

Haptische waarneming van materiaal, vorm en ruimte

Drs. Mirela Kahrmanovic^a, Dr. Wouter M. Bergmann Tiest^b, Drs. Myrthe A. Plaisier^a,
Drs. Abram F.J. Sanders^a, Dr. Bernard J. van der Horst^c en Prof. Dr. Astrid M.L. Kappers^d

Dit artikel beschrijft hoe materiaaleigenschappen, twee- en driedimensionale vormen en ruimtelijke relaties haptisch, i.e. met het tastzintuig, worden waargenomen. Tevens wordt beschreven wat de invloeden van de omgeving zijn tijdens verschillende haptische waarnemingen. Deze onderwerpen zijn onderzocht door middel van psychofysische experimenten en nauwkeurig gedefinieerde stimuli. Uit de onderzoeken blijkt dat het haptische systeem zeer gevoelig is voor een uiteenlopend scala van objecteigenschappen en dat er grote effecten van de omgeving zijn. Dit artikel presenteert fundamentele informatie met betrekking tot het haptische systeem, maar stipt tevens aan hoe deze kennis nuttig kan zijn bij het ontwerpen van tactiele displays of andere apparaten die met de tast bediend dienen te worden.

Inleiding

Als we om ons heen kijken zien we een verscheidenheid aan objecten, met kenmerkende geometrische vormen, structuren en kleuren. Stelt u zich eens voor dat u geen gebruik kon maken van uw visuele zintuig. Hoe zou u in dat geval de wereld om u heen

waarnemen? Een mogelijkheid zou zijn door gebruik te maken van uw tastzintuig; deze vorm van waarnemen staat ook wel bekend als haptische waarneming. Wil men deze vorm van waarneming begrijpen, dan is het van belang om de vraag te stellen welke objecteigenschappen het tastzintuig kan waarnemen. Hoe goed is men in het herkennen van vormen op de tast, hoe nauwkeurig kunnen verschillende materiaaleigenschappen worden onderscheiden, hoe goed kan een object gedetecteerd worden wanneer dit zich bevindt tussen niet relevante objecten? Dit soort vragen zijn van belang voor het verwerven van fundamentele kennis, maar ook voor het beantwoorden van praktische vraagstukken. Bijvoorbeeld, om het gebruik van bepaalde faciliteiten te optimaliseren is het van belang om in acht te nemen welke eigenschappen door het haptische systeem waarneembaar zijn. Wanneer twee knoppen functioneel verschillend zijn, moeten ze zo ontworpen worden dat ze ook door het haptisch systeem te discrimineren zijn. Daarom is het van belang om het tastsysteem grondig te bestuderen en zijn voordelen en tekortkomingen aan het licht te brengen.

Informatie auteurs:

^a Promovendus bij Fysica van de Mens, Helmholtz Instituut, Universiteit Utrecht

^b Postdoc bij Fysica van de Mens, Helmholtz Instituut, Universiteit Utrecht

^c Onderzoeker bij Movares Nederland B.V., Utrecht

^d Hoogleraar bij afdeling Fysica van de Mens, Helmholtz Instituut, Universiteit Utrecht

Correspondentieadres:

Drs. Mirela Kahrmanovic, Afdeling Fysica van de Mens, Helmholtz Instituut, Universiteit Utrecht, Padualaan 8, 3584 CH Utrecht, telefoon: +31 30 253 2807, e-mail: m.kahrmanovic@uu.nl

Materiaaleigenschappen

Een aspect van de wereld om ons heen waar we met de tastzin veel informatie over kunnen verkrijgen zijn materiaaleigenschappen. Met de receptoren in onze huid kunnen we iets te weten komen over de ruwheid, indrukbaarheid, wrijving en warmtegeleiding van materialen.

Koud en warm

Door middel van thermoreceptoren kunnen mensen een schatting maken van de temperatuur van wat ze aanraken. Maar er wordt ook verschil gevoeld in 'koudheid' van voorwerpen die dezelfde temperatuur hebben. Hout van kamertemperatuur voelt bijvoorbeeld meestal warmer aan dan metaal van kamertemperatuur. Dit komt door verschillen in contactweerstand tussen huid en materiaal en door verschillen in de thermische materiaaleigenschappen zoals warmtegeleiding en warmtecapaciteit. Samen bepalen warmtegeleiding en warmtecapaciteit een thermische tijdconstante, die een maat is voor het tempo waarmee het materiaal warmte onttrekt aan de huid. Hoe sneller het materiaal warmte onttrekt, hoe kouder het aanvoelt. Onderzoek met kunstmatig opgewekte warmteonttrekking heeft aangetoond dat proefpersonen verschillen kunnen voelen in het tempo van warmteonttrekking als deze minstens 43% bedragen (Bergmann Tiest & Kappers, in druk).

Voorwerpen op kamertemperatuur zijn kouder dan de huid en onttrekken warmte als ze aangeraakt worden, maar bij voorwerpen die warmer zijn dan de huid is de richting van de warmtestroom omgekeerd. In dit geval is ook het gevoel van 'koudheid' omgekeerd: materialen die bij kamertemperatuur kouder aanvoelen, voelen bij bijvoorbeeld 40°C juist warmer aan dan andere materialen van dezelfde temperatuur. Bij 34°C ligt het omslagpunt, waarop er geen verschil gevoeld kan worden tussen materialen op basis van hun waargenomen 'koudheid' (Bergmann Tiest & Kappers, 2006). Daarom is het van belang om in acht te nemen wat de omstandigheden zijn waarin voorwerpen gebruikt zullen worden, voordat er gekozen wordt welke materiaaleigenschappen ze moeten hebben.

Ruw en glad

Met ruwheid in fysische zin wordt vaak de magnitude van de hoogteverschillen in een oppervlak bedoeld. Dit hoeft echter niet altijd overeen te komen met wat mensen in het dagelijks leven onder ruw en glad verstaan. Het blijkt dat bijvoorbeeld ook wrijving een

belangrijke rol kan spelen. Ruwheid zoals die wordt waargenomen, bestaat dus uit verschillende fysische materiaaleigenschappen. Desondanks is ruwheid een zeer basale tastsensatie. Hierdoor is het mogelijk om door slechts een enkele aanraking de ruwheid van een oppervlak te beoordelen. Dit blijkt uit het onderzoek naar de opvallendheid van ruwheid (Plaisier e.a., 2008). Hoe opvallend bepaalde objecteigenschappen zijn, is in het visuele systeem uitgebreid onderzocht aan de hand van visuele zoektaken. Daarbij is de taak om zo snel mogelijk te antwoorden of een bepaald doel (bijvoorbeeld een groene stip) aanwezig is tussen variërende hoeveelheden afleiders (bijvoorbeeld rode stippen). De reactietijd wordt dan gemeten als functie van het aantal items (stippen in dit geval). Dit visuele zoekparadigma werd vertaald naar een haptisch zoekparadigma om zo te onderzoeken hoe opvallend ruwheid is voor het haptische systeem. In dit geval werden oppervlakken aangeboden waarop stukjes schuurpapier waren bevestigd. Het doel kon dan ruw schuurpapier zijn tussen minder ruwe stukken schuurpapier als afleiders, of andersom. Uit deze studie is gebleken dat het zoeken naar een ruw doel tussen minder ruwe doelen veel efficiënter is dan het omgekeerde. Ook de strategie die proefpersonen gebruikten verschilde tussen deze twee condities. Voor het vinden van een ruw doel maakten ze een enkele handbeweging over het oppervlak, terwijl ze in het andere geval alle items een voor een afdongen. Deze studie laat zien dat ruwheid een zeer opvallende materiaaleigenschap is, maar dat zoekefficiëntie sterk afhankelijk is van de combinatie van doel en afleider items.

Tevens blijkt dat ruwheid niet absoluut wordt waargenomen, maar dat de waarneming afhangt van de temporele en spatiële context (Kahrmanovic e.a., onder revisie). Wanneer de proefpersoon de wijsvinger gebruikt om een materiaaloppervlak gedurende een bepaalde tijdsperiode te scannen en vervolgens met dezelfde vinger een andere oppervlak op ruwheid moet bepalen, blijken er adaptatie-effecten op te treden. Een oppervlak voelt ruwer (gladder) aan wanneer voorafgaand aan de waarneming geadapteerd is aan een glad (ruw) oppervlak. Met betrekking tot de spatiële context blijkt dat wat de ene vinger als ruw ervaart wordt beïnvloed door de ruwheid van het oppervlak gevoeld met een aanliggende vinger. Als de middelvinger een ruw oppervlak scant, dan wordt de waarneming van het oppervlak onder de wijsvinger als ruwer ervaren. Deze effecten van de context kunnen een rol spelen bij het bedienen van verschillende haptische interfaces. Een bepaalde aanraking wordt over het algemeen voorafgegaan door (langdu-

den en niet herkenden, konden tekenen. Ze werden gevraagd de blinddoek af te doen en te tekenen wat ze op de tast hadden waargenomen. Hierbij bleek dat proefpersonen ineens in 31% van de gevallen het voorwerp dat ze op de tast niet herkenden correct konden tekenen en op die manier identificeren. Blijkbaar kan de sequentiële waarneming met de tast worden gebruikt om achteraf een tekening van de waarneming te produceren. Door het object te tekenen wordt de sequentiële waarneming omgezet in een simultane structuur. Met andere woorden, de afzonderlijke stukjes die één voor één waargenomen zijn met de vingers worden met elkaar verbonden tot één geheel. Deze simultane structuur kan dan vergeleken worden met representaties in het geheugen om zo het object te herkennen.

3-D Vormen

Naast het bestuderen van de afzonderlijke delen van een object is het van belang om ook naar het geheel te kijken. De stap naar drie-dimensionale vormen is gemaakt in bijvoorbeeld het onderzoek naar de invloed van vorm op de haptische waarneming van volume (Kahrimanovic e.a., in voorbereiding). In dit onderzoek werden tetraëders, bollen en kubussen van verschillende volumens met elkaar vergeleken (Figuur 2). Wanneer proefpersonen vormen van hetzelfde volume vergeleken, werd een tetraëder als groter ervaren dan een kubus en een bol, en werd de kubus als groter ervaren dan een bol. Dit effect trad op in zowel condities waarin de vormen vrij in de hand gehouden werden, dus met gewichtsinformatie, als in condities waarin ze op statieven gezet werden en dan gevoeld werden, dus zonder gewichtsinformatie.

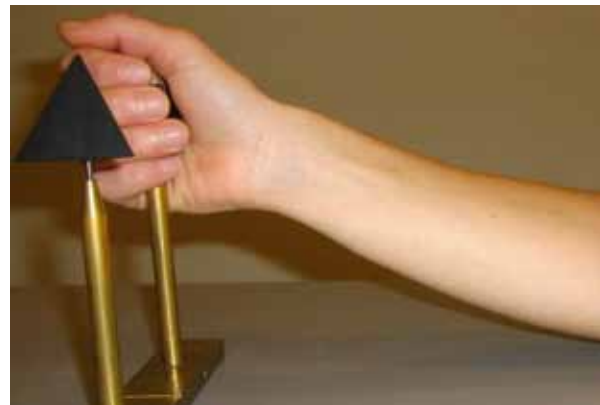
Een andere onderzoek met 3-D vormen heeft betrekking op de opvallendheid van vormeigenschappen. Naast de eerder genoemde materiaaleigenschappen, zoals ruwheid, kunnen ook vormeigenschappen een belangrijke rol spelen bij de herkenning van objecten. In dit onderzoek werd wederom het zoekparadigma gebruikt, waarbij doel- en afleideritems bestonden uit drie-dimensionale vormen die tegelijkertijd in de hand genomen werden. Deze vormen konden kubussen, bollen, ellipsoïden, tetraëders of cilinders zijn. Door verschillende combinaties van deze vormen als doel en afleiders te gebruiken werd gevonden dat de opvallendste vormeigenschappen randen en hoeken zijn.

Krommingen

De haptische waarneming van krommingen laat wederom zien dat de relatie tussen de fysieke en



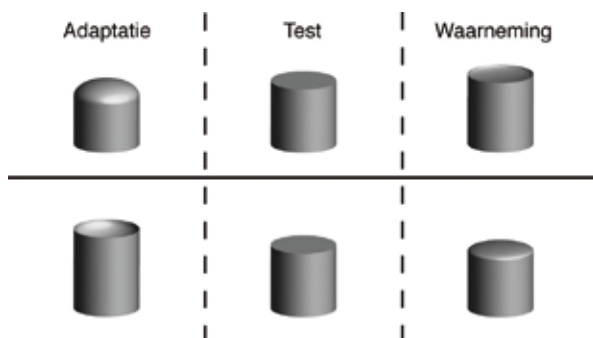
Figuur 2
 Waarneming van volume. De taak van de proefpersoon was om de stimulus te omhullen en zijn volume te vergelijken met het volume van een referentiestimulus.
 A: conditie met gewichtsinformatie.



B: conditie zonder gewichtsinformatie.

waargenomen waarde kan veranderen nadat iemand gedurende een bepaalde tijd is blootgesteld aan een bepaalde stimulus. Na het aanraken van een bol oppervlak beoordelen proefpersonen een plat oppervlak vaker als hol dan na het aanraken van een hol oppervlak (Vogels e.a., 1996). Dit na-effect is al meetbaar nadat het adaptatieoppervlak slechts een paar seconden is aangeraakt en neemt toe naarmate de lengte van deze periode toeneemt. De effecten zijn zo groot dat een kromming van 0.8/m als plat beoordeeld kan worden onder invloed van het na-effect, terwijl deze kromming ongeveer 4 keer zo groot is als de drempel voor krommingdetectie. Tevens bleek dat het na-effect niet alleen bepaald wordt door het meest recentelijk aangeraakt oppervlak, maar dat andere voorafgaande oppervlakken ook eraan bijdragen. Er werd gevonden dat wanneer twee oppervlakken achter elkaar worden aangeraakt, ieder voor 10 seconden, ongeveer 20 % van het na-effect verklaard werd door het eerste oppervlak en ongeveer 76 % door het tweede oppervlak (Vogels e.a., 1996).

Deze onderzoeken laten zien dat na-effecten optreden wanneer stimuli aangeraakt worden met de hele hand. Echter, wanneer we een apparaat bedienen komt het voor dat alleen een enkele vinger gebruikt wordt om een knop ingedrukt te houden. Zijn dan ook na-effecten mogelijk? Het na-effect blijkt ook op te treden als een gekromd oppervlak met een enkele vinger wordt aangeraakt, statische tast, en ook als er met een vinger over het oppervlak heen en weer wordt bewogen, dynamische tast. Figuur 3 laat zien hoe een testoppervlak waargenomen wordt onder invloed van de kromming van het adaptatieoppervlak. En het blijft niet hierbij. Wanneer men met de ene hand een stimulus voor een lange tijd voelt en dan vervolgens met de andere hand een andere stimulus moet beoordelen, vindt er wederom een na-effect plaats. Dit is vooral het geval wanneer dynamische tast gebruikt wordt (Van der Horst e.a., 2008a,b). Dit verrassende resultaat impliceert dat dynamisch verkregen krommingsinformatie, anders dan statisch verkregen informatie, op een hoog niveau in het brein gerepresenteerd wordt. Hieruit kunnen we concluderen dat het niveau waarop informatie over de vorm van een voorwerp in het brein verwerkt wordt afhangt van de manier waarop het voorwerp haptisch wordt geëxploreerd. Effecten van de omgeving waarin de waarneming plaats vindt treden dus niet enkel op bij de waarneming van materiaaleigenschappen, maar ook bij de waarneming van vormen.



Figuur 3
Na-effecten van kromming. Links; bol en hol adaptatieoppervlak. Midden: twee identieke testoppervlakten. Rechts: de haptische waarneming. Deze illustratie laat zien dat een vlak testoppervlak bol of hol wordt waargenomen afhankelijk van de kromming van het adaptatieoppervlak.

Ruimte

Bij haptische waarneming van ruimtelijke eigenschappen kan gedacht worden aan de waarneming van lengte. Tevens kan hierbij onderzocht worden of er een invloed is van de positie van de stimuli ten opzichte van de waarnemer.

Lengte

Onderzoeken laten zien dat kromming van invloed is op de waarneming van lengte (Sanders & Kappers, 2008). Er zijn verschillende manieren om op de tast lengte waar te nemen; één manier is om met de vinger een pad in de ruimte te volgen en de afgelegde afstand te schatten. Sanders en Kappers (2008) presenteren een experiment waarin proefpersonen padlengtes over cilindrisch gekromde oppervlakken voelden. Ze vonden dat de waarneming van bolle en holle oppervlakken kwalitatief verschilde: bolle lengtes werden overschat terwijl holle lengtes werden onderschat. Uit de registratie van de bewegingen bleek dat de wijsvinger systematisch langzamer bewoog over het bolle oppervlak in vergelijking met het holle oppervlak, ook al waren proefpersonen niet geïnstrueerd met betrekking tot hun bewegingssnelheid. De aanzienlijke correlatie tussen bewegingstijden en lengte-inschattingen van de proefpersonen suggereert dat proefpersonen de bewegingstijd als hun belangrijkste maat voor waargenomen lengte namen, maar de snelheid van bewegen negeerden. Daarmee geeft dit onderzoek een goed voorbeeld van de wederzijdse interactie tussen het perceptuele en het motorsysteem.

Rechte en parallelle lijnen

Sanders en Kappers (2007) hebben onderzoek gedaan naar de haptisch rechte, dat wil zeggen, rechte lijnen die op de tast worden geconstrueerd. In vier experimenten werden proefpersonen gevraagd om tussen twee referentiepunten in het horizontale vlak rechte lijnen te produceren. Rechte lijnen hadden een oriëntatie die parallel aan de borstkas was; proefpersonen konden beide handen vrij gebruiken. De resultaten lieten aanzienlijke verschillen tussen proefpersonen zien, maar over het geheel genomen bleek dat de haptisch rechte boogvormig was, in plaats van recht. De relatie tussen de fysisch en haptisch rechte lijnen is weergegeven in Figuur 4.

Naast dit verschil tussen fysisch en haptisch rechte lijnen, blijkt ook dat wat proefpersonen als parallel waarnemen afwijkt van wat daadwerkelijk fysiek parallel is. In de onderzoeken naar de haptisch parallelle lijnen werden proefpersonen gevraagd om een teststaaf te roteren tot deze parallel voelde aan een referentiestaaf. Systematische afwijkingen tot meer dan 90° werden gevonden (Kappers, 2003).

Deze onderzoeken laten wederom zien dat het belangrijk is om de haptische waarneming te bestuderen. Als we enkel uitgaan van fysische waarden, dan kan

