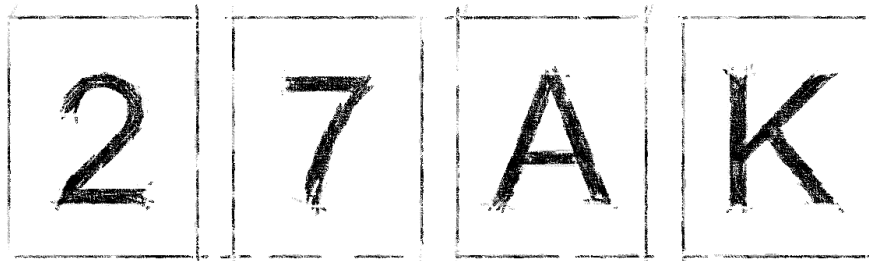




Universiteit Utrecht

Redeneren in een context

De invloed van sequentiële informatie en expliciete kwantoren



Bachelor scriptie

7,5 ECTS

Datum: 18-06-2018

Naam: A.G. van Welbergen

Studentnummer: 4269594

Opleiding: Kunstmatige Intelligentie

Begeleider: dr. C.P. Janssen

Tweede beoordelaar: dr. R. Iemhoff

Samenvatting

Deze scriptie kijkt naar hoe het keuzegedrag van mensen wordt beïnvloed door sequentiële informatievoorziening en het expliciet maken van kwantoren in de Wason Selectietaak. Eerder onderzoek heeft aangetoond dat men niet altijd logische keuzes maakt. De Wason Selectietaak is een van de meest gebruikte experimenten om dit gedrag te onderzoeken. In deze taak moet een proefpersoon kiezen welke kaarten hij of zij moet omdraaien om een regel te bevestigen. Uit de keuzepatronen in deze taak blijkt dat men niet redeneert volgens de formele logica. Dit onderzoek maakt gebruik van vijf verschillende taken waarbij gevarieerd wordt met kwantoren (universeel en existentieel) en informatie op de kaarten (voldoen wel of niet aan de regel). Doormiddel van het sequentieel omdraaien van kaarten en deze variatie ontstaan situaties waarin men verschillende keuzes moet maken (het omdraaien van één, twee of geen kaarten) en kan er worden bekeken welke invloed sequentie en kwantoren op dit keuzegedrag hebben. Het gedrag van twee groepen (één met en één zonder logica voorkennis) is vergeleken om te kijken welke invloed logica voorkennis heeft. Verder is er gekeken welke theorieën het gerealiseerde keuzegedrag onderbouwen. Een vergelijking van de resultaten met eerdere onderzoeken die gebruik maken van sequentie en waartussen een tegenstrijdigheid bestaat geeft geen uitsluitsel welke van deze twee studies meer gelijk zou hebben en of de resultaten daadwerkelijk verschillen van de onderzoeken zonder sequentiële component. Uit de resultaten blijkt verder dat voorkennis op het gebied van logica ervoor zorgt dat men vaker keuzes maakt die consistent zijn met de formele logica, echter niet in alle situaties. Het gerealiseerde keuzegedrag in de verschillende taken biedt een indicatie voor de relevantie theorie, rationele analyse, optimale dataselectie en een matching bias. Grootschaliger onderzoek dat gebruikt maakt van situaties waarbij meer kaarten moeten worden omgedraaid (bijvoorbeeld door meer variatie in informatie op de kaarten) is nodig om deze theorieën verder te onderzoeken. Op basis van de resultaten kan worden uitgesloten dat men redeneert volgens de formele logica en dat de redeneerfouten ontstaan door een misopvatting van de regel.

Trefwoorden: Beslissingen, Cognitieve Modellen, Keuzes, Redeneren, Sequentie, Wason Selectietaak

Inhoudsopgave	
Introductie	4
<i>Relevantie voor Kunstmatige Intelligentie</i>	6
Achtergrond	8
<i>Theorieën</i>	8
<i>Verwachtingen</i>	10
Methoden	13
Resultaten	17
<i>Algemeen</i>	17
<i>Theorieën</i>	20
<i>Misvatting Regel</i>	21
Discussie	22
Conclusie	25
Appendices	26
<i>Appendix A: Verwachtingen per theorie</i>	26
<i>Appendix B: Interpretaties</i>	27
<i>Appendix C: Invloed van voorkennis van selectietaak of logica</i>	27
<i>Appendix D: Overzicht keuze tweede kaart (na omdraaien p)</i>	27
<i>Appendix E: Resultaten gekozen volgorde per groep</i>	28
<i>Appendix F: Resultaten vergelijking criterium 50% proefpersonen</i>	28
<i>Appendix G: Keuzes bij verschillende interpretaties</i>	29
<i>Appendix H: Interpretaties per proefpersoon per taak (alle taken)</i>	29
<i>Appendix I: Interpretaties per proefpersoon per taak (zonder taken existentiële kwantor)</i>	30
<i>Appendix J: Vragenlijst proefpersonen</i>	31
Bibliografie	32

Introductie

Mensen maken in het dagelijks leven veel keuzes. We redeneren in verschillende situaties: van wetenschappelijk onderzoek tot aan juridische kwesties. Mede omdat redeneren een belangrijke rol speelt in veel situaties is dit proces veelvuldig onderzocht. Een van de meest gebruikte taken om redeneren te onderzoeken is de Wason Selectietaak (Wason, 1966). In deze taak krijgen personen verschillende kaarten te zien met letters op de ene en cijfers op de andere kant (zie figuur 1).



Figuur 1: Voorbeeld kaarten Wason Selectietaak

Aan het begin van de taak zijn vier kaarten zichtbaar met daarop een klinker, een medeklinker, een even getal en een oneven getal (respectievelijk p, niet-p, q en niet-q). In het standaardvoorbeeld zijn dit de kaarten A, K, 2 en 7. Aan proefpersonen wordt vervolgens gevraagd welke kaarten zij moeten omdraaien om de waarheid dan wel onwaarheid te bepalen van een regel. Standaard is deze regel: “*Als er een klinker op de ene kant staat, dan staat er een even getal op de andere kant*”. Volgens de formele logica is het enige logische¹ antwoord het omdraaien van de kaarten A en 7.

Ondanks dit eenduidige “juiste” antwoord vanuit de regels van de logica, is de consistente bevinding in het oorspronkelijke experiment en vele replicaties sindsdien (Johnson-Laird en Wason, 1970; Oaksford en Chater, 1994) dat een groot deel van de proefpersonen zich niet consistent gedraagt volgens deze regels. In een metastudie van Johnson-Laird en Wason (1970) over vier eerdere studies van de onderzoekers met dezelfde klassieke opzet (Wason, 1968, 1969; Johnson-Laird & Wason, 1970) kiest slechts 4% van de proefpersonen voor de logische combinatie. Er is dus sprake van onlogische keuzegedrag in de taak door een grote meerderheid van de proefpersonen.

Kenmerkend is dat de redeneerfouten die proefpersonen maken niet willekeurig lijken. Uit een metastudie van Oaksford en Chater (1994) over 34 experimenten met een (soortgelijke) Wason Selectietaak blijkt dat twee fouten significant vaak worden gemaakt. Ten eerste faalt 75% van de proefpersonen in het selecteren van de niet-q kaart (het getal 7 in het voorbeeld). Ten tweede heeft 62% van de proefpersonen de neiging om onnodig q te selecteren (het getal 2 in het voorbeeld).

Gezien de consistentie in het gedrag tijdens de Wason Selectietaak is deze taak invloedrijk geweest voor de cognitieve psychologie en cognitief modelleren. Immers helpt deze taak het menselijk redeneren beter te begrijpen. Meerdere theorieën zijn ontwikkeld die het keuzepatroon verklaren welke later uitgebreider worden besproken. Deze theorieën zijn consistent in hun voorspelling voor het gedrag in de klassieke Wason Selectietaak, maar voorspellen ander gedrag in alternatieve versies van de Wason Selectietaak. De afgelopen decennia zijn er dan ook vele verschillende versies uitgevoerd om deze theorieën te onderzoeken.

¹ Het woord ‘logisch’ betekent in deze scriptie de keuze die overeenstemt met regels van de formele logica.

Een van deze alternatieve taken is een versie waarin wordt gekeken naar de rol van feedback op keuzes (Sperber et al, 1995; Gebauer en Laming, 1997). In het dagelijks leven is informatievoorziening vaak sequentieel. Keuzes volgen elkaar op, waardoor de uitkomst van een eerste keuze (feedback) een volgende kan beïnvloeden. Een voorbeeld hiervan is een rechter die ervan uitgaat dat iemand schuldig is. Het kan zijn dat hij of zij dan vervolgens op zoek gaat naar bevestigend bewijs in plaats van de situatie onbevooroordeeld te bekijken. In de standaard Wason Selectietaak wordt echter alleen gekeken welke kaarten iemand omdraait, zonder dat de volgorde ertoe doet.

Sperber et al (1995) deden onderzoek naar de relevantietheorie met het gebruik van deze variant van de Wason Selectietaak (sequentieel omdraaien). Uit de resultaten² blijkt dat men vaker de logische keuze maakt dan wanneer deze sequentiële component ontbreekt. De distributie van de keuzes verschilt dan ook significant van de resultaten die eerder werden gevonden door Johnson-Laird en Wason in de klassieke taak zonder sequentie (1970). Echter, in een replicatie door Gebauer en Laming (1997) werd niet eenduidig gevonden dat een sequentiële exponent zorgt voor een verbetering van het keuzepatroon. De distributie van de keuzes verschilde dan ook niet significant met de resultaten van zowel het onderzoek van Johnson-Laird en Wason (1970) als die van Sperber et al (1994).

De oorzaak van dit verschil in significantie is niet geheel helder. Gebauer en Laming (1997) dragen als oorzaak aan dat resultaten van Sperber et al (1994) en Johnson-Laird en Wason (1970) wel significant verschillen door de verschillende nationaliteiten van de proefpersonen in deze onderzoeken (respectievelijk Frans en Italiaans tegenover Engels). Echter zijn de proefpersonen van het onderzoek van Gebauer en Laming zelf ook weer van een andere afkomst, namelijk Duits. Of nationaliteit hier de bepalende factor is blijft dus onduidelijk. Beide onderzoeken focussen zich niet op de invloed van sequentie op het keuzepatroon maar gebruiken sequentie als middel om andere theorieën te testen. Gezien de tegenstrijdigheid en het gebrek aan bewijslast is er ruimte voor replicatie van een Wason Selectietaak met een sequentiële component. Dit is een eerste doel van deze scriptie.

