

Tastillusies

Systematische fouten in onze waarneming

Velen van u zullen bekend zijn met voorbeelden van visuele na-effecten en visuele illusies (denk bijvoorbeeld aan de kunstwerken van Escher). Veel minder bekend is dat ook onze tastzin onderhevig is aan illusies en na-effecten. Hoe we iets waarnemen met de tast hangt vaak sterk af van wat we direct ervoor hebben aangeraakt (na-effect). Ook kan onze tastwaarneming afhangen van bijvoorbeeld de stand van onze ledematen. Omdat deze illusies en na-effecten meestal systematisch zijn en voor alle mensen vergelijkbaar, is het vanuit wetenschappelijk oogpunt interessant om deze te bestuderen. Daarnaast kan het vanuit ergonomisch oogpunt handig zijn om kennis te hebben van deze effecten om er eventueel rekening mee te houden bij het ontwerpen van voorwerpen, het inrichten van een werkruimte, enzovoort. Kahrimanovic en collega's (2010) hebben al eerder in dit tijdschrift voorbeelden gegeven van hoe onze zintuigen ons kunnen misleiden. In dit artikel willen we inzicht geven in een aantal onderwerpen van ons onderzoek die nog niet aan de orde zijn geweest en die grotendeels van recentere datum zijn.

Astrid Kappers, Femke van Beek en Wouter Bergmann Tiest

Waarneming van de grootte van een object: na-effect

In 1966 publiceerde Uznadze een eenvoudig maar interessant experiment. Hij had een klein en een groot balletje en liet proefpersonen met hun ogen dicht meerdere malen achter elkaar de twee balletjes vastpakken, maar wel elke keer hetzelfde balletje met dezelfde hand. Na een stuk of 15 keer werden de twee balletjes vervangen door twee gelijke testballetjes die qua grootte ertussenin zaten. De twee testballetjes voelden echter niet even groot: voor de hand die steeds het grote balletje had gevoeld voelde het testballetje veel kleiner dan voor de andere hand. Dit is een duidelijk voorbeeld van een tast-na-effect: na een korte adaptatiefase (het wennen aan een bepaalde stimulatie) is de waarneming veranderd.¹

In ons eigen onderzoek wilden we weten hoe groot dit effect nu eigenlijk is (Kappers & Bergmann Tiest, 2014). De bolletjes die wij gebruikten om te adapteren waren 2 en 14 cm³ groot (zie afbeelding 1a). Vervolgens hebben we metingen uitgevoerd met alle tussenliggende groottes in stappen van 1 cm³. De grootte van het na-effect gemiddeld over alle proefpersonen bleek bijna 2 cm³; dit betekent dat het

verschil in de waarneming van grootte met de ene of de andere hand 2 cm³ was. Afgezet tegen het gemiddelde volume van de adaptatiebollen van 8 cm³ is dit een effect van 25%.

We hebben dit ook getest met andere vormen, namelijk tetraëders (regelmatige viervlakken). Het na-effect is dan vrijwel even groot. Als je echter adapteert aan bolletjes en test met tetraëders of omgekeerd, dan blijft er van het na-effect weinig meer over. Het maakt dus niet alleen uit hoe groot iets is wat je voelt, maar ook welke vorm het heeft. Zulke tast-na-effecten kunnen bovendien heel snel optreden. In onze experimenten gebruikten we voor de zekerheid een adaptatiefase van minimaal een minuut, maar eerder onderzoek naar krommings-na-effecten heeft laten zien dat die al na 2 s kunnen optreden (Vogels et al., 1996).

Over de auteur



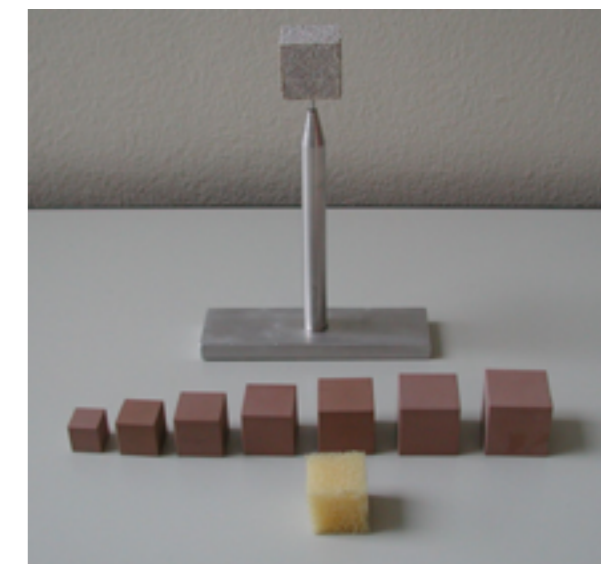
Prof. dr. M.L. Kappers, Haptische perceptie en motoriek, MOVE Research Institute, Faculteit der Bewegingswetenschappen, Vrije Universiteit Amsterdam

a.m.l.kappers@vu.nl

¹ Met een paar bolletjes of knikkers van verschillende maten is dit thuis eenvoudig na te doen.



Afbeelding 1a. Enkele van de bollen en tetraëders die zijn gebruikt in het na-effectexperiment. Zowel de bollen als de tetraëders hebben van links naar rechts volumes van 2, 8 en 14 cm³.



Afbeelding 1b. Enkele van de stimuli die in het experiment met verschillende materiaaleigenschappen werden gebruikt. Op de standaard het met schuurpapier beklede blokje; daarvoor een rij met gladde kunststof kubusjes en op de voorgrond het schuimrubber kubusje.

Waarneming van de grootte van een object: invloed van materiaaleigenschappen

Er zijn meer eigenschappen die de waargenomen grootte van voorwerpen beïnvloeden. In ons onderzoek hebben we met name gekeken naar materiaaleigenschappen als textuur, warmtegeleiding en hardheid (Bergmann Tiest et al., 2012). In deze experimenten werden telkens twee kubusjes op een standaard met elkaar vergeleken, waarbij de geblinddoekte proefpersoon de stimuli één voor één met de hand moest omhullen en aangeven welke het grootste was.

In het eerste experiment van deze studie werd een kubusje bekleed met grof schuurpapier vergeleken met gladde kubusjes (zie afbeelding 1b). Onze hypothese was dat het blokje met de grove textuur een intenser gevoel teweeg zou brengen en daardoor wellicht als groter ervaren zou worden. De uitkomst was echter verrassend: het ruwe blokje van 6,9 cm³ werd als gelijk ervaren aan een glad blokje van gemiddeld 5,6 cm³, dus als 19% kleiner dan een blokje met een gelijk fysiek volume. Wellicht valt dit te wijten aan het feit dat het grofkorrelige schuurpapier de hoeken en randen van het beklede kubusje wat minder opvallend maakte, vergeleken met het gladde kubusje. Eerder was gevonden dat hoeken en randen een voorwerp erg opvallend maken, waardoor het gemakkelijk op de tast opgespoord kan worden tussen voorwerpen zonder hoeken en randen (Plaisier et al., 2009). Het lijkt erop dat zo'n opvallende eigenschap het voorwerp ook groter doet aanvoelen.

Iets dergelijks bleek ook aan de hand te zijn bij het vergelijken van een kunststof blokje met metalen blokjes: metaal heeft een hogere warmtegeleiding dan

kunststof, en voelt daardoor kouder aan (terwijl de temperatuur gewoon kamertemperatuur is). Hierdoor wordt het metalen blokje als meer opvallend ervaren en ook als groter waargenomen: een kunststof blokje moet gemiddeld 6,2% groter zijn dan een metalen blokje om als even groot waargenomen te worden.

Ten slotte hebben we ook een zacht schuimrubberen blokje laten vergelijken met harde kunststof blokjes. Een zacht blokje moest gemiddeld 26% groter zijn dan een hard blokje om als gelijk in volume ervaren te worden. Harde kubusjes, die een intensere tastervaring teweeg brengen, worden dus als groter waargenomen dan zachte kubusjes.

In het algemeen kunnen we zeggen dat een voorwerp met een opvallende eigenschap als groter wordt waargenomen dan een even groot voorwerp dat die eigenschap niet heeft. Daarbij valt op dat voor mechanische eigenschappen, zoals textuur of hardheid, het effect groter is dan voor een thermische eigenschap, zoals warmtegeleiding. Dit komt wellicht doordat de gevraagde grootte, volume, met hetzelfde type receptoren waargenomen wordt als de mechanische eigenschappen. Thermische eigenschappen worden met een ander type receptoren waargenomen, die mogelijk een minder sterke invloed hebben. In beide gevallen geldt echter dat de waarneming van grootte van voorwerpen niet los gezien kan worden van de waarneming van materiaaleigenschappen.

De bevindingen van de invloed van vorm en materiaal op de waarneming van grootte hebben implicaties voor bijvoorbeeld ontwerpers van interfaces. Mens-machine-interactie is in toenemende mate belangrijk. Informatie die via de tastzin beschikbaar is, kan worden



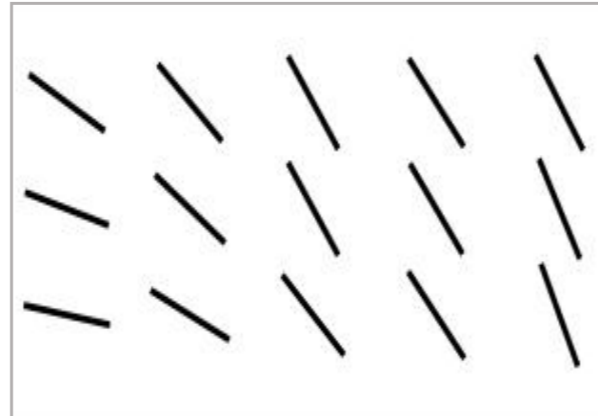
Afbeelding 2a. Voorbeeld van een oriëntatie-instelexperiment. Het rechterstaafje is ingesteld door de proefleider (135°), het andere is ingesteld door de proefpersoon (180°). Deze proefpersoon heeft een deviatie van 45°.

ingezet ter vervanging of ter ondersteuning van visuele informatie. Dit kan de veiligheid en/of de efficiëntie van systemen verbeteren. Te denken valt bijvoorbeeld aan ingewikkelde schakelpanelen, waar belangrijke knoppen zowel visueel als op de tast herkenbaar zijn. Bij het ontwerp dient dan dus wel rekening te worden gehouden met de invloed van interacties tussen materiaal, vorm en grootte op de waarneming.

Waarneming van de oriëntatie van een object

Wat begon als een eenvoudig experiment is uitgegroeid tot een lijn van onderzoek. Een proefpersoon werd gevraagd om een staafje dat door de proefleider in een bepaalde oriëntatie was vastgezet te bevoelen en om een ander staafje met de andere hand in dezelfde stand te draaien (zie afbeelding 2a voor een voorbeeld van de situatie). Direct bleek dat proefpersonen daarbij hele grote, maar wel systematische fouten maken: om als evenwijdig te voelen (met andere woorden, in dezelfde oriëntatie), moet het rechter staafje naar rechts gedraaid zijn ten opzichte van het linker staafje. Hoe ver het rechter staafje gedraaid moet zijn, hangt van de proefpersoon af: voor sommige proefpersonen is dit maar een paar graden, maar er zijn ook proefpersonen die meer dan 90° draai nodig hebben om de staafjes als evenwijdig te voelen. Voor deze laatste proefpersonen geldt dat staafjes die loodrecht op elkaar staan bijna voelen als evenwijdig.²

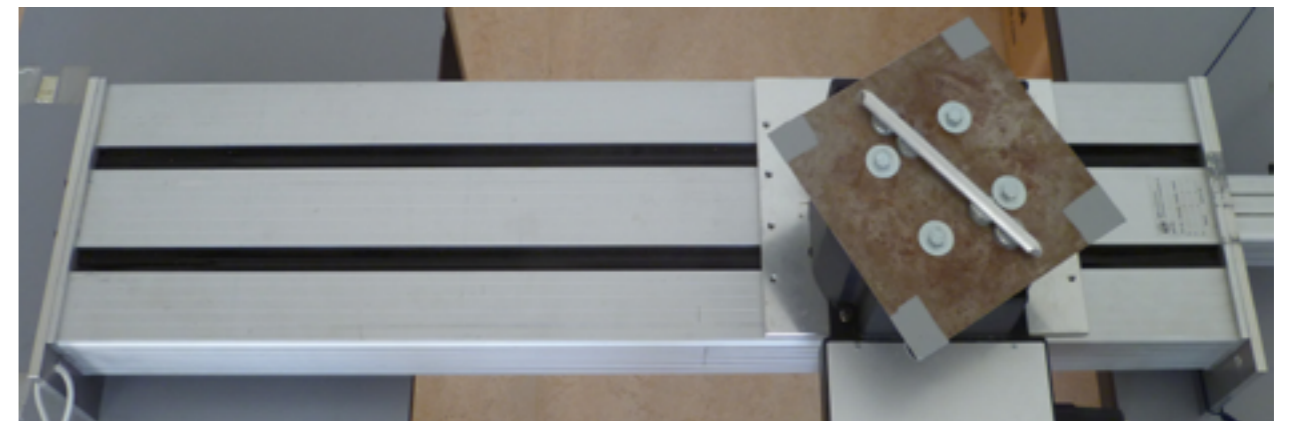
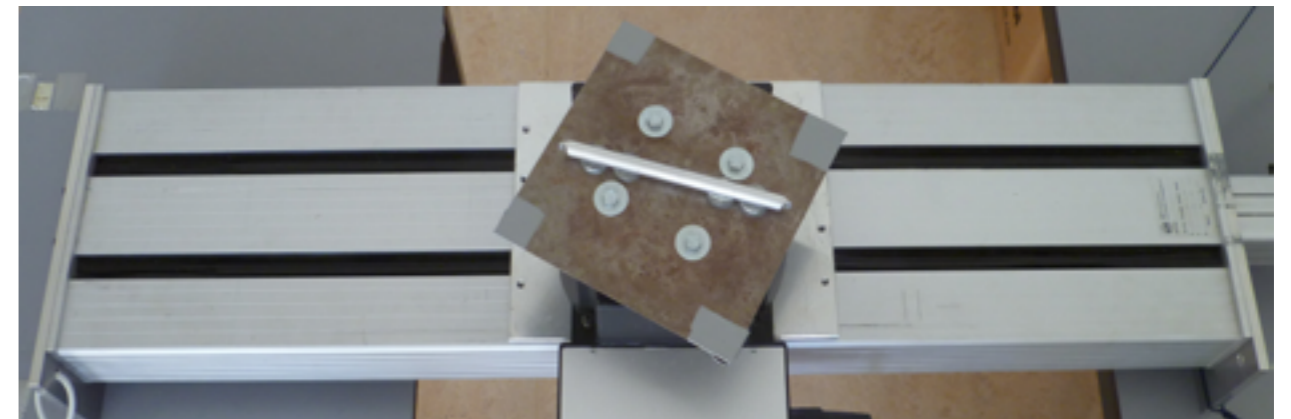
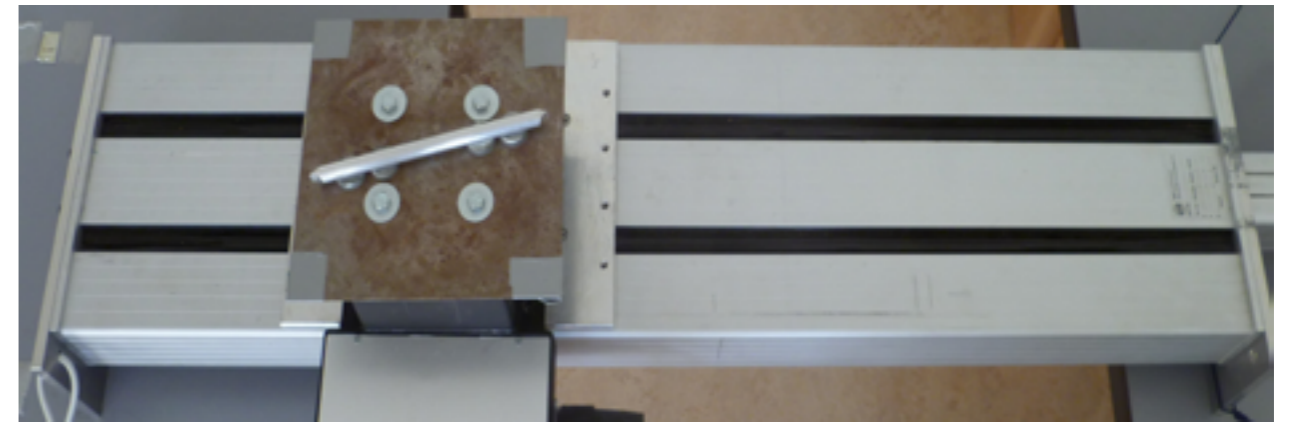
² Ook dit experiment is met eenvoudige middelen (bijvoorbeeld een tafel en twee potloden) eenvoudig thuis na te doen. Laat dan de proefleider een van de potloden in een beetje schuine stand zetten en vraag de proefpersoon om het andere potlood in dezelfde stand te zetten. Let daarbij ook goed op de punt van het potlood. De armen ver uit elkaar geeft de grootste effecten.



Afbeelding 2b. Bovenaanzicht van het resultaat van de opdracht alle staafjes in dezelfde oriëntatie te zetten; de proefpersoon zat midden onderaan en gebruikte in dit geval slechts één hand. Het is goed te zien dat van links naar rechts de staafjes steeds verder naar rechts zijn gedraaid.

In een vervolgonderzoek met 68 proefpersonen bleek dat de gemiddelde deviatie in een opstelling zoals in afbeelding 2a, 41° was, maar voor de verschillende proefpersonen varieerde van 8 tot 91°. Leeftijd en armlengte maken niet uit en het maakt ook niet uit of je links- of rechtshandig bent. Vrouwen hebben gemiddeld grotere deviaties dan mannen, maar wat daar de oorzaak van is, is nog niet bekend. Verder maakt het nauwelijks uit of je het experiment met één of met twee handen doet. In afbeelding 2b is een schematisch bovenaanzicht te zien van dezelfde opstelling als in afbeelding 2a, maar nu met op alle posities door de rechterhand als evenwijdig ingestelde staafjes. Er is een duidelijk 'waaierpatroon' te zien, waarbij van links naar rechts de staafjes steeds verder naar rechts zijn gedraaid (voor een overzichtsartikel zie Kappers, 2007).

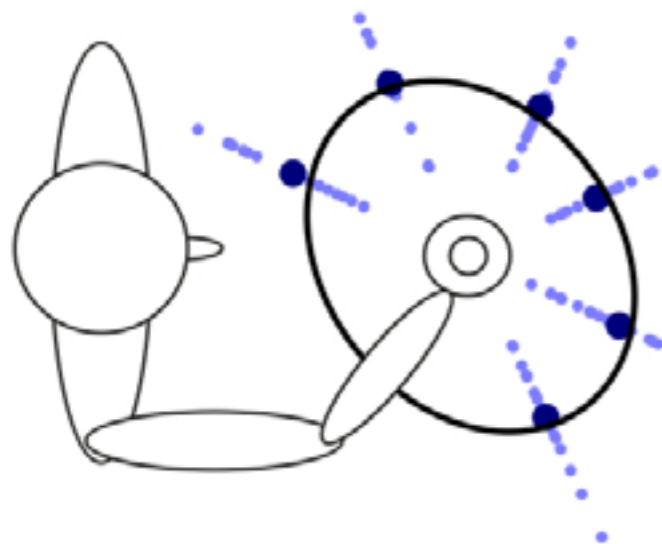
De verklaring van deze deviaties wordt gevonden in verschillende referentiekaders. De opdracht aan de proefpersoon wordt gegeven in een extern referentiekader: de staafjes moeten parallel staan ten opzichte van de tafelrand (zonder deze rand expliciet te voelen). De proefpersoon heeft echter alleen zijn eigen egocentrische referentiekader(s) ter beschikking (bijvoorbeeld zijn hand of zijn lichaamsas). In afbeelding 2a is goed te zien dat de armen en handen van de proefpersoon ver uit elkaar staan en ten opzichte van de tafelrand heel verschillende oriëntaties hebben. Bij deze proefpersoon, die een redelijk grote deviatie heeft, staan de staafjes ten opzichte van de handen bijna in dezelfde stand. Met andere woorden: de staafjes staan vrijwel identiek in het egocentrische referentiekader van de proefpersoon. Zoals gezegd hebben lang niet alle proefpersonen zulke grote deviaties, maar er kan wel worden geconcludeerd dat bij alle proefpersonen dat wat als evenwijdig voelt, sterk beïnvloed wordt door hun egocentrische referentiekader.



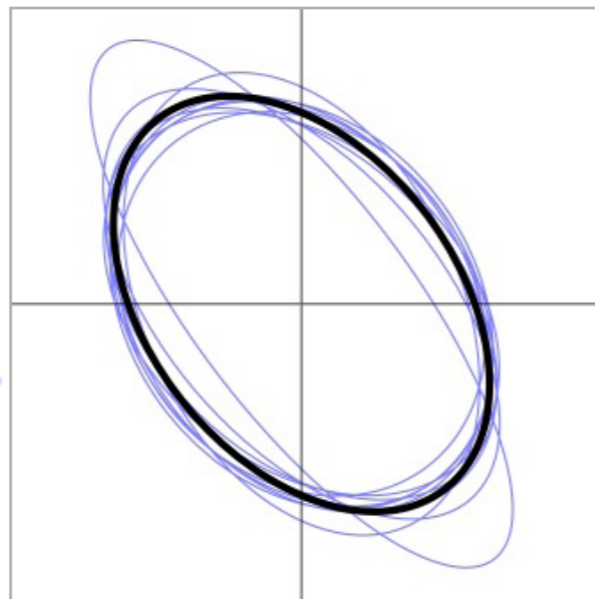
Afbeelding 3. Drie keer een bovenaanzicht van een opstelling met een translierend en roterend staafje. Een proefpersoon moet zijn hand op het staafje leggen terwijl het beweegt en beslissen of het met de klok mee of tegen de klok in draait.

Recentelijk hebben we een experiment gedaan waarbij een staafje opzij bewoog, terwijl het tegelijkertijd ook kon draaien om zijn middelpunt (zie afbeelding 3). De proefpersoon moest zijn hand op het staafje leggen en beoordelen in welke richting het staafje draaide (met de klok mee of tegen de klok in). Op grond van de resultaten met de opstelling in afbeelding 2a werd voorspeld dat bij een beweging van links naar rechts, het staafje een flinke draai met de klok mee moest maken voordat het zou worden waargenomen als met de klok mee. Met andere woorden, een niet-draaiend staafje zou worden waargenomen als draaiend tegen de klok in. Dit bleek inderdaad het geval (Kappers & Bergmann Tiest, 2013).

Dit betekent dat mensen niet in staat zijn om van een bewegend object via de tast vast te stellen of het wel of niet roteert, omdat tegelijkertijd ook de oriëntaties van hun arm en hand veranderen. Nu zult u misschien denken dat deze resultaten niet zo van belang zijn voor het dagelijks leven, omdat we in de meeste situaties onze omgeving ook kunnen zien. Ons visuele systeem blijkt in dit soort taken echter vergelijkbare fouten te maken. Deze zijn weliswaar iets kleiner, maar even systematisch (Kappers & Schakel, 2011). Bovendien gebeurt dit niet alleen in laboratoriumsituaties. Koenderink en collega's (2000) voerden buiten op een grasveld een aanwijstaak uit.



Afbeelding 4a. Bovenaanzicht van een proefpersoon die een handvat vasthoudt. De lichtblauwe datapunten zijn de waardes van de waargenomen kracht in de aangegeven richting voor een representatieve proefpersoon. Een grotere afstand van de hand betekent dat de kracht groter werd ingeschat. De dikke donkerblauwe punten laten de gemiddelde waardes van de lichtblauwe meetpunten in die richting zien. Deze donkerblauwe punten liggen op een ellips, wat goed te zien is aan de gefitte zwarte ellips die bijna perfect door de punten heen loopt. Als er geen effect van richting op de waarneming van de grootte van kracht zou zijn, zouden de data op een cirkel gelegen hebben.



Afbeelding 4b. Overzicht van de gefitte ellipsen voor alle proefpersonen, waarbij de lichtblauwe lijnen de ellipsen per proefpersoon aangeven en de dikke zwarte lijn de gemiddelde ellips laat zien. Alle proefpersonen namen een kracht loodrecht op de arm als groter waar dan een kracht die in lijn met de arm wordt uitgeoefend.

Proefpersonen moesten een op afstand bestuurbare pijl laten wijzen naar een doel en daarbij ontstonden grote, maar wel systematische miswijzingen. Zolang de pijl recht voor de proefpersoon staat (egocentrisch wijzen) gaat het heel goed, maar zodra de pijl ergens anders staat (exocentrisch wijzen) gaat het mis. Dit verklaart in ieder geval voor een deel waarom het vaak zo moeilijk is om te zien wat een andere persoon in de verte aanwijst.³ Met deze systematische fouten in de waarneming van oriëntaties zou, bij het ontwerpen en inrichten van bijvoorbeeld werkplekken, rekening kunnen worden gehouden. Als bepaalde gereedschappen of instrumenten regelmatig moeten worden gepakt, dan is het wellicht efficiënter als deze niet parallel zijn opgesteld, maar juist loodrecht op de richting van de arm of hand. Een ander voorbeeld is het bedienen van

een voertuig op afstand of een robotarm middels een joystick, waarbij 'rechtdoor' zou kunnen afhangen van de plaats van de joystick ten opzichte van het lichaam.

Waarneming van de grootte van een kracht

Ook in het waarnemen van wat abstractere kenmerken, zoals het waarnemen van een kracht, kunnen interessante vervormingen optreden. In een experiment vroegen we aan proefpersonen om een handvat vast te houden, waarop een kracht in verschillende richtingen in het horizontale vlak werd uitgeoefend (Van Beek et al., 2013). In afbeelding 4a is een bovenaanzicht te zien van de proefpersoon die het handvat vasthoudt. De opdracht voor de proefpersoon was het inschatten van de grootte van de kracht.

Het bleek zo te zijn dat de inschatting van de grootte van de kracht afhankelijk was van de richting waarin de kracht werd aangeboden. De waargenomen waardes lieten een ellipsvormig patroon zien, zoals duidelijk is in afbeelding 4a. Dit was het geval voor alle proefpersonen, wat te zien is in afbeelding 4b. De ellipsen leken allemaal erg op elkaar, dus de invloed van richting op krachtswaarneming is een erg consistent effect. De vraag die nu nog rest is: waar wordt dit effect door veroorzaakt?

We zijn nu bezig met een vervolgonderzoek om te onderzoeken wat de oorzaak van dit effect precies is.

We vermoeden dat het te maken heeft met hoe gemakkelijk je een kracht kunt tegenhouden in een bepaalde richting, aangezien de proefpersonen een kracht loodrecht op de arm als groter waarnamen dan een kracht die in lijn met de arm werd uitgeoefend. Dit komt overeen met de richting waarin de arm, door zijn spier-, bot- en peessamenstelling, het best tegen krachten bestand is. Deze overeenkomst suggereert dat mensen niet de daadwerkelijke grootte van de kracht waarnemen, maar het gemak waarmee ze een kracht in die richting tegenhouden. De huidige experimenten zullen uitwijzen of deze uitleg inderdaad de juiste is.

Conclusies

De voorbeelden die hier besproken zijn, geven aan dat de tast ons lang niet altijd waarheidsgetrouwe informatie verschaft. In het dagelijks leven valt dat misschien niet snel op, maar bij het ontwerpen van apparaten of werkruimtes is het wellicht goed om er rekening mee te houden. Om slechts een voorbeeld te noemen: bij bijvoorbeeld het ontwikkelen van apparatuur voor kijkoperaties of op afstand bestuurbare robotarmen wordt nagedacht over het geven van haptische terugkoppeling, dus over het geven van informatie via krachten. Impliciet wordt er daarbij van uitgegaan dat de waarneming van krachten isotroop is, dus onafhankelijk van de richting van de kracht. Ons onderzoek laat duidelijk zien dat dit niet het geval is. Nu zijn mensen zeer flexibel en kunnen ze snel leren om correct om te gaan met de aangeboden informatie, maar je kunt je afvragen of het niet beter is om met de individuele anisotropieën rekening te houden, zeker als die voor verschillende proefpersonen redelijk hetzelfde zijn.

Naast de relevantie voor toepassingen levert genoemd onderzoek ook een bijdrage aan de fundamentele kennis van de tastzin. Hoe uitgebreider deze kennis is, hoe beter toepasbaar deze in de toekomst zal zijn.

Abstract

It is often thought that touch provides us with veridical information about our environment. However, our sense of touch is susceptible to strong but systematic illusions and aftereffects. In this article, we describe some examples from our recent research. The felt size of an object is influenced by what has been touched directly before: if that was small, the current object will be perceived as relatively large. Also material properties such as texture (roughness), temperature and hardness influence the perception of size: an object with salient properties feels larger. The perception of orientations of objects relative to each other is influenced by the orientation of the perceiving limb. The perceived magnitude of a force depends on its direction: a force perpendicular to the arm feels stronger than a force in line with the arm.

Referenties

Beek, F.E. van, Bergmann Tiest, W.M., & Kappers, A.M.L. (2013). Anisotropy in the haptic perception of force direction and magnitude. *IEEE Transactions on Haptics*, 6 (4), 399-407.

Bergmann Tiest, W.M., Kahrmanovic, M., Niemantsverdriet, I., Bogale, K., & Kappers, A.M.L. (2012). Salient material properties and haptic volume perception: the influences of surface texture, thermal conductivity, and compliance. *Attention, Perception & Psychophysics*, 74 (8), 1810-1818.

Kahrmanovic, M., Bergmann Tiest, W.M., & Kappers A.M.L. (2010). Hoe onze zintuigen ons kunnen misleiden - Invloed van vorm op visuele en haptische waarneming van volume en gewicht. *Tijdschrift voor Ergonomie*, 35(4), 11-14.

Kappers, A.M.L. (2007). Haptic Space Processing - Allocentric and Egocentric Reference Frames. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 61 (3), 208-218.

Kappers A.M.L., & Bergmann Tiest, W.M. (2013). Illusory rotation in the haptic perception of a moving bar. *Experimental Brain Research*, 231(3), 325-329.

Kappers, A.M.L., & Bergmann Tiest, W.M. (2014). Influence of shape on the haptic size aftereffect. *PLoS One*, 9(2), e88729.

Kappers, A.M.L., & Schakel, W.B. (2011). Comparison of the haptic and visual deviations in a parallelism task. *Experimental Brain Research*, 208(3), 467-473.

Koenderink, J.J., Doorn, A.J. van, & Lappin, J.S. (2000). Direct measurement of the curvature of visual space. *Perception*, 29(1), 69-79.

Plaisier, M.A., Bergmann Tiest, W.M., & Kappers, A.M.L. (2009). Salient features in three-dimensional haptic shape perception. *Attention, Perception & Psychophysics*, 71(2), 421-430.

Uznadze, D.N. (1966). *The psychology of set*. New York: Consultants Bureau.

Vogels, I.M.L.C., Kappers, A.M.L., & Koenderink, J.J. (1996). Haptic aftereffect of curved surfaces. *Perception*, 25(1), 109-119.

³ Ook dit kan weer thuis of buiten gedaan worden. Bepaal ergens een doel, bijvoorbeeld een boom of lantaarnpaal in de verte ergens links voor. Instrueer een persoon die met uitgestrekte arm rechts voor u staat op een paar meter afstand om in kleine stapjes te draaien totdat u vindt dat deze persoon naar uw doel wijst. Hoogstwaarschijnlijk zal deze persoon vinden dat hij/zij naar iets heel anders wijst. Dit kunt u controleren door recht achter deze persoon te gaan staan.