

Product- ergonomie

Ontwerpen voor nut, gebruik en beleving



deel 2a

Brecht Daams

Uitgeverij Undesigning

Inhoud

Inleiding

5	Fysieke ergonomie	277
5.1	Lichaamsmaten	278
5.1.1	De geschiedenis van het meten van lichaamsmaten	278
5.1.2	Antropometrie	282
5.1.3	Populatiematen	285
5.1.4	Invloed van variabelen op lichaamsafmetingen	294
5.1.5	Kleding en andere factoren	302
5.2	Beweging	306
5.2.1	Bewegen, een levensvoorwaarde	306
5.2.2	Houdingen en bewegingen	309
5.2.3	Bewegingsruimte	313
5.2.4	De hand, anatomie en beweging	319
5.2.5	Linkshandigheid	324
5.3	Ondersteund worden	327
5.3.1	Krachten op het menselijk lichaam	327
5.3.2	Ondersteuning en drukverdeling	332
5.3.3	De rug	335
5.4	Krachten	338
5.4.1	De werking van spieren	339
5.4.2	Moment, vermogen en efficiëntie	343
5.4.3	Fysieke inspanning en arbeid	347
5.4.4	Vuistregels voor ideefase	354
5.4.5	Krachten opzoeken of meten voor detailleringfase	360
5.5	Fysieke bediening en motorisch geheugen	364
5.5.1	Motorisch geheugen en aanleren van beweging	364
5.5.2	Van hanteren naar bedienen	369
5.5.3	Bedieningsfasen en –patronen	370
5.5.4	Diverse bedieningscomponenten	372
5.6	Mensmodellen van papier tot computer	373
5.6.1	Mannikins	373
5.6.2	Mensen meten met computers	376
5.6.3	Computermodellen van mensen	378
5.7	Het ontwerpen van fysieke producten	383
5.7.1	Het ontwerpen van kleine verblijfsruimten	384
5.7.2	Het ontwerpen van lichaamsondersteuning	388
5.7.3	Het ontwerpen van handvatten	407
5.7.4	Ontwerpen voor krachtuitoefening	412
5.7.5	Het ontwerpen van handgereedschap	415
	Begrippen	419
	Aanbevolen literatuur	421

6	Sensorische ergonomie	423
6.1	Waarnemen	424
6.1.1	Informatie als levensvoorwaarde	426
6.1.2	De zintuigen	427
6.1.3	Zintuigen als vensters naar de buitenwereld	430
6.1.4	Synesthesie	439
6.2	Reukzin en smaak	440
6.2.1	De werking van de reukzin	440
6.2.2	Smaakzin en proeven	444
6.2.3	Vensterkarakteristiek van de reukzin	445
6.2.4	Ontwerpen voor de reukzin	447
6.3	Tastzin, thermoceptie en nociceptie	452
6.3.1	De werking van de huidreceptoren	453
6.3.2	Vensterkarakteristiek van de huidreceptoren	458
6.3.3	Ontwerpen voor de tastzin	460
6.4	Gehoor	463
6.4.1	De werking van het gehoor	463
6.4.2	Vensterkarakteristiek van het gehoor	466
6.4.3	Ontwikkeling van gehoor bij kinderen	471
6.4.4	Invloed van ouderdom op het gehoor	473
6.4.5	Overbelasting van het gehoor	478
6.4.6	Ontwerpen voor het gehoor	484
6.4.7	Ontwerpen voor geluidsreductie	490
6.4.8	Ontwerpen voor informatie-overdracht en beleving	495
6.4.9	Ontwerpen voor ouderen en slechthorenden	502
6.5	Gezichtsvermogen	505
6.5.1	Licht	506
6.5.2	De werking van het gezichtsvermogen	508
6.5.3	Vensterkarakteristiek van het gezichtsvermogen	516
6.5.4	Visuele aandoeningen	525
6.5.5	Ontwikkeling van gezichtsvermogen bij kinderen	530
6.5.6	Invloed van veroudering op het gezichtsvermogen	534
6.5.7	Kleur	536
6.5.8	Kleurenblindheid	543
6.5.9	Verlichting	552
6.5.10	Ontwerpen voor optimaal zicht	565
6.5.11	Leesbaarheid van tekst en indicatoren	574
	Begrippen	582
	Aanbevolen literatuur	584
	Over de auteur	585
	Literatuur en bronnen	587
	Bronvermelding figuren	595
	Index	597

Hoofdstuk 5

Fysieke ergonomie



“Wat heeft antropometrie te maken met het ontwerp van een nieuwe Volvo? In één woord: alles. Door ervoor te zorgen dat een auto de bestuurder ‘past’, kunnen wij hem comfortabeler en, nog belangrijker, veiliger maken..” (Volvo Car Corporation, 2010)

Samenvatting

In de interactie tussen mens en producten zijn het de lichamelijke aspecten van de mens die het meest opvallen, omdat ze vaak direct zichtbaar zijn. Deze fysieke karakteristieken omvatten niet alleen lichaamsmaten, maar ook houdingen, bewegingen en krachten.

