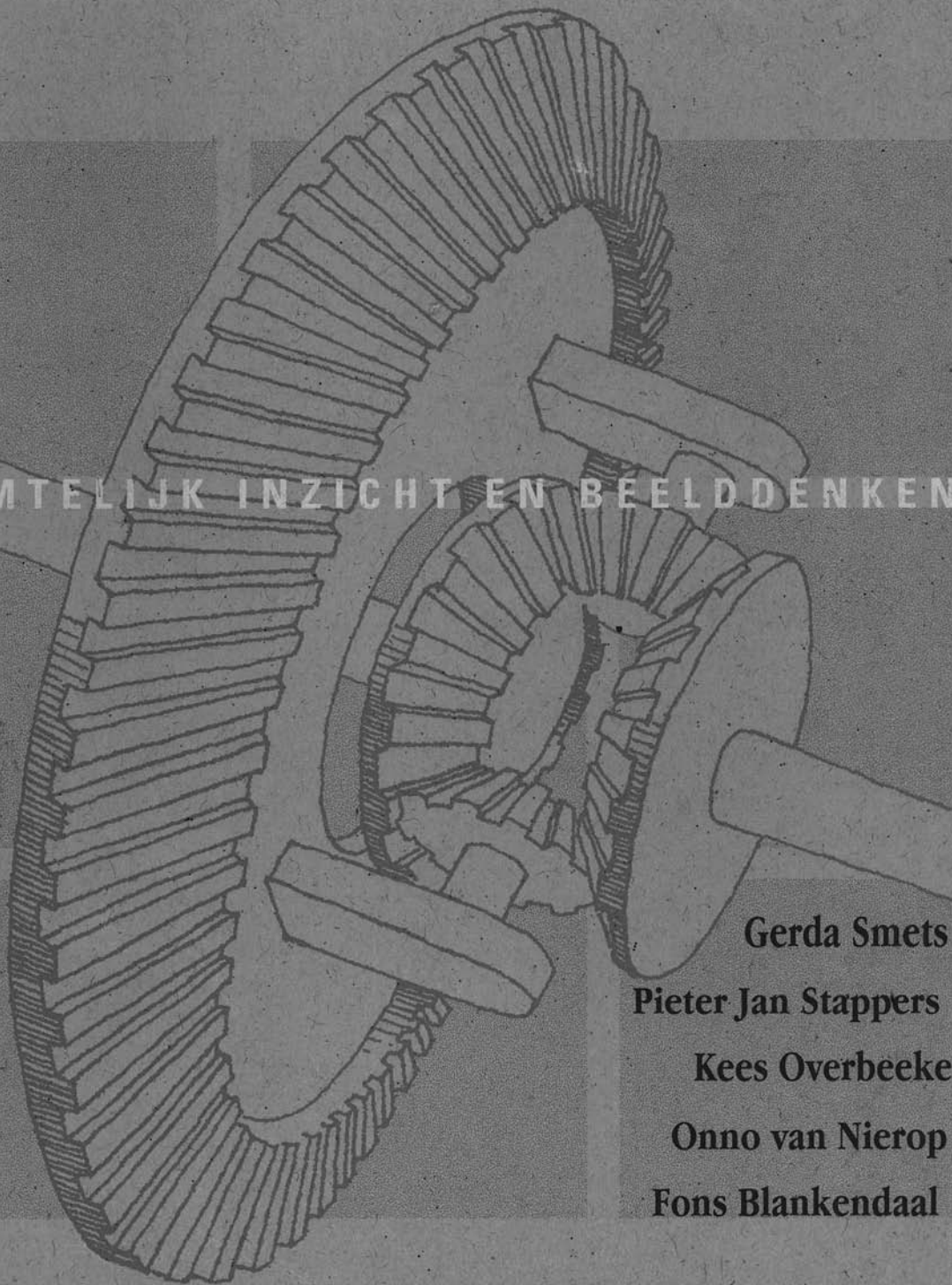


Beeldspel

RUIMTELIJK INZICHT EN BEELDDENKEN



Gerda Smets
Pieter Jan Stappers
Kees Overbeeke
Onno van Nierop
Fons Blankendaal

12557517

2137281
A

450

Beeld *spel*

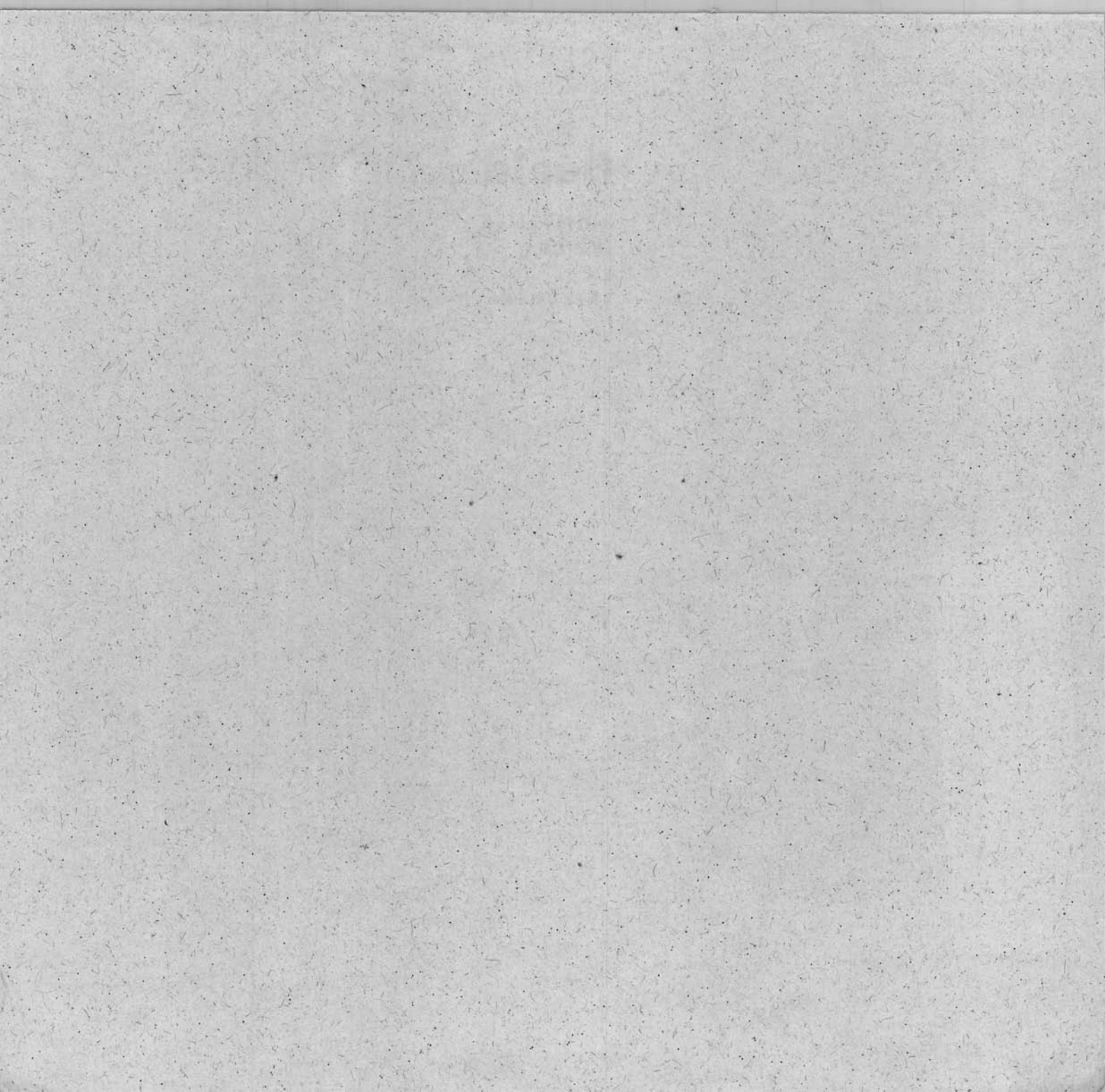
RUIMTELIJK
INZICHT
EN
BEELDDENKEN

Bibliotheek TU Delft



C 2137283

2355
751
7



Beeld *spel*

RUIMTELIJK INZICHT EN BEELDDENKEN

Tekst en opgaven



Delftse Universitaire Pers, 1994



23557517

*Gerda Smets
Pieter Jan Stappers
Kees Overbeeke
Onno van Nierop
Fons Blankendaal*

Uitgegeven door:

Delftse Universitaire Pers

Stevinweg 1

2628 CN Delft

telefoon: (015) 783254

fax: (015) 781661

Illustraties: Katrien Overmeire

Omslagontwerp en vormgeving:

Corrie van der Lelie

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE

BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Beeldspel

**Beeldspel : Ruimtelijk inzicht en beelden-
ken / Gerda Smets ... [et al.]. - Delft : Delftse
Universitaire Pers. - III. - (Tekst en opgaven /
Hints, noten, referenties, bronverwijzingen).**

ISBN 90-407-1060-0

NUGI 926

Trefw. : Vormgeving / Perceptie / Creativiteit

Copyright © 1994 by Laboratorium voor

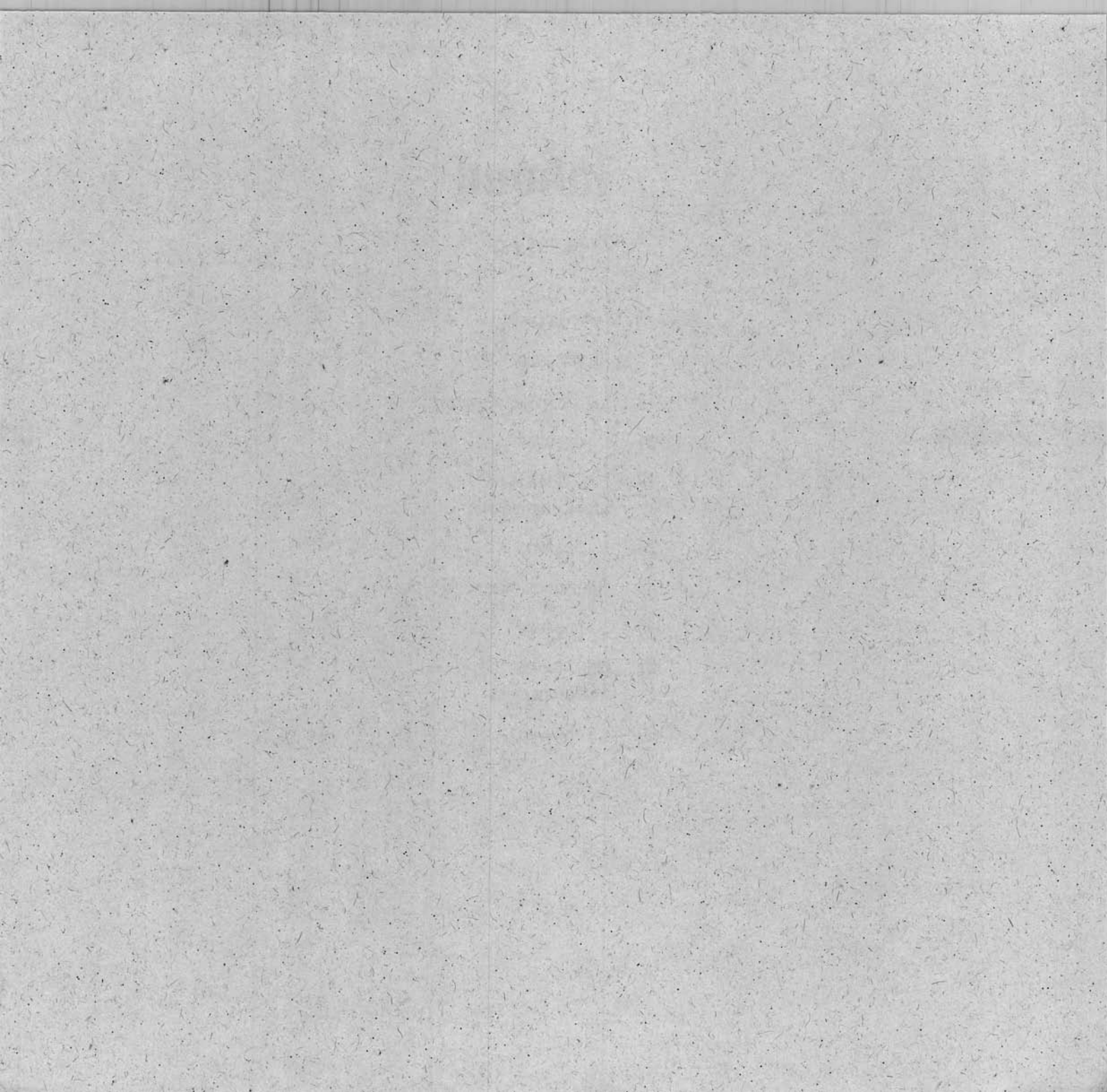
Vormtheorie

**No part of this book may be reproduced in
any form by print, photoprint, microfilm or
any other means without written permission
from the publisher, Delft University Press,
Delft, The Netherlands**

Inhoud

Tekst en Opgaven

- 3 Over dit boekje
- 4 opgaven
- 10 Inleiding: het ontwerpproces
- 14 opgaven
- 19 Beelddenken en
probleemoplossen
- 20 opgaven
- 38 Onderzoek over beelddenken
- 45 opgaven
- 51 Beelddenken in kunst en
wetenschappen
- 60 opgaven



Over dit boek

De opbouw van dit boekje weerspiegelt het verloop van het ontwerpproces zoals dat verderop in de tekst geschetst is.


De tekst bestaat uit vier delen. Het eerste deel betreft beelddenken als hulp bij probleemoplossend gedrag. Het tweede betreft de wijze waarop mensen (zowel ontwerpers als gebruikers van producten) waarnemen, en de impact die een waarnemingstheorie heeft op het oplossen van ingenieursproblemen. De nadruk ligt op oefeningen, die ingebed zijn in een bindende theoretische achtergrond. We willen immers niet alleen dat je wat meer weet over beelddenken, maar vooral dat je aan het eind van dit boekje en als je alle oefeningen doorlopen hebt, ook wat leniger geworden bent in het beelddenken zelf.

In het derde deel van de tekst komen we bij de vraag terecht of je voor de besproken familie van taken wel speciale vaardigheden en vermogens nodig hebt? Is beelddenken te onderscheiden van de logisch-rationele, talige intelligentie? Of net niet? En als beelddenken en logisch-rationele

intelligentie twee verschillende kenwijzen zijn, hoe zijn ze dan vertegenwoordigd in de ontwikkeling van kunst, wetenschappen en industrieel ontwerpen? Dit wordt in het vierde deel beschreven aan de hand van de ontwikkeling van een concreet product: de fiets.

De lay-out van het boekje weerspiegelt de nadruk die wij leggen op de combinatie van kennen en kunnen.

In het vierkante boekje bevinden zich niet alleen de tekst en bijbehorende illustraties, maar ook reeksen van oefeningen om de vaardigheid in (deelaspecten van) het beelddenken te trainen. Enkele deelonderwerpen die wel bij de tekst horen, maar door hun lengte beter afzonderlijk te lezen zijn, zijn in aparte kaders behandeld.

Naast het vierkante boekje is er een langwerpige boekje waarin hints, noten en bronverwijzingen te vinden zijn. Literatuurverwijzingen in de tekst zijn aangegeven met een , en staan telkens op de bijbehorende pagina in het langwerpige boekje. Beide boekjes zijn parallel genummerd zodat het

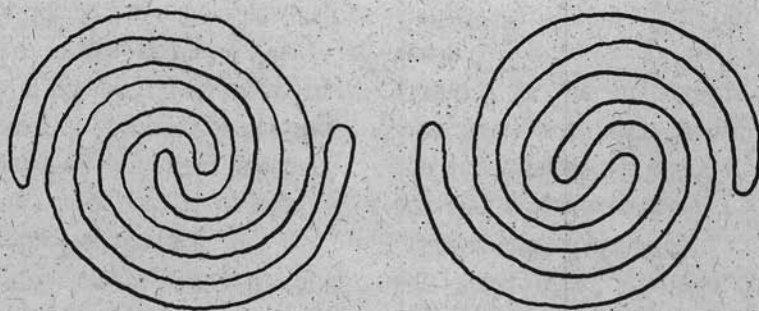
niet moeilijk is de bij elkaar horende pagina's te vinden. Anderzijds zijn het losse boekjes, zodat je niet per ongeluk de hints en noten ziet wanneer je aan een oefening begint.

Bij de oefeningen is meestal geen oplossing vermeld. Vaak is de oplossing wel te vinden in de in het bijlagenboekje genoemde bronnen. Deze bronnen zijn niet noodzakelijk de originele uitvinders van de oefeningen of puzzels (die vaak moeilijk vast te stellen zijn), maar verwijzen naar literatuur waar het betreffende probleemgebied behandeld wordt, of waar we de gebruikte illustratie vonden. Vaak is de oplossing daar dan ook te vinden, en wordt het probleem van de oefening behandeld in een breder kader (dat soms niet veel meer met beelddenken zelf te maken heeft).

De illustratie op de omslag van het vierkante boekje stelt een differentieel voor; die op het langwerpige boekje geven de wijze waarop dit mechanisme beweegt weer. (Beide illustraties naar Macauley, 1989; zie pagina 11)

opgaven opgaven opgaven

spiraalen



De figuur toont twee keer 'n soort spiraal. Zijn de twee tekeningen spiegelbeeldig? Zo nee, wat is het meest fundamentele verschil tussen de twee tekeningen?

accuraat waarnemen

opgaven opgaven opgaven

Stel je voor dat je voor de etalage van een kapperswinkel staat. Achter het raam hangt de naam van de kapper in grote neonletters zó, dat hij van buiten 'normaal', d.w.z. niet in spiegelschrift, leesbaar is. Je kunt de reflectie van de neonletters echter ook in de kappers-

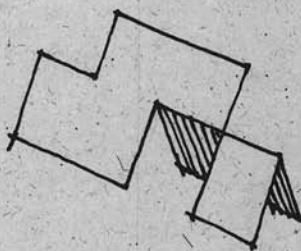
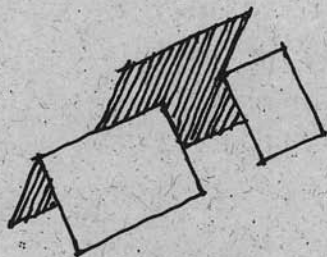
spiegel tegen de achterwand van de winkel zien. Zie je hem daar in spiegelschrift of niet?

etalage

spiegelen

opgaven opgaven opgaven

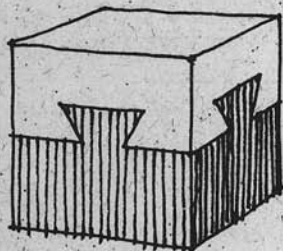
buigplaat



Maak de hierbij getekende
figuur van papier of karton
door knippen en vouwen
(maar niet plakken).

*combineren
(construeren)*

opgaven opgaven opgaven



De tekening toont een paradoxale vorm, met zwaluwstaarten aan vier zijden (de achterkant ziet er ook zo uit). De boven- en de onderkant van de vorm kunnen los, en samen vullen zij het hele volume van de getekende kubus, d.w.z. de vorm is niet hol. Hoe zien de stukken er

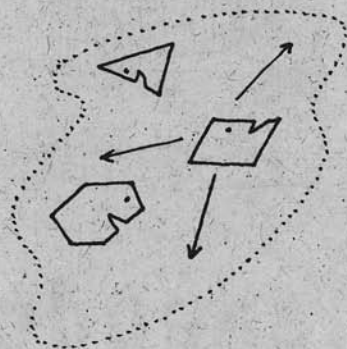
uit? Hoeveel verschillende soorten oplossingen zijn er?

opgaven opgaven opgaven

wonen
 vervormen
 (platland)

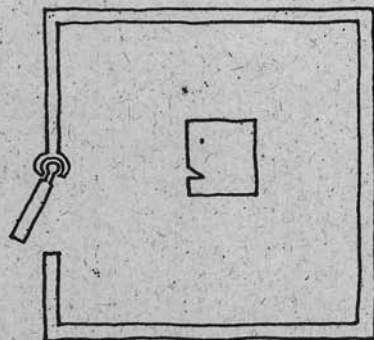
Ruimland is de driedimensionale wereld van het klassiek heelaal.

Platland is een tweedimensionale wereld, met tweedimensionale inwoners en geen zwaartekracht. Je kunt je het ongeveer zo voorstellen als hierbij getekend. Zij wonen niet alleen in het platte vlak, maar hun hele wereld, inclusief de fysische verschijnselen als lichtstralen, speelt zich af voor zover zij kunnen zien in dat platte vlak.



Lijnland is nog 'kleiner': het is 'n ééndimensionale wereld met ééndimensionale bewoners en de bijbehorende fysica.

Puntland is vreselijk klein: het bestaat uit één punt. Deze familie van dimensielanden is enerzijds interessant omdat ze een aantal essentiële verschillen van dimensionele ruimten aangeven, anders dan "n coördinaat meer of minder". Anderzijds kan de analogie met lijnland en platland helpen om je je 'n vierdimensionale ruimte voor te stellen. Een voorbeeld:



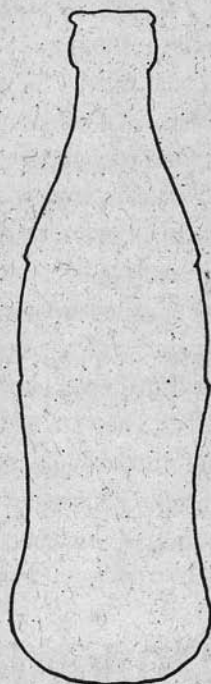
Een rudimentair huis in platland zou er uit kunnen zien zoals hiernaast is getekend. Een platlander is zeer gesteld op zijn privacy. Verzin een mechanisch principe waarmee hij zijn deur van binnen-uit op slot kan doen, zonder dat de deur van buiten kan worden geopend. (N.B. je kunt geen onderdelen 'aan de ruimte vastnieten'.)

opgaven opgaven opgaven

colafles

witbeelden

De figuur toont een colafles. In de tekening zit erg veel redundantie, erg veel 'extra'. Zo kun je de fles bijvoorbeeld ook weergeven door alleen de contour ervan te tekenen. En ook één helft van de contour is genoeg om de fles te herkennen. Probeer hoeveel (en welke) stukjes van de contour je 'uit kunt gummen' zonder dat de herkenbaarheid van het geheel verloren gaat. Elke millimeter telt.



Inleiding: het ontwerpproces

Soorten van denken

Een probleem oplossen kun je op verschillende manieren, en het hangt van het probleem zelf af wat de meest geschikte benaderingswijze is. Veel problemen kunnen goed worden opgelost op een rationele manier. Dat is wat we aan de universiteit vooral leren. Maar er bestaan ook problemen die slechts met zeer grote moeite op een rigoureuze logische manier kunnen worden opgelost, en die je door beelddenken gemakkelijker kunt oplossen. Dat is bijvoorbeeld het geval met de zgn. 'Bongard-problemen' (zie noot).

Beelddenken helpt niet alleen bij een aantal alledaagse problemen, zoals bij het verhuizen van een piano door een nauw trappenhuis. Ook in veel beroepen heb je het nodig. Een tandarts bijvoorbeeld zou nergens wezen als hij niet kon spiegeldenken. Ook voor ontwerpproblemen heb je niet alleen veel logisch-rationele kennis nodig, maar ook beelddenken. Laat ons eens een paar ingenieursproblemen noemen (allemaal

voorbeelden van afstudeerontwerp opdrachten die door studenten van de faculteit Industrieel Ontwerpen uitgevoerd zijn): het ontwerpen van een cockpit, inclusief een head-up display, voor de Fokker 100, een gasmasker, een toestel om naden in vaste vloerbedekking te lijmen, een medisch apparaat om mammografisch onderzoek te doen, een toestel om vis direct na vangst aan boord te strippen, te wegen en te sorteren, een nieuw type auto, nieuwe computer software die gebruiksvriendelijker is...

Het ligt steeds voor de hand te gaan kijken wat anderen voordien bedacht hebben om het probleem op te lossen, en verder hoe analoge problemen, in de dierenwereld bijvoorbeeld, opgelost worden. Sonar bijvoorbeeld wordt door vleermuizen al langer gebruikt dan door piloten. Op basis van al die informatie ga je produktconcepten genereren. Daarbij speelt het kunnen zien van gelijkenissen een grote rol. Met louter deductief denken (denken in verschillen) kom je er niet. Tekeningen kun-

nen helpen om gelijkenissen te zien en te laten zien.

Soorten van tekenen

Bij het genereren van produktconcepten, en om ze aan anderen uit te leggen, worden *ideeschetsen* gebruikt. Denk aan de ideeschetsen van Leonardo da Vinci zoals in **da Vinci**, die een vliegende machine tekent waarbij door menselijke spierkracht vleugels worden bewogen; hij schetst ook hoe de piloot de machine zou kunnen besturen door het zwaartepunt van zijn lichaam te verplaatsen in de richting van het centrum van de bocht die hij wil gaan nemen, op de manier zoals nu hang-

da Vinci
besturings-
mechanisme voor
ornithopter
(zie pag 13)



Perspectieven

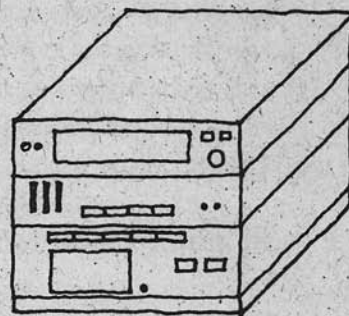
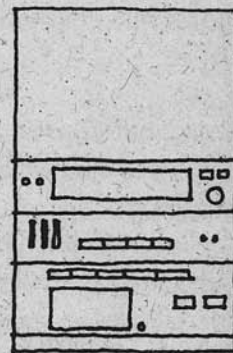
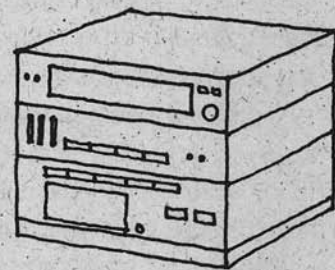
- *natuurlijk perspectief,*
- *verticale axonometrie,*
- *diagonale axonometrie*

gliders bestuurd worden. In deze beginfase van het ontwerpproces stel je je mentaal voor wat er nog niet is, en je gaat het tekenen, met de hand of met de computer. Daarbij speelt niet alleen het denken in gelijkenissen een grote rol, maar ook het ruimtelijk inzicht. Je moet kunnen beoordelen hoe de verschillende onderdelen van je apparaat in elkaar passen en of het geheel dan nog wel werkt. In da Vinci's tekening moet bijvoorbeeld duidelijk zijn of de krukassen en rollers wel op de juiste plaats zitten en of ze, op de geschetste manier, wel optimaal bijdragen aan het werkingsprincipe. Je moet ook kunnen beoordelen of en hoe componenten van het produkt verplaatst en bewogen worden. Als je de werking van een differentieel wilt begrijpen aan de hand van de figuur op de omslag, dan moet je je kunnen voorstellen hoe de satellietwielletjes precies bewegen, zoals geschetst op de omslag van de notenbijlage (naar Macauley, 1992 ). Anders kun je niet begrijpen waarom dit een ontwerpoplossing is om het buitenste wiel van een auto die een bocht

neemt, sneller te laten draaien dan het binnenste.

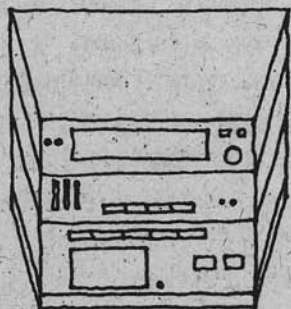
Later, bij de verdere uitwerking van het gekozen produktidee moet je weer andere dingen kunnen beoordelen aan de hand van *technische tekeningen*. Je moet bijvoorbeeld kunnen beoordelen of het boven- en het zijaanzicht in zo'n tekening elkaar niet tegenspreken, of een matrijs al dan niet lossend zal zijn, en, middels *presentatie-tekeningen*, (aanzichten, *renderings* en *exploded views*) aan anderen duidelijk kunnen maken hoe het produkt er precies uitziet. Daarbij moet je bijvoorbeeld weten welk perspectief je moet kiezen. Veel mensen denken dat, sinds kort, de computer dat helemaal alleen voor je kan doen, en dat als een tekening er niet helemaal waarheidsgetrouw uitziet dat te wijten is aan fouten in de computer. Maar zo is het niet. Een perspectivisch correcte afbeelding heeft toch een andere dieptewerking dan de realiteit. Bovendien hangt het er maar vanaf welke waarachtigheid je nastreeft.

Perspectieven geeft een tekening in wat iedereen kent als 'gewoon'



**Perspectieven
(vervolg)**

- *binoculair
perspectief*

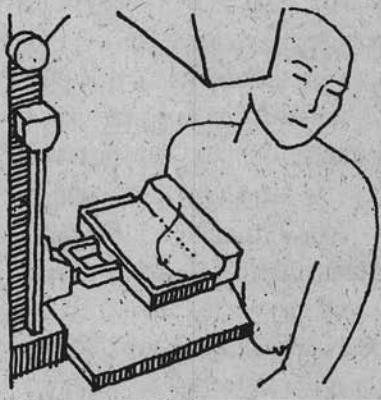


mammograaf

of *natuurlijk perspectief* en een *axonomie*. Alleen de axonomie heeft het voordeel dat je lengten langs de diepte-as in de tekening kunt opmeten.

Tenslotte moet je als ontwerper ook kunnen beoordelen hoe het produkt zal voldoen in het gebruik. Daarbij speelt de aanpassing aan de lichaamseigenschappen van de gebruiker een rol, en verder ook hoe die gebruiker emotioneel op dit produkt zal reageren. Het is ongelooflijk hoe weinig ontwerpers rekening houden met lichaamseigenschappen van gebruikers. In **mammograaf** is een medisch toestel afgebeeld om mammografieën te nemen. Dat is geen pijnlijk onderzoek,

maar wel een onderzoek waar de patiënt tegenop ziet. In het toestel in de figuur heeft de patiënt geen oogcontact met degene die het onderzoek doet, zij dient haar hoofd in een ongemakkelijke, gedraaide, positie te houden en er zit een ongemakkelijke en zelfs pijnlijke hoek aan het apparaat. Hoe komt dat? Omdat



de filmplaat de maatstaf was bij het vormgeven van dit apparaatgedeelte. Dit deel is rechthoekig, hoewel het evenzogoed de lichaamsvorm zou kunnen volgen. Zo'n gebrek aan inlevingsvermogen komt vaak voor als een ontwerper moet ontwerpen voor andere doelgroepen dan diegene waarvan hij zelf deel uitmaakt,

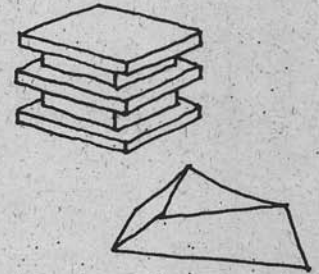
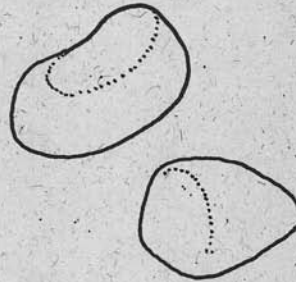
meestal meer kwetsbare groepen zoals zieken.

Maar het is ook belangrijk bij het ontwerpen van produkten voor Jan Modaal. Die koopt geen auto die door een werktuigbouwer ontworpen is. Er moet rekening gehouden worden met de wijze waarop die auto aansluit bij de lichaamseisen van de gebruiker (een van de redenen waarom Japanse auto's het op de Europese markt in eerste instantie niet zo goed deden was dat ze niet waren aangepast aan onze lengte), en ook met de expressiviteit van de auto.

De expressiviteit van een produkt is, bij ingenieursstudies, een verwaarloosd studie-onderwerp, waardoor er ook dikwijls tegen gezondigd wordt. Maar een ingenieur dient er niet alleen voor te zorgen dat zijn produkt *technisch* goed in elkaar zit, hij of zij dient ook te voorzien welke gedragingen het zal uitlokken of verhinderen. Hoe zou je bijvoorbeeld kunnen aangeven dat een bestand op je computer al ouder is dan een ander? Of dat een taak die in de achtergrond

Bonbons
links melk-, rechts
pure chocolade

uitgevoerd wordt bijna klaar is? Of hoe komt het dat de smaak van melkchocolade een andere vorm vereist dan die van pure chocolade, zoals in **Bonbons**. Voor al deze vragen bestaan oplossingen waarvan de geldigheid even goed experimenteel te toetsen is als de geldigheid van de technische aspecten.



Beelddenken: een definitie

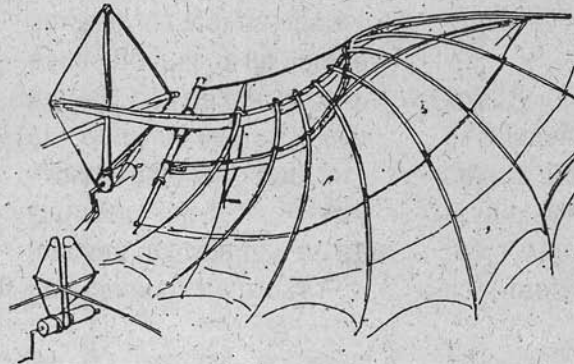
Al deze aspecten van probleemoplossend gedrag bij het ontwerpen vormen samen wat we *beelddenken* noemen, en wat in de Angelsaksische wetenschappelijke literatuur aangeduid wordt als *imagery*. De kern van beelddenken is het vermogen om

- accuraat waar te nemen,
- je dingen voor te stellen zonder dat ze fysisch gegeven zijn,
- wijzigingen aan te brengen in de dingen die je waargenomen of jezelf voorgesteld hebt, zonder dat die wijzigingen fysisch gerealiseerd worden, en

- al die voorstellingen beeldend (grafisch, plastisch of motorisch) uit te drukken.

aangegeven bij welk van de vermogens het zwaartepunt van de oefening ligt.

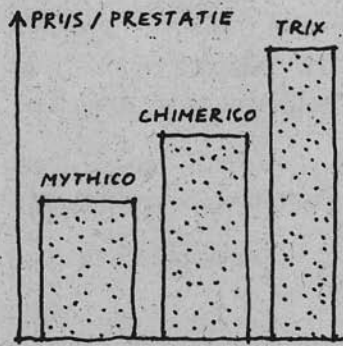
Deze vermogens spelen een rol bij het oplossen van ontwerpproblemen. Al deze aspecten komen in de oefeningen aan bod. Bij elk van de oefeningen staat in een kopje



da Vinci
ornitopter

opgaven opgaven opgaven

grafiek



Een bekende methode om mensen te misleiden en een klein verschil groot te laten lijken is het weglaten van een deel van een as in een grafiek. Een minder voor de hand liggende is de volgende. Stel, je moet een auto kopen en je hebt slechts één gegeven om op af te gaan, de

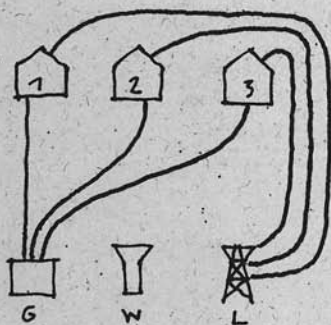
prijs-prestatie verhouding zoals weergegeven in de grafiek hiernaast. Welk van de drie modellen schat je dat de gunstigste aanschaf vormt?

accuraat waarnemen

*gas, water,
& licht*

accuraat waarnemen

opgaven opgaven opgaven

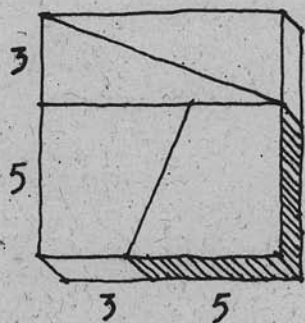


Gegeven zijn drie huizen en drie voorzieningsbedrijven ('Gas', 'Water', en 'Licht'). De opdracht is alle drie de huizen aan alle drie de voorzieningen te verbinden met behulp van leidingen in het platte vlak (lijnen op papier). Voorwaarde hierbij is echter dat de leidingen elkaar niet

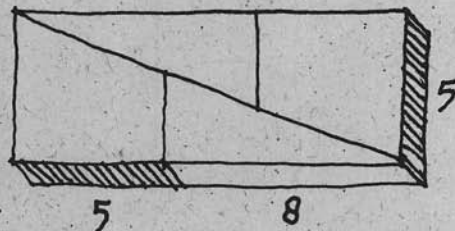
mogen kruisen. De figuur toont een half voltooide poging: de huizen hebben gas en licht, maar nog geen water. Je mag alle leidingen die ingetekend zijn verleggen en zelfs de huizen en bedrijven verplaatsen (zolang ze maar niet op of tegen elkaar komen te staan).

opgaven opgaven opgaven

goud maken

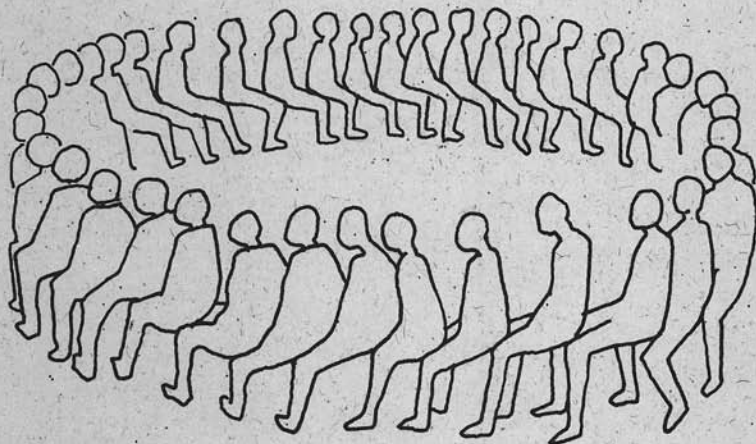


In de Scientific American van April(!) 1989 wordt de volgende methode geadviseerd om goud uit niets te maken. Neem een blok goud van $(5+3) \times (5+3) = 64$ eenheden. Snij dit in vieren en plak de delen weer aan elkaar om een blok van $(8+5) \times 5 = 65$ eenheden goud te maken (zie tekening). En voilà, een winst van $1/64 = 1,6\%$. Mogelijkerwijs is de uitvinding van dit procédé er voor verantwoordelijk geweest dat de goudprijs zo gekelderd is. Anderzijds zou het ook zo kunnen zijn dat er een foutje in de redenering zit. Welk?



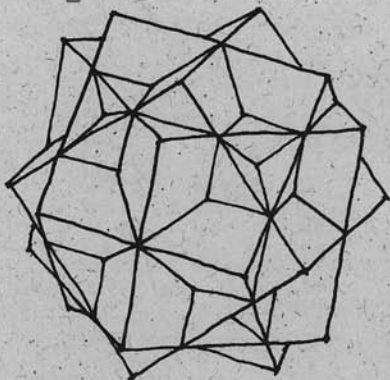
*accuraat waarnemen
(redenering)*

opgaven opgaven opgaven



Een stoel is een ondersteunend oppervlak waar je op kunt zitten, mits de stoel zelf op de grond of op iets anders vast steunt. In plaats van een houten of stalen meubel kun je natuurlijk ook bij iemand anders op schoot gaan zitten, mits aan dezelfde ondersteunende voorwaarden voldaan wordt. De figuur toont een vicieuze cirkel van mensen die elk op een ander zitten, maar niemand zit op een houten stoel of op de grond. Waarom vallen ze niet om?

opgaven opgaven opgaven



De figuur toont een perspectief-weergave van een ruimtelijke veelhoek. Kun je zien welke vorm het is, m.a.w., kun je de vorm op de meest makkelijke manier beschrijven? Hoe kan de tekening aangepast worden zó, dat die eenvoudige beschrijving het duidelijkst zichtbaar is?

veelhoek

*accuraat waarnemen
(en weergeven)*

Beelddenken en probleemoplossen

Ideevorming: denken in gelijkenissen

Nieuwe producten ontstaan dikwijls door te denken in gelijkenissen. Bekend is dat de Velcro-strip ontwikkeld is naar analogie met de klitplantjes die zo vervelend aan je kleren kunnen kleven. En radar wordt door vleermuizen al veel langer gebruikt dan door mensen. Sprinkhanen en spinnen maakten al gebruik van het principe om hun stabiliteit te verhogen door hun zwaartepunt lager te hangen dan het ophangpunt vóór mensen op het idee kwamen om dat ook bij koetsen en kinderwagens te doen (Laithwaite, 1989 \otimes ; zie *chassis*).

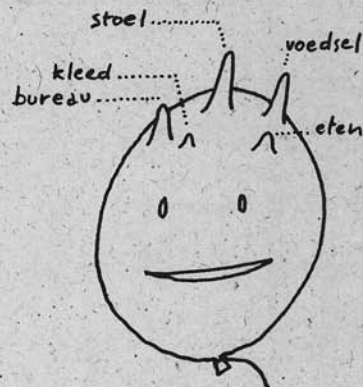
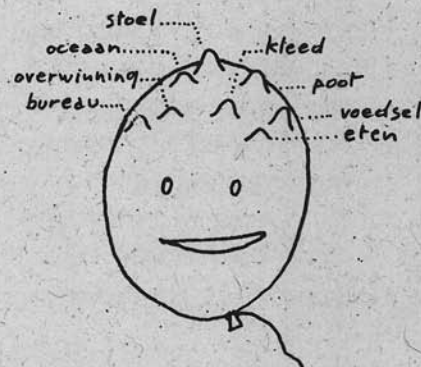
boofden
boven
primair; onder
secundair proces

chassis



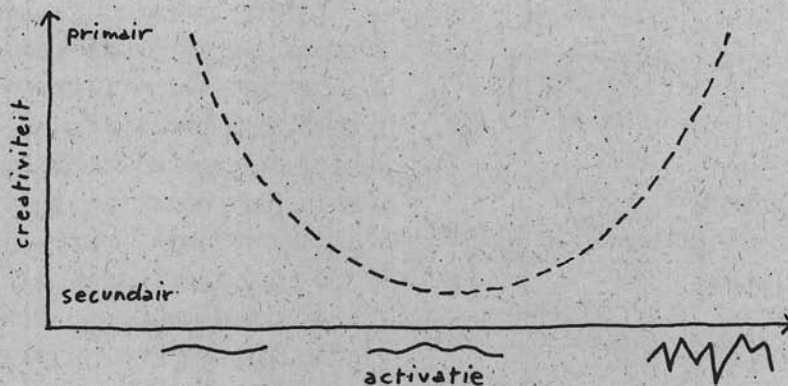
Nu blijkt dat sommige mensen beter dan anderen in gelijkenissen kunnen denken. Een manier om deze vaardigheid te meten is door middel van woord-associaties. Als je mensen vraagt om te gaan associëren bij een bepaald woord, bijvoorbeeld 'stoel', dan zijn er mensen die maar een kort lijstje van de meest voor de hand liggende associaties kunnen ophoesten en anderen die er veel meer kunnen produceren. Dit is onderzocht door Mednick (1962 \otimes), die stelt dat bij mensen met weinig associaties maar één of enkele keninhouden geactiveerd zijn (het secundair proces, de logos, het rationeel denken), terwijl bij de anderen heel veel keninhouden tegelijk actief zijn, maar wel op een lager niveau (het primair proces, de eros, het beelddenken). Dat nu (veel keninhouden actief op een relatief laag niveau) kenmerkt creatief gedrag (zie ook Martindale, 1981 \otimes). Het houdt in dat je makkelijker tot creatieve oplossingen kunt komen bij een lage graad van activatie (de Engelse term is 'arousal'; de activatie kan worden gemeten met hersengolven; veel

alfa-ritme betekent *weinig* opwindig) of juist bij een heel hoge. In die twee toestanden zijn namelijk veel keninhouden geactiveerd zonder dat één ervan het monopolie over de belangstelling heeft: de aandacht is gespreid (zie *boofden*).



activatie

In de zojuist genoemde studies wordt creativiteit gemeten door middel van tests. Een van de meest betrouwbare en valide tests is de zgn. 'Alternative Uses Test'. Daar krijgt de proefpersoon vragen voorgelegd zoals: "Noem zoveel mogelijk verschillende dingen waarvoor je een paperclip kunt gebruiken". Een andere is de 'Remote Associates Test'. Deze meet het vermogen om gelijkenissen te zien. Een voorbeeld van een vraag uit die test is: "Vul het woord in dat bij elk van de volgende past: ('pas', 'bloed', 'stel')" (antwoord: 'bank'). Mensen die creatief zijn (dat wil in deze experimenten zeggen: mensen die volgens hun omgeving creatief-werk geproduceerd hebben) scoren beduidend hoger dan mensen die volgens hun omgeving geen creatief werk leverden. Ook blijkt dat het activatieniveau bij het oplossen van die creativiteitstests bij hen veel lager ligt dan wanneer zij een intelligentie test proberen op te lossen. Ook bij een heel hoge activatie kan men over het algemeen gemakkelijker associatief denken (zie **activatie**).

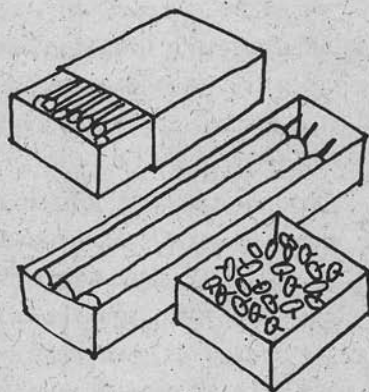


Het denken in gelijkenissen wordt bemoeilijkt doordat je in het verleden geleerd hebt op één bepaalde manier tegen een bepaalde probleemsoort aan te kijken. Een voorbeeld: stel dat je drie kruiken hebt om een bepaald volume water af te passen. Het eerste probleem is om 100 dl water te krijgen met behulp van drie kruiken A (21 dl), B (127 dl) en C (3 dl). Je kunt dit doen door B te vullen, en vanuit B water af te schenken: eerst A te vullen en vervolgens C twee maal te vullen vanuit B. Dan blijven er 100 dl over in B. (In formule: $B - A - 2C = 100$ dl.) Stel nu dat we mensen een reeks van deze problemen zouden geven, die allemaal op te lossen zijn als $B - A - 2C$. De meeste mensen ontdekken dit

na twee of drie van dit soort problemen. Hierna geven we de opdracht om 20 dl af te meten met A (23 dl), B (49 dl) en C (3 dl). Hiervoor is de makkelijkste oplossing om niet alle drie de kruiken te gebruiken: kruik A vullen en van daaruit C vullen ($A - C = 20$ dl). Maar veruit de meeste mensen zien dit niet meer en blijven proberen volgens de meer omslachtige methode die zij tevoren gevonden hebben. Een analoog voorbeeld van een probleem waar je gehinderd kunt worden door de manier waarop je gewend bent om met dingen om te gaan en tegen situaties aan te kijken wordt geleverd door de volgende opgave (gebaseerd op Duncker, 1945 ☉): "Veronderstel

kaarslicht dat je in een donkere kamer bent en gevraagd wordt die kamer op ooghoogte te verlichten. Je zult je verlichting op één of andere manier aan de wand moeten bevestigen. Je krijgt daartoe een doosje kaarsen, een doosje lucifers en een doosje punaises. Hoe los je dit op?" (zie **kaarslicht**).

Deze aspecten van creativiteit en het loskomen van 'vooroordelen' spelen een belangrijke rol bij beelddenken en ruimtelijk inzicht. Deze 'vooroordelen' treden niet alleen op bij specifieke problemen, maar evenzeer bij de wijze waarop we geneigd zijn het begrip 'ruimte' op te vatten. Net zoals bij de twee geschetste problemen lopen we snel de kans om het ruimtebegrip op een eenzijdige en nauwe manier op te vatten, juist doordat we al een 'pasklaar model' hebben dat in het verleden zo goed werkte (zie noot).



Hoe de klassieke natuurwetenschap 'ruimte' opvat

Iedereen heeft wel een intuïtief idee van het begrip 'ruimte', maar het wordt al snel moeilijker wanneer er gevraagd wordt dit precies te omschrijven. Dat is niet zo vreemd, omdat het begrip vrijwel even fundamenteel is voor ons denken als het nog moeilijker te omschrijven begrip 'zijn': het is moeilijk in eenvoudiger woorden te ontleden. Bovendien zijn wetenschappers het in de geschiedenis ook nooit eens geworden over één vaste definitie. Afgezien van zeer specifieke betekenissen, zoals in 'ruimtevaart', geeft van Dale's Woordenboek (Krujskamp, 1976) twee

omschrijvingen, overeen komend met de twee hoofdstromen in het denken over de ruimte, de relatieve en de absolute opvatting.

Relatieve en absolute ruimte

In de eerste omschrijving, "plaats om zich uit te breiden, zich te bevinden of te bewegen", wordt de ruimte opgevat als een *relatie* tussen voorwerpen. In de tweede omschrijving, "de onbegrensde uitgebreidheid, waarin zich de lichamen bevinden", is de ruimte iets wat losstaat van de lichamen, zoals het canvas in een fotorealistisch schilderij gedacht kan worden los te staan van het geschilderde: het is nodig om de verf aan op te hangen, maar wordt niet door de aanwezigheid van die verf beïnvloed ('absoluut' betekent letterlijk 'losgemaakt'). Als we ze toe passen op een toneelstuk, dan benadrukt de eerste stroming (o.a. Aristoteles [384-322 v. Chr.]) de onderlinge relaties tussen de spelers en decorstukken: als de spelers rondlopen, of de decorstukken verplaatst worden, dan veran-

dert de ruimte op het podium. Volgens de tweede stroming (o.a. Plato [429-348 v. Chr.]) is het podium zelf de eigenlijke ruimte, onafhankelijk van spelers of decor. Sinds de Griekse oudheid hebben aanhangers van deze twee opvattingen van ruimtelijkheid voortdurend met elkaar in conflict, maar ook in discussie, gestaan. Zij benadrukken twee kanten van het ruimtebegrip, die elk hun sterke en zwakke plekken en hun eigen optimale toepassingsgebieden hebben. Beide benaderingswijzen zijn op hun terrein vruchtbaar gebleken. Vreemd genoeg komt bijna uitsluitend de tweede aanpak naar voren in de opleiding tot ingenieur of wetenschapper. Hoe is dat gekomen? Zoals zoveel gebreken is ook dit tekort ontstaan uit een succes. De oorzaak lag in de enorme vooruitgang die in en dankzij de tweede benadering is geboekt op het gebied van de 17e-eeuwse (klassieke) mechanica. De invloed hiervan is zo groot geweest dat de vorderingen op het gebied van de eerste aanpak pas nu weer beginnen door te schemeren.

Rekenen en tekenen

In 1637 publiceerde Descartes [1596-1650] zijn "Discours de la méthode", waarin hij betoogde dat alle verschijnselen die de (toenmalige) natuurwetenschap bestudeerde konden worden verklaard met geometrische modellen. Bovendien slaagde hij er in een koppeling te maken tussen de ruimtelijke meetkunde enerzijds en de rekenkundige algebra anderzijds. Hij bedekte de ruimte met stelsels parallelle lijnen en koos een willekeurige lijnstuk als eenheid. Hiermee kon hij voor elke meetkundige handeling (cirkels tekenen, rechte lijnen trekken) een 'vertaling' vinden in algebraïsche handelingen (optellen, vermenigvuldigen) en omgekeerd kon hij de algebraïsche gevonden resultaten terugvertalen naar meetkundige. (Ook de Grieken konden al lijnstukken vermenigvuldigen om oppervlakken en inhouden te berekenen, maar Descartes wist de lengte dimensie weg te werken, zodat het produkt van twee lijnen niet per se een oppervlak hoefde voor te stellen,

en ook hogere machten dan 3, de dimensie van een volume, een betekenis kregen.)

In korte tijd werd deze methode verder uitgewerkt tot de 'coördinatenmethode', waarbij aan elke plaats in de ruimte een reeks getallen ('coördinaten') werd gekoppeld, en alle ruimtelijke relaties vertaald werden tot berekeningen met getallen. Dit maakte de vectorrekening mogelijk, waarmee de mechanica van Newton [1643-1727] werd geformuleerd. De successen daarvan zijn bekend. Het succes was zo groot dat in de jaren vijftig het wiskunde-onderwijs op de middelbare scholen werd herzien waarbij de traditionele meetkunde, die sinds Euclides [365-300 v. Chr.] vrijwel ongewijzigd volstaan had, vervangen werd door de vectoralgebra. Het gevolg van dit succes is dat de aandacht eenzijdig gericht werd op een opvatting die de ruimte reduceerde tot een getallenruimte van coördinaten: rekenen verving tekenen. De methode waarmee Newton zo'n succes had bij de problemen van de klassieke mechanica, werd kritiekloos aan-

geboden als de enige kant van de medaille.

In de tekst, en in de oefeningen, zullen nog tal van voorbeelden gegeven worden van problemen die niet zo goed met deze heersende opvatting kunnen worden opgelost. De aannames van deze ruimte-opvatting zijn in onderstaand kader op een rij gezet.

Eigenschappen van de ruimte in de klassieke mechanica

absoluut	de ruimte zelf wordt niet beïnvloed door de lichamen die zich er in bevinden.
homogeen	de ruimte zelf is overal hetzelfde, er is geen centrum aan te wijzen. Een oorsprong of lengte-eenheid moeten willekeurig (naar smaak) gekozen worden.
isotroop	alle richtingen in de ruimte zijn gelijk, de ruimte zelf heeft geen 'onder' of 'boven'.
leeg	er kunnen wel lichamen in de ruimte geplaatst worden, maar die lichamen zijn geen deel van de ruimte.
onbegrensd	er zijn geen randpunten te vinden.
oneindig groot	hoeveel doosjes van een standaardgrootte je ook in de ruimte plaatst, er passen er altijd meer bij (dit is niet hetzelfde als onbegrensd).
3D	om een positie eenduidig vast te leggen zijn 3 coördinaten nodig (driedimensionaal).
ongekromd	(dit wordt nog uitgelegd in de oefeningen).
euclidisch	tussen elke twee posities bestaat een afstand ('de ruimte heeft een metriek'). Deze afstand wordt met de stelling van Pythagoras berekend uit de coördinaten.

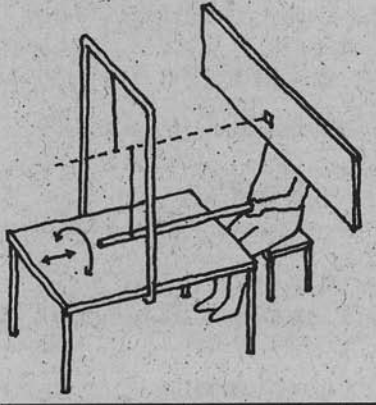
Hoe mensen ruimte waarnemen

De ruimtelijke ervaring, ofwel de 'beleefde' ruimte, werd in de wetenschap sinds Descartes opgevat als gelijk aan de Cartesiaanse ruimte. Het onderzoek erover is geïnspireerd door de idee dat de ruimte een assenstelsel is. Zoals in de meetkunde wordt de ruimte opgevat als een systeem van projecties op drie assen. Waar een punt zich in de ruimte bevindt wordt door die projecties bepaald. De eerste vraag die de onderzoekers zich stelden (en nog steeds stellen), was hoe we op die manier diepte kunnen waarnemen. Zij gingen dat onderzoeken volgens methodes die van de fysica, de modelwetenschap, afgekeken waren. Getrouw aan de ruimteopvatting en de onderzoeksmethodes geïnspireerd door Descartes, gingen zij in één situatie waar alle, als storingen opgevatte, complicaties zoveel mogelijk uit verwijderd was, na hoe die tot de waarneming van diepte zou kunnen komen. Het hoofd van de waarnemer werd vastgezet, en de waarnemer

moest afstanden van stippen of andere geometrisch simpele voorwerpen schatten.

Een voorbeeld van zo'n proefopstelling is gegeven in **Howard-Dolman**: de proefpersoon kijkt met één oog door 'n klein gaatje en moet proberen de stang zo te positioneren dat de naalden precies onder elkaar staan. Mensen

Howard-Dolman



diepte-ambigu

kunnen dit niet zo goed. De probleemstelling van de ruimtewaarneming door deze benadering, die nog steeds de meest populaire opvatting is, luidt als volgt. De wereld is driedimensionaal, maar ons netvlies is plat, dus tweedimensionaal. Toch zien we de wereld in drie dimensies. Het netvliesbeeld bevat evenwel niet vol-

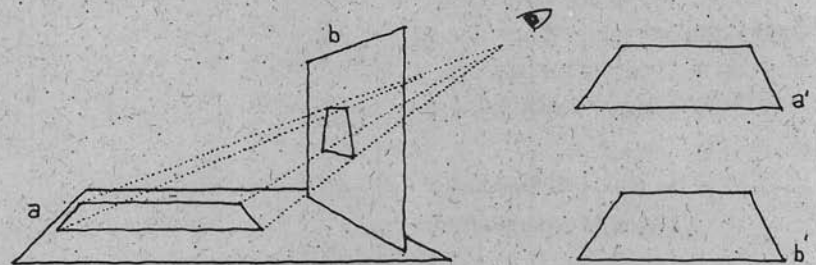
doende informatie om dat te kunnen doen. Dat wordt geïllustreerd in **Diepte-ambigu**. Waar halen we dan de bijkomende informatie vandaan?

Diepte: twee ogen

Het antwoord op die vraag luidt meestal: doordat we een heleboel dingen hebben leren interpreteren als diepteaanwijzingen en door het feit dat we twee ogen hebben; daardoor is er een verschil tussen de afbeeldingen van dezelfde scène op de twee netvliesen. Dat verschil komt voort uit het feit dat onze ogen ca. 6 cm uit elkaar staan. Met ons linkeroog bekijken we de voorwerpen wat

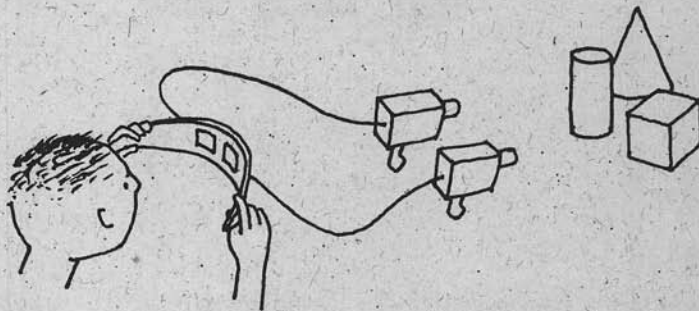
meer van links uit. Met het rechter oog zien we wat meer van de rechter kant. Leonardo da Vinci schreef dat we zo eigenlijk rondom voorwerpen kijken, als ze niet te ver weg zijn.

Als je het probleem van de ruimtewaarneming op deze manier stelt dan kun je niet anders dan tot de conclusie komen dat het met ons waarnemingssysteem maar treurig gesteld is. We hebben te weinig informatie om afstanden waar te nemen en om eenduidig en *direct* vormen te zien d.w.z. zonder uitgebreide redeneringen over de netvliesbeelden op te zetten of een groot beroep te doen op eerder geziene voorwerpen. Maar misschien is het probleem



stereo gewoonweg verkeerd gesteld: misschien is de situatie in **diepte-ambigu** niet representatief voor de manier waarop wij in onze dagelijkse omgeving waarnemen. Dit wil niet zeggen dat het verschil tussen onze netvliesbeelden en de aangeleerde diepte-aanwijzingen geen informatie over diepte kunnen leveren. Dat doen ze zeker. Maar misschien vormen ze niet het hele verhaal van ons dieptezicht, maar slechts een klein onderdeel ervan. Wel is het dan dat onderdeel waarnaar het meeste onderzoek is verricht en waarop de meeste technologische toepassingen van het ruimtelijk waarnemen zijn gebaseerd. Driedimensionale film-, televisie- of computerbeelden bijvoorbeeld.

Bij de meeste zgn. driedimensionale beeldweergavesystemen worden twee plaatjes afzonderlijk aan de ogen aangeboden (zie **stereo**). Twee camera's nemen uit verschillende posities een scène op, en er wordt gezorgd dat het beeld van de linker camera aan het linkeroog van de waarnemer wordt aangeboden, dat van de rechter camera



aan het rechteroog. De meeste systemen om bewegende ruimtelijke beelden te maken zijn ervan afgeleid. Om de twee beelden gescheiden aan te kunnen bieden werken zij met rood-groen brilletjes, de zgn. 'anaglyfen-systemen', polaroid-brillen, of met speciale geribbelde lenzen op het scherm. Bij computers worden zo ook helmen gebruikt die twee kleine TV-schermpjes bevatten vlak voor elk oog. Op die manier probeert men zo rechtstreeks mogelijk beide retina's te stimuleren, elk met de geschikte informatie. Deze systemen werken wel: ze geven een ruimtelijke indruk.

Diepte: meer informatie

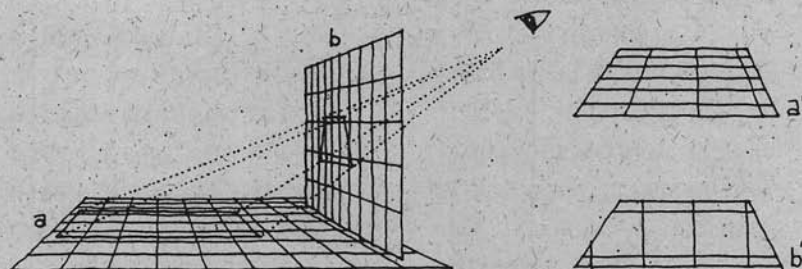
Maar daarmee is het verhaal niet af. De zojuist geschetste aanpak van de ruimtewaarneming heeft tot gevolg dat men uit het oog verliest dat peuters die maar over één goed functionerend oog beschikken toch feilloos door de ruimte laveren. Hoe kan dat? Dit betekent toch dat er voldoende en éénduidige informatie opgenomen kan worden door dat éne oog. Welke informatie zou dat kunnen zijn? Het antwoord op de vraag kwam van James Gibson (o.m. 1979). Gibson meent dat de onderzoeken over ruimtewaarneming veel te veel geïnspireerd zijn door de idee dat de ruimte een assenstelsel is. Maar zo ziet de ruimte

diepte-korrel

waarin we leven er niet uit. Die wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van een grondvlak. Dat grondvlak heeft bijna steeds een zekere ruwheid, een 'korrel', dat wil zeggen een min of meer regelmatige afwisseling van uiterst kleine heuveltjes en dalen. Deze korrel kan fijn zijn, zoals bij linoleum, of grof, zoals bij een pas omgeploegde akker. De korrel of textuur van het waargenomen oppervlak correspondeert met de structuur van het omringende licht dat in een observatiepunt toekomt. Deze optische structuur specificeert het oppervlak en de voorwerpen die zich erop bevinden zeer precies, zonder dat je dat hebt moeten leren. Gibson noemt dit de optie array. En als het observatiepunt beweegt spreekt hij van optie flow.

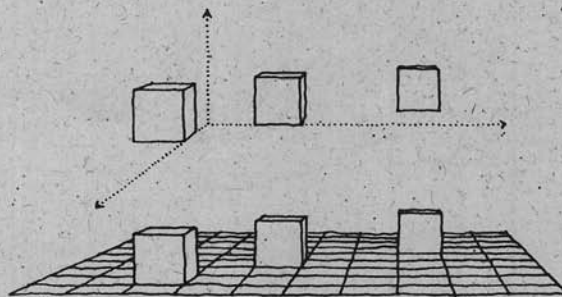
diepte-blokken**Diepte: textuur**

In **diepte-korrel** zie je de twee vierhoeken uit **diepte-ambigu** weer afgebeeld, met de twee verschillende netvliesbeelden erbij. Met textuur bestaat er duidelijk



wél een éénduidige relatie tussen optische structuur en de 'lay-out' van de omgeving. Elke vierhoek levert dan een ander specifiek netvliesbeeld op. Je kunt zien waar ze zich precies bevinden, hoe groot ze zijn, en wat hun vorm precies is. (Voorwerpen zonder korrel zie je niet. Een spiegel neem je niet waar. Het glas van een raam waardoor je naar buiten kijkt evenmin. Tenzij er vuil op zit. Textuur dus.)

Door die textuur zien we ook de drie blokken uit **diepte-blokken** als even groot. Toch zijn hun afbeeldingen niet even groot. Als je de moeite neemt om ze op te meten blijkt het rechter blok kleiner getekend is dan de andere twee. Maar hun relatie met het grondvlak is wél gelijk. Zij bedekken alle drie één vlakje van het raster dat de textuur van het grondvlak weergeeft. Het zijn deze



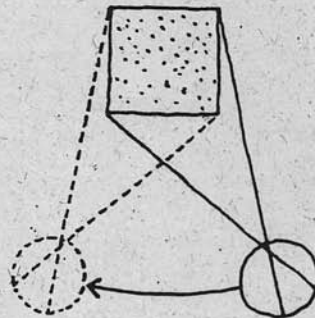
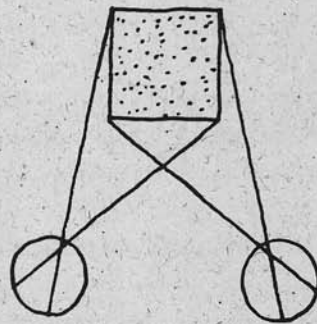
*2ogen/parallax
parallax-shift*

relaties van de blokken ten opzichte van het grondvlak die bepalen wat we zien, en niet de afzonderlijke blokken. Een klassieke illustratie hiervan is een foto van een vrouw in een lange gang. Het gedeelte van die foto waarop de vrouw is afgebeeld werd uitgesneden en op een andere plek lager in diezelfde foto nogmaals gemonteerd. Dat betekent dat beide afbeeldingen van vrouwen fysisch precies gelijk zijn. Maar doordat de voorste vrouw veel minder textuurelementen van het grondvlak bedekt dan de achterste lijkt ze veel kleiner. De achtergrond blijkt onze waarneming op een veel ingrijpender manier te bepalen dan vóór de komst van Gibson werd aangenomen. Hetzelfde geldt voor de beweging.

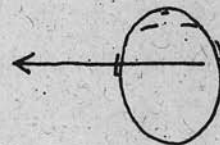
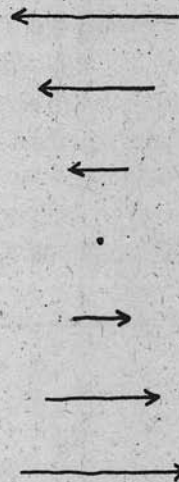
Diepte: beweging

Wanneer de waarnemer, zoals in het echte leven, niet vastgeschroefd zit, maar zijn hoofd kan bewegen, krijgt hij meer informatie over zijn omgeving. Wederom door relaties in plaats van losse

elementen: ook als het standpunt van waaruit de omgeving bekeken wordt wisselt, blijven bepaalde optische relaties tussen de verschillende textuurelementen constant. Er is zelfs meer informatie dan je met twee stilstaande ogen kunt krijgen. Het is niet zo moeilijk in te zien dat beide situaties uit **2ogen/parallax** dezelfde diepte-informatie opleveren.

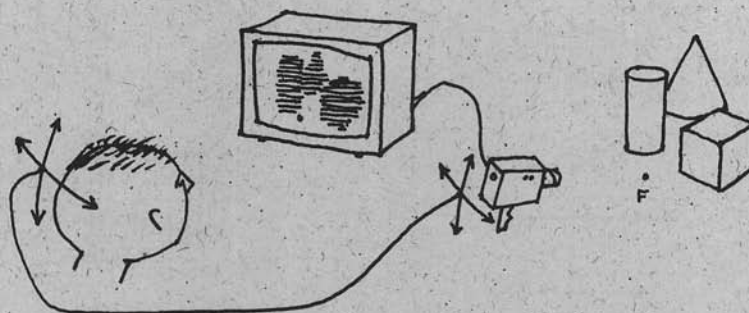


De verschuivingen op het netvlies die bij een beweging van het oog horen kunnen als volgt beschreven worden (zie **parallax-shift**): Stel dat ik mijn hoofd van links naar rechts beweeg en dat ik mijn blik op een vast punt gericht houd. Dan zal alles wat zich vóór dat zgn. fixatiepunt bevindt tegen mijn bewegingsrichting in lijken te verschuiven, terwijl alles wat zich



3D-systeem.

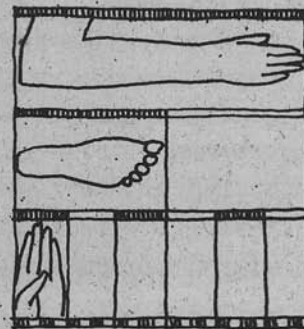
achter dat fixatiepunt bevindt met mij mee lijkt te bewegen. Zo lijkt bijvoorbeeld de maan steeds met je mee te reizen. De grootte van de pijlen in *parallax-shift* geeft ook de grootte van de desbetreffende verschuivingen aan. Als deze diepteinformatie echt gebruikt wordt door de waarnemer, dan moet je dat in experimenten kunnen aantonen, en dan moet je op basis ervan ook een werkingsprincipe kunnen ontwikkelen voor driedimensionale bewegende beeldweergavesystemen. Dat is een gedeelte van het onderzoek waar we sinds enkele tijd mee bezig zijn. Een voorbeeld van zo'n nieuw, op de beweging gebaseerd, 3D systeem staat getekend in **3D-systeem**. Het heeft geleid tot patenten en wordt onder meer geïmplementeerd in een endoscoop (een 'optisch geleidende' slang waarmee een chirurg het maag-darmkanaal in kan kijken) die je een goede driedimensionale indruk geeft, een bagage-inspectiesysteem dat een ruimtelijke indruk geeft van wat er zoal in je koffer zit en een multimedia systeem (Smets, 1992).

el-voet-palm.**De menselijke maat**

Bij het denken over 'ruimte' wordt het begrip 'meten' maar al te vaak opgevat als los van de menselijke maat.

Mensen hebben in de loop van de geschiedenis altijd maten gebruikt om uit te kunnen drukken hoeveel schapen ze hadden (als ze meer schapen dan vingers hadden) of hoe groot een brood is. Daarvoor is het nodig om het eens te zijn over deze maten. In de geschiedenis is er een evolutie te zien van overeenstemming in kleine gemeenschappen naar overeenstemming op mondiaal niveau. In de oudheid refereerden maten naar menselijke afmetingen

of menselijke gedragsmogelijkheden. Zo gebruikten de Mesopotamiërs de *el* (de afstand van de elleboog tot de vingertoppen), onderverdeeld in twee *voeten* die elk weer zijn onderverdeeld in drie *handpalmen* die dan weer elk onderverdeeld zijn in vier *duimen* (zie *el-voet-palm*). Xenophon gebruikt in zijn *Anabasis* dagmars-



en (parasangen) om de afstand tussen steden aan te duiden. Een nadeel van deze maten is dat niet alle mensen even groot zijn of even snel lopen. Elke stad had daarom zijn eigen stadswaag waar de plaatselijke gewichten, afstanden werden vastgesteld. Elk product dat in een stad werd binnengebracht moest dan ook opnieuw gewogen worden en daarvoor moest dan een tol betaald worden. Maar ook dichterbij huis worden dit soort maten nog altijd gebruikt. Een wandeling wordt uitgedrukt in uren, een afstand als een boogscheut of uren rijden, tot voor kort werd op de markt de el nog gebruikt om de lengte van stoffen te meten...

In de 17e en 18e eeuw vond er een revolutie in het denken plaats. Ondermeer door het toepassen van het Arabisch cijferschrift kende de wiskunde een enorme opbloei omdat rekenen veel eenvoudiger werd (probeer maar 's XXV met IX te vermenigvuldigen vergeleken met 25 en 9). Het algemeen geldende (en dit werd opgevat als het rationele, zie eerder) kwam op de voorgrond. Deze

opvattingen leidden tot de Franse revolutie waarbij iedereen gelijk werd verklaard aangezien iedereen dezelfde ratio (dat betekent niet alleen 'geest', maar ook 'verhouding') bezit en er geen goddelijke voorkeur voor bepaalde klassen of personen bestaat. Alle maten moesten dan ook een rationele grondslag krijgen. Zo werd de meter (de lengte van een bepaalde platina staaf die in Sèvres bewaard wordt) als eenheid van lengte en afstand ingevoerd voor het gehele land. Om handel te bevorderen werden plaatselijke tolbarrières opgeheven (te vergelijken met de Europese éénwording).

Dit systeem had nog een bijkomend voordeel: alles kon makkelijker gecontroleerd worden. De idealen van de Franse revolutie liepen namelijk nogal snel uit in tirannie. De veroveringstochten van Napoleon hebben dit tiendelig matensysteem over heel Europa (Groot-Britannië uitgezonderd natuurlijk) verspreid.

Het metrieke matenstelsel (het tiendelig verwijst stiekem nog naar de tien vingers maar is ook heel eenvoudig) heeft in wetenschap


en industrie enorme diensten bewezen. Denk alleen al aan het feit dat dezelfde eenheid gebruikt werd om verschillende grootheden te meten, zoals lengte van een voorwerp als de afstand tussen steden. In het Engelse 'Imperial' systeem is dat altijd nog niet het geval. Een inch (duim) heeft geen verband met een mijl, maar ze verwijzen wel allebei naar lichaamsmaten.

Maar het metrieke systeem is niet het beste voor ontwerpers omdat de verhouding met het lichaam onduidelijk geworden is. De Zwitserse architect Le Corbusier ontwierp een heel nieuw systeem, gebaseerd op lichaamsverhoudingen, om bv. hoogtes van plafonds in bouwmodules te bepalen.

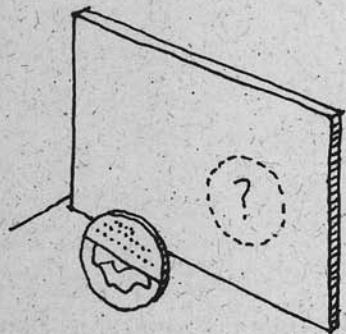
Voor ontwerpers zijn er twee mogelijkheden om de mens in zijn ontwerp te betrekken. Ten eerste kan men ontwerpen voor een bepaalde doelgroep. Babies hebben andere lichaamsverhoudingen dan volwassenen. Bij het ontwerp van een couveuse kan men hiermee rekening houden. Een tweede mogelijkheid is het zoeken naar dimensieloze grootheden, grootheden die uitgedrukt worden als een fractie van een individuele lichaamsmaat. Zo vond Warren (1984 ) dat de maximale treehoogte voor het beklimmen van een trap de verhouding is tussen de staphoogte en de beenlengte van een persoon. Deze verhouding is constant over mensen en is dimensieloos, verwijst niet naar meters of centimeters.

Conclusies

De belangrijkste conclusies uit deze waarnemingstheorie zijn, voor zover het het ontwerpen betreft, de volgende:

- 1 Elke waarneming, dus ook elke beleving van ruimtelijkheid, wordt niet zozeer bepaald door de waarneming van vormelementen, als wel door de *relatiepatronen* in het ons omringende licht en onze beweging. Om ruimtelijk te zien hebben we dus geen plaatjes nodig, maar eerder een soort van interferentiepatronen tussen onze handelingen en hun visuele (en andere) consequenties. Een voorbeeld hiervan is het hologram.
- 2 Elke waarneming is *standpuntelijk*. Theorieën (zoals die van Marr, 1982 ) die standpuntelijkheid in het uiteindelijke percept ontkennen zijn, althans voor wat dit punt betreft, nonsens. Implementaties (zoals patroonherkenning door de computer, vinden van een bepaald doel in de ruimte door een robot) die daarop gebaseerd zijn en die deze relativiteit in de ruimtewaarneming ontkennen zijn tot mislukken gedoemd.
Gevolg: de keuze van een standpunt beïnvloedt de *verstaanbaarheid* van een afbeelding.
- 3 Elke waarneming, dus ook elke beleving van ruimtelijkheid, is gekoppeld aan de *lichaamseigenschappen* van het waarnemend organisme. In platland en in *hyperspace* is er een andere ruimtewaarneming dan in onze gewone driedimensionale wereld. Daar zullen dan ook andere zintuigen van belang zijn. De waarnemer is geen Turing-machine, geen machine die willekeurige abstracte bewerkingen uitvoert: wat je ziet wordt ook bepaald door het soort lichaam dat je

opgaven opgaven opgaven

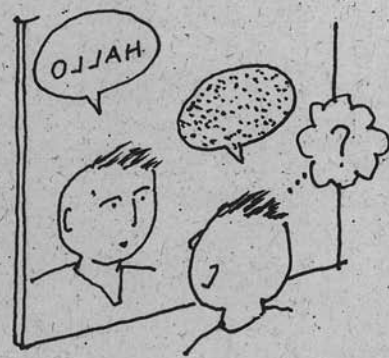
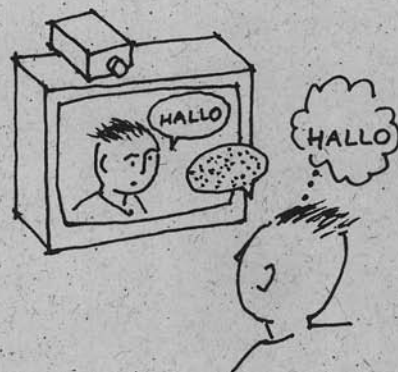
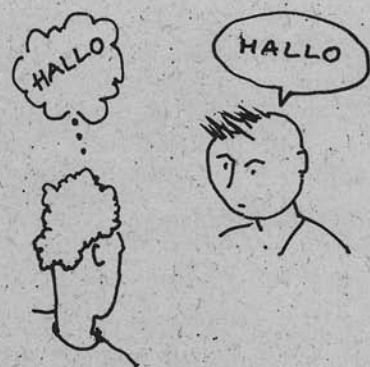


De figuur toont een stuiver die met de kop-kant naar je toe voor een spiegel staat opgesteld. Het spiegelbeeld van de munt-kant is wegge laten. Kun je hem intekenen? (Het gaat hierbij alleen om de '5' op de munt en je mag aannemen dat de onderkant van de '5' onder zit).

Nu doet zich de volgende paradox voor. De '5' zie je in spiegelschrift (d.w.z., je moet van rechts naar links lezen), maar niet ondersteboven. De spiegel verwisselt dus wel links en rechts, maar niet onder en boven. Welnu, dat is vreemd, want zowel links-rechts als onder-boven bevinden zich in het vlak van de spiegel: als je de spiegel ronddraait in zijn eigen vlak, d.w.z. rechts naar boven enz., dan verandert dit niets aan wat je te zien krijgt. Waarom gedraagt de spiegel zich dan wel anders t.o.v. links-rechts dan t.o.v. onder-boven?

opgaven opgaven opgaven

ontspiegelen



spiegelen

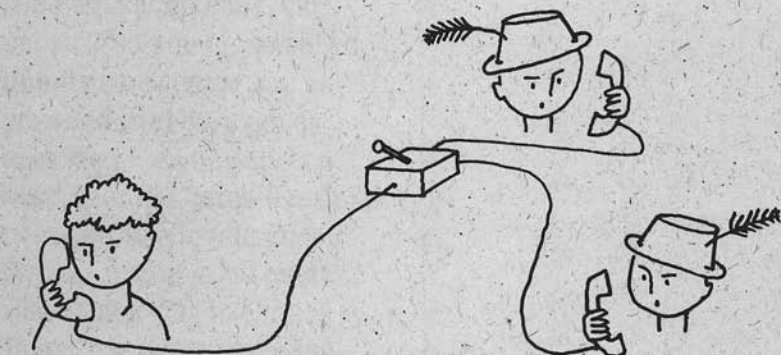
In de spiegel zie je jezelf altijd 'in spiegelbeeld', maar op een foto of op TV zie je jezelf 'normaal', d.w.z. zoals anderen jou zien. De derde figuur toont een opstelling waarbij je je haren kunt kammen terwijl je jezelf ongepiegeld ziet. Deze opstelling heeft -afgezien van de prijs-

een nadeel: je kunt jezelf niet in je ogen kijken. Kun je een goedkopere opstelling met spiegels verzinnen waarvoor deze problemen niet gelden?

opgaven opgaven opgaven

telefoon-
spiegeltest

spiegelen



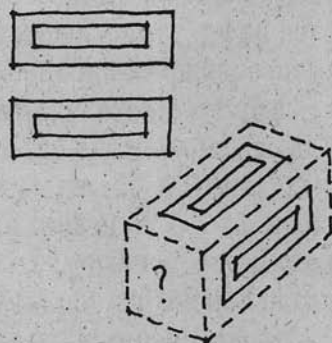
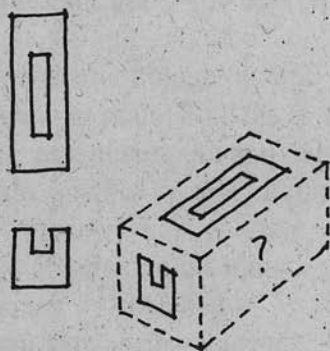
De woorden 'links' en 'rechts' leiden veel vaker tot vergissingen dan 'onder' en 'boven', vooral wanneer je iets met gesproken taal alleen duidelijk moet maken. Als je een tekening precies doorvertelt in deze termen, loop je de kans dat de luisteraar zich vergist tussen rechts en links en een volledig spiegelbeeldig idee overhoudt van wat je bedoelt. Wat 'links' is en wat 'rechts' lijkt uitsluitend van een conventie af te hangen, die je alleen kunt communiceren door tegelijk met de luisteraar naar eenzelfde object te verwijzen. Of zit er toch, ergens in de natuur, een prin-

cipieel onderscheid tussen links en rechts? Hierover gaat het volgende Science Fiction probleem. Stel je voor: je bent een astronaut en hebt net telefoon gekregen van een wezen ver in het heelal. Nou blijkt uit jullie gesprek dat dit wezen enorm op jou lijkt, want hoewel het nog nooit onze Melkweg heeft bezocht -of zelfs maar gezien- kent het jouw taal en lijken jouw en zijn beschrijving van je wereld volledig identiek. (Toegegeven, de kans hierop is tamelijk klein.) Jij en het wezen willen elkaar ontmoeten, maar voor de zekerheid wil je eerst weten of hij niet

uit een spiegelbeeldige wereld komt (weet je waarom dit van belang is?). Hoe kun je je daar van overtuigen via een telefoonconversatie? Je mag het wezen allerlei aanwijzingen geven en proefjes laten uitvoeren om dit uit te vinden. Het is bovendien geen wiskundige opgave, maar je mag al je kennis van biologie, scheikunde, natuurkunde etc. gebruiken. Hij kan alleen niet zien wat jij kunt zien, en je mag niets met de telefoonverbinding doen behalve praten en luisteren. Is er ergens in de natuur een principieel verschil?

opgaven opgaven opgaven

aanzichten

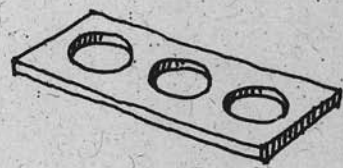
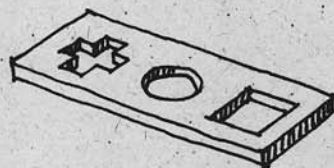
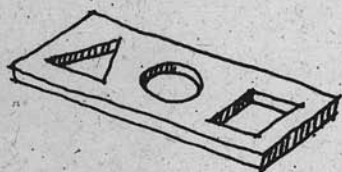


combineren
(arrangeren)

Bij technische tekeningen is het gebruikelijk om drie orthogonale aanzichten te tekenen, en om uit het zicht gelegen randen en naden door middel van stippellijnen weer te geven. De figuur toont een eenvoudige vorm met voor- en bovenaanzicht. Teken zelf het bijbehorend zijaanzicht. Had je dat ook gekund wanneer de perspectiefweergave niet gegeven was, door het derde aanzicht af te leiden uit de voor- en bovenaanzichten? Om de relatieve oriëntatie van de aanzichten aan te geven, kun je de aanzichten ook 'op 'n doosje' tekenen. Opdracht: teken de ontbrekende aan-

zichten en een perspectiefweergave voor de andere twee figuren. (N.B. vergeet de stippellijn-conventie niet!)

opgaven opgaven opgaven



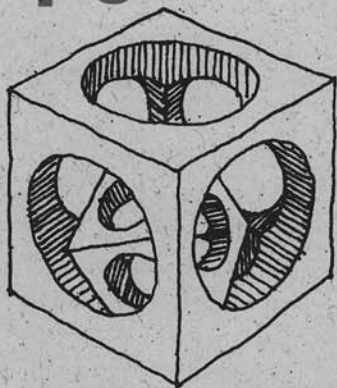
Dit is niet zozeer een puzzel, maar meer een oefening voor het ruimtelijk voorstellingsvermogen. Neem in gedachten een stuk kneedbaar materiaal (klei of boter) en duw dat langs drie onderling loodrechte assen door de

gaten in het bijgetekende plankje. Als alle drie de gaten een kubus zijn, dan is het makkelijk om in te zien dat de resulterende vorm ook een kubus is. Teken de driedimensionale vorm die je overhoudt wan-

neer je dit procédé uitvoert met elk van de drie hier getekende gatenplankjes. Kun je de gaten naderhand weer helemaal afsluiten met de verkregen vormen? Waar heb je de verkregen vormen al eens eerder gezien?

opgaven opgaven opgaven

kubus om kubus
om kubus om kubus
om kubus om kubus



Geef aan hoe de hiernaast getekende vorm (een kubus met gaten in een kubus met gaten, waarbij de kleine kubusjes net niet uit de grotere gaten vallen) gemaakt kan worden met behulp van een draai- en freesbank.

combineren

opgaven opgaven opgaven



Deze oefening bouwt voort op 'persen en vullen'. Verzin een ruimtelijke vorm die in drie loodrechte richtingen de hiernaast getekende drie schaduwen werpt. Voldoet de oplossing uit 'persen en vullen'? Kun je er nog andere vinden?

schaduwen

*combineren
(arrangeren)*

Onderzoek over beelddenken

Na de theorie en oefeningen wordt het nu tijd om ons enkele vragen te stellen over beelddenken zelf. De eerste vraag die in de wetenschap gesteld wordt is of beelddenken wel bestaat. De tweede is wat de overeenkomsten en verschillen zijn met waarnemen. De derde is in hoeverre de verbeelding steunt op mentale beelden ("pictures in the mind"). De vierde vraag die soms gesteld wordt is wat de preciese bijdrage is van beelddenken in de kunsten, de wetenschappen, en het ontwerpen.

Bestaat beelddenken wel?

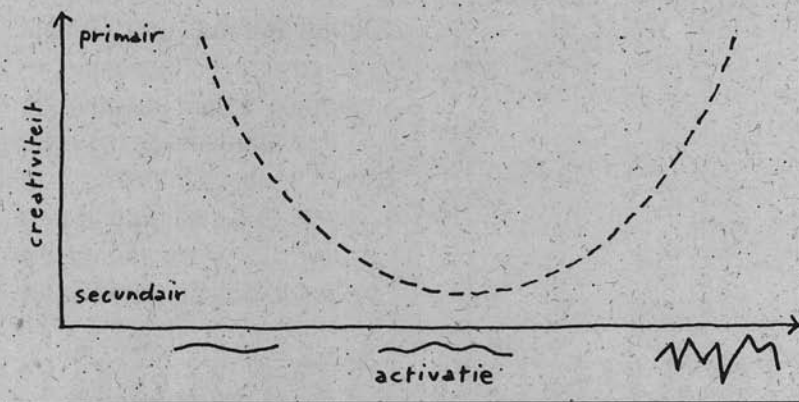
Lange tijd werd de stelling voor waar aangenomen dat er een verschil is tussen conceptueel (logisch-rationeel) denken en perceptueel kennen. Niet alleen voor schilders en beeldhouwers, maar ook voor andere kunstenaars, zoals dichters, dansers, schrijvers, musici, en voor sommige geleerden was het bestaan van beelddenken een evidentie.

activatie

Ook Sigmund Freud maakte bij het begin van deze eeuw onderscheid tussen twee soorten denken: het primaire en het secundaire. De eerste soort, die bijvoorbeeld optreedt als je droomt, is associatief en inductief van aard terwijl het tweede deductief en logisch is. Carl Jung (1963) gaf een meer poëtische omschrijving van Freud's onderscheid, en sprak van *Eros* en *Logos*. Die twee begrippen overlappen grotendeels Freud's opdeling, maar Jung benadrukt bovendien dat de eros intuïtief werkt, op basis van gelijknissen terwijl de logos vooral de verschillen tussen keninhouden belicht. Die tweedeling is later nog uitgewerkt door Werner (1948). Bij beelddenken (ofwel primair

denken ofwel Eros) zijn de keninhouden ongedifferentieerd, terwijl deze bij het talige, logisch-rationeel denken sterk gedifferentieerd en hiërarchisch georganiseerd zouden zijn. Het ongedifferentieerde denken treedt vooral op als je heel erg ontspannen bent, bijvoorbeeld tussen waken en slapen in, of als je net heel erg gespannen bent (vlak voordat je te horen krijgt of je ontwerp al dan niet door je opdrachtgever geaccepteerd wordt). Zie *activatie*.

Later is uit studies van psychometrici, wetenschappers die psychische eigenschappen proberen te meten, zoals Gardner (1983), inderdaad gebleken dat er niet één soort intelligentie is (zoals



Een precieze definitie van het begrip intelligentie is moeilijk te geven. Gardner (1983) spreekt slechts van aparte intelligenties als het gaat om een cluster van vaardigheden en vermogens die voldoen aan de volgende acht criteria:

1. Er zijn hersenletsels waarbij alleen dit cluster van vermogens en vaardigheden aangetast is.
2. Er bestaan idiots savants, wonderkinderen en anderen die uitzonderlijk goed zijn in alleen maar deze cluster van vaardigheden en vermogens.
3. Het cluster van vermogens en vaardigheden is helder te omschrijven.
4. Het heeft een specifieke individuele ontwikkelingsgeschiedenis, met een nauwkeurig te omschrijven eindtoestand.
5. Het heeft een specifieke filogenetische ontwikkelingsgeschiedenis.
6. Het bestaan ervan wordt ondersteund door experimenteel psychologische resultaten.
7. Het bestaan ervan wordt ondersteund door psychometrische gegevens.
8. Het is te vatten in een eigen symbolisch referentiekader.

Verder voldoet het nooit aan de volgende criteria:

1. Het is geen zintuigmodaliteit, maar sluit het gebruik van verschillende zintuigen in.
2. Het is geen specifiek detectormechanisme, zoals kleur- of lijndetectie, maar is algemener. Het is geen algemeen vermogen zoals analyse, synthese, zelfgevoel, maar is specifiek.
3. Het is niet evaluatief (het geeft geen oordeel over goed of slecht).
4. Het is minder een kwestie van know-that (propositionele, talige kennis) dan van know-how (daadwerkelijk kunnen). Zo kunnen de meesten van ons fietsen zonder te beschikken over propositionele kennis over fietsen. En velen van ons *weten* wel hoe ze een soufflé moeten maken, maar *kunnen* het niet. Het belang van 'knowing that' wordt bijna uitsluitend in onze Westerse cultuur zo sterk benadrukt.

lange tijd gedacht werd), maar dat verschillende intelligenties onderscheiden kunnen worden (zie ook het kader *Intelligentie*).

Wat is intelligentie?

Onder intelligentie verstaan we de vaardigheden en vermogens waardoor iemand problemen kan oplossen als hij ze tegenkomt, maar ook waarmee hij problemen kan vinden en creëren. Het gaat dan wel om problemen die binnen de gegeven culturele en persoonlijke context nuttig zijn. Op basis van de in het kader *Intelligentie* genoemde in- en uitsluitingscriteria is Gardner tot de conclusie gekomen dat het 'tijd-ruimtelijk kennen' (de term die hij hanteert voor beelddenken) een aparte en belangrijke familie van vaardigheden en vermogens is.

Net zoals bij de logisch-mathematische vaardigheden en vermogens is het tijd-ruimtelijk kennen nauw gebonden aan de motoriek. Een niet-accurate motoriek gaat meestal ook gepaard met een niet-accu-

rate tijd-ruimtelijke perceptie. Kinderen met een verlate lichaamslateralisatie (voorkeur om handelingen op één manier, bijvoorbeeld met de rechter hand, uit te voeren) hebben ook een verlate tijd-ruimtelijke orientatie (kennen van begrippenparen 'links-rechts', 'voor-achter' en zeker van 'gisteren-morgen'). Linkshandigen hebben gemiddeld een veel beter tijd-ruimtelijk inzicht dan rechtshandigen. Je vindt dan ook veel meer linkshandigen in ingenieursopleidingen, en in het bijzonder bij industrieel ontwerpen en bouwkunde, dan bij andere opleidingen.

Als we de culturele ontwikkeling van deze vaardigheden bekijken valt op dat wij er, in vergelijking met bijvoorbeeld 'primitieve' stammen als de Inuit (Eskimo's) en Pulawats, maar arm van afkomen. Inuit kunnen gemakkelijk er ondersteboven lezen, figuren uitsnijden onafhankelijk van de oriëntatie van het object dat ze nabootsen; ze kunnen gereedschappen herstellen die ze niet kennen. Een Pulawat van de

Carolina eilanden kan feilloos tussen honderden eilanden door zeilen en zijn weg vinden.

Maar wat het meeste opvalt is dat in alle culturen (bij de Pulawats, bij de Inuit, en bij ons) de hoogste realisaties op dit gebied dikwijls bij oudere mensen voorkomen. Denk aan Picasso, Titiaan, Moore, Chagall... Terwijl, bijvoorbeeld, de logisch-mathematische vaardigheden kwetsbaar zijn op latere leeftijd, is dit niet het geval voor de tijd-ruimtelijke vermogens - tenminste: niet bij hen die daarin getraind zijn. Gardner (1983, p. 204) zegt daarover:

"Er is een Gestaltgevoeligheid, een zin voor het geheel, die erg belangrijk is bij het beelddenken, en die een beloning lijkt voor het ouder worden - een toenemend vermogen om het geheel te waarderen, om het patroon te ontdekken, zelfs als de details ervan verloren gaan. Misschien berust wijsheid op deze gevoeligheid voor patronen, vormen en gehelen."

Maar ook al wordt beelddenken door veel mensen gebruikt en al wordt het als een apart cluster van

vaardigheden en vermogens beschouwd, dan zou het toch nog kunnen dat het maar een bijverschijnsel is, iets wat er eigenlijk niet erg toe doet en wat te reduceren is tot iets anders. Net zoals een beeldscherm erg nuttig is als je je computer wilt gebruiken, maar niet echt nodig. Je zou ook met andere outputkanalen, een printer bijvoorbeeld, toe kunnen. De vraag naar de preciese aard en functie van beelddenken stemde wetenschappers in eerste instantie huiverig. Dat komt omdat het een verschijnsel is wat behoort tot het subject *zelf*. Het gaat om mentale beelden, niet om de waarneming van dingen in de buitenwereld. En vaak bestaat de misvatting dat zulke subjectieve verschijnselen niet vatbaar zouden zijn voor controle: Dit soort huiver werd ook wel ingegeven door de modes die er de laatste vijftig jaren in de psychologie geheerst hebben. Het behaviorisme vierde hoogtij. Dat is de opvatting waar het gedrag wordt opgevat als een uitwendige reactie (R) op een uitwendige prikkel (S), en waar de betekenis van die prikkel tussen haakjes

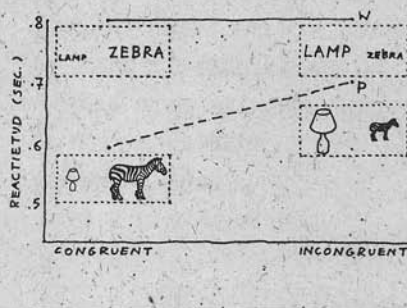
gezet wordt. Een puur mechanistisch mensbeeld dus (S-R psychologie en geen S-O-R psychologie, waar S staat voor stimulus, R, voor reactie en O voor organisme). De studie van de waarneming, laat staan die van het beelddenken, verviel, want zij werd niet wetenschappelijk bevonden.

Paivio

Sindsdien, in de zeventiger jaren, toen het behaviorisme op zijn retour was, is gebleken dat beelddenken wel op een controleerbare, wetenschappelijke wijze aange-toond en bestudeerd kan worden. Dat is vooral te danken aan Paivio, Shepard en Kosslyn.

Een van de allereerste experimenten betraf de kwestie of beelden op dezelfde manier gerepresenteerd worden als woorden. Paivio (o.m. 1978) vroeg zijn proefpersonen een groot aantal malen om van twee plotseling getoonde voorwerpen, bijvoorbeeld een lamp en een zebra, zo snel mogelijk aan te geven welk van de twee de grootste was. Hij registreerde daarbij de reactietijd van de proefpersonen, en vergeleek de reactietijden bij vier verschillende manie-

ren om de vraag aan te stellen. Twee manieren gebruikten plaatjes, de andere twee tekst. Bovendien gaf de helft van de plaatjes een 'correcte hint', en de andere helft een 'tegenwerkende' door het ene voorwerp groter dan het andere weer te geven (zie Paivio). De resultaten, ook getoond in de figuur, toonden dat de beslissing



over welke de grootste was sneller genomen kon worden met plaatjes dan met woorden. Bovendien bleek de 'hint' alleen te helpen bij plaatjes, en leverde het geen enkel voor- of nadeel op bij woorden. Blijkbaar kunnen we dit soort ruimtelijke vragen sneller, en waarschijnlijk efficiënter, beantwoorden via beelden dan via taal.

Ondanks de vele ervaringen en experimenten zijn er toch nog onderzoekers die blijven twijfelen aan het bestaan van beelddenken. Kan een mentale voorstelling, bijvoorbeeld die in een droom, tot inzicht leiden, of is er steeds eerst het inzicht dat vervolgens de visuele voorstelling oproept? Pylyshyn (o.m. 1979) is een belangrijke pleitbezorger van het laatste standpunt. Ook Dennett (1992) bijvoorbeeld stelt dat het brein uiteindelijk slechts een gecompliceerde machine is. De informatie voor dat brein wordt gereduceerd tot bits.

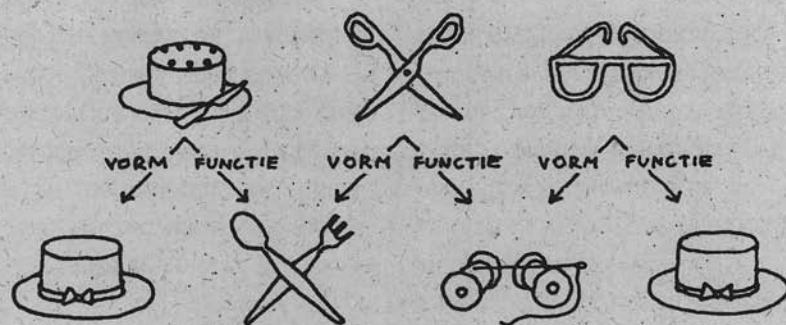
Nochtans wordt het hoe langer hoe meer duidelijk dat de wetenschappelijke feiten enkel verklaard kunnen worden als men het eerste standpunt accepteert en beelddenken als kenwijze op zich bestudeert. (Dit betekent ook dat het begrip informatie anders gedefinieerd zal moeten worden. Het is dan niet langer alleen een kwestie van hoeveelheid, van informatie-grootte.

In de studie van de waarneming en van het beelddenken speelt de

L/R-stim

hoedanigheid, de soort informatie een even grote rol. Het betreft hier gedragsinformatie: informatie die de koppeling van perceptie en actie mogelijk maakt.) Er zijn namelijk heel wat gegevens die erop wijzen dat de ene helft van onze hersenen vooral de verbale informatieverwerking herbergt, terwijl de rechter hersenhelft beter is in beelddenken (Hellige, 1990 ^o). (Meer precies stelt Hellige, daarbij verwijzend naar o.m. Bradshaw & Nettleton, 1983 ^o, dat *"the right hemisphere is superior to the left for certain aspects of visuospatial and manipulospatial processing. ... The right hemisphere is also superior to the left for the production and perception of emotion."*)

Een kenmerkend experiment is het volgende: personen bij wie de verbinding tussen de hersenhelften was doorsneden (iets wat gebeurde bij de behandeling van epilepsie) kregen de opdracht hun blik op een punt op een scherm voor hun te fixeren. Vervolgens werd, links of rechts van dat punt, heel even een tekening geprojec-



teerd uit de bovenste rij van **L/R-stim**. Daarna wordt hen gevraagd wat zij gezien hebben: zij moesten uit de onderste rij plaatjes er een aanwijzen, diegene die het meest op het juist getoonde plaatje leek. Wanneer het plaatje links in het visuele veld werd aangeboden (d.w.z. aan de rechter hersenhelft), dan was het antwoord vooral gebaseerd op globale vormaspecten. Werd het daarentegen in het rechter visuele veld aangeboden (linker hersenhelft), vooral op functionele overeenkomsten.

In 1977 is een nieuw wetenschappelijk tijdschrift opgericht, het *Journal of Mental Imagery*, dat in zijn openingswoord stelde:

"It appears that there are at least two main encoding systems: a verbal-sequential one and an imagery-spatial-parallel processing one. Both are needed for optimum functioning. The imagery system, due to its concrete and contextual nature appears more akin to perception. In fact, it has been convincingly demonstrated that an image and a percept cannot be distinguished from each other on the basis of any intrinsic qualities of either phenomenon."

Volgens onze opvatting is het kortzichtig een onderzoekslijn die de laatste vijftien jaar rijke en nieuwe resultaten opleverde af te doen als onmogelijk, gewoonweg omdat men per se wil volhouden dat ons

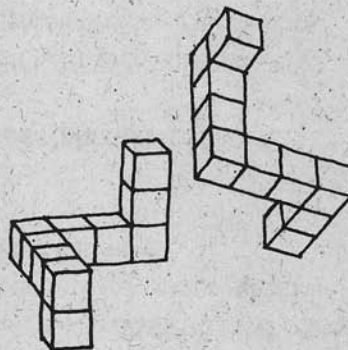
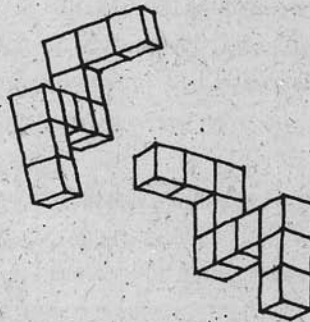
rotatie.

kennissysteem werkt als een machine. Moet het ons niet eerder aan het denken zetten dat Lindauer (1981, p.497 ^o), bij een onderzoek naar beelddenken bij kunstenaars (dichters, componisten, dansers...), rapporteert dat *"Respondents generally seemed amused to hear, when it was later pointed out at the debriefing, that many psychologists held serious reservations about the presence and importance of imagery."*

Beelddenken en waarnemen

Shepard & Metzler (1971 ^o) deden een proef die de overeenkomst tussen het gebruik van mentale beelden en visuele waarnemingen aangeeft. Zij lieten hun proefpersonen paren van afbeeldingen van driedimensionale vormen zien zoals in **rotatie**. De vraag die zij aan hun proefpersonen stelden was of de tekeningen paren twee afbeeldingen zijn van hetzelfde object, of niet.

Zij deden dit met groot aantal tekening-paren van objecten die van 0 tot 180 graden ten opzichte



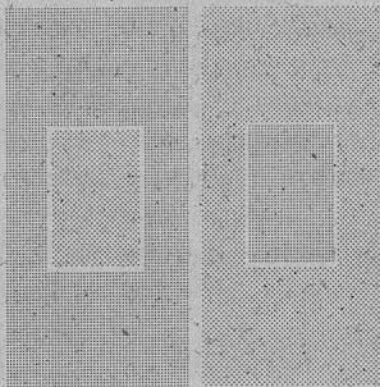
van elkaar gerooteerd waren (en natuurlijk met tekeningen die niet met elkaar klopten). Hoe groter de rotatieafstand tussen beide objecten waren, des te langer bleken de reactietijden. De proefpersonen zeiden dat ze de taak uitvoerden door zich een voorstelling te vormen van de eerste afbeelding en die dan mentaal

naar de positie van de andere afbeelding toe te roteren. Het is opvallend dat er een rechtlijnige relatie is tussen de reactietijden van de proefpersonen en de rotatiehoeken in de plaatjes. Blijkbaar worden de beelden op een continue manier en met een constante snelheid gerooteerd. Mentale beelden kunnen op dezelfde wijze als voorwerpen en tekeningen worden gerooteerd. Later werd deze proef op nog geavanceerdere wijze uitgevoerd op mensen (o.m. Metzler, 1973 ^o) en op dieren. Ook duiven bijvoorbeeld gebruiken beelddenken. Je kunt een analoge proef op ze uitvoeren en je verkrijgt dan analoge resultaten (Roitblat & Von Fersen, 1992 ^o). Duiven en ook een heleboel andere vogels hebben trouwens een goed ruimtelijk beeld van de plek waar hun nest is, of waar ze hun voedsel verborgen hebben. Duiven kunnen bijvoorbeeld foto's van plekken in de buurt van hun hok herkennen (Roitblat & Von Fersen, 1992 ^o).

Een mentale voorstelling lijkt in zoverre op een waargenomen

beeld dat het evenzeer grootte en ruimtelijkheid bezit en niet louter een beschrijving daarvan is. Het beeld zelf *is* ruimtelijk, het *beschrijft* de ruimte niet. Voor een mentaal beeld gelden in dit opzicht dezelfde eigenschappen als voor een waargenomen beeld. Zo versmelten de lijnen van een mentaal voorgesteld schuin lijnenpatroon sneller tot een grijs vlak dan die van een mentaal voorgesteld verticaal lijnenpatroon, net zoals dat bij echte lijnenpatronen, zoals die uit *versmelting* het geval is. Met 'sneller' wordt bedoeld dat verder uit elkaar gelegen diagonale lijnen even snel versmelten als dicht bij elkaar gelegen verticale lijnen.

versmelting



De twee beschreven experimenten (en veel andere ook) geven aan dat informatie bewaard wordt in een vorm die gelijk is aan die van de informatie die bij het waarnemen ontvangen wordt. Waarnemings- en denkbeelden zijn analoge representaties van elkaar (Roitblat & Von Fersen, 1992 ). Daarbij dien je er evenwel geenszins van uit te gaan dat er zich beelden, in de zin van 'plaatjes', in het hoofd bevinden.

Geen 'plaatjes' in het brein

Het heeft geen enkele zin over mentale beelden te denken als over plaatjes die ergens in het hoofd terug te vinden zouden zijn. Wie zou daar naar moeten kijken? In de plaats daarvan praten we over het verbeeldingsgedrag, de act van het beelddenken.

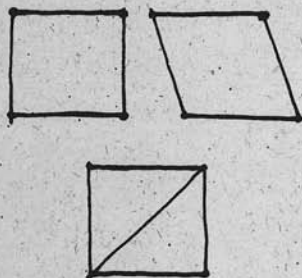
Het is trouwens ook bij de waarneming misleidend om het netvliesbeeld op te vatten als een plaatje. Dat plaatje *kán* wel bekeken worden, zoals Descartes deed met een uitgerepareerd osse-oog.

Hij sneed een venster in de achterkant van zo'n oog en bedekte dat met papier. Hij zag dan een klein, omgekeerd beeld op dat papier-scherm.

Maar dat is niet waarvoor het netvlies dient. En gewoonlijk gebeurt het ook niet. Plaatjes zijn niet noodzakelijk om te kunnen zien. Ook een hologram laat zien toe. Dat komt omdat de structuur van het licht de noodzakelijke informatie levert om te kunnen zien. Soms kan die structuur goed met een plaatje worden weergegeven. Soms niet. Dat is niet erg, want zolang de structuurpatronen in het licht intact zijn zien we toch: (Ook het feit dat de hersenen zo geordend zijn dat je er geordende neurale plaatjes van kunt maken is wellicht alleen maar een epifenomeen; Barlow et al., 1990 ). Maar het betekent dat een plaatje, een foto, etc. niet zomaar gelijkgesteld kan worden aan "dat wat we zien".

opgaven opgaven opgaven

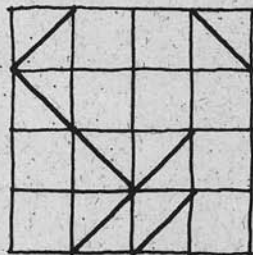
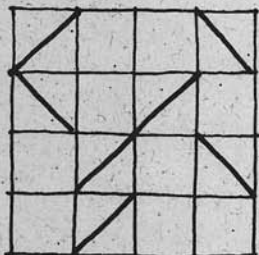
draadramen



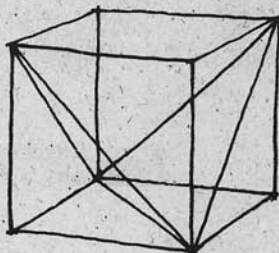
De figuur hiernaast toont een klein, vierkant, draadraam.

Als de verbindingen scharnierend zijn, kant het vierkant uitgerekt worden tot een ruitvorm, maar als over een diagonaal nog een verbinding wordt toegevoegd, dan is de vorm star.

bewegen



De andere figuur toont twee grotere draadramen, ieder bestaande uit 4×4 vierkantjes met 7 diagonaalverbindingen. Zijn deze als geheel ook star (bestand tegen vervormingen) in het platte vlak? Probeer dit op te lossen door de ramen in gedachten uit hun vorm te trekken.

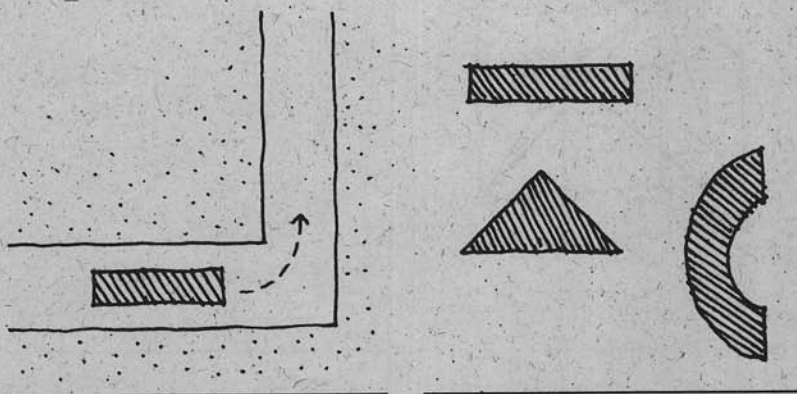


De derde figuur toont een driedimensionale variant. Is de getekende kubus star in drie dimensies? Zo nee, in welke richting is de kubus te vervormen, en welke extra verbinding zou dat tegen kunnen gaan?

opgaven opgaven opgaven

piano

bewegen

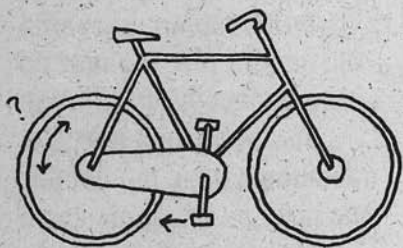


Dit is een eenvoudige variant op het piano-door-een-trap-penhuis probleem. Getekend is een 'piano', een aaneengesloten starre vorm in een gang die een haakse bocht maakt. Kun je zien (zonder te gaan uitknippen en proberen) of de vorm de hoek kan passeren zonder de kanten te raken? Welke van de andere getekende 'piano'-vormen kunnen de hoek wél passeren, en welke kunnen dat niet?

Wat is de grootste aaneengesloten vorm van 'piano' die de hoek nog om kan?

opgaven opgaven opgaven

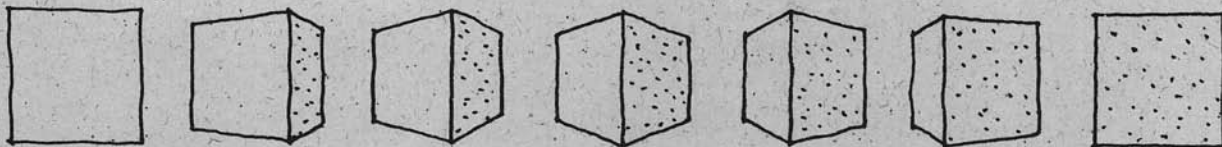
Beweegt de trapper op het onderste punt netto gezien vooruit of achteruit? Zet in gedachten een fiets neer op een ruwe ondergrond en duw tegen de onderkant van de trapper, zoals in de figuur is aangegeven. Rijdt de fiets als geheel dan achteruit of vooruit?



fiets

bewegen

opgaven opgaven opgaven



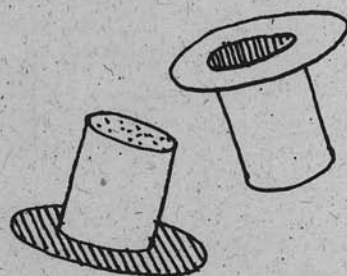
Bij het maken van een perspectiefaanzicht van een voorwerp heb je een enorme vrijheid in de keuze van het gezichtspunt (standpunt). Sommige standpunten laten de ruimtelijke vorm beter uitkomen dan andere.

Hierboven staat een zevental aanzichten van een kubus die verkregen zijn door er 90 graden om heen te lopen. Op de eerste en de laatste na lijken ze nogal op elkaar, zijn de tekeningen niet 'topologisch verschillend', wat wil zeggen dat je de tekeningen in elkaar kunt vervormen door je voor te stellen dat ze op zeer rekbaar rubber zijn getekend. De overgangen naar de uiterste tekeningen zijn wél topologisch verschillend: die kun je niet bewerkstelligen door de tekening alleen maar op te rekken.

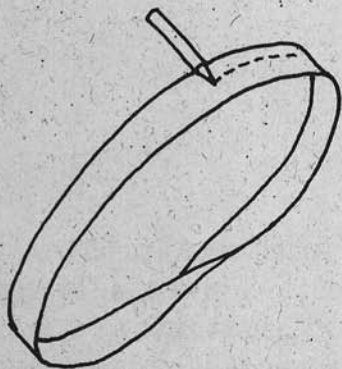
Als je je standpunt naar boven kunt verleggen kun je ook het bovenvlak van de kubus 'in beeld' krijgen. Hoeveel topologisch verschillende aanzichten levert die bewegingsvrijheid extra op? Hoeveel topologisch verschillende aanzichten heeft een kubus waarvan alle vlakken dezelfde kleur hebben? Teken ze.

Teken alle topologisch verschillende aanzichten voor een 'open' kubus, waarbij één zijvlak is verwijderd. Je mag ook het inwendige van de kubus betreden, maar moet je tekening dan maken alsof je een super-fish-eye-lens gebruikt, d.w.z. dat je alle kanten tegelijk op kijkt met je tekening, en dat de rand van de tekening altijd de 'buitenlucht' toont.

Teken de verschillende aanzichten van de 'hoge hoed'. Neem aan dat alle vlakdelen een andere kleur hebben.



opgaven opgaven opgaven



Een Möbiusband is een curieus voorwerp. Neem een strook papier en plak de korte kanten aan elkaar. Als je dat 'gewoon' doet, houd je een cylinder over, maar als je één uiteinde van het papier eerst een halve slag draait, dan wordt het een Möbiusband, een vorm met een aantal onverwachte eigenschappen. Probeer de volgende opdrachten uit te voeren, eerst in gedachten, misschien met behulp van wat schetsjes of diagrammen, en controleer je voorspellingen daarna 'in het echt'. Doe het zowel voor een cylinder als voor een Möbiusband.

(1) Plaats een potlood mid-

den op het papier en trek een lijn over de lengte van de band tot je weer op je startpunt uitkomt. Wat is de lengte van de lijn? Doe hetzelfde aan de achterkant van het papier.

(2) Neem een schaar en knip de band langs de zojuist getekende lijn door. Hoeveel stukken papier houdt je over,

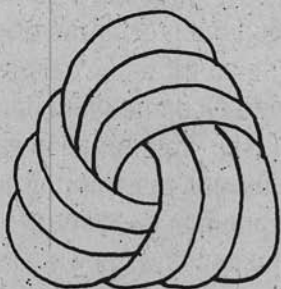
zitten ze aan elkaar vast, en zijn het cylinders, Möbiusbanden, of nog iets anders? (3) Herhaal stappen 1 en 2 met de zojuist verkregen vormen.

(4) Voer stappen 1 en 2 uit met een nieuwe Möbiusband, maar trek de lijn niet halverwege, maar op $1/3$ afstand van de rand.

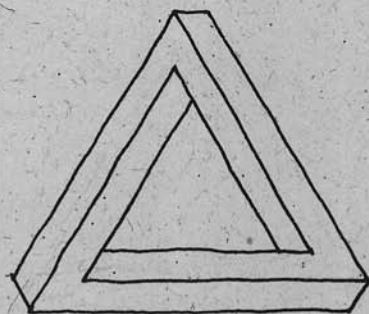
opgaven opgaven opgaven

Möbius?

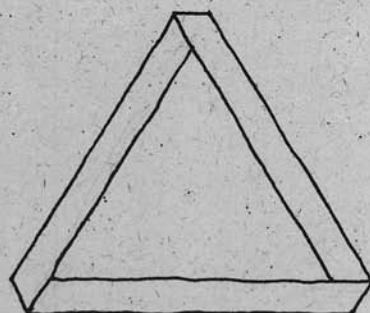
bewegen



De figuur hierboven toont een eenvoudiger variant van het 'zuiver scheerwol'-symbool. Uit hoeveel banden bestaat de vorm, en zijn dat Möbiusbanden? Neem één of meer stroken papier en probeer de vorm te vouwen. Bekijk de vorm van de achterkant. Ziet die er hetzelfde uit, of is die spiegelbeeldig? Maak in het laatste geval ook het spiegelbeeld van papier.



De figuur toont de 'Penrose-driehoek', een zogenaamde 'onmogelijke figuur' die een driedimensionale vorm suggereert die niet compatibel is met de onderdelen van de figuur. (Penrose leidde de figuur af uit de bekende visuele paradoxen van Escher.) Ernaast staat een gereduceerde vorm van de driehoek, waarin je een Möbiusband kunt herkennen. De ruimtelijke vorm van de driehoek is ook 'n soort Möbiusband: je kunt op een zijde beginnen en dat in lengterichting volgen tot je aan de korte zijde over de rand gaat, daarna het volgende vlakdeel volgen. Kom je zo weer altijd



uit op je beginpunt? Heb je dan alle zijden van de driehoek bewandeld, of heb je er overgeslagen. Als je ze niet allemaal gehad hebt: vormen de overgebleven zijden een tweede, gescheiden traject, of zijn ze los van elkaar?

Beelddenken in kunst en wetenschappen

De ontwikkeling van een ontwerp

Houten fietsen, hobby-horses, safety-bicycles, mountainbikes en spanfietsen zijn maar enkele willekeurige voorbeelden van fietsmodellen die sinds het begin van de negentiende eeuw op de markt zijn verschenen. In hoeverre zijn beelddenken en logisch-rationeel denken van belang bij het ontwerpen van een nieuw produkt? Hoe verliep de ontwikkeling van de diverse modellen van de fiets? De keuze van de fiets als produkt is arbitrair maar is zeer geschikt om de eerder beschreven ideeën nader te concretiseren.

In het kader *fiets*, wordt een beschrijving gegeven van de ontwikkeling van de fiets, kort in een tekst en in een overzicht met afbeeldingen. Vervolgens wordt deze ontwikkeling in een theoretisch kader geplaatst. Aan het eind van dit stuk worden de bevindingen gegeneraliseerd naar de ontwikkeling van een produkt en ontwerpen in het algemeen.

De ontwikkeling van de fiets

De geschiedenis van de fiets is veelal beschreven als of het een lineair proces zou betreffen: nieuwe modellen zouden logisch volgen op de vorige modellen en dat proces zou geleidelijk over de tijd gespreid zijn (zie bijv. Ferguson, 1974 \otimes). Pinch en Bijker (1990 \otimes) hebben aangetoond dat dit niet opgaat. Dat er desalniettemin, veelal impliciet, van een lineaire structuur van technologische ontwikkeling wordt uitgegaan komt volgens hen doordat er in de meeste gevallen slechts aandacht wordt geschonken aan *geslaagde* innovaties. De aard van de ontwikkeling van, bijvoorbeeld, de fiets kan beter worden beschreven met concepten uit de niet-lineaire dynamica en de biologische evolutie-theorie.

Bij het ontwerpen van een produkt is men over het algemeen gedreven door het idee om iets 'nieuws' te doen. Onder een 'nieuw' vondst verstaan we twee of meer op zich zelf staande feiten, ideeën, inzichten of elementen,

die op creatieve wijze gecombineerd worden tot iets bruikbaar. Is er eenmaal een nieuw model dan zal men dit model op allerlei manieren proberen te optimaliseren. Op den duur raakt men echter weer aan de vernieuwing gewend, de vernieuwingsmogelijkheden binnen een bepaald model zijn dan uitgeput, en men moet weer nieuwe prikkels hebben wil men een produkt innovatief vinden. In een dergelijk geval zal men een (spronggewijze) overgang zien naar een nieuw model (in dynamische termen een 'transitie'): bijv. van 'Ordinary' naar 'Safety' tweewieler. Ten tijde van een overgang is er sprake van een mix ('kritische fluctuaties'). Het oude model zal na enige tijd worden verlaten maar het is nog niet duidelijk wat het nieuwe model zal worden en men ziet zelfs nog een 'terugschieten' naar het oude model. In de geschiedenis van de fiets is de periode 1870-1885 een goed voorbeeld van een dergelijke periode waarin een hoge mate aan diversiteit in modellen is waar te nemen.

Een linearisering van de ontwikkeling van de fiets wekt te veel en ten onrechte de suggestie dat het zou gaan om een rationele ontwikkeling. Zoals valt op te maken uit de gegeven beschrijving (en nog beter is te zien in de afbeeldingen) voltrok deze ontwikkeling zich volgens een uiterst gevarieerd, chaotisch en pragmatisch 'trial and error' proces. Sommige modellen zijn dan ook toevallig ontstaan. Er zijn talloze voorbeelden van toevallige ontdekkingen te geven. Het belang van toevallige ontdekkingen kan het best worden aange-toond door een vergelijking met biologische evolutie te maken (zie Martindale, 1981 ). Om te kunnen adapteren aan een zich continu wijzigende omgeving in een onzekere toekomst is random variatie noodzakelijk (i.e. mutaties). Selectie betekent dat slechts één of enkele van de ontstane variaties succesvol blijken te zijn. Veel ontwerpen zijn daarentegen niet succesvol. Voorbeelden hiervan zijn de 'Draisienne', de 'Boneshaker', ontwerpen met wielen van ongelijke diameter die het lang uithouden maar op een ge-

ven moment uitsterven, de aandrijving zonder ketting, de kromme buizen in de frames etc.

In de ontwikkeling van de fiets is zichtbaar gemaakt dat er door de tijd heen verschillende eisen (selectiedruk) aan de nieuwe modellen werden gesteld: stabiliteit, veiligheid, snelheid, comfort, produktiemogelijkheden etc. Tevens geldt dat een door een ontwerper gekozen oplossing voor een probleem door gebruikers een andere betekenis kan krijgen (Pinch & Bijker, 1990 .

Beelddenken en produktontwikkeling

Een ontwerper is een probleem-oplosser voor een probleem waar in principe meerdere goede oplossingen mogelijk zijn. Deze oplossingen verschillen wel in de mate van nieuwheid. De truc is om in het scala van mogelijke oplossingen de meest vernieuwende, i.e., creatieve te vinden. Het probleem voor een ontwerper is daarbij om zowel aan te sluiten bij in die tijd

geldende spelregels en opvattingen als daar in voldoende mate van af te wijken. Dit vraagt van een ontwerper de paradoxale combinatie van zowel creativiteit als conservativiteit. Wijkt men te veel af van bestaande modellen en opvattingen dan stuit men op weerstand zoals in het begin weerstand was tegen de fiets in het algemeen. Volstaat een ontwerper met alleen maar vrij associëren, d.w.z. loskomen van bestaande ideeën, dan zal er geen nieuw produkt verschijnen. Is een ontwerper alleen maar systematisch een oplossing aan het uitwerken dan zal hij niet tot werkelijk innovatieve produkten komen. Als zodanig sluiten 'toevallige vondsten' en systematisch onderzoek elkaar niet uit maar vullen elkaar aan en versterken elkaar (Augustinus merkte al op dat het latijn twee werkwoorden heeft voor 'ik denk', namelijk 'cogito'; letterlijk 'ik schud samen', en 'intelligo', 'ik kies tussen').

Een star, oncreatief, persoon zal één oplossing kiezen, vooral voortbouwend op bestaande

inzichten en opvattingen, en die verder uitwerken. Een creatief persoon echter is in staat om een gekozen oplossing los te laten en, op basis van het leggen van bijvoorbeeld nieuwe associaties (variëren), een nieuwe oplossing uit te proberen. Beelddenken kan hierbij een belangrijke rol spelen. De essentie is dat er koppelingen worden gelegd die nodig zijn voor het vinden van een innovatieve oplossing. Het leggen van nieuwe associaties gebeurt bij een creatief persoon op een zo los mogelijke manier. Neuraal kan dit op twee, elkaar niet uitsluitende, manieren worden begrepen: men dient een vrij lage arousal—i.e. algemene activiteit van het zenuwstelsel—te hebben; of men dient 'chaotische' activiteit in het zenuwstelsel te hebben.

Het begrip chaotisch heeft betrekking op die dynamische organisatievorm van een niet-lineair systeem waarin het een groot scala toestanden kan innemen. Indien de hersenactiviteit 'eenduidig' is (in dynamische termen bijv. een 'limietcyclus') dan zullen er weinig

tot geen nieuwe associaties worden gelegd. Blijkt nu dat de hersenactiviteit 'diffuser' is (chaotisch) dan kan een nieuwe associatie gevonden worden. In een chaotisch regime is de naar voren komende oplossing afhankelijk van toeval. Het systeem is instabiel en door kleine fluctuaties zal er op niet voorspelbare wijze een nieuw stabiel punt worden gevonden.

Voor het optimaliseren van een eenmaal gekozen oplossing zijn er andere mechanismen noodzakelijk. In dat stadium is logisch, nauwgezet onderzoek van het idee noodzakelijk. Bij de fiets is dit bijvoorbeeld duidelijk zichtbaar in de implementatie van de ketting, trappers en het uitwerken van de ideeën omtrent de positie van de zitplaats van de berijder.

Om in een toestand van lage arousal te komen, een toestand van chaotische hersenactiviteit te verkrijgen of, in meer alledaagse termen, los te komen van een bestaand idee of een bestaande oplossing heeft ieder zo zijn of haar manier. Alcohol, drugs,

strand, bad en sauna zijn bekende manieren maar er zijn ook andere voorbeelden: Schiller bewaarde rotte appels in zijn bureaula, Bossuet hield zijn hoofd in een pels, Byron hield zijn hoofd bij het vuur en zijn voeten heel koud, Vigny, Proust, en Flaubert trokken zich terug in een toren, en Verhaeren zonderde zich af van alle geluid. Ook het beelddenken biedt mogelijkheden om anderssoortige associaties te leggen en op meer 'losse' wijze tot vernieuwende inzichten te komen. In bedrijven worden tegenwoordig zelfs speciale innovatie-methoden gehanteerd waarbij veelal het accent ligt op zo vrij en extreem mogelijk associëren waarna vervolgens de consequenties van de geopperde ideeën worden doordacht.



Dokter Richard's wagen uit 1696

Indirect aangedreven drie- en vierwielaars

De ontwikkeling van door mensen voortbewogen drie- en vierwielaars gaat terug tot de 7^e eeuw en blijkt uit getuigenissen over exemplaren die indirect worden aangedreven middels hefboomen, stangen en krukken. Ze zijn stabiel, comfortabel en veilig bij het opstappen, rijden en afstappen.

Ze zijn echter wel zwaar en dus moeizaam voort te bewegen hetgeen een algemeen gebruik in de weg staat. Dokter Richard laat het trappen

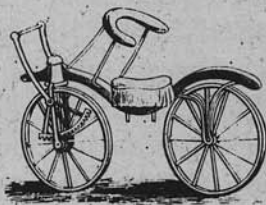
over aan een lakei, bij Bauer doe je het eigenhandig.



Bauer krijgt in 1820 ruzie met von Drais over hand-aandrijving

Indirect aangedreven tweewielaars

Tweewielaars kunnen alleen laag zijn als de kleine wielen worden aangedreven door een overbrenging waarvan de verhouding kan worden



Gompertz' tweewieler uit 1821, met indirecte hefboom-aandrijving

De fiets: van paardekracht naar menskracht

In een wereld die al eeuwen 'op paardekracht loopt' ligt een uitdaging om voertuigen te maken die door menskracht worden voortbewogen en waar je in of op kan zitten zonder vuile voeten te krijgen. De ontwikkeling ervan volgt twee hoofdlijnen: die van indirect aangedreven drie- en vierwielaars en die van direct aangedreven tweewielaars.

De fiets, een indirect aangedreven tweewieler, ontwikkelt zich tussen deze twee hoofdlijnen in. Deze drie parallelle lijnen worden hieronder beschreven in drie parallel te lezen tekststroken.

Direct aangedreven tweewielaars

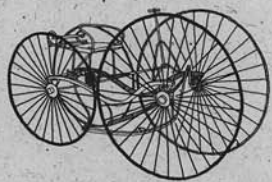
De geschiedenis van de direct aangedreven tweewielaars begint met het succes van het 'loopwiel' van baron von Drais uit 1817. Je zit redelijk gemakkelijk en veilig achter het midden en je kan met je voeten bij de grond voor de aandrijving. Na een presentatie in Parijs ziet men in Engeland voordeel in de produktie van wat de 'hobby-horse' gaat heten. Vooral hierdoor ontstaat tot in New York, Milaan en Calcutta toe een 'velocipede vogue' die in 1820 weer is weggeëb'd, mede door de verboden waartoe de overlast van deze nieuwigheid leidt.



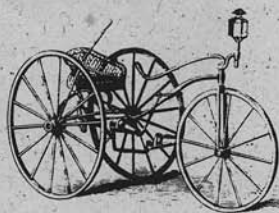
Het 'loopwiel' van baron von Drais uit 1818, met wielen van ± Ø 0.70m

Daarna zullen hooguit nog tiens op het plateland zich vermaken met de loopfiets.

Wel worden vanaf 1845 de, indirect met hefbo-
men aangedreven, vierwielige karren van de
timmerman Sawyer uit Dover populair. Je zit



*Een vierwielige kar van Sawyer
± 1845*



*Een Parijse driewieler voor
dames uit 1863*

ze zijn gebouwd van hout, zoals dure koetsen in
die tijd.

Sawyer zal ze twintig jaar blijven verkopen.

Nog lichter gebouwd zijn de driewielers, die
vanaf 1865 vooral voor dames en stelletjes in
zwang komen.

veilig tussen
vier steunpun-
ten, je kunt niet
omvallen en je
krijgt geen vuile
voeten door de
(indirecte) aan-
drijving. Ze zijn
laag, zoals het
loopwiel waar-
door je makke-
lijk op- en af-
kan stappen.
Een ander voor-
deel is het lage
gewicht omdat



*McMillan's indirect met de
voeten aangedreven tweewieler
uit 1839*

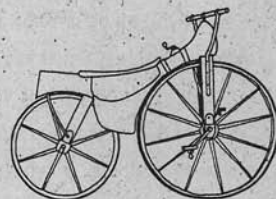
gewijzigd. Alleen de indirecte aandrijvingen uit
de driewielers voorkomen tevens vuile voeten
en maken een veilige zitplaats ver achter het
kantelpunt mogelijk. Sporadische pogingen tot
het toepassen van deze configuraties met hef-
boom-aandrijving ontstaan al direct na het suc-
ces van het 'loopwiel'.



*Guilmet's achterwiel-
aandrijving van 1869*

Een goede traphouding en -beweging is pas
echt te realiseren door te sturen met het voor-
wiel en de aandrijving indirect te verzorgen
d.m.v. pedalen en kettingen naar het achterwiel.
De Franse horlogemaker Guilmet bedacht al in
1869 zo'n fiets, maar door de Frans-Pruisische
oorlog wordt het model niet uitgewerkt.

De tweewieler wordt pas weer gevraagd als in
1861 in Parijs de rijtuigbouwers Michaux en
zoon pedalen aan het voorwiel van een
'hobby-horse' bevestigen. Dat was al eerder
gedaan door
Fischer maar nog
niet succesvol
ondanks dat je er
geen vuile voeten
mee krijgt.



Fischer's tweewieler uit 1853

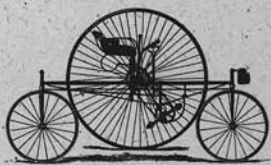
De Michaux
daarentegen pro-
duceren 500
stukken in 1865 en
na de wereldten-
toonstelling in
Parijs in 1867
maken zij er 3200.
De 'Michauline'
van 1869 is op de
wielen na van



De 'Michauline' van 1869

smeedijzer ge-
maakt en de bronzen glijlagers worden gesmeerd
met walvisvet. Mede door namaak vanuit
Coventry ontstaat voor deze 'boneshakers' een
tweede 'velocipede craze' die in 1870 over is.
Pedalen die vast aan het voorwiel zitten hebben
een aantal nadelen. Bij 'Michaulines' zit je ver-
achter de pedalen wat niet lekker 'trapt' en
daarom wordt de berijder steeds verder naar
voren geplaatst, steeds dichterbij het kan-
telpunt. Om meer weg per pedaalslag af te leg-
gen worden de aangedreven voorwielen steeds
groter.

Een asymmetrische driewieler wordt in 1877 voor het eerst met kettingen en pedalen aangedreven. Deze is geheel van staal en daardoor nog lichter. De wielen van deze driewieler heb-



Een asymmetrische driewieler van J. Starley uit 1877 met tangentiaal spaakpatroon

ben een tangentiaal spaakpatroon (zoals in de huidige fiets) in tegenstelling tot het radiale spaakpatroon van de oude wielen. Het tangentiale spaakpatroon maakt de wielen lichter en sterker. Ook worden voor het eerst kogellagers toegepast.

Vanaf 1878 hebben symmetrische driewielers grote aangedreven wielen en een klein stuurwiel vóór of achter. Ze worden 'Safeties'

genoemd vanwege het verschil met de 'Ordinaries', die inmiddels gevaarlijk hoog zijn geworden.



Een driewieler 'Safety', de 'bill-climber', vanaf 1880 (deze is uit 1886)



Deze 'B.S.A.' uit 1884 is geheel uit driewieler onderdelen samengesteld

Lawson maakt in 1879 een 'Safety' met een veilige plaatsing van de berijder door achterwiel-aandrijving maar houdt vast aan het grote voorwiel. Het zadel komt van de 'Michaulines', de voortrein (met indirecte besturing uit de driewielers) komt uit een 'Ordinary'. Ondertussen zijn er wel anderen die voorstellen doen voor achterwiel-ketting aandrijvingen met kleine wielen van gelijke diameter, maar die lijken voor het publiek nog te veel op de 'boneshakers'.



De 'Bicyclette' van Lawson uit 1879

Mede door het succes van de direct aangedreven 'Ordinary' gelooft men rond 1880 nog niet erg in deze 'Safeties' en maken de fabrikanten lagere, indirect op het voorwiel aangedreven 'Ordinaries', die vanaf 1879 tot 1885 een zekere populariteit hebben. Ze maken een goede aandrijfhouding mogelijk, stappen makkelijk op en

af, maar slaan nog steeds gemakkelijk over de kop. Deze machines blijven tamelijk sportief en worden 'minder geschikt' geacht voor ouderen en dames' in het Engeland van die tijd.

Met de 'Ariel' van J. Starley, een eerste geheel stalen tweewieler met lichte draadwielen en massieve rubberbanden, wordt deze trend



De 'Ariel' van J. Starley uit 1870, met een voorwiel van Ø 1.25m



Singer's 'Xtraordinary' uit 1879 heeft een besboom-aangedreven voorwiel van ± Ø 1m



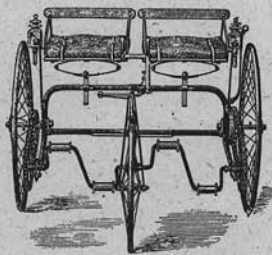
De voorwielen van de 'Ordinary' zijn in 1872 al Ø 1.55m (deze is uit 1889)

tot het ontstaan van de 'Ordinary' ingezet. Vanaf 1877 worden ze lichter doordat frames, vorken en wielen hol worden uitgevoerd. De grote wielen zijn bij het rijden overigens comfortabel want ze stoten veel minder. De 'boneshakers' kostten je tevens vuile of zelfs kapotte broeken doordat het voorwiel in elke

bocht langs je benen schuurt. Doordat de vork nu tussen de benen zit, krijg je minder vuile broeken. Je slaat echter steeds makkelijker over de kop en opstappen is niet echt comfortabel: je moet eerst hollen naast je fiets, in het



Een van de 'Ordinary' afgeleide 'Safety': de 'Kangaroo' (1884)



Behalve deze 'Sociable' drierieler (1880) zijn ook tandems populair

In 1881 worden drierielers het meest verkocht van alle 'fietsen'. Ze zijn chic, de 'beau-monde' kan zich ermee onderscheiden van het 'gemeene volk' op hun 'Ordinaries'.

Daarom blijven de fabrikanten zoeken naar de echt veilige en comfortabele 'Safety' die van 1885 tot 1890 in een veelheid van modellen zal worden aangeboden. Door de kleine wielen en de plaatsing van de berijder ver achter het kantelpunt kan je comfortabel op- en afstappen en is de fiets weliswaar veilig, maar nog niet echt comfortabel te berijden. De massieve banden werden wel vervangen door kussenbanden (dikke buizen van rubber) of gecombineerd met verende frames maar de kleine wielen stoten toch behoorlijk.

zadel springen en die malende pedalen met je voeten zoeken. Remmen kan genuanceerder gebeuren dan met de nog gebrekkige remkonstrukties, door tegendruk op die vaste pedalen te geven. Deze fietsen zullen door hun eigenschappen vooral 'sportmachines' worden.



De 'Cripper' uit 1885 ligt voor in de race



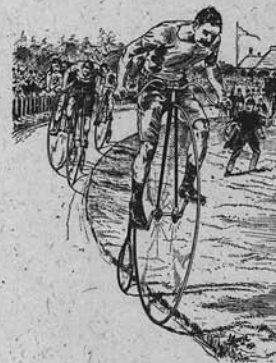
De 'Humber Dwarf Safety' uit 1885 is afgeleid van de 'Cripper' drierieler



De 'Rover III' van J.K. Starley uit 1884 met wielen van Ø 0.81m en 0.76m



Een nog lagere van de 'Ordinary' afgeleide 'Safety' is de 'Juno' uit 1886



De 'Ordinary' als sportmachine (1885)

Zo gebruiken de kantoorklerken uit het 'Financial District' hun drierielers ook om fit te blijven.

De hoofdpijn van zijn zoon was één van de aanleidingen die de veearts Dunlop bracht tot de uitvinding van de luchtband in 1887. Deze uitvinding en de 'Rover III' van Starley worden ondanks het open ruitframe (afkomstig uit de 'Cripper' twee- en drierieler) samen beschouwd als de oorsprong van onze huidige fiets.

In 1885 is de Ordinary op het hoogtepunt van zijn populariteit. Mede door zijn onveiligheid wordt de hoge tweewieler na 1892 niet meer gemaakt maar nog lang gekoesterd door liefhebbers.



De drierieler die Dunlop in 1887 voorzag van luchtbanden



Verende frames (1885-1889)

Deze ontwikkeling loopt in 1892 ten einde. Driewielers dienen vanaf nu alleen nog bijvoorbeeld slagersjongens en postbezorgers.



Een fietsmakers driewieler na 1892 (deze is uit 1900)

De framevorm met een hoofdbalk, het kruisframe is in essentie afkomstig van de 'Bicyclette' van Lawson. Kruisframe-safeties zijn tussen 1885 en 1890 even populair als 'Dwarf safeties', 'Rovers' en driewielers.



De fiets in 1892

In 1892 hebben de meeste fietsen het gesloten ruitframe dat gemaakt is van naadloze stalen buis (een Duits patent uit 1887) en de luchtbanden die we nu kennen.



De 'Psycho' met kruisframe van J.K. Starley uit 1887



De 'Ordinary' gaat ten onder na 1892

De lage instap en de zitpositie achter het kantelpunt van de 'Draisienne' waren reeds in 1870 'vergeten' voor tweewielers en dit zou leiden tot de ondergang van de 'Ordinary'. Onze fiets is zo hoofdzakelijk ontstaan uit de driewieler. In 1902 is de algemene acceptatie van het rijwiel in Nederland een feit: 10% van de mogelijke gebruikersgroep heeft dan een fiets. Daarnaast blijven oude frame-ontwerpen in de belangstelling staan.



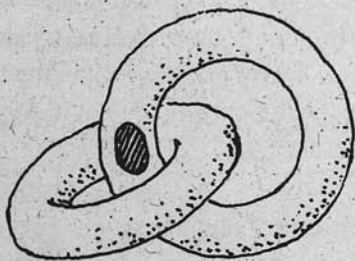
Een 'Humber' uit 1896 met wielen van $\varnothing 0.71\text{m}$



De spanfiets van de la Haye (1981), kruisframe gecombineerd met drieboeken, zoals bij de 'Psycho'

opgaven opgaven opgaven

fietsbanden



De figuur toont twee fietsbanden van oneindig rekbaar en onscheurbaar rubber. Een van de fietsbanden heeft een (oneindig rekbaar) gat, waardoor je het inwendige van de band kunt zien. Probeer je voor te stellen dat je de banden zó vervormt door op te rekken en bij te duwen (niet

knippen), dat de band-zonder-gat helemaal in het inwendige van de band-met-gat belandt. Maak schetsen van een aantal tussenstanden.

vervormen

Slotopmerking

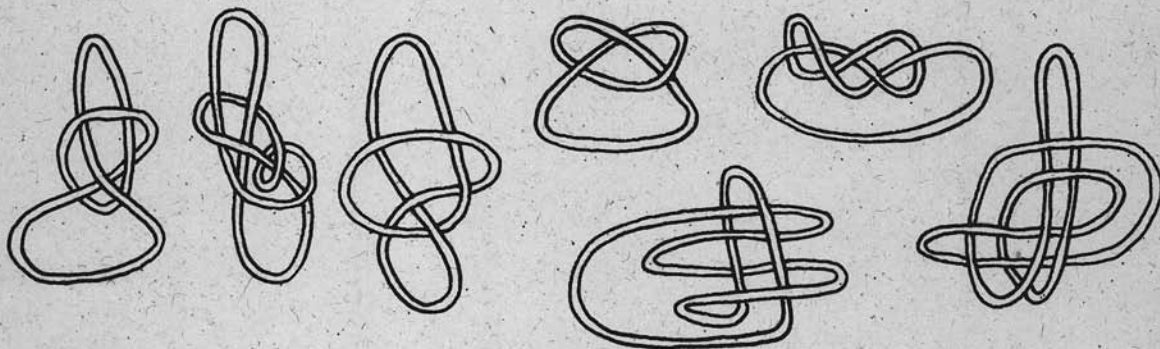
Samengevat kan worden gesteld dat voor het ontwerpen van een nieuw model ontwerpers niet alleen creatief 'chaotisch' moeten kunnen associëren, waarbij zij gebruik maken van 'toevallige invloeden' (een gevolg hiervan is dat sommige 'nieuwe' modellen toevallig ontstaan en dat sommige modellen niet succesvol blijken te zijn), maar ook de gekozen oplossingen logisch-rationeel, technisch, en systematisch moeten kunnen uitwerken. Beelddenken kan een hulpmiddel zijn bij het genereren van nieuwe ideeën (leggen van associaties) maar ook bij het beoordelen hoe de verschillende onderdelen van, bijvoorbeeld, 'n fiets in elkaar passen en of ze zo wel werken.

Door sommige auteurs wordt soms ook wel gesteld dat kunst alleen vrij associëren zou vereisen en wetenschap 'slechts' rationeel deductief handelen. Als men kunst en wetenschap zo opvat dan is het duidelijk dat ontwerpers beide aspecten moeten beheersen. Ech-

ter. Zoals reeds eerder gesteld leidt alléén vrij associëren niet tot produkten en alléén logisch-rationeel deductief denken niet tot innovatieve produkten. Het beheersen van beide aspecten geldt dus voor zowel goede innovatieve wetenschappers, kunstenaars als ontwerpers.

opgaven opgaven opgaven

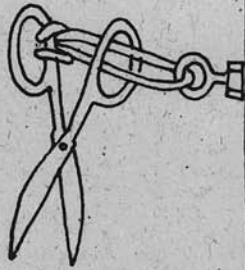
knopen



vervormen

Een eenvoudige oefening om je ruimtelijk voorstellingsvermogen wat leniger te maken. Ga na, zonder te tekenen of de tekening met een vinger of potlood na te lopen, of je de hierboven getekende knopen zou kunnen ontwarren. Probeer het ontwarren te 'zien' gebeuren.

opgaven opgaven opgaven



Een schaar is aan een tafel vastgeknoopt met een (rekbaar) lang touw. Kun je de schaar losmaken zonder het touw door te knippen?

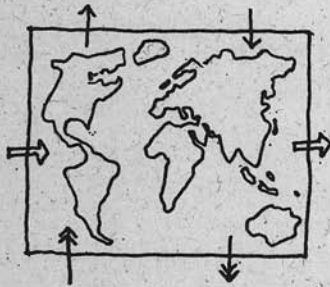
schaar

vervormen

opgaven opgaven opgaven

kaarten

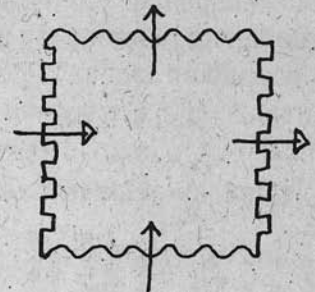
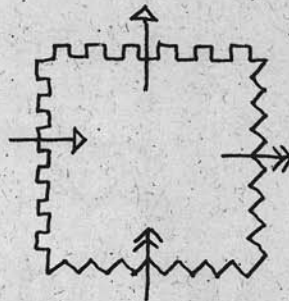
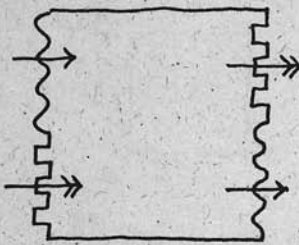
vervormen



Als je een platte kaart van een gekromd oppervlak wilt maken, dan moet je een vervormende afbeelding gebruiken. Zo worden er verschillende projectiemethoden gebruikt om wereldkaarten voor verschillende toepassingen te maken. Hierboven staan er twee geschetst. In

een Mercatorprojectie bijvoorbeeld zijn oppervlakten moeilijk te beoordelen (Afrika is te klein, Groenland te groot), maar rechte lijnen wel. Wat veel projectiemethoden gemeen hebben, is dat ze naburigheid bewaren, d.w.z. punten op het aardoppervlak die naast elkaar lig-

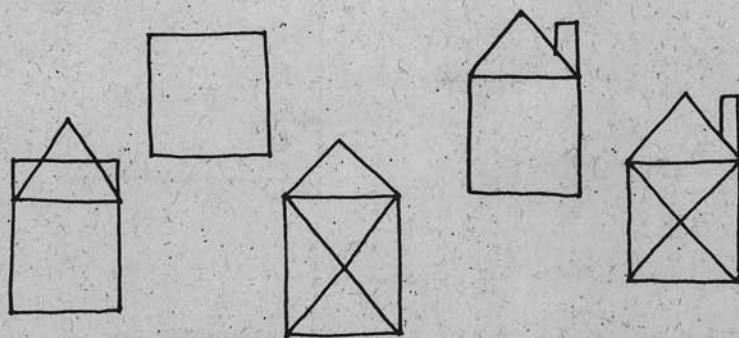
gen, liggen ook op de kaart naast elkaar. Behalve aan de randen van de kaart! Hier moet de gebruiker weten wat bij wat hoort, tenzij de cartograaf stukjes dubbel getekend heeft. De figuur toont een aantal kaarten van ruimtelijke lichamen, waarbij telkens genoeg stukjes oppervlak dubbel getekend zijn om te zien wat hoe waaraan moet worden bevestigd. Kun je bij elk van deze kaarten een ruimtelijke (driedimensionale) vorm vinden? Welke?



opgaven opgaven opgaven

buisje

vervormen

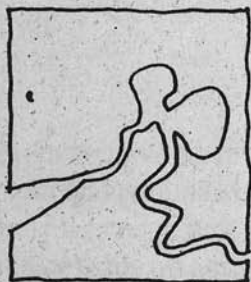


Hiernaast staat een aantal huisjes getekend. Welk van de huisjes kun je tekenen in één lijn, zonder de potlood van het papier af te nemen? Er staat ook een complexere tekening bij. Kan die ook in één lijn worden getekend? Ken je een 'test' om dit voor een willekeurige tekening vast te stellen? Werkt die ook voor lijntekeningen in drie dimensies?

opgaven opgaven opgaven

eten

vervormen
(platland)



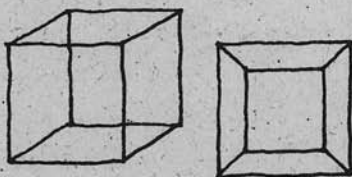
Stel dat een platlander een spijsverteringsstelsel heeft zoals wij, d.w.z. met een mond aan de ene kant en een anus aan de andere, verbonden door een maag-darmkanaal. Hoe kan hij 'in elkaar zitten' dat hij niet in twee helften uit elkaar valt wanneer hij ergens heen probeert te lopen?

(Het nut van) waarnemen hangt nauw samen met de mogelijkheid tot bewegen. Welke mogelijkheden om te bewegen heeft een platlander, welke heeft een lijnlander? En de puntlander? Wat voor consequenties heeft dit voor hun ruimtelijke zintuigen? Wat is er voor hun om waar te nemen? Met welke zintuigen kunnen ze dat doen?

opgaven opgaven opgaven

*schilderen
en perspectief*

*vervormen
(platland)*



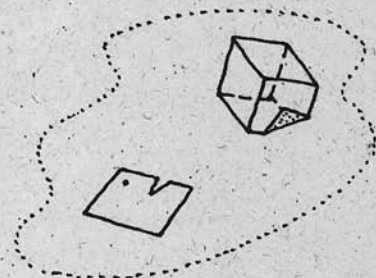
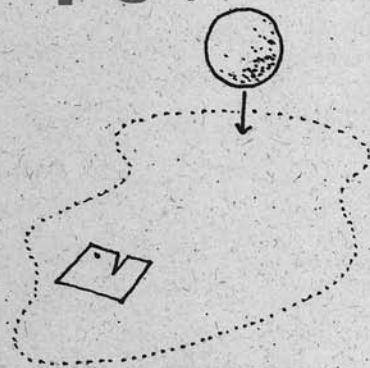
In een perspectieftekening worden één of meer dimensies van de af te beelden scène 'anders' weergegeven. Twee bekende methoden zijn hierboven geïllustreerd voor tekeningen van een 3D-kubus op een 2D-papier: de derde as wordt 'gewoon' in het vlak gelegd, afstanden langs de derde as worden vertaald in een 'krimping' van de afstanden langs de eerste en tweede as.

Maak een platland-perspectiefschilderij (1D-papier) van een platlandbewoner (vierkant). Maak een platland-perspectiefschilderij van een kubus. Doe dit door twee assen apart te behandelen. (wat een zootje wordt dat, hè; tenzij je ook gebruik maakt van kleur). Maak ten slotte een of meerdere soorten perspectieftekeningen op 2D-papier van een 4D-hyperkubus.

opgaven opgaven opgaven

doorsnede

vervormen
(platland)



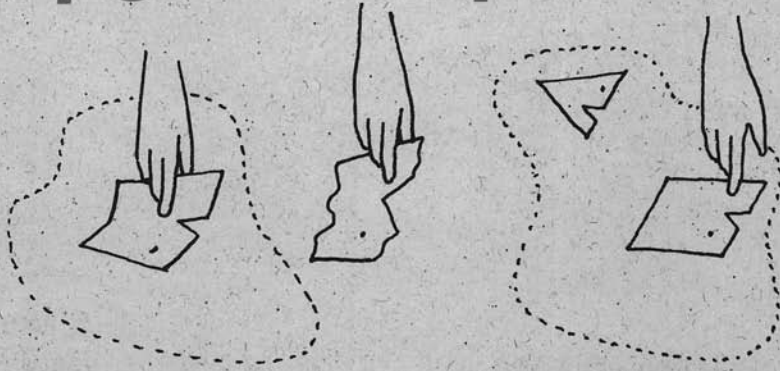
Stel dat een 3D-voorwerp door platland heen komt gevlogen, bijvoorbeeld een bol, zoals in de figuur weergegeven. Een platlander ziet dit gebeuren, loopt naar de burens, en beschrijft hen in zijn woorden wat hij waarnam. Geef weer wat hij zou hebben verteld (in 2D-terminen!).

Beschrijf hoe wij een dergelijk bezoek uit de vierde dimensie, van een 4D-bol, zouden ervaren. Doe hetzelfde voor een kubus i.p.v. een bol in twee en drie dimensies. Wat ziet de platlander als de kubus langs een lichaamsdiagonaal door zijn wereld heen reist?

Een platlandse veiligheidsagent, die ook kampioen beelddenken is, krijgt de opdracht om een spion uit ruimland te zoeken. De spion is een 3D-kubus, die gedeeltelijk door platland heen steekt, krijgt de agent te horen. De platlander realiseert zich dat de spion hem nooit als een cirkel kan voorkomen. Welke vormen van landgenoten moet hij aan nader onderzoek onderwerpen, en welke gaan op het eerste gezicht vrijuit?

opgaven opgaven opgaven

ruimtereis



vervormen
(platland)

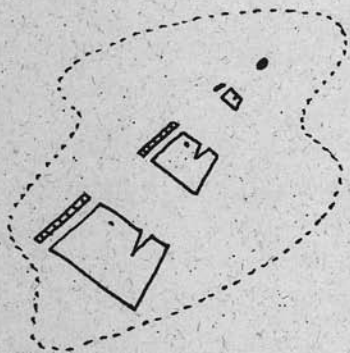
Een platlander vindt een oude lamp en poetst hem op. Plotseling verschijnt er een 2D-djinn, een hulpvaardige flessegeest uit de 3e dimensie. Deze pakt de platlander bij zijn lurven (of overeenkomstig houvast), wrikt hem uit zijn ruimte, en laat hem elders weer als een blad

terugglijden in zijn wereld. Hierbij kijken een aantal andere platlanders verbaasd toe. Wat ervaart de platlander? Wat ervaren de omstanders? Beschrijf een analoge gebeurtenis voor ruimland en lijnland.

ruimtekrimp

*vervormen
(platland)*

opgaven opgaven opgaven



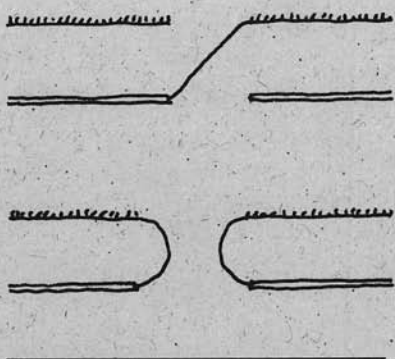
Een platlander wil een kaart van zijn heeral maken. Omdat hij over een perfect geheugen beschikt hoeft hij dat gelukkig (waarom gelukkig?) niet op papier te doen, maar stelt hij zich de kaart ruimtelijk voor. Wat de platlander echter niet weet is dat zijn heeral niet homogeen is. Er is een oorsprong, en alles wat daar dichterbij komt veran-

dert van lengte zonder dat hij dat waar kan nemen: niet alleen de platlander, maar ook de meetlat die hij gebruikt om zijn kaart te maken. Wat voor effect heeft dat op zijn metingen en zijn kaart (a) als alles kleiner wordt naarmate je de oorsprong nadert, en (b) als alles daar groter wordt?

opgaven opgaven opgaven

zwart gat

vervormen
(platland)



Het is voor ons ruimlanders niet zo moeilijk om ons meerdere parallelle platland-heelallen voor te stellen. Ruimte-reizen tussen verschillende heelallen zouden dan kunnen gebeuren als er tussen twee heelallen een soort 'poort' zit.

De figuur hiernaast toont twee van zulke poorten in platland in doorsnede: het roltrap-model, en het flessehals-model. Teken zulke verbindingen in perspectiefaanzicht op twee platlandheelallen. Waarin verschillen de twee poorten voor de platlander, in aanzicht en in gebruik?

Wat is de maximale maat van een platland-reiziger, wil die nog door een flessehalspoort naar een naburig heelal kunnen? Waarom lijkt voor een platlander het andere heelal véél kleiner dan het eigen (niet omdat het verder weg is)?

Stel dat een platland-heelal sterk gekromd is, zoals een opeengepropte lappendeken. Leg uit hoe dit soort poorten het dan mogelijk zou maken sneller dan het licht te reizen.

Descartes

Van Descartes (1596-1650) is de uitspraak "Je pense, donc je suis", een uitspraak die geleid heeft tot een heleboel prachtig onderzoek, maar ook tot een heleboel vooroordelen in de kennisleer en de menswetenschappen waarvan we nu nog de nadelen onder vinden. Zijn positie is te begrijpen vanuit het mens- en wereldbeeld dat sinds de Wetenschappelijke Revolutie (Galilei, Copernicus) sterk is veranderd (Dijksterhuis, 1950 ☞).

Het doel was om, voor wat de natuurwetenschappen betreft, verklaringen te geven volgens een *mechanistisch* model. Er was in dit model sprake van een *onbetrokkenheid* en *afstandelijkheid* van de mens (waarnemer) in verhouding tot zijn of haar omgeving hetgeen bijvoorbeeld ook in de kunst is waar te nemen.

De wereld kon beschreven worden als 'stompzinnige' materie die de wetten van de mechanica volgde en dat werd ook beschouwd als 'de werkelijkheid' (ontologische status). De wereld werd dus gereduceerd tot een *onafhankelijke*, mechanistische, volledig voorspelbare machine. Ook van de mens werden mechanische modellen gemaakt, zoals bijv. in het werk 'l'homme machine' van de Mettrie. Dit *reductionisme* komt ook naar voren in Descartes' kennisleer waarbij alles zoveel moge-

lijk opgesplitst moest worden in elementaire delen. De context werd zo goed als mogelijk uitgeschakeld. Mentale fenomenen hebben in het mensbeeld, zoals dat van Descartes, een andere status dan de mechanisch lichamelijke.

Deze opvattingen betekenen een regelrechte breuk met het verleden, waar in de wetenschap een veel groter vertrouwen was in zintuiglijke ervaringen (o.a. beelddenken). Denk maar aan de werken van da Vinci of van Galilei. Zelfs Descartes' filosofie en wetenschap was geïnspireerd door de dromen die hij in de nacht van 11 november 1619ervaarde. Vanaf Descartes zijn zintuiglijke ervaringen verdacht en probeert men ze in de wetenschap hoe langer hoe meer te reduceren tot het louter aflezen van waarden op een een of ander instrument waarmee de mechanische eigenschappen konden worden vastgesteld. In de wetenschappelijke literatuur werd hoe langer hoe minder aandacht besteed aan schetsen en tekeningen.

Geleidelijk aan is er sinds het begin van deze eeuw een kentering tot stand gekomen. Eerst en vooral in de fysica, maar ook in de wiskunde (Penrose,

1989 ☞). Sinds de quantummechanica blijken fysische feiten niet zo onafhankelijk te zijn als werd verondersteld aangezien ze door de waarnemingsact zelf beïnvloed worden. De mens en zijn of haar omgeving zijn intrinsiek op elkaar betrokken. Bovendien blijkt uit de niet-lineaire dynamica ('chaos-theorie') dat ook fysische gebeurtenissen, het weer bijvoorbeeld, *ontsnappen aan volledige predictie* (zie o.a. Gleick, 1987 ☞). We mogen daarbij alle mogelijke variabelen invoeren die we willen, onze voorspellingen over dit soort gebeurtenissen zullen toch maar pover blijven. Dergelijke systemen blijken voor een deel *zelf-organiserend* te zijn en niet te bestaan uit stompzinnige materie. De modellen uit de niet-lineaire dynamica worden ook toegepast in de menswetenschappen zodat er geen beroep meer hoeft te worden gedaan op een alles regelende en sturende 'homunculus'.

Ook in de psycho-fysica gebeuren een boel fascinerende dingen, waardoor men geleidelijk van Descartes' dualisme kan afstappen. Vroeger mat men enerzijds een stimulus en anderzijds een ervaring om pas achteraf de relatie tussen beide in een mathematisch model weer te geven. Het typevoorbeeld daarvan is de wet van Weber-

Fechner. Men had de buitenwereld, de geest, en een koppeling tussen beide. Recent heeft men vastgesteld dat men een heel eind verder komt in het beschrijven en verklaren van gedrag, en in het ontwikkelen van mens-machine interfaces, als men direct de overeenstemming meet tussen het organisme en zijn omgeving.

Tenslotte blijkt in de psychologie en in de biologie (terug) hoe belangrijk de context is. In de psychologie is dit voor wat perceptie betreft vooral benadrukt door en sinds het werk van James Gibson (o.a. 1979 ¹), die zeer gepleit heeft voor het ontwikkelen van de nieuwe psychofysica waarnaar daarnet werd verwezen, en die daarbij benadrukte dat *perceptie betekenisvol is* en ook als dusdanig bestudeerd dient te worden. Wat men waarneemt zijn de handelingsmogelijkheden (zitbaarheid van een stoel, opstapbaarheid van een trap) die worden gegeven in de *mens-omgeving interactie*. Tevens wil dat zeggen dat zij bestudeerd dient te worden in haar ruimtelijke context (met reële complexe stimuli) en in haar tijdsverloop (dus met een explorerende waarnemer in een veranderende wereld). Dit betekent ook dat men niet langer elementen van de zintuiglijke ervaring zal meten, die

achteraf op een een of andere manier gecombineerd worden tot een waarnemingsresultaat, maar dat men relatiepatronen zal meten tussen de omgeving en de waarnemer. Met andere woorden: niet 'wat is er in je hoofd?' maar 'waar bevindt je hoofd zich in?'

Het meest geciteerde voorbeeld van hoe dit kan is de specificering van wanneer een vogel die naar een vis duikt de vleugels moet dichtklappen. Dit moment wordt gespecificeerd in de verandering van het optische expansieveld ('time to contact': 'tau') van het water en hoeft door de vogel niet te worden berekend.

Voor de ingenieur is deze benadering veel interessanter voor het ontwikkelen van nieuwe produktideeën en van een nieuwe produktvormgeving (Smets & Overbeeke, 1994 ²).

Kortom. Het lijkt ietwat kortzichtig om het menselijk bewustzijn als iets unieks binnen het dierenrijk te beschouwen. Of, zoals Milan Kundera stelt "Je pense, donc je suis" is een uitspraak van een intellectueel die het hebben van kiespijn onderschat". Misschien moet het wel vervangen worden door "Ik voel, dus ik ben" (Humphrey, 1992 ³). Ervaringen zijn, voor verschillende beroepen, weer even

belangrijk als logisch-rationele kennis. Toch mogen we niet vergeten dat we nog steeds gemakkelijk in de valkuilen van dualisme en reductionisme tot een mechanistisch mensbeeld vervallen wanneer wij met een concreet probleem te maken krijgen. Het loutere toepassen van de niet-lineaire dynamica in de menswetenschappen is nog steeds een fysicalisering van gedrag. Men dient zich te realiseren dat iedere waarneming en meting maar een deelaspect van het complexe geheel van mens-omgeving interactie omvat. Aan één manier van waarnemen een ontologische status verlenen (zoals in het mechanistisch wereldbeeld gebeurde) is onjuist. Wij hebben vooral verleerd ervaringen te meten, en zijn gericht op het reduceren daarvan tot meetbare fysische aspecten, zonder ons af te vragen of de gebruikte fysica wel geschikt is om ervaringsgegevens weer te geven. Een voorbeeld hiervan is net het feit dat de beleefde ruimte gelijk gesteld werd aan de Cartesiaanse ruimte. Als je voor jezelf wilt uitproberen hoe makkelijk je geneigd bent om ervaringsgegevens tot fysische gegevens te herleiden, kun je proberen de vraag te beantwoorden hoe je kunt meten of het roodste rood dat we zien roder is dan het geelste geel geel is.

opgaven opgaven opgaven

gracht



De figuur is een perspectief-tekening van een rij grachtenhuizen in Delft, gezien op ooghoogte door iemand op straat. Teken de scène na, maar dan vanuit de lucht gezien. Teken hem nog eens na, maar dan vanuit het wateroppervlak in de gracht.

witbeelden

opgaven opgaven opgaven

Dürer

uitbeelden



De figuur is een instructietekening van Dürer over het maken van perspectiefafbeeldingen. Hoe gaat, bij deze opstelling, het schilderij er uit zien? Teken de scène vanuit het gezichtspunt van de schilder.

opgaven opgaven opgaven

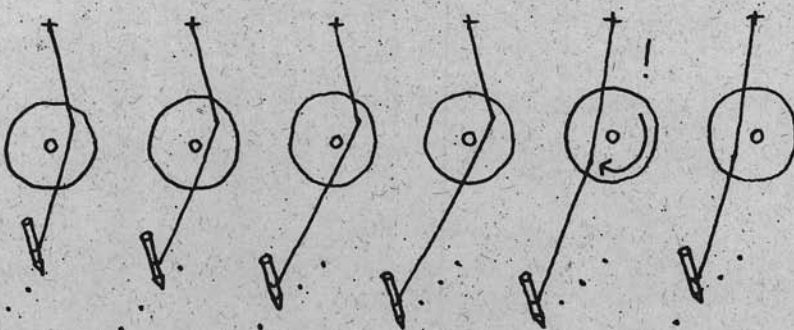
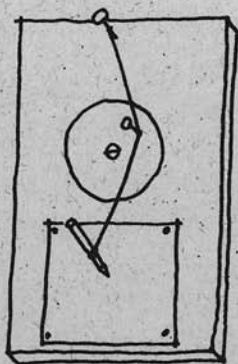
Maak een perspectieftekening van het inwendige van je mond, gezien vanaf je rechter hoektand, waarbij je linker verstandskiezen midden in de figuur uitkomen.

gebit

uitbeelden

opgaven opgaven opgaven

catastrofe-
ruimte



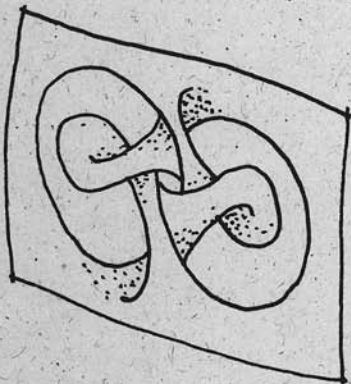
witbeelden

De figuur toont een zgn. catastrofe-machine, een model om hysteresis en andere fase-overgangen te demonstreren. Twee elastiekjes zijn aan één punt op een draaibaar wiel bevestigd. Eén van de elastiekjes is bevestigd aan een vast punt, het andere aan de punt van een potlood. Als het potlood wordt bewogen, dan draait het wiel langzaam mee. De stand van het wiel wordt bepaald door de positie van het potlood, maar als je weet waar het potlood staat, is er soms meer dan één stand van het wiel mogelijk: ook de geschiedenis -de eerdere potloodposities- speelt

een rol. De figuur toont een aantal trajecten. Zo'n machine is makkelijk te bouwen, en het is de moeite ruimschoots waard er wat mee uit te proberen. Je zult zien dat bijna overal kleine bewegingen van het potlood resulteren in kleine draaiingen van het wiel, maar dat wanneer je een bepaald punt passeert het wiel plotseling 'omschiet'. Dit plotselinge omschieten wordt in wiskundige kringen 'catastrofe' genoemd. Die grens is ingetekend. Eén inzichtelijke manier om dit gedrag te illustreren is door de toestanden te tekenen als een vlak in een driedimensionale ruimte, waarbij de z-as

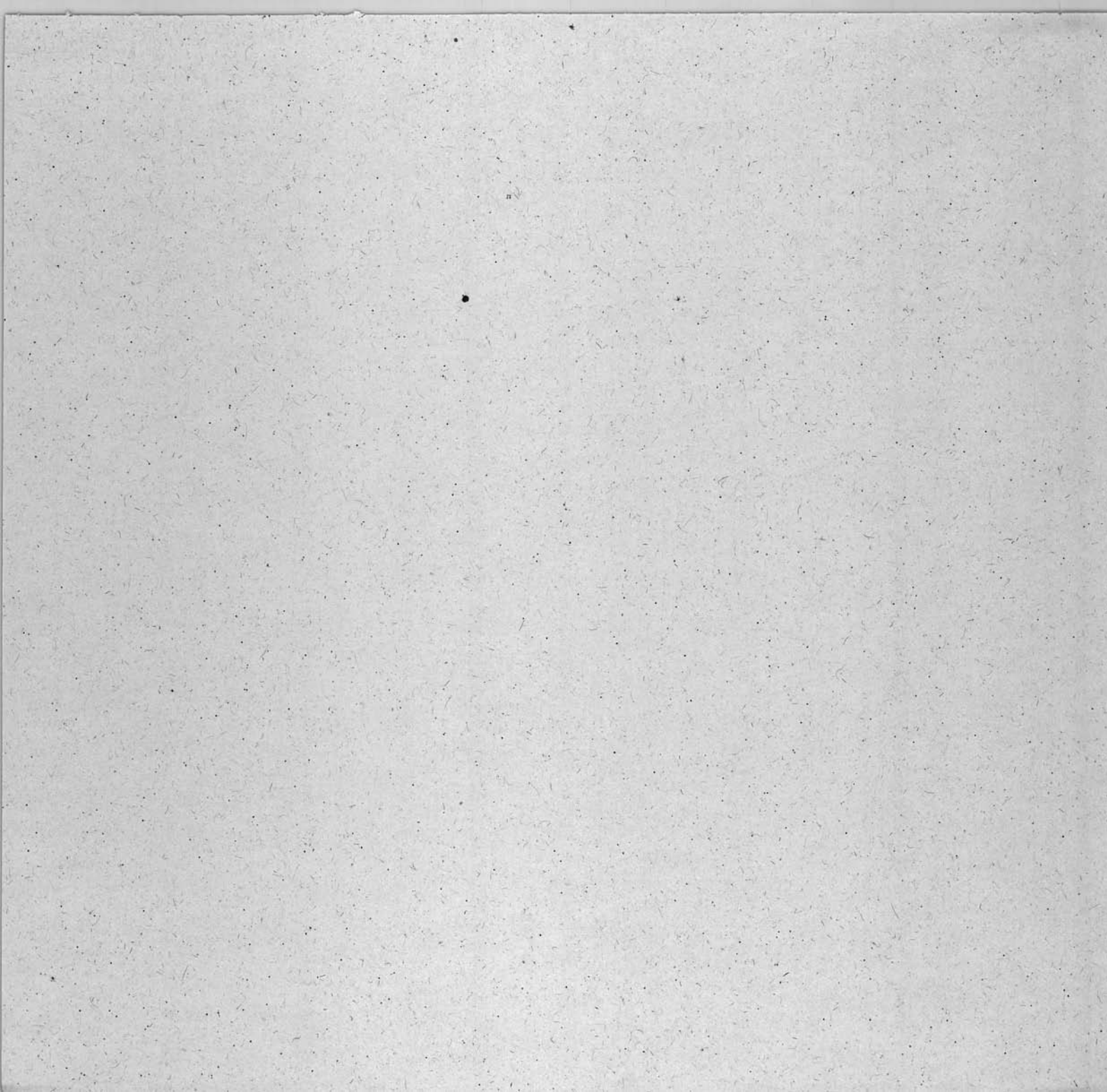
gevormd wordt door de stand van het rad. Doe dat. Waar zitten de omklap-grenzen?

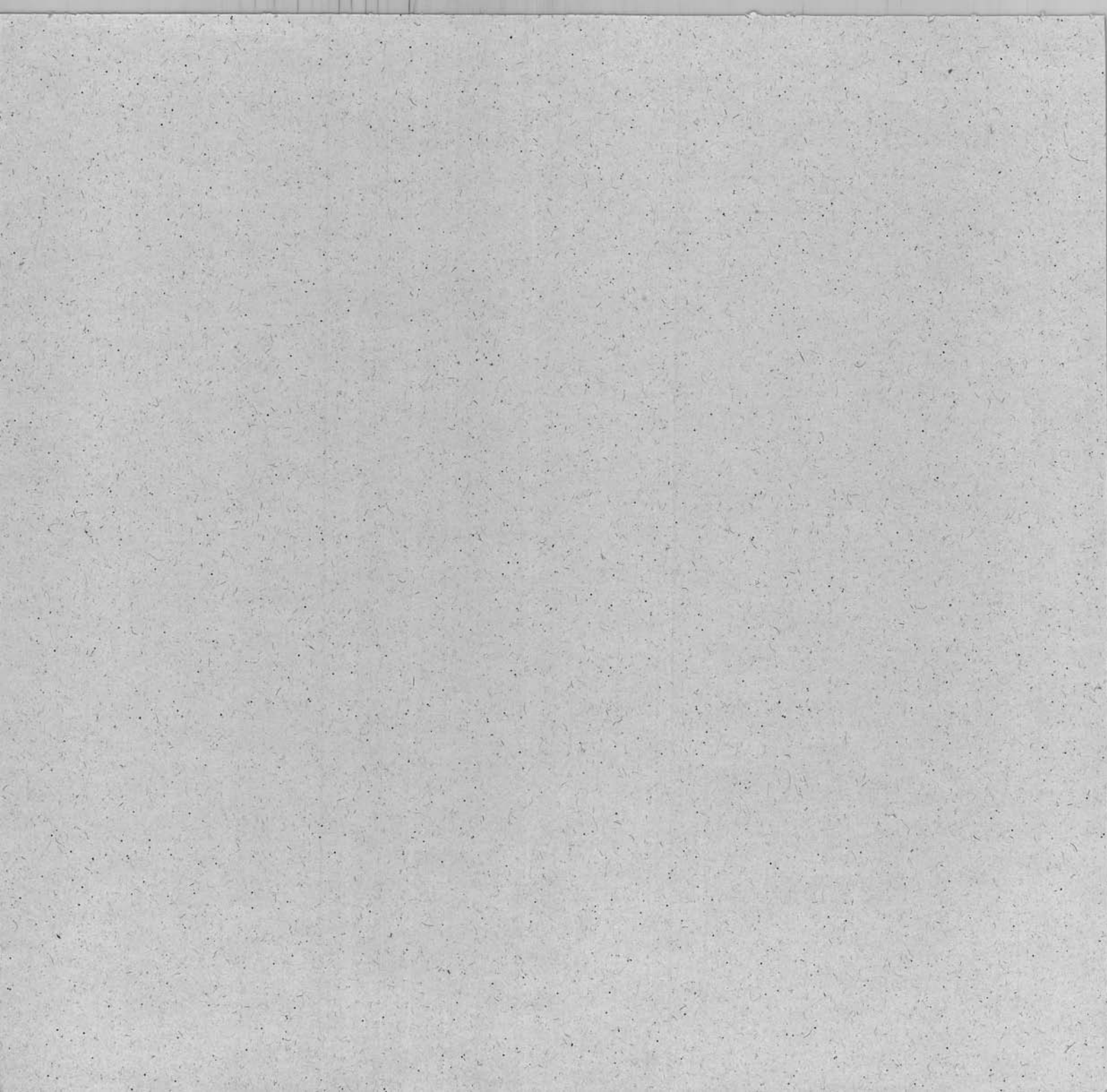
opgaven opgaven opgaven



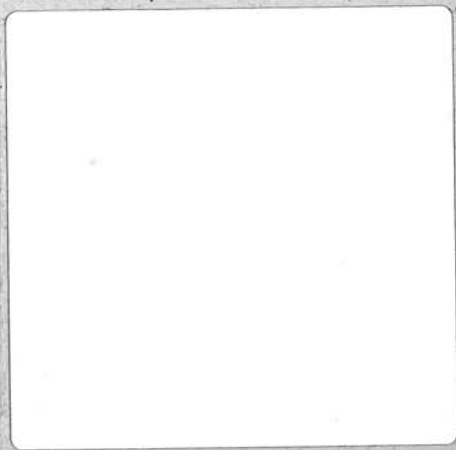
Deze opgave (of liever: dit voorbeeld) vormt een vervolg op de 'catastrofe-ruimte' opgave. De hiernaast weergegeven figuur toont een ingenieuze kaart van de toestanden van de catastrofe-machine, waarin je het gedrag van het systeem kunt volgen. Probeer door deze

(tweedimensionale!) ruimte te wandelen. Stel je tegelijkertijd ook voor wat de machine op elk moment 'doet'. Wat betekenen de randen van het vlak?





2107283



Beeld *spel*

**RUIMTELIJK
INZICHT
EN
BEELDDENKEN**

Het oplossen van een cryptogram vereist een andere oplossingsstrategie dan het verhuizen van een piano. In vrijwel heel het onderwijs, zowel in het basis-onderwijs, als ook op de middelbare school en op de hogeschool en universiteit leren we vooral problemen logisch-rationeel op te lossen, d.w.z. door te redeneren, liefst met behulp van algebraïsche symbolen. Voor sommige problemen heb je echter ook beelddenken nodig. Je stelt je dan de oplossing mentaal voor zonder die al fysisch te bouwen, maakt eventueel een vlotte schets, en 'kijkt' hoe de verschillende onderdelen in elkaar passen en of het geheel wel kan werken. Met wat oefening kun je

de tandwielen op de voorkant 'zien' draaien, zelfs al zijn de tanden stilstaand getekend. Hiermee kun je 'op je getraind gevoel' al goed beoordelen óf en, zo ja, hoe een piano door een nauw trappenhuis getild kan worden, zonder dat je dit probleem meetkundig hoeft te analyseren in millimeters en ruimtehoeken.

De teksten in dit boekje beschrijven wetenschappelijke theorieën en onderzoek over creativiteit in het algemeen, en over beelddenken en ruimtelijk inzicht in het bijzonder. De oefeningen, puzzels, en spellen zijn er om dit soort ruimtelijke vaardigheden te trainen.

De teksten en oefeningen zijn samengesteld op basis van de cursus Ruimtelijk Inzicht en Beelddenken, sinds 1983 gegeven aan de TU Delft, Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, Vakgroep Vormgeving, en op basis van de gelijknamige cursus in het Studium Generale van de TU Eindhoven.

Deze bundeling is samengesteld om niet alleen toegankelijk en nuttig te zijn voor het industrieel ontwerpen, maar ook voor andere probleemgebieden uit wetenschap, techniek, en het dagelijks leven.



Delftse Universitaire Pers

ISBN 90-407-1060-0



9 789040 710605