Een ander kenmerk van de Wason Selectietaak is dat er geredeneerd moet worden over alle kaarten die in de taak worden getoond. Dit blijft echter impliciet in de regel en kan explicieter gemaakt worden door een term zoals “voor alle” te introduceren. In termen van formele logica wordt er dan een *kwantor* geïntroduceerd. In het geval van “voor alle kaarten geldt dat” is dit een universele kwantor: $\forall x$, in het geval voor “er bestaat een kaart waarvoor geldt dat” is dit een existentiële kwantor: $\exists x$.

Een vergelijking van het gedrag tussen de taken na invoering van een van deze twee kwantoren is interessant omdat ze zorgen voor andere voorwaarden om de waarheid dan wel onwaarheid te bepalen van een regel. Immers heeft een regel met een universele kwantor genoeg aan één tegenvoorbeeld om deze te weerleggen. Daartegenover staat dat een regel met een existentiële kwantor genoeg heeft aan

² Aangezien de studie van Sperber et al (1994) zich niet focust op de invloed van sequentie rapporteren zij deze resultaten niet los in het onderzoek. Voor een vergelijking van de resultaten is gekeken naar het gedrag in de irrelevante taak van Sperber et al, welke overeenkomt met een abstracte versie van de klassieke Wason Selectietaak (cf. Gebauer en Laming, 1997).

één voorbeeld om een regel te bevestigen. De feedback die ontstaat na het omdraaien van een kaart heeft invloed op het (moeten) stoppen dan wel doorgaan met het omdraaien van nieuwe kaarten.

Door het variëren van kwantoren en informatie van kaarten ontstaat dus een aantal situaties waarin een andere combinatie van kaarten logisch is en dus een ander aantal kaarten moet worden omgedraaid (één, twee of geen). Het tweede doel van deze scriptie is om empirisch te onderzoeken of kwantoren daadwerkelijk het keuzegedrag van mensen verandert en hoe dit samenhangt met de gegeven informatie op de kaarten (feedback).

Zoals eerdergenoemd zijn de afgelopen decennia verschillende theorieën ontwikkeld die het keuzepatroon verklaren in de Wason Selectietaak en verschillende varianten daarvan. Deze scriptie kijkt naar het keuzegedrag in een variant van de taak met verschillende situaties die ontstaan door sequentieel omdraaien, het toevoegen van (expliciete) kwantoren en variatie in informatie op de kaarten. Een derde doel van deze scriptie is een inzicht te verkrijgen welke theorieën de patronen van het keuzegedrag in deze variant verklaren.

Ten slotte is een kenmerk van de Wason Selectietaak dat kennis en ervaring op het gebied van logica helpt in het maken van logische keuzes, maar niet altijd (Cheng, Holyoak, Nisbett, en Oliver, 1986). Om deze reden worden in deze scriptie de resultaten van twee groepen vergeleken. De eerste groep bestaat uit (oud-)studenten Kunstmatige Intelligentie met voorkennis op het gebied van logica. De tweede groep heeft een bredere uiteenlopende studieachtergrond, slechts vier van hen hebben deze voorkennis op het gebied van logica. Een laatste doel van deze scriptie is om met behulp van deze vergelijking inzicht te verkrijgen in de invloed van deze voorkennis.

Samengevat kijkt dit onderzoek naar menselijk gedrag in de Wason Selectietaak in situaties waarin er een kwantor wordt geïntroduceerd (universeel of existentieel) en waarin de kaarten wel of niet voldoen aan de regel. De resultaten worden vervolgens tussen twee verschillende groepen vergeleken: één groep met logica voorkennis en één groep zonder deze voorkennis. In het experiment wordt de sequentie van kaarten omdraaien meegenomen, omdat de informatie op een eerste kaart een opvolgende keuze kan beïnvloeden. Dit zorgt voor verschillende logisch juiste keuzes die ontstaan in de situaties met de eerdergenoemde condities. De resultaten van dit onderzoek worden vergeleken met eerder onderzoek wat gebruik maakt van sequentie om tegenstrijdigheden tussen deze onderzoeken te verduidelijken.

Voordat er verder in wordt gegaan op het experiment zal de relevantie voor Kunstmatige Intelligentie worden besproken. Daarna zal er meer achtergrond worden gegeven over de formele logica en theorieën met de bijbehorende verwachtingen van keuzes tijdens de verschillende taken van het experiment.

Relevantie voor Kunstmatige Intelligentie

Dit onderzoek is om twee redenen interessant voor het gebied van Kunstmatige Intelligentie. Ten eerste geeft het inzicht in hoe mensen denken. Veel onderliggende theorieën over hoe mensen keuzes maken

en redeneren zijn gebaseerd op modellen van menselijk denken. Deze modellen kunnen worden aangepast op basis van de empirische kennis die wordt opgedaan in dit onderzoek. Ten tweede kan vervolgens een beter model van menselijk denken worden ingezet voor niet-menselijke systemen. Dit kan op verschillende manieren. Zo kan een niet-menselijke agent beter worden aangepast op mensen en hun (realistische) keuzegedrag. Daarnaast kan ook ondersteuning worden geboden voor de menselijke 'tekortkomingen' in het redeneerproces. Zo kan de omgeving worden aangepast zodat mensen (vaker) logisch redeneren en hierdoor 'betere' keuzes maken. Denk bijvoorbeeld aan ondersteuning in de vorm van een programma voor een rechter in een rechtszaak om de invloed van vooroordelen tijdens het redeneren te voorkomen.

Achtergrond

Theorieën

De voorgelegde regel tijdens de Wason Selectietaak komt overeen met de symbolische regel: “Als p , dan q ”. Volgens de *formele logica* is deze regel te interpreteren als een materiële implicatie: $p \rightarrow q$. Rips (1983) en Braine en O’rien (1991) stellen dat een proefpersoon perfect gedrag vertoont wanneer hij of zij logica regels (Modus Ponens en Modus Tollens) gebruikt om conclusies af te leiden. Zoals eerder genoemd laten metareviews (Johnson-Laird en Wason, 1970; Oaksford en Chater, 1994) zien dat de meerderheid van de mensen niet volgens de regels van de logica redeneert en dat bepaalde redeneerfouten significant vaker voorkomen dan op basis van toeval voorspelt zou worden.

Er is veel discussie onder onderzoekers over de verklaring voor deze redeneerfouten tijdens de selectietaak. Verschillende theorieën die hiervoor zijn aangedragen zijn (onder andere) de relevantie theorie (Evans, 1984; Sperber et al, 1995), een verificatie bias (Johnson-Laird en Wason, 1970), een matching bias (Evans, 1972), een misvatting van de gegeven regel (Gebauer en Laming, 1997), de relevantie theorie (Sperber et al, 1994) en optimale dataselectie (Oaksford en Chater, 1999; Lewis, Howes en Singh, 2014).

Deze theorieën volgen uit een verschillende benadering van het menselijk redeneren en de fase waarin dit wordt beïnvloed. In deze scriptie wordt onderscheid gemaakt tussen twee stromingen. De eerste stroming beweert dat het gedrag van mensen voortkomt uit *heuristische processen*. Deze processen komen volgens Evans (1984, 1989) voort uit oppervlakkige informatieverwerking (Engels: “superficial information processing”). Evans maakt daarbij onderscheid in twee heuristieken. De eerste heuristiek werkt specifiek voor voorwaardelijkheden zoals het woord “als”, welke de aandacht vestigt op het antecedent van de regel. De andere heuristiek werkt meer algemeen en vestigt de aandacht op het onderwerp van de zin. Met in achtneming van deze twee heuristieken wordt volgens Evans door de formulering van de regel de focus gelegd op kaarten die een p en q bevatten.

Deze focus sluit aan bij het idee van de *relevantie theorie* (Sperber en Wilson, 1986). Volgens deze theorie redeneren proefpersonen niet over hun keuze in de selectietaak maar selecteren zij slechts de kaarten die voor hen relevant lijken. Deze theorie wordt ook aangedragen als verklaring door Sperber et al (1995). Zij stellen dat proefpersonen consequenties afleiden van de regel die direct toetsbaar zijn en stoppen wanneer de interpretatie van de regel overeenkomt met hun verwachtingen van relevantie. Volgens Sperber et al suggereert de regel, met inachtneming van deze relevantie, dat er kaarten zijn die de combinatie p en q bevatten. Hierdoor wordt volgens hen de focus gelegd op p/q kaarten (p aan de ene kant, q aan de andere kant) en de weerlegging dan wel verificatie van deze kaarten.

Ook kunnen er door heuristische processen bepaalde *drogredeneringen* ontstaan (Engels: biases). Zo stellen Johnson-Laird en Wason (1970) dat de oorzaak van deze fout in het redeneren samenhangt met een *verificatie bias*. Deze bias houdt in dat men niet de noodzaak ziet van het weerleggen van de regel ten opzichte van het verifiëren van de regel. Specifiek betekent dit dat men dan slechts de kaarten kiest die de gegeven regel kunnen verifiëren, oftewel p en q in de klassieke taak. Een

andere bias die ontstaat door heuristieken en aangedragen wordt als oorzaak voor het keuzegedrag is de *matching bias* (Evans, 1972). In het onderzoek van Evans met verschillende regels hebben proefpersonen namelijk een sterke neiging om waardes te kiezen die overeenkomen met de regel, in tegenstelling tot het kiezen van andere waardes dan in de regel benoemd. Gebauer en Laming (1997) stellen dat het gedrag van mensen voortkomt uit een *misvatting van de gegeven regel*. In dit onderzoek interpreteert namelijk een groot percentage van de proefpersonen de regel verkeerd, maar vertonen deze personen wel logisch gedrag in navolging van deze interpretatie. Deze bovenstaande drogredeneringen zijn elk verschillend maar allen gebaseerd op een verkeerde interpretatie van de regel of situatie.

Een tweede stroming is die van de optimale dataselectie (ODS) en rationele analyse. Onderzoekers in dit kamp stellen dat het onlogische gedrag juist voortkomt uit een probabilistische benadering van een situatie. Oaksford en Chater (1999) beweren bijvoorbeeld dat men gebruikt maakt van *Optimale Data Selectie* (ODS). Dit houdt in dat het proefpersonen het doel hebben om data te selecteren met de grootste verwachte informatie. Gezien de kosten van het onderzoeken van data (d.w.z. elke kaart die omgedraaid wordt kost tijd en bij keuzes in de echte wereld wellicht ook energie) wordt zo min mogelijk onderzocht. Hierbij wordt aangenomen dat in een omgeving waarin de meeste eigenschappen en gebeurtenissen zeldzaam zijn, het zoeken naar bevestigend bewijs meer informatief is. Op basis van deze zeldzaamheid is het mogelijk om de kaarten in te delen op informatie 'winst'. De volgorde die vanuit deze informatiewinst volgt is: $p > q > \text{niet-}q > \text{niet-}p$. De 'kosten' van de informatievoorziening staan gelijk aan het aantal kaarten wat moet worden omgedraaid. De aanname van zeldzaamheid en informatiekosten van deze optimale dataselectie komt overeen met het onderzoek van Lewis, Howes en Singh (2014) waaruit blijkt dat het enige model dat overeenstemt met het keuzegedrag van eerdere studies uitgaat van deze eigenschappen.

Ondanks dat deze stromingen en theorieën hierboven los van elkaar zijn besproken staan ze niet per se volledig los van elkaar. Uit onderzoek van Yama (2001) of het keuzegedrag wordt veroorzaakt door een matching bias of optimale dataselectie volgt bijvoorbeeld dat er geen sprake is van de ene of de andere theorie. De matching bias lijkt eerder uit twee verschillende componenten te bestaan: enerzijds het aannemen van relevantie aan de hand van matching en anderzijds optimale dataselectie op basis van de aanname van zeldzaamheid. Er kunnen dus meerdere theorieën tegelijkertijd van toepassing zijn. Dit onderzoek focust zich dan ook niet op het zoeken naar één theorie die juist is, maar probeert waar mogelijk theorieën uit te sluiten.

Het menselijk redeneren kan op verschillende manieren worden onderzocht. Zo kan het bekeken worden vanuit de theorie van mentale modellen (Johnson-Laird, 1980). Een mentaal model is niet gebaseerd op een set van inferentieregels, maar op het construeren en manipuleren van modellen door een persoon. Volgens de theorie van mentale modellen redeneren personen doormiddel van het construeren van modellen van situaties die waar kunnen zijn, in tegenstelling tot modellen die onwaar zijn (Johnson-Laird, 2001). In dit geval kan manipulatie helpen om tegenvoorbeelden te overwegen. Een eigenschap van de theorie van mentale modellen is dat het descriptief werkt, er wordt achteraf

gekeken welke situaties men heeft overwogen. Dit onderzoek wil, consistent met de andere besproken onderzoeken, juist theorieën kunnen weerleggen en maakt daarom gebruik van prescriptieve verwachtingen.

Naast de keuze voor verwachtingen is er ook gekeken naar de context van de taak. De eerdergenoemde redeneerfouten blijken afhankelijk van deze context. Wanneer de taak namelijk in een scenario met sociale relaties wordt weergegeven vertonen veel personen ineens wel logisch gedrag (o.a. Griggs & Cox, 1982; Cosmides en Tooby, 1992, Gebauer en Laming, 1995). Zo'n scenario met een relevante context wordt een deontische variant van de selectietaak genoemd. Deontische scenario's kunnen echter logisch verschillen en hierdoor de uitkomsten beïnvloeden (Gebauer en Laming, 1995). Om de resultaten zo goed mogelijk te kunnen vergelijken met eerder onderzoek is ervoor gekozen om een abstracte taak uit te voeren in plaats van een deontische variant (cf. Johnson-Laird en Wason, 1970)

Verwachtingen

Elk van de besproken theorieën heeft zijn eigen verwachtingen over het gedrag van personen in verschillende situaties. In het huidige experiment worden vijf situaties bestudeerd: de klassieke taak, het toevoegen van een universele kwantor waarbij de informatie op de kaarten voldoet aan de regel, het toevoegen van een universele kwantor waarbij de informatie op de kaarten niet voldoet aan de regel, het toevoegen van een existentiële kwantor waarbij de informatie op de kaarten voldoet aan de regel en het toevoegen van een existentiële kwantor waarbij de informatie op de kaarten niet voldoet aan de regel. In tabel 1 (onderaan deze sectie) zijn de voorspellingen vanuit de verschillende theorieën over het gedrag in de klassieke taak weergegeven. De verwachtingen vanuit de theorieën in de overige vier taken zijn opgenomen in de appendix (appendix A). Hieronder staat per theorie een nadere toelichting hoe deze inzichten verkregen zijn.

Wanneer de regel wordt geïnterpreteerd als een materiële implicatie volgt volgens de *formele logica* de keuze voor de combinatie van de kaarten p en niet-q in de klassieke taak. Na het toevoegen van de universele kwantor wordt de symbolische regel als volgt: $\forall x(Px \rightarrow Qx)$. Wanneer de eerst gekozen kaart voldoet aan de regel is net zoals in de klassieke taak de enige logische combinatie de kaarten p en niet-q. Wanneer de eerst gekozen kaart niet voldoet aan de regel kan men na één kaart al stoppen met omdraaien, dan is de logische keuze de kaart p of de kaart niet-q. Na toevoeging van de existentiële kwantor wordt de symbolische regel als volgt: $\exists x(Px \rightarrow Qx)$. De logische keuze is dan (ongeacht de informatie op de kaarten) het omdraaien van geen enkele kaart, immers geldt de regel al voor de niet-p kaart en de niet-q kaart.

In de klassieke taak is te verwachten dat men met een *verificatie bias* (cf. Johnson-Laird en Wason, 1970) vaker kiest voor de verifiërende combinatie p en q dan voor de weerleggende combinatie p en niet-q. Dit is ook te verwachten na invoering van een universele kwantor wanneer de informatie op de kaarten voldoet. Wanneer de informatie op de kaarten niet voldoet is te verwachten dat men na het vinden van een tegenvoorbeeld alsnog doorgaat op zoek naar verificatie. Wanneer er sprake is van een

existentiële kwantor en de informatie op de kaart voldoet aan de regel zou men kiezen voor p of q en na één kaart stoppen. Ondanks dat er eigenlijk geen kaart moet worden omgedraaid is immers te verwachten dat men op zoek gaat naar minstens één verifiërende kaart. Wanneer bij de existentiële kwantor de informatie niet voldoet aan de regel is wederom te verwachten dat men vaker kiest voor de verifiërende combinatie.

Wanneer er sprake is van een *matching bias* (cf. Evans, 1972) heeft men een sterke neiging om waardes te kiezen die overeenkomen met de regel. Dit zou in alle taken betekenen dat men geneigd is om eerder p en/of q om te draaien dan niet-p en/of niet-q. Verder kan gezien de volgorde van de regel worden verwacht dat men over het algemeen vaker als eerste kaart de p omdraait en vervolgens de q. Het expliciet maken van de universele kwantor kan ervoor zorgen dat men vaker *alle* kaarten omdraait, omdat dit correspondeert met het woord “alle”. Het toevoegen van een existentiële kwantor kan ervoor zorgen dat men vaker *één* kaart omdraait of *minstens één* kaart omdraait, omdat dit correspondeert met de woorden “er is een kaart”.

Volgens de *relevantie theorie* (cf. Evans, 1984; Sperber en Wilson 1986; Sperber et al, 1995) wordt de focus gelegd op p/q kaarten (p aan de ene kant, q aan de andere kant) en de weerlegging dan wel verificatie van deze kaarten. In de taak waarbij meerdere kaarten moeten worden omgedraaid (d.w.z. de klassieke taak en taak met universele kwantor met kaarten die voldoen) betekent dit dat men vaker kiest voor de kaarten p en q dan een andere combinatie. Wanneer de kaarten niet voldoen aan de regel in combinatie met een universele kwantor is te verwachten dat men vaker de p of q omdraait. Bij taken met een existentiële kwantor is te verwachten dat men de p/q kaarten als relevant beschouwt. Wanneer de kaarten voldoen aan de regel zou dan de p of de q kaart worden omgedraaid, wanneer de kaarten niet voldoen aan de regel zouden beide kaarten (p en q) worden omgedraaid.

Wanneer er wordt aangenomen dat men gebruik maakt van *optimale dataselectie* (cf. Oaksford en Chater, 1999) kan worden verwacht dat men de volgorde volgt van het omdraaien van kaarten op basis van informatiewinst: $p > q > \text{niet-}q > \text{niet-}p$. Ook is te verwachten dat men weinig kaarten omdraait en hierdoor mogelijk te vroeg stopt met het omdraaien van kaarten. Dit is alleen mogelijk in de taken waarbij meerdere kaarten moeten worden omgedraaid (d.w.z. klassieke taak en taak met universele kwantor met kaarten die voldoen). Bij de taak met een existentiële kwantor is te verwachten dat ofwel geen kaarten worden omgedraaid (gezien optimalisatie) of dat men de eerdergenoemde volgorde volgt.

Wanneer het verkeerde gedrag van proefpersonen wordt veroorzaakt door een *misvatting van de regel* zijn er geen concrete combinaties te voorspellen. Dit is onmogelijk omdat er geen sprake is van één juiste combinatie per taak maar een verkeerde interpretatie van de regel die een proefpersoon heeft over alle taken. Wel is er te verwachten dat men in alle taken dezelfde (mogelijk verkeerde) interpretatie volgt. Zie voor de interpretaties volgens Gebauer en Laming (1995) appendix B.

Klassieke taak verwachtingen										
	Totaal	p	niet-q	q	p, q	p, niet-q	p, niet-p, q, niet-q	p, q, niet-q	geen	anders
Formele Logica	24	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
Verificatie Bias	24	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
Matching Bias	24	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
ODS	24	30%	0%	20%	50%	0%	0%	0%	0%	0%
Relevantie	24	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabel 1: Schatting keuze kaartcombinaties klassieke taak per theorie in percentages weergegeven.

Methoden

Deelnemers

Twee groepen van elk 24 personen namen deel aan het experiment.³ De logica-groep bestond uit 24 (oud-)studenten Kunstmatige Intelligentie van de Universiteit Utrecht (16 man; 8 vrouw), tussen de 19 en 27 jaar oud ($M = 21,7$ jaar; $SD = 2,24$ jaar). Elk van hen had voorkennis op het gebied van (formele) logica welke varieerde van 7,5 tot 45 studiepunten ($M = 17,6$ studiepunten; $SD = 13,2$ studiepunten). Ook had, op drie personen na, iedereen technische voorkennis ($M = 20,1$ studiepunten; $SD = 21,5$ studiepunten). De (relatief) brede groep bestond uit 24 (oud-)studenten met uiteenlopende studieachtergronden (12 man, 12 vrouw) tussen de 18 en 34 jaar oud ($M = 22,8$ jaar; $SD = 3,4$ jaar). Vier van hen hadden voorkennis op het gebied van logica, dit varieerde van 6 tot 22,5 studiepunten (6; 15; 20 en 22,5 studiepunten).⁴ Negen van hen hadden technische voorkennis, variërend van 6 tot 152,5 studiepunten (6; 7,5; 7,5; 15; 18; 45; 50; 150 en 152,5 studiepunten).⁵ De proefpersonen waren benaderd door een steekproef uit het persoonlijk netwerk van de onderzoeksleider. Alle proefpersonen namen vrijwillig deel aan het experiment, gaven vooraf geschreven toestemming (informed consent) en kregen geen beloning voor hun deelname. Geen van de proefpersonen had voorkennis over de opzet van het experiment.⁶

Design

Het experiment volgde een 2x2x2 gemengd design met studie-achtergrond als tussen-proefpersonen factor (logica of brede voorkennis) en twee binnen-proefpersonen factoren: de kwantor (universeel of existentieel) en de informatie van de kaarten (voldoen aan de regel of voldoen niet aan de regel). De klassieke taak is uitgevoerd als controle conditie. Er waren op deze manier in totaal vijf verschillende taken:

- Klassiek: Klassieke taak & alle kaarten voldoen
- Universeel voldoet: Universele-kwantor taak & alle kaarten voldoen
- Universeel voldoet niet: Universele-kwantor taak & alle kaarten voldoen niet
- Existentieel voldoet: Existentiële-kwantor taak & alle kaarten voldoen
- Existentieel voldoet niet: Existentiële-kwantor taak & alle kaarten voldoen niet

³ Vanwege technische mankementen waren van vier proefpersonen de data incorrect of incompleet. Deze proefpersonen zijn 'vervangen' door middel van het aanbieden van de corresponderende volgorde aan een nieuwe proefpersoon. In totaal namen dus 52 proefpersonen deel aan het experiment, waarvan vier proefpersonen niet meegenomen zijn in de resultaten.

⁴ Gemiddeld had een proefpersoon in de brede groep 1,8 studiepunten voor logica vakken ($SD = 5,2$ studiepunten).

⁵ Gemiddeld had een proefpersoon in de brede groep 23 studiepunten voor technische vakken ($SD = 50,3$ studiepunten).

⁶ Er waren twee proefpersonen in de groep met voorkennis van logica welke aangaven de Wason Selectietaak te kennen. De resultaten van deze twee personen zijn apart gerapporteerd in appendix C.

Om te voorkomen dat de volgorde van de taken invloed had op de resultaten is ervoor gekozen om de volgorde van de taken te variëren onder de proefpersonen. Elke proefpersoon deed eerst de klassieke taak. Vervolgens volgden de anderen taken met gebruik van counterbalancing: de proefpersonen deden eerst de twee taken met een universele kwantor en daarna de twee taken met een existentiële kwantor of andersom. Ook werd er binnen de categorieën van kwantoren gewisseld in de volgorde van de twee mogelijke sets kaarten (eerst allen voldoen, daarna allen voldoen niet of andersom). De klassieke taak werd enkel getest met de originele samenstelling van kaarten (allen voldoen). Er waren op deze manier acht mogelijke volgordes van taken, die in elke groep bij drie proefpersonen werd getest. De proefpersonen werden geïnstrueerd de taak zo goed mogelijk en zonder tijdsdruk uit te voeren.

Materiaal

Kaartenset per taak

Voor het samenstellen van de kaarten is gekozen voor willekeurige cijfers en letters.⁷ De letters O en I en het cijfer 0 zijn niet gebruikt om eventuele verwarring met de cijfers 0 en 1 en de letter O te voorkomen. Binnen een set kaarten kwamen geen cijfers en letters dubbel voor. Om te voorkomen dat men zich de locatie van de benodigde kaarten kon herinneren (en hierdoor keuzes beïnvloed zouden worden) is ervoor gekozen om de volgorde van de zichtbare beginkaarten te wisselen onder de taken. Daarnaast was bij geen van de taken de volgorde van de zichtbare beginkaarten gelijk aan de originele taak van Johnson-Laird en Wason (1970; p, niet-p, q, niet-q). De uiteindelijke samenstelling van de kaarten (in de aangeboden volgorde) is te zien in tabel 2.

					Volgorde zichtbaar
Klassiek	2/E	7/H	A/4	K/5	q, niet-q, p, niet-p
Universeel voldoet	U/8	6/A	5/F	B/3	p, q, niet-q, niet-p
Universeel voldoet niet	3/U	T/6	4/M	A/1	niet-q, niet-p, q, p
Existentieel voldoet	2/A	X/7	9/R	U/4	q, niet-p, niet-q, p
Existentieel voldoet niet	G/2	8/P	1/E	A/5	niet-p, q, niet-q, p

Tabel 2: Samenstelling kaartenset per taak en bijbehorende volgorde welke zichtbaar was aan het begin van de taak.

Voor het uitvoeren van het experiment zijn vijf verschillende enquêtes gemaakt via Google Forms, één voor elke mogelijke taak. Deze enquêtes werden afgenomen op laptops in een setting van 1 tot 4 personen. De proefleider zorgde ervoor dat proefpersonen niet onderling spraken wanneer zij tegelijkertijd deelnamen aan het experiment.

Taakinstructies

Elke taak werd door middel van een korte beschrijving geïnstrueerd op het scherm (zie figuur 2).

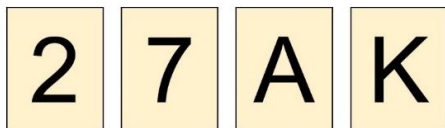
⁷ Hierbij werd in acht genomen dat alle kaarten moesten voldoen aan de eis dat er een cijfer op de ene kant stond en een letter op de andere kant. Daarnaast had een kaartenset altijd een p, q, niet-p, en niet-q op de zichtbare zijdes en (afhankelijk van het wel of niet voldoen aan de regel) een cijfer of letter op de andere zijde van een van deze kaarten.

Er volgt zo een set van vier kaarten, waarvan je alleen de voorkant kan zien maar niet de achterkant. Op elke kaart staat een getal aan de ene kant en een letter op de andere kant. Hieronder staat een regel die van toepassing is op deze vier kaarten. Jouw taak is om te beslissen welke van deze vier kaarten je moet omdraaien om te beslissen of de regel waar is. Draai geen onnodige kaarten om. Kies telkens de kaart die je wilt omdraaien.

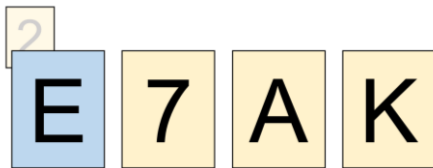
Regel: Als er een klinker op de ene kant staat, dan staat er een even getal op de andere kant.

Figuur 2: Instructies Klassieke taak

Vervolgens volgde er een afbeelding van een set kaarten waarna de proefpersoon kon kiezen welke van deze vier kaarten hij of zij wou omdraaien (zie figuur 3). De taakbeschrijving en regel bleven bij elke volgende stap zichtbaar. Om duidelijk te maken welke kaarten al omgedraaid waren is ervoor gekozen om de voorkant en achterkant van een kaart een andere kleur te geven (voorkant geel, achterkant blauw). Verder werd er door middel van kleinere kaarten weergegeven wat er aan de andere kant van de kaart stond (zie figuur 4).



Figuur 3: Set kaarten begin Klassieke taak



Figuur 4: Set kaarten Klassieke taak na omdraaien kaart '2'

Na het zien van de beginkaarten kregen de proefpersonen de keuze tussen het omdraaien van een kaart of het omdraaien van geen kaart en een conclusie trekken over de regel (zie figuur 5). Wanneer zij kozen voor het omdraaien van een kaart volgde opnieuw deze keuze. Een omgedraaide kaart kon niet opnieuw worden omgedraaid. Een conclusie trekken bestond uit het kiezen voor 'Ik weet nu dat de regel waar is' of 'Ik weet nu dat de regel niet waar is'. Wanneer proefpersonen alle kaarten omgedraaid hadden restte alleen een keuze tussen deze conclusies. Nadat proefpersonen een conclusie hadden getrokken was er ruimte voor het noteren van opmerkingen en werd de taak afgerond.

- 2
- 7
- A
- K
- Geen kaart, ik weet nu dat de regel waar is.
- Geen kaart, ik weet nu dat de regel niet waar is.

Figuur 5: Indeling vragen

De instructies voor de taken met een universele kwantor of existentiële kwantor waren nagenoeg gelijk als bij de klassieke taak. Alleen de regel die werd voorgelegd werd aangepast.

Taak universele kwantor:

- *Regel:* Voor alle kaarten geldt: als er een klinker op de ene kant staat, dan staat er een even getal op de andere kant.

Taak existentiële kwantor:

- *Regel:* Er bestaat een kaart waarvoor geldt: als er een klinker op de ene kant staat, dan staat er een even getal op de andere kant.⁸

Procedure

De proefpersonen werden eerst kort geïnstrueerd over het experiment waarna zij het toestemmingsformulier invulden. Daarna werden zij individueel achter een laptop geplaatst waar zij de taken kregen voorgelegd op een van de eerder besproken volgordes. Er werd tussendoor geen feedback gegeven door de proefleider op de keuzes van de proefpersonen. Ten slotte werden door de onderzoeker demografische gegevens van de proefpersonen genoteerd (zie appendix J voor vragenlijst). Het experiment duurde in totaal ca. 15 minuten per persoon.

Meetmaten

Tijdens het experiment werd per taak bijgehouden welke kaarten werden omgedraaid en op welke volgorde dit gebeurde. Verder werd er genoteerd welke conclusie er werd getrokken (de regel is waar of de regel is onwaar). Op basis hiervan zijn de distributies bepaald van de combinaties van kaarten per taak per groep (logica/breed) waarbij elke taak verschilde in de combinatie van kwantor (universeel/existentieel) en het voldoen aan regel (wel/niet).

⁸ Er zijn verschillende opvattingen over de vertaling van een existentiële kwantor. In dit experiment is gekozen voor de vertaling 'Er bestaat een x waarvoor geldt' zoals beschreven in het dictaat voor de cursus "Inleiding Logica" (Van Westrhenen, Sommerhalder, & Tonino, 1993).

Resultaten

Algemeen

Tabel 3 geeft de distributies van de gekozen kaarten per groep (logica/breed) en per taak weer en vergelijkt deze met de resultaten uit de meta-review van Johnson-Laird en Wason (1970) en uit de twee studies met het sequentieel omdraaien van kaarten (Sperber et al, 1995; Gebauer en Laming, 1997).⁹ De groene hokjes geven de combinaties weer die volgens de formele logica de correcte oplossingen zijn. Aangezien bij de taken met een existentiële kwantor slechts vier proefpersonen de optie om geen kaart om te draaien als mogelijkheid hebben beschouwd is met geel aangegeven welke combinaties in het geval juist zouden zijn wanneer de regel als “tenminste één kaart omdraaien” geïnterpreteerd zou kunnen worden.

	Totaal	p	niet-q	p, q	p, niet-q	p, niet-p, q, niet-q	p, q, niet-q	geen	anders	q
Johnson-Laird en Wason (1970)	128	33%		46%	4%	2%	7%		8%	
Sperber et al (1995)	87	17%		36%	18%	6%	2%		21%	
Gebauer en Laming (1997)	30	13%		57%	3%	13%	3%		10%	
Groep logica voorkennis										
Klassiek	24	13%	0%	29%	42%	8%	0%	0%	8%	0%
Universeel voldoet	24	13%	4%	21%	46%	0%	13%	0%	4%	0%
Universeel voldoet niet	24	63%	13%	13%	13%	0%	0%	0%	0%	0%
Existentieel voldoet	24	54%	0%	13%	8%	0%	0%	8%	0%	13%
Existentieel voldoet niet	24	29%	0%	67%	0%	0%	4%	0%	0%	0%
Groep brede voorkennis										
Klassiek	24	21%	0%	25%	17%	4%	21%	0%	13%	0%
Universeel voldoet	24	13%	0%	29%	17%	21%	21%	0%	0%	0%
Universeel voldoet niet	24	63%	13%	13%	0%	0%	0%	0%	0%	13%
Existentieel voldoet	24	42%	0%	17%	4%	0%	4%	0%	4%	29%
Existentieel voldoet niet	24	25%	0%	58%	0%	0%	4%	8%	4%	0%

Tabel 3: Resultaten gekozen kaartcombinaties per groep per taak in percentages weergegeven.

Het gedrag van de brede groep in de klassieke taak komt overeen met eerder onderzoek. Uit een Pearsons X^2 test blijkt dat de distributie van de keuzes niet significant verschilt met het onderzoek van Johnson-Laird en Wason (rijen 2 & 11: $X^2=13,553$; $df=5$; $p=0,0187$), het onderzoek van Sperber et al (rijen 3 & 12: $X^2=11,804$; $df=5$; $p=0,0376$) en Gebauer en Laming (rijen 4 & 12: $X^2=11,109$; $df=5$; $p=0,049$). De resultaten voor de brede groep zijn daardoor vergelijkbaar met deze studies. Echter is dit alleen het geval wanneer er wordt gekozen voor een p-waarde van 5% (cf. Gebauer en Laming, 1997). Wanneer er wordt gekozen voor een p-waarde van 1% verschillen alle resultaten wel significant.

Proefpersonen uit de logica-groep vertonen ander gedrag dan proefpersonen uit de brede groep. De resultaten van deze groep verschillen juist wel significant met studie van Wason (rijen 2 & 6: $X^2=37,250$; $df=5$; $p < 0.0001$). De distributie van de keuzes verschilt niet significant met de andere twee

⁹ Eerder uitgevoerd onderzoek van Johnson-Laird & Wason (1970), Sperber et al (1995) en Gebauer en Laming (1997) maakt geen onderscheid in de keuze van niet-q en q kaarten. Bij deze studies valt dit onder de optie ‘anders’. Aangezien de keuze voor alleen q van toepassing is voor bepaalde voorspellingen is ervoor gekozen om deze voor dit onderzoek wel apart weer te geven.

studies (rijen 3 & 6: $X^2 = 7,186$; $df=5$; $p=0,207$ en rijen 4 & 6: $X^2 = 13,034$; $df=5$; $p=0,023$). Wederom is hier meer nuance nodig: wanneer er wordt gekozen voor een p-waarde van 1% verschilt alleen de distributie van de resultaten van de studie van Sperber et al niet significant met de resultaten van de brede groep.

De statistische test geeft gezien de afhankelijkheid van de gekozen p-waarde geen eenduidig bewijs dat de resultaten van dit onderzoek beter aansluiten bij het onderzoek van Gebauer en Laming (1997) of het onderzoek van Sperber et al (1994). Er is dus geen uitsluitsel te geven welke van deze twee studies meer gelijk heeft, of de resultaten daadwerkelijk verschillen van het onderzoek van Johnson-Laird en Wason (1970) en welke invloed sequentie in het algemeen heeft.

Het belangrijkste verschil tussen de logica-groep en de eerdere studies is dat in deze studie 42% van de proefpersonen uit deze groep in de klassieke taak kiest voor de combinatie die juist is volgens de formele logica. Het is dus te stellen dat kennis op het gebied van logica helpt in het maken van de logische keuze. Ondanks deze voorkennis volgt echter 58% deze logische regels *niet*. Ook van de vier proefpersonen in de brede groep met logica voorkennis maakt slechts één proefpersoon de logische keuze (zie appendix C). Kortom, kennis van formele logica biedt geen garantie voor het succesvol redeneren volgens logica regels. Er lijken dus andere factoren mee te wegen die het gedrag van de personen in de selectietaak veroorzaken.

Bij de taak met een expliciete universele kwantor en informatie die voldoet blijft het keuzepatroon van de beide groepen (logica/breed) nagenoeg gelijk als in de klassieke taak. Het expliciet maken van de universele kwantor helpt dus niet om logisch te redeneren. Wanneer de informatie op de kaarten niet voldoet aan de regel verhoogt dit voor beide groepen hoe vaak de logische keuze wordt gemaakt (in beide groepen door 76% van de proefpersonen ten opzichte van 46% in de logica-groep en 17% in de brede groep).¹⁰

Na invoering van een existentiële kwantor volgt het gedrag een omgekeerd patroon ten opzichte van de universele kwantor. Kaarten met informatie die voldoet aan de regel zorgen hier juist voor het maken van een logische keuze (door 54% en 52% in respectievelijk de groep met logica voorkennis en de groep met brede voorkennis).¹¹ Wanneer de informatie niet voldoet aan de regel maakt in beide groepen het merendeel een onlogische keuze.

Samenvattend helpt een voorkennis op het gebied van logica in het maken van de logische keuze. De logica-groep geeft over het algemeen vaker een correct antwoord dan de proefpersonen met een brede voorkennis. Echter is dit niet het geval in elke situatie. In de taak met een existentiële kwantor waarbij de informatie niet voldoet is het percentage voor de keuze van de logische combinaties in beide groepen gelijk (76%). Daarnaast geeft in de taak met een existentiële kwantor en informatie die niet

¹⁰ Aangezien hier slechts één kaart hoeft te worden omgedraaid om de regel te weerleggen hoeft dit niet te betekenen dat men de logische interpretatie (p, niet-q) bezit omdat de verkeerde interpretatie van de regel (p, q) ook kan leiden tot het omdraaien van de p-kaart (dit geldt in beide groepen voor 63% van de proefpersonen).

¹¹ Wederom is er hier sprake van het omdraaien van slechts één kaart welke ook kan worden gekozen wanneer men niet de logische interpretatie heeft.

voldoet 8% van de proefpersonen uit de brede groep het juiste antwoord ten opzichte van niemand uit de groep met logica voorkennis.

Volgorde

De eerdergenoemde onderzoeken die gebruik maken van een sequentiële exponent (Sperber et al, 1994; Gebauer en Laming, 1997) hebben de resultaten van de gekozen volgorde niet gerapporteerd. Aangezien de volgorde van het omdraaien van kaarten ertoe doet voor bepaalde theorieën is ervoor gekozen om deze in dit onderzoek wel los weer te geven.

Uit tabel 3 blijkt dat in beide groepen in alle taken meestal minimaal één en maximaal twee kaarten worden omgedraaid. Alleen de taak met een universele kwantor waarbij de informatie voldoet op de kaarten is hier een uitzondering op, hier draait 42% van de proefpersonen in de brede groep meer dan twee kaarten om.

Wanneer er wordt gekeken naar de eerste kaart die wordt omgedraaid is te zien dat in beide groepen de meerderheid in alle taken consequent de kaart p als eerste omdraait (zie tabel 4; minimaal 63% tot maximaal 83% van de proefpersonen). In beide groepen draaien proefpersonen soms een q of niet-q als eerste om (4% tot 29% van de proefpersonen). De kaart niet-p wordt in een taak hoogstens door één persoon in de brede groep als eerste kaart omgedraaid.

Eerste kaart	p	q	niet-p	niet-q	geen
Groep logica voorkennis					
Klassiek	71%	8%	0%	21%	0%
Universeel voldoet	79%	4%	0%	17%	0%
Universeel voldoet niet	75%	8%	0%	17%	0%
Existentieel voldoet	75%	13%	0%	4%	8%
Existentieel voldoet niet	83%	17%	0%	0%	0%
Groep brede voorkennis					
Klassiek	67%	21%	4%	8%	0%
Universeel voldoet	79%	13%	0%	8%	0%
Universeel voldoet niet	63%	25%	0%	13%	0%
Existentieel voldoet	67%	29%	0%	4%	0%
Existentieel voldoet niet	63%	21%	4%	4%	8%

Tabel 4: Eerste kaart omgedraaid door proefpersonen per groep, in percentages weergegeven.

In de klassieke taak wordt door proefpersonen uit de groep met logica voorkennis (na het omdraaien van een p) het vaakst een niet-q omgedraaid als tweede kaart (zie appendix C). Dit is ook het geval voor proefpersonen uit de brede groep. In de taak met de universele kwantor en informatie die voldoet kiest het merendeel van de logica-groep wederom voor de niet-q kaart. Proefpersonen uit de brede groep draaien hier juist de q als tweede om. In de taak met een existentiële kwantor kiest men uit beide groepen voor de q als tweede kaart.

Theorieën

Om te kijken welke theorieën in overeenstemming zijn met het keuzegedrag is gekeken naar de voorspellingen die elke theorie heeft over de gekozen combinaties in elke taak zoals benoemd in de sectie “achtergrond” van dit onderzoek (zie pagina 8). Vervolgens zijn de gerealiseerde keuzes vergeleken met deze voorspellingen. Als criterium is gesteld dat een theorie bevestigd wordt wanneer de voorspelde combinatie(s) volgens een theorie overeenkomt met de gerealiseerde combinatie(s) die relatief het meest gekozen is/zijn (dus niet per se door de absolute meerderheid). Tabel 5 laat zien welke theorieën bevestigd worden volgens dit criterium. Aanvullend is ook een analyse gedaan met het criterium dat de combinatie(s) die volgens de theorie gemaakt zouden worden door meer dan 50% van de proefpersonen gerealiseerd is (d.w.z. door de absolute meerderheid; zie tabel 14 in appendix F)

In tabel 5 is met een vinkje weergegeven welke theorieën volgens dit criterium worden bevestigd per conditie. Met een kruis is weergegeven welke theorieën volgens dit criterium worden weerlegd.

Resultaten vergelijking						
	Formele Logica	Verificatie bias	Matching bias	Relevantie	ODS¹²	Misvatting
Groep logica voorkennis						
Klassiek	✓	X	X	X	X	X
Universeel voldoet	✓	X	X	X	X	
Universeel voldoet niet	✓	X	✓	X	✓	
Existentieel voldoet	X	✓	✓	✓	✓	
Existentieel voldoet niet	X	✓	✓	✓	✓	
Groep brede voorkennis						
Universeel voldoet	X	✓	✓	✓	X	X
Universeel voldoet niet	X	✓	✓	✓	✓	
Existentieel voldoet	✓	X	✓	✓	✓	
Existentieel voldoet niet	X	✓	✓	✓	✓	
Universeel voldoet	X	✓	✓	✓	✓	

Tabel 5: Resultaten vergelijking voorspelde en gerealiseerde keuzes per groep per taak met als criterium dat de voorspelde combinatie(s) het vaakste is/zijn gekozen.

Uit de vergelijking blijkt dat men over het algemeen niet redeneert volgens de formele logica. Verder lijkt er geen sprake van de misvatting van de regel, dit wordt hieronder verder toegelicht. Wel is er een indicatie voor de verificatie bias en de relevantie theorie, voornamelijk in de groep met brede voorkennis. Ten slotte zijn de resultaten voor beide groepen consistent met de voorspellingen vanuit de optimale dataselectie en de matching bias.

¹² De vergelijking van de optimale dataselectie is gemaakt op basis van de gerealiseerde volgorde (zie voor een uitgebreide weergave tabel 12 in Appendix E)

Misvatting Regel

Om te kijken of er sprake is van een misvatting van de regel is gekeken naar het gedrag per individu over alle taken. Om te bepalen welke (mogelijke) interpretatie(s) een proefpersoon zou hebben gehad is gekeken naar de verschillende interpretaties van de regel volgens Gebauer en Laming (1997). Op basis van deze interpretaties is het verwachte gedrag volgens elke interpretatie in de verschillende taken van dit onderzoek bepaald (zie appendix G). Per individu is het gerealiseerde gedrag met dit verwachte gedrag vergeleken en vervolgens een interpretatie per taak toegekend.¹³ Ten slotte is gekeken welke proefpersonen consequent één interpretatie volgen.

Wanneer we kijken naar alle taken volgen slechts twee personen consequent één interpretatie: één persoon uit de brede groep volgt consequent interpretatie 1 (d.w.z. “*Als er een klinker op bovenkant staat, dan staat er een even getal op de onderkant*”), een ander volgt consequent interpretatie 2 (d.w.z. “*Als er een klinker op bovenkant staat, dan staat er een even getal op de onderkant, en als er een even getal op bovenkant staat, dan staat er een klinker op de onderkant*”). Niemand in de logica-groep volgt consequent één interpretatie (zie appendix H).

Aangezien het gedrag bij de taken met een existentiële kwantor afwijkt van de verwachtingen volgens de formele logica is besloten om ook alleen te kijken naar de interpretaties in de taken met een universele kwantor (zie appendix I). In de logica-groep vertonen dan acht proefpersonen consequent gedrag volgens één interpretatie, echter volgen zeven van deze proefpersonen de juiste interpretatie (namelijk interpretatie 3). In de brede groep vertonen vijf personen consequent gedrag volgens een interpretatie, twee personen volgen interpretatie 1, twee personen volgen interpretatie 2 en één persoon volgt interpretatie 3.

Samengevat kan uit deze resultaten worden geconcludeerd dat proefpersonen niet consistent een regel toepassen die zij verkeerd hebben opgevat. Slechts twee proefpersonen passen (mogelijk) consequent één regel toe in alle taken. Van de proefpersonen die in de klassieke taak en taken met een universele kwantor consequent één regel toepassen, past de meerderheid juist de correcte opvatting toe (namelijk acht van de dertien proefpersonen).

¹³ Wanneer het gedrag van een proefpersoon overeenkomt met voorspellingen van meerdere interpretaties, zijn aan deze taak voor deze persoon meerdere interpretaties toegekend.

Discussie

Samenvatting resultaten

In dit onderzoek is er gekeken hoe het expliciet maken van een kwantor in de regel (universele kwantor voor “voor alle kaarten” en existentiële kwantor voor “er is een kaart”) in combinatie met sequentiële informatievoorziening het keuzegedrag van proefpersonen in de Wason Selectietaak beïnvloedt.

Eerder onderzoek van Gebauer en Laming (1997) en Sperber et al (1994) met een sequentiële exponent gaven tegenstrijdige resultaten met betrekking tot de invloed van deze sequentie. Een vergelijking van de distributie van keuzes tijdens de taken van dit onderzoek om deze tegenstrijdigheid te verduidelijken geeft geen eenduidig bewijs welke van deze onderzoeken meer ‘juist’ is. Uit een statistische analyse blijkt namelijk dat nagenoeg alle resultaten van beide groepen in dit onderzoek niet significant verschillen met de eerdere onderzoeken. Alleen de resultaten van de logica-groep in de klassieke taak verschillen duidelijk significant met de resultaten van Johnson-Laird en Wason (1970). Bovendien is deze significantie afhankelijk van de gekozen p-waarde (1% of 5%) en kunnen hier dus geen harde uitspraken over worden gedaan.

Uit de resultaten (zie tabel 3) blijkt dat het keuzepatroon afhankelijk is van de combinatie van kwantoren (universeel/existentieel) en informatie op de kaarten (voldoet wel of voldoet niet aan de regel). Het expliciet maken van de universele kwantor zorgt niet voor een verhoging van logisch keuzegedrag. Wanneer de informatie op de kaarten vervolgens niet voldoet aan de regel kiest de meerderheid van de proefpersonen wel vaker voor de combinatie die juist is volgens de formele logica. Na invoering van een existentiële kwantor draait het keuzepatroon om. Hierbij is op te merken dat, op twee mensen na, niemand de opvatting volgens de formele logica volgt maar de regel lijkt te interpreteren als “voor minstens één kaart geldt dat”. Wanneer deze interpretatie wordt aangenomen kiest bij informatie die niet voldoet aan de regel de meerderheid voor de combinatie die juist is volgens de formele logica. Bij de informatie die voldoet aan de regel kiest nagenoeg niemand voor deze logische combinatie.

Tenslotte blijkt uit een vergelijking tussen de resultaten van twee verschillende groepen (één met en één zonder logica voorkennis) dat mensen met logica voorkennis vaker de juiste keuze maken volgens de formele logica. Echter wordt deze keuze niet in alle situaties en niet door iedereen gemaakt. Het geven van training op dit gebied lijkt dus geen oplossing te zijn voor dit ‘verkeerde’ redeneergedrag (cf. Cheng, Holyoak, Nisbett, & Oliver, 1986)

Implicaties Theorie

Het feit dat men niet redeneert volgens de formele logica komt overeen met het idee van Tversky en Kahneman (1974) welke stellen dat mensen niet logisch redeneren maar gebruik maken van heuristieken die zij ontwikkelen voor het maken van keuzes in situaties met onzekerheid.

Opvallend met betrekking tot de formele logica, is dat in de taken met een existentiële kwantor op twee mensen na niemand kiest voor de juiste combinatie. Dit onlogische keuzegedrag zou

veroorzaakt kunnen zijn door de gekozen vertaling van deze kwantor. De vertaling “*er bestaat een kaart waarvoor geldt dat*” zou de focus kunnen leggen op het (verkeerd) zoeken naar minstens één kaart of specifiek (minstens) één kaart die een p aan de ene kant en een q aan de andere kant bevat.

Naast de formele logica geven de verschillende gerealiseerde keuzepatronen geen indicatie voor een misvatting van de regel zoals aangenomen door Gebauer en Laming (1997). Slechts twee proefpersonen passen in dit onderzoek consequent één regel toe in alle taken. Een aantal proefpersonen benoemde na het experiment dat zij pas halverwege begrepen wat zij moesten doen in de taken. Het kan zijn dat dit ervoor heeft gezorgd dat zij gedurende de taken van interpretatie zijn gewisseld.

Daarentegen lijken een aantal theorieën wel ondersteund te worden door de keuzepatronen in de taken. Uit een vergelijking blijkt dat de verwachte keuzepatronen in de groep met brede voorkennis overeenkomen met de gerealiseerde combinaties van de verificatie bias en de relevantie theorie. De resultaten zijn voor beide groepen consistent met de verwachtingen van optimale dataselectie en de matching bias.

Hoewel de resultaten consistent zijn met de verwachtingen voor deze theorieën kan er sprake zijn van een vertekend beeld door de gekozen taken en de vergelijking. Er zijn namelijk een aantal taken waarin slechts één kaart omgedraaid hoeft te worden of hoogstens één kaart door het merendeel van de proefpersonen omgedraaid wordt. Dit is het geval in de taak met een universele kwantor waarbij de informatie voldoet en de taak met een existentiële kwantor waarbij de informatie niet voldoet. Hierdoor is de realisatie consistent met de verwachting voor bepaalde theorieën maar is dit eigenlijk niet genoeg bewijs voor deze theorie.

De theorieën waar dit van toepassing voor is zijn de formele logica, verificatie bias, relevantie theorie, matching bias en optimale dataselectie. Denk hierbij aan het alleen omdraaien van een p welke niet hoeft te betekenen dat men de kaarten p en q als relevant beschouwd omdat ook p en niet-q als relevant beschouwd hadden kunnen worden. In deze gevallen kunnen er in de taak waarin hoogstens één kaart wordt omgedraaid na deze eerste kaart niet met zekerheid worden gezegd dat de opvatting van de theorie volledig wordt gevolgd.

Vervolgonderzoek

Voor een betere vergelijking van de resultaten uit eerder onderzoek dat gebruik maakt van sequentie is een andere statistische toets noodzakelijk. Immers is de significantie nu afhankelijk van de gekozen p-waarde (1% of 5%) en zijn hier dus geen harde uitspraken over te doen. Daarnaast stellen statistici (o.a. Howell, 1992) dat een Pearsons X^2 test niet kan worden gebruikt wanneer er sprake is van frequenties die lager zijn dan vijf waarvan wel sprake is bij dit onderzoek. Het lage aantal frequenties zou opgelost kunnen worden door een groter aantal proefpersonen. Voor een algehele, meer genuanceerde vergelijking zou gekeken moeten worden naar een andere statistische test welke bijvoorbeeld gebruik maakt van Bayesiaanse statistiek.

Om te voorkomen dat de vertaling van een kwantor daadwerkelijk invloed heeft op het keuzepatroon zou er meer vergelijkend onderzoek plaats moeten vinden met een andere vertaling zoals “*Er bestaat minimaal één x waarvoor geldt dat*”. Daarnaast is het gewenst om voorafgaand een oefentaak uit te voeren zodat men kan wennen aan het experiment en volledig begrijpt wat zij moet doen. Hierdoor kan worden voorkomen dat men wisselt van interpretatie door dit onbegrip.

Om verder met meer zekerheid te kunnen zeggen of bepaalde theorieën wel of niet van toepassing zijn is het nodig om situaties te creëren waarbij minstens twee kaarten moeten worden omgedraaid. Deze situaties kunnen worden gecreëerd door het gebruik van een sequentiële exponent, het variëren van kwantoren en de informatie die binnen een kaartenset op de kaarten staat. Hierbij zou dan bijvoorbeeld de eerste omgedraaide kaart niet voldoen aan de regel en een opvolgende kaart wel.

Ten slotte moet opgemerkt worden dat de grootte van de groepen invloed kan hebben op de resultaten. In dit onderzoek maakt één persoon namelijk al 4,2% verschil op het totaalpercentage proefpersonen wat kiest voor een bepaalde kaart of kaartencombinatie. Er is grootschaliger onderzoek nodig om uitschieters en patronen beter te kunnen onderscheiden.

Beperkingen

Een beperking in dit onderzoek is de manier waarop de voorspellingen zijn gedaan (tabel 1 en appendix A). Deze voorspellingen zijn gebaseerd op de verwachtingen per theorie. Echter is hierin niet meegenomen dat een theorie vaak stelt dat het gedrag ‘vaker’ voorkomt in plaats van dat het keuzegedrag volledig volgens de theorie wordt gevolgd. Zo kan een bias er bijvoorbeeld voor zorgen dat men *vaker* een onlogische keuze maakt, echter hoeft dit niet de betekenen dat men 100% volgens deze bias redeneert. De voorspellingen zijn dus lastig in percentages uit te drukken en daarom een beperking van dit onderzoek.

Conclusie

Het expliciet maken van hoeveelheden door kwantoren en het geven van een resultaat na een actie (omdraaien van een kaart) beïnvloedt hoe mensen sequentiële beslissingen nemen. Voorkennis op het gebied van logica helpt in het maken van de logische juiste keuze maar niet in elke situatie. Er kan geen uitsluitel gegeven worden of de resultaten overeenkomen met eerder onderzoek dat gebruik maakt van sequentie, welke onderzoeken hiervan 'juist' waren en de oorzaak hiervan. Volgens het criterium dat de meest gekozen combinatie(s) overeen moet(en) komen met de voorspelling vanuit een theorie kan worden uitgesloten dat er sprake is van redeneren volgens de formele logica en een misopvatting van de regel. Daarentegen lijkt er een indicatie te zijn voor de relevantie theorie, rationele analyse, optimale dataselectie en matchingbias. Grootschaliger onderzoek dat gebruikt maakt van andere situaties met betrekking tot vertaling van kwantoren en informatie op de kaarten is nodig om deze theorieën verder te onderzoeken.

Appendices

Appendix A: Verwachtingen per theorie

Universeel voldoet verwachtingen										
	Totaal	p	niet-q	q	p, q	p, niet-q	p, niet-p, q, niet-q	p, q, niet-q	geen	anders
Formele Logica	24	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
Verificatie Bias	24	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
Matching Bias	24	0%	0%	0%	80%	0%	20%	0%	0%	0%
ODS	24	30%	0%	20%	50%	0%	0%	0%	0%	0%
Relevantie	24	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabel 6: Voorspellingen taak met universele kwantor waarbij de informatie op de kaarten voldoet aan de regel (UV), in percentages weergegeven.

Universeel voldoet niet verwachtingen										
	Totaal	p	niet-q	q	p, q	p, niet-q	p, niet-p, q, niet-q	p, q, niet-q	geen	anders
Formele Logica	24	50%	0%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Verificatie Bias	24	20%	20%	0%	60%	0%	0%	0%	0%	0%
Matching Bias	24	40%	40%	0%	0%	0%	20%	0%	0%	0%
ODS	24	50%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Relevantie	24	50%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabel 7: Voorspellingen taak met universele kwantor waarbij de informatie op de kaarten niet voldoet aan de regel (UN), in percentages weergegeven.

Existentieel voldoet verwachtingen										
	Totaal	p	niet-q	q	p, q	p, niet-q	p, niet-p, q, niet-q	p, q, niet-q	geen	anders
Formele Logica	24	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
Verificatie Bias	24	50%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Matching Bias	24	50%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ODS	24	50%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Relevantie	24	50%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabel 8: Voorspellingen taak met existentiële kwantor waarbij de informatie op de kaarten voldoet aan de regel (EV), in percentages weergegeven.

Existentieel voldoet niet verwachtingen										
	Totaal	p	niet-q	q	p, q	p, niet-q	p, niet-p, q, niet-q	p, q, niet-q	geen	anders
Formele Logica	24	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
Verificatie Bias	24	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
Matching Bias	24	40%	40%	0%	20%	0%	0%	0%	0%	0%
ODS	24	30%	20%	0%	50%	0%	0%	0%	0%	0%
Relevantie	24	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabel 9: Voorspellingen taak met existentiële kwantor waarbij de informatie op de kaarten niet voldoet aan de regel (EN), in percentages weergegeven.

Appendix B: Interpretaties

Interpretaties	
1	Als er een klinker op bovenkant staat, dan staat er een even getal op de onderkant.
2	Als er een klinker op bovenkant staat, dan staat er een even getal op de onderkant, en als er een even getal op bovenkant staat, dan staat er een klinker op de onderkant
3	Als er een klinker op ene kant staat, dan staat er een even getal op de andere kant.
4	Als er een klinker op ene kant staat, dan staat er een even getal op de andere kant, en als er een even getal op de ene kant staat, dan staat er een klinker op de andere kant.

Tabel 10: Interpretaties volgens Gebauer en Laming (1997).

Appendix C: Invloed van voorkennis van selectietaak of logica

Invloed van voorkennis van Wason Selectietaak of logica					
	Klassiek	Universeel voldoet	Universeel voldoet niet	Existentieel voldoet	Existentieel voldoet niet
Proefpersoon groep logica voorkennis					
A10	p, niet-q	niet-q, p	p	q	p, q
A25	niet-q, p	q, p	niet-q, p	niet-q, q	q, p, niet-q
Proefpersoon groep brede voorkennis					
B1	niet-q, p	niet-q, p	niet-q	q	q, p
B2	p	p	p	p	p, q
B6	q, p	p, q, niet-q, niet-p	niet-q	q	p, q
B13	p, q	p, q, niet-q, niet-p	p	p	p, q

Tabel 11: Keuzes per taak van proefpersonen met kennis van de Wason Selectietaak (groep logica voorkennis) of kennis van logica (groep brede voorkennis). Keuzes zijn op volgorde weergegeven.

Appendix D: Overzicht keuze tweede kaart (na omdraaien p)

Eerste kaart	p				
	totaal	geen	q	niet-q	niet-p
Tweede kaart					
Groep logica voorkennis					
Klassiek	17	18%	29%	53%	0%
Universeel voldoet	19	16%	21%	47%	0%
Universeel voldoet niet	18	83%	6%	11%	0%
Existentieel voldoet	18	72%	17%	11%	0%
Existentieel voldoet niet	20	35%	65%	0%	0%
Groep brede voorkennis					
Klassiek	16	31%	19%	44%	6%
Universeel voldoet	19	16%	58%	26%	0%
Universeel voldoet niet	15	100%	0%	0%	0%
Existentieel voldoet	16	63%	25%	6%	6%
Existentieel voldoet niet	15	40%	60%	0%	0%

Tabel 12: Keuzes tweede kaart per groep per taak na het omdraaien van p als eerste kaart.

Appendix E: Resultaten gekozen volgorde per groep

	Totaal	Volgorde	geen	p	p > q	p > q > niet-q	p > q > niet-q > niet-p	anders
Groep logica voorkennis								
Klassiek	24	33%	0%	13%	21%	0%	0%	67%
Universeel voldoet	24	42%	0%	13%	17%	13%	0%	58%
Universeel voldoet niet	24	67%	0%	63%	4%	0%	0%	33%
Existentieel voldoet	24	75%	8%	54%	13%	0%	0%	25%
Existentieel voldoet niet	24	83%	0%	29%	54%	0%	0%	17%
Groep brede voorkennis								
Klassiek	24	33%	0%	21%	13%	0%	0%	67%
Universeel voldoet	24	67%	0%	13%	21%	13%	13%	33%
Universeel voldoet niet	24	63%	0%	63%	0%	0%	0%	38%
Existentieel voldoet	24	71%	0%	54%	17%	0%	0%	29%
Existentieel voldoet niet	24	71%	8%	25%	38%	0%	0%	29%

Tabel 13: Resultaten gekozen volgorde kaarten per groep per taak (ODS)

Appendix F: Resultaten vergelijking criterium 50% proefpersonen¹⁴

	Formele Logica	Verificatie bias	Matching bias	Relevantie	ODS	Misvatting
Groep logica voorkennis						
Klassiek	X	X	X	X	X	X
Universeel voldoet	X	X	X	X	X	
Universeel voldoet niet	✓	✓	✓	✓	✓	
Existentieel voldoet	X	✓	✓	✓	✓	
Existentieel voldoet niet	X	✓	✓	✓	✓	
Groep brede voorkennis						
Klassiek	X	X	✓	X	X	X
Universeel voldoet	X	X	✓	X	✓	
Universeel voldoet niet	✓	✓	✓	✓	✓	
Existentieel voldoet	X	✓	✓	✓	✓	
Existentieel voldoet niet	X	✓	✓	✓	✓	

Tabel 14: Resultaten vergelijking voorspelde en gerealiseerde keuzes per groep per taak met als criterium dat minimaal 50% van de proefpersonen de voorspelde combinatie(s) heeft gekozen (d.w.z. absolute meerderheid).

¹⁴ Bij een aantal taken komt het voor dat een voorspelde kaartcombinatie (door optelling) gekozen wordt door meer dan 50% van de proefpersonen maar dat een andere kaartencombinatie vaker dan deze combinatie wordt gekozen. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer bij de verificatie bias p en q door meer dan 50% van de proefpersonen wordt gekozen maar p en niet-q vaker dan deze combinatie (taak met universele kwantor en informatie die niet voldoet aan de regel). In principe geldt dan het criterium meer dan 50% maar niet de meest gekozen combinatie. Deze gevallen zijn met geel weergegeven.

Appendix G: Keuzes bij verschillende interpretaties

Interpretatie	Klassiek	Universeel voldoet	Universeel voldoet niet	Existentieel voldoet ¹⁵	Existentieel voldoet niet
1	p	p	p	Geen/p	Geen/p
2	p, q	p, q	p of q	Geen/p of q	Geen/p, q
3	p, niet-q	p, niet-q	p of niet-q	Geen/p of niet-q	Geen/p, niet-q
4	p, q, niet-p, niet-q	p, q, niet-p, niet-q	p of q of niet-p of niet-q	Geen/p, q, niet-p of niet-q	Geen/p, q, niet-p, niet-q
5	Anders	Anders	Anders	Anders	Anders

Tabel 15: Keuzes volgens de verschillende interpretaties van de regel (Gebauer en Laming, 1997) in de verschillende taken.

Appendix H: Interpretaties per proefpersoon per taak (alle taken)

Proefpersoon	Klassiek	UV	UN	EV	EN	Proefpersoon	Klassiek	UV	UN	EV	EN
A13	1	2	1,2,3,4	1,2,3,4	2	B16	1	1	1,2,3,4	1,2,3,4	1
A19	2	1	1,2,3,4	1,2,3,4	1	B2	1	1	1,2,3,4	1,2,3,4	2
A14	3	3	1,2,3,4	1,2,3,4	2	B24	2	2	2,4	2,4	2
A16	3	3	1,2,3,4	1,2,3,4	2	B8	2	2	1,2,3,4	5	2
A18	3	3	3,4	1,2,3,4	2	B10	3	3	1,2,3,4	1,2,3,4	2
A26	3	3	1,2,3,4	1,2,3,4	2	B22	5	5	1,2,3,4	5	5
A3	3	3	1,2,3,4	1,2,3,4	2	B20	1	2	1,2,3,4	5	2
A5	3	3	1,2,3,4	1,2,3,4	2	B5	1	2	1,2,3,4	1,2,3,4	1,2,3,4
A9	4	3	3,4	1,2,3,4	1	B9	1	2	2,4	2,4	2
A21	1	3	5	1,2,3,4	2	B12	2	1	5	1,2,3,4	2
A24	1	3	1,2,3,4	1,2,3,4	1	B13	2	4	1,2,3,4	1,2,3,4	2
A1	2	1	5	1,2,3,4	2	B26	2	4	5	1,2,3,4	1
A4	2	1	5	5	1	B6	2	4	3,4	2,4	2
A12	2	2	1,2,3,4	5	1	B1	3	3	3,4	2,4	2
A7	2	2	1,2,3,4	5	2	B23	3	3	1,2,3,4	5	2
A17	2	5	5	5	1	B14	3	5	1,2,3,4	1,2,3,4	1
A23	2	5	5	2,4	2	B25	4	2	1,2,3,4	5	1,2,3,4
A25	3	2	5	5	5	B3	5	2	2,4	2,4	2
A10	3	3	1,2,3,4	2,4	2	B19	5	3	1,2,3,4	1,2,3,4	2
A11	3	5	1,2,3,4	1,2,3,4	2	B11	5	4	1,2,3,4	5	1
A20	3	5	1,2,3,4	5	1	B17	5	4	1,2,3,4	1,2,3,4	1
A8	4	3	1,2,3,4	2,4	2	B21	5	5	1,2,3,4	5	1
A15	5	2	1,2,3,4	1,2,3,4	2	B4	5	5	5	2,4	2
A22	5	5	3,4	1,2,3,4	2	B7	5	5	3,4	2,4	5

Tabel 16: Interpretaties per proefpersoon per taak. De proefpersonen met minstens vier keer (mogelijk) dezelfde interpretatie van de regel zijn met groen aangegeven.

¹⁵ Aangezien slechts twee personen de formele logica volgen bij de taken met een existentiële kwantor is ervoor gekozen om ook de optie mee te nemen waarbij men ervanuit gaat sowieso een kaart te moeten omdraaien.

Appendix I: Interpretaties per proefpersoon per taak (zonder taken existentiële kwantor)

Proefpersoon	Klassiek	UV	UN	Proefpersoon	Klassiek	UV	UN
A12	2	2	1,2,3,4	B16	1	1	1,2,3,4
A10	3	3	1,2,3,4	B2	1	1	1,2,3,4
A14	3	3	1,2,3,4	B24	2	2	2,4
A16	3	3	1,2,3,4	B8	2	2	1,2,3,4
A18	3	3	3,4	B10	3	3	1,2,3,4
A26	3	3	1,2,3,4	B20	1	2	1,2,3,4
A3	3	3	1,2,3,4	B5	1	2	1,2,3,4
A5	3	3	1,2,3,4	B9	1	2	2,4
A13	1	2	1,2,3,4	B12	2	1	5
A21	1	3	5	B13	2	4	1,2,3,4
A24	1	3	1,2,3,4	B26	2	4	5
A1	2	1	5	B6	2	4	3,4
A19	2	1	1,2,3,4	B1	3	3	3,4
A4	2	1	5	B23	3	3	1,2,3,4
A7	2	2	1,2,3,4	B14	3	5	1,2,3,4
A17	2	5	5	B25	4	2	1,2,3,4
A23	2	5	5	B3	5	2	2,4
A25	3	2	5	B19	5	3	1,2,3,4
A11	3	5	1,2,3,4	B11	5	4	1,2,3,4
A20	3	5	1,2,3,4	B17	5	4	1,2,3,4
A8	4	3	1,2,3,4	B21	5	5	1,2,3,4
A9	4	3	3,4	B22	5	5	1,2,3,4
A15	5	2	1,2,3,4	B4	5	5	5
A22	5	5	3,4	B7	5	5	3,4

Tabel 17: Interpretaties per proefpersoon per taak (alleen klassiek en universele kwantor). De proefpersonen met drie keer (mogelijk) dezelfde interpretatie van de regel zijn met groen aangegeven.

Appendix J: Vragenlijst proefpersonen

Algemene gegevens

- Proefpersoon nummer
- Leeftijd
- Geslacht
 - o Man
 - o Vrouw
 - o Anders

Opleiding

- Soort opleiding
 - o WO Bachelor
 - o WO Master
 - o HBO

Hoe ver in opleiding?

- Jaar 1
- Jaar 2
- Jaar 3
- Jaar 4
- Afgestudeerd
- Anders

ECTS Logica

- 0
- 7,5
- 15
- 22.5
- 30
- 37.5
- 45
- Anders

ECTS Technische vakken (wiskunde, natuurkunde, engineering, etc.)

- 0
- 7,5
- 15
- 22.5
- 30
- 37.5
- 45
- Anders

Bibliografie

- Braine, M. D., & O'Brien, D. P. (1991). A theory of if: A lexical entry, reasoning program, and pragmatic principles. *Psychological review*, 98(2), 182.
- Chater, N., & Oaksford, M. (1999). Ten years of the rational analysis of cognition. *Trends in cognitive sciences*, 3(2), 57-65.
- Cheng, P. W., Holyoak, K. J., Nisbett, R. E., & Oliver, L. M. (1986). Pragmatic versus syntactic approaches to training deductive reasoning. *Cognitive psychology*, 18(3), 293-328.
- Cosmides, L., & Tooby, J. (1992). Cognitive adaptations for social exchange. *The adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of culture*, 163, 163-228.
- Evans, J. S. B. (1972). Interpretation and matching bias in a reasoning task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 24(2), 193-199.
- Evans, J. S. B., & Lynch, J. S. (1973). Matching bias in the selection task. *British Journal of Psychology*, 64(3), 391-397.
- Evans, J. S. B. (1984). Heuristic and analytic processes in reasoning. *British Journal of Psychology*, 75(4), 451-468.
- Evans, J. S. B. (1989). *Bias in human reasoning: Causes and consequences*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Gebauer, G., & Laming, D. (1997). Rational choices in Wason's selection task. *Psychological Research*, 60(4), 284-293.
- Griggs, R. A., & Cox, J. R. (1982). The elusive thematic-materials effect in Wason's selection task. *British Journal of Psychology*, 73(3), 407-420.
- Howell, D. C. (2012). *Statistical methods for psychology*. Cengage Learning.
- Johnson-Laird, P. N. (1980). Mental models in cognitive science. *Cognitive science*, 4(1), 71-115.
- Johnson-Laird, P. N. (2001). Mental models and deduction. *Trends in cognitive sciences*, 5(10), 434-442.
- Lewis, R.L., Howes, A., & Singh, S. (2014). Computational rationality: linking mechanism and behavior through bounded utility maximization. *Topics in cognitive science*, 62, 279-311.
- Yama, H. (2001). Matching versus optimal data selection in the Wason selection task. *Thinking & reasoning*, 7(3), 295-311.
- Rips, L. J. (1983). Cognitive processes in propositional reasoning. *Psychological review*, 90(1), 38.
- Sperber, D., Cara, F., & Girotto, V. (1995). Relevance theory explains the selection task. *Cognition*, 57(1), 31-95.
- Sperber, D., & Wilson, D. (1987). Précis of relevance: Communication and cognition. *Behavioral and brain sciences*, 10(4), 697-710.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *science*, 185(4157), 1124-1131.

- Stenning, K., & van Lambalgen, M. (2004). A little logic goes a long way: basing experiment on semantic theory in the cognitive science of conditional reasoning. *Cognitive Science*, 28(4), 481-529.
- Van Westrhenen, Sommerhalder, & Tonino, 1993. *Logica: een inleiding met toepassingen in de informatica*. Acad. Service.
- Wason, P. C. (1968). Reasoning about a rule. *The Quarterly journal of experimental psychology*, 20(3), 273-281.
- Wason, P. C., & Johnson-Laird, P. N. (1970). A conflict between selecting and evaluating information in an inferential task. *British Journal of Psychology*, 61(4), 509-515.
- Wason, P. C., & Shapiro, D. (1971). Natural and contrived experience in a reasoning problem. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 23(1), 63-71.