertijden, opbrengsten en redeneringen. Gekeken wordt welke hypothesen de uitkomsten van experimenten met echte proefpersonen het best beschrijven.

Verantwoording keuzen methodologische argumenten.

In de testopstelling worden redeneertijden, uitkomsten en redeneringen van proefpersonen tijdens het spelen van het RPD gemeten. De KADS-methode is gekozen om de theorie naar inferenties te vertalen. Deze methode is veel eenvoudiger

dan een vertaling van de theorieën naar logische inferenties. De waarheidsbenaderingsmethode van Kuipers wordt gebruikt om de analyse van de redeneringen in termen van inferenties te interpreteren. Deze methode is (op inhoudelijke gronden) beter in staat onderscheid te maken tussen de drie theorieën dan een statistische methode. De signaalanalyse wordt gebruikt om patronen in de redeneertijden te ontdekken. Dit is een wiskundig veel sterkere methode dan een statistische analyse. De statistiek wordt toegepast bij de aggregatie over meerdere proefpersonen. Een uitgebreide uitwerking van deze methodes volgt in hoofdstuk 4.

1.5 Opbouw van deze scriptie

Na dit inleidende hoofdstuk behandel ik in twee hoofdstukken de theorie. In hoofdstuk 2 besteed ik aandacht aan de speltheorie en beschrijf ik het prisoners dilemma. In hoofdstuk 3 zet ik de becommentariërende theorieën in twee paragrafen uiteen. In paragraaf 3.1 beschrijf ik het herkenningsgebaseerde beslissingsmodel en in paragraaf 3.2 beschrijf ik de snelle heuristieken. Op het theoretische deel volgt het methodologische hoofdstuk (hoofdstuk 4) waarin ik de gebruikte methoden en technieken beschrijf. Hoofdstuk 5 is het hoofdstuk waarin ik de drie theorieën vertaal naar hypothesen over hoe mensen het herhaalde prisoners dilemma spelen. Hierop volgt de beschrijving van mijn experimentele opstelling die ik heb gebruikt om de gewenste waarnemingen te verkrijgen (hoofdstuk 6). De resultaten, dat wil zeggen het waargenomen gedrag van mensen tijdens het experiment en de vergelijking van deze waarnemingen met de hypothesen, bespreek ik in hoofdstuk 7. Afsluitend zal ik in hoofdstuk 8 (conclusies) de resultaten terugkoppelen aan de in hoofdstuk 1 geformuleerde probleemstelling en doelstelling, en aanbevelingen geven voor verder onderzoek.

2 Speltheorie en prisoners dilemma

Dit hoofdstuk valt in twee delen uiteen. Het eerste deel behandelt de speltheorie, het tweede deel behandelt het prisoners dilemma.

Speltheorie

John von Neumann
Poker inspireerde Von Neumann voor de speltheorie[11]. In poker is het niet alleen van belang dat er gespeeld wordt volgens mathematische kanstheorie. Medespelers kunnen namelijk ontdekken dat het bieden direct overeen komt met de kwaliteit van de kaarten van de speler. De medespelers zullen gebruik maken van deze kennis. Goede pokerspelers spelen niet alleen op de kansen, ze nemen ook de conclusies die andere spelers kunnen trekken op basis van hun acties in overweging en zullen soms trachten de medespelers te misleiden. Von Neumanns inzicht dat deze misleidende wijze van spelen rationeel en onderwerpbaar was aan strenge analyse was geniaal. Zijn in 1928 verschenen artikel: "*Zur Theorie der Gesellschaftspiele*[12]" vormt de basis van de speltheorie. Hierin wordt het minimax theorema bewezen. Dit resultaat heeft het veld direct wiskundig aanzien gegeven.

Theory of Games and Economic Behavior
Von Neumann wilde dat speltheorie verder verspreid werd dan alleen binnen de wiskunde. Zijn intuïtie was dat de economie er veel aan zou hebben. Hij ging samenwerken met de Oostenrijkse econoom Oskar Morgenstern en dit resulteerde in: *Theory of Games and Economic Behavior*. Hoewel het werk een grote impact had op de economische wetenschappen, werd het slecht verkocht en gelezen. De wiskundige aanpak was mogelijk te lastig voor economen. Gelukkig is de kern van de speltheorie wel makkelijk te begrijpen. Het is namelijk gebaseerd op een zeer simpele maar sterke manier om een conflict te schematiseren. De abstracte (soms wiskundige) maar precieze concepten van de speltheorie maken het mogelijk om zeer veel verschillende situaties precies en grondig te analyseren. Zo is dit de definitie van een spel: **een spel is een geformaliseerde beloningsstructuur**. Door deze abstracte definitie vallen zeer veel verschillende situaties onder de definitie van spel, waardoor ook de speltheoretische concepten een ruim toepassingsgebied kennen. De oplossing, de rationele oplossing, is wat de speltheorie zoekt. Maar wat is nu een rationele oplossing? Voordat ik in paragraaf 2.2 over ga tot de beantwoording van deze vraag, zal ik het hiervoor benodigde begrip utiliteit uitleggen.

2.1 Utiliteit

Er zijn verschillende manieren waarop een spel gespeeld kan worden: voor de lol, zonder idee van winnen of verliezen, of als een volwassene tegen een kind speelt, juist om te verliezen. Als we gaan kijken naar wat voor waardeoordeel de spelers toekennen aan de specifieke uitkomsten, kunnen al deze vormen van spelen toch betiteld worden als rationeel gedrag. Soms is verliezen namelijk waardevoller dan winnen (zoals wanneer met een kind een spel gespeeld wordt). Door alle positieve en

[11] Poundstone, W. (1992). *Prisoner's Dilemma*. New York, New York: Doubleday
[12] Neumann, J. von, 1928, *Zur Theorie der Gesellschaftsspiele*, Math. Ann., 100(1928), 295-320.

negatieve waardeoordelen behorend bij een specifieke uitkomst uit te drukken in getallen en die vervolgens bij elkaar op te tellen, kunnen verschillende uitkomsten met elkaar vergeleken worden. De eenheid van dit getal (bestaande uit de som van positieve en negatieve waardeoordelen) wordt utiliteit genoemd. De utiliteitsschaal weerspiegelt dus het geheel van alle preferenties en antipathieën van één persoon. Niet alleen worden alle dingen meegenomen in deze schaal, ze worden ook ten opzichte van elkaar gewogen zodat de belangrijkste factoren de grootste bijdragen leveren. Met utiliteit is elke uitkomst van een spel met alle bijzaken dus uit te drukken in een opbrengst (of pay-off).

Definitie van utiliteit: De utiliteitsfunctie is een transformatie van een N-dimensionale ruimte naar R, die alle N-dimensies met voorkeuren en afkeuren van een persoon gewogen afbeeldt op een numerieke schaal R.

2.2 Rationaliteit

Als een persoon een utiliteitsfunctie heeft die alle voorkeuren en afkeuren gewogen bij elkaar optelt en tot een getal maakt, dan kan ook gemakkelijk een definitie van rationaliteit gegeven worden. Want als alle voorkeuren en afkeuren tot een numerieke schaal vertaald zijn, dan is de uitkomst met de hoogste utiliteit ook de uitkomst die iemand het meest prefereert. Rationele spelers maximaliseren dus utiliteit.

Definitie van rationaliteit: een speler speelt rationeel als zijn keuzen altijd vallen op de keuzen met de hoogste verwachte utiliteit[13].

Belangrijk hierbij op te merken is dat deze rationaliteit geen begrenzing kent. De redeneringen die een persoon moet uitvoeren om te achterhalen welke keuze op een bepaald moment de beste keuze is (die dus de hoogste verwachte utiliteit oplevert), kan een rationele speler altijd uitvoeren. Voor een rationele speler bestaat er geen situatie die te complex is om door te denken, want de redeneervermogens van een rationele speler zijn oneindig. Deze rationaliteit wordt dan ook onbeperkte rationaliteit genoemd. Duidelijk is dat onbeperkt redeneren niet voor echte mensen opgaat. Simon gaf in zijn *Models of Man*[14] commentaar op deze onbeperkte rationaliteit en gaf aan dat mensen niet oneindig diep kunnen redeneren en dus beperkt rationeel zijn. Over beperkte rationaliteit volgt later meer[15]. De speltheorie is namelijk heel ver gekomen zonder de rationaliteit van de spelers te beperken. Dit komt mede door het concept utiliteit.

2.3 Utiliteit als schakel tussen de mens en onbeperkte rationaliteit

Een schaker kan winnen of verliezen. Bij een simpele beschouwing wordt aan winnen de utiliteit +1 toegekend, aan verliezen de utiliteit −1. Als men echter tegen een kind schaakt, kan de utiliteitsfunctie veranderen. Het plezier van het laten winnen van het kind zorgt ervoor dat aan verliezen nu een utiliteit van +1 toegekend wordt en aan winnen een utiliteit van −1. Als het kind een gewone utiliteitsfunctie hanteert is er een optimale uitkomst: het kind wint en de volwassene verliest. Beide spelers kennen een positieve utiliteit toe aan deze uitkomst. De waarde bij een bepaalde uitkomst uitgedrukt in utiliteit weerspiegelt alle voorkeuren van de speler. Zo weerspiegelt het bijvoorbeeld ook mentale aspecten als eerlijk spelen, zonder te misleiden spelen,

---

[13] Deze definitie refereert dus niet aan mentale processen, ook al lijkt het begrip rationaliteit dat wel te doen.

[14] Simon, H. (1957).

[15] Zie paragraaf 2.12 van deze scriptie voor een uitgebreide behandeling van beperkte rationaliteit.

iemand te slim af zijn of via een mooi spel winnen, al naar gelang de persoonlijke voorkeur. Hierdoor kan bij schaken aan de ene winst een hogere utiliteit toegekend worden dan de andere. Een schaker kan bijvoorbeeld de winst in een ogenschijnlijk al verloren stelling door schaakmat na een dameoffer veel meer utiliteit toekennen dan een winst door het vallen van de vlag in een door andermans blunder sterke stelling.

Utiliteit is persoonsafhankelijk
Ieder persoon heeft zijn eigen voorkeuren dus het is vaak moeilijk om voor een willekeurig persoon in te schatten welke utiliteit hij aan een bepaalde uitkomst toekent. Deze utiliteitsfuncties zijn wel zeer belangrijk om te achterhalen. Als ze bekend zijn is namelijk te voorspellen wat het gedrag zal zijn van die persoon in bepaalde (spel)situaties. Zonder de utiliteitsfuncties is voor geen enkel spel een oplossing of rationele strategie te genereren. De speltheorie vindt haar link naar de menselijke wereld, dus in de utiliteit. Zonder goede utiliteitsfunctie blijft de speltheorie niet toepasbaar.
Experimentele economen houden zich daarom bezig met het bepalen van utiliteitsfuncties. Door mensen in speciale opstellingen keuzes te laten maken kan, op basis van het gedrag van de proefpersonen (aannemende dat iemand altijd rationeel speelt), afgeleid worden wat voor de gemiddelde persoon de utiliteitsfunctie is geweest.

Utiliteit en onbeperkte rationaliteit
Door deze invloed van utiliteit op de analyse van een spel heeft de speltheorie nog weinig hinder ondervonden van de aanname van onbeperkte rationaliteit. De speltheorie gaat immers over perfect logische spelers (=onbeperkt rationeel) die hun utiliteit maximaliseren. Verschillende voorkeuren van mensen (die tot uiting komen in hun utiliteitsfunctie) zorgen ervoor dat mensen andere doelen nastreven. Als twee mensen een spel op verschillende manieren spelen, hoeft dat dus niet het gevolg te zijn van verkeerd of beperkt rationeel redeneren, het zal eerder het gevolg zijn van het hebben van andere voorkeuren. Verschillende en zelfs tegengestelde gedragingen kunnen allemaal het gevolg zijn van volkomen rationeel speltheoretisch redeneren alleen door het gebruik van een andere utiliteitsfunctie. Hierdoor is de utiliteitsfunctie vaak onderwerp van discussie en niet de speltheorie met haar onbeperkte rationaliteit. Toch is er een aantal problemen met onbeperkte rationaliteit. Voordat daar op ingegaan wordt zal eerst de speltheorie verder uitgewerkt worden.

2.4 Spelen als bomen

Bij spelen waarbij de spelers alle informatie kunnen aanschouwen en alle zetten in de openheid plaatsvinden, zoals schaken en boter kaas en eieren, kunnen diagrammen van alle mogelijke spelverlopen getekend worden. Deze diagrammen heten bomen. Een bestudering van bomen is interessant omdat het inzicht geeft in de schematische wijze waarop de speltheorie spelen bestudeert.

Opbouw van de boom
De oerknoop van een boom is de beginsituatie. Vanaf de beginsituatie kunnen takken getekend worden, evenveel als er zetten mogelijk zijn. Aan elke tak zit een nieuwe knoop die de resulterende situatie oplevert. Vanaf elke nieuwe knoop is er wederom een beperkt aantal zetten mogelijk. Deze leiden via de bijbehorende takken naar nieuwe knopen. Bepaalde spelsituaties zijn eindsituaties, het spel is gespeeld en iemand heeft gewonnen, verloren of gelijk gespeeld. De bijbehorende knopen zijn

eindknopen. De tak eindigt in deze eindknoop. Daar de meeste spelen circulair gedrag voorkomen, zijn de meeste spelen eindig. De bijbehorende bomen zijn hierdoor ook eindig. Bij elke eindknoop staat de uitkomst van het spel (winst speler a,b,...,n of gelijk spel).

Snoeien van de boom
Nu dient de boom nog gesnoeid te worden. Door gebruik te maken van eliminatie kan je de boom zo vormgeven dat alleen de rationele spelen overblijven. Dat gaat als volgt. In beginsel zitten alle spelen, dus ook die waar stomme zetten in gedaan worden in de boom. Begin met alle takken die domme zetten representeren weg te knippen uit de boom. Daarna moeten alle zetten er uit gehaald worden die voor de speler die de zet doet direct tot een verlies lijden. Er van uitgaande dat de andere spelers zetten doen die naar hun eigen winst leiden, moeten ook de zetten weggehaald worden die door dit gedrag van de andere spelers tot een verlies leiden. Deze methode wordt gestopt voordat de laatste eindknoop weggehaald wordt (als deze weggehaald kan worden, betekent het dat één van de spelers een winnende strategie heeft). Wat overblijft, zal een boom zijn die het gevolg is van volledig rationele spelers.

Rationele bomen zijn niet haalbaar
Voor mensen (en zelfs voor schaakcomputers) is het echter niet haalbaar om volledig rationeel te spelen binnen de tijdsrestricties van de meeste spelen. Hierdoor blijft het onvoorspelbaar wat de uitkomst van het spel zal zijn en dus interessant om te spelen. Het bewijzen dat er een beste strategie bestaat is veel minder werk dan het werkelijke uitrekenen en opleveren van een dergelijke strategie.
In plaats van vanaf de oerknoop alles uit te rekenen, wordt door mensen en schaakcomputers slim gezocht in de boom. Dit slimme zoeken gebeurt op basis van heuristieken oftewel zoekregels. Deze heuristieken geven aan welke knopen de moeite waard zijn om verder uitgewerkt te worden en welke niet de aandacht verdienen om bekeken te worden. Aangezien niet de hele boom doorzocht kan worden, wordt zo getracht alleen de meest waardevolle delen van de spelboom binnen het beperkte blikveld te krijgen. Hierop kom ik terug in paragraaf 3.2: *Snelle heuristieken: vuistregels die snel en efficiënt zijn.*

2.5 Spelen als tabellen[16]

Een spel is equivalent met een tabel met alle mogelijke uitkomsten. Langs de assen van de tabel staan de mogelijke strategieën die de spelers kunnen hanteren. Een strategie is een complete beschrijving van een specifieke manier om het spel te spelen, ongeacht de zetten van de tegenstander en ongeacht de spelduur (zet één: doe a, zet twee, als de ander x1 gedaan heeft, doe dan y1, als de speler x2 gedaan heeft, doe dan y2, ... enz.). In deze strategie zijn dus al de anticipaties op zetten van de tegenstander opgenomen. Als je alle strategieën die mogelijk zijn voor een spel langs beide assen van de tabel uitzet (een as voor de beginnende speler en een as voor de andere speler), kun je de uitkomsten in de vakken gaan invullen. Als de beide spelers een strategie gekozen hebben, ligt de uitkomst van het spel vast.

[16] Spelen met N spelers kunnen met N-dimensionale matrices beschreven worden Een tabel is een tweedimensionale matrix en dus geschikt voor de beschrijving van een spel met twee spelers. Vanwege de makkelijke grafische weergave van een tabel heeft de beschrijving van dit stuk betrekking op spelen met twee spelers. Voor spelen met meerdere spelers gaat hetzelfde verhaal op. Ik zal in het stuk spreken over tabellen en niet over tweedimensionale matrices.

Welke strategie kan men dan het beste kiezen? Waarschijnlijk bestaat er niet één altijd winnende strategie. Dan zou het spel namelijk niet leuk zijn om te spelen. Het is van belang in te schatten welke strategie (uit welke strategieën) de ander gaat kiezen en daar een (altijd) winnende eigen strategie bij te zoeken. De tegenstander redeneert echter op dezelfde wijze... Von Neumann realiseerde zich dat deze vormen van redeneren buiten het bereik van kanstheorie lagen. Een nieuwe theorie was noodzakelijk.

2.6 Zero sum spelen

Zero sum spelen zijn spelen waarbij de som van winst en verlies samen altijd nul is. Een voorbeeld is schaken waarbij de winst van een speler overeenkomt met het verlies van de ander. Een ander voorbeeld is poker waarbij de winst van de één uit de portemonnee van de overige spelers komt. In deze sectie van spelen heeft de speltheorie haar grootste successen behaald. De meeste recreationele spelen zijn zero sum spelen, ook als het niet om geld gaat. De uitkomsten van de spelen vallen uit te drukken op een numerieke schaal. De eenheid van deze schaal is utiliteit. In spelen waar het om geld gaat (of een andere te winnen eenheid) is de utiliteit (ongeveer) in overeenstemming met de te winnen eenheden. Indien het gaat om winnen en verliezen dan heeft winnen de utiliteit van +1 en verliezen van −1. Dat dit een wenselijke versimpeling is blijkt uit het voorbeeld van opzettelijk van een kind verliezen. Dit is geen zero sum spel, want beiden winnen als het kind wint.
In paragraaf 2.14 ga ik in op de vraag of veel wereldlijke situaties te beschrijven zijn als zero sum spelen.

Elk zero sum spel kent een rationele oplossing
Von Neumann toonde in zijn artikel *Zur Theorie der Gesellschaftsspiele*[17] aan dat elk eindig tweepersoons zero sum spel een rationele oplossing kent in de vorm van een pure of een gemengde strategie. Dit theorema heet het minimax theorema.
Von Neumann toonde verder aan dat zero sum spelen voor meer dan twee personen te reduceren zijn tot spelen met twee coalities. Het minimax theorema kan voor deze gereduceerde spelen weer de rationele strategie opleveren. Bij spelen voor meerdere spelers neemt de complexiteit echter wel exponentieel toe. De spelers moeten namelijk voor elke mogelijke coalitie strategieën uitwerken. Hierdoor is het voor gewone mensen bij kleine spelletjes al niet meer te berekenen wat de beste strategie is. Toch zorgde Von Neumann met dit theorema voor een sterk argument voor de bepleiters van rationaliteit.

2.7 Minimax en maximin

Een tweepersoons zero sum spel is totale oorlog onder de aanname dat beide spelers aan het winnen van het spel de hoogste utiliteit toekennen. Ze willen beide winnen, maar je kunt alleen winnen als de ander verliest. Er is geen coöperatie mogelijk. Von Neumann bedacht het simpele minimax algoritme om de rationele uitkomsten van dit soort spelen vast te stellen. Aan de hand van de volgende tabel kan dit goed uitgelegd worden.

Eigen keuze Anders keuze	Ander strategie 1	Ander strategie 2

[17] Neumann, J. von (1928). *Zur Theorie der Gesellschaftsspiele*, Math. Ann., 100 (1928), 295-320.

Ik strategie 1	Ik +1 Ander -1	Ik 0 Ander 0
Ik strategie 2	Ik +3 Ander -3	Ik –2 Ander +2

Tabel van een spel.

Tegenover de eigen keuze voor een strategie zal de tegenstander ook een keuze maken voor een strategie. Aangezien beide spelers weten wat alle keuzemogelijkheden zijn (van hemzelf en van de ander), zijn alle uitkomsten in een tabelvorm weer te geven.

Maximin

Indien de spelers om de beurt een zet doen, dan is duidelijk wat er gekozen moet worden. Voor de ik-persoon valt er slechts te kiezen voor een rij van de tabel. De keuze van de ander bepaalt welke kolom er gekozen wordt. De ander zal na mijn keuze voor een rij, die strategie/kolom kiezen die bij deze rij voor hem de maximale opbrengst genereert, en dus voor mij de minimale. De beste keuze voor mij is dus om die rij te kiezen met het maximale minimum, deze strategie heet maximin.

Minimax

Bekijken we de keuze van de ander voor zijn strategie voordat ik gekozen heb, dan verandert er niets aan de uitkomst. Hij weet namelijk dat ik niet zal kiezen voor de rij met het laagste minimum voor mij, wat voor hem het hoogste maximum zal zijn. Hij weet dat ik zal kiezen voor de rij met het hoogste minimum. Het meeste wat hij uit deze rij kan slepen is zijn laagste maximum, zijn strategie heet dus minimax.

Zadelpunt

In het bovenstaande tabelspel vallen de maximin en de minimax samen. Dit heet een zadelpunt. Stel je bijvoorbeeld een landschap voor dat beide spelers moeten oversteken, waarbij de ene zo hoog mogelijk wil lopen en de ander juist zo laag mogelijk wil blijven. De routes van beide spelers zullen eenmaal elkaar kruisen, namelijk op een bergpas. Von Neumann en Morgenstern toonden aan dat als een spel een zadelpunt heeft, dit zadelpunt de rationele oplossing van het spel is. Dit wil niet zeggen dat beide spelers tevreden zijn. Het kan zo zijn dat het spel zo is vormgegeven dat het voordelig is voor de beginner (wit begint bij schaken en heeft dus het initiatief) en dat de ander dus minder kan afdwingen. Wantrouwen en hebzucht (wil om te winnen) zorgen ervoor dat de spelers geen gekke zetten doen. De enige wijze om een beter resultaat te bereiken is met behulp van de ander. Daar kan echter niet vanuit gegaan worden want die ander zorgt alleen voor zijn eigen hachje.

2.8 Gemengde strategieën

Er is een probleem met de zadelpunten en dus met de rationele uitkomsten van spelen. Sommige spelen hebben namelijk geen zadelpunten. In deze spelen is er dus geen beste strategie voor een enkelvoudig spel[18]. Als er vanuit gegaan wordt dat je het spel meerdere keren speelt, dan kan wel een winnende strategie bedacht worden. Dit is een metastrategie. Die geeft aan hoe je de enkelvoudige strategieën moet afwisselen om

[18] Een spel als Roshambo met één ronde (en zelfs één keuze) is een enkelvoudig spel. Roshambo kan je ook spelen in een setje van bijvoorbeeld vijf rondes. Dan is er sprake van een meervoudig spel. De strategie bij een enkelvoudig spel noemen we een enkelvoudige strategie.

een beste uitkomst te krijgen voor de serie spelen. Een voorbeeld van een spel zonder zadelpunt is roshambo, waarbij spelers gelijktijdig kiezen. Als je weet wat de strategie van de tegenstander is, dan kan je je eigen strategie zo aanpassen dat je altijd wint. De ander weet dit echter ook en zal dus ook zijn strategie laten bestaan uit het random afwisselen van de keuze voor rock, scissors of paper. Deze strategieën heten gemengde strategieën. De gemiddelde opbrengst van de gemengde strategie t.o.v. alle andere strategieën is 0.

ik ander	rock	scissors	paper	Random
Rock	0 0	+1 -1	-1 +1	0 0
Scissors	-1 +1	0 0	+1 -1	0 0
Paper	+1 -1	-1 +1	0 0	0 0
Random	0 0	0 0	0 0	0 0

Tabel roshambo met gemengde strategie

Met de toevoeging van de gemengde strategieën is er wel een zadelpunt ontstaan. Random voor de één is namelijk zijn maximin (0 is meer dan –1) en voor de ander zijn minimax (0 is minder dan +1). Random tegen random is dus een zadelpunt.
Het is voor mensen moeilijk om echt random te spelen. De poging te achterhalen hoe de ander in elkaar steekt maakt het leuk om het spel te spelen, omdat er dan een mogelijkheid tot winnen is. Het misleid worden door de ander die daar vervolgens van profiteert kan echter op de achtergrond liggen. Ook dat aspect maakt het leuk om spelletjes te spelen.

Beschrijving gemengde strategie wijds toepasbaar
Gemengde strategieën komen overal voor. Het werpen van ballen bij honkbal en het bluffen bij het spelen van poker zijn hier enkele voorbeelden van. Maar niet alleen in spelletjes is de speltheorie toepasbaar. Het voorkomen van het gen dat sikkelcelanemie, een zeldzame vorm van bloedarmoede, veroorzaakt kan ook beschreven worden met behulp van het speltheoretische concept gemengde strategie[19]. Deze ziekte wordt veroorzaakt door de gelijktijdige aanwezigheid van twee zeldzame genen. Bij de aanwezigheid van slechts één gen heeft de drager een toegenomen weerstand. Zeer zelden komt de desastreuze combinatie van twee dezelfde genen voor. Biologen maken dus gebruik van de speltheorie om te beschrijven waarom deze genen voorkomen. Ook sociologen en economen maken gebruik van de speltheorie omdat deze een zeer goed instrumentarium aanlevert om situaties precies te beschrijven.

2.9 Nash-equilibrium

Het Nash-equilibrium is een evenwichtspunt waarbij de spelers, ongeacht wat de anderen gedaan hebben, geen betere keuze konden maken.

[19] Natuurlijke selectie moet hier niet gezien worden als rationeel gedrag van Moeder Natuur. Natuurlijke selectie is een statistisch proces dat de dynamiek naar stabielere situaties beschrijft.

Nash, een Amerikaanse wiskundige, heeft de studie naar equilibria uitgebreid voor non-zero sum spelen. Het belang van deze uitbreiding is van dermate grote invloed geweest dat John Nash hiervoor in 1994 de Nobelprijs voor de economie heeft ontvangen. In de non-zero sum spelen zijn de belangen van de beide spelers niet volledig tegenovergesteld. Ze kunnen ook aan een gemeenschappelijk doel werken. Toch is het in deze spelen vaak lastiger om rationele oplossingen te vinden voor een spel. Nash evenwichtpunten zijn de punten waar beide spelers geen spijt hebben van hun keuze. Speltheoretisch wordt een Nash equilibrium gedefinieerd als een strategiepaar (s,t) waarbij speler1 in s een optimale respons heeft op strategie t en speler2 gelijktijdig met t een optimale respons heeft op strategie s. Een voorbeeld is het volgende spel met de bijbehorende tabel:

A B	B Strategie 1	B Strategie 2
A Strategie 1,	1 100	0 1
A Strategie 2	2 0	5 2

Beide spelers kiezen voor strategie 2. Dit is het Nash-equilibrium. Beide spelers zouden, gegeven de strategie van de ander, niet voor een andere strategie gekozen hebben. A kiest altijd voor zijn strategie 2. B weet dit en kan de opbrengst van 100 dus nooit halen. Het beste wat hij kan doen is strategie 2 kiezen. Beider strategieën zijn dus een optimale respons op de strategie van de ander. Een Nash-equilibrium is bereikt.
Nash toonde aan dat elk eindig tweepersoons non-zero sum spel een Nash equilibrium bezit. Dit is een belangrijke uitbreiding van het minimax theorema. In het bovenstaande voorbeeld ziet het equilibriumpunt er goed en rationeel uit. Sommige spelen echter hebben equilibriumpunten die irrationeel lijken. Zoals genoemd in de inleiding is het prisoners dilemma bedacht om deze tegenintuïtieve equilibriumpunten nader te onderzoeken. Meer duidelijkheid over waarom rationeel spelen soms dom is, zal ontstaan na de uitleg van de concepten dominantie en iteratief redeneren. Beiden worden gebruikt om Nash-equilibria vast te stellen.

2.10 Dominantie, iteratief redeneren en de theory-of-mind: waarom rationeel spelen soms dom is.

Deze paragraaf is gestoeld op hoofdstuk 5 uit *Behavioral game theory* van Colin F. Camerer[20]. Dominantie, iteratief[21] redeneren en de theory-of-mind komen in deze paragraaf aan bod.

Dominantie is het meest basale principe in beslissen. Door dominantie herhaald toe te passen kan een winnende strategie gevonden worden. Dit herhaald toepassen is een voorbeeld van iteratief redeneren. Iteratief redeneren is voor deze scriptie om twee

[20] Camerer, C. F. (2003). *Behavioral game theory. Princeton*, New Jersey: Princeton University Press.
[21] Iteratief betekent herhaald.

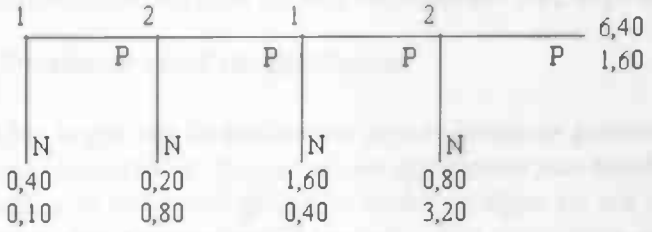
redenen belangrijk. Ten eerste volgt uit iteratief redeneren en beperkte rationaliteit waarom mensen niet in staat zijn optimale keuzes te maken. Ten tweede leidt het iteratief redeneren bij bepaalde spelen, zoals het prisoners dilemma, tot een verlaagde opbrengst. Laat mij eerst het begrip dominantie definiëren: **Strategie A *domineert strikt* strategie B als de pay-off bij de keuze voor A hoger is dan de pay-off bij de keuze voor B ongeacht de keuze qua strategie van de andere spelers**[22].
Als men aanneemt dat andere spelers gehoorzamen aan de dominantie, kan een speler een conservatieve gok doen met betrekking tot het gedrag van anderen. Op basis van deze aanname kan een speler concluderen dat bepaalde pay-offs van niet gedomineerde strategieën nooit behaald zullen worden, omdat deze alleen voor zouden komen als de andere speler tegen de dominantie in zou gaan. Deze inferentie kan een ongedomineerde strategie gedomineerd maken. Hierdoor kan dominantie herhaaldelijk toegepast worden. Elimineer eerst de gedomineerde strategieën van alle spelers, controleer dan of deze eerste ronde van eliminaties bepaalde andere strategieën gedomineerd maakt en elimineer deze vervolgens in de tweede ronde, enzovoorts. Spelen waarin dit proces van iteratief gedomineerde strategieën verwijderen tot een unieke oplossing leidt, heten dominantie oplosbaar. De oplossing die hiermee uiteindelijk bereikt wordt, is een Nash-equilibrium.

Theory-of-mind
Dit rekening houden met de gedachten die de ander kan hebben, wordt beschreven met de theory-of-mind en is niet zo gemakkelijk als het misschien lijkt in het bovenstaande. De theory-of-mind[23] (TOM) beschrijft het mentale niveau dat je aan de ander toedicht. Een speler met een nulde orde TOM houdt geen enkele rekening met de redenering van de ander, slechts met de eigen keuzen. Hij is dus niet in staat om eigen gedomineerde strategieën te onderkennen, alleen de gedomineerde strategieën van de ander zijn te herkennen. Een speler met een eerste orde TOM houdt bij zijn redenering rekening met de andere speler. Hij dicht de ander hierbij een nulde orde redenering toe. Hij kan dan dus eigen gedomineerde strategieën elimineren. Om een definitieve oplossing te bereiken (Nash-equilibrium) dient soms een zeer hoge orde TOM gehanteerd te worden. Een voorbeeld van een door dominantie en iteratief redeneren oplosbaar spel is het duizendpootspel.

Het duizendpootspel
Een voorbeeld van een spel waarin iteratief redeneren grote gevolgen heeft is het door McKelvey en Palfrey bestudeerde duizendpootspel[24]. In het duizendpootspel kan een speler kiezen voor 80% nemen van de pot (N van nemen), of voor passeren van de pot die dan verdubbeld en naar de ander gaat (P van passeren). Het gemeenschappelijke gewin bij doorgeven is zeer groot. Figuur 2.11 toont de boomstructuur van het door McKelvey en Palfrey bestudeerde duizendpootspel.

---

[22] Eigen vertaling van Camerer blz 199.
[23] Coleman, A. M., 2003, *Depth of strategic reasoning in games*, verschenen in *TRENDS in Cognitive Sciences*, Vol. 7 No.1 January 2003 p 2 - 4.
[24] Eigen vertaling van *centipede game*, te vinden in Camerer blz. 218



Figuur 2.11 Het duizendpootspel met vier zetten en een beginpot van 50 cent, gebaseerd op McKelvey en Palfrey (1992)

Als elke zet doorgegeven wordt kunnen de spelers $ 8,- verdelen. Maar achterwaartse inductie suggereert dat die opbrengst niet gehaald wordt. Speler 2 heeft de laatste zet geen belang bij doorgeven, het spel is daarna afgelopen en hij halveert met doorgeven zijn opbrengst. Doorgeven op dat punt is in strijd met dominantie. Voor speler 1 is het dus niet zinvol om door te geven op de één na laatste knoop, enzovoorts tot aan het begin: spelers zullen op elke knoop nemen. Als je echter aanneemt dat de andere spelers beperkt diep kan denken is het niet slim om direct te nemen. Als je weet dat de ander de volgende knoop niet zal nemen omdat hij niet diep genoeg redeneert, is het veel beter om wel door te geven. De rationele wijze van spelen is dan dus dom, beter is een niveau dieper te denken dan je medespeler. Ook uit experimenten blijkt dat mensen niet rationeel spelen.

Door mens gebruikte orde TOM[25] *experimenteel vastgesteld*

Met het duizendpootspel is onderzoek gedaan naar iteratief redeneren en de TOM, omdat doorgeven op knoop *t* in strijd is met *5-t* stappen van iteratief redeneren en met een *4-t*-de orde TOM. Tijdens experimenten met proefpersonen nemen mensen bijna nooit in de eerste zetten, in tegenstelling tot wat het Nash-equilibrium en dus ook vier stappen iteratief redeneren voorspellen. Coleman citeert in zijn artikel[26] Hedden en Zhang[27] die met een duizendpootspel met drie knopen experimenten hebben gedaan. Zij hebben experimenteel gevonden dat: "*Players generally begin with first order reasoning. When pitted against first-order co-players, some began to use second-order reasoning, but even in the final block of our trials (out of 32), about 30% (in their Experiment 1) or 40% (in their Experiment 2) still manifested first-order reasoning. Against co-players who switched from zero-order to first-order reasoning at the halfway point, a modest but significant tendency was found, in both experiments, for players to switch from first-order to second-order predicting and choosing, and vice versa.*[28]" De diepte in de redeneringen die mensen hanteren is dus erg gering. Camerer vond vergelijkbare dieptes in de redeneringen. Ten minste 10 % van de spelers lijken 2 tot 4 niveaus van dominantie te gebruiken. De mediaan aan

[25] Stappen dominantie en ordes TOM komen overeen. Eén stap dominantie komt overeen met nulde orde TOM (komen beiden neer op alleen maximaliseren eigen belang met betrekking tot regels van het spel). Twee stappen dominantie komt overeen met eerste orde TOM (beiden houden rekening met de andere speler, maar dichten deze speler niet het vermogen toe om na te denken buiten henzelf (over de ander)).

[26] Coleman, A. M. (2003), pp. 2 - 4.

[27] Hedden, T. and Zhang, J. (2002), *What do you think I think you think? Strategic reasoning in matrix games*. Cognition 85, 1-36.

[28] Coleman, A. M. (2003), pp. 2 - 4.

gebruikte stappen van dominantie is twee[29]. Mensen lijken dus niet veel stappen diep na te denken. Hierop kom ik terug in paragraaf 2.12 *Beperkte rationaliteit*.

2.11 Problemen met de speltheorie

Sinds het begin van de speltheorie zijn er kritieken geweest. Deze bestonden grofweg uit twee typen kritiek: ten eerste zou speltheorie een Machiavellistische oefening zijn om oorlog of immoreel gedrag te rechtvaardigen en ten tweede zou speltheorie niet bruikbaar zijn in de werkelijke wereld. Dat speltheorie niet goed bruikbaar is in de werkelijke wereld hangt af van sociaal-culturele aspecten en de beperkte rationaliteit van mensen. De kritiek op de onbeperkte rationaliteit die de speltheorie veronderstelt is zo belangrijk dat de hele volgende paragraaf daaraan gewijd is. De andere kritieken beschrijf ik eerst.

Utiliteit en Machiavelli
Spelers in de speltheorie komen vaak over als lompe amorele egoïsten. Dit komt voort uit het feit dat speltheorie uitgaat van het abstracte begrip utiliteit[30]. In veel voorbeelden waarin dit concept wordt uitgelegd is getracht een zo duidelijk mogelijke correlatie tussen het te verdienen goed en utiliteit te krijgen, zoals situaties waarin geld verdiend wordt of jaren straf voorkomen moeten worden. Voor een amorele egoïst spelen er verder geen vertroebelende factoren die ook utiliteit kunnen generen, zoals het hebben van een zuiver geweten.
Aangezien het toekennen van utiliteit door spelers heel divers is en ieder mens zijn specifieke voorkeuren heeft, zijn voorbeelden uit de echte wereld, waarin recht gedaan wordt aan de voorkeuren van individuen, zelden te vinden in de speltheorie. Deze utiliteiten zijn echter wel nodig als men een rationele wijze van spelen wil bereiken of als men een gemengde strategie wil bepalen. Het vaststellen van de utiliteit blijkt dan ook veel lastiger dan het correct toepassen van de speltheorie zelf. In mijn beleving is dit concept utiliteit waarin de vertaling (en dus de zeggingskracht) van de speltheorie naar de echte wereld schuilt, niet zozeer een rem op de ontwikkeling van de speltheorie geweest. Het is eerder een bescherming geweest voor de speltheorie als beslissingsmodel voor menselijke beslissingen. Veel empirische situaties die het speltheoretische beslissingsmodel niet of verkeerd verklaard, worden namelijk niet aangemerkt als gebreken van het beslissingsmodel. Niet de theorie is incorrect, maar de utiliteitsfunctie die een operationalisering vormde voor de speltheorie wordt aangemerkt als niet kloppend. Tegenvoorbeelden en kritiek worden hiermee snel weggewimpeld.

Speltheorie en de werkelijke wereld
Dat speltheorie niet goed bruikbaar is in de werkelijke wereld hangt af van sociaal-culturele aspecten en beperkte rationaliteit. Zoals reeds genoemd zal de beperkte rationaliteit in de volgende paragraaf behandeld worden. Culturele aspecten die invloed hebben op de speltheorie zijn de competitieve aard van mensen en een taalspel.

---

[29] Camerer blz. 202. Dit lijkt in lijn met de 30% en 40% eerste orde TOM die Hedden en Zhang vonden bij hun experimenten.
[30] Voor een uitgebreide behandeling van utiliteit verwijs ik terug naar paragraaf 2.3. Deze behandelt utiliteit.

Een voorbeeld van culturele aspecten die invloed hebben op de speltheorie blijkt uit een onderzoek van Minas, Scodel, Marlowe en Rawson. In een onderzoek naar samenwerking tussen individuen gaven ze individuen de volgende pay-off matrix:

Eigen keuze / Anders keuze	Ander zwart	Ander rood
Ik zwart	4 c / 4c	1c / 3c
Ik rood	3c / 1c	0 / 0

De opbrengst is in centen, uit te betalen aan de proefpersonen. Woorden als spel, spelen, winnen en verliezen werden geschrapt uit de uitleg. In dit spel is zwart kiezen duidelijk de beste keuze. Als je voor rood kiest verlies je hoe dan ook centen. Toch bleken de testpersonen in 47% van de gevallen op de rode knop te drukken! Rood kiezen moet dus voortkomen uit een competitieve impuls. Als iedereen altijd samenwerkt, wordt het meest verdient, maar eindigt het spel in een gelijk spel. Gespeculeerd werd dat deze neiging richting zero sum spelen de competitieve aard van de samenleving reflecteert. In een situatie waarin echte opbrengsten op het spel staan zullen spelers eerder geneigd zijn hun windrang een lagere utiliteit te geven dan eigen gewin[31].

Taalspel
Naast de aard van de samenleving kan ook het begrip spel leiden tot bepaald gedrag. De betekenis van een woord ligt in het gebruik ervan[32]. Mensen leren spelletjes spelen met winnaars en verliezers zoals schaken, dammen, ganzenbord etc. Het woord spel wordt vaak bij competitieve spelen gebruikt, dus zou in mijn opzet een spraakverwarring kunnen optreden als een gevolg van het feit dat ik het heb over spelen van een spel. Hoewel benadrukt wordt dat het doel is zo veel mogelijk punten te verdienen en niet te winnen van de medespeler (model), kan het toch voorkomen dat de speler probeert het beter te doen dan het model. Zoals genoemd wordt het concept spel voornamelijk gebruikt in de context waarin er winnaars en verliezers zijn.

2.12 Beperkte Rationaliteit

Verschillende vormen van beperkte rationaliteit
Eén van de grootste commentaren op de speltheorie is dat mensen niet voldoen aan de speltheoretische aanname van volledige rationaliteit. De "godfather" van beperkte rationaliteit is Herbert Simon (zie ook inleiding). Hij opperde de term *bounded rationality* in 1957 in het boek *Models of Man* waarin hij beweerde dat de mentale vermogens van een mens gelimiteerd zijn. De redeneringen die zouden moeten leiden tot optimale keuzes kunnen als een gevolg van de gelimiteerde mentale vermogens niet uitgevoerd worden.

---

[31] Als in het bovenstaande spel namelijk niet om centen, maar om veelvouden van honderdduizend dollar gespeeld wordt, dan doet winnen er niet meer toe en wordt er alleen maar zwart gekozen.
[32] Wittgenstein, L. (1953), *Philosophical investigations = Philosophische Untersuchungen*, translated by G.E.M. Anscombe, Oxford: Basil Blackwell, p. 43.

Simon was een prominent wetenschapper in zowel de psychologie, de economie als de kunstmatige intelligentie. Het begrip beperkte rationaliteit is door wetenschappers in al deze vakgebieden opgepakt, maar het is op verschillende manieren geïnterpreteerd. Als er over beperkte rationaliteit gesproken wordt, is het dus van belang om vast te stellen over welke soort het gaat. Ik onderscheid drie soorten beperkte rationaliteit:

1. De fysische beperking: onvoorspelbaar zijn van de toekomst.
2. Beperkingen van het rekenkundige model: optimalisatie onder beperkingen.
3. Beschrijven van de menselijke geest: psychologische modellen.

De fysische beperking: onvoorspelbaar zijn van de toekomst

De eerste en lichtste beperking die aangegeven wordt in rationaliteit is het onvoorspelbaar zijn van de toekomst. Bij volledige rationaliteit zou alles uitgerekend kunnen worden en dus de toekomst voorspeld kunnen worden. Dit gaat voor economen in ieder geval wat te ver. Het volledig rationele model ondergaat een aanpassing en rationaliteit wordt beperkt genoemd: het nu beperkt rationele model kan de toekomst namelijk niet voorspellen. Gelukkig helpen de natuurwetenschappen dit vermoeden te onderbouwen met een fysische beperking. De computer die nodig is om de toekomst van het hele heelal te berekenen zal groter zijn dan het heelal zelf.

Deze vorm van begrensde rationaliteit vind ik naïef. Het gelijk geven van critici op onbegrensde rationaliteit door te zeggen dat de toekomst onvoorspelbaar is, gaat voorbij aan de kern van het commentaar op onbegrensde rationaliteit, namelijk dat mensen beperkte mentale vermogens hebben. Tevens duidt de onvoorziene consequentie van volledige rationaliteit (dat je de toekomst kunt voorspellen) erop dat deze invulling van rationaliteit erg krachtig en ver van menslijk is. De kleine aanpassing maakt het niet plotseling een veel beter model voor hoe mensen beslissen.

Beperkingen van het rekenkundige model: optimalisatie onder beperkingen[33]

Een tweede vorm van beperkte rationaliteit is de optimalisatie onder beperkingen. Deze vorm van beperkte rationaliteit gaat uit van een beperking op het verkrijgen van informatie die gebruikt wordt voor het maken van een beslissing. Zoeken naar relevante informatie is veelal een externe aangelegenheid. Doordat beslissers een beperkte hoeveelheid tijd, kennis, aandacht of geld beschikbaar hebben om te spenderen aan een beslissing, is het zoeken gelimiteerd[34]. Optimalisatie onder beperkingen gaat ervan uit dat de menselijke geest tijdens het zoeken een kosten baten analyse uitvoert. Op het moment dat de verwachte opbrengst van de nog te vinden informatie minder is dan de kosten die gemaakt worden tijdens dit zoeken, wordt het zoeken gestaakt.

Ook deze vorm van beperkte rationaliteit scoort in mijn ogen slecht. Voor de analyse of het verder zoeken naar informatie zinvol is, is het namelijk nodig dat de waarde van de te ontdekken informatie bekend is. Om deze waarde vast te stellen is of een vorm van alwetendheid nodig of een analyse van de gehele wereld volgens een onbeperkte rationele methode. Spijtig genoeg was het juist het doel van de optimalisatie onder beperkingen om deze analyse te vermijden. De optimalisatie onder beperkingen is dus niet beter dan de onbeperkte rationaliteit. Het typische aan deze beperking op rationaliteit is dat het niet uitgaat van hoe de mens beslissingen maakt. Uitgangspunt is nog steeds om op een exacte manier tot een optimale uitkomst te

---

[33] *optimalisatie onder beperkingen* is een vertaling van *optimization under constraints*

[34] De onzekerheidsrelatie van Heisenberg geeft aan dat er een fysische grens bestaat voor het inwinnen van informatie. Het is dus fysisch onmogelijk om alle informatie in te winnen.

komen. Niet de kracht van door de menselijke geest gehanteerde mechanismen in haar omgeving, maar de kracht van wiskundige technieken en computers staat centraal.
Beide nu genoemde beperkingen zijn ingegeven door de consequenties van het volledig rationele model. Deze consequenties gaan te ver (zoals bijv. het kunnen voorspellen van de toekomst) en geven aan dat het rationele model te krachtig is. In plaats van de exacte, hyperrationele kern aan te passen, worden op deze rationele kern beperkingen geplaatst die hem in toom moeten houden. Op deze wijze menselijk beslissen benaderen, is in mijn ogen niet sterk. Het uitgangspunt, dat op een exacte optimale manier menselijk beslissen beschreven kan worden, is volgens mij te ver van de werkelijkheid om door middel van aanpassingen tot een goede beschrijving van de werkelijkheid te komen. Proberen een uitgangspunt te vinden van waaruit voorspellingen bij benadering kloppen, lijkt mij een betere methode. Deze methode leidt tot de derde vorm van beperkte rationaliteit.

Beschrijven van de menselijke geest: psychologische modellen
Een derde vorm van beperkte rationaliteit is te vinden in psychologische modellen. Deze modellen proberen de structuur en mogelijkheden van het menselijke redeneren te beschrijven. Vanuit de beschrijving van wat een mens wel kan, volgt ook wat niet mogelijk is. In plaats van een goddelijke denker te voorzien van steeds meer beperkingen teneinde zo de beschrijving van een mens te bereiken, proberen deze modellen de menselijke geest juist functioneel te beschrijven. De complexiteit van de menselijke geest is veel te groot om één model voor het gehele menselijke redeneren te maken. Daarom vallen de modellen uiteen in twee soorten modellen: modellen van een specifiek aspect van het menselijke denken en modellen die het menselijke denken globaal beschrijven[35]. Voorbeelden van modellen die specifieke aspecten van het menselijke redeneren beschrijven zijn het geheugenmodel van Tulving[36] en de means-ends-heuristiek voor probleemoplossen[37]. Een voorbeeld van een model dat een globale beschrijving geeft van menselijke cognitie is de EPIC architectuur[38]. Dat het gemaakte onderscheid kunstmatig is blijkt uit het voorbeeld van een psychologisch model dat beschrijft hoe mensen van sterke werkwoorden de verleden tijd leren zonder feedback te krijgen[39]. Dit model beschrijft een zeer klein aspect van de menselijke mentale vermogens, maar is gevat in de ACT-R architectuur[40], dat het menselijke denken globaal beschrijft.

---

[35] Een belangrijke groep van de globale modellen voor menselijke denken zijn de architecturen voor intelligentie. Deze zijn voortgekomen uit Newell's idee dat naast de diversificatie in psychologisch onderzoek er ook unificatie nodig was om een beter beeld van menselijke cognitie te krijgen. Bron: Newell, A., (1973). *You can't play 20 questions with nature and win.* In W.G. Chase (ed.), *Visual Information Processing*, New York: Academic Press.

[36] Tulving, E., (1972). *Episodic and semantic memory.* In E. Tulving & W. Donaldson (Eds.) *Organization of memory.* New York: Academic Press.

[37] Newell, A. and Simon, H. (1963). GPS: *A program that simulates human thought.* In *Computers and Thought*, ed. Feigenbaum and Feldman. McGraw-Hill, New York.

[38] Kieras, D. E., & Meyer, D. E. (1997). *An overview of the EPIC architecture for cognition and performance with application to human-computer interaction.* In *Human-Computer Interaction*, 12(4), pp. 391-438.

[39] Taatgen, N A , Anderson, J.R., *Why do children learn to say "broke"?, A model of learning the past tense without feedback.* In: *Cognition, 86 (2)*, 2002, pp. 123-155

[40] De ACT-R architectuur is een globaal model voor het menselijke denken. Het is goed beschreven in: Anderson, J.R. & Lebiere, C. (1998). *The atomic components of thought.* Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Kern van al deze modellen is dat ze vanuit een zelfde methode de menselijke cognitie proberen te beschrijven. Deze methode houdt in dat psychologisch onderzoek het primaire middel is om meer te weten te komen over de menselijke cognitie. De twee verschillende architecturen voor intelligentie illustreren dat er concurrerende modellen bestaan. Allemaal vallen ze onder de noemer psychologische modellen en hanteren ze eenzelfde vorm van beperkte rationaliteit. Ook de snelle heuristieken en het herkenningsgebaseerde beslissingsmodel vallen onder de (beperkt rationele) psychologische modellen. De snelle heuristiekenmethode is een model voor een specifiek aspect van het menselijk redeneren, namelijk het redeneren bij beslissen. Het herkenningsgebaseerde beslissingsmodel beschrijft naast het menselijke beslissen (specifiek model) ook een beetje hoe de globale cognitie van een mens in elkaar steekt (globaal model). Zo zegt dit model ook iets over de spreiding van aandacht, perceptie, de werking van het geheugen, het opbouwen van ervaring en leren. Dit globale model is echter niet gestoeld op een bestaande architectuur voor intelligentie. Zowel de snelle heuristieken als het herkenningsgebaseerde beslissingsmodel heeft commentaar op het onbeperkt rationele speltheoretische beslissingsmodel. In het komende hoofdstuk zal ik beide modellen uitgebreid beschrijven.

2.13 Het speltheoretisch interpreteren van de wereld

Het is van belang om te kijken hoe we de speltheorie kunnen gebruiken om de wereld te interpreteren. Als voorbeeld zal ik ingaan op het concept zero sum spel. Bij een toepassing van dit concept op situaties in de wereld blijft van de exacte aard van de speltheorie weinig over. Dat mensen eenzelfde situatie zeer divers interpreteren kan namelijk niet voorkomen worden door gebruik te maken van de speltheorie. Dit probleem, dat de speltheorie er ondanks zijn exacte aard er niet in slaagt één ware interpretatie van een situatie op te leveren, staat ook centraal bij het prisoners dilemma. De visie dat de speltheorie voor oplossingen dient te zorgen, is mogelijk een misvatting. De kracht van de speltheorie ligt meer in haar vermogen om situaties zeer secuur te beschrijven waardoor een preciezere analyse mogelijk is.

Zero sum spelen in de praktijk?

Er bestaan twee visies op de vraag of de meeste menselijke interacties te kwalificeren zijn als zero sum spelen. De eerste visie gaat uit van win-win situaties. Een transactie vindt plaats omdat beide partijen het idee hebben dat ze er beter op worden. De economische groei van de één genereert economische groei bij de ander en wordt niet betaald door de ander. Deze visie stoelt sterk op het idee dat er maatschappelijke vooruitgang geboekt wordt en dat de wereld beter wordt. De explosief toegenomen welvaart en levensverwachting in de 20e eeuw gelden als voorbeelden van deze visie. Deze gedacht vindt zijn oorsprong in en wordt soms vereenzelvigd met het moderne rationalisme.

De tweede visie getuigt van ietwat meer twijfel. Deze visie acht het minder waarschijnlijk dat er gratis lunches bestaan en dat wat één iemand wint niet door iemand anders verloren wordt. Zo verwoordt de SP cynisch wat zij denkt van dit geloof in economische groei: geld jongt niet[41]. Deze visie denkt dat de economische vooruitgang van de westerse wereld voor een groot deel gecompenseerd wordt door economisch verlies in de derde wereld. Ook spelen er naast economische groei andere ontwikkelingen: verlies is er voor het milieu en de samenleving in de vorm van

[41] Jan Marijnissen, 18 augustus 2000, *Geldwolven*, Column in *De Tribune* jaargang 36 nr. 8

toegenomen geweld, hogere werkdruk en minder sociale cohesie. Het voorbeeld van de Amerikaanse samenleving waar sinds 1970 alleen de rijkste 20% van de bevolking van de toegenomen welvaart heeft geprofiteerd, waar 10% van de werkende bevolking onder de armoedegrens leeft en geweld aan de orde van de dag is, bevestigen het idee dat er sprake is van een zero sum game: winst in de ene hoek wordt teniet gedaan door een verlies in de andere hoek. Deze zero sum visie heeft dus vaak een kritische houding ten opzichte van wat de modern rationalisme visie allemaal als positief of als groei kenmerkt. Door een andere visie op de wereld aan te hangen worden maatschappelijke ontwikkelingen anders gewaardeerd en komt er een ander beeld van groei naar voren. Onder deze laag van twijfel overheerst binnen de westerse wereld toch een geloof in een maakbare en dus verbeterbare samenleving. In landen als Rusland, de Ivoorkust en Soedan heerst een minder sterke overtuiging in de positieve ontwikkeling van de samenleving. De historische achtergrond van jarenlange achteruitgang en verval bieden daar geen aanknopingpunten om in vooruitgang te geloven.
Ook onder westerse denkers is er sterke twijfel bij het geloof in een maakbare samenleving te vinden. Nicola Chiaromonte[42] betitelde het heersende geloof in de vooruitgang als een wangeloof. Vanaf de Franse revolutie wordt de westerse samenleving gedomineerd door de overtuiging dat de mensheid volledige controle kan hebben over de gang van de geschiedenis en dat daarom de ideale maatschappij verwezenlijkt kan worden. Maar de paradox is dat alle pogingen om deze maatschappij te realiseren, telkens weer uitmondden in verraad van idealen zoals uit de eerste wereldoorlog gebleken is. Vandaar dat Chiaromonte zich nooit heeft willen voegen naar het adagium 'het doel heiligt de middelen'.
Persoonlijk vind ik de laatste visie erg cynisch. Ik heb het idee dat de mens in staat is de wereld te verbeteren. Wel ben ik van mening dat bij het vaststellen van een verbetering, ook elementen buiten de economie zoals kunst, veiligheid en sociale cohesie in de maatschappij meegenomen moeten worden. De non-commutativiteit[43] van de verschillende onderdelen maakt de analyse van vooruitgang moeilijk. Wel heb ik het idee dat mijn geloof in vooruitgang het gevolg is van de cultuur en de geschiedenis van het land waarin ik verkeer. Veel menselijke situaties zijn in mijn optiek dus te beschouwen als non-zero sum spelen.

2.14 Een resumé van de paragrafen over de speltheorie

Centraal in de speltheorie staat het idee dat een grondige rationele analyse het vinden van een wenselijke oplossing van een spel mogelijk maakt. De speltheorie is een relatief jonge wetenschap, maar wel een die zeer veel invloed heeft in andere wetenschapsgebieden. Dit is niet verwonderlijk omdat speltheoretische concepten[44] een gestructureerde en precieze analyse van zeer veel verschillende situaties mogelijk maken. In de universele aard en wijdse toepasbaarheid van die concepten schuilt de kracht van de speltheorie: ze maken in zeer veel verschillende situaties een verdiepende en precieze analyse mogelijk, waardoor en beter inzicht ontstaat in

---

[42] Chiaromonte, Nicola, 1970 (1986, 2nd paperback edition), *The paradox of history*, London, Weidenfeld and Nicolson.
[43] Non-commutativiteit houdt in dat verschillende dingen niet in dezelfde eenheden uit te drukken zijn. Klassiek voorbeeld is het raadsel uit *Alice's Adventures in Wonderland*: hoeveel is een brood min een mes? Uit: Carroll, L. (1972). *The Annotated Alice: Alice's adventures in Wonderland and Throught the looking-glas*. Hardmondsworth Penguin Books.
[44] Denk bijvoorbeeld aan utiliteit, evenwicht, strategie, zero sum spel, minimax en maximin

situaties. Denk bijvoorbeeld aan de speltheoretische analyse van het gen dat sikkelcelanemie veroorzaakt. Deze analyse heeft biologen in staat gesteld te verklaren waarom een kwalijk gen toch in een populatie overleeft.
De abstracte wiskundige achtergrond van de speltheorie bepaalt dus voor een groot deel het succes van de speltheorie. Tegelijkertijd brengt die achtergrond echter manco's met zich mee. Zo vormt de wiskundige grondslag een belemmering voor sommige wetenschappers. Daarnaast zijn er nog twee typen commentaren: het eerste commentaar is dat de speltheorie een verkeerd axioma aanneemt, namelijk dat mensen onbeperkt rationeel zijn. Het tweede commentaar is gericht op de experimentele (laboratorium)setting die de speltheorie doorgaans hanteert. Deze setting leidt namelijk tot rationele resultaten.
In het nu volgende, tweede deel van dit hoofdstuk behandel ik het prisoners dilemma meer uitgebreid.

Het prisoners dilemma

Mensen zijn irrationeel. RAND onderzoeker Merril Flood was niet de eerste die dat concludeerde. Hij was wel één van de eersten die een studie deed naar irrationaliteit aan de hand van de speltheorie. Vanaf 1949 onderzocht Flood interessante spelletjes, dilemma's en onderhandelingssituaties uit het dagelijkse leven. In het RAND research memorandum "*Some experimental games*"[45] beschrijft Flood drie van deze onderzoeken. Het derde onderzoek dat Flood "*A non-cooperative pair*" noemde, was het meest invloedrijke en is de eerste wetenschappelijke discussie van het prisoners dilemma. Dit experiment had nog niet de begrijpelijke vorm die door naamgever Albert Tucker aan het dilemma gegeven is.

2.15 De ontdekking van het PD: het experiment van Flood en Dresher

Flood en Dresher vonden de Nash-equilibria soms onbevredigend. Bij een Nash-equilibrium hadden beiden achteraf geen spijt, gegeven de uiteindelijke keuze van de ander. Een simpel spel werd ontwikkeld dat moest uitwijzen of spelers vanuit zichzelf geneigd waren voor het Nash-equilibrium te kiezen.
Om te onderzoeken of mensen vanuit zichzelf kozen voor het Nash-equilibrium, bedachten Flood en Dresher een spel dat mensen in de verleiding moest brengen om daar niet voor te kiezen. Het spel dat zij hun proefpersonen Armen Alchian en John Williams voorlegden bestond slechts uit een tabelweergave:

	JW's strategie 1	JW's strategie 2
AA's strategie 1,	½ c 1c	-1 c 2c
AA's strategie 2	1c -1c	0c 1/2 c

[45] Flood, M. M. (1952). *Some Experimental Games*, Research Memorandum RM-789, RAND Corporation, June.

De verschillende getallen zijn gekozen om de equilibriumpunten te verhullen. Toch is het een prisoners dilemma. De voorkeur van de vier mogelijke uitkomsten bepaalt namelijk of een dilemma een prisoners dilemma is. Hierdoor voldoen veel situaties aan de eisen van een PD. Straks ga ik dieper op in de structuur van het prisoners dilemma.
In het experiment van Flood en Dresher speelden de beide spelers het spel honderd keer achter elkaar. Dit was van te voren algemeen bekend gemaakt[46]. Beide spelers zijn beter af als ze hun strategie 2 kiezen. Maar als ze beiden hun betere strategie 2 kiezen doen ze het relatief slecht. Ze hadden dan beter allebei strategie 1 kunnen kiezen. Volgens Nash zou de uitkomst van het spel zijn dat beide spelers hun strategie 2 spelen. Uit het experiment volgde echter geen bewijs dat mensen geneigd zijn het Nash-equilibrium te kiezen. Het tegenovergestelde was juist het geval. Alchian koos zijn strategie 1 wel 68 maal, Williams koos zijn strategie 1 zelfs 78 maal. Het experiment heeft ook de commentaren van de spelers na hun keuze, voordat de keuze van de ander duidelijk is, vastgelegd. Williams zag vanaf het begin in dat beide spelers moesten samenwerken om hun opbrengsten te maximaliseren. Alchian dacht aanvankelijk dat beide spelers elkaar zouden bedriegen. Later in het spel gaat Alchian samenwerken, maar bedriegt hij ook zo af en toe. Dit om het verschil in opbrengst meer gelijk te trekken. Williams reageerde hier steevast op door af te straffen, oftewel hij bedroog Alchian in de beurt erna. Wederzijdse samenwerking was de meest gangbare uitkomst. Wederzijds bedriegen kwam maar 14 op de 100 keer voor. Nash gaf als commentaar dat het herhalen van het spel niet hetzelfde is als het enkelvoudig uitvoeren ervan en dat er tussen de zetten informatieoverdracht plaatsvindt. Dit commentaar klopt, maar volgens een analyse van het veel-zetten superspel is 100 maal wederzijds bedrog het Nash-equilibrium. In dit voorbeeld werd er niet 100 maal bedrogen.

Structuur van het PD
De impact van het PD kwam pas toen de wiskunde Albert Tucker het bovenstaande spel voorzag van een verhaal en hiermee ook een naam: het prisoners dilemma (zie inleiding). Bij dit verhaal hoorde een hele andere pay-off matrix. Toch zorgen de voorkeuren in de verschillende uitkomsten ervoor dat beide een PD zijn. De vier uitkomsten in volgorde van aflopende wenselijkheid zijn: verleidingsopbrengst, beloningsopbrengst, strafopbrengst en sukkelopbrengst[47]. Voor de duidelijkheid herhaal ik hier nogmaals de tabel van Tuckers variant zodat duidelijk is welke uitkomsten welke titel dragen:

	B zwijgt	*B geeft belastende verklaring*
A zwijgt	1 jaar = beloningsopbrengst A *1 jaar = beloningsopbrengst B*	3 jaar= sukkelopbrengst A *0 jaar = verleidingopbrengst B*
A geeft belastende verklaring	0 jaar = verleidingopbrengst A *3 jaar= sukkelopbrengst B*	2 jaar = strafopbrengst A *2 jaar= strafopbrengst B*

[46] In de speltheorie en epistemische logica wordt dan gezegd dat de duur van het spel *common knowledge* is.
[47] verleidingsopbrengst =V, beloningsopbrengst =B, strafopbrengst =S en sukkelopbrengst =L (L van Loser).

In preferenties geldt dus dat:
$V > B > S > L$.
Bij een RPD geldt verder dat:
$((V+S)/2) < B$
Deze tweede eis zorgt ervoor dat de gemiddelde uitkomst van de sukkel- en verleidingsopbrengst minder is dan de uitkomst van de beloningsopbrengst. Dan is het niet aantrekkelijk om elkaar te bedriegen.
Deze samenstelling van opbrengsten zorgt voor een rare situatie. Ongeacht de keuze die gemaakt is maakt, vraagt de speler zich af of hij wel juist gekozen heeft. Duncan Luce en Howard Raiffa beschreven het in hun boek *Games and Decisions* in 1957 als volgt: "*The hopelessness that one feels in such a game as this cannot be overcome by a play on the words 'rational' and 'irrational'; it is inherent in the situation*[48]."

2.16 Mogelijke verantwoordingen bij een keuze

Voor zowel samenwerken als bedriegen valt een reden te verzinnen, geen van beide redeneringen is echter sluitend. Het PD is lastig omdat het in strijd is met het gezond verstand. Het argument voor bedriegen gaat als volgt. De keuze die ik doe staat los van de keuze van de ander. Bij beide keuzes van de ander, ben ik beter af als ik vernachel. Ik moet dus altijd kiezen voor bedriegen. Hier zit zelfs al een argument tegen voorstanders van samenwerken in. Als iedereen zo redeneert ben je misschien als samenleving slechter af. Maar mijn keuze beïnvloedde de keuze van de ander toch niet, dus als de ander ook bedroog ben ik blij dat ik niet voor samenwerken heb gekozen.
Het argument voor samenwerken is anders. De gedachte is dat beide personen in hetzelfde schuitje zitten. Het is onrealistisch om te verwachten dat je gebruik kan maken van de ander. Beide spelers moeten dus voor dezelfde strategie kiezen. De uitkomsten kunnen zijn: wederzijds samenwerken en wederzijds bedriegen. Beide prefereren wederzijds samenwerken dus ze moeten elk kiezen voor samenwerken. Dat deze redenering niet helemaal klopt is duidelijk. In werkelijkheid zijn ongelijke keuzes ook mogelijk. De ander kan proberen je te misbruiken.
Interessant is ook om te kijken naar wat perfect rationele spelers zouden doen. Ongeacht wat een logische speler prefereert qua uitkomst, is de vraag tot welke keuze de logica hem dwingt. De gemiddelde opbrengst is het hoogst voor wederzijdse samenwerking, daarna voor enkelvoudig bedriegen en het laagst voor wederzijds bedriegen. Op de lange termijn is wederzijds samenwerken dus het best. Dat wil echter niet zeggen dat dit ook geldt voor PD's met slechts één ronde. In PD's van slechts één ronde is het even moeilijk om samenwerken of bedriegen als logische keuze aan te geven. Flood en Dresher hoopten eerst dat iemand het dilemma zou oplossen. De oplossing kwam echter niet en Flood en Dresher en bijna alle speltheoretici geloven nu dat die er ook niet is. Het prisoners dilemma toont aan wat er verkeerd is aan de speltheorie en tevens aan de wereld in het geheel.

2.17 Prisoners dilemma's in de menselijke cultuur

Nadat het prisoners dilemma gekenmerkt werd als specifiek concept, werd duidelijk dat het een dilemma is waar de mensheid al in vele vormen mee in aanraking is

[48] Luce, R. D. & Raiffa, H. (1957), *Games and Decisions*, New York: Wiley.

gekomen. Het PD is een paradox die niet verzonnen, maar ontdekt is, zoals zuurstof ook ontdekt is. Reeds in het evangelie van Mattheus (70-80 A.D.) komt de gouden regel van Jezus voor: "Alles nu wat gij wilt, dat u de mensen doen, doet gij hun ook aldus: want dit is de wet en de profeten.[49]" Eerdere versies van deze basale gouden regel komen reeds voor in de geschriften van Plato (427-347 B.C.) en Confucius (551-479 B.C.). De regel slaat op PD-achtige situaties. Vergelijkbaar is de categorische imperatief van Kant, waarin hij concludeert dat ethisch gedrag universeel zou moeten zijn. In andere woorden, men dient zich bij eigen gedrag af te vragen wat er gebeurt als iedereen zich zo zou gedragen. Deze regels beschrijven niet zozeer het PD zelf, maar wel welke gedachten reeds geformuleerd zijn met betrekking tot de juiste strategie (gedraging) die iemand zou moeten hanteren in een PD. Situaties die wel voor een PD kunnen doorgaan komen voor in Hobbes *Leviathan*[50], Edgar Allan Poe's *The Mystery of Marie Roget*[51] en in Giacomo Puccini's opera *Tosca*[52].

2.18 Problemen bij het PD in de praktijk

Morton Davis heeft gezegd dat de gemiddelde persoon zich niet afvraagt wat hij zou doen, maar zich afvraagt hoe samenwerken gerechtvaardigd dient te worden[53]. In veel literatuur vertonen speltheoretici hetzelfde gedrag: ze bieden oplossingen en voorschriften. Zo is het schuldargument een reden om niet te bedriegen. Speltheoretisch is dit echter een drogreden omdat de utiliteitsfunctie aangepast wordt waardoor er geen sprake meer is van een PD. De beloning van de verleidingsopbrengst wordt namelijk naar beneden bijgesteld, waardoor wederzijdse samenwerking opeens geprefereerd wordt boven de verleidingsopbrengst. Het begrip utiliteit kan vaker complicerend werken. Wat nu als we de geldelijke opbrengsten vermenigvuldigen met een miljoen. Hierdoor biedt de waarde van de verleidingsopbrengst geen verleiding meer, omdat wederzijds samenwerken ook al genoeg oplevert en ook utiliteit wordt toegekend aan het gunnen van een groot bedrag aan de ander. Met andere woorden wederom wordt wederzijds samenwerken geprefereerd boven eenzijdig bedriegen. Ook hier geldt dat de utiliteitsfunctie niet meer een één op één relatie heeft met de geldelijke opbrengst van de pay-off matrix.
Een andere redenering voor samenwerken is gestoeld op alle kennis die we hebben van het PD en lijkt op de categorische imperatief van Kant. Wetende dat er problemen ontstaan als er niet wordt samengewerkt, is het beter om per definitie samen te werken. Het is echter de vraag of iemand die niet meer naar de pay-off matrix hoeft te kijken omdat hij toch al weet dat hij gaat samenwerken, zich wel werkelijk in een dilemmasituatie bevindt. Sommige schrijvers suggereren dat communicatie de oplossing biedt. Dit brengt je echter wederom buiten het bereik van het PD. Het dilemma draait er immers om dat er niet een van te voren gesloten afdwingbare overeenkomst is.
De uitbetalingen in de tabellen van het PD zouden de netto preferenties van de speler moeten weergeven, inclusief schuld, een goed gevoel voor het helpen van anderen, de waarde van het vertonen van sociaal wenselijk gedrag en zelfs een soort van intellectuele voorkeur voor samenwerken. Slechts als de uitbetalingen in een specifieke volgorde qua voorkeur staan, is er sprake van een echt PD. Zoals ik al

---

[49] Mattheus 7:12, Nederlands Bijbelgenootschap-vertaling, 1951.
[50] Hobbes, Th. (1651), *Leviathan*.
[51] Edgar Allan Poe (1842), *The mystery of Marie Roget*.
[52] Giacomo Puccini, *Tosca*, 1900
[53] Poundstone, W. (1992). *Prisoner's Dilemma*. New York, New York: Doubleday

aangaf in de paragraven 1.2 en 1.3, kent het PD kent ook een herhaalde variant met zeer veel ronden achter elkaar, het herhaalde prisoners dilemma.

2.19 Het herhaalde prisoners dilemma (RPD)

Het herhalen van het prisoners dilemma maakt een groot verschil met het slechts eenmaal uitgevoerde prisoners dilemma. De kans dat een bedrogen partner zin heeft om nogmaals samen te werken is klein. Op de lange termijn lijkt het veel gunstiger om samen te werken. Immers, wie blijft er nog samen werken als de ander steeds bedriegt. Verder is het duidelijk dat wederzijds samenwerken een betere uitkomst is dan wederzijds elkaar bedriegen, de situatie die makkelijk het gevolg kan zijn van het meermalen bedriegen van de ander. Toch zit ook hier een adder onder het gras.

2.19.1 Terugredeneer paradox (Achterwaartse inductie paradox)

De terugredeneer paradox stoelt op het algemeen bekend zijn van het totale aantal ronden dat gespeeld wordt. Voor de laatste ronde is het duidelijk dat je niet meer bestraft kan worden voor bedrog. Er is dan geen reden om over de toekomst van de relatie na te denken omdat erna geen toekomst meer is. Dit laatste spel is dus gelijk aan een enkel PD waarin wederzijds bedriegen het Nash-equilibrium is. Dan valt er namelijk altijd te verdienen met een bedrog. Maar als in de laatste ronde er een wederzijds bedrog gespeeld wordt, dan kan in de voorlaatste ronde ook zonder risico op afstraffen voor bedrog gekozen worden, sterker nog, dat moet gekozen worden omdat de ander hetzelfde zal verzinnen en ook zal bedriegen waardoor slechts een bedrog nog iets oplevert. Als we via deze achterwaartse inductie doorredeneren zal zelfs de eerste zet bedrog moeten zijn. Deze uitkomst wordt zo vreemd gevonden dat het een paradox genoemd wordt. Minder rationele spelers die minder diep nadenken komen namelijk niet vast te zitten in een herhaaldelijk wederzijds bedriegen en doen het dus samen veel beter. Colin Camerer betitelt het PD daarom als een spel waarbij verder redeneren de opbrengst vermindert.
Het vreemde aan deze redenering is wel dat als de spelers niet weten wanneer de laatste ronde is, ze niet kunnen terugredeneren en dus vanuit onwetendheid wederzijds zullen blijven samenwerken.

Hoewel deze achterwaartse redenering wel valide lijkt, is het geen goed advies om zo te spelen. Volgens Von Neumann's speltheorie denkt een speler het hele spel door voordat de eerste zet gemaakt wordt en speelt dan vanaf het begin de volgens rationaliteit beste strategie. In de werkelijkheid komt het veel voor dat mensen er al spelende wel achter komen hoe het spel precies in elkaar steekt. In een spel zonder einde is het niet mogelijk een allesomvattende strategie te formuleren omdat je niet kunt achterhalen hoe je welke uitkomsten kunt bereiken. Vanwege de beperkte rationele vermogens is het voor mensen bij eindige spelen ook vaak onmogelijk om een allesomvattende strategie te bedenken. Het beste wat je dan kunt doen is een strategie gebruiken die een stukje in de toekomst kijkt. In de praktijk blijken schakers zo te spelen. Dit beperkt kunnen overzien van consequenties kan één van de redenen zijn waarom mensen die voornamelijk denken aan hun eigenbelang toch niet altijd hun schepen achter zich verbranden. Ze kunnen op een later moment immers iemand nogmaals tegen het lijf lopen. Het verschil tussen een deel van het spel overzien en het gehele spel overzien, is de kern van de paradox. Nash zag het Flood en Dresher experiment als een eindig spel met honderd zetten. Flood beschreef het als een

leerervaring. Er bestaat geen aantoonbaar bewijs dat de ene visie beter is dan de andere visie.

2.19.2 *Strategieën bij het herhaalde prisoners dilemma*

Axelrods round robin
De bekendste studie naar het herhaalde prisoners dilemma werd in 1980 uitgevoerd door Robert Axelrod[54]. Hij liet in een computertoernooi verschillende strategieën tegen elkaar spelen. Volgens Axelrod is "de schaduw van de toekomst" het verschil tussen een PD dat één ronde duurt en een herhaald PD. Op het moment dat buiten verdiensten in het heden ook mogelijke verdiensten in de toekomst een waarde vertegenwoordigen, is er sprake van een herhaald PD. Verschillende strategieën zijn dan mogelijk. Speltheoretici, psychologen, sociologen, economen en politicologen ontwierpen strategieën die in een computer tegen elkaar, tegen zichzelf en tegen een random programma speelden. In elk spel werden 200 ronden gespeeld. De volgende pay-off tabel werd gehanteerd:

Eigen keuze Anders keuze	Ander werkt samen (C)	Ander bedriegt (D)
Ik werk samen (C)	3 punten 3 punten	0 punten 5 punten
Ik bedrieg (D)	5 punten 0 punten	1 punt 1 punt

Een redelijke score
De mogelijke opbrengst varieerde dus tussen de 0 en de 1000 punten. Dit interval is echter niet realistisch omdat uitgegaan wordt van een speler die moedwillig de ander helpt ten koste van zijn eigen gewin. Een realistische goede score zou in de buurt van de 600 punten moeten komen, het maximum dat te behalen is met elke ronde samenwerken. Een slechte score is een score die niet veel boven de 200 punten ligt. Dit is de score die een speler kan garanderen door altijd te bedriegen.

Responsieve en non-responsieve strategieën
Twee soorten strategieën zijn mogelijk, strategieën die niet met de tegenstander rekening houden (non-responsief) en strategieën die dat wel doen (responsief). Strategieën die niet met de tegenstander rekening houden zijn bijvoorbeeld altijd bedriegen, altijd samenwerken en random spelen. Deze lopen echter, omdat ze blind zijn voor het gedrag van de ander, grote kans geëxploiteerd te worden.

Tit-for-tat
De winnende strategie in het experiment van Axelrod was Anatol Rapoports tit-for-tat strategie. Deze strategie bestond na een keuze in de eerste ronde voor samenwerken, slechts uit het kopiëren van het gedrag van de ander in de vorige ronde. Tit-for-tat heeft drie eigenschappen die het een goede strategie maken. Ten eerste laat het zich niet exploiteren, het is te provoceren. Als er namelijk getracht wordt misbruik te

[54] Axelrod, R. (1984), *The Evolution of Cooperation*, Basic Books, New York

maken van de samenwerking, straft tit-for-tat de ander consequent als die voor bedrog kiest. Het tweede aspect dat van belang is, is het feit dat tit-for-tat vergevingsgezind is. In de strategie zit de bereidheid om weer samen te werken als de ander aanbiedt dat te willen. Deze twee aspecten waren reeds door de experts voorspeld: provoceerbaar en vergevingsgezind. Het derde aspect dat bepalend voor succes was, zorgde voor een verrassing: de eenvoud van tit-for-tat. Er zit een impliciete dreiging in tit-for-tat om terug te doen wat de ander hem aandoet. Niet alle strategieën waren in staat om deze dreiging op te merken. Maar door deze dreiging zo simpel mogelijk te maken, waren sommige strategieën wel in staat erop te reageren.

Geen toevallige winnaar

Om te testen of tit-for-tat niet slechts een toevallige winnaar was die het goed deed tegen de strategieën die de experts hadden verzonnen, werd er een tweede toernooi door Axelrod uitgeschreven waarin opgeroepen werd een strategie te verzinnen die van tit-for-tat zou winnen. Het feit dat ook deze door tit-for-tat werd gewonnen geeft aan dat het bij benadering optimaal is wanneer het gekoppeld wordt aan een zeer grote variëteit aan strategieën. Axelrod vond het opvallend dat tit-for-tat het toernooi won zonder exploitatie. Tit-for-tat won het toernooi terwijl het van niemand kan winnen in een directe confrontatie.

Tit-for-tats problemen

Er zijn een paar problemen met tit-for-tat. Het kan geen gebruik maken van niet responsieve strategieën. In het geval van een onresponsieve strategie is het altijd beter om te bedriegen. Bij altijd bedriegen treedt een goede aanpassing op, maar bij altijd coöperatie wordt er geen gebruik gemaakt van het onresponsieve karakter. Toch is dit niet een groot probleem, aangezien tit-for-tat de impliciet aanneemt dat de ander een goede score nastreeft. Van een random strategie weet tit-for-tat ook geen gebruik te maken.

Het lastigste probleem doet zich echter voor wanneer een tit-for-tat tegen een bijna tit-for-tat strategie speelt die een keer exploreert door bedrog te spelen. De twee strategieën komen dan in een deadlock terecht waarin ze om en om C-D en D-C spelen. Dit levert dan slechts 2.5 punten per ronde op in plaats van 3. In de werkelijkheid komen deze problemen ook voor. Zo zien we vaak dat twee strijdende partijen beide beweren dat ze slechts vergeldingsacties uitvoeren.

Het verzinnen van een strategie die het beter doet dan tit-for-tat is niet eenvoudig. Het exploreren van de strategie van de tegenstanders kost punten, behalve als het een non-responsief model is. Deze modellen komen echter zeer weinig voor. Hierdoor bleek het in Axelrods experiment gunstiger om tit-for-tat te spelen dan een explorerend tit-for-tat. Een mogelijkheid om een deadlock te voorkomen is door 90 procent tit-for-tat te spelen, waarin slechts in 90% van de gevallen een bestraffing volgt op een bedrog. Onder onzekere omstandigheden is dit een goede strategie.

Natuurlijke selectie en tit-for-tat

Het derde experiment dat Axelrod uitvoerde was een computerexperiment met natuurlijke selectie waarin de succesvolle strategieën een grotere kans hadden door te dringen tot volgende rondes. In dit experiment stierven strategieën als random snel uit. Tit-for-tat deed het goed, maar ook andere sterk exploiterende strategieën deden het goed. Na een aantal generaties liepen de exploiterende strategieën echter tegen een probleem aan omdat hun prooi uitgestorven was. Deze strategieën kwamen zo steeds minder frequent voor. Tit-for-tat was uiteindelijk de meest voorkomende strategie in

de populatie. Dit is het sterkste bewijs dat tit-for-tat een natuurlijk superieure strategie is. Ook in zeer ongunstige omgevingen kan het zo zijn dat tit-for-tat de dominerende strategie wordt. Als in een omgeving met overwegend alleen-maar-bedriegen strategieën (All-D strategieën) een aantal tit-for-tat strategieën voorkomen, zullen die, na één maal gebruikt te zijn door elke All-D strategie, niet meer geëxploiteerd worden. Met de andere tit-for-tat strategieën weten ze echter het significant beter te doen dan de All-D strategieën waardoor de populatie tit-for-tat na een kleine inzinking groei zal vertonen en de vijandige omgeving zal gaan verdringen.

Tit-for-tat in de natuur
De beschreven experimenten hebben biologen aangezet om te bekijken of het gedrag van dieren overeenkomt met de tit-for-tat strategie. Manfred Milinsky onderzocht het gedrag van stekelbaarsjes. Stekelbaarsjes inspecteren gezamenlijk mogelijk vijandig gezinde grote vissen. Dit inspecteren kan gezien worden als een PD. Sommige stekelbaarsjes hebben wel het gen om samen een roofvis te benaderen, anderen hebben dit gen niet. Samen zwemmen verkleint het risico om opgeslokt te worden. Het is echter gunstig om de ander te bedriegen door de ander wel te laten zwemmen en zelf niets te doen. Je zou verwachten dat vissen die het samenwerkgen hebben zo langzaam verdreven zullen worden door de vissen die het gen niet hebben. Dat is echter niet de samenstelling van de populatie. Volgens Milinsky is dat te verklaren met het herhaald PD. Het benaderen van de grote te inspecteren vis lijkt sterk op een RPD. Het samen zwemmen wordt steeds in kleine afstanden opgedeeld en er wordt pas verder gezwommen als de ander volgt. Dit werd in een laboratoriumopstelling getest met spiegels. Het bleek dat de stekelbaars verder zwom met een meezwemmend spiegelbeeld. Een achterblijvend spiegelbeeld in een kromme spiegel werd geïnterpreteerd als een bedriegende partner, waarna het naar voren zwemmen werd gestaakt. Dit gedrag bleek volledig in overeenstemming met de tit-for-tat strategie. Het samenwerkgen bleek dus niet voor samenwerken te staan, maar voor tit-for-tat. Het feit dat dit gen weid verspreid is in de stekelbaarspopulatie toont aan dat tit-for-tat in de natuur een stabiele strategie is.

2.19.3 Tit-for-tat in de mensenwereld
In de echte wereld zijn gebeurtenissen vaak meerduidig te interpreteren. Dat werkt complicerend voor de tit-for-tat strategie. Het kan betekenen dat een actie niet te betitelen is als samenwerken en evenmin als bedriegen. Soms is het zelfs niet te bepalen wat er überhaupt precies gebeurd is. Maar het is wel noodzakelijk dat beide partijen beschikken over een eenduidige interpretatie. Indien de ene partij een ander criterium hanteert dan de ander, kan het zo zijn dat die partij het nodig vindt een actie te bestraffen terwijl de andere partij vindt dat er niets kwalijks heeft plaatsgevonden en dus de afstraffing als eerste actie van bedrog ziet. Dit leidt tot een deadlock waar geen van de partijen beter van wordt. Deze omstandigheden worden vaak nog verslechterd door de overtuiging dat een ander het altijd gedaan heeft. We kunnen dit tegenkomen bij landen die door chauvinisme zichzelf als de goede partij zien of bij bedrijven die hun eigen gelijk nastreven. Dit risico is er dan ook de oorzaak van dat speltheorie niet of nauwelijks toegepast wordt in internationale betrekkingen.

2.20 Een korte samenvatting van de paragrafen over het prisoners dilemma

Het PD is een lastig dilemma dat vele varianten kent. De overeenkomst in al deze dilemma's is de rangschikking in wenselijkheid van de verschillende uitkomsten.

Hoewel er vele pogingen gedaan zijn om het PD op te lossen, is geen van deze pogingen geslaagd. Vaak komen ze neer op het ombuigen van het PD naar een ander dilemma.
Het RPD kent eveneens een probleem. Ook hier is wat de speltheorie aanwijst als Nash-equilibrium in de beleving van mensen een matige oplossing. Uit experimenten is gebleken dat betere resultaten te behalen zijn als een speler zich openstelt voor samenwerking, zoals in strategieën als tit-for-tat wordt gedaan. Het risico van uitbuiting blijft echter bestaan.

In het volgende hoofdstuk zet ik de beslissingstheorieën uiteen die de speltheorie becommentariëren: de snelle heuristieken en de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie.

3 Snelle heuristieken en het herkenningsgerichte beslissingsmodel

Zoals ik al aangaf is er commentaar op het speltheoretische beslissingsmodel. Naast de speltheorie gebruik ik de snelle heuristieken van Gigerenzer en Todd en de herkenningsgebaseerde beslissingsmethode van Gary Klein. Beide theorieën vallen onder de begrensd rationele psychologische modellen. De insteek is wel verschillend. De snelle heuristiekenmethode beschrijft het menselijke beslissen met het meest eenvoudige werkende model. Het herkenningsgebaseerde model is gestoeld op veldonderzoek en is dus sterk empirisch.
De snelle heuristiekenmethode valt de speltheorie aan op de verschillende vormen van onbegrensde rationaliteit die het aanneemt. Aangezien mensen niet onbegrensd rationeel zijn, dienen theorieën daar ook niet vanuit te gaan om het beslissen van mensen te beschrijven. De snelle-heuristiekenmethode is een methode die gericht is op de meest eenvoudige en redeneerarme techniek die in de realiteit mogelijk voor zeer goede prestaties kan zorgen: snelle vuistregels. Snelle vuistregels zijn goed omdat ze zich baseren op individueel leren en cultureel leren en daardoor optimaal aan de omgeving zijn aangepast. De snelle heuristiekenmethode is daarmee uitermate basaal te noemen. Ockhams razor toont aan dat de mate van eenvoud bij een gelijkblijvende verklaringskracht overeenkomt met de mate van waarschijnlijkheid van een theorie. Aangezien de snelle heuristiekenmethode een zeer basale is, kan deze als de meest waarschijnlijke aangemerkt worden indien er geen theorieën zijn die als een beter verklaringsmodel gelden. Mogelijk is het mechanisme dat achter het beslissingen van mensen zit wel werkelijk zo simpel.
De herkenningsgebaseerde beslissingstheorie is een wat uitgebreidere theorie die stoelt op het bestuderen van beslissers in de echte wereld. Ten opzichte van de theoretische speltheorie ziet deze theorie de mens als zijn primaire object van studie. Naast dit methodologische verschil dat voorkomt uit een ander idee van wat het primaire te bestuderen object dient te zijn bij beslissingen, maakt het aspect van mentale simulatie deze theorie voor mij tot een aantrekkelijke. Dit een redeneren over de toekomst kan wel eens een optimalisatie met betrekking tot beperkte rationele vermogens zijn.
Ik zal nu beginnen met het herkenningsgebaseerde beslissingsmodel.

3.1 Het herkenningsgerichte beslissingsmodel van Gary Klein

Deze sectie is gebaseerd op: Gary Klein, *Sources of power, how people make decisions.*

Beslissers in de echte wereld
Gary Klein heeft zich altijd bezig gehouden met hoe mensen beslissingen maken, niet in een laboratoriumopstelling, maar tijdens het uitvoeren van hun werk, als brandweerman, verpleegster, tankcommandant etc. (naturalistic decision making). In tegenstelling tot veel onderzoeken die vanuit een rationeel perspectief aantonen dat mensen slechte beslissingmakers zijn vanwege het gebrek aan rationaliteit, probeert Klein juist aan te tonen dat dit rationele perspectief geen recht doet aan hoe mensen beslissingen maken in de echte wereld en dat er veel kracht schuilt in de niet rationele aspecten die optreden tijdens het maken van beslissingen: *Instead of trying to show*

how people do not measure up to ideal strategies for performing tasks, we have been motivated by curiosity about how people do so well under difficult conditions[55].

De menselijke kracht
In zijn beschrijving ontkent Klein niet dat mensen conventionele bronnen van kracht (Klein noemt dit: *sources of power*) hebben in de vorm van deductief logisch denken, analyse van waarschijnlijkheden en statistische methoden. Maar de bronnen van kracht die nodig zijn in natuurlijke omgevingen zijn totaal niet analytisch: intuïtie, mentale simulatie, metafoor en verhalen vertellen.
Intuïtie staat mensen toe een situatie snel te doorgronden. Mentale simulatie stelt mensen in staat een voorstelling te maken van hoe een actiesequentie uitgevoerd zal gaan worden. Metaforen stelen mensen in staat gebruik te maken van hun ervaring door parallellen te trekken tussen de huidige situatie en ervaringen. Verhalen vertellen helpt mensen om ervaringen goed vast te leggen en ze beschikbaar te maken voor henzelf en anderen in de toekomst. Ook ervaring wordt door Klein gezien als een bron van kracht. Deze bronnen van kracht komen van pas in een natuurlijke omgeving. Een non-conventionele studie is nodig om deze bronnen van kracht te bestuderen.

Verschillende vormen van studie
In de laboratoria wordt vaak vermeden dat een testpersoon theoretisch besmet is. Dit is namelijk alleen maar complicerend. Klein daarentegen bestudeert mensen liever in hun natuurlijke omgeving die aan andere voorwaarden voldoet dan een laboratoriumexperiment: tijdsdruk, grote belangen, inadequate informatie, slecht gedefinieerde procedures, onduidelijke doelen, context en een dynamische omgeving. De wijze waarop Kleins veldonderzoek verliep was als volgt: de onderzoeker ging mee met de brandweerman tijdens een uitrukken van de wagen. Na het uitrukken werd de commandant aan een gestructureerd interview onderworpen. Tevens werden de brandweerlieden aangemoedigd ervaringen uit hun carrière te vertellen.

Het herkenningsgerichte beslissingsmodel
Tijdens deze studies in het veld naar hoe mensen beslissingen nemen kwam Klein een aantal verschillende dingen tegen die lastig waren: ten eerste bleek het moeilijk vast te stellen wanneer een beslissing genomen werd. De brandweerlieden en tankcommandanten gaven zelf aan zich niet bewust te zijn van een keuzemoment. Na goede bestudering van de protocollen was Klein in staat om keuzemomenten aan te duiden. Ten tweede bleek dat in tegenstelling tot de rationele beslissingstheorie mensen vaak slechts één optie per keer overwogen (sequentieel). Deze optie werd volgens een standaardmethode overwogen en indien deze niet goed bevonden werd, verworpen en vervangen voor een tweede optie. Mensen deden dus aan satisficing[56], niet aan optimalisatie.
De keuze voor de eerste optie werd ingegeven door intuïtie, maar bleek zeer vaak een zeer goede optie. De evaluatie van de optie vindt niet door rationele analyse plaats, maar door middel van mentale simulatie. Tijdens deze mentale simulatie wordt op basis van ervaring bedacht hoe het actieplan in werkelijkheid uit zal gaan pakken. Soms waren er een aantal aanpassingen nodig na mentale simulatie. De nadruk ligt dan ook op het uitwerken en improviseren van opties, niet op het kiezen tussen opties.

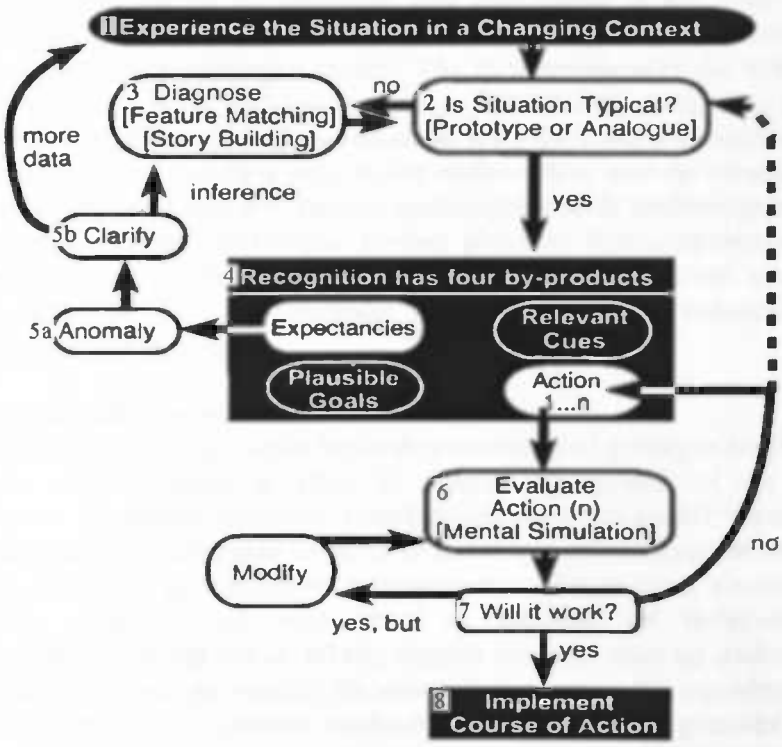
---

[55] Klein (1998), op. cit., p.1
[56] Het begrip *satisfice* is door Herbert Simon in 1957 in het reeds genoemde boek *Models of Man* geopperd (zie o.m. paragraaf 2.2). Satisficing is een invulling die Simon geeft aan het begrip beperkte rationaliteit.

Bovendien is er geen volledige verwerking nodig van alle informatie voordat er gehandeld kan worden. De nadruk ligt op het handelen. Verder is niet alleen het genereren van een actiesequentie een dynamisch proces, ook de buitenwereld is dynamisch, de situation awareness is tijdens het proces actief aanwezig.

Het maken van een beslissing volgens Klein

In een beschrijving behorend bij het model gaat het proces van het maken van een beslissing als volgt: de beslissingmaker herkent de situatie als typisch of bekend en begint actie te ondernemen. Hij begrijpt welke doelen zin hebben in de situatie en welke aanwijzingen belangrijk zijn, wat er te verwachten valt en wat de typische manieren zijn om op de gegeven situatie te reageren. Door de situatie als typisch waar te nemen, herkennen ze ook een actiesequentie die waarschijnlijk tot succes zal leiden. Soms komt het echter voor dat de diagnose van de situatie lastiger is. De beslissingmaker moet dan meer informatie inzamelen en kijken hoe de huidige situatie verschilt van het typische probleem. Het kan ook voorkomen dat de beslissingsmaker niet door heeft gehad dat de situatie anders is dan verwacht totdat aan bepaalde verwachtingen niet voldaan wordt, hij kan dan verhalen opbouwen om de afwijkingen te verklaren. De evaluatie van de optie is een ander aspect van het beslissingsproces. Een beslissingsmaker die anticipeert op moeilijkheden zal de actiesequentie aanpassen, of hem zelfs afwijzen en een nieuwe overwegen. Deze toets vindt plaats door in gedachten de actiesequentie uit te voeren. De mentale simulatie wordt niet alleen gebruikt om de toekomstige actiesequentie te evalueren, maar soms ook om een verklaring te zoeken naar hoe de huidige situatie bereikt is (model).



Integrated version of recognition-primed decision model

Dynamisch karakter van het model en het ontberen van beslissingmomenten

Het volgende voorbeeld verduidelijkt de dynamiek van het model. Als een brandweerauto uitrukt, weet de brandweer nog niet welk probleem ze tegen zullen komen. De brandweer heeft als ze uitrukt een hiërarchie in de doelen die ze wil verwezenlijken: eerst mensen redden. Als alle mensen en vervolgens ook dieren in veiligheid zijn, richt de brandweer zich op het redden van de naastgelegen gebouwen. Als dit gedaan is wordt het brandende gebouw zelf geblust. Het vaststellen of er mensen in het gebouw aanwezig zijn, of het naastgelegen gebouw te redden valt, of dat het gevaar loopt, zijn de problemen waar de brandweer tegen aan loopt. Ook als duidelijk is welk type probleem opgelost moet worden, kan het zo zijn dat het niet duidelijk is welk subtype probleem aanwezig is. Zeer veel verschillende soorten branden zijn mogelijk. Omdat brand zich uitbreid is het van belang om snel over te gaan tot aanpak van de brand. Tijdens het blussen kan blijken dat de blusaanpak van de brand, verondersteld van type X, niet werkt. De aanpak kan een gebrekkige uitvoer kennen, of er is sprake van een ander type brand. De waterdruk kan te laag zijn voor het blussen van een brandende keuken, maar het kan ook zo zijn dat de aanvoer van vlammen uit de ondergelegen kelder ervoor zorgt dat de brand niet dooft.
Kennis van een ingeslagen pad geeft dus handvatten aan om een onverwachte gebeurtenis te herkennen. Op basis van deze kennis is ook duidelijk wanneer de gekozen aanpak aangepast moet worden en wanneer het overwegen van een andere optie zinvol is. Processen die met het kiezen te maken hebben zijn dus heel belangrijk tijdens beslissen in de echte wereld. Naast waarneming en typering van de situatie is monitoring een belangrijk onderdeel van beslissingsgedrag. Dit geeft namelijk ook aan wanneer een nieuwe keuze gemaakt moet worden. Door deze wisselwerking tussen waarnemen, kiezen en uitvoeren met monitoring is het vaak onduidelijk wanneer een beslissing genomen wordt. Ook de denkers zelf kunnen slecht aangeven wanneer ze werkelijk beslissingen maken. *The [fire]commander did not seem to be making any decisions at all if a decision results from actively comparing two or more options in a process of comparative evaluation. We tried using a broader definition: a decision is a choice point where reasonable options exist, and the commander might have selected a different option*[57]. De herkenningsgebaseerde beslissingstheorie noemt deze momenten waarop beslissingen worden genomen beslissingsmomenten. Deze momenten zijn vaak ingebed in een groter proces waarin ook het monitoren een belangrijk onderdeel vormt. Beslissingen, die het einde van een redeneerproces zijn, zijn dus moeilijk aan te wijzen.

Ervaring beïnvloedt het maken van een beslissing
Klein vertelt dat de ervaring van de beslissingsmakers veel gevolgen heeft. Ten eerste zijn ervaren mensen beter in staat de situatie als typisch of als vreemd te diagnosticeren. Ze nemen relevante aanwijzingen meer en sneller waar en hebben vanwege de juiste verwachtingen eerder door dat er iets vreemds aan de hand kan zijn. Vervolgens verzinnen ze een betere actiesequentie. Het mentaal simuleren van de actiesequentie gaat ze ook veel beter af. Doordat dit herkenningsgerichte beslissingsmodel vastloopt bij de leken, stappen ze soms over op andere methoden zoals een rationele analyse waarbij de verschillende opties ten opzichte van elkaar vergeleken worden. Deze rationele methode wordt ook sneller gebruikt als mensen hun keuze moeten verantwoorden en in onbekende situaties. Als de tijdsdruk laag is, condities stabiel zijn en de doelen duidelijk, verwachten we de hoogste mate van optievergelijking te vinden.

---

[57] Klein (1998), op. cit., p. 16

De kracht andermans gedachten te lezen
Het vermogen om andermans gedachten te lezen is een belangrijke eigenschap bij het samenwerken met anderen[58]. Dit vermogen kent twee kanten. Ten eerste moet de zender proberen zijn intenties duidelijk te maken. De ontvanger moet vervolgens proberen zich in te leven in de belevingswereld van de ander. Een wijze waarop het makkelijker is een ander zich in te laten leven in je eigen gedachten is door je intenties te communiceren. Deze mentale simulatie is lastig om uit te voeren. Bij sommige taken, zoals het herhaalde prisoners dilemma, is dit zenden en inleven wederzijds, dat wil zeggen dat beide partijen zowel zender als ontvanger zijn. Dit kan er voor zorgen dat er ook nagedacht kan worden over wat de ander denkt dat ik denk en wat ik denk dat de ander over mij denkt. Hier kan dus iteratief geredeneerd worden.

Kleins commentaar op laboratoriumexperimenten
Klein suggereert dat de wijze waarop onderzoek gedaan wordt naar menselijke beslissen gevolgen heeft voor het beeld dat de wetenschap vormt van de mens. Nu wordt vanuit wetenschappelijk oogpunt gekozen voor het herhaalbaar en controleerbaar zijn van experimenten. Vaak resulteert dat in een laboratoriumexperiment waarin slechts één variabele aanwezig is, zodat, *ceteris paribus*, een conclusie getrokken kan worden over de invloed van deze variabele op een proces.
Klein merkt hierbij op dat de methodologische strengheid van laboratoriumexperiment niet als argument kan dienen om de uitkomsten te generaliseren. Klein citeert Orasanu en Connolly[59] die gevonden hebben dat rechters en herintegratiemedewerkers[60] in de rechtbank andere beslissingen over straffen maken dan in een laboratorium simulatie. Volgens Klein resulteert de opzet waarbij slechts een variabele verandert en het probleem verder goed, maar geabstraheerd, omschreven is vaak in experimenten waarbij alle bronnen van kracht niet toepasbaar zijn zodat alleen de rationele analyse overblijft: Ervaring, hoewel door iedereen erkend als belangrijk voor beslissen, wordt vaak gezien als vertroebelende factor en dus vermeden. Expertise is vaak sterk gebaseerd op waarneming: het opmerken van en zoeken naar relevante informatie. In laboratoriumexperimenten wordt vaak voorkomen dat er extra, verstorende informatie aanwezig is omdat dit alleen voor ruis zorgt. Wetenschappers neigen mogelijk naar het toedichten aan anderen van rationele probleemoplossingmethoden die ze zelf hanteren.

3.2 Snelle heuristieken: vuistregels die snel en efficiënt zijn

Deze paragraaf is gebaseerd op het boek *Simple Heuristics That Make Us Smart*[61] van Gigerenzer en Todd.

---

[58] Zie ook Van den Broek, Hans, (2001). *On agent cooperation: the relevance of cognitive plausibility for multiagent simulation models of organizations.* Capelle a/d IJssel: Labyrint Publication. Van den Broek doet onderzoek naar de relevantie van cognitief plausibele agents voor het samenwerkingsproces in multiagent systemen. Hij vindt dat een multiagentsysteem gebaseerd moet zijn op een cognitief plausibele agent in die mate dat de agent in staat moet zijn een model op te bouwen van zowel de taakomgeving als van de andere agents in de taakomgeving en daarover moet kunnen redeneren.
[59] Orasanu, J., & Connolly, T. (1993). *The reinvention of decision making.* In G.A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, & C.E. Zsambok (Eds.), *Decision making in action: Models and methods*, (pp. 3-20). Norwood, NJ: Ablex Publishing.
[60] *Herintegratiemedewerkers* is een vertaling van *parole officers*
[61] Gigerenzer, G., Todd, P. M. & the ABC research Group (1999)

Zeer beknopte weergave van het boek Simple Heuristics That Make Us Smart
Gigerenzer en Todd schrijven in hun boek *Simple Heuristics That Make Us Smart* dat veel onderzoek naar keuzes en beslissingen van mensen uitgaat van meer en minder onbegrensde vormen van rationaliteit. Op deze onbeperkt rationele beschrijvingen van menselijk beslissen hebben Gigerenzer en Todd veel commentaar. Volgens Gigerenzer en Todd maken mensen geen gebruik van wiskundige redeneringen met kansen en met ongelimiteerde kennis. Juist de omstandigheden waar onder tijdsdruk nog goede keuzes gemaakt worden suggereren dat mensen zich bedienen van andere manieren dan uitgebreide rationele analyses om keuzes te maken. Gigerenzer en Todd denken dat er dus snelle eenvoudig uitvoerbare vuistregels moeten zijn, die door een aanpassing aan de omgeving mensen in staat stellen om snel en efficiënt keuzes te maken. Hun benadering is jong en bevindt zich in een veelbelovende exploratieve fase. Het is een interdisciplinaire stroming en de resultaten zijn tot nu toe verbazingwekkend goed.
De hoofdclaim van hun boek *Simple Heuristics That Make Us Smart* is dat snel en goedkoop beslissen (fast and frugal) even accuraat kan zijn als strategieën die gebruik maken van alle aanwezige informatie en kostbare computatie. Hoe ze werken en wanneer en waarom ze succes hebben is onderwerp van de analyse.

De demon in vele gedaanten: onbegrensde rationaliteit
De reden dat deze heuristieken de aandacht verdienen, is omdat de traditionele studies naar redeneren een groot gebrek kennen. Deze studies hebben namelijk niets te maken met hoe mensen werkelijk redeneren, maar met een soort goddelijk ideaal hoe het had moeten verlopen: *The visions of rationality are usually presented as lofty ideals that human reasoning should aspire to.*[62] Deze ideale manier van redeneren wordt door Gigerenzer en Todd betiteld als een demon. Deze demon zit als verklarend mechanisme onder de naam onbeperkte rationaliteit in het hoofd van een mens. Omdat de demon onbeperkte rationaliteit ontmaskerd werd als demon is de optimalisatie onder beperkingen uitgevonden. In paragraaf 2.12 heb ik dit reeds verteld, maar de optimalisatie onder beperkingen heeft een naar staartje: *Many [...] researchers [...] interpret the term "bounded rationality" as synonymous with optimization under constraints.* Naast deze twee vormen van onbeperkte rationaliteit zien Gigerenzer en Todd twee vormen van echte beperkte rationaliteit: Satisficing en snelle en goedkope heuristieken[63].
Satisficing (Simon) is stoppen met zoeken naar iets beters zodra je tevreden bent. Dit is soms nog knap lastig: de grens van succes moet bepaald worden en elke optie moet met deze grenswaarde vergeleken worden.
De snelle en goedkope heuristieken hebben deze nadelen niet:
- ze vergen weinig tijd;
- ze zijn toepasbaar bij sequentieel zoeken door objecten of opties;
- ze zijn toepasbaar bij het kiezen tussen twee gelijktijdig bruikbare opties waar de informatie beperkt is.

Snelle heuristieken en de toets der werkelijkheid
Het criterium voor het bepalen of theorieën over menselijk beslissen goed zijn dient prestatie in de echte wereld en niet interne consistentie te zijn. De snelle heuristieken die getest zijn op een aantal situaties blijken erg effectief te zijn. Dat wil nog niet

[62] Op. cit., p. 11
[63] Deze vallen beiden in mijn in paragraaf 2.12 gemaakte indeling onder de noemer psychologische modellen.

zeggen dat ze dan ook werkelijk door mensen gebruikt worden. Toch spreekt naast de effectiviteit ook de plausibiliteit voor de snelle heuristieken. Deze plausibiliteit vatten Gigerenzer en Todd onder de noemer ecologische rationaliteit. Het is ecologisch rationeel om een grote verzameling divers toepasbare heuristieken te hebben. Voor verschillende situaties bestaan specifieke heuristieken die vanwege de specificiteit snel en efficiënt kunnen werken. Door de evolutie is de structuur van de omgeving uitgebuit, hetgeen tot uiting komt in een passende heuristiek voor elke (soort) situatie. Het systeem is toch robuust vanwege de simpliciteit en de grote verzameling heuristieken. Deze grote verzameling heuristieken wordt door Gigerenzer en Todd de adaptieve toolbox genoemd. Tegenover de adaptieve toolbox staat een systeem als logica dat al geldend is, maar als een gevolg van de algeldendheid traag werkt en inefficiënt is.

Wat is een heuristiek en hoe meet je of een heuristiek goed is?
Gigerenzer en Todd definiëren een heuristiek als bestaande uit vier onderdelen:

1. zoeken naar de alternatieven die je wil overwegen;
2. zoeken naar informatie waarop je wil overwegen;
3. stoppen met zoeken;
4. besluiten.

Het zoeken naar alternatieven kan random of geordend verlopen, het zoeken naar aanwijzingen kan random en in een voorgekookte volgorde (bv. op basis van bruikbaarheid of prestatie in voorgaande gevallen). Het stoppen gebeurt op basis van satisficing, b.v. als je een verschil gevonden hebt tussen de alternatieven. Het beslissen vindt plaats op basis van eliminatie van alternatieven (h8-11) of op basis van één aanwijzing of reden (one rule decision making H 2-6).

Op basis van deze definitie stellen Gigerenzer en Todd vier vragen:

1. Wat zijn heuristische principes voor zoeken, stoppen en beslissen?
2. Waar en wanneer doen de heuristieken het goed?
3. Hoe goed doen ze het in de echte wereld?
4. Welk bewijs is er dat mensen ze ook gebruiken?

Kahneman en Tversky's heuristics-and-biases program[64] suggereerde: "*[o]rdinary people are cognitive misers who use little information and little cognition and thus are largely unable to estimate probability and risk.*" Gigerenzer's repliek hierop is dat de drie door Kahneman en Tversky geïntroduceerde heuristieken vaag omschreven zijn en gebruikt zijn in specifieke gevallen waarin ze niet goed werkten.
Gigerenzer kiest voor goed omschreven testbare computationele modellen waarvan de prestatie in de echte wereld de meetmethode is. Kahneman & Tversky hebben vage, in specifieke situaties geteste, beschrijvingen waarvan de meetmethode de coherentie van het model is. Volgens Gigerenzer en Todd zijn heuristieken een feilbaar middel om redelijke keuzes te maken. Ook emoties kunnen regels zijn van de heuristieken, zo is verliefdheid een stopregel voor het zoeken naar een partner. Bij een specifieke taak wordt slechts een specifieke heuristiek gebruikt, vaak hangt dit ook af van de hoeveelheid kennis en informatie die aanwezig is.

Gigerenzer en Todd focussen op classificatieproblemen

---

[64] Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases.* In: *Science*, no. 185, pp. 1124-1131.

Hoewel Gigerenzer en Todd snelle heuristieken zien als wijds toepasbaar op vele aspecten van de menselijke cognitie, gaan ze hoofdzakelijk in op classificatieproblemen. De beslissing aan het eind van een redenering is dan een toekenning van een object aan een categorie (voorbeeld 1: vaststellen of een patiënt een laag of hoog risico patiënt is; voorbeeld 2: een rat die vaststelt of hij de geur van beschikbaar voedsel wel of niet ooit eerder tegen gekomen is). Naast deze classificatie worden er voorbeelden gegeven van vergelijkingen (voorbeeld: twee steden worden vergeleken op inwonersaantal). Deze vergelijkingen eindigen in de keuze voor een van beide opties (voorbeeld 3: de grootste stad wordt gekozen). Deze vergelijking lijkt sterk op een vorm van classificatie, want de classificatie wordt ook gedaan om vervolgens een beslissing te kunnen maken: als een patiënt hoog risico is, dan geven we hem de dure ingewikkelde behandeling, herkend de rat het voedsel, dan kan het gegeten worden.
Gigerenzer en Todd focussen op classificatieproblemen of problemen die daar sterk op lijken, maar beweren dat de snelle heuristieken toepasbaar zijn op allerlei soorten beslissingen die mensen in de werkelijke wereld nemen. Sommige van deze beslissingen zijn niet een classificatieprobleem. Als voorbeeld wordt genoemd het aangaan van een coalitie met als doel een meerderheid te behalen. De eigen keuze beïnvloed de andere partijen, waarop men geen grip heeft, maar die wel de uitkomst van de machtsstrijd kunnen beïnvloeden. Snelle heuristieken kunnen bij deze beslissingen zeer effectief zijn.

Wanneer gebruiken mensen simpele heuristieken en hoe kunnen we dat zien?
Hoewel snelle heuristieken effectief en plausibel zijn, wil dat nog niet zeggen dat mensen ze ook werkelijk gebruiken. Jörg Rieskamp en Ulrich Hoffrage bestuderen in hoofdstuk 7 van *Simple Heuristics That Make Us Smart* de vraag of beslissen onder tijdsdruk het gebruik van snelle heuristieken bevorderd. Volgens Rieskamp en Hoffrage bestaan er twee manieren om te ontdekken welke strategieën mensen gebruiken: de *procesgeoriënteerde* aanpak waarin het prebeslissingsproces bekeken wordt zoals bijvoorbeeld de wijze van informatie inwinnen en de *uitkomstgeoriënteerde* aanpak waarbij de uitkomst bekeken wordt. Deze twee methoden zijn gebruikt om de overeenkomst tussen een aantal strategieën en het menselijk beslissen in een experiment te meten. Rieskamp en Hoffrage hebben een aantal vaak in de literatuur voorkomende beslissingsstrategieën geanalyseerd in termen van het prebeslissingsproces en uitkomst. Vervolgens is een experiment gedaan met proefpersonen die beslissingen namen waarbij gelet is op welke informatie in welke volgorde bekeken werd en wat uiteindelijke uitkomst was. Gekeken is welke beslissingsstrategie het beste deze experimentele data beschreef.
In het uitgevoerde experiment kregen de proefpersonen een lijst met een aantal aandelen waaruit ze de beste investeringsoptie moesten kiezen. Bij elk aandeel was een aantal met verwachte opbrengst gecorreleerde aanwijzingen gegeven als aantal werknemers, aandelenkapitaal en dividend. In een oefenperiode konden de proefpersonen de correlatie tussen de aanwijzing en verwachte opbrengst leren. Slechts een hokje met de waarde van bij een aandeel horende aanwijzing kon op een moment geopend zijn, zodat de volgorde waarin informatie bekeken werd gevolgd kon worden. De beslissing voor een aandeel moest onder lage en hoge tijdsruk genomen worden (respectievelijk in 50 en in 20 seconden).
De bevindingen van Rieskamp en Hoffrage waren de volgende:

- In veel gevallen was het moeilijk om het gedrag van mensen aan één specifieke strategie te koppelen, vaak was het ambigu welke strategie ze gebruikten[65].
- De proefpersonen vermeden de strategieën die alle informatie gebruiken en veel rekenwerk vereisen.
- Bij makkelijke opgaven, d.w.z. een aandeel dat duidelijk beter was dan de rest was 58% van de gevallen was ambigu (alle strategieën kozen namelijk dit beste aandeel). Bij de moeilijkere was het onderscheid in strategieën duidelijker en was slechts 24 % van de gevallen ambigu (verschillende strategieën kozen nu andere aandelen waardoor het onderscheid duidelijker werd).
- De verhouding tussen strategieën die alle aanwijzingen gebruiken en strategieën die slechts een paar aanwijzingen gebruiken[66] is 26/24 (bijna fifty fifty) als de tijdsdruk laag is. Bij hoge tijdsdruk verschuift deze verhouding naar strategieën die slechts weinig aanwijzingen gebruiken. De verhouding is dan 21/29.
- Bij moeilijke opgaven zijn deze verhoudingen extremer: van merendeel aanwijzingintensieve strategieën (verhouding 26/15) verschuift het naar merendeel aanwijzingarme strategieën (15/27).

Al met al menen Rieskamp en Hoffrage dat deze resultaten er op wijzen dat mensen slimme en simpele beslissingsstrategieën hanteren.

We behandelen nu vier voorbeelden van heuristieken uit *Simple Heuristics That Make Us Smart*:

De herkenningsheuristiek
De herkenningsheuristiek: kies voor datgene dat je herkent. Deze heuristiek heeft een grote ecologische validiteit: zo eten ratten (alleseters) alleen datgene wat ze eerder gegeten hebben of waarvan ze de geur hebben waargenomen uit de bek van een andere rat. Hiervan is bekend dat ratten er niet dood aan gaan. Bij deze heuristiek treedt ook het less-is-more effect op, door minder te weten wordt twijfelen voorkomen en direct het juiste gekozen. Bij deze heuristiek wordt geen gebruik gemaakt van additionele informatie, slechts de herkenning van de alternatieven is de reden om te beslissen.

De volgende heuristieken maken gebruik van één regel om te beslissen.

De minimalist heuristiek
De minimalist heuristiek bestaat uit de volgende stappen:

1. maak gebruik van de herkenningsheuristiek; indien niet toepasbaar naar stap 2
2. random zoeken: neem een willekeurige aanwijzing en
3. stopregel: beslis op basis van deze aanwijzing, indien de aanwijzing niet verschilt bij beide opties, verwijder de aanwijzing en herhaal stap 2.
4. beslisregel: kies voor de optie waarbij de positieve aanwijzing is gevonden.

Take-the-best heuristiek
De take-the-best heuristiek bestaat uit de volgende stappen.

---

[65] Dat het moeilijk is een overeenkomst te vinden tussen het beslissen van mensen en een specifieke strategie is ook bij dit onderzoek gebleken.

[66] Strategieën die alle aanwijzingen gebruiken zijn bijvoorbeeld Dawe's Rule en Franklin's rule die alle aanwijzingen wegen en bij elkaar optellen. Een strategie die weinig aanwijzingen gebruikt (= de snelle heuristieken) is bijvoorbeeld Lexicografisch. Lexicografisch is een veralgemenisering van Take-the-best.

1. maak gebruik van de herkenningsheuristiek; indien niet toepasbaar naar stap 2
2. zoek de aanwijzing op die tot nu toe de beste voorspellende waarde heeft gehad
3. stopregel: beslis op basis van deze aanwijzing, indien de aanwijzing niet verschilt bij beide opties, verwijder de aanwijzing en herhaal stap 2.
4. beslisregel: kies voor de optie waarbij de positieve aanwijzing is gevonden.

Take-the-last heuristiek
De take-the-last heuristiek bestaat uit de volgende stappen
1. maak gebruik van de herkenningsheuristiek; indien niet toepasbaar naar stap 2
2. zoek de aanwijzing op die je de laatste keer succesvol hebt gebruik
3. stopregel: beslis op basis van deze aanwijzing, indien de aanwijzing niet verschilt bij beide opties, verwijder de aanwijzing en herhaal stap 2.
4. beslisregel: kies voor de optie waarbij de positieve aanwijzing is gevonden.

3.3 Een korte samenvatting van de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie en de snelle heuristieken

De snelle heuristieken en de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie belichamen de twee commentaren op de speltheorie. De snelle heuristieken zetten zich af tegen verschillende theorieën (waaronder de speltheorie) die allemaal varianten van onbegrensde rationaliteit bevatten. De snelle heuristieken gaan uit van het kernidee dat mensen met hun beperkte rationele vermogens wel in staat zijn bijtijds goede beslissingen te maken omdat ze gebruik maken van vuistregels. Hoe deze vuistregels geleerd worden is onbekend. Ook ontbeert de snelle heuristieken theorie experimenteel onderzoek naar de vraag of mensen daadwerkelijk snelle heuristieken gebruiken.
De herkenningsgebaseerde beslissingtheorie ziet dat de mens over bijzondere mentale vermogens moet beschikken gezien de prestaties van mensen in de echte dynamische en deels onbekende wereld. Onderzoek naar beslissingsgedrag in een gecontroleerde laboratoriumsetting vermijdt vaak de randvoorwaarden die het presteren in de echte wereld moeilijk maken. Waarnemen, het herkennen van bekende of analoge situaties, het mentaal simuleren van een bedachte actie en het monitoren of alles naar verwachting verloopt, zijn krachtige vermogens van de mens. Zij stellen mensen in staat zich in de echte wereld te redden. In het herkenningsgebaseerde beslissingsmodel is minder goed uitgewerkt hoe mensen leren en op welke wijze mensen een beeld opbouwen van de wereld op basis waarvan ze een mentale simulatie uitvoeren.

Hieronder volgt een hoofdstuk over de gehanteerde methoden en technieken bij mijn eigen onderzoek.

4 Methoden en technieken

In dit hoofdstuk leg ik uit welke methoden en technieken ik gehanteerd heb en waarom voor deze methoden en technieken gekozen is.
Het is duidelijk dat de drie theorieën een verschillende focus hebben en om geen van de theorieën te benadelen dienen we dus op verschillende zaken te letten die door de theorieën als belangrijk aangemerkt worden. De speltheorie heeft een focus op resultaten. De snelle heuristieken gaan uit van snelle maar efficiënte vuistregels, dus resultaat en tijd zijn voor hen belangrijk. De herkenningsgebaseerde beslissingstheorie bekijkt hoe de beslissingen tot stand komen. Drie typen wenselijke waarnemingen zijn *redeneertijden, uitkomsten* en *redeneringen*. De resultaten van het door mij uitgevoerde experiment zullen vergeleken worden met de hypothesen die uit de drie theorieën voortvloeien. Voor het interpreteren van de resultaten, voor het vergelijken van deze resultaten met de hypothesen en voor het opstellen van de hypothesen heb ik bepaalde methoden en technieken gebruikt.
Voor het opstellen van hypothesen voor de *redeneringen* maak ik gebruik van de common KADS-methode. De methode is ontworpen om goede kennissystemen te kunnen ontwikkelen door gebruik te maken van herbruikbare modellen voor vaker voorkomende mentale taken. Voor het opstellen van hypothesen voor de *redeneertijden* maak ik gebruik van de Donders-aftrek-methode. De Donders-aftrek-methode maakt het mogelijk om tijdsduren van afzonderlijke onderdelen van een mentaal proces te bepalen. Voor het interpreteren van de resultaten van de tijden maak ik gebruik van de signaalanalyse. Het gebruik van signaalanalyse om *redeneertijden* te analyseren kan voor psychologisch onderzoek als opmerkelijk beschouwd worden. Voor het interpreteren van de resultaten van de *redeneringen* is gekozen voor de waarheidsbenadering van Kuipers. Deze drie methodes en de verantwoording bij de keuzen voor deze methoden worden in drie paragrafen behandeld. In 4.1 komt de common KADS-methode aan bod, in 4.2 behandel ik de signaalanalyse en in 4.3 ga ik in op de waarheidsbenaderingsmethode van Kuipers. Ten slotte vertel ik in paragraaf 4.4 iets over de Donders-aftrek-methode. De vergelijking vindt plaats op basis van een statistische analyse.

4.1 De common KADS-methodiek

Deze paragraaf is gebaseerd op de boeken *CommonKADS library for expertise modelling*[67] van Breuker en Van de Velde en *Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology*[68] van Schreiber, Akkermans, Anjewierden, De Hoog, Van de Velde en Wielinga.
Doel van het onderzoek is te zien welk type redenering mensen hanteren als ze het RPD spelen. Deze redeneringen worden tijdens het experiment opgeslagen in de vorm van hardop denk protocollen. Algemeen wordt aangenomen dat de redeneringen onder te verdelen zijn in denkstappen. Deze denkstappen noemt men inferenties. Elk hardopdenkprotocol is uitgeschreven en in denkstappen onderverdeeld. De inferentie is de gemeenschappelijke grond waar theorie en werkelijkheid elkaar ontmoeten.

[67] Breuker, J. & Van de velde, W. (Eds.) (1994), *Common KADS Library for Expertise Modelling, Reusable problem solving components* IOS Press, Amsterdam, The Netherlands
[68] Schreiber, G., Akkermans, H., Anjewierden, A., De Hoog, R. Shadbolt, N., Van de Velde, W. & Wielinga, B., (2000), *Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology*, MIT Press, Cambridge Massachusetts.

Volgens elke theorie (bijv. de speltheoretische redenering) heeft elke redenering (bij een beslissing) een bepaalde structuur en bepaalde eigenschappen. Deze structuur en eigenschappen kunnen vertaald worden naar een opeenvolging van inferenties. Aan de experimentele zijde kan van een denkstap uit een werkelijke redenering bepaald worden wat voor type inferentie het is. Daarmee vormt de inferentie het raakvlak tussen theorie en werkelijkheid.
Een redenering zoals die volgens een theorie plaatsvindt, kan omgezet worden in twee typen inferenties: psychologische inferenties en logische inferenties. De speltheorie wordt op dit moment beschreven in termen van logische inferenties (=logica). De snelle heuristieken en de herkenningsgeoriënteerde beslissingstheorie zijn echter nog niet beschreven in logische inferenties. Deze omzetting in logische inferenties is een zeer veel omvattende activiteit die te ver voert voor deze scriptie. Een psychologische inferentietheorie biedt hier uitkomst: de common KADS-theorie.
De common KADS-methode onderkent bij elke een mentale standaardtaak[69] een aantal bijbehorende inferenties. Volgens KADS zijn alle taken opgebouwd uit één of meerdere standaardtaken. Zo kan van elke taak een lijst met bijbehorende inferenties opgesteld worden. Na een korte uitleg over common KADS zal ingegaan worden op welke taken KADS onderscheidt en de bijbehorende inferenties.

Common KADS identificeert taken en is model gedreven
De common KADS-methode is het product van meerdere onderzoeksprojecten die tot doel hadden de methodologische aspecten van het bouwen van kennissystemen te verbeteren. Een goed model voor kennissystemen modelleert probleem oplossend gedrag in zijn concrete organisationele context. Dit model hoort bij de taak die uitgevoerd wordt. Verschillende taken hebben dus verschillende modellen. Taken bestaan soms uit subtaken, het doelmodel kan dus opgebouwd worden uit meerdere modellen. Een model is een doelgerichte abstractie van een deel van de realiteit. Hierdoor kan een model focussen op bepaalde delen en andere buiten beschouwing laten. De common KADS-methode levert een aantal standaard modellen aan.

Common KADS hanteert Newells kennisniveau principe
Kennis dient, onafhankelijk van specifieke software implementaties, gemodelleerd te worden op een conceptueel niveau. Common KADS kent drie verschillende kennistypen die de verschillende rollen die kennis kan hebben weerspiegeld: Taakkennis, domeinkennis en inferentiekennis. *Taakkennis* beschrijft hoe een taak in deeltaken opgesplitst kan worden, specificeert wanneer taken succesvol uitgevoerd zijn en wanneer deeltaken uitgevoerd moeten worden. *Domeinkennis* bestaat uit feiten en aannames die relevant zijn voor het redeneren over het vervullen van een taak in het domein van applicatie. Domeinkennis is gestructureerd opgeslagen in domeinmodellen. *Inferentiekennis* beschrijft hoe domeinkennis gebruikt wordt in elementaire redeneerstappen (of inferenties).

Common KADS is gefocust op hergebruik
Veel problemen bestaan uit dezelfde subtaken. Als reeds een model is ontwikkeld voor een taak, is het handig om dit opnieuw te gebruiken. Common KADS onderscheidt zelf maar een beperkt aantal verschillende problemen. Deze taxonomie bevat acht verschillende probleemtypen: modelleren, ontwerpen, plannen, toekennen, voorspellen, controleren, diagnosticeren en beoordelen.

---

[69] Een standaardtaak is bijvoorbeeld classificatie.

Ook kennis wordt hergebruikt. Common KADS kent slechts een beperkt aantal verschillende typen inferenties. Sommige van deze inferenties komen voornamelijk voor bij problemen van een bepaald type. Inferenties kennen dus maar een aantal verschillende rollen en eenmaal gedefinieerd zijn ze goed te hergebruiken.
De bestaande modellen, probleemtypen en inferenties zijn er voor het gemak van de gebruiker. Ze maken het modelleren makkelijker en vormen een basis waar naar wens en afhankelijk van het probleem naar hartelust aanpassingen en specificaties op kunnen worden toegepast.

Common KADS als brug
De common KADS-theorie beweert dat er maar een beperkt aantal verschillende redeneertaken bestaan. De taken die KADS identificeert onder analyse zijn: classificatie (classification), beoordelen (assessment), diagnose (diagnosis), controleren (monitoring) en voorspellen (prediction). Onder synthese vallen de taaktypen: ontwerpen (design), plannen (planning), toekennen (assignment) en modelleren (modelling). Elk cognitief redeneerproces zal dus onder een van de bovenstaande taaktypen vallen. Een tabel uit Breuker en Van de Velde's *CommonKADS Library for Expertise Modelling* biedt mogelijk meer inzicht[70]:

Major type	Type of problem	Generic conclusion
Synthesis	Modelling Design Planning/reconstruction	Behavioural model Structure of elements Sequence of actions
Modification	Assignment (scheduling, configuration)	Distribution / assignment
Analysis	Prediction Monitoring Diagnosis Assessment	State of system Discrepant states Faulty class Class / grade attribution

Tabel 4.1 KADS probleemtypen en de bijbehorende generieke conclusies.

Bij elke taak kan KADS een sterke of een zwakke voorspelling doen. Bij elk taaktype onderkent KADS de bijbehorende inferenties en volgorden in deze inferenties. Wat overblijft om de cirkel te sluiten, is het vaststellen welke taak uitgevoerd wordt volgens speltheoretici als mensen het RPD spelen (idem bij de twee andere theorieën). Als we bij elk van de drie theorieën vaststellen welk type KADS-taak of welke combinatie van type KADS-taken uitgevoerd wordt tijdens het spelen van het RPD, dan hebben we een methode om het menselijke redeneren (hardopdenkprotocol) te vergelijken met de voorspelling die de theorie maakt (via de inferenties die bij de KADS-taak horen en op basis van de drie theorieën zijn vastgesteld). Zo hoeven we zelf geen theorie van een onderliggend cognitief proces te ontwikkelen bij een beslissingsmodel in termen van inferenties. Alles staat of valt met de overeenkomst tussen de KADS-taak en hoe de theorie het RPD ziet.
Dit vaststellen van taaktypen vindt plaats in paragraaf 5.3. Nu wordt beter bekeken welke verschillende type taken KADS onderkent. Zoals reeds genoemd deelt KADS-taken op in analyse en synthese taken. Ik zal eerst de analyse taken behandelen.

Analyse taken
Een bekende analysetaak is *classificatie* (classification). De classificatie van planten en dieren is het prototype voorbeeld van deze taak. In classificatie dient een object

[70] Breuker, J. & Van de Velde, W. (1994). p. 70.

gekarakteriseerd te worden in termen van de klasse waar het toe behoort. De onderliggende kennis voorziet in beperkingen voor de waarden van objecteigenschappen. Classificatie wordt doorgaans op niet door de mens gemaakte objecten toegepast.
Diagnose (diagnosis) verschilt van classificatie in de zin dat de gewenste uitkomst een gebrek in het systeem is. Het diagnosticeren van de fouten in een elektrisch circuit is een voorbeeld van dit taaktype. Bij diagnose bevat de onderliggende kennis vaak kennis over het gedrag van het systeem, zoals een gedragsmodel. De uitkomst van diagnose kan vele gedaanten aannemen: een gebrekkige component, een foute toestand, een causaal verband of zelfs een abstracte term zonder een interne systeembetekenis. Diagnosetaken komt men vaak tegen in het domein van technische systemen.
Beoordelen (assessment) komt veel voor in de financiële wereld en bij maatschappelijke diensten. Het doel van beoordelen is om een specifiek geval te typeren in termen van een beslissingsklasse. Bij het beoordelen van een lening bijvoorbeeld is de taakinvoer de aanvraag van een specifiek persoon van een lening, de uitvoer is een beslissingsklasse als toekennen, weigeren of meer informatie benodigd. Deze beslissingsklasse geeft aan of een lening wel of niet verstrekt kan worden. De onderliggende kennis bestaat doorgaans uit een pakket normen of criteria die gebruikt worden voor de beoordeling.
Het systeem dat door de taak *controleren* (monitoring) bestudeerd wordt, is van een dynamische aard en betreft vaak een continu proces. Voorbeelden van controleren zijn het controleren van een kerncentrale of het controleren van een softwareproject. Elke cyclus in de controleertaak lijkt op een beoordelingstaak. Het grote verschil is dat bij controleren de uitvoer slechts een discrepantie is (is het systeem normaal of niet) en niet een beslissingsklasse. Verder worden gegevens uit een voorgaande cyclus gebruikt in een nieuwe cyclus.
Voorspellen (prediction) valt ook onder analyse, hoewel het wel over een aantal eigenschappen van synthese beschikt. Tijdens voorspellen wordt het huidige gedrag van het systeem bestudeerd teneinde de toestand van het systeem op een moment in de toekomst te kunnen beschrijven. Weersvoorspelling is bijvoorbeeld een voorspeltaak.

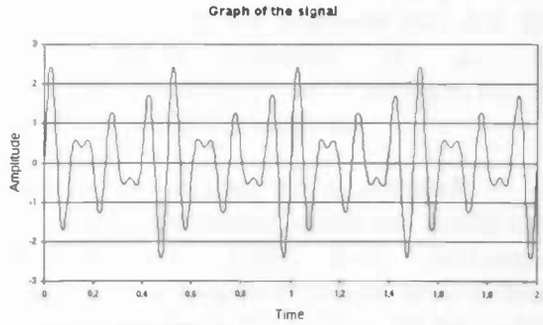
Synthese
Ontwerpen (design) is een synthesetaak waarin het te ontwerpen systeem een fysiek artefact is. Een voorbeeld van een ontwerptaak is het ontwerpen van een auto. Ontwerptaken kunnen ook het creatief ontwerpen van onderdelen omvatten, zoals het vormgeven van het koetswerk van een auto. Dit creatieve ontwerpen is echter nog te lastig voor kennistechnologie om te ontwarren. We nemen aan dat het ontwerpen van een systeem haalbaar is als alle onderdelen van het artefact voorgedefinieerd zijn. Een subtype van ontwerpen is configuratie. Het bouwen van een boot uit legoblokjes is een voorbeeld van configuratie.
Toekennen (assignment) is een relatief simpele synthesetaak, waarin tussen twee sets objecten een gedeeltelijke mapping gemaakt moet worden. Voorbeelden zijn het toekennen van kantoorkamers aan werknemers of het toekennen van vliegtuigen aan vliegtuiggates. De toekenning moet in overeenstemming met beperkingen zijn (Jumbojets kunnen niet bij bepaalde gates aankoppelen) en liefst voldoen aan voorkeuren (KLM toestellen koppelen aan gate 1).
Plannen (planning) kent veel overeenkomsten met ontwerpen, het grootste verschil is het type systeem dat gemaakt moet worden. Waar ontwerpen zich bezig houdt met de

constructie van fysieke objecten, daar houdt plannen zich bezig met activiteiten en haar tijdsafhankelijkheden. Het plannen van een reis en het plannen van bouwactiviteiten zijn hiervan voorbeelden. Ook planactiviteiten kunnen slechts geautomatiseerd worden als de planelementen voorgedefinieerd zijn. Door de overeenkomst van plannen met ontwerpen kunnen modellen soms over en weer uitgewisseld worden.
Bij *modelleren* (modelling) construeren we een abstracte beschrijving van een systeem met als doel systeemeigenschappen of fenomenen te verklaren of te voorspellen. Kennis modelleren is zelf een voorbeeld van een modelleertaak. Een ander voorbeeld is de constructie van een simulatiemodel van een nucleair ongeluk. Modelleertaken worden zelden geautomatiseerd in een systeem, maar ze worden wel gebruikt in de context van kennismanagement.
Sommige taken bestaan uit een samenstelling van taken. Het voorbeeld *roosteren* is zo vaak voorkomend dat KADS het als een aparte taak beschrijft die samengesteld is uit plannen en toekennen. Bij roosteren is de input een set van voorgedefinieerde activiteiten en een set tijdsvakken. De uitvoer is een mapping tussen de activiteiten en de tijdsvakken, met behoud van beperkingen (A moet voor B plaatsvinden) en zoveel mogelijk rekening houdend met voorkeuren (lessen lichamelijke opvoeding dienen bij voorkeur 's middags plaats te vinden). Voorbeelden van roosteren zijn het roosteren van lessen op een middelbare school en het inroosteren van mensen op een fabriekslijn.

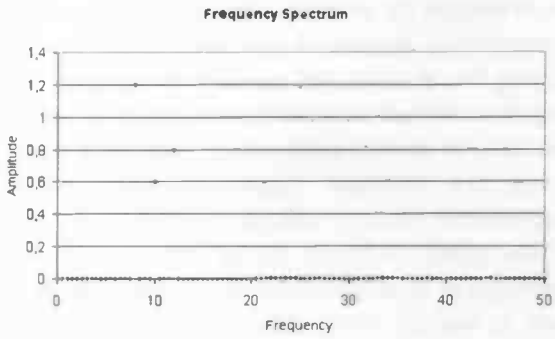
4.2 Signaalanalyse als analysemethode voor patronen in redeneertijden

Traditiegetrouw wordt door psychologen gebruik gemaakt van statistiek als methode om uit gegevens conclusies te trekken. Een andere methode is ook bruikbaar om patronen in redeneertijden te ontdekken: de signaalanalyse.

Signaalanalyse
De Franse wetenschapper Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) is de bedenker van de Fourieranalyse. De fourieranalyse vertelt ons dat elke golfvorm opgebouwd kan worden uit een reeks zuiver sinusvormige signalen. Deze sinusvormige signalen vertegenwoordigen elk een frequentie. Van een signaal waarin allerlei verschillende frequenties aanwezig zijn kan door een fourieranalyse precies aangegeven worden welke frequenties er in welke mate in voorkomen. Plaatjes maken mogelijk duidelijker wat er gebeurt bij een Fourieranalyse:



Figuur 4.2.1 De grafiek in de tijd beschrijving. Drie bewegingen zijn waar te nemen, een tragere en een wat snellere en nog een iets snellere.



Figuur 4.2.2 de grafiek in de frequentie beschrijving.

De fourieranalyse is de kern van de signaalanalyse. Deze techniek maakt het mogelijk om precies te beschrijven welke frequenties, en daarmee welke patronen, er voorkomen in een bepaalde serie reactietijden. Voor zeer complexe signalen is het niet goed te zien welke herhalende patronen aanwezig zijn in het signaal. De signaalanalyse maakt het mogelijk de verschillende frequentiecomponenten te onderscheiden. Dit is interessant om eens te bekijken.
Voor het analyseren van signalen zijn soms nog extra bewerkingen nodig om een resultaat te kunnen interpreteren. Zo moet bij een niet equidistant gesampeld signaal eerst een hersampeling gemaakt worden. De signaalanalyse van hartritmes biedt een geschikte methode voor dit hersampelen omdat deze signalen zeer overeenkomstige eigenschappen bezitten: ze bezitten slechts eenheidspieken (bijvoorbeeld de gebeurtenis van een hartslag of van een reactie) op variabele afstanden van elkaar. In de variabele afstand in de tijd zit de betekenisvolle informatie. Op basis van deze overeenkomst is voor de beat-to-beat benadering van Mulder gekozen[71].

4.3 Kuipers waarheidsbenaderingsmethode en statistiek

De waarheidsbenaderingsmethode[72] van Kuipers beschrijft hoe het mogelijk is om een onderscheid in waarheidsbenadering te maken tussen twee theorieën die de werkelijkheid beschrijven. De statistiek is door middel van het testen van hypothesen ook in staat om onderscheid te maken tussen twee sets data. Een verschil tussen beide zeer andere methoden heeft mij ertoe geleid voor de waarheidsbenaderingsmethode van Kuipers te kiezen. Een goede wetenschappelijke uitwerking van het onderscheid laat ik achterwege omdat dat te ver voert voor deze scriptie. Wel zal ik aannemelijk maken dat deze keuze zinvol is. Ik zal beginnen met een korte inleiding in de wetenschapsfilosofie, vervolgens beschrijf ik de statistiek en de waarheidsbenaderingsmethode van Kuipers om te eindigen met mijn verantwoording bij de keuze voor de waarheidbenaderingsmethode.

Kuipers waarheidsbenadering ten opzichte van de statistiek
De statistiek onderdrukt details. Het onderdrukken van details en de aard van toetsen hebben een effect dat mij heeft doen besluiten om voor de waarheidsbenaderingsmethode van Kuipers te kiezen. Deze details zijn namelijk soms juist van invloed op de hypothese die je wil toetsen. Bij het onderdrukken van details kan waardevolle informatie niet meegenomen worden bij het toetsen van een

[71] Mulder, L.J.M. (1988), *Assessment cardiovascular reactivity by means of spectral analysis.* Groningen: universiteitsdrukkerij R.U.G. p. 26.
[72] Kuipers, T. A. F. (2001).

hypothese. De statistische methode weegt positieve en negatieve voorbeelden. Bij een klein aantal negatieve voorbeelden zal een bestaande hypothese de toets der kritiek doorstaan. Popper heeft aangegeven dat een tegenvoorbeeld genoeg is om een theorie te falsifiëren. Doordat de statistiek er van uitgaat dat waarnemingen onbetrouwbaar kunnen zijn, wordt er een minimale verhouding tussen falsifiërende en bevestigende voorbeelden geëist. Een voorbeeld maakt duidelijk wat dit effect inhoudt. Het statistisch beantwoorden of mensen verder dan 6 meter kunnen springen gebeurt door een steekproef te nemen met een groep mensen. Deze laat je verspringen en vervolgens concludeer je op basis van de uitkomsten of je hypothese, dat mensen niet verder dan 6 meter kunnen springen, stand houdt. Indien er twee mensen zijn die verder dan 6 meter hebben gesprongen en 900 die minder ver dan 6 meter hebben gesprongen, zal de statistische analyse concluderen dat mensen minder ver dan zes meter kunnen springen. Daar statistische uitspraken over groepen gaan, is deze uitspraak niet onwaar. Mensen kunnen over het algemeen namelijk niet verder dan 6 meter springen. De twee uitzonderingen worden afgedaan als statistische ruis. Als je echter op zoek bent naar extremen, is het verliezen van deze twee verspringers een uitermate onwenselijk effect. De eis die de statistiek heeft met betrekking tot verhoudingen falsifiërende en bevestigende voorbeelden maakt het voor sommige onderzoeken minder geschikt.

De waarheidsbenaderingsmethode van Kuipers

Een centrale vraag in de wetenschappelijke methodologie is wat een nieuwe theorie beter maakt dan een oude. De methode die Kuipers voorstelt is om naar de combinatie van algemene successen en individuele problemen te kijken. De volgende definitie van vooruitgang, dat wil zeggen toenemend succes, is het gevolg:

Theorie Y is (op moment t*) ten minste even succesvol als (*meer succesvol dan *of* beter dan*) theorie X als (op moment* t*)*

- *de verzameling van individuele problemen van Y een deelverzameling vormt van die van X.*
- *de verzameling van algemene successen van X een deelverzameling vormt van die van Y.*
- *(in ten minste een van bovenstaande gevallen de relevante deelverzameling een echte deelverzameling is.)*[73]

Deze definitie gaat ervan uit dat bij elk geregistreerd probleem van een theorie nagegaan is of het ook een probleem is voor de andere theorie, en net zo voor de algemene successen. Aangezien het onderzoek voortschrijdt kan het zo zijn dat door de veranderingen in sets problemen en successen op een ander moment juist theorie X aangewezen wordt als meer succesvol.

De keuze voor de waarheidbenaderingsmethode

De statistiek bepaalt voor één hypothese op basis van een vergelijk van haar hoeveelheid successen met haar individuele problemen of deze waarschijnlijk waar of waarschijnlijk onwaar is. De waarheidsbenaderingsmethode geeft na een vergelijk tussen twee theorieën alleen aan welke dichter bij de waarheid komt. In dit vergelijk worden de problemen van de een vergeleken met de problemen van de ander. Hetzelfde gebeurt met de successen. Voor situaties waar relatief veel tegenvoorbeelden voorkomen ten opzichte van successen, biedt de waarheidsbenaderingsmethode de mogelijkheid om onderscheid te maken tussen

[73] Op. cit., p. 241, eigen vertaling van de definitie.

verschillende theorieën terwijl de statistiek mogelijk slechts kan concluderen dat alle theorieën waarschijnlijk onwaar zijn.

4.4 De Donders-aftrek-methode: tijdsduren van mentale processen

De pionier in de studie naar reactietijden was Donders (1968). Hij toonde aan dat een simpele reactietijd sneller is dan de herkenningsreactietijd en dat de keuzereactietijd het langst van de drie duurt. Laming (1968)[74] concludeerde dat de simpele reactietijden gemiddeld 220 msec duurden en dat herkenningsreactietijden gemiddeld 384 msec duurden. Keuzereactietijden duren gemiddeld 510 msec. Als gevolg van deze studie bedacht Donders dat het verschil in duur van de reactietijden voort moest komen uit verschillen in de mentale processen. Donders kon parallelle verwerking uitsluiten bij deze reactietaken waardoor de extra tijd bij de herkenningstaak overeen moest komen met de duur van het mentale proces dat extra uitgevoerd moest worden: de herkenning[75].

De tijdsduur bestaat uit drie onderdelen, waarnemen, redeneren (inclusief beslissen) en reageren (drukken op de knop). De onderdelen waarin ik niet geïnteresseerd ben zijn het waarnemen en het reageren. Deze tijden wil ik aftrekken van de gemeten tijden zodat ik de redeneertijden overhoud. Het beginpunt in deze reactietaak is het waarnemen van de informatie. In mijn geval moet een regel van het beeldscherm herkend worden. In het begin zal dit het lezen van de regels zijn, na verloop van tijd wordt dit omgezet in een veel snellere waarneming, een herkenning. De tijd die nodig is om de input waar te nemen neemt hierdoor af tijdens de eerste zetten van het eerste spel. Het lezen duurt langer dan de herkenning.
Na het redeneren is er ook nog een reageertijd. Deze motorische actie kent een tijdsduur van 0,15 seconde (Rugg and Coles, Electrophysiology of mind).
De set tijden die we na aftrek van al deze tijden hebben is de set met redeneertijden. Niet alleen de afzonderlijke tijden, maar ook patronen in de tijden zijn van belang. De gehele sequentie telt dus als een databron.

---

[74] Laming, D. R. J. (1968). *Information Theory of Choice-Reaction Times*. Academic Press, London
[75] Rugg, M. D. & Coles, M. G. H. (Eds.) (1995), *Electrophysiology of Mind: Event-Related Brain Potentials and Cognition*. London: Oxford University Press.

5 Het toepassen van de beslissingsmodellen op het RPD

De verschillende beslissingsmodellen en het herhaalde prisoners dilemma zijn nu beschreven. Ook de methoden en technieken zijn beschreven. In dit hoofdstuk bekijk ik welke voorspellingen voortvloeien uit de drie beslissingsmodellen voor de drie gewenste typen waarnemingen *uitkomsten, redeneertijden* en *redeneringen*. Zoals aangegeven in paragraaf 4.1 vormen de inferenties de cruciale tussenstap tussen hoe de drie theorieën beschrijven hoe mensen redeneren en de hardopdenkprotocollen die bij het experiment door de proefpersonen geuit worden. De hypothesen voor de gebruikte inferenties vloeien voort uit de samenstelling van taken die mensen uitvoeren.
In dit hoofdstuk behandel ik eerst de voorspellingen voor de redeneertijden (paragraaf 5.1), vervolgens de voorspellingen voor de uitkomsten (paragraaf 5.2) en als laatste volgen de voorspellingen voor de redeneringen (paragraaf 5.3).

5.1 De drie theorieën en tijd

De tijd die tijdens experimenten gemeten wordt, is de reactietijd. Deze reactietijd bestaat uit een waarneemtijd, een redeneertijd en een responstijd. Voor de drie theorieën is de waarneemtijd en de responstijd hetzelfde omdat dezelfde waarnemingen aangeboden en dezelfde responsies gegeven worden. De duur van deze twee tijden samen heb ik bij mijn experiment vastgesteld op 510 msec. Daarvoor heb ik de duur van de keuzereactietijd gebruikt, deze bedraagt 510 msec. Bij de keuzereactietest moeten proefpersonen bij het verschijnen van een optie A op knop A drukken en bij het verschijnen van optie B op knop B. Dit heeft betrekking op de waarneming van opties en op de keuze die uit twee opties gemaakt wordt met een respons. Dat komt precies overeen met de twee tijden die ik zoek: de waarneemtijd en de responstijd. Er is echter een verschil, de waarneemtijd voor de zinnen die voorkomen in de testopstelling bedraagt meer dan de waarneemtijd van een simpele letter A of letter B. Dit verschil in tijd heb ik vastgesteld op 200 msec. Zo kom ik op 510+200=710 msec voor de som van waarneemtijd en de responstijd voor de eerste paar zetten. Er zijn echter slechts vier verschillende zinnen die de vier verschillende uitkomsten van het RPD beschrijven. Op den duur zullen de proefpersonen deze zinnen direct herkennen net als een geoefende lezer een woord ook in een keer herkent. De zin krijgt dan de status van een teken[76]. Dit teken wordt even snel herkend als het teken A, waardoor de som van de waarneemtijd en de responstijd hetzelfde wordt als de duur van de keuzereactietijd, namelijk 510 msec.
Het verschil van mijn reactietijd met deze keuzereactietaak is dat de proefpersonen tussen de waarneming en de respons nog redeneren. Door een voorspelling voor een redeneertijd te achterhalen bij elke theorie kan ik dus een reactietijd volgens elke theorie voorspellen. Voor de redeneertijd zal ik nu bij elk van de drie theorieën een hypothese opstellen.

---

[76] De wetenschap die zich bezighoud met algemene theorieën over tekens is de semiotiek. Semiotiek is het onderzoek van begrip, voorspellen en betekenis; hoe we de wereld begrijpen, voorspellingen maken en betekenis ontwikkelen. In de semiotiek wordt een teken algemeen gedefinieerd als iets wat voor iemand in een bepaalde hoedanigheid ergens anders voor staat (Danesi, M. & Perron, P. 1999. *Analyzing Cultures: An Introduction and Handbook.* Bloomington, IN: Indiana University Press).

5.1.1 Speltheorie

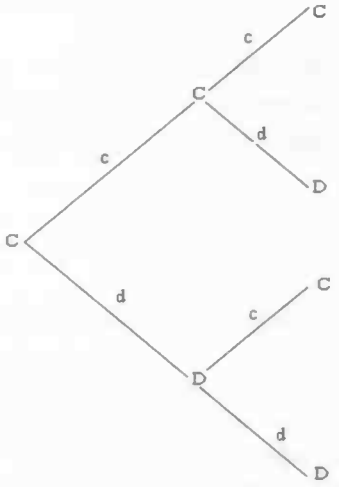
Volgens de rationele beslissingstheorie speelt een mens het RPD door, voordat de eerste zet gedaan is, een strategie te bepalen die met alles rekening houdt. Dit bepalen van een strategie is complex en kost veel tijd. Maar nadat een strategie geformuleerd is, hoeft er niet meer geredeneerd te worden. Het is namelijk al duidelijk wat de respons is bij elke willekeurige situatie. De tijd die na de eerste zet nodig is zal in de buurt van de keuzereactietijd komen te liggen. De redeneertijd is dan dus ongeveer nul. Nu valt nog te bepalen wat veel tijd is voor de eerste zet.

Het vanuit de speltheorie bepalen van de duur van de eerste zet is lastig. Ik kan het maximum aantal verschillende strategieën begrenzen op het aantal keuzemogelijkheden tot de macht van het aantal keuzemomenten. Het aantal strategieën dat overwogen moet worden is dus afhankelijk van de duur van het spel. Omdat beide spelers evenveel zetten doen, is het aantal strategieën van de ander even groot (=N). Omdat ik zoek naar een ondergrens in redeneertijd neem ik aan dat het aantal verschillende strategieën maar één keer geformuleerd hoeft te worden. Deze strategieën plaatsen we in een N x N matrix, dan hebben we alle mogelijke spelverlopen. We bepalen de uitkomst per mogelijk spelverloop.

Bij elke strategie van de ander moet de kans dat deze strategie door mensen gespeeld wordt worden bepaald. De verwachte opbrengst van de eigen strategie kan dan bepaald worden door in de spelmatrix de uitkomst van elke eigen strategie (als die gespeeld wordt tegen een strategie van de ander) te vermenigvuldigen met de kans dat die strategie door de ander gespeeld wordt. De verwachtingswaarde van een eigen strategie is nu de som van alle bij deze strategie behorende verwachtingswaarden. De beste eigen strategie is de strategie met de hoogste verwachtingswaarde. Deze moet gekozen worden.

Een strategie schrijft voor elk keuzemoment een te ondernemen actie voor. Je kunt een ronde in het RPD beschrijven als een eigen beurt gevolgd door een beurt van de ander, met na de beurt van de ander een uitkomst. De spelboom na één ronde omvat dus 4 nieuwe keuzepunten. Als gevolg van een strategie, die een keuze voorschreef in de eerste ronde, kunnen twee van deze punten bereikt worden. Een strategie beschrijft voor alle keuzepunten, die als gevolg van de eigen strategie aangedaan kunnen worden, de te ondernemen actie.

Voor een spel met drie zetten ziet de tit-for-tat strategie er zo uit:



figuur 1. Spelboom behorend bij de tit-for-tat-strategie voor een spel van 4 stappen, waarbij de speler met C begint. Hoofdletters C en D zijn eigen keuzen, kleine letters c en d zijn keuzen van de tegenstander.

De eindzet van de tegenstander staat niet in de strategie: een einduitkomst is pas te achterhalen als de tegenstander de werkelijke keuzen maakt.

Door de duur van de afzonderlijke redeneerstappen in te schatten, kan nu voor een hele redenering een tijdsduur geschat worden. Deze ondergrens wordt bij alle drie de theorieën vastgesteld door middel van de schatting van de redeneertijd van een perfect wiskundig subject. Voor de speltheorie hebben de redeneerstappen de volgende bijborende redeneertijd:

- Aannemen hoeveel beurten (B) er gespeeld wordt. (t = 0,5 sec)
- Formuleren van de 2 tot de macht B (=N) verschillende strategieën. (t = 0,20 * 2^ B sec) (0,20 is de duur van het opnoemen van een keuze, dit is gebaseerd op de 2 choice decision task reaction time,)
- Het uitwerken van wat de uitkomsten zijn als deze set met N strategieën gekoppeld wordt aan zichzelf (opstellen van de N x N matrix met uitkomsten). (t = 0,5 * N * N * (B*(0,10+0,10+0,2)) sec) (Matrix is spiegelsymmetrisch, dus slechts 0,5 maal de hele matrix uitrekenen, per strategie moet voor het aantal stappen dat het spel duurt de eigen keuze en de keuze van de ander opgezocht worden en de uitkomst van beide keuzen bepaald worden.)
- Schatten wat de kans is dat elke strategie door de tegenstander gespeeld wordt (formuleren kansen P_1 tm P_n). Bestaat uit optellen (0,15) van alle uitkomsten (N) voor elke rij (N) het gemiddelde (0,15) van alle rijen (N) bepalen en vervolgens voor elke rij (N) de uitkomst vergelijken (0,3) met het gemiddelde en op basis daarvan een kanswaarde toekennen(0,3). (t = 0,15*N*N +0,15*N+ N*(0,3+0,3) sec). Aangezien de strategieën niet zelf stuk voor stuk aan een grondige interne analyse onderworpen worden, is dit zoals hier geschat nog een zeer tijdszuinige redeneerstap. Hier wordt de kans namelijk bepaald op basis van de prestatie en niet op basis van een psychologisch model van menselijk spelgedrag.
- Vermenigvuldigen van de N x N matrix met de kansen P_1 tm P_n. (t = 0,5 * N * N * 0,5 sec) (N kolommen bestaande uit N getallen vermenigvuldigen met kans P_n, een vermenigvuldiging duurt 0,5 sec.)
- Berekenen van de uiteindelijke verwachtingswaarde door optelling van de N verwachtingswaarden bij elke strategie. (t = 0,5 *N*N*0,15 sec)
- Kiezen voor de beste strategie (t = 0,5 sec)

Als we deze redeneertijden voor de afzonderlijke denkstappen bij elkaar optellen, krijgen we de redeneertijd voor het hele redeneerproces. Bij het aantal zetten diep dat nagedacht wordt, horen dan de volgende redeneertijden:

hoeveel ronden diep denk ik na	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
totale tijd in seconden	5,6	18,8	77,4	342,6	1541,8	6923	30842,6	136231	596865	2596199

Zoals uit de tabel blijkt neemt de redeneertijd heel hard toe. Bij acht zetten diep nadenken is de redeneertijd al meer dan een week. Deze beschreven wijze van redeneren is beperkter dan de speltheorie. Die gaat namelijk uit van een optimale respons op alle mogelijke strategieën voor alle mogelijke spelduren. Door vroegtijdig wegsnoeien van slechte opties kan de redeneertijd wel zeer sterk gereduceerd worden. Dit besteden van tijd aan het verzinnen van efficiëntere vormen van redeneren wordt

snel aantrekkelijk omdat de redeneertijden zo sterk toenemen. De speltheorie zal deze slimmere vormen van redeneren waarbij er geen kwaliteitsverlies optreedt zeker opleveren. Ik ga deze niet beschrijven, ik wilde hier slechts aantonen dat de speltheoretische redeneertijden door het kwadratische karakter snel tot buitengewone proporties zullen stijgen.

Als een ervaren speler tegen een nieuwe medespeler speelt, kan hij de al eerder vastgestelde strategie gebruiken. De redeneertijd zal dan bij alle zetten inclusief de eerste zet ongeveer nul zijn, tenzij hij de kansen op bepaalde strategieën die de tegenstander kan hanteren gaat bijstellen op basis van zijn beeld van zijn nieuwe medespeler. Bijna de hele redenering moet dan weer uitgevoerd worden. De reeks van redeneertijden zal dan voor een ervaren speler ook bestaan uit één lang durende eerste zet die gevolgd wordt door zetten die qua redeneertijd dicht bij nul liggen. Negatieve voorbeelden (overtredingen van wat de theorie voorspelt) zijn zetten die langer duren dan een maximummaat. Voor de eerste zet mag deze zeer lang duren, de vervolgzetten mogen niet langer duren dan circa 0,71 sec.

5.1.2 Snelle heuristieken

De redeneertijden die volgens de snelle heuristiekenmethode tijdens het spelen van het RPD zullen voorkomen, zien er heel anders uit. Ook voorspelt de snelle heuristiekenmethode een ander patroon in de reeks redeneertijden. Deze theorie beweert dat de redeneertijd nooit zeer lang zal worden, wat bij de rationele beslissingstheorie wel voor kan komen bij de eerste zet. Er is een ecologische bovengrens aan de duur van redeneringen. Volgens de snelle heuristieken beschikken mensen over een adaptieve gereedschapskist met heuristieken. Afhankelijk van het probleem wordt een bepaalde heuristiek uitgekozen om te gebruiken. Naast het type probleem is de tijdsdruk van invloed op de gekozen heuristiek. In sommige gevallen is er geen tijd om goed en uitgebreid na te denken. Dan wordt voor een zeer snelle vuistregel gekozen. Bij de gekozen experimentele setting is er geen tijdsdruk. Naast dat tijd een beperkende factor kan zijn, kan ook informatie een beperkende factor zijn. Dan zijn snelle heuristieken ook zeer nuttig. Dit is bij het RPD wel aan de hand. Met de tegenstander kan niet gecommuniceerd worden en van de tegenstander is niets bekend. De redeneertijden zijn dus afhankelijk van de geselecteerde heuristiek. De ene heuristiek is sneller dan de andere.

Een ander aspect is het vaststellen welke heuristiek gebruikt moet worden. Door de specificiteit van de heuristieken is de groep waaruit gekozen kan worden vaak beperkt tot slechts één toepasbare heuristiek. In de gevallen waar er uit meerdere heuristieken gekozen kan worden, kan de kennis van de beslisser gebruikt worden. In het geval dat de beslisser nog niet weet welke aanwijzingen het beste zijn, kan take-the-best[77] niet gebruikt worden. Take-the-last komt dan in aanmerking. Beide heuristieken kunnen bij het RPD voorkomen. Zo ook is het wisselen tussen heuristieken effectief binnen het RPD omdat dat onvoorspelbaar gedrag tot gevolg heeft.

Het kiezen tussen deze verschillende heuristieken gebeurt ook door een heuristiek. Deze is eveneens snel en efficiënt en maakt geen gebruik van onbeperkte rationele analyses. Zo'n snelle verander-de-heuristiek heuristiek is bijvoorbeeld het nemen van de enige andere heuristiek die voorhanden is zonder er verder bij na te denken. Deze verandering kan mogelijk een beter resultaat opleveren en maakt het eigen gedrag minder voorspelbaar wat ook nuttig kan zijn. In de tijdreeksen zal dit terug te zien

[77] Voor een uitwerking van take-the-best en take-the-last verwijs ik terug naar paragraaf 3.2 van deze scriptie.

zijn. Te verwachten zijn reeksen van ongeveer even lange redeneertijden. Deze reeksen worden beëindigd door een langere redeneertijd. Het veranderen van de heuristiek gebeurt namelijk als uit een evaluatie blijkt dat de huidige heuristiek niet naar wens functioneert. Een nieuwe heuristiek wordt dan gezocht. Dit vergt tijd. Vervolgens moet de nieuwe heuristiek op basis van de aangeboden informatie een keuze maken. De redeneerduur voordat een nieuwe zet gedaan wordt is dan dus veel langer. Deze redeneerduur van de beurt waarin deze metaheuristiek gebruikt wordt, is dan grofweg drie keer de redeneerduur van een gewone heuristiek. Mogelijk is ook te onderscheiden dat de ene heuristiek ingewikkelder is dan de andere uit de langere gemiddelde redeneerduur.

Een redeneertijd bij elke heuristiek valt te benaderen door aan de stappen waar een heuristiek uit bestaat, tijdsduren toe te kennen. Dit gebeurt op basis van de psychometrie. Als voorbeeld wordt de take-the-last heuristiek genomen.

Take-the-last
Take-the-last bestaat uit de volgende stappen:

1. zoek naar de alternatieven die je wil overwegen
   Er kan gekozen worden uit samenwerken of competitie, die zijn beide al bekend. Deze overweging hoeft niet elke keer gemaakt worden, slechts één keer aan het begin van het spel. De redeneertijd bedraagt voor deze stap buiten de eerste zet 0 msec.
2. maak gebruik van de herkenningsheuristiek, indien niet toepasbaar ga naar 3.
   Deze regel is nooit bruikbaar in het RPD, beide opties worden herkend. Ik denk dat deze stap daarom geen tijd kost in de redenering.
3. zoek de aanwijzing op die je de laatste keer succesvol hebt gebruikt
   opzoeken van de reden van vorige beslissing, mijn schatting: 0,2 – 1,5 sec. ,
4. stopregel: beslis op basis van deze aanwijzing, indien de aanwijzingen niet verschillen verwijder de aanwijzing en herhaal stap 2.
   De aanwijzingen verschillen bij het RPD altijd. Dus deze stopregel heeft altijd succes. Ik neem aan dat deze redeneerstap niet voorkomt bij het RPD.
5. beslisregel: kies voor de aanwijzing met de positieve aanwijzing

Bij het beslissen moet de aanwijzing gekoppeld worden aan de keuze. Voor de tijdsduur van dit proces neem ik het verschil tussen de simpele reactietaak en de keuzereactietaak[78]. Het verschil tussen deze twee taken is namelijk het koppelen van een input aan een output, en dat is precies waaruit dit beslissen bestaat. Dit verschil bedraagt 0,3 sec.
In deze heuristiek komt geen evaluatie voor. Er kan een overkoepelende heuristiek werkzaam zijn die nagaat of het resultaat redelijk is en als het resultaat slecht is ingrijpt en een nieuwe heuristiek zoekt.
De redeneertijd bedraagt tussen de 0,5 en 1,8 seconden. Aan deze totale tijd aan redeneren moet de waarneemtijd en de responstijd toegevoegd worden om de reactietijd te krijgen. De reactietijd ligt dan voor de take-the-last dus tussen de 1,0 en de 2,3 seconden.

Tit-for-tat
Voor tit-for-tat kan ook op deze manier een redeneertijd gevonden worden. Take-the-last kan echter deze bepaling makkelijk maken. Tit-for-tat werkt exact hetzelfde als

[78] Laming, D. R. J. (1968).

take-the-last, alleen is de aanwijzing niet de eigen keus, maar de keus van de tegenstander. De redeneertijd is dus hetzelfde, namelijk tussen de 0,5 en 1,8 seconden. De reactietijd ligt daarmee tussen de 1,0 en de 2,3 seconden.

Take-the-best
(is met evaluatie van de aanwijzing op succes, geen evaluatie op de heuristiek zelf)

1. zoek naar de alternatieven die je wilt overwegen.
   Er kan gekozen worden uit samenwerken of competitie, die zijn beide al bekend. Deze overweging hoeft niet elke keer gemaakt worden, slechts één keer aan het begin van het spel. De redeneertijd bedraagt voor deze stap buiten de eerste zet 0 msec.
2. maak gebruik van de herkenningsheuristiek, indien niet toepasbaar ga naar 3.
   Deze regel is nooit bruikbaar in het RPD, beide opties worden herkend. Ik denk dat deze stap daarom geen tijd kost in de redenering.
3. zoek de aanwijzing op die je tot nu toe het meest met succes hebt gebruikt
   opzoeken van de succesvolle aanwijzing, mijn schatting: 0,3 – 1,5 sec. ,
4. stopregel: beslis op basis van deze aanwijzing, indien de aanwijzingen niet verschillen verwijder de aanwijzing en herhaal stap 2.
   De aanwijzingen verschillen bij het RPD altijd. Dus deze stopregel heeft altijd succes.
5. beslisregel: kies voor de aanwijzing met de positieve aanwijzing. De beslistijd schat ik weer op 0,3 sec.
6. nagaan of vorige keuze succesvol was, en bijstellen van succesmaat van de schatting: 0,3 – 2 sec.

De redeneertijd bedraagt tussen de 0,9 en 3,8 seconden. Om de reactietijd te krijgen tellen we de waarneemtijd en de responstijd op bij de redeneertijd. Voor de take-the-best krijgen we dan een reactietijd van tussen de 1,4 en de 4,3 seconden.

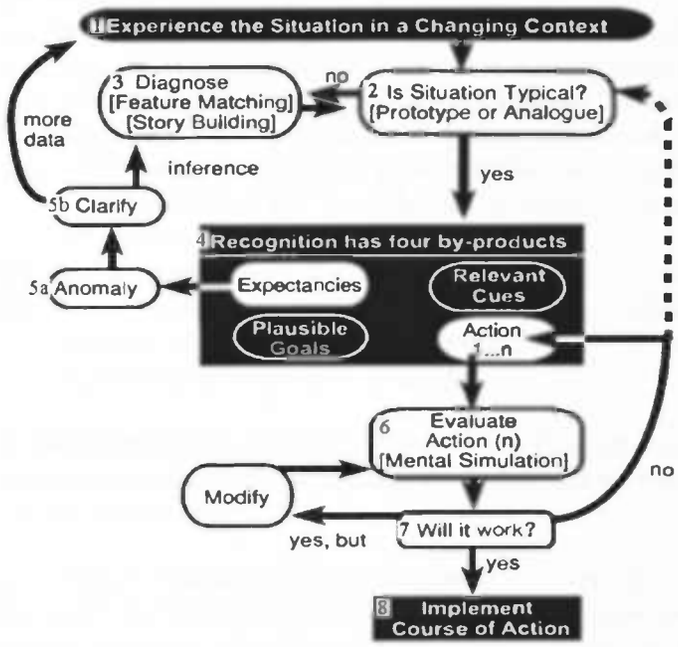
De metaheuristiek
De redeneertijd van de metaheuristiek bestaat uit drie maal de redeneertijd van een gewone heuristiek plus de redeneertijd voor de evaluatie van de gebruikte heuristiek. De duur van deze evaluatie neem ik gelijk aan de evaluatie van de aanwijzing uit de take-the-best heuristiek. De minimale en maximale redeneertijden worden voor de metaheuristiek respectievelijk: 3 * 0,5 seconden en 3 * 3,8 seconden.
De reactietijd is dan deze redeneertijd plus de waarneemtijd en de responstijd, wat hier neer komt op een tijd van tussen de 2,0 en 11,9 seconden.

Negatieve voorbeelden (overtredingen van wat de theorie voorspelt) zijn als zetten buiten de gegeven tijdsmaat duren die we hadden voorspeld, voor lange zetten die niet zo vaak voorkomen (metaheuristiek) mag dit 11,9 seconden duren, voor korte zetten is 4,3 seconden het maximum. Zetten mogen niet korter dan 1,0 seconde duren.

5.1.3 Herkenningsgebaseerde beslissingstheorie
Bij de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie kunnen we ook door middel van het opdelen van het redeneerproces een inschatting proberen te maken van de te verwachten redeneertijden. Van te voren is echter al aan te geven dat het bij dit model lastiger is om een beperkt tijdsgebied af te bakenen waarbinnen de redenering zal plaatsvinden. Ook voor de tijdsreeksen zijn minder sterke voorspellingen te genereren. In paragraaf 3.1 zijn twee eigenschappen genoemd die dit veroorzaken: 1) de diversiteit aan redeneringen die het model toestaat en 2) het dynamische karakter

van het model. Het dynamische karakter maakt het moeilijk vast te stellen wanneer een beslissing genomen wordt. Mogelijk wordt er voor meerdere beurten een actieplan gemaakt en is de voornaamste activiteit in de navolgende beurten het monitoren. De ene beurt bevat dan de redeneertijd van een geheel beslissingsproces, de andere beurt borduurt verder op een eerder genomen beslissing. De voorspellingen qua redeneertijden zijn hierdoor divers. Maar als we dit onderscheid hanteren zouden we dan niet voor beide soorten beslissingen een redeneertijd kunnen formuleren (1=actieplan kiezen, 2=monitoren van het in uitvoering zijnde actieplan)? Voor het monitoren is een redeneertijd te bedenken. Voor de beslissing waarin een actieplan gekozen wordt, staat het herkenningsgebaseerde model echter zeer veel verschillende redeneringen toe. Als beschrijvend model voor menselijk beslissingsgedrag is dit goed, tenminste als mensen zeer uiteenlopende redeneringen hanteren. Het nadeel is dat het model zoveel toestaat, dat bijna alles aan haar tijdseisen voldoet. Het levert op tijdsgebied geen onderscheidend vermogen op. Toch is het goed het redeneerproces volgens het herkenningsgebaseerde beslissingsmodel nader te beschouwen.

Aan de stappen die Klein onderscheidt in het herkenningsgebaseerde beslissingsmodel worden nu redeneertijden gekoppeld voor de experimentele context met het RPD. Voor het gemak toon ik nogmaals het model met daarin de verschillende toestanden:



Integrated version of recognition-primed decision model

1. Waarneming: neem de situatie waar, ->2 (-> betekent ga naar)
2. typering situatie: is de situatie van een standaard type? nee->3, Ja -> 4
3. Diagnosticeer, maak type (koppel eigenschappen, maak een verhaal) ->2
4. herkenning situatie: verwachtingen, belangrijke aanwijzingen, mogelijke doelen, acties 1..n. Onverwachte gebeurtenis-> 5, Actie geselecteerd -> 6

5a+b. afwijking, dient verklaart te worden:
- leidt tot zoeken naar extra informatie in -> 1
- of afleiden van de situatie in -> 3.

6. Schat met behulp van mentale simulatie de consequenties in van de geselecteerde actie.
7. Evalueer de uitkomst van de mentale simulatie
   - Gaat het werken -> implementeer actie
   - Gaat het niet werken -> selecteer de volgende actie
   - Gaat werken mits -> modificeer de actie en simuleer opnieuw -> 6
8. Implementeer actie

Dit model heeft zeer veel verschillende paden en staat dus veel verschillende redeneringen toe. Twee onderdelen vormen de kern van de redenering: herkenning en de mentale simulatie. Op basis van de herkenning wordt een actiesequentie geselecteerd dat mentaal gesimuleerd wordt. Als de uitkomst niet bevredigend is volgt er een nieuwe actieselectie op basis van de herkenning. Ook de herkenning kan vragen om een nieuwe loop in het model. Bij het niet herkennen wordt namelijk naar extra informatie gezocht. Doordat er herhalingen in het model zitten, is het van belang om de minimale redeneertijd te vinden. Een maximum kan namelijk theoretisch oneindig zijn. Voor een lange redeneertijd moet een redelijke schatting komen. Eerst bepaal ik welke stappen voorkomen in een minimale redenering en welke minimale tijdsduur daar bij hoort.

Een minimale redeneertijd
Stappen 1 en 8 kan ik wegstrepen omdat deze voor mij buiten de redeneertijd vallen.
Stap 1 en stap 8 zijn reeds gedefinieerd als waarneemtijd en responstijd.
Stap 2, het typeren van de situatie duurt minimaal 0,2 seconde voor een prototype.
Stap 3 komt niet voor in de minimale redenering, alleen bij een mislukken van 2 of 5.
Stap 4, het herkenning van de situatie en het selecteren van een bijbehorende actie duurt minimaal 0,3 seconde, dit is namelijk het verschil tussen de simpele reactietaak en de keuzereactietaak.
Stap 5. komt niet voor in de minimale redenering, alleen bij een afwijking.
Stap 6 en 7 samen, de mentale simulatie en de evaluatie van de uitkomst van de mentale simulatie kan 0,3 seconden: "Had deze actie succes in het verleden?" het antwoord is direct de evaluatie.

De redeneertijd van minimale redenering is dus 0,8 seconden. De mentale simulatie zoals die bedoeld wordt door Klein heeft dan niet echt plaats gevonden. De reactietijd is dan 1,3 seconden.

Een redelijke schatting voor een maximale redeneertijd
Een redelijke inschatting van de redeneertijd bij een lange redenering stoelt op het bepalen van twee processen die tijdens het spelen van het RPD wat langer kunnen duren: het typeren en diagnosticeren van de situatie (stap 2 en 3) en het mentaal simuleren en evalueren van de uitkomst van deze simulatie (stap 6 en 7). De herkenning van een situatie (stap 4) is bij het RPD niet een denkstap die veel tijd vergt ten opzichte van deze twee processen.
Bij een nadere beschouwing zal blijken dat voor deze twee processen eenzelfde inschatting gemaakt kan worden van een redeneertijd. Het waarnemen en typeren van de situatie hangt bij het RPD nauw samen met wat er gebeurd is: hoe hebben de spelers gereageerd op zetten van elkaar. Het typeren en diagnosticeren bestaat uit het vormen van een indruk van deze geschiedenis. Hiervoor moet achterwaarts geredeneerd worden, men moet zich inleven in de ander. Bij de mentale simulatie

moet ook inleving in de ander plaatsvinden. De theorie van Klein geeft aan dat het zich inleven in de ander zeer belangrijk kan zijn en in het geval van het RPD is dat duidelijk het geval. De consequenties van een actie hangen namelijk sterk af van wat de reactie van de ander zal zijn op die actie.
Een mentale simulatie is dus vaak hetzelfde als wat de rationele methode voorschrijft dat mensen doen: alle consequenties doorrekenen bij een situatie. Deze inleving is speltheoretisch beschreven in paragraaf 2.10[79]. Het inleven in de ander kan in verschillende diepten er kan namelijk aangenomen worden dat de ander ook over de speler zelf redeneert. De diepte van dit doordenken heeft invloed op de redeneertijd. Mensen denken doorgaans niet meer dan twee stappen diep door[80]. Een inschatting voor de redeneertijd bij twee stappen diep denken hebben we al gemaakt. We hebben namelijk de redeneertijd van de rationele methode voor twee stappen diep. Deze kunnen we nemen als de maximale redeneertijd omdat deze alle mogelijkheden omvat en mensen niet dieper dan twee stappen denken. Deze redeneertijd is 18,8 seconden. Beide processen duren dus maximaal 18,8 seconden. Op deze manier wordt eenmaal voor het verleden een volledige spelboom van twee stappen diep doorgewerkt en eenmaal dezelfde (maximale) spelboom voor twee zetten in de toekomst. Mensen voeren echter vaak maar een beperkt deel van deze redenering uit. Hierdoor zullen ze er minder tijd aan kwijt zijn. Een noemer maximaal is dus wel op zijn plaats. Voor de toekomst kan deze redenering tweemaal uitgevoerd worden, één keer voor de actie samenwerken en één keer voor de actie bedriegen.
De redelijke schatting voor een maximale redeneertijd is de som van driemaal 18,8 seconden, dat is 56 seconden. Vanwege de significantie in de tijden kan dit probleemloos afgerond worden op één minuut. De reactietijd is dan dus ook één minuut. Zou het een keer voorkomen dat iemand een simulatie of evaluatie zou uitvoeren met drie stappen diep redeneren, dan komt de redeneertijd uit op vier minuten (3 maal 78 seconden = 234 seconden, dat is ongeveer vier minuten).

Negatieve voorbeelden (overtredingen van wat het herkenningsgebaseerde beslissingmodel voorspeld) zijn zetten die langer duren dan een minuut; korte zetten mogen niet korter zijn dan 1,3 seconden.

5.2 De drie theorieën en uitkomsten

De theorieën doen uitspraken over de kwaliteit van de beslissingen die behaald worden als men volgens de theorie zou beslissen. Hiervoor is een maat van goed en slecht nodig. Nadat op redelijke wijze een goede uitkomst en een slechte uitkomst is vastgesteld, zullen de voorspellingen van de drie theorieën geformuleerd worden.

5.2.1 Vaststellen van een maat voor een goede en een slechte uitkomst

Het doel tijdens het spelen van een spel is het maximaliseren van utiliteit. Wil ik uitspraken doen over de kwaliteit van de uitkomsten, dan dien ik mijn experiment zo te kiezen dat de opbrengsten en de utiliteit parallel lopen. Ook omdat de specifieke hiërarchie in uitkomsten voor het PD van belang is, dienen de opbrengst en de utiliteit parallel te lopen. Het doel dat aan de proefpersonen meegegeven moet worden is dus om zo veel mogelijk opbrengst te verkrijgen. Een standaard uitbetalingstabel voor het RPD ziet er als volgt uit:

[79] De diepte in de inleving werd beschreven met de term TOM: theory of mind
[80] Zie deze scriptie paragraaf 2.11

Eigen keuze Anders keuze	Ander werkt samen (C)	Ander bedriegt (D)
Ik werk samen (C)	3 goudstukken 3 goudstukken	0 goudstukken 5 goudstukken
Ik bedrieg (D)	5 goudstukken 0 goudstukken	1 goudstukken 1 goudstukken

Bij deze randvoorwaarden zullen proefpersonen proberen om zo veel mogelijk punten te verdienen en dus hun eigen belang nastreven. De spelers zullen proberen om te winnen en dus om veel punten te scoren. Wat veel punten zijn is echter nog niet bekend. Spelers kunnen dit wel inschatten. Het aantal zetten is aan het begin van het spel niet bekend. Van te voren kunnen dus geen scores voor een spel genoemd worden die bij een goede of een slechte prestatie horen. Vanuit de voorkeuren qua scores per ronde kan echter wel iets over uitkomsten voor een serie gezegd worden. De voorkeuren voor uitkomsten per ronde is duidelijk. Het meest wordt de uitkomst "bedrieg de ander" gewaardeerd (eigen opbrengst is vijf punten), daarna is wederzijds samenwerken het aantrekkelijkst (eigen opbrengst is drie punten), vervolgens is het wederzijds bedriegen het aantrekkelijkst (eigen opbrengst is één punt) en het minst aantrekkelijk is de uitkomst waarin de speler zelf bedrogen wordt (eigen opbrengst is nul punten). In een PD dat een ronde duurt, is de keuze voor competitie het beste, misschien verdien je vijf punten en je weet zeker dat je er één verdient. In een herhaald PD is deze keuze echter niet handig.

Het hanteren van een eerste orde theory-of-mind[81].
Naast dat de directe uitkomst namelijk telt, is ook het gevolg van belang. Dit gevolg zorgt ervoor dat het herhaalde PD verschilt van een grote serie enkelvoudige PD's tegen verschillende tegenstanders. Voor het bepalen van de gevolgen moet een proefpersoon een eerste orde theory-of-mind hanteren: hij moet inschatten wat de ander zal als reactie op een zet van hem. Als de proefpersoon aanneemt dat de medespeler zijn eigen belang nastreeft en niet alles op alles zal zetten om hem een maximale score te geven ten koste van zijn eigenbelang, dan kunnen we niet verwachten dat het bedriegen van de ander vele beurten achter elkaar de uitkomst zal zijn. Het gevolg van competitie blijven spelen als de ander coöperatie speelt, zal zijn dat de ander op den duur overstapt op competitie om zo nog enige punten af te dwingen. Als de ander vanaf dat moment ook alleen maar competitie speelt, wordt er slechts één punt per ronde verdiend. Het spelen van competitie levert een kracht op richting het spelen van competitie door de ander.

Het hanteren van een tweede orde theory-of-mind.
Als de proefpersoon een tweede aanname doet, namelijk dat de ander zich ook zal inleven in hem en dus zal onderkennen dat de proefpersoon zijn eigen belang nastreeft, dan verwacht de proefpersoon als hij meerdere zetten achter elkaar coöperatie speelt, dat de ander dan ook coöperatie gaat spelen. De ander streeft zijn eigen belang na en weet dat met wederzijds samenwerken meer verdiend wordt dan met wederzijdse competitie. Als de ander kiest voor profiteren van het samenwerken

[81] Zie paragraaf 2.10 voor een uitwerking van het begrip theory of mind

van de proefpersoon, dan zal de proefpersoon, omdat hij zijn eigen belang nastreeft, ook competitie gaan spelen. De wederzijdse competitie wordt minder gewaardeerd dan wederzijds samenwerken. Als de ander weet dat de proefpersoon een neiging richting competitie vertoont als hijzelf competitie speelt, dan is competitie spelen risicovol omdat dan de situatie van wederzijdse competitie kan gaan optreden. Bij het spelen van coöperatie door de proefpersoon is er dus een kracht richting het spelen van coöperatie door de ander.

Stabiele patronen
Mensen hanteren doorgaans hoogstens een tweede orde TOM. Bij de aanname van zowel de eerste orde TOM en de tweede orde TOM, volgen twee krachten. Bij deze krachten zijn twee keuzepatronen stabiel: coöperatie spelen als reeds wederzijds coöperatie gespeeld wordt en competitie spelen als reeds wederzijds competitie gespeeld wordt. In de stabiele coöperatie situatie kan geprobeerd worden om te exploiteren. Dit resulteert mogelijk in een verlies van het evenwicht, maar dit verliezen van het evenwicht hangt af van hoe snel een speler geneigd is om te gaan competeren als reactie op een competitie. In de stabiele competitie situatie kan getracht worden deze om te buigen naar de stabiele coöperatie situatie, die de voorkeur geniet. Het gemak waarin dit evenwicht omgebogen kan worden hangt af van hoe snel iemand geneigd is om ook coöperatie te spelen als gevolg van een coöperatie van de ander. Het ombuigen kost hier echter punten. Deze neigingen verschillen per individu. De ene persoon is minder geneigd een keertje competitie af te straffen, experimenteren met het zo af en toe competeren is dan waardevol. Als het dan toch misgaat en er een situatie van wederzijds competitie spelen zich voordoet, dan mag je hopen op een vergevingsgezinde medespeler. Een grote neiging om het weer goed te maken zorgt ervoor dat je weinig rondes zonder punten komt te zitten voordat het weer goed gemaakt is.

Kwaliteit van opbrengsten
Op basis van deze stabiele series kunnen we een maat geven voor goede en slechte uitkomsten. De stabiele serie waarin de herhaalde uitkomst van continu wederzijds samenwerken, waarin geen van beide het gemeenschappelijke belang schaadt, kent de hoogste opbrengst. Deze stabiele serie kunnen we daardoor aanmerken als een zeer goed resultaat. Als ik bijvoorbeeld aanneem dat er veertig ronden gespeeld worden, dan is een goede uitkomst een score van $40 * 3 = 120$ punten[82].
Aan de andere kant kunnen we ook aannemen dat als we ons eigen belang in het oog houden, we minimaal in de buurt moeten kunnen komen van 40 punten, wat de score is voor alle beurten wederzijdse competitie. Dit is de minimale score die je jezelf kunt garanderen. Dit is ook de uitkomst van de tweede stabiele serie. Ik kenmerk dit resultaat echter als een slecht resultaat. Wat kwalitatief een goede uitkomst is hangt ook af van de medespeler. Omdat deze medespelers pas in hoofdstuk 6 beschreven worden, vertel ik nu hoe je vast kan stellen voor een willekeurige tegenstander wat een goed en wat een slecht resultaat is.

Benchmarking voor het vaststellen van de kwaliteit van opbrengsten
De methode die ik gehanteerd heb om voor een willekeurige medespeler te bepalen wat een goede prestatie is, is door middel van benchmarking. Het gedrag van deze medespelers bepaalt namelijk of een proefpersoon goed of slecht gepresteerd heeft. Tegen een weinig coöperatieve speler is een bepaald resultaat namelijk goed te

[82] Zoals in hoofdstuk 6 zal blijken is bij het experiment ook werkelijk voor 40 ronden gekozen.

noemen, terwijl hetzelfde resultaat tegen een coöperatieve speler slecht genoemd moet worden. De enige spelers die gebenchmarkt dienen te worden, zijn dus de medespelers waar de proefpersonen mee spelen.
De benchmarks worden gecreëerd door de medespeler tegen een aantal standaard strategieën te laten spelen. De benchmark voor een goede prestatie wordt bepaald door het gemiddelde van de twee theoretisch beste strategieën, zijnde tit-for-tat en tit-for-two-tats. Een tweede benchmark beschrijft neutraal gebeid: een strategie die willekeurig coöperatie en bedriegen speelt. Als een uitkomst namelijk binnen de grenzen van random gedrag valt, kan gezegd worden dat aan het nadenken van mensen of aan de gehanteerde strategie geen kwaliteiten toegedicht kunnen worden in termen van het positief of negatief beïnvloeden van de opbrengst. Door eerst een aantal strategieën at random te genereren kunnen we exact dezelfde random strategie met verschillende medespelers laten spelen. Door tien verschillende random strategieën met een medespeler te laten spelen, kunnen we de gemiddelde waarde voor een willekeurige strategie berekenen. Ook wordt de spreiding in deze verschillende random strategieën meegenomen omdat dit ook iets zegt over de medespeler.

5.2.2 Voorspellingen van de theorieën voor de uitkomsten

Voor de uitkomsten vallen hypothesen te formuleren bij de snelle heuristieken en bij de speltheorie, de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie is een minder goede basis om een hypothese uit te destilleren met betrekking tot de uitkomsten. De theorie staat alle verschillende soorten uitkomsten toe waardoor er geen onderscheidend vermogen ontstaat. Er is geen voorbeeld te verzinnen dat de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie onwaar maakt. Er zijn slechts voorbeelden te verzinnen die aan de theorie voldoen. De theorie is dus net een logische tautologie[83].
De snelle heuristieken en de speltheorie voorspellen een goede uitkomst. Ik stel deze vast door naar de prestatie van de twee benchmarks te kijken bij de modellen. De speltheorie zegt dat de beste strategie gespeeld wordt. De benchmark goede prestatie is bepaald door de twee wetenschappelijk vastgesteld beste modellen. De prestatie van deze benchmark komt dus overeen met de voorspelling van prestatie volgens de speltheorie. De claim van de snelle heuristieken is minder sterk. Deze voorspelt een goede prestatie, maar erkent dat een snelle heuristiek soms een minder goed resultaat kan opleveren. De metaheuristiek zorgt er dan voor dat een andere, hopelijk betere, heuristiek gebruikt gaat worden. Ik stel de voorspelling qua uitkomst van de snelle heuristieken op het gemiddelde van de benchmark goede prestatie en de bovenkant van de benchmark voor neutrale prestaties: het gemiddelde van de drie hoogste random uitkomsten. De prestatie van de strategie die het minimum garandeert, altijd competitie spelen, neem ik als ondergrens voor de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie.

5.3 Het RPD en redeneringen: de drie theorieën en het common KADS taaktype

In deze paragraaf beschrijf ik uit welke KADS-taken het spelen van het RPD volgens de drie theorieën bestaat. Vervolgens geef ik aan welke inferenties daar bij horen. Volgens de speltheorie moet tijdens het spelen van het RPD een KADS-taak plannen

[83] Een tautologie in de logica is een redenering waarvan de logische structuur alleen ware uitspraken als voorbeeld heeft. Bijvoorbeeld de zin "het regent of het regent niet" is altijd waar en is een logische tautologie.

uitgevoerd worden, met een KADS-taak beoordelen als subtaak. Een speler die het RPD speelt volgens de herkenningsgebaseerde theorie voert een samenstelling van twee taken uit: plannen en controleren. Voor een speler die het RPD speelt volgens de snelle-heuristiekenmethode ben ik uitgekomen op de KADS-taken monitoren en beoordelen. Een uitwerking volgt nu in drie subparagrafen. In deze subparagrafen wordt ook de inferentielijst opgesteld.

5.3.1 Common KADS taaktype van het spelen van het RPD volgens de speltheorie

Volgens de speltheorie wordt alle energie tijdens het spelen van het RPD gestoken in het vooraf bedenken van een allesomvattend optimaal plan. Het maken van dit plan is de hoofdtaak die uitgevoerd wordt volgens de speltheorie. De KADS-taak die het meest overeenkomt met dit maken van een plan is plannen. Daar het plan allesomvattend is, hoeft er tijdens het spelen slechts uitgevoerd te worden wat reeds bedacht is. Omdat het plan allesomvattend is, doen zich geen onverwachte zaken voor. Het uitvoeren is niet een redeneertaak. Een onderdeel van het speltheoretisch spelen van het RPD wordt echter niet goed gedekt door de KADS-taak plannen, zoals zal blijken uit haar beschrijving.

De KADS-taak plannen

In paragraaf 4.1 is reeds een korte omschrijving van de KADS-taak plannen gegeven. Het schaadt niet om naast deze omschrijving de definitie die Andé Valente geeft aan de KADS-taak plannen in Breuker en Van de Velde's *CommonKADS Library for Expertise Modelling* hier te citeren: *Planning is a problem in which a plan is constructed (generated, synthesized) based on the inputs of an* ***initial state*** *of the world and a goal state. In addition, planning uses a single static role that we will call the* ***plan model****, which includes (i) a description of the world that we will call* ***world description*** *and (ii) a description of the plan itself that we will call* ***plan description****. The* ***initial state*** *describes the world before the plan is executed, while the goal state describes obligatory aspects of the world state after plan execution. The plan is the output of a planning problem.*[84]

Het bijbehorende redeneerschema stoelt op het redeneerschema voor planningstaken uit *Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology*[85] en bestaat uit de volgende vier inferenties:

Operationaliseer eisen. Deze inferentie analyseert de eisen van het doel en vertaalt deze in een werkbare representatie. De uitvoer bestaat gewoonlijk uit twee soorten eisen: harde en zachte eisen.

Genereer mogelijke plannen. Alle mogelijke plannen worden gegenereerd.

Selecteer subset. In deze stap worden de beperkingen en harde eisen toegepast op de mogelijke plannen om slechte plannen uit te filteren.

Sorteer de plannen in de volgorde van preferentie. De verzameling met valide plannen is vaak nog erg groot. Om deze verzameling te verkleinen dienen we preferentiecriteria toe te passen. Bij de speltheorie is slechts één criterium van belang: verwachte opbrengst.

---

[84] Breuker, J. & Van de Velde, W. (1994). p. 214.

[85] Schreiber, G., Akkermans, H., Anjewierden, A., De Hoog, R. Shadbolt, N., Van de Velde, W. & Wielinga, B., (2000) pp. 159-160.

De verschillen tussen de speltheoretische redenering en de KADS-taak
Er is een verschil tussen de speltheoretische spelwijze en de KADS-taak plannen. De enkele inferentie sorteren bij de KADS-taak plannen is niet voldoende om bij de redenering volgens de speltheorie het op preferentie sorteren van de strategieën te beschrijven. De norm waarop de preferentie van de verschillende strategieën bepaald wordt bij het RPD is de opbrengst. Bij elke strategie kan de verwachte opbrengst niet opgezocht worden, maar moet deze berekend worden. Dit berekenen van de verwachte opbrengst is geen simpele taak omdat een inschatting gemaakt moet worden van de kans dat een bepaalde strategie gebruikt wordt door de andere speler. De verwachte opbrengst van een strategie is het gewogen gemiddelde van de opbrengst tegen alle mogelijke tegenstanderstrategieën. De weging is nodig omdat er rekening gehouden moet worden met de plausibiliteit van de strategie van de ander. De waarschijnlijkheid dat de tegenstander een bepaalde strategie zal hanteren heeft sterke invloed op de verwachte opbrengst. De tegenstander zal immers niet snel kiezen voor een strategie die er uit bestaat mij mee te helpen ten koste van zichzelf.
Het sorteren op preferentie bij de speltheorie is dus niet hetzelfde als de eenvoudige inferentie zoals die beschreven wordt in de KADS-taak plannen. Dit sorteren heeft het nodig om eerst de strategieën die de ander kan spelen te beoordelen. Deze beoordelingstaak beoordeelt bij elke strategie hoe waarschijnlijk het is dat deze gespeeld wordt door de tegenstander.
Nadat de strategieën van de tegenstander zo beoordeeld zijn, kan de verwachte opbrengst van elke eigen strategie berekend worden. Op basis van deze verwachte opbrengt kan vervolgens de sortering gemaakt worden. Het uitrekenen van de score maakt gebruik van standaard inferenties als: koppelen en rekenen. Nu zal ik beschrijven wat de KADS-taak beoordelen inhoudt.

De KADS-taak beoordelen (assessment)
Hoewel de KADS-taak beoordelen reeds in paragraaf 4.1 beschreven is, wil ik nogmaals herhalen hoe deze taak omschreven wordt: *Beoordelen* (assessment) komt veel voor in de financiële wereld en bij maatschappelijke diensten. Het doel van beoordelen is om een specifiek geval te typeren in termen van een beslissingsklasse. Bij het beoordelen van een lening bijvoorbeeld is de taakinvoer de aanvraag van een specifiek persoon van een lening, de uitvoer is een beslissingsklasse als toekennen, weigeren of meer informatie benodigd. Deze beslissingsklasse geeft aan of een lening wel of niet verstrekt kan worden. De onderliggende kennis bestaat doorgaans uit een set normen of criteria die gebruikt worden voor de beoordeling.
Uit *Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology* komen het bijbehorend redeneerschema en inferenties[86] voor de KADS-taak beoordelen:
Abstraheer case: bijna altijd dient een deel van de gegevens van de case geabstraheerd te worden.
Specificeer normen: de normen of eisen die gebruikt worden moeten vastgesteld worden.
Selecteer norm: één van de bij de vorige inferentie gespecificeerde normen dient geselecteerd te worden voor evaluatie.
Evalueer norm: evalueer de uitgekozen norm met betrekking tot de gegevens van de case.

[86] Op. cit. pp. 133-136.

Kijk of een beslissing genomen kan worden: deze inferentie kijkt of het resultaat van de evaluatie tot een beslissing leidt.
Deze lijst inferenties wordt toegespitst op het evalueren van de strategieën. Dit levert dan de volgende inferentielijst voor het spelen van het RPD volgens de speltheorie op.

Inferentielijst als bij het RPD geredeneerd wordt volgens de speltheorie
Hoofdtaak: plannen (plannen)

Operationaliseer eisen. Deze inferentie analyseert de eisen van het doel en vertaalt deze in een werkbare representatie. De uitvoer bestaat gewoonlijk uit twee soorten eisen: harde en zachte eisen.

Genereer mogelijke plannen. Alle mogelijke plannen worden gegenereerd.

Selecteer subset. In deze stap worden de beperkingen en harde eisen toegepast op de mogelijke plannen om slechte plannen uit te filteren.

Subtaak: Beoordeel tegenstander strategieën (beoordelen).

Specificeer normen, de normen of eisen die gebruikt worden moeten gevonden worden.

Selecteer strategie. Neem één van de strategieën die nog beoordeeld moeten worden.

Selecteer norm. Uit de set normen die door de vorige inferentie gegenereerd zijn moet een norm uitgekozen worden voor evaluatie.

Evalueer norm. Evalueer de uitgekozen norm met betrekking tot de gegevens van de case.

Kijk of een beslissing genomen kan worden. Deze inferentie kijkt of het resultaat van de evaluatie tot een beslissing leidt.

Sorteer de plannen in de volgorde van preferentie. De verzameling met valide plannen is vaak nog erg groot. Om deze verzameling te verkleinen dienen we preferentiecriteria toe te passen. Bij de speltheorie is slechts een criterium van belang: verwachte opbrengst.

5.3.2 Common KADS taaktype van het spelen van het RPD volgens de snelle heuristieken theorie

De snelle heuristieken theorie beweert dat de redenering bij het maken van een beslissing, bestaat uit het evalueren van de opties samenwerken en bedriegen op basis van één aanwijzing. De aanwijzing die gekozen wordt om dit vergelijk op toe te passen verschilt per heuristiek. Twee soorten redeneringen zijn mogelijk. Bij de eerste redenering wordt één aanwijzing gekozen en van beide opties wordt de waarde van de desbetreffende aanwijzing opgezocht. De optie waarbij de aanwijzing voor een positief verschil zorgt wordt gekozen. Bij de tweede redenering wordt van slechts een optie een aanwijzing opgezocht. Door deze aanwijzing te vergelijken met een normwaarde wordt voor deze optie een beslissing gemaakt: kies deze, kies de ander of zoek verder naar aanwijzingen. Beide redeneringen kennen eenzelfde stramien, alleen wordt de waarde van een aanwijzing bij een optie in het ene geval vergeleken met een normwaarde en in het andere geval met de waarde van dezelfde aanwijzing bij de andere optie. Beide redeneringen volgens de snelle heuristieken komen bij het spelen van het RPD dus op bijna hetzelfde neer. De KADS-taak die hiermee het meest overeenkomt, is de in paragraaf 4.1 genoemde KADS-taak beoordelen. Naast de gewone heuristieken, wordt er ook nog gebruik gemaakt van een metaheuristiek. Hierbij dienen we ook nog een taaktype te onderscheiden.

Lastigheden bij een metaheuristiek
Het op twee niveaus actief zijn van de heuristieken is lastig. Er is één heuristiek die gebruikt wordt voor het beslissen zelf en een andere voor het kiezen van een goede heuristiek. Ook bij deze metaheuristiek is het lastig te achterhalen hoe de norm wordt vastgesteld. Deze metaheuristiek zegt dat de heuristiek verder gebruikt moet worden zolang als het goed gaat. Soms is het onderscheid tussen niveaus van heuristieken lastig. Zo is de opmerking: "Never change a winning team" een uitspraak van de metaheuristiek over de gebruikte heuristiek. De metaheuristiek is duidelijk anders dan de beslissingsheuristiek. De metaheuristiek analyseert namelijk de prestatie van een heuristiek over de tijd. De in 4.1 opgesomde KADS-taken die het redeneren, zoals bij deze metaheuristiek, precies beschrijven, zijn controleren en beoordelen. Het deel beoordelen treedt alleen in werking als door het controleren duidelijk is geworden dat de prestatie van de huidige heuristiek ondermaats is. Uit de groep beschikbare heuristieken wordt dan vervolgens een nieuwe geselecteerd door middel van beoordelen.
Bij een enkelvoudig PD is het duidelijk dat er sprake is van beoordelen. Bij het RPD is het zo dat nog steeds iedere beurt een beslissing moet vallen op basis van aangeleverde aanwijzingen. Deze aanwijzingen kunnen nu ook activiteiten uit het verleden zijn. Daar de beslissingen nog steeds iedere beurt plaatsvinden voor slechts een moment is er nog steeds sprake van beoordelen. De metaheuristiek die bij het RPD ook mee doet zorgt echter ook voor een deel controleren. De vraag of de gebruikte heuristiek niet onderpresteert duidt op controleren. Onderprestatie is namelijk een afwijking van een verwachting. Controleren heeft als invoer de toestand van het systeem en als uitvoer een afwijking van de verwachting. Een afwijking van de verwachting bij controleren treedt op in een dynamisch systeem. Als invoer zijn misschien meerdere rondes nodig omdat voor het vaststellen van een ondermaatse prestatie een ronde niet genoeg hoeft te zijn. Het hangt af van de verwachting en de bijbehorende norm hoeveel rondes er nodig zijn voordat de metaheuristiek signaleert dat de gebruikte heuristiek het slecht doet.
Nadat de onderprestatie is opgemerkt dient uit de lijst mogelijke heuristieken een nieuwe geselecteerd te worden. Dit gebeurt door middel van beoordelen, net als bij de beslissingsheuristiek. Van de KADS-taak beoordelen zijn in de vorige sectie reeds de bijbehorende inferenties beschreven. Controleren dient nu beschreven te worden.

De KADS-taak controleren
Ik herhaal de reeds in paragraaf 4.1 gegeven beschrijving van de KADS-taak controleren. Het systeem dat door de taak *controleren* (monitoring) bestudeerd wordt, is van een dynamische aard en betreft vaak een continu proces. Voorbeelden van controleren zijn het controleren van een kerncentrale of het controleren van een softwareproject. Elke cyclus in de controleertaak lijkt op een beoordelingstaak. Het grote verschil is dat bij controleren de uitvoer slechts een discrepantie is (is het systeem normaal of niet) en niet een beslissingsklasse. Verder worden gegevens uit een voorgaande cyclus gebruikt in een nieuwe cyclus.
Uit *Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology* komen het bijbehorend redeneerschema en inferenties[87] voor de KADS-taak controleren:
Selecteer: een aanwijzing die iets kan vertellen over nieuwe gegevens wordt geselecteerd.

[87] Op. cit. pp. 143-146.

Specificeer: een normwaarde wordt gespecificeerd voor de aanwijzing.
Vergelijk: nieuwe gegevens worden vergeleken met de norm, wat resulteert in een beschrijving van een verschil.
Classificeer: een classificatie van het verschil wordt gemaakt: een kleine of een grote verstoring.

Moeilijkheden bij de match tussen de snelle heuristiekenmethode en de KADS-taak
Het vaststellen van de vergelijkingsnormen is een schimmig gebied, terwijl de normen wel veel invloed hebben. Leren is namelijk nog niet goed uitgewerkt in psychologische termen binnen de snelle heuristieken. Over het vaststellen van de norm zegt de snelle heuristieken theorie niet veel meer dan dat het gebeurt op basis van cultuur en leerervaringen. Een concretere invulling van het leerproces wordt niet gegeven. De in het boek *Simple Heuristics That Make Us Smart* getoonde voorbeelden maken gebruik van een trainingsdeel en een testdeel. De training wordt behandeld door Gigerenzer en Todd zoals de training van een neuraal netwerk: als een wiskundig technisch proces en niet het psychologische proces. Invulling kan daardoor niet gegeven worden aan leren als we de snelle heuristiekenmethode passen binnen een KADS taakomgeving. Ook in recenter onderzoek naar snelle heuristieken als *Bounded rationality: The adaptive toolbox*[88] is hier geen nadere invulling aan gegeven.

Inferentielijst behorend bij de snelle heuristieken
Beslissingsheuristiek (beoordelen)

Abstraheer case: bijna altijd dient een deel van de gegevens van de case geabstraheerd te worden.
Specificeer normen: de normen of eisen die gebruikt worden moeten vastgesteld worden.
Selecteer norm: één van de bij de vorige inferentie gespecificeerde normen dient geselecteerd te worden voor evaluatie.
Evalueer norm: evalueer de uitgekozen norm met betrekking tot de gegevens van de case.
Kijk of een beslissing genomen kan worden: deze inferentie kijkt of het resultaat van de evaluatie tot een beslissing leidt.
Deze lijst inferenties wordt toegespitst op het evalueren van de strategieën. Dit levert dan de volgende inferentielijst voor het spelen van het RPD volgens de speltheorie op.

Metaheuristiek (controleren gevolgd door beoordelen)

Selecteer: een aanwijzing die iets kan vertellen over nieuwe gegevens wordt geselecteerd.
Specificeer: een normwaarde wordt gespecificeerd voor de aanwijzing.
Vergelijk: nieuwe gegevens worden vergeleken met de norm, wat resulteert is een beschrijving van een verschil.
Classificeer: een classificatie van het verschil wordt gemaakt: een kleine of een grote verstoring.

Abstraheer case: bijna altijd dient een deel van de gegevens van de case geabstraheerd te worden.

[88] Gigerenzer, G., & Selten, R. (Eds.) (2001). *Bounded rationality: The adaptive toolbox*. Cambridge, MA: MIT Press.

Specificeer normen: de normen of eisen die gebruikt worden moeten vastgesteld worden.

Selecteer norm: één van de bij de vorige inferentie gespecificeerde normen dient geselecteerd te worden voor evaluatie.

Evalueer norm: evalueer de uitgekozen norm met betrekking tot de gegevens van de case.

Kijk of een beslissing genomen kan worden: deze inferentie kijkt of het resultaat van de evaluatie tot een beslissing leidt.

Deze lijst inferenties wordt toegespitst op het evalueren van de strategieën. Dit levert dan de volgende inferentielijst voor het spelen van het RPD volgens de speltheorie op.

5.3.3 Common KADS taaktype van het spelen van het RPD volgens de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie

De herkenningsgebaseerde beslissingstheorie is veel omvattend[89]. Bij zeer veel onderdelen van het model hoort één of een samenstelling van hele KADS-taken. Bij het spelen van het RPD volgens het herkenningsgebaseerde model vallen gelukkig een aantal van deze taken weg. De waarneming is doorgaans een classificatietaak. De mentale simulatie en de volgende evaluatie bestaan uit de KADS-taken voorspellen, gevolgd door beoordelen.

Bij de classificatietaak wordt de situatie herkend. Bij een herkende situatie worden er een aantal verwachtingen, relevante aanwijzingen, mogelijke doelen en mogelijke acties aangeleverd. Een van deze acties wordt geselecteerd en vervolgens wordt door middel van een mentale simulatie nagegaan of de geselecteerde actie een zinvol resultaat oplevert. De selectie van de actie gebeurt zonder er heel erg over na te denken. De eerste die genomen wordt is bij experts wel vaak de beste, de volgorde van deze lijst is dus op basis van ervaring geoptimaliseerd. Hoe deze lijst zo optimaal gevormd wordt is niet uitgewerkt. Ik houd het er dus op dat een actie geselecteerd wordt.

De geselecteerde actie dient vervolgens als basis voor een voorspelling (prediction) van wat er gaat gebeuren. Deze voorspelling houdt expliciet rekening met wat een medespeler kan denken. Dit verbetert namelijk de mentale simulatie. De uitkomst van de mentale simulatie wordt geëvalueerd en indien de uitkomst geslaagd gevonden wordt, geselecteerd. Vervolgens wordt gecontroleerd of de actie tijdens het uitvoeren tot de gewenste situatie leidt. Indien een afwijking wordt waargenomen dient opnieuw de situatie geclassificeerd te worden.

De KADS-taak classificatie

Ik herhaal de reeds in paragraaf 7.1 gegeven beschrijving van de KADS-taak classificatie. Een bekende analysetaak is *classificatie* (classification). De classificatie van planten en dieren is het prototype voorbeeld van deze taak. In classificatie dient een object gekarakteriseerd te worden in termen van de klasse waar het toe behoort. De onderliggende kennis voorziet in beperkingen voor de waarden van objecteigenschappen. Classificatie wordt doorgaans op niet door de mens gemaakte objecten toegepast.

Uit *Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology* komen het bijbehorend redeneerschema en inferenties[90] voor de KADS-taak classificatie:

---

[89] Zie voor een uitgebreide beschrijving waaraan ik in dit stuk vaak refereer paragraaf 4.1.

[90] Gigerenzer, G., & Selten, R. (Eds.) (2001), op. cit. pp. 129-133.

Genereer kandidaat klasse: in het simpele geval wordt deze opgezocht in de knowledge base.
Specificeer attribuut: bepaal welk attribuut het eerst bekeken wordt om de klasse vast te stellen.
Match: levert een waarheidswaarde op voor elke kandidaat als gevolg van de koppeling van het huidige attribuut aan deze kandidaat-klasse.

De KADS-taak voorspellen
Ik herhaal de reeds in paragraaf 4.1 gegeven beschrijving van de KADS-taak voorspellen. *Voorspellen* (prediction) valt ook onder analyse, hoewel het wel over een aantal eigenschappen van synthese beschikt. Tijdens voorspellen wordt het huidige gedrag van het systeem bestudeerd teneinde de toestand van het systeem op een moment in de toekomst te kunnen beschrijven. Weersvoorspelling is een voorspeltaak.
Uit Breuker en Van de Velde's *CommonKADS Library for Expertise Modelling* komen het bijbehorend redeneerschema en inferenties voor de KADS-taak voorspellen[91]:
Samengestelde specificatie: het doel van de specificatie is om een "complete beschrijving van een bepaalde gedragstoestand van een systeem te ontwikkelen." Dit betekent dat je je tevreden stelt met een redelijke schatting van relevante parameter relaties en dat je kwalitatieve waarden toekent aan de parameters die het systeem beschrijven. Deze inferentie kan in twee stappen onderverdeeld worden:
Opstellen: een wiskundig model wordt opgesteld door alle modelfragmenten te vinden die op het systeem dat voorspeld moet worden van toepassing zijn.
Berekenen: als eenmaal een wiskundig model vastgesteld is, kan het berekenen van kwalitatieve waarden en het controleren van de consistentie in parameterrelaties plaatsvinden.
Samengesteld transformeren: De transformatie inferentie identificeert opeenvolgende gedragstoestanden.

Inferentielijst behorend bij de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie
De inferentielijst behorend bij de redenering als het RPD volgens de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie gespeeld wordt, bestaat uit drie delen: herkennen van de situatie (classificatie), het mentaal simuleren en evalueren van een actie (voorspellen gevolgd door een beoordelen) en het controleren als een actieplan uitgevoerd wordt (controleren). Een kleine inferentie dient nog tussengevoegd te worden: er dient namelijk een actie geselecteerd te worden op basis van de herkende situatie. De inferentielijst wordt nu de volgende:

Herkennen van de situatie (classificatie)

Genereer kandidaat klasse. In het simpele geval wordt deze opgezocht in de knowledge base.

Specificeer attribuut. Bepaal welk attribuut het eerst beken wordt om de klasse vast te stellen.

Match. Levert een waarheidswaarde op voor elke kandidaat als gevolg van de koppeling van het huidige attribuut aan deze kandidaat-klasse.

Actie selecteren (tussengevoegde inferentie):

[91] Op. cit. p 152.

Selecteer een actie: Na de classificatie wordt uit de bij de klasse horende lijst acties een actie geselecteerd.

Evaluatie door middel van mentale simulatie (voorspellen):

Samengestelde specificatie: het doel van de specificatie is om een "complete beschrijving van een bepaalde gedragstoestand van een systeem te ontwikkelen. Dit betekent dat je je tevreden stelt met een redelijke schatting van relevante parameter relaties en dat je kwalitatieve waarden toekent aan de parameters die het systeem beschrijven. Deze inferentie kan in twee stappen onderverdeeld worden:

Opstellen: een wiskundig model wordt opgesteld door alle modelfragmenten te vinden die op het systeem dat voorspeld moet worden van toepassing zijn.

Berekenen: als eenmaal een wiskundig model vastgesteld is, kan het berekenen van kwalitatieve warden en het controleren van de consistentie in parameterrelaties plaatsvinden.

Samengesteld transformeren: De transformatie inferentie identificeert opeenvolgende gedragstoestanden.

De uitkomst van de mentale simulatie wordt geëvalueerd (beoordelen).

Abstraheer case: bijna altijd dient een deel van de gegevens van de case geabstraheerd te worden.

Specificeer normen: de normen of eisen die gebruikt worden moeten vastgesteld worden.

Selecteer norm: één van de bij de vorige inferentie gespecificeerde normen dient geselecteerd te worden voor evaluatie.

Evalueer norm: evalueer de uitgekozen norm met betrekking tot de gegevens van de case.

Kijk of een beslissing genomen kan worden: deze inferentie kijkt of het resultaat van de evaluatie tot een beslissing leidt.

Controleren tijdens het uitvoeren van de gekozen actie (controleren):

Selecteer: een aanwijzing die iets kan vertellen over nieuwe gegevens wordt geselecteerd.

Specificeer: een normwaarde wordt gespecificeerd voor de aanwijzing.

Vergelijk: nieuwe gegevens worden vergeleken met de norm, wat resulteert is een beschrijving van een verschil.

Classificeer: een classificatie van het verschil wordt gemaakt: een kleine of een grote verstoring.

5.3.4 Falsificatiecriteria voor de redeneringen

Het is wetenschappelijk het meest handig als we naar falsificatiecriteria kijken. Bij deze lijsten inferenties kunnen drie soorten verschillende falsificatiecriteria aangeven dat een menselijke redenering niet bij die theorie past. Deze drie soorten falsificaties zijn:

- De redenering volgt niet globaal het redeneerschema.
- Andere extra taken / inferenties komen voor.
- Theoriespecifieke overtreding.

Bij elk van de drie falsificaties zal ik nu aangeven wat deze falsificatie inhoudt.

De redenering volgt niet globaal het redeneerschema
In theorie zou de falsificatielijst kunnen bestaan uit slechts één falsificatie, namelijk dat de redenering niet het redeneerschema volgt. Zowel ontbrekende als overbodige inferenties zorgen dan voor het waarmaken van de falsificatie. In de praktijk is het echter vaak het geval dat delen van de redenering onder de oppervlakte blijven bij hardopdenkprotocollen. Door dit onvermijdelijke manco van het hardop denken zullen onderdelen van de redenering niet terugkeren in de protocollen. Daardoor zou bij het analyseren van het protocol volgens dit theoretisch voldoende falsificatiecriterium van de redenering gezegd worden dat deze niet het redeneerschema volgt. Ik heb er daarom voor gekozen slechts het redeneerschema globaal te volgen. Dus als bijvoorbeeld bij het nalopen van een hardopdenkprotocol bij het onderdeel *evalueren van de mentale simulatie* niet de inferentie *abstraheer case* teruggevonden wordt, ben ik van mening dat nog steeds het redeneerschema gevolgd wordt.
Op eenzelfde manier worden wel aanwezige inferenties ook niet te zwaar aangerekend. De reden dat dit gebeurt, is omdat het interpreteren van hardopdenkprotocollen een lastige klus is. Sommige uitingen lijken meer overeen te komen met een niet genoemde inferentie dan met de inferentie die zou moeten plaatsvinden volgens het redeneerschema. Ook komen soms tussengevoegde inferenties voor, als iemand bijvoorbeeld tussendoor iets uitrekent. Beide gevallen zorgen in opinie er niet voor dat stellig gezegd kan worden dat het hardopdenkprotocol niet volgens het redeneerschema van een theorie verloopt.
Omdat er dus enige coulance is met het volgen van het redeneerschema, maak ik gebruik van andere falsificatiecriteria. De eerste geeft aan dat er extra stukken redenering voorkomen in een hardopdenkprotocol. Indien een redenering vrijwel het redeneerschema van een specifieke theorie volgt, op een duidelijke uitzondering na, dan maakt deze falsificatie duidelijk dàt er iets mis is en wàt er mis is met de redenering. De tweede falsificatie is dat specifieke eigenschappen die een theorie toeschrijft aan een redenering overtreden worden.

Andere extra taken / inferenties komen voor
Ik heb vier soorten taken met bijbehorende inferenties onderkend: plannen, beoordelen, controleren en classificatie. In elk van de redeneringen komen een aantal van deze taken voor. De in de theorie niet voorkomende taken zijn dan de extra taken die voor een falsificatie zorgen. Voor de speltheorie zijn deze taken controleren en classificatie. Voor de snelle heuristieken zijn deze taken plannen en classificatie. Voor de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie blijft slechts de taak planning over die voor falsificatie kan zorgen. Indien meerdere vreemde inferenties voorkomen die ook niet onder één van de genoemde falsificerende taken vallen is deze falsificatie ook waar.

Theoriespecifieke overtreding
Het laatste falsificatiecriterium is het meest gevoelig. Waar de vorige twee falsificatiecriteria ruimte laten om kleine ongeregeldheden door de vingers te zien, zorgt dit falsificatiecriterium ervoor dat deze kleine ongeregeldheden geen overtredingen zijn van de specifieke kern van de verschillende theorieën. Zo eist de speltheorie dat een redenering met plannen begint. Indien spelers een paar zetten iets uitproberen zonder hier heel erg bij na te denken, is er sprake van een falsificatie van de speltheorie. Dit uitproberen kan terugkomen in een stukje hardopdenkprotocol waarin nauwelijks een redenering voorkomt en dientengevolge ook geen van beide

andere falsificaties. Een stukje hardopdenkprotocol waar men aan kan denken is: "Laat ik maar beginnen met samenwerken." Het is moeilijk om in dit stuk protocol een redeneerschema aan te wijzen. Het kan best zo zijn dat een paar zetten later wel een redenering volgens de speltheorie gaat volgen. Het ontbreken van een planning voordat de eerste zet gedaan wordt zorgt voor het waar worden van deze laatste falsificatie. In onderstaande lijst staan de andere theorie specifieke falsificaties.

Voor de speltheorie:
- De planning is niet compleet.
- Niet alle plannen worden geranked en gesorteerd.

Voor de snelle heuristieken:
- Er komt een complexe redenering / lange redenering voor.
- Controleren ontbreekt.

Voor de herkenningsgebaseerde theorie:
- Er komt geen mentale simulatie voor.

Uitgewerkt zien deze drie falsificatiecriteria er als volgt uit voor de drie theorieën.

Speltheorie
- Redenering volgt niet globaal het redeneerschema
- Andere redeneertaken dan plannen en beoordelen
- Theoriespecifieke overtreding: begint niet met planning
- Theoriespecifieke overtreding: planning is niet compleet
- Theoriespecifieke overtreding: niet alle plannen geranked en gesorteerd

Snelle Heuristieken
- Redenering volgt niet globaal het redeneerschema
- Andere redeneertaken dan beoordelen en controleren
- Theoriespecifieke overtreding: complexe redenering / lange redenering
- Theoriespecifieke overtreding: geen controleren

Herkenningsgebaseerde theorie
- Redenering volgt niet globaal het redeneerschema
- Andere redeneertaken: komt planning in voor
- Theoriespecifieke overtreding: komt geen mentale simulatie in voor

5.4 Een korte samenvatting van de hypothesen

Bij de drie gewenste uitkomsten is voor elk van de drie theorieën een hypothese geformuleerd. Voor de uikomsten is gebruik gemaakt van benchmarks. Deze leverden echter alleen voor de snelle heuristieken en de speltheorie een toetsbare hypothese op, de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie staat namelijk alle uitkomsten toe.
Voor de redeneertijden was een iets complexer proces nodig om aan hypothesen te geraken. Na een uitsplitsing van de verschillende soorten redeneringen zoals die door een perfect wiskundig subject uitgevoerd zouden worden, konden met behulp van psychometrische gegevens schattingen gemaakt worden voor de verschillende redeneertijden. Opvallend in mijn ogen is de snel oplopende tijdsduur van de redeneringen volgens de speltheorie bij meerdere rondes diep nadenken. Ook liggen de hypothesen redelijk uit elkaar. De vensters waarbinnen een redeneertijd zou vallen,

verschillen voor de drie theorieën behoorlijk sterk. De vensters van de speltheorie en de herkenningsgebaseerde theorie kennen zelfs bijna geen overlap. Behalve de eerste zet is de maximale redeneertijd van de speltheorie is korter dan de minimale redeneertijd volgens de herkenningsgebaseerde theorie. In een tabel ziet dat er als volgt uit:

Theorie:	Minimale redeneertijd	Maximale redeneertijd	Duur speciale zetten
Speltheorie	Vervolgzetten: t < 0,71 sec.	Eerste zet: geen maximum	Geen speciale zetten
Snelle heuristieken	t > 1,3 sec.	t < 1 minuut	Zeer uitgebreide mentale evaluatie: t < 4 minuten
Herkenningsgebaseerde theorie	Take-the-last: t > 1,0 sec.	Take-the-best t < 4,3 sec.	Metaheuristiek: 2,0 sec. < t < 11,9 sec.

Tabel 5.4 minimale en maximale redeneertijden volgens de drie beslissingstheorieën.

De meest omvangrijke analyse was nodig bij het vaststellen van de hypothesen voor de redeneringen. Hiervoor is gebruik gemaakt van de common KADS-methode. Ook hier bleek dat er verschillende hypothesen uit de drie theorieën voortvloeiden. Tijdens het spelen van het RPD moet volgens de speltheorie namelijk de KADS-taak plannen uitgevoerd worden met een KADS-taak beoordelen als subtaak. Volgens de herkenningsgebaseerde theorie voert een speler die het RPD speelt een samenstelling van de taken plannen en controleren uit. Volgens de snelle heuristiekenmethode voert een speler die het RPD speelt de KADS-taken monitoren en beoordelen uit. De inferentielijsten die uit de taken voortvloeien zijn omgezet in falsificatiecriteria. Deze zijn vanwege de wijze waarop het hardop denken in de praktijk plaatsvindt deels overlappend, hetgeen niet te voorkomen is.

De theorieën, het herhaalde prisonersdilemma, de methoden en technieken en hypothesen die uit de theorieën volgen voor het herhaalde prisonersdilemma zijn nu allemaal beschreven. Nu zal ik de experimentele setting schetsen die ik heb opgesteld om de gewenste typen waarnemingen *redeneertijden, uitkomsten* en *redeneringen* te kunnen observeren.

6 Het experiment

In het experiment speelden de proefpersonen drie keer een herhaald prisonersdilemma met drie verschillende medespelers. Elk herhaald prisonersdilemma bestond uit veertig zetten. De proefpersonen zaten achter een computer en konden elke beurt op de knop samenwerken en op de knop competitie klikken. De uitkomst van de vorige ronde en de totale verdiensten van het spel werden getoond aan de speler. De computer stond in verbinding met een computerprogramma waardoor elke proefpersoon te maken kreeg met exact dezelfde drie medespelers. Het programma bevatte drie verschillende automaten waarmee iedere proefpersoon het RPD heeft gespeeld. De proefpersonen bestonden uit twee groepen: eerstejaars psychologie studenten en ouderejaars KI studenten die een aantal specifieke KI vakken gevolgd hadden. De psychologie studenten kregen verteld dat ze met echte mensen speelden. De KI studenten werd verteld dat de automaten gemodelleerd waren naar reeds eerder geteste proefpersonen. Tijdens het spel werden de redeneertijden, de hardop uitgesproken tekst en de keuzes vastgelegd. Ik zal nu wat dieper ingaan op hoe het experiment van begin tot eind er uitzag voor de proefpersonen.

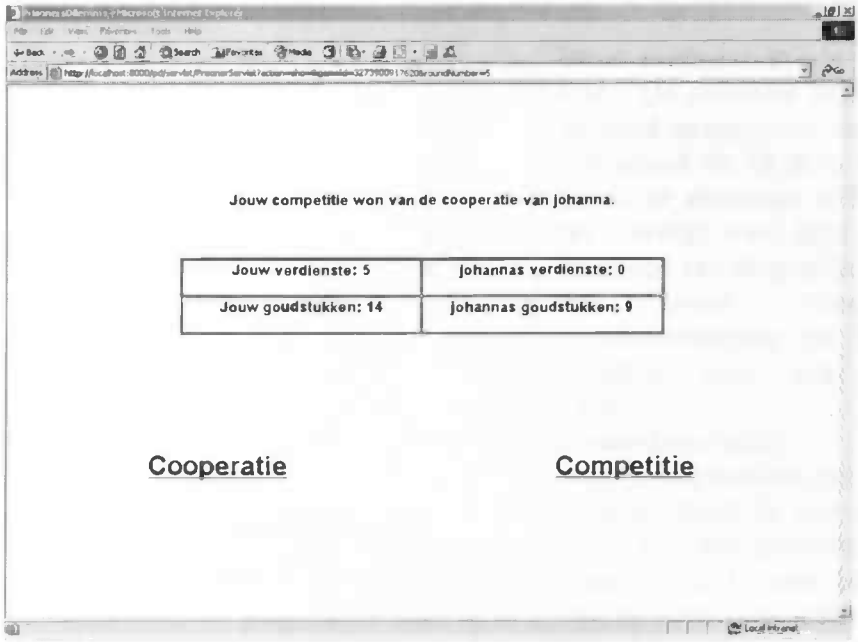
Het experiment van begin tot eind

De proefpersonen werden door de afnemer van het experiment ontvangen in de experimenteerruimte van KI aan de Grote appelstraat 23 te Groningen. Eerst werd een geïnformeerde toestemming ondertekend door de proefpersonen waaruit bleek dat er geen lichamelijk ongemak voor zou komen uit het experiment. Vervolgens werd gevraagd wat ze wisten van het PD. Na deze vraag naar theoretische besmetting werd kort uitgelegd dat het doel was om het menselijke redeneren tijdens het RPD bloot te leggen door middel van hardop denken. Na deze uitleg volgde een oefening in hardop denken. Verteld werd dat het hardop denken op tape opgenomen zou worden. Na deze oefening werden het RPD, de bijbehorende pay-off tabel en de round robin setting uitgelegd. Het aantal rondes dat er gespeeld werd is geheim gehouden. De door mij gebruikte pay-off tabel is dezelfde als Axelrod gebruikt heeft voor zijn round robin experiment:

Eigen keuze Anders keuze	Ander werkt samen (C)	Ander bedriegt (D)
Ik werk samen (C)	3 goudstukken 3 goudstukken	0 goudstukken 5 goudstukken
Ik bedrieg (D)	5 goudstukken 0 goudstukken	1 goudstukken 1 goudstukken

De round robin hield in dat alle proefpersonen met dezelfde drie medespelers het RPD zouden spelen. Het doel was van alle proefpersonen het meeste goudstukken te verdienen in totaal, dus de verdiensten van alle drie RPD's bij elkaar opgeteld. De drie proefpersonen met de hoogste score konden een prijs winnen: een boekenbon, een fles wijn en een taart. De drie medespelers waarmee iedere proefpersoon het spel speelde, deden niet mee om de prijzen.

Na deze uitleg begon het spel. De deelnemers zagen het volgende scherm waarop ze de uitslag van de vorige ronde zagen en de optie ze voor coöperatie of competitie konden kiezen:



Figuur 6.1 Beeld dat een proefpersoon ziet tijdens het experiment

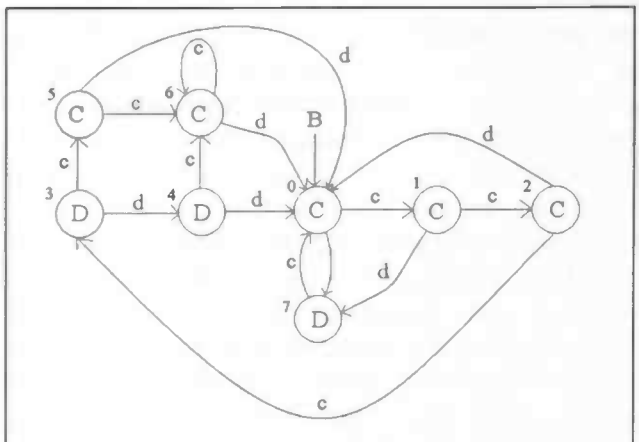
Er stond nergens hoeveel rondes al geweest waren en de laatste ronde kwam onverwacht. Na deze ronde verliet de afnemer de experimenteerruimte om "de volgende medespeler klaar te zetten". Er werd in werkelijkheid een andere automaat klaar gezet en een reactietijd van de automaat ingesteld zodat het leek dat de medespeler soms langer en soms korter dan de proefpersoon aan het denken was. Veel bij KI voorkomende namen zijn gebruikt als naam voor de automaten om de automaten nog echter te laten lijken. Nadat het laatste spel geëindigd was, werd de psychologiestudenten verteld dat ze met een automaat gespeeld hadden. De KI-studenten kregen te horen dat ze met een automaat gespeeld hadden en wat voor type automaat het was. Na de verwerking van de uitkomsten is aan elk van de drie winnaars een prijs uitgereikt.
Ik zal in paragraaf 6.1 de drie automaten beschrijven die ik gebruikt heb, vervolgens ga ik wat dieper in op de drie soorten data die tijdens de experimenten zijn vastgelegd (in paragraaf 6.2, 6.3 en 6.4). Als laatste ga ik in op mijn keuze voor de verschillende groepen proefpersonen (paragraaf 6.5).

6.1 De drie gebruikte automaten, een bias naar coöperatief

De drie gebruikte automaten zijn eindige automaten[92] en heten coöperatief, defectief en conservatief. In de rekenkunde is een eindige automaat (Engels: finite state automaton) een abstracte machine die slechts een beperkte, constante hoeveelheid geheugen heeft. De eindige automaat kan gerepresenteerd worden door een toestandsdiagram. Er is een eindig aantal toestanden en elke toestand heeft

[92] Hopcroft, J. E., Ullman, J. D., (1979), *Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation*, AddisonWesley, Reading, Massachusetts.

toestandsovergangen naar andere toestanden. Een invoer bepaalt voor welke toestandsovergang gekozen wordt en dus wat de volgende toestand zal zijn.
Eindige automaten worden bestudeerd in een onderdeel van de theoretische informatica: de automaten theorie. Als voorbeeld geef ik nu de toestandsdiagram voor de automaat coöperatief:



Figuur 6.2: Moore machine van model coöperatief.

Deze automaat is als volgt te lezen. De automaat begint in de toestand aangegeven met de B (=toestand 0). In deze toestand speelt de automaat zelf wat in het cirkeltje staat (hier een C). De keuze van de proefpersoon is de invoer voor de toestandsovergang en leidt de automaat naar een nieuwe toestand. Deze toestandsovergang wordt aangegeven met een pijl waarbij de letter naast de pijl aangeeft wat de proefpersoon heeft gedaan. Voor de duidelijkheid: de C staat voor coöperatie, de D voor bedriegen (Engels: D van defect). De grote letters staan in de cirkels en staan voor acties van het model. De kleine letters staan voor acties van de proefpersonen.
Zoals uit figuur 6.2 af te lezen valt, speelt automaat coöperatief na drie zetten coöperatie van de proefpersoon zelf een keer bedriegen (zie toestand 3). Toch maakt de automaat het weer goed, ook als dit gepaard gaat met een afstraffing. Deze afstraffingen leiden weer terug naar toestand 0 waarin coöperatie gespeeld wordt. Verder straft de automaat in toestand 2 niet het bedriegen van de proefpersoon af.
De conservatieve automaat gaat van vergevingsgezind naar wrekend. Na een overgang naar bedriegen maakt conservatief het uit zichzelf goed. Na de tweede overgang naar bedriegen moet de proefpersoon het zelf goed maken door een keer coöperatie te spelen. Na de derde keer overgaan tot bedriegen gaat conservatief pas over tot coöperatie als er twee keer coöperatie geboden wordt door de proefpersoon.
De defectieve automaat speelt bedriegen vanuit zichzelf en vraagt om meerdere malen coöperatie voordat het een coöperatie na een bedriegen door de proefpersoon weer beantwoordt met coöperatie. Deze automaat is het meest complex.

De gebruikte automaten zijn relatief gunstig. Ze maken dus niet te extreem gebruik van zwakheden. Alle automaten hebben een fuik als All-C gespeeld wordt. Bij twee, conservatief en defectief, is dit ook de optimale respons. De reden dat dit zo uitkomt, is omdat de automaten responsieve finite state (moore) machines zijn die tevens initiatief nemen. Het initiatief dat ingebouwd is, is om de spelers het idee te geven dat ze tegen een mens spelen. De reden dat voor deze finite state (moore) machines is gekozen, ligt in het zo gelijk mogelijk willen maken van de tegenstander automaten voor elke proefpersoon. De respons van de verschillende proefpersonen is zo het best met elkaar te vergelijken.

6.2 Het experiment en tijd

Eén van de datasets die de experimenten oplevert is tijd. De tijd die is vastgelegd is de tijd tussen het aanbieden van de uitkomst van de vorige ronde en het klikken van de

muis op één van de twee opties, coöperatie of competitie. De tijd begint te lopen als het eerste scherm waarop de twee keuzen staan, in beeld verschijnt.
De applicatie is zo vormgegeven dat als een proefpersoon zeer snel klikt, het model een scherm laat zien waarop staat: "wachten op de reactie van de ander." Dit scherm heeft naast het verwerken van de gegevens als doel om de proefpersoon te misleiden omtrent de tijd die de medespeler gebruikt. In het geval van de psychologiestudenten moet de indruk gewekt worden dat men tegen een mens speelt. Bij de KI studenten wordt nu niet duidelijk wat voor type automaat gebruikt is. Sommige computermodellen hebben namelijk een op een mens lijkende, variabele reactietijd. De duur dat dit scherm getoond wordt is instelbaar. Standaard werd de duur ingesteld op 2,5 seconden. Deze duur was het midden van een Gausskromme waaruit gekozen werd tot welke reactietijd het scherm getoond werd. Door dit kansproces wordt getracht menselijk gedrag te simuleren. Bij een trage proefpersoon werd de tijdsduur bij een volgende automaat verhoogd teneinde zo af en toe toch nog te misleiden. Nooit was de reactietijd langer dan 4 seconden. De vertragingstijd is niet meegenomen in de tijdsmeting. Als nadeel heeft dit dat tijdens het "wachten op de ander" nagedacht kan worden. Echter als er langer nagedacht wordt, verschijnt het scherm "wachten op de ander" niet. Het voordeel van deze tijdsmeting is dat het precies de tijd tussen de stimulus en de respons meet. Als het scherm wachten-op-de-ander in beeld is, is de nieuwe stimulus (de uitkomst van vorige ronde) nog niet aangeboden.

6.3 Het experiment en uitkomsten

De applicatie legt per speler de sequentie afzonderlijke keuzen, de bijbehorende opbrengsten en de opbrengsten over een hele serie vast (=som van afzonderlijke opbrengsten). De laatste twee kunnen uit de afzonderlijke keuzen geconstrueerd worden. Door de opbrengsten van de drie verschillende series, horend bij de drie verschillende medespelers (dit zijn de automaten coöperatief, defectief en conservatief) op te tellen krijgen we de totale opbrengst. Het woord uitkomsten kan gebruikt worden voor zowel de opbrengsten per ronde, de opbrengst over een serie als de totale opbrengst. Het gebruik van het woord *uitkomsten* is dus niet eenduidig.

Nu we weten hoeveel ronden er gespeeld worden, welke pay-off matrix gehanteerd wordt en hoe de medespelers vormgegeven zijn, kunnen we de waarden voor onze benchmarks vaststellen en dan dus ook de hypothesen voor de verschillende theorieën.

Strategieën	Coöperatief	defectief	conservatief
tit-for-tat	112	86	120
tit-for-two-tats	117	94	120
gemiddelde 10x Random	97,8	90,5	73,4
gem. hoogste 3 random	106,3	97	80,67
All-D	44	40	52
Speltheorie	114,5	90	120
Snelle heuristieken	110,4	90,5	100,3
Herkenningsgebaseerde beslissingstheorie	44	40	52

Tabel 5.1 prestaties van enkele strategieën en de daaruit voortvloeiende voorspelling van de minimale uitkomst als gespeeld wordt volgens de speltheorie, snelle heuristieken en de herkenningsgebaseerde beslissingtheorie.

De hypothese voor de speltheorie is het gemiddelde van de tit-for-tat en de tit-for-two-tats strategie. De hypothese van de snelle heuristieken is het gemiddelde van het gemiddelde van de tit-for-tat en de tit-for-two-tats strategie en het gemiddelde van de hoogste drie random. De hypothese van de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie komt overeen met de alleen-maar-competitie strategie (all-D), die de minimale opbrengst garandeert.

6.4 Het experiment en de hardopdenkprotocollen

Voordat het spel begint is het doel van het experiment uitgelegd. Ook hebben de proefpersonen een oefening in hardop denken gedaan. Gekozen is voor een planningsopdracht om ervoor te zorgen dat de proefpersonen niet werden aangezet tot rationeel, logisch denken of tot denken volgens een van de andere keuzemodellen.
Deze oefening bestond uit de volgende opdracht:
Je moet voor een groep van 15 personen op zaterdagavond in Groningen een drie-gangen-diner koken. Je hebt de beschikking over voldoende glaswerk, potten en pannen en over een grote eetruimte. Je hebt alleen niet zo erg veel geld en de keuken bij de eetruimte heeft slechts 4 pitten. Probeer hardop denkend te verzinnen hoe het diner er uit komt te zien en hoe je dit zou bereiken.
Voordat het werkelijke experiment begint wordt een taperecorder aangezet. De taperecorder neemt alles op wat de proefpersoon zegt tijdens het spelen van het spel. De verwoording is op het moment van denken (=concurrent verbalization, protocol analysis[93], preface xiii) en levert een hardopdenkprotocol (think aloud protocol) op. Er vindt geen verwoording achteraf plaats (retrospective verbal report). Per proefpersoon zijn er drie protocollen, voor elke automaat één.

6.5 Proefpersonen

Volgens de speltheorie zou het niet uit moeten maken of spelers veel of weinig weten van het RPD en de rationele wijze van redeneren van de speltheorie. Door voorafgaand aan het spel een winnende strategie te bedenken zou voor beide spelers eenzelfde winnende strategie verzonnen moeten worden. Vaak wordt door wetenschappers wel verondersteld dat ervaring en "theoretische besmetting" grote invloed kunnen hebben. Door beide soorten proefpersonen deel te laten nemen aan het experiment kunnen deze tegenstrijdige veronderstellingen bestudeerd worden. Het onderscheid in theoretische besmetting bestond in dit experiment uit het volgen van het keuzevak epistemische logica: *Epistemische Logica is de logica van kennis: hoe redeneer je over wat jijzelf en anderen weten? Deze logica blijkt cruciaal bij het beschrijven van onderhandelingen in de economie, van parallelle processoren in de informatica, en van multi-agent systemen in de Kunstmatige Intelligentie*[94].
Een tweede onderscheid, dat door de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie van Klein gemaakt wordt, is ervaring. Naast theoretisch besmet en niet theoretisch besmet zou een onderverdeling in ervaren en onervaren ook wenselijk zijn. Ervaren spelers van het RPD waren echter niet te vinden. In beide groepen is getracht een evenwichtige man/vrouw verhouding te krijgen. Dit is bij de theoretisch besmette groep (KI-studenten) niet gelukt.

---

[93] Ericsson K. A., Simon H. A. (1993), *Protocol Analysis: Verbal Reports as Data* Revised edition, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
[94] Bron: Cursusinformatie Multi-agent systemen: http://www.ai.rug.nl/mas/cursusinfo.html

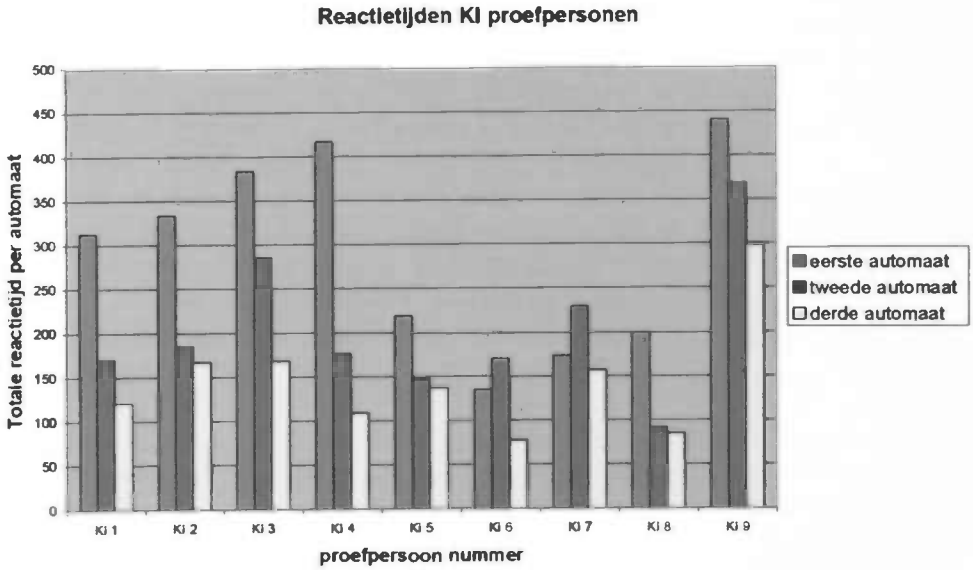
Nu volgen de resultaten. De resultaten bestaan uit de uitkomsten van de experimenten en een korte bespreking van het vergelijk van de drie theorieën op basis van de resultaten.

7 Resultaten

In dit hoofdstuk komen twee zaken aan bod: de bespreking van de uitkomsten van de experimenten en de vergelijking van de hypothesen van de drie theorieën na hun toetsing aan de uitkomsten van de experimenten. De uitkomsten van de experimenten vallen in drie groepen uiteen: tijden, opbrengsten en redeneringen. Ik zal de drie soorten uitkomsten bespreken in de eerste drie paragrafen. De vergelijking van de drie theorieën vindt plaats op basis van een statistische analyse in paragraaf 7.4.

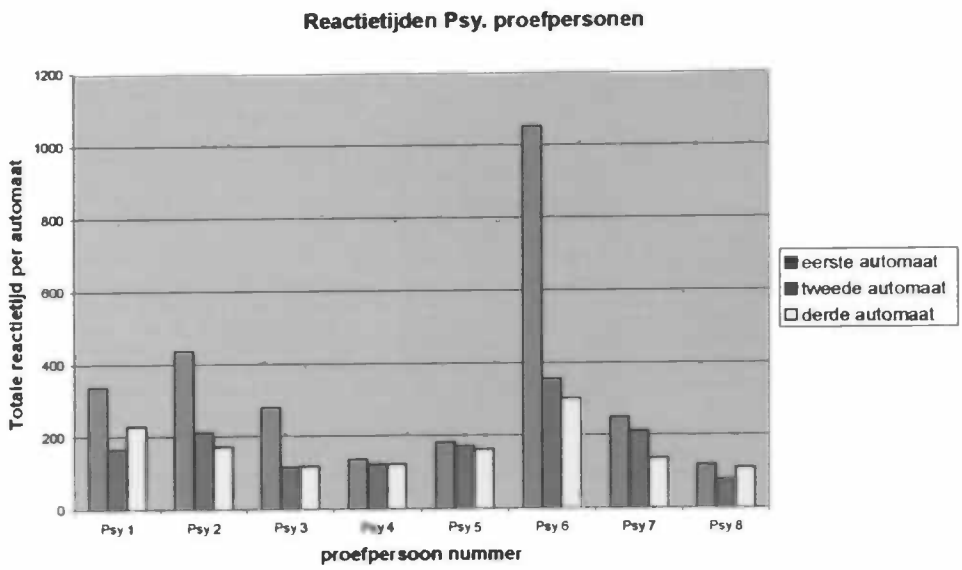
7.1 Constateringen tijden

Ik bekijk drie aspecten van tijden: de ontwikkeling in reactietijd tussen het eerste, het tweede en het laatste spel, de sequentie reactietijden van een specifiek proefpersoon tijdens een spel met één automaat en een signaalanalyse van zo'n sequentie reactietijden van een specifiek proefpersoon. Als eerste bespreek ik de ontwikkeling in de reactietijden.
De reactietijden nemen af. De proefpersonen leren en/of hoeven steeds minder na te denken. Dit laatste blijkt uit het beschouwen van de hardopdenkprotocollen. Hieronder staan de resultaten van de reactietijden weergegeven:



Figuur 7.1 Reactietijden van de KI studenten bij alle drie de tegenstanderautomaten.

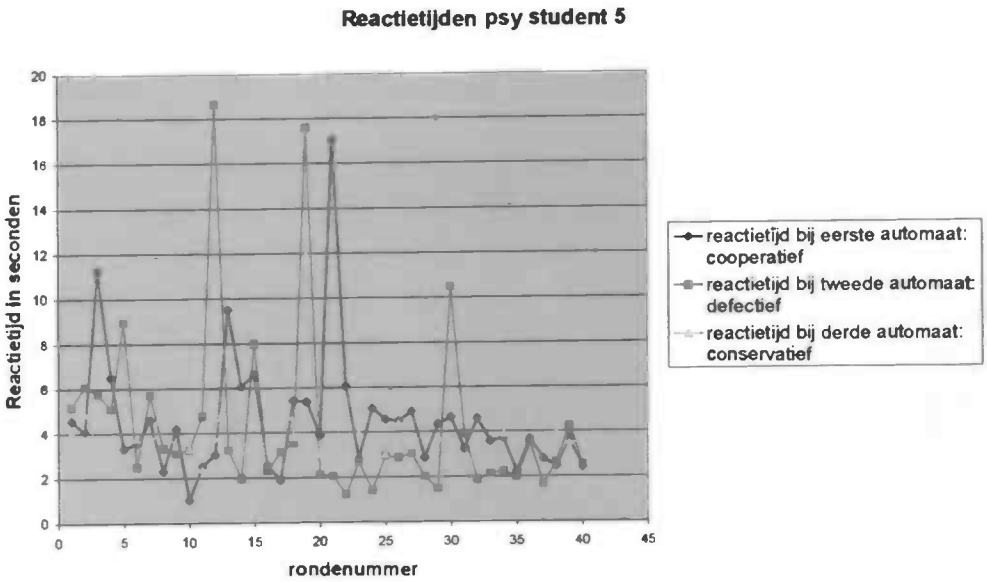
In figuur 7.1 is te zien dat de reactietijd van de KI-proefpersonen, op KI proefpersoon 6 en 7 na, afnemen. De afname in totale reactietijd is het grootst tussen de eerste en de tweede automaat. Ook bij de psychologiestudenten nemen we dit waar zoals blijkt uit onderstaande figuur 7.2.



Figuur 7.2 Reactietijden van de psychologie studenten bij alle drie de tegenstanderautomaten.

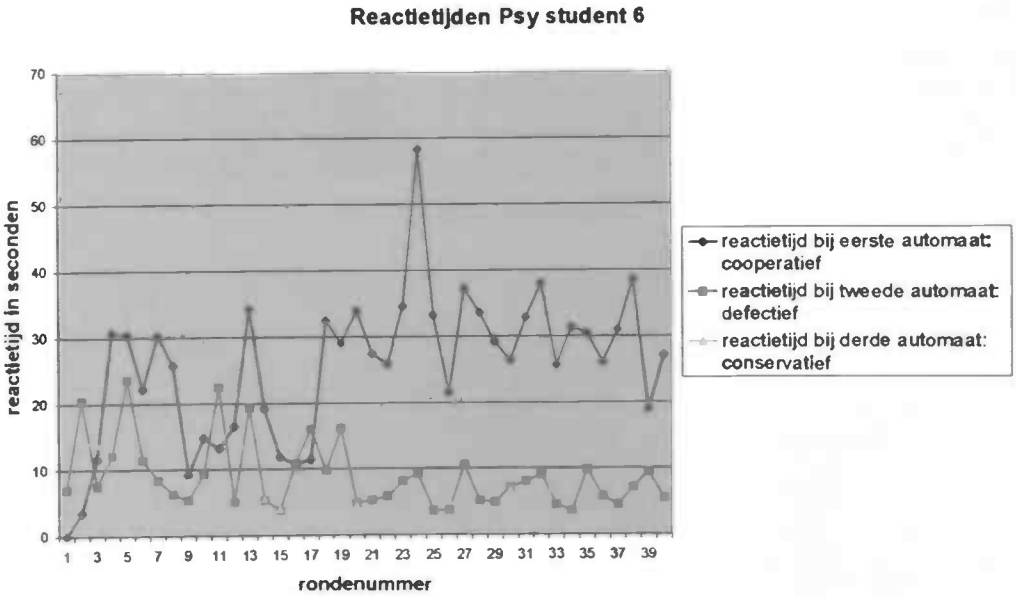
Uit figuur 7.2 blijkt dat ook de psychologiestudenten sneller worden. Proefpersonen 1, 3 en 8 vormen een uitzondering. Bij proefpersonen 3 en 8 is het misschien niet echt meer mogelijk om veel versnelling te realiseren. Ook bij proefpersonen 4 en 5 liggen de tijden dicht bij elkaar. Bij al deze proefpersonen is de totale reactietijd laag. Uitschieter in deze groep is proefpersoon 6. Deze heeft meer dan tweemaal zo lang gedaan over het eerste spel dan de tweede traagste proefpersoon.
Alle deelnemers waren onervaren in het spelen van het RPD, ook al wist de groep KI studenten wel wat het spel inhield. Deze versnelling die te zien is, kan doorgaans in verband gebracht worden met leren. Behalve dat de waarneming steeds sneller gaat, hebben de theorieën geen voorspelling gedaan voor dit leereffect in de redeneertijden. Dit komt omdat leren in geen van de modellen op de voorgrond staat. In mijn conclusie kom ik hier op terug.

We kunnen ook eens kijken naar de afzonderlijke redeneertijden bij individuen. Uit bovenstaande figuur 7.2 is proefpersoon nummer 5 uitgelicht. De totale reactietijden voor de verschillende automaten verschillen bij deze proefpersoon zeer weinig. De vraag is nu hoe deze reactietijden zijn opgebouwd.



Figuur 7.3 Reactietijden van de psychologie student nummer 5 spelend tegen de drie tegenstanderautomaten.

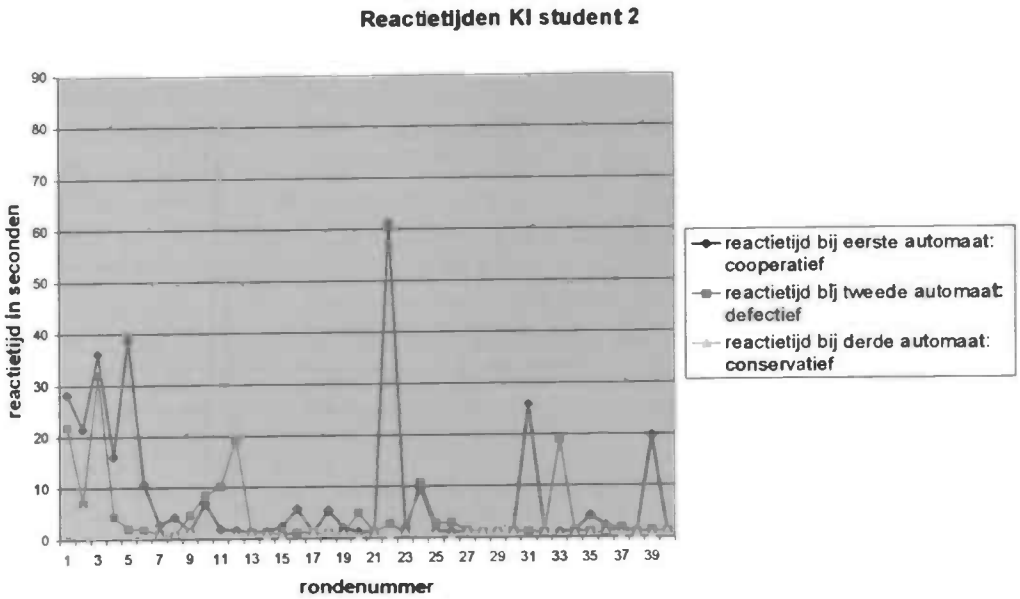
De meeste zetten van psychologie proefpersoon 5 hebben een tijdsduur van tussen de 2 en 5 seconden. Zo af en toe zijn er uitschieters naar tussen de 9 en de 19 seconden. Later nemen bij elke automaat deze uitschieters af. Op geen enkele manier lijkt dit patroon in redeneertijden op wat de speltheorie voorspelt. Dat andere proefpersonen heel andere reactietijden hebben blijkt uit figuur 7.4.



Figuur 7.4 Reactietijden van de psychologie student nummer 6 spelend tegen elk van de drie tegenstanderautomaten.

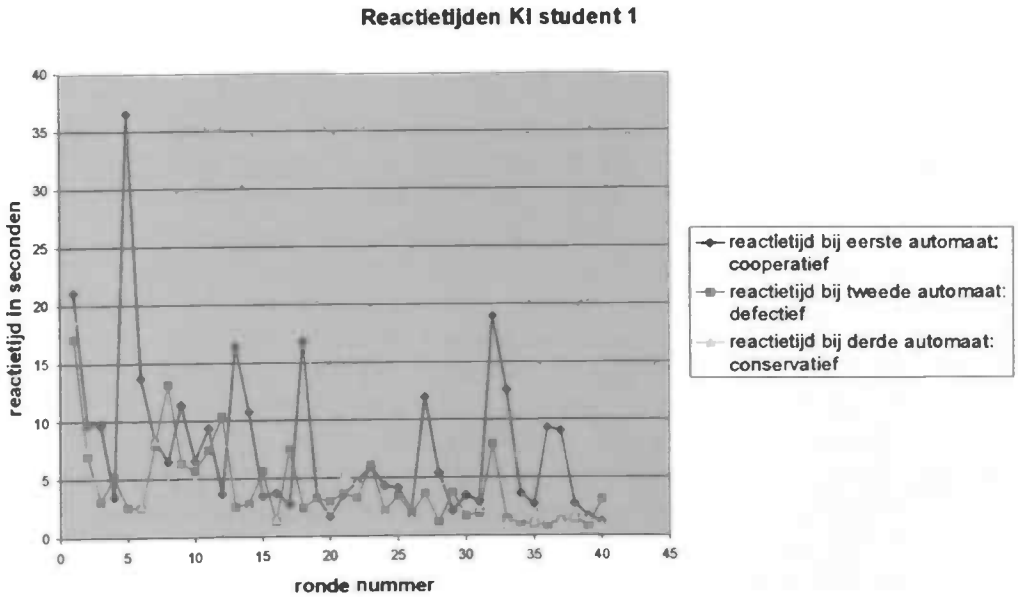
De reactietijden van psychologieproefpersoon 6 duren veel langer. Bij het eerste spel tegen automaat coöperatief duurt ongeveer elke zet lang. De eerste zetten waren daar het snelst. Bij het tweede en het derde spel nemen de uitschieters af. Nog steeds is de reactietijd per ronde nog erg lang. Gemiddeld duren de zetten nog tussen de 5 en de

10 seconden. De KI-proefpersonen vertonen iets anders gedrag in hun reactietijden, zoals zal blijken uit figuren 7.5 en 7.6.



Figuur 7.5 Reactietijden van de KI student nummer 2 spelend tegen elk van de drie tegenstanderautomaten.

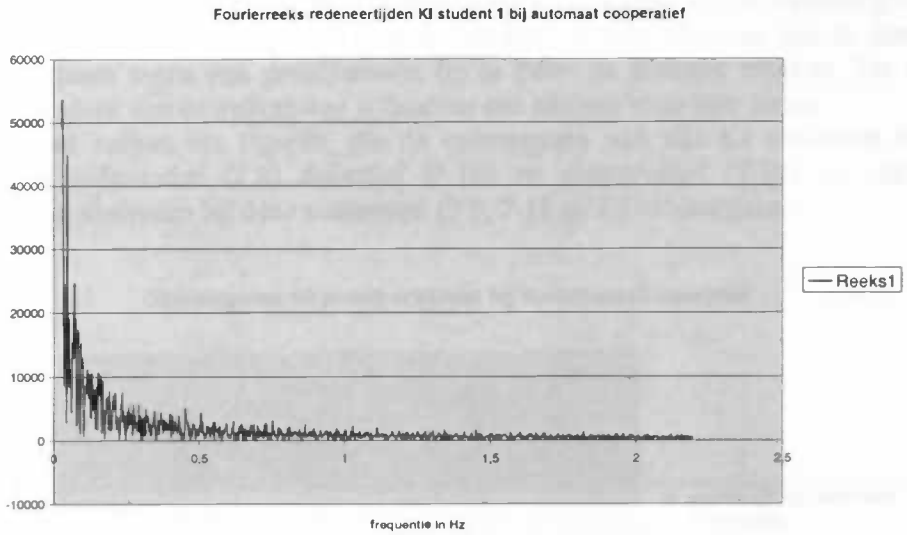
KI proefpersoon 2 heeft duidelijk korte zetten en uitschieters. De uitschieters vinden doorgaans in de eerste paar zetten plaats en later in elk spel nog een paar keer. Bij de latere spelen neemt de duur van de korte zetten iets af. De snelle zetten zijn dan sneller dan wat de herkenningsgebaseerde theorie als minimum voorspelt. Ook is het aantal uitschieters daar minder. De hoogte van de uitschieters is echter wel onveranderlijk. Er wordt dus zo af en toe zeer lang nagedacht waarna weer snel gereageerd kan worden. Dit lijkt op wat de snelle heuristieken voorspellen, alleen wordt de maximale redeneertijd voor de lange zetten overtreden.



Figuur 7.6 Reactietijden van de KI student nummer 1 spelend tegen elk van de drie tegenstanderautomaten.

Voor KI proefpersoon 1 vinden we in figuur 7.6 ook een afname in lange zetten. Het is echter veel minder duidelijk waar de grens tussen korte en lange zetten getrokken moet worden. In het tweede en het derde spel neemt het aantal lange zetten af en ook wordt ook het aantal lange zetten minder. Tussen deze lange zetten komen wel perioden met kortere zetten voor. De hypothese van de speltheorie wordt dus duidelijk gefalsifieerd. Ook is de overschrijding van de maximale lengte bij de snelle heuristiekenmethode een falsificatie bij de snelle heuristieken hypothese. Alleen de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie kent geen tegenvoorbeelden.

Nu kunnen we ook naar de fourieranalyse kijken om te zien of we met behulp van deze wiskundige techniek nog patronen kunnen ontdekken. Hiervoor bekijken we uit figuur 7.6 de tijdserie van het spel met de coöperatieve automaat.



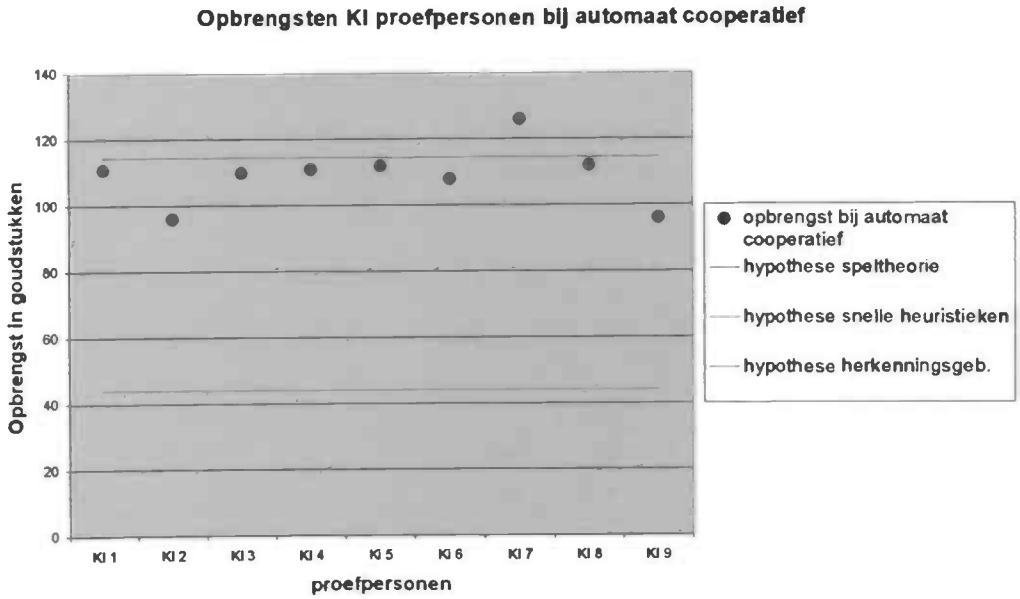
Figuur 7.7 Fourierreeks bij de reactietijden van KI speler 3 van zijn spel tegen automaat coöperatief.

In 7.6 lijkt het alsof we enkele patronen kunnen zien die een paar zetten duren. Uit figuur 7.7 met de bijbehorende fourieranalyse blijkt dat voornamelijk de trage frequenties van tussen de 0,03 en de 0,08 Hz in het spectrum aanwezig zijn. Deze frequenties hebben een periode duur van tussen de 12,5 seconden en 50 seconden. De herhaling van patronen in gedrag in de tijd heeft dus niet een ordegrootte van seconden, maar van tientallen seconden. Vreemd is deze tijdsduur voor herhalende patronen niet. De lange zetten duren vaak al tussen de tien en twintig seconden. Terugkerende series zullen dan dus snel tussen de 12,5 en 50 seconden duren.
Dit is in overeenstemming met wat de snelle heuristieken en de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie voorspellen. De herhalingen ontstaan doordat één keer lang en een aantal beurten kort nagedacht wordt. Een spel heeft typisch een tijdsduur van tussen de 300 en de 160 seconden. Die tijdsduur omvat 40 zetten. Per 4 tot 13 zetten is er dan een terugkerend patroon. Dit kan bijvoorbeeld het veranderen van de heuristiek zijn, gevolgd door het gebruik van de heuristiek, totdat het resultaat slecht bevonden wordt waarna er een nieuwe heuristiek gezocht moet

worden. Ook is een lezing mogelijk waarbij slechts eens in de 4 tot 13 zetten een grotere mentale simulatie en evaluatie plaatsvindt. Dit terugkerende patroon is niet in overeenstemming met de hypothese van de speltheorie.

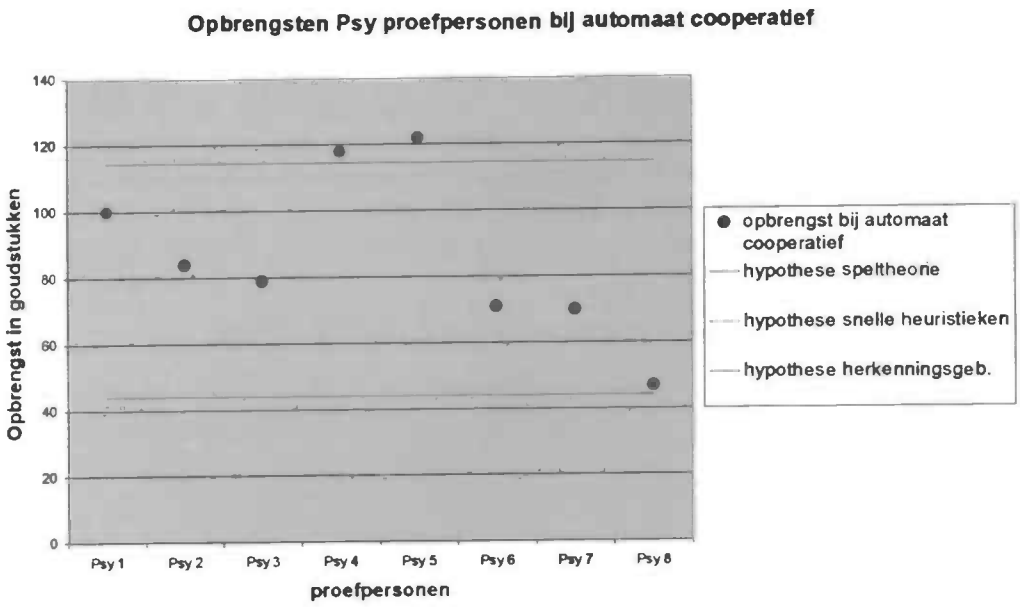
7.2 Constateringen opbrengsten

Uit deze analyse blijkt een ding: niet de uitkomst per ronde is van belang, maar de uitkomsten van series zijn dat des te meer. Doordat er sprake is van een herhaald prisoners dilemma, ontstaan series. Voor de uitkomstenanalyse is het zelfs van groot belang om naar reeksen te kijken. Men zal soms een verlies in een ronde moeten nemen om daarmee de relatie weer te herstellen. Het verlies wordt dan goed gemaakt. Soms zijn ook meerdere ronden nodig voordat de samenwerking weer hersteld is. Hierdoor is het niet zinvol om naar uitkomsten per afzonderlijke ronde te kijken. We concentreren ons dus op de series. De ene serie is beter dan de andere. Het doel is dat de gespeelde serie een hoge opbrengst genereert. Dat moet bewerkstelligd worden. Maar het is niet duidelijk of bepaald gedrag als een reactie op het gedrag van de ander kan worden opgevat. Evenmin kan ik met zekerheid zeggen welke handeling in het verleden een bepaald gevolg heeft later in het spel. Ik ben daardoor niet in staat om een experiment tegen een proefpersoon op te delen in kleinere stukken. De enige zinvolle analyse van de uitkomsten is daarom een analyse voor hele series.
Onderstaand volgen zes figuren, die de opbrengsten van alle KI studenten bij de automaten coöperatief (7.8) defectief (7.10) en conservatief (7.12) en van alle psychologie studenten bij deze automaten (7.9, 7.11 en 7.13) weergeven.



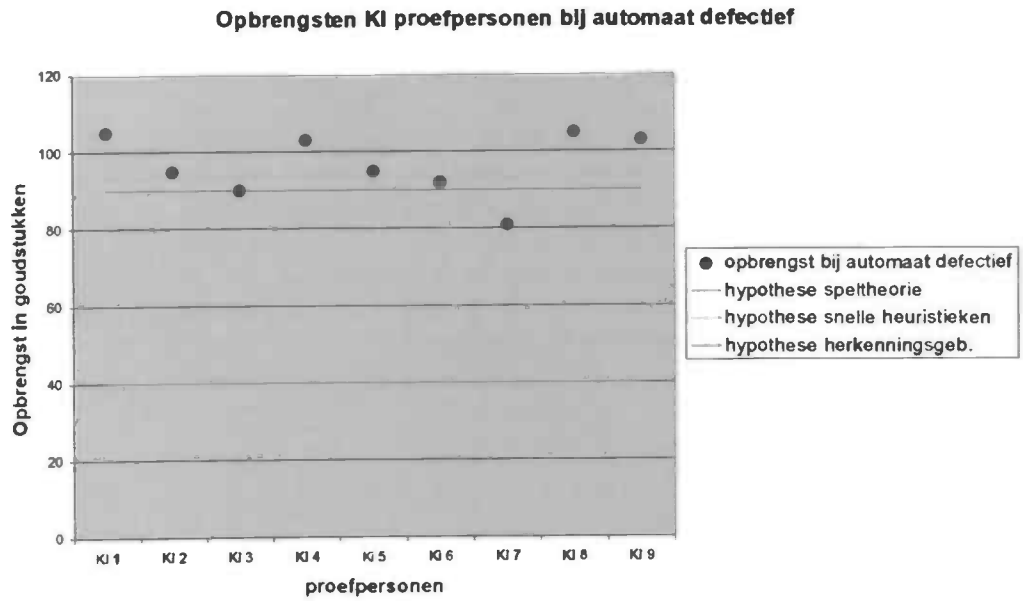
Figuur 7.8 Opbrengsten van de KI-proefpersonen bij automaat coöperatief.

In dit figuur 7.8 is te zien dat er slechts één proefpersoon op of boven de hypothese van de speltheorie uitkomt. Ook zien we dat de hypothese van de snelle heuristieken door slechts drie proefpersonen geschonden wordt. Alle proefpersonen presteren veel beter dan de ondergrens van de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie. Voor de psychologieproefpersonen geldt dit niet zoals blijkt uit figuur 7.9.



Figuur 7.9 Opbrengsten van de psychologieproefpersonen bij automaat coöperatief.

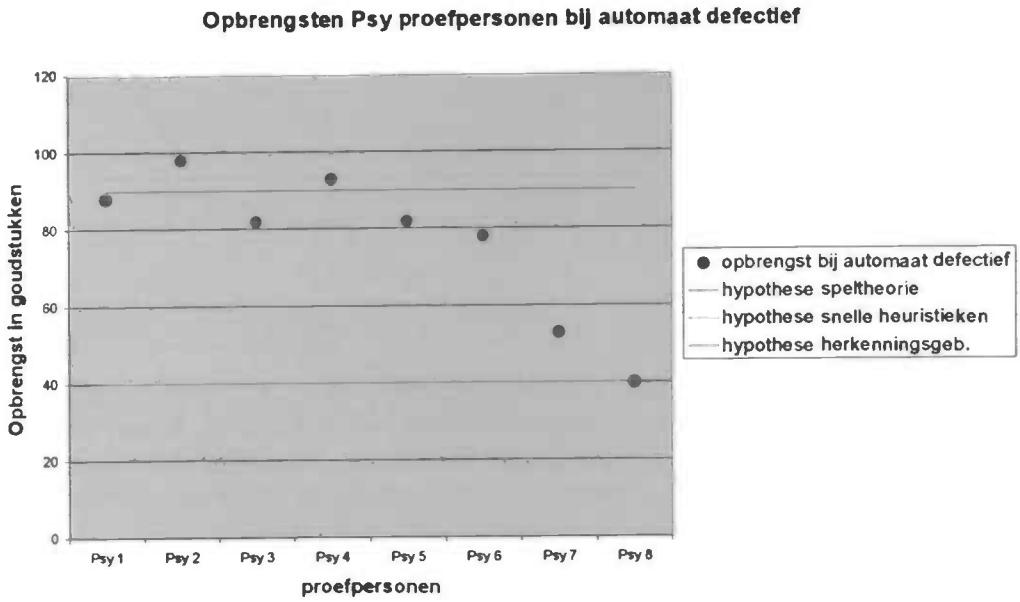
Uit figuur 7.9 valt af te lezen dat maar liefst twee proefpersonen boven de hypothese van de speltheorie uitkomen. Daar staat tegenover dat zes proefpersonen de hypothese van de snelle heuristieken schenden. Ook is te zien dat de meeste psychologieproefpersonen het wat minder goed doen dan de KI-proefpersonen. Een vergelijkbaar patroon is te zien bij de lastigere automaat defectief.



Figuur 7.10 Opbrengsten van de KI-proefpersonen bij automaat defectief.

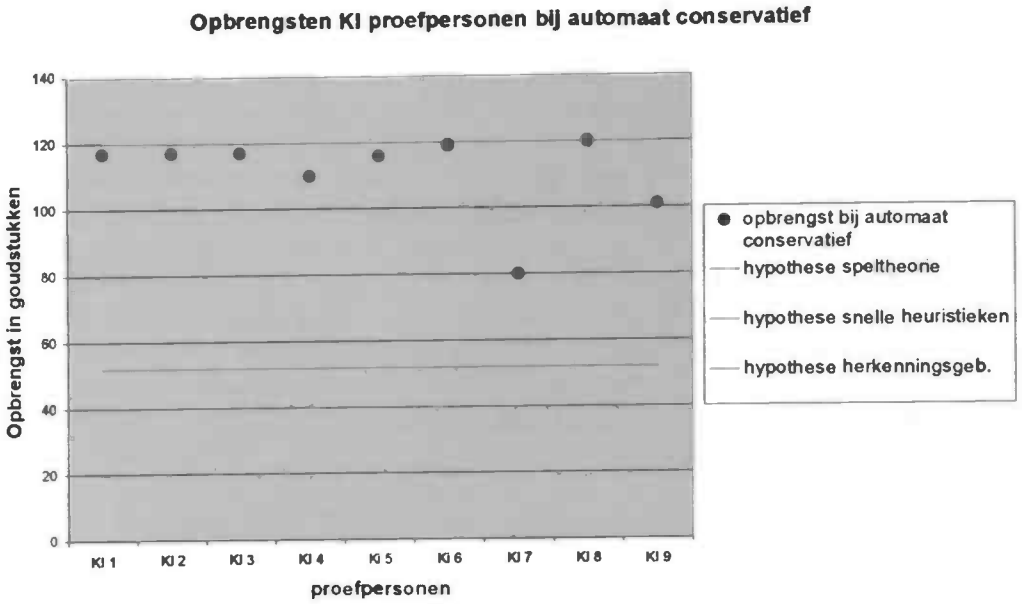
De automaat defectief is qua opbrengsten lastiger en minder lastig. Het is moeilijker om tegen deze automaat goed te scoren. De hypothesen hebben het echter ook moeilijk tegen deze automaat waardoor ze lager uitvallen. Slechts één proefpersoon kwam niet boven de hypothese van de speltheorie uit. De hypothese van de snelle

heuristieken ligt hier hoger dan die van de speltheorie. Dat is te verklaren doordat de hoge scores van de random strategieën, die de score van deze hypothese mede bepalen, het beter deden dan de optimale strategieën. Dit geeft direct ook aan dat dit model lastig is om goed tegen te spelen. Het is namelijk niet snel duidelijk welk gedrag je zelf dient te kiezen om een hoge score te realiseren. Drie proefpersonen deden het slechter dan de hypothese van de snelle heuristieken. Geen van de KI-proefpersonen kwam in de buurt van de minimale prestatie van de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie. Voor de psychologieproefpersonen was dit wederom anders.



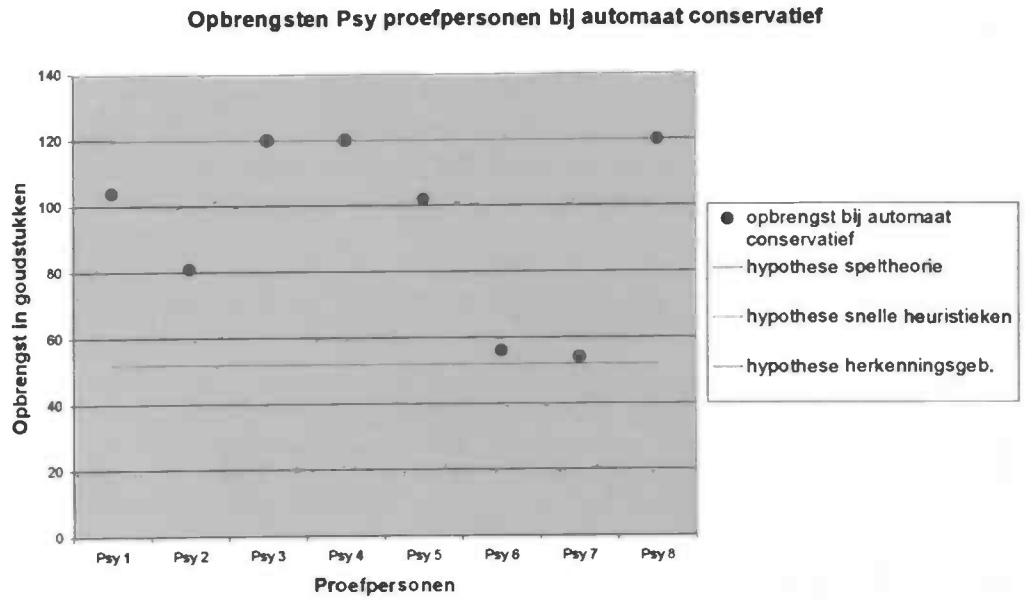
Figuur 7.11 Opbrengsten van de psychologieproefpersonen bij automaat defectief.

Maar liefst zes psychologieproefpersonen kwamen niet boven de hypothese van de snelle heuristieken uit. Dezelfde zes kwamen ook niet boven de hypothese van de speltheorie uit. Eén proefpersoon scoorde het minimale. Uit het hardopdenkprotocol bleek dat deze proefpersoon voor zekerheid koos (garantie van het minimale) omdat te onduidelijk was wat de automaat deed. Een andere proefpersoon kwam ook in de buurt van het minimum. Opnieuw kunnen we een verschil waarnemen tussen de beide groepen als ze beide tegen de conservatieve automaat spelen. De prestaties ten opzichte van de hypothesen variëren weinig.



Figuur 7.12 Opbrengsten van de KI-proefpersonen bij automaat conservatief.

Acht van de negen KI-proefpersonen kwamen niet op gelijke hoogte met de hypothese van de speltheorie. Eén van de proefpersonen scoorde minder dan de snelle heuristieken hypothese. Wel scoorden zeven van de negen zeer dicht bij de hypothese van de speltheorie. Bij deze automaat diende elke beurt coöperatie gespeeld te worden voor een optimaal resultaat. Veel proefpersonen hebben zichzelf een kleine exploratie toegestaan.



Figuur 7.13 Opbrengsten van de psychologieproefpersonen bij automaat conservatief.

Van de psychologie proefpersonen hebben drie mensen het optimale bereikt. Drie anderen doen het daarentegen slecht. Twee komen zelfs nauwelijks boven de minimale opbrengst uit. Opmerkelijk is te zien dat proefpersoon 8 die het zeer slecht

deed bij de eerste twee automaten, een grote sprong heeft gemaakt. Uit het hardopdenkprotocol bleek dat door een redenering van het minimale afdwingen steeds voor competitie gekozen was: "anders heb je nul, dus ik moet wel competitie kiezen." In de tussentijd tussen twee spelen had de proefpersoon bedacht dat als hij en de medespeler voor het zelfde geld ook elke beurt voor coöperatie hadden kunnen kiezen, waarbij ze veel meer konden verdienen. Deze keuze voor coöperatie heeft hij tijdens het spelen met de laatste automaat consequent uitgevoerd.
Kort samenvattend kunnen we zeggen dat uit het verschil tussen beide groepen proefpersonen blijkt dat kennis van het RPD en strategieën de opbrengst vergroot. Ook blijkt dat veel mensen die voor het eerst met het RPD geconfronteerd worden, heel slecht presteren. Uit het hardopdenkprotocol blijkt dat deze proefpersonen voor zekerheid kiezen. Opvallend genoeg weten mensen het beter te doen dan de 'optimale strategieën'. Alleen de snelle heuristieken hypothese wordt niet geschonden: mensen doen het goed én slecht.

Uit de gestelde hypothesen en uit de resultaten van de proefpersonenprestaties vallen nog conclusies te trekken door middel van een toets. Het aantal correcte voorspellingen en het aantal incorrecte voorspellingen bepaalt de kans op succes van een drietal hypothesen, die ik statistisch met elkaar vergelijk om te zien of bepaalde hypothesen anderen kunnen verwerpen. In het geval van de speltheorie zijn er van de 51 experimenten (3 voor elk van de 17 proefpersonen = 3*17=51) slechts 17 op of boven de hypothese van de speltheorie uitgekomen. Dit maakt de kans op succes van de hypothese *het speltheoretische beslissingsmodel beschrijft het menselijk redeneren tijdens het spelen van het RPD*, P (H0)= 17/51= 0,333. Door ook voor de snelle heuristieken deze kans te toetsen, kan ik toetsen of de ene hypothese verworpen kan worden door de andere hypothese. Ik doe dit in paragraaf 7.4.

7.3 Constateringen falsificaties redeneringen

Laat ik hier beginnen met het tonen van een aantal stukken uitgeschreven hardopdenkprotocol, zodat enige indruk ontstaat van de redeneringen van de proefpersonen. Het eerste stuk is genomen uit het hardopdenkprotocol van KI proefpersoon nummer 3 in het spel tegen automaat coöperatief. De automaat heeft de naam Sanne:

1. Nou, ja, tja, de hoogste score, Eh, competitie is altijd meer, krijg je altijd meer dan de tegenstander, of het is evenveel, maar ja je weet dat coöperatie meestal voor beiden de meeste punten oplevert.
2. We hebben samen gewerkt. Dat is leuk. Dat is voor ons allebei goed uit gekomen. Ik zou geen reden zien om die samenwerking gaat verbreken.
3. Drie, ehm, Ik weet niet hoe Sanne redeneert, maar ik neem aan dat hij denkt als ik gewoon, aan iets goeds moet je niet aan gaan sleutelen. Want als je op zou houden met samenwerken dan zouden we uiteindelijk allebei nul punten krijgen.
4. Ja goed
5. Ach wat sneu, ehm ja, Sanne die heeft waarschijnlijk gedacht, mooi die trapt er wel in dus ik kan nou ook voor competitie kiezen en dan krijg ik meer punten. Ehm. Ik denk dat het voordelig is dat als ik nu ook voor coöperatie kies, dan kan ik beter kijken wat zijn nu van plan is.
6. Zij heeft de helpende hand uitgestoken. Ehm, een beetje een dilemma, ik denk dat ik zou proberen nu vrede te sluiten
7. We hebben weer samen gewerkt. Oké, dat was dus een klein experiment het heeft blijkbaar niet zo veel voor haar gedaan.

Uit dit stuk protocol blijkt dat het lastig is om de uitingen van de proefpersonen in te passen in de opgestelde lijsten inferenties. In inferentie 3 lijkt een opmerking als: *aan iets goeds moet je niet sleutelen,* te duiden op snelle heuristieken. Bij een preciezere analyse met behulp van de inferentielijst van de snelle heuristieken blijkt ook dat er geen falsificaties optreden. De redenering volgt wel globaal het redeneerschema, er zijn geen andere taken dan beoordelen en controleren, er is niet een lange of complexe redenering en er wordt wel gecontroleerd, zoals blijkt uit inferentie 5. Als we de speltheoretische inferentielijst naast dit stuk hardopdenkprotocol houden zien we wel falsificaties: er wordt niet begonnen met de taak plannen. Plannen komt dus helemaal niet voor, is dus ook incompleet en niet alle plannen worden geranked en gesorteerd. Er komt verder wel controleren in voor. Als we met de inferentielijst van de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie kijken, dan zien we dat het redeneerschema niet globaal gevolgd wordt. Ook ontbreekt de mentale simulatie. Dat deze bij andere proefpersonen wel voorkomt blijkt uit het volgende stukje protocol. Eerst merk ik nog op dat een activiteit die waargenomen kan worden in dit stukje protocol niet door een van de redeneerschema's betiteld wordt: er wordt getracht te begrijpen hoe de ander in elkaar steekt. Er worden aannames gedaan over de ander en er wordt zelfs in inferentie 5 gekozen voor een specifieke keuze om een beter inzicht te krijgen in hoe de ander redeneert. Dit is een actief proces om de medespeler te modelleren.
Het tweede stuk hardopdenkprotocol is genomen van KI student 2 van zijn spel met automaat defectief genaamd Peter:

1. Ik speel nu tegen Peter, ik weet weer helemaal niks, dus ik begin weer met competitie.
2. Nou, Peter dacht hetzelfde, Kijken wat hij de volgende ronde doet,
3. Hij is halsstarrig, ehm, hij zal sowieso competitie kiezen de volgende keer, dus ik haal het maximale er uit door alleen met hem te competeren, maar dan is mijn opbrengst heel laag over de hele run, ik weet niet hoe lang deze duurt, maar als ik er van uit ga als hij net zo lang duurt als die andere dan is dit niet veel punten dus ga ik gokken op de coöperatie, kijken of hij er in meegaat,
4. Dan moet ik het nog een keer doen om te zien of hij er in meegaat.
5. Dat doet hij wel, blijft hij er in meegaan,
6. Dat gaat goed.
7. Dat gaat ook goed,
8. dat gaat ook goed,
9. Oke, peter probeert nu om iets te snaaien, dat is logisch.
10. Peter heeft het spelletje door, doe nu twee keer mee, voor hetzelfde geld,

In dit protocol wordt anders geredeneerd dan in het eerste protocol. Op inferentie 3 past zowel het redeneerschema voor planning als voor mentale evaluatie. Als we dit een planning noemen, dan is het wel een incomplete planning. De mentale simulatie volgens de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie blijkt hier goed te passen. Verderop in het hardopdenkprotocol vindt echter een meer expliciete planning plaats, dus er treedt alsnog een falsificatie op voor de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie. Deze planning volgt op het moment dat de proefpersoon de medespeler door denkt te hebben. Voor de snelle heuristieken volgen in het gehele protocol voor automaat defectief te lange redeneringen. Ook wordt er gepland.
Dat het soms moeilijk is om door te krijgen wat de medespeler gaat doen blijkt uit het volgende hardopdenkprotocol van psychologie proefpersoon 3. Het is genomen uit het hardopdenkprotocol tegen automaat defectief die hier Peter heet:

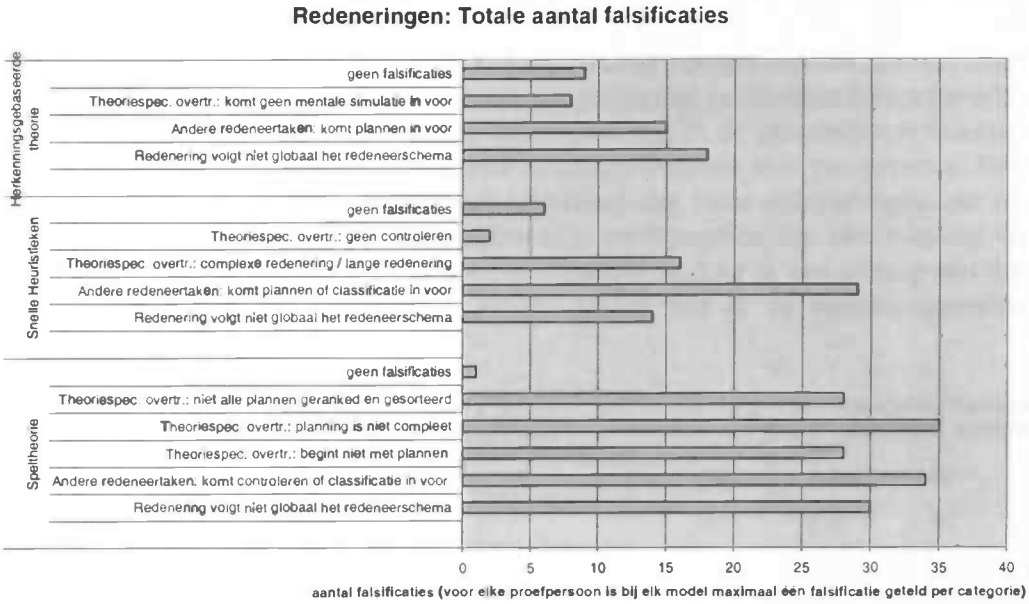
16. coöperatie, kijken of hij dan nu slim genoeg is om weer tot coöperatie en dat hij dan denkt van coöperatie,
17. ja, het is wel heel raar, ik kies twee keer competitie en dan kies ik coöperatie en dan denkt hij ook kennelijk hé nu moet ik maar weer eens coöperatie gaan doen. Nu kies ik gewoon competitie,

18. kies ik gewoon nog een keer competitie, dan straf ik hem gewoon een keer af en nu moet hij denken van ja, nu gaan we weer coöpereren,
19. nee, maar dat is dus niet zo, coöperatie dan maar, kijken of hij daar op ingaat, waarschijnlijk niet en kiest hij competitie.
20. Dat dacht ik al wel. Het hele vertrouwen is weg, het is ook niet echt handig wat hij doet, wederzijdse competitie en dan coöperatie dan maken, waarschijnlijk niet
21. nee, afstraffen, competitie en dan nog een keer competitie, nog een keer.
22. Ik vind het een beetje vreemd, want als ik nu coöperatie kies dan lijkt het haast wel zo te zijn dat hij competitie zal kiezen. Dat hij denkt ik kies de hele tijd competitie en dat ik dan coöperatie kies omdat ik denk coöperatie, coöperatie om te zien wat hij doet.
23. (einde)
24. Ik vond het gewoon een beetje een rare persoon die laatste, dat het niet duidelijk werd wat zijn strategie is. Hij heeft niet echt een duidelijke strategie.

Hoewel elke keer een verwachting voor een uitkomst geformuleerd wordt, wordt deze toch herhaaldelijk geschonden. Ook al probeert de proefpersoon zich in te leven in de ander, hij kan zich toch geen beeld vormen van de ander en weet dientengevolge niet wat hij moet doen. Als we met de falsificatiecriteria het protocol analyseren vinden we bij elk type redenering falsificaties. Hoewel er mentaal gesimuleerd wordt, komt er ook planning in voor, waardoor de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie afvalt. De speltheorie valt af omdat er controle en classificatie plaatsvinden. De snelle heuristieken vallen af omdat plannen en classificatie plaatsvinden en omdat er lange en complexe redeneringen voorkomen.
Het inleven in de ander zien we ook terug bij de volgende proefpersoon. Hier volgt een stukje van het protocol van psychologieproefpersoon 5, spelend tegen automaat defectief:

1. We beginnen met competitie, omdat ik dus verwacht dat ze begint met coöperatie.
2. Het is hetzelfde nu als zonet, het is volgens mij niet een ander persoon.
3. Ze heeft dus net competitie gedaan en ik coöperatie, dan ga ik denken dat zij nu zal denken dat ik competitie ga spelen zodat zij ook competitie gaat spelen. Dus ik moet wel competitie spelen anders verlies ik, denk ik.

Geen van de drie beslissingstheorieën heeft een redeneerschema dat goed op dit protocol past. Dit blijkt ook in de beoordeling van het gehele protocol, dit levert voor alle theorieën falsificaties op. Een theorie die wel direct in mijn gedachten schiet bij het lezen van dit stuk protocol is de *Theory of Mind*. Hierop kom ik terug in de conclusie. Eerst toon ik het totale aantal falsificaties. Bij elk protocol kon elke falsificatie slechts eenmaal meegeteld worden, ook al kwamen falsificaties meerdere keren voor.



Figuur 7.14 De falsificaties en niet gefalsifieerde redeneringen die met behulp van de opgestelde lijsten inferenties geanalyseerd zijn.

De hypothesen van de theorieën kennen bij de redeneringen nogal wat falsificaties, wat betekent dat menselijk redeneren zich vaak niet houdt aan wat de theorieën voorschrijven. Ook is er een grote diversiteit in het redeneren van de proefpersonen. De herkenningsgebaseerde beslissingstheorie kent de meeste voorbeelden van redeneren waarin geen falsificatie te vinden was. Dit is opmerkelijk aangezien het redeneerschema en het aantal inferenties groot was bij deze theorie. Dat dit wel voor problemen zorgt blijkt uit het veel hogere aantal overtredingen van het redeneerschema dan bij de snelle heuristieken. De speltheorie is verreweg de slechtste voorspeller voor de redeneringen bij het spelen van het RPD. Deze theorie heeft de minste voorbeelden waarin geen falsificatie gevonden is en in elk van de falsificatiecategorieën heeft zij de meeste falsificaties. Op basis van het verschil in falsificaties en niet gefalsifieerde protocollen leveren zowel de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie als de snelle heuristieken een onderscheid op met de speltheorie. Dit zullen we zien in de statistische analyse van paragraaf 7.4.

7.4 Statistische relevantie van de uitkomsten

De betekenis die we kunnen toekennen aan de resultaten hangt af van de grootte van de geteste groep proefpersonen en het verschil in resultaat. Bij een klein verschil in voorspellende waarde van de ene hypothese ten opzichte van de andere hypothese moet de steekproefomvang groot zijn om de ene hypothese te verwerpen voor de andere.

Bij deze testen van de nulhypothese ten opzichte van een concurrerende hypothese heb ik twee standaardwaarden genomen: één voor de significantie en één voor de power van de testen. De significantie α heb ik gesteld op 5 % en de power $1-\beta$ op 95%. Voor veel verschillende vergelijkingen van twee hypothesen kon ik zo de gewenste steekproefomvang bepalen waarbij, gegeven de kans op succes onder de H0

(nulhypothese) en de kans op succes onder de H1, de H0 verworpen wordt voor de H1.
De kans op succes bij verschillende hypothesen heb ik kunnen bepalen met het aantal niet gefalsifieerde voorbeelden ten opzichte van het aantal gefalsifieerde voorbeelden. Voor zowel de redeneringen als voor de uitkomsten heb ik de verschillende theorieën met elkaar kunnen vergelijken. Het aantal metingen bedroeg drie per persoon. Deze zijn echter wel afhankelijk, we kunnen aannemen dat twee redeneringen van een persoon gecorreleerd zijn. In totaal hadden mijn steekproeven dus een omvang van 51. Er was echter één mislukking in het experiment waardoor ik een meting niet mee heb kunnen nemen. Bij een van de proefpersonen ben ik de opnameapparatuur namelijk vergeten aan te zetten.

Nul hypothese (H0)	alternatieve hypothese (H1)	P H0	P H1	gebruikte steekproef	benodigde steekproef
redeneringen tijdens RPD volgens de ST	redeneringen tijdens RPD volgens het HGB	0,04	0,26	50	28
redeneringen tijdens RPD volgens de ST	redeneringen tijdens RPD volgens de SH	0,04	0,18	50	49
redeneringen tijdens RPD volgens de SH	redeneringen tijdens RPD volgens het HGB	0,18	0,26	50	291
uitkomsten tijdens RPD volgens de ST	uitkomsten tijdens RPD volgens het HGB	0,333	1	51	0
uitkomsten tijdens RPD volgens de ST	uitkomsten tijdens RPD volgens de SH	0,333	0,61	51	33
uitkomsten tijdens RPD volgens de SH	uitkomsten tijdens RPD volgens het HGB	0,61	1	51	0

Tabel 7.4 Gewenste steekproefomvang gegeven de vastgestelde succeskansen onder de drie verschillende theorieën bij de redeneringen en de uitkomsten.
ST=speltheorie SH=snelle heuristieken HGB=herkenningsgebaseerde model.

Uit de statistische toets blijkt dat de speltheorie bij de voorspelling van redeneringen het aflegt tegen zowel de snelle heuristieken als de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie. Een onderscheid tussen de snelle heuristieken en de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie is niet te maken. Bij de uitkomsten is ook de hypothese van de speltheorie te verwerpen door beide becommentariërende theorieën. Dat de speltheorie het af zou leggen tegen de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie was te verwachten omdat deze een niet te weerleggen hypothese hanteert. Toch ben ik van mening dat deze hypothese wel zeggingskracht heeft. Mensen bleken het namelijk zo af en toe zeer slecht te doen. Een theorie die dit niet toestaat beschrijft het menselijke beslissen niet goed.

7.5 Samenvatting resultaten

In vier voorgaande paragrafen zijn alle resultaten besproken. Voor de drie verschillende waarnemingen waren er zeer uiteenlopende constateringen. Op basis van de resultaten en de redeneringen heb ik een statistische analyse gedaan. In deze paragraaf vat ik de resultaten nog eens kort samen. Laat ik beginnen met de waarneming tijden.

Tijden
Bij de verschillende waarnemingen van de tijden valt een ding op: de voorspelling van de speltheorie lijken zeer weinig op wat bij de proefpersonen waargenomen wordt. Noch de duur, noch de patronen worden terug gevonden in wat de proefpersonen

doen. Hoewel de snelle heuristieken en de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie veel dichter in de buurt komen van een adequate beschrijving van de redeneertijden van de proefpersonen, blijken ook deze theorieën nog wat missers te maken. Een constatering waar geen van de theorieën een voorspelling voor heeft gedaan, is het leereffect dat waar te nemen valt uit de afname in reactietijd. Bij de bespreking was reeds gebleken dat geen van de theorieën leren goed beschreef.
Uit de signaalanalyse van de reactietijdenserie is gebleken dat er terugkerende patronen zijn in de reactietijden. Typisch hebben deze patronen een tijdsduur van tussen de 12,5 en 50 seconden.

Uitkomsten
Over de uitkomsten kunnen we zeggen dat uit het verschil tussen beide groepen proefpersonen blijkt dat kennis van het RPD en strategieën, de opbrengst vergroot. Ook blijkt dat veel mensen die voor het eerst met het RPD geconfronteerd worden, heel slecht presteren. Uit het hardopdenkprotocol blijkt dat ze de voorkeur geven aan zekerheid. Ook viel op dat mensen het beter doen dan de 'optimale strategieën'. Ik heb kunnen concluderen dat slechts de snelle heuristieken hypothese niet wordt geschonden: mensen doen het goed én slecht.

Redeneringen
Er waren veel meer redeneringen die wel gefalsifieerd werden ten opzichte van redeneringen die niet gefalsifieerd werden. De diversiteit in redeneringen was hier voor een deel de oorzaak van, want bij verschillende protocollen leken bepaalde beslissingstheorieën wel hout te snijden. Het best passend was de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie. De speltheorie paste het minst goed op de redeneringen.
Opvallend is verder dat een aantal aspecten dat duidelijk waar te nemen was in de redeneringen van de proefpersonen niet in de drie hypothesen terug te vinden was. Er werd namelijk vaak geredeneerd door een model van de tegenstander te maken. Dit maken van een model was een actief proces waar ook keuzes voor gemaakt werden om meer informatie te verkrijgen, zoals een keer niet samenwerken om de reactie van de medespeler te krijgen. Ook de TOM sprong in gedachten bij het analyseren van de protocollen. Dit is mogelijk een zeer bruikbare theorie voor het beschrijven van menselijk redeneren.

De statistische toets
Op het gebied van zowel redeneringen als uitkomsten kunnen de hypothesen van de snelle heuristieken en de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie de hypothese van de speltheorie verwerpen. Tussen de hypothesen van de snelle heuristieken en de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie kan geen onderscheid gemaakt worden.

8 Conclusies

Het hoofdstuk conclusies kent drie delen: conclusies die te maken zijn op basis van de experimenten (8.1), kanttekeningen die te plaatsen zijn bij deze experimenten en bij de theorieën (8.2) en de algemene conclusie met de bijbehorende aanbevelingen voor verder onderzoek (8.3).

8.1 Conclusies op basis van de experimenten

Ik begin met de conclusies op basis van de experimenten voor de drie verschillende waarnemingen *tijden, opbrengsten* en *redeneringen*.

Redeneringen van mensen die het RPD spelen
Zoals in de tabel 7.4 is af te lezen, kan de hypothese van de speltheorie die het menselijk redeneren tijdens het spelen van RPD beschrijft, verworpen worden door zowel de hypothese van de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie als de hypothese van de snelle heuristiekenmethode. Persoonlijk had ik niet verwacht dat met deze beperkte steekproefomvang dit resultaat al statistisch aan te tonen was. De mate waarin de verschillende hypothesen de data goed beschrijven heeft dit resultaat toch mogelijk gemaakt. Dat deze kleine steekproefomvang tot een aantoonbaar onderscheidt leidt geeft dus aan dat het kwalitatieve verschil tussen de speltheorie en de andere theorieën groot is voor het beschrijven van het menselijke redeneren tijdens het spelen van het RPD. Tussen de hypothese dat mensen tijdens het spelen van het RPD redeneringen hanteren die voldoen aan de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie en de hypothese dat mensen tijdens het spelen van het RPD redeneringen hanteren die voldoen aan de snelle heuristiekenmethode kan met deze steekproefomvang geen onderscheid gemaakt worden. Ook viel tijdens het bestuderen van de redeneringen op dat er elementen waar te nemen waren in de hardopdenkprotocollen die niet gemodelleerd waren door de drie theorieën, namelijk het modelleren van de medespeler en het redeneren over de medespeler. De theory-of-mind biedt een zeer goed kader om deze wijze van redeneren over de ander mee te beschrijven.

Uitkomsten van mensen die het RPD spelen
Mensen bleken goed en slecht te presteren. Dat geldt voor zowel de psychologiestudenten als voor de KI studenten. Wel was de gemiddelde prestatie van de KI studenten beter dan die van de psychologie studenten. Mensen die kennis hebben van het RPD en weten wat goede strategieën zijn om het spel te spelen maken daar dus van gebruik. De psychologie proefpersonen die de slechtste prestaties hadden, hadden ook de grootste moeite om door te hebben wat er aan de hand was (koppeling van hardopdenkprotocol aan resultaten van een proefpersoon). De wijze waarop nog iets afgedwongen kon worden (enige zekerheid) was door competitie te spelen, wat een zeer slechte score opleverde. Een proefpersoon bleek na twee spelen ook door te hebben dat hij dan voor hetzelfde geld net zo goed elke keer samen had kunnen werken en veranderde zijn standaard keuze naar coöperatie. Hierdoor haalde hij tegen automaat coöperatief de maximale score. De enige theorie die duidelijk toestaat dat mensen het soms niet door hebben en begrip moeten ontwikkelen is de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie. Deze staat alle mogelijke uitkomsten toe. Het lijkt alsof de zeggingskracht van deze hypothese daardoor nihil is, maar dat is niet

zo. Kennelijk kan over de prestaties van mensen tijdens het spelen van het RPD gewoon niets gezegd worden. De zeer goede prestatie van de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie bleek ook uit tabel 7.4 in paragraaf 7.4. De hypothese die uit de herkenningsgebaseerde beslissingtheorie voortvloeit verwerpt beide andere hypothesen. Ook bleek uit deze tabel dat ook de snelle heuristieken hypothese de hypothese van de speltheorie verwerpt. Deze laatste hypothese is dus het slechtst.

Redeneertijden van mensen die het RPD spelen
Mensen kennen patronen in hun redeneertijden. Deze patronen duren tussen de 12 en de 50 seconden. Terug te zien is in de redeneertijden dat lange en korte redeneertijden elkaar afwisselen. De speltheorie is wederom de theorie die het slechtst de experimenteel gevonden data benaderd. De snelle heuristieken kennen ook falsificaties van hun hypothese. Sommige redeneringen duren namelijk te lang om nog een snelle heuristiek te kunnen zijn. De herkenningsgebaseerde beslissingstheorie heeft echter weer moeite met de zeer korte redeneertijden die mensen ook wel eens hanteren. Op basis van de afzonderlijke redeneertijden is geen van de theorieën het best. Op basis van de patronen in redeneertijden valt wel te zeggen dat de speltheorie het slechtst de experimentele data beschrijft.
De afname in de redeneertijd tussen het eerste, het tweede en het derde spel maakt duidelijk dat mensen of leren, of minder nadenken. Dit laatste bleek uit de analyse van de hardopdenkprotocollen die minder omvangrijk waren voor het laatste spel dat de proefpersonen speelden. Minder lang denken en leren kan met elkaar overeenkomen, hoewel ik dit niet op basis van de data kan concluderen.

8.2 Kanttekeningen bij de uitkomsten van de experimenten en bij de theorieën

Op de opgestelde hypothesen voor de drie theorieën kan men de nodige kritiek hebben. Het bepalen van de grens in opbrengsten waarboven de proefpersonen volgens de snelle heuristieken zouden redeneren is bijvoorbeeld slechts een schatting. Het gebruik van de KADS-theorie is ook niet aantoonbaar neutraal. De KADS-theorie is namelijk een psychologische theorie. Deze bevoordeelt daarmee hoogstwaarschijnlijk de snelle heuristieken en de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie die ook meer psychologisch georiënteerd zijn.

Kanttekeningen bij de statistische vergelijking van de hypothesen
Er zijn veel kanttekening te plaatsen bij de resultaten van de statistische analyse. Ten eerste doe ik bij de berekening net alsof alle datapunten uit mijn steekproef onafhankelijk zijn, maar dat zijn ze niet. Een proefpersoon speelt namelijk drie spelen en levert dus drie datapunten op. Naast de afhankelijkheid is ook de representativiteit van de steekproef ronduit slecht. Van de menselijke bevolking heb ik slechts hoofdzakelijk mannelijke studenten getest. De resultaten zeggen dus helaas niet veel over het menselijke redeneren, wel iets over het redeneren van (mannelijke) studenten.

Inhoudelijke opmerkingen bij de drie theorieën
Het gebrek van alle drie de theorieën is dat leren zeer gebrekkig voorkomt en niet goed is uitgewerkt. Misschien is het leereffect in dit experiment van invloed. We hebben namelijk wel een leereffect waargenomen in de redeneertijden. Over de opbrengsten is het niet duidelijk of daar sprake is van een leereffect, sommige mensen

gingen het veel beter doen, maar anderen soms ook slechter. Bij één proefpersoon "viel het kwartje" hetgeen zijn prestatie drastisch verbeterd heeft. Hoe de theorieën dit soort fenomenen verklaren is mij nu niet direct duidelijk.
Een opmerking die al gemaakt is, is dat de theorieën het modelleren van de andere speler slecht in kaart hebben gebracht en dat dit wel bij de spelers voor blijkt te komen. Het redeneren over de ander komt wel voor bij de speltheorie en de herkenningsgebaseerde theorie, maar geen van beide biedt hier een goede beschrijving voor. De TOM lijkt veel beter in staat deze processen te beschrijven.
De laatste kanttekening plaats ik niet bij een theorie, maar bij een gebruikte methode. De invloed van de KADS-theorie op de kwaliteit van de hypothesen van de drie theorieën bij de redeneringen dient namelijk ook kritisch beschouwd te worden. De KADS-theorie komt namelijk meer overeen met de psychologisch georiënteerde snelle heuristieken en de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie dan met de speltheorie. Dit maakte het vertalen in KADS-taken mogelijk niet een neutrale handeling. Los van de neutraliteit is bij de vertaling van de theorieën iets van de uitdrukkingskracht van de drie theorieën verloren gegaan.

8.3 Algemene conclusie en aanbevelingen voor verder onderzoek

8.3.1 Algemene conclusie

Een groot deel van het werk van dit onderzoek heeft gelegen in het destilleren van hypothesen voor een werkelijke situatie uit de drie theorieën. Hiervoor heb ik gebruik moeten maken van de KADS-methode. De KADS-methode maakt het wel mogelijk om hypothesen te formuleren voor de drie theorieën, maar geheel onproblematisch is dit niet. Toch zijn er conclusies te trekken voor de met behulp van de KADS-methode opgestelde hypothesen.
De algemene conclusie is dat het speltheoretische beslissingsmodel een slechte beschrijving geeft van hoe mensen het herhaalde prisoners dilemma spelen. Op het gebied van de uitkomsten en redeneringen kunnen beide andere theorieën de hypothese dat mensen het RPD volgens de speltheorie spelen statistisch verwerpen. Een onderscheid tussen de snelle heuristieken en de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie is op basis van de redeneringen niet te maken. Bij de uitkomsten is dit onderscheid wel te maken, ook al lijkt het triviaal. Ik ben echter van mening dat er wel zeggingskracht uitgaat van een theorie die zegt dat goede en slechte prestaties mogelijk zijn. We hebben immers gezien dat dit ook werkelijk het geval is. De wenselijkheid van goede prestaties ontken ik niet, beweren dat mensen deze ook altijd zullen leveren is echter ideologie. Ook kan op basis van de redeneertijen gesuggereerd worden dat de speltheorie de minst goede beschrijver is van hoe mensen het RPD spelen. Hier is echter vanwege het ontbreken van een statistische analyse geen wetenschappelijke uitspraak te doen.

8.3.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek

Er zijn veel aanbevelingen voor verder onderzoek. Er zijn aanbevelingen van een praktische aard en aanbevelingen van meer theoretische aard.
Praktisch is het interessant om door middel van het verkrijgen van meer experimentele gegevens te kijken of het herkenningsgebaseerde beslissingsmodel slechter of beter is dan de snelle heuristiekenmethode. Door een grotere diversiteit in proefpersonen en een groter aantal kunnen betere conclusies getrokken worden. Als deze test uitgevoerd zou worden zou ik voor één centraal meetsysteem kiezen dat het beter mogelijk maakt om de verschillende soorten waarnemingen te integreren. Ook

zou ik specifieker onderzoeken welke automaat bij uitstek geschikt is voor het testen van de hypothesen.
Op theoretische gronden zou ik er voor kiezen als dit onderzoek uitgevoerd zou worden om ook de theory-of-mind als theorie te gebruiken om hypothesen te formuleren voor hoe mensen het RPD spelen. Deze theorie lijkt mij namelijk zeer bruikbaar om het redeneren van mensen die het RPD spelen te modelleren. Dit zou waarschijnlijk neerkomen op het toetsen van een beperkt rationele variant van het volstrekt rationele speltheoretische beslissingsmodel. Mogelijk is de speltheorie dan wel een goede beschrijver van hoe mensen het RPD spelen. Dan zou de suggestie weer ontkracht kunnen worden die door mij in dit onderzoek gewekt is, namelijk dat de andere onderzoeksstijl van de snelle heuristieken en de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie mogelijk beter is dan de onderzoeksstijl van de speltheorie.
Een ander interessant onderzoek om uit te voeren is het onderzoek naar waarom de herkenningsgebaseerde beslissingstheorie het beste beschrijft hoe mensen het herhaalde prisoners dilemma spelen.
Ik ben ook benieuwd of deze zelfde resultaten te voorschijn komen als een meer exact spel gespeeld wordt. Het RPD vormt een probleem binnen de speltheorie. Een spel wat onproblematisch is kan mogelijk voor de speltheorie een veel gunstiger resultaat opleveren. Het uitvoeren van hetzelfde onderzoek maar dan toegepast op een ander spel kan hier extra informatie over opleveren. Dit zou in een experimentele setting eenvoudig uitgevoerd kunnen worden door de proefpersonen ook een ander spel te laten spelen.
Interessant is om na te gaan hoe deze beslissingtheorieën makkelijker vertaald kunnen worden naar praktische voorbeelden en welke eigenschappen of ontbrekende eigenschappen van de theorieën deze praktische vertaling in de weg staan. Zelf vond ik de uitwerking van de redeneertijden als volgens de speltheorie geredeneerd wordt opzienbarend. De gevolgen van wat de speltheorie voorschrijft zijn absurd. Bij vijf zetten diep denken moet al bijna een half uur nagedacht worden.

9 Bronvermelding

Anderson, J. R., & Lebiere, C. (1998). *The atomic components of thought*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Axelrod, R. (1984). *The evolution of cooperation*. New York: Basic Books.

Breuker, J., & Van de Velde, W. (Eds.) (1994). *CommonKADS library for expertise modelling*. Amsterdam: IOS Press.

Broek, H. van den. (2001). *On agent cooperation: The relevance of cognitive plausibility for multiagent simulation models of organizations*. Capelle a/d IJssel : Labyrint Publication.

Binmore, K. (1992). *Fun and games*. Lexington, MA: Heath.

Camerer, C. F. (2003). *Behavioral game theory*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Carroll, L. (1972). *The Annotated Alice: Alice's adventures in wonderland and Through the looking-glass*. Harmondsworth: Penguin Books.

Chiaromonte, N. (1986). *The paradox of history* (2nd paperback ed.). London: Weidenfeld and Nicolson. (Original work published 1970)

Coleman, A. M. (2003). Depth of strategic reasoning in game. *Trends in Cognitive Sciences*, *7* (1), January 2003, 2-4.

Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1993). *Protocol analysis: Verbal reports as data* (revised ed.). Cambridge, MA: MIT Press.

Flood, M. M. (1952). *Some experimental games* (Research Memorandum RM-789-1, 20 June 1952). Santa Monica, CA: The RAND Corporation, 1700 Main St.

Gigerenzer, G., Todd, P. M., & The ABC Research Group. (1999). *Simple heuristics that make us smart*. Oxford: Oxford University Press.

Hedden, T., and Zhang, J. (2002). What do you think I think you think? Strategic reasoning in matrix games. *Cognition, 85*, 1-36.

Hobbes, T. (1651), *Leviathan, or the matter, forme, & power of a common-wealth, ecclesiasticall and civill*. London: Andrew Crooke.

Hopcroft, J. E., Ullman, J. D. (1979). *Introduction to automata theory, languages, and computation*. Reading, MA: Addison-Wesley.

Kieras, D. E., & Meyer, D. E. (1997). An overview of the EPIC architecture for cognition and performance with application to human-computer interaction. *Human-Computer Interaction*, *12* (4), 391-438.

Klein, G. (1998). *Sources of power: How people make decisions*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Kuipers, T. A. F. (2001). Structures in science. Heuristic patterns based on cognitive structures. *Synthese Library* (Volume 301). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Laming, D. R. J. (1968). *Information theory of choice-reaction times*. London: Academic Press.

Luce, R. D., & Raiffa, H. (1957). *Games and Decisions*, New York: Wiley

Marijnissen, J. (2000,18 augustus). Geldwolven. *De Tribune, 36* (8).

Mattheus (1951). In Bijbelgenootschap (Dutch Trans.), *De Bijbel* (Mattheus 7:12). (Original work published ca. 70). [The Bible, Matthew 7: 12].

Mulder, L. J. M. (1988). *Assessment cardiovascular reactivity by means of spectral analysis*. Groningen: Groningen University.

Neumann, J. von. (1928). Zur Theorie der Gesellschaftsspiele. *Math. Ann., 100,* 295-320.

Neumann, J. von, & Morgenstern, O. (1944). *The theory of games and economic behavior*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Newell, A. (1973). You can't play 20 questions with nature and win. In W.G. Chase (Ed.), *Visual Information Processing*. New York: Academic Press.

Newell, A., and Simon, H. (1963). *GPS: A program that simulates human thought*. In Feigenbaum & Feldman (Eds.), *Computers and Thought*. New York: McGraw-Hill.

Orasanu, J., & Connolly, T. (1993). The reinvention of decision making. In G.A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, & C.E. Zsambok (Eds.), *Decision making in action: Models and methods* (pp. 3-20). Norwood, NJ: Ablex Publishing.

Poe, E. A. (1842). *The mystery of Marie Roget*.

Popper, K. (1963). *Conjectures and refutations*. London: Routledge.

Poundstone, W. (1992). *Prisoner's dilemma*. New York: Doubleday.

Puccini, G. (1900). *Tosca* (Opera).

Rugg, M. D., & Coles, M. G. H. (Eds.). (1995), *Electrophysiology of mind: Event-related brain potentials and cognition*. London: Oxford University Press.

Schreiber, G., Akkermans, H., Anjewierden, A., De Hoog, R., Shadbolt, N., Van de Velde, W., & Wielinga, B. (2000), *Knowledge engineering and management: The CommonKADS methodology*. Cambridge, MA: MIT Press.

Simon, H. (1957). *Models of Man*. New York: Wiley.

Taatgen, N. A., & Anderson, J.R. (2002). Why do children learn to say "broke"? A model of learning the past tense without feedback. *Cognition*, *86* (2), 123-155.

Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In E. Tulving & W. Donaldson (Eds.), *Organization of memory* (pp. 381-403). New York: Academic Press.

Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, *185*, 1124-1131

Verbrugge, L. C. (2002). Cursusinformatie multi-agent systemen. Retrieved October 24, 2004, from http://www.ai.rug.nl/mas/cursusinfo.html

Wittgenstein, L. (1953). *Philosophical investigations* (G.E.M. Anscombe, Trans.). Oxford : Basil Blackwell, p43.