In paragraaf 5.1 wordt uitgelegd welke invloed een aantal factoren heeft op de lichaamsafmetingen. In tabellen worden voor diverse populaties afmetingen van verschillende lichaamsmaten gegeven.

In paragraaf 5.2 worden bewegingen gedefinieerd en wordt informatie gegeven over de maximale bewegingsuitslagen van gewrichten.

Paragraaf 5.3 gaat over het ondersteunen van het lichaam, waarbij krachten op de juiste wijze verdeeld en opgevangen moeten worden. Ook de gevolgen

van niet-optimale ondersteuning komen aan bod. Paragraaf 5.4 behandelt de fysieke kracht van gebruikers. Eenvoudig onderzoek op dit gebied kan men vaak zelf uitvoeren.

De fysieke aspecten van bediening, waaronder het motorische geheugen, komen aan de orde in paragraaf 5.5.

Van de mens kan een model gemaakt worden om fysieke interacties met een productmodel te beoordelen. Dit kan variëren van karton (2D) tot digitaal dynamisch computermodel (3D). Deze mensmodellen komen aan de orde in paragraaf 5.6.

In paragraaf 5.7 is informatie te vinden over de fysiek-ergonomische aspecten van het ontwerpen van kleine ruimten, lichaamsondersteuning, werkplekken, krachtoefening en handgereedschap.

5.1 Lichaamsmaten

Een stoel die te hoog is, zit niet lekker. Een stoel die veel te laag is, zit evenmin comfortabel. Koffers moeten ook door mensen met grote handen kunnen worden gedragen. Mobiele telefoons veroorzaken ergernis als onopzettelijk twee knoppen tegelijk worden ingedrukt. Een openbaar drinkfonteinje moet zowel door grote mannen als door kleine kinderen gebruikt kunnen worden, zie figuur 5.1.

Kortom, producten moeten berekend zijn op de variëteit aan fysieke kenmerken van hun toekomstige gebruikers. Wie de interactie tussen mens en product op fysiek vlak goed wil laten verlopen, dient kennis te hebben van die lichamelijke kanten van de mens die aan bod komen bij interactie met producten. Deze paragraaf gaat over de menselijke afmetingen, ook wel genoemd 'lichaamsmaten'.



Figuur 5.1 Hoe hoog moet een fonteinje zijn waaruit zowel een lange man als een vierjarig kind makkelijk kunnen drinken?

5.1.1 De geschiedenis van het meten van lichaamsmaten

Het meten van lichaamsmaten werd lang geleden ook gedaan, al was het toen niet vanuit wetenschappelijke belangstelling of om er betere producten mee te maken. Globaal gezien waren er drie redenen om met mensmaten te werken: religie, kunst en handel.

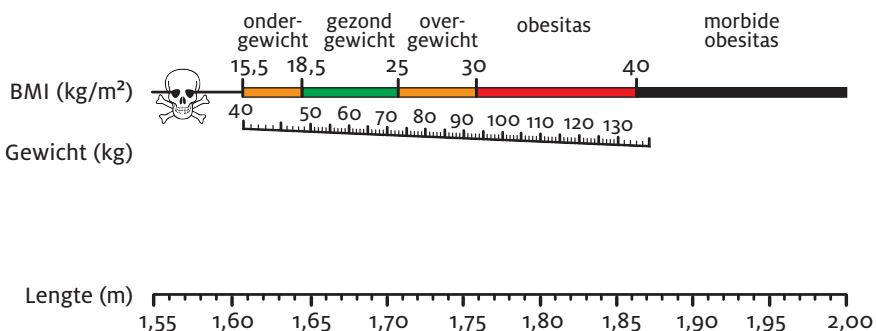
Heilige maten

Vroeger ging het veeleer om de verhoudingen tussen lichaamsonderdelen en de omschrijving van een ideaal model. Niet dat de gewone man of vrouw aan dit ideaal moest voldoen, maar het ideaalbeeld diende voor de juiste afbeelding van heilige personen. Om bijvoorbeeld de Boeddha af te beelden moet men bepaalde verhoudingen gebruiken die overeenkomen met de ideale fysieke proporties, zie figuur 5.2. De basismaat is hier de spanwijdte van de gespreide hand, van de top van de middelvinger tot de top van de duim.

5.1.2 Antropometrie

Antropometrie is een woord dat uit het Grieks komt, van $\alpha\nu\theta\rho\omega\pi\omicron\varsigma$ (anthropos = mens) en $\mu\epsilon\tau\rho\nu$ (metron = maat, maatstok). Antropometrie betekent letterlijk 'het meten van mensen'. Het systematisch meten van lichaamsafmetingen bij groepen mensen wordt pas sinds ruim honderd jaar gedaan. Er wordt onderscheid gemaakt tussen 'statische antropometrie' en 'dynamische antropometrie'. De statische antropometrie houdt zich bezig met lichaamsmaten en de ondersteuning daarvan in bepaalde standaardhoudingen, de dynamische antropometrie houdt zich bezig met houdingen, bewegingen en reikwijdten. In deze paragraaf wordt statische antropometrie behandeld, meer over dynamische antropometrie is te vinden in de andere paragrafen, vooral in paragraaf 5.2 *Beweging*.

Antropometrie werd het eerst systematisch toegepast in de gezondheidszorg. De Belgische arts Quetelet deed als eerste onderzoek naar de relatie tussen lichaamsafmetingen en gezondheid. Tussen 1830 en 1850 ontwikkelde hij de naar hem genoemde Quetelet Index (QI), die de verhouding tussen lengte en gewicht aangeeft. Deze verhouding wordt berekend door het gewicht (kg) van een persoon te delen door het kwadraat van zijn lengte (m^2), zie figuur 5.7. Het resulterende getal, dat een dimensie van kg/m^2 heeft, wordt Quetelet Index of tegenwoordig vaak *Body Mass Index* (BMI) genoemd. De BMI wordt nog steeds gebruikt om te bepalen welk gewicht gezond is bij een bepaalde lengte. Ondergewicht kan duiden op mogelijke ondervoeding, eetproblemen of ziekte, overgewicht kan leiden tot diverse ziekten. De gehanteerde grenzen van een goede lengte-gewicht verhouding verschillen echter in de tijd en per land. Op dit moment wordt in de westerse wereld een BMI van 18,5 tot 25 (voor Aziaten tot 23) gezien als optimaal, en een BMI van 30 of meer als obees (zo dik dat dit een gezondheidsrisico vormt). De BMI zegt echter niets over de gezondheid van een individu. Voor kinderen wordt de BMI op dezelfde wijze berekend, maar de beoordeling is verschillend. Hun BMI wordt vergeleken met dat van andere kinderen. De BMI van kinderen is optimaal tot P_{85} , en obees bij P_{95} of meer (voor uitleg van percentielen, zie hoofdstuk 2. *Ontwerpen voor groepen*). Het is niet duidelijk of de westerse trend dat steeds meer kinderen steeds dikker worden, jaarlijks in deze manier van berekenen verdisconteerd wordt.



Figuur 5.7

De Quetelet Index (QI) kan berekend worden door het gewicht (kg) te delen door de lengte in het kwadraat (m^2), of globaal afgelezen worden uit dit nomogram door een lijn te trekken door lengte en gewicht. Diezelfde lijn volgend kom je uit op de bijbehorende QI ofwel BMI.

- Van bepaalde populaties (ouderen, gehandicapten) kunnen de zwaksten praktisch geen kracht leveren. Omdat hun zelfstandigheid afhangt van de mogelijkheid producten te gebruiken en bijvoorbeeld verpakkingen te openen, is het relevant met deze groep rekening te houden.
- Populaties van jonge kinderen en ouderen presteren vaak minder dan eenderde tot de helft van populaties van volwassenen.
- Krachten zijn meestal niet normaal verdeeld, P_5 is ongeveer eenderde van het rekenkundig gemiddelde (P_{50}).
- P_5 van de vrouwen is kleiner dan of ongeveer gelijk aan 10 % van het rekenkundig gemiddelde (P_{50}) van de kracht van jongvolwassen mannen.



Figuur 5.58 Combinaties van krachten zijn lastig. Bijvoorbeeld duwen en draaien tegelijk bij het openen van een dop, of sturen en trommelen tijdens het fietsen.

Houding

- Met twee handen kan meer kracht geleverd worden dan met één hand (maar niet twee keer zoveel).
- Met een steun om tegen af te zetten, kan meer kracht worden uitgeoefend dan zonder steun. Zie figuur 5.59.
- Bij duwen en trekken wordt de grootste kracht uitgeoefend indien de hand zich bevindt tussen schouder- en ellebooghoogte.
- Bij beweging geldt dat op- en neergaande bewegingen de voorkeur hebben. Vermijd zijwaartse bewegingen (Dirken, 2004).
- Bij torsie en knijpkracht geldt: hoe dichter de hand(en) bij het lichaam gehouden worden, des te groter is de maximale kracht.
- Bij de hand is proneren beter dan supineren.
- Gebruik van het lichaamsgewicht kan een taak verlichten.
- Uiterste standen van gewrichten moeten vermeden worden. Het comfort en de maximale kracht worden daardoor minder en bij overbelasting ontstaan sneller blessures.
- $M = F * a$, dus bij dezelfde kracht resulteert een kortere arm in een kleiner moment en een langere arm in een groter moment.
- In een zelfgekozen 'vrije houding' kan meer kracht worden uitgeoefend dan in een opgelegde, gestandaardiseerde houding.

Peereboom (2009), Peereboom en de Lange (2009) en Voskamp et al. (2013). Veel informatie in deze paragraaf is ontleend aan of via Dirken (2004).

5.7.1 Het ontwerpen van kleine verblijfsruimten

Bij het ontwerpen van kleine verblijfsruimten, ofwel cabines, zijn de ergonomische aspecten afhankelijk van de bezigheden die in die ruimte worden uitgevoerd. Kleine verblijfsruimten kunnen worden gezien als producten die zich wat functie en afmetingen betreft tussen enerzijds gebouwen/kamers en anderzijds kleding in bevinden. Kleine verblijfsruimten kunnen worden gebruikt bij transport (lift), besturing (autocabine), wachten (abri), overnachten (bedstee, tent, iglo), medisch onderzoek (MRI-scan, longfunctietest), zich ontlasten (toilet), telefoneren (telefooncel), onderhoud en reparatie (vliegtuig) en zo meer.

Belangrijke factoren die invloed hebben op het ontwerp van cabines zijn: bescherming, activiteit, klimatisering, verblijfsduur, onderhoud en schoonmaak, doelgroep, aantal personen, lichaamshouding, toegankelijkheid en oriëntatie. Deze ontwerpparameters worden hieronder besproken.

Bescherming

Een van de functies van een cabine is het beschermen van de mens tegen de omgeving (iglo) of van de omgeving tegen de mens (isoleer- of quarantainecel).

De afscherming is meestal voor het grootste deel fysiek-materieel en bestaat uit wanden, bijvoorbeeld uit steen of staal (toilet, duikerklok) of transparant materiaal (couveuse, cockpit). De afscherming kan dus ook selectief zijn, waardoor bijvoorbeeld temperatuur en geluid niet doorgelaten worden, maar licht wél, zodat men door de afscherming heen kan kijken. De afscherming kan eventueel ook minder materieel zijn. Halfhoge schotten, verlichting of grafische tekens (“wacht vóór de streep” bij bank of postagentschap) kunnen ook aangeven dat het gaat om een werk- of verblijfsgebied van een persoon, en dus om een territorium dat niet zonder meer door een ander mag worden betreden.

Activiteit

Indien er slechts kortdurend en rustig gestaan wordt in een cabine (bijvoorbeeld een lift), zijn de ergonomische aspecten eenvoudiger dan wanneer er gedurende een langere periode allerlei handelingen met reiken en bewegen moeten plaatsvinden (zoals in een drukcabine voor hartoperaties).

Soms voert een gebruiker in een verblijfsruimte taken uit waarbij zicht en bediening belangrijk zijn, zoals bij voertuigcabines, vaartuigcabines, cockpits, auto's, kranen en graafmachines. Om de ruimte en de inrichting zo goed mogelijk te laten aansluiten bij de gebruikers en de taken, wordt bij het ontwerpen een bepaalde volgorde van werken aanbevolen, die gelijk is aan die bij het ontwerpen van een werkplek.

- 1) Als eerste wordt uitgegaan van het zicht: op welke positie moeten de ogen zicht bevinden?
- 2) Nadat de optimale locatie van de ogen is bepaald, wordt een goede zithouding nagestreefd, die uiteraard past bij de te verrichten taak.
- 3) Daarna wordt bepaald waar het bedieningspaneel of het dashboard moet komen, met behulp van de reikwijdte en de visueel-manipulatieve comfortzone van de gebruiker.
- 4) Als de relevante maten van het ontwerp en posities van relevante onderdelen bepaald zijn, kan met behulp van een digitaal mensmodel beoordeeld worden of de verblijfsruimte ergonomisch gezien voldoet voor zowel grote als kleine gebruikers.

Uiteraard moeten de grootte van de ruimte en de inrichting zodanig zijn dat de beoogde activiteiten daarin effectief, efficiënt, veilig en comfortabel kunnen worden uitgevoerd. Dat is niet altijd makkelijk als de ruimte aan veel verschillende randvoorwaarden moet voldoen, zie kader.

Vliegtuig-wc

Als het even kan, probeer ik toiletbezoek in een vliegtuig te vermijden. Liever houd ik 't even op om op de luchthaven de blaas te legen. Vliegtuig-wc's zijn te klein, te smal en ongemakkelijk. De inrichters hebben iedere millimeter optimaal benut. Alles is aanwezig. Knap hoor. Alleen krijg ik van al dat opgepropte comfort een opgesloten gevoel. Dat gevoel is laatst nog erger geworden. Ooit geprobeerd een luier van een driejarige te verschonen in zo'n claustoruimte? Onbegonnen werk! "U moet naar de wc achterin het vliegtuig. Die heeft een babyplank." zegt de stewardess vriendelijk. Net nadat ik het deurtje heb geopend, moet m'n zoon er alweer uit. Hoe gaat anders die plank omlaag? Dan omdraaien en kind naar binnen tillen. Oké, staan of liggen? Het verschonen van de vieze luier wordt een veredelde 'hoofd, schouders, knie en teen'. Staand uit- en aankleden. Hoofd ingetrokken, want zoonlief is te lang. Als 'ie ligt, is de taak de haak te blijven ontwijken met z'n hoofd, terwijl hij al veel te groot is voor de breedte. Gehannes eerste klas. Met veel kunst- en vliegwerk krijg ik de zaak schoon, maar mijn shorty sputtert de hele tijd tegen omdat hij leniger moet zijn dan een Roemeens turnmeisje. Een dikke knuffel moet de traantjes doen vergeten. Volgende keer verschoon ik Mini-Me gewoon op de stoel naast me. Ruimte genoeg. (Meijer, 2012)

Klimatisering

Bij verblijfsruimten die een gesloten systeem vormen, is uitwisseling van materie, energie en informatie met de omgeving noodzakelijk. De daarvoor benodigde actieve ventilatie, temperatuurregulatie, communicatie met de buitenwereld en eventuele uitwisseling van materie (materiaal, producten, voedsel) kunnen zowel het ontwerp als de ergonomie van het product compliceren. Ook bij ruimten die niet geheel gesloten zijn, kunnen deze aspecten van belang zijn.

Soms zijn verschillende oplossingen mogelijk, of kan zelfs een keuze gemaakt worden tussen een gesloten en een open systeem, zie figuur 5.73. Airconditioning wordt in de bouw niet alleen ingezet voor het regelen van temperatuur en het verversen van lucht, maar ook voor het buitensluiten van bouwstof door het aanbrengen van lichte overdruk.



Figuur 5.73 Verschillende opties voor ventilatie. Links: gesloten kraancabine met airconditioning. Rechts: graafmachine met deur en zonnedak open.

Verblijfsduur

De verblijfsduur is meestal gerelateerd aan de activiteit. Een lift heeft een korte verblijfsduur, een slaapcabine in een trein heeft een lange verblijfsduur. Bij activiteiten die langer dan enkele minuten duren is meestal een zitplaats nodig, dit is echter afhankelijk van de omstandigheden.

In een lift is het verblijf kortdurend genoeg om te staan. Omdat liften echter gebruikt worden door een zeer brede doelgroep, waaronder mensen die slecht ter been zijn, is het verstandig om toch een zitplaats aan te brengen (zie onder 'doelgroep').

Bij langdurig gebruik van een verblijfsruimte zijn de details van een ontwerp belangrijk. Een vrachtwagencabine wordt lange tijd achter elkaar gebruikt en zowel de stoel van de chauffeur als de bedieningsmiddelen en het dashboard moeten daar op ontworpen worden. Dat komt zowel de gezondheid van de chauffeur als de veiligheid tijdens het rijden ten goede. In dit geval zou een koffiezetapparaat geen luxe maar een nuttige accessoire zijn.

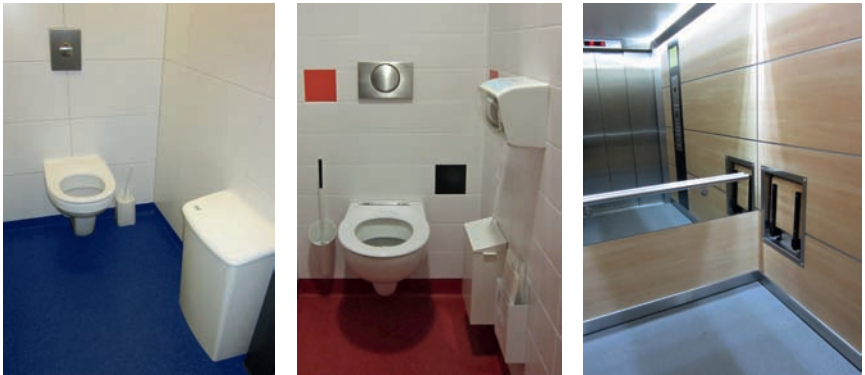
Als de verblijfsduur in een cabine voor verschillende gebruikers zeer uiteen kan lopen, is de frequentieverdeling van de verblijfstijden van belang. Er wordt geadviseerd de lange verblijfstijden als uitgangspunt te nemen bij het ontwerpen. Als een telefooncel na een kwartier nog comfortabel is, dan is dat zéker het geval na vijf minuten.

Onderhoud en schoonmaak

Schoonmaken is geen doel op zich, maar kan een belangrijke activiteit zijn bij ruimtes die frequent worden schoongemaakt en ruimtes waarbij goede hygiëne belangrijk is. Een ontwerper kan efficiënter en effectiever schoonmaken mogelijk maken door bijvoorbeeld in een toiletruimte alle aanwezige producten op te hangen in plaats van op de grond te zetten, zie figuur 5.74. Dit versnelt het schoonmaakproces aanzienlijk en maakt tegelijk betere hygiëne mogelijk.

Doelgroep

De doelgroep die de ruimte zal gaan gebruiken, heeft uiteraard invloed op het ontwerp van die ruimte. Hoe meer openbaar een ruimte is, des te breder de doelgroep over het algemeen is. De lift in het ziekenhuis heeft niet alleen een leunsteun maar ook een klapstoel, zodat ook bezoekers die minder vast ter been zijn veilig de lift kunnen nemen, zie figuur 5.74. Een stoel neemt in een lift onhandig veel ruimte in, daarom is een klapstoel een goede oplossing. De klapstoel is slim gepositioneerd, de gebruiker kan zich bij het opstaan optrekken aan de leunsteun.



Figuur 5.74 Links: alle producten staan op de grond. Midden: alle producten hangen aan de muur, om sneller en beter te kunnen schoonmaken. Rechts: de lift heeft naast een leunsteun ook een klapstoel, voor mensen die slecht ter been zijn.

Aantal personen

Een tent kan voor één of meer personen zijn en een lift heeft altijd genoeg ruimte voor meer dan één persoon. De gewenste mensencapaciteit beïnvloedt uiteraard de afmetingen van een cabine. De ruimte die nodig is om staande, knielende en liggende personen te accommoderen, is te vinden in figuur 5.35.

Lichaamshouding

In een abri wordt zowel gestaan als gezeten, in de lift wordt meestal alleen gestaan, in een tochtsluis wordt vooral gelopen en in de reparatieruimte binnen in een machine wordt er misschien gehangen en gekropen. De vorm van de verblijfsruimte en de geboden faciliteiten moeten aansluiten bij de houdingen en bewegingen van de gebruikers.

Toegankelijkheid

Bij het betreden of verlaten van een verblijfsruimte wordt op de een of andere wijze een fysieke afscherming verbroken of een barrière gepasseerd. Soms is het vereist die opening zo klein mogelijk te houden of zo kort mogelijk open te laten staan. Een doorgangsluikje ofwel 'mangat' moet afgestemd zijn op de grootste gebruiker met zijn kleding en met zijn mogelijk meegedragen extra's, zoals instrumenten of zelfs een trapje of koffer. Soms moeten voor de toegankelijkheid speciale voorzieningen worden getroffen, zie figuur 5.75.

Mensen moeten niet alleen naar binnen, maar ook naar buiten kunnen. Verblijfsruimten moeten dus ook goed 'uitgankelijk' gemaakt worden. Goede uitgankelijkheid is zelfs belangrijker dan toegankelijkheid, om twee redenen: als gebruikers een verblijfsruimte niet uit kunnen komen is dat in het algemeen een groter probleem dan wanneer ze er niet in kunnen komen. In geval van brand moet de ruimte bovendien zeer snel verlaten kunnen worden door nerveuze gebruikers.

Oriëntatie

Het verblijven in afgesloten ruimten maakt sommige mensen angstig. Dit verschijnsel heet claustrofobie. Het komt voor in verschillende gradaties. Hoewel niet iedereen die er last van heeft dat durft toe te geven, is het verschijnsel algemeen genoeg om er bij het ontwerpen rekening mee te houden. Markering van de uitgang en visueel contact met de omgeving kunnen de angst verminderen. Dat laatste kan door middel van een raam, een tv-circuit of door het aangeven van eventuele beweging met bijvoorbeeld lichtsignalen, zoals 'lopende' lampjes in de lift die aangeven dat men stijgt of daalt of op welke verdieping men is.



Figuur 5.75 De cabine van deze graafmachine is zo klein dat de linker bedieningsknop de toegankelijkheid van de cabine hindert. Het bedieningsmiddel is daarom opklapbaar gemaakt.

5.7.2 Het ontwerpen van lichaamsondersteuning

Aan het menselijk lichaam wordt getrokken door de zwaartekracht. Daar kunnen nog andere krachten bijkomen, bijvoorbeeld door meegedragen lasten of door versnellingen. Spieren houden het lichaam overeind tegen de zwaartekracht in. Dat kost spierarbeid. Ondersteuningsmiddelen faciliteren een bepaalde houding en maken het mogelijk dat deze enige tijd volgehouden wordt, doordat minder spieractiviteit nodig is. Ze kunnen het lichaam stabiliseren en vermoeiing van spieren tegengaan. Ondersteuningsmiddelen worden gewoonlijk gebruikt voor het ondersteunen van een liggende, zittende of staande houding of van posities daar tussenin. Ondersteuningsmiddelen waarbij de ondersteunende kracht via arm en handen geleverd wordt, zoals wandelstok, krukken of rollator, worden behandeld in hoofdstuk 8. *Ontwerpen voor brede doelgroepen.*

Hoofdstuk 6

Sensorische ergonomie



“We notice things that don’t work. We don’t notice things that do. We notice computers, we don’t notice pennies. We notice e-book readers, we don’t notice books.” (Douglas Adams, 2002)

Samenvatting

Bij de interactie tussen mens en product vormen de zintuigen van de mens een belangrijke schakel, omdat alle informatie daarmee waargenomen wordt. In dit hoofdstuk worden de sensorische karakteristieken beschreven van horen, zien, voelen, proeven en ruiken.

Paragraaf 6.1 behandelt waarneming en zintuigen in het algemeen, waarbij enkele algemene modellen en wetmatigheden aan de orde komen.

De volgende paragrafen beschrijven de bouw en werking van ieder zintuig. De vensterkarakteristiek wordt besproken en aan het eind van iedere paragraaf wordt informatie gegeven over ontwerpen voor het betreffende zintuig.

Paragraaf 6.2 gaat over reukzin en smaak. Hierin worden zowel ruiken met de neus als proeven met de tong en geurreceptoren besproken.

Met receptoren in de huid kan men aanraking, druk, vervorming, temperatuur en pijn waarnemen. Deze huidreceptoren komen aan de orde in paragraaf 6.3 *Tastzin, thermoceptie en nocieceptie*. Paragraaf 6.4 behandelt het gehoor. Daarbij is er onder andere aandacht voor overbelasting van het gehoor en het voorkómen daarvan, de beleving van geluid en het overbrengen van auditieve informatie.

Het gezichtsvermogen is onderwerp van paragraaf 6.5. Hierin staat informatie over onder andere kleurenblindheid en de invloed van ouderdom en oogziekten op het gezichtsvermogen.

Lang is gedacht dat mensen cognitief hogere wezens zijn die hun beslissingen bewust nemen, niet beïnvloed door zoets dierlijks als geur. Maar onderzoek wijst uit dat mensen hun partner deels kiezen op basis van lichaamsgeur en wel zodanig dat hun afweersystemen elkaar aanvullen. Bij vrouwen die dicht op elkaar leven, synchroniseert de menstruatiecyclus zich, zodat ze allemaal rond dezelfde tijd ongesteld worden. Ook dat wordt geregeld via feromonen en de reukzin.

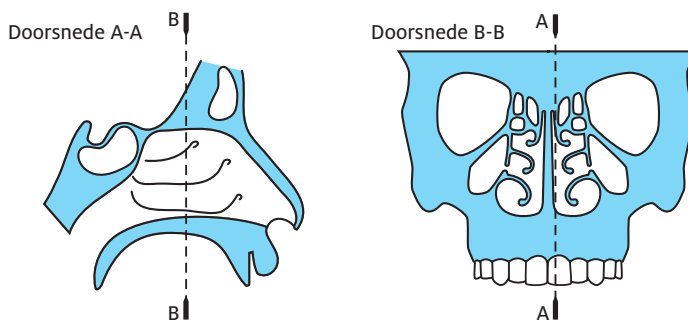
Anatomie van de neus

Geuren bestaan uit chemische verbindingen die kunnen worden waargenomen door reuksensoren. De reuksensoren bevinden zich bij mensen in de neus. De belangrijkste functies van de neus zijn het reinigen, verwarmen en bevochtigen van ingeademde lucht, en het waarnemen van geuren.

Een neus heeft twee neusgaten, waardoor in- en uitgeademde lucht passeert. De lucht die de neus wordt ingezogen, wordt aan het begin gezuiverd van de grootste verontreinigingen door de neusharen.

De neus gaat over in de neusholte, die van het aangezichtsvlak tot achterin de keel doorloopt. In de neusholte bevinden zich links en rechts symmetrisch drie dunne, enigszins gekrulde, met slijmvlies beklede botplaten (*conchae*), zie figuur 6.7. Deze conchae geleiden de luchtstroom aerodynamisch en vergroten het inwendig oppervlak van de neusholte sterk. De neusharen en de vorm van de conchae veroorzaken turbulentie (werveling) van de lucht, waardoor de kleinere verontreinigingen in de ingeademde lucht makkelijker aan het slijmvlies op de conchae blijven hangen. De botplaten zijn goed doorbloed en verwarmen zo de lucht die ingeademd wordt. Ze zorgen ook voor een goede geleiding van de luchtstroom langs het reukslijmvlies, dat zich bovenin de neusholte bevindt, boven de kleinste botplaten (onder de schedelbasis, tussen de oogkassen).

De linker- en rechterneusholte zijn van elkaar gescheiden door het neustussenschot of neusseptum waarvan het voorste deel bestaat uit kraakbeen en het achterste deel bestaat uit bot. In het slijmvlies van het tussenschot lopen veel oppervlakkige bloedvaten. Neusbloedingen beginnen meestal hier.



Figuur 6.7

Links: Doornede van een neusholte in het sagittale vlak, met drie botplaten (*conchae*) boven elkaar. Rechts: Doornede van een neusholte in het transversale vlak. De zes gekrulde structuren zijn de botplaten (drie per neusholte).

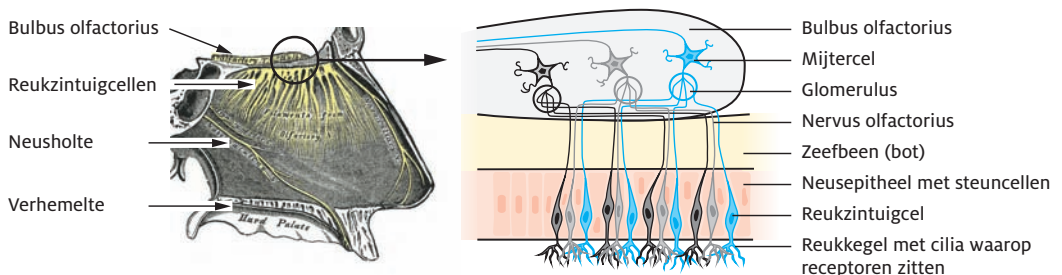
Het reukzintuig

Het reukslijmvlies ofwel reukepitheel is opgebouwd uit steuncellen en zintuigcellen, in het Engels *olfactory receptor neurons* genoemd. Een reukzintuigcel versmalt zich aan de distale kant (aan de buitenzijde) tot een dunne steel, 'reukkegel' genoemd. Op deze reukkegel zitten veel reukharen (cilia). Deze cilia steken uit de slijm laag die zich op het epitheel bevindt. Zie figuur 6.8. De cilia zijn bedekt met geurreceptoren. Aan het andere uiteinde, de proximale kant (aan de binnenzijde), heeft de zintuigcel een dunne uitloper. Een aantal uitlopers van verschillende zintuigcellen vormen samen een bundel die 'reukzenuw' of 'nervus olfactorius' genoemd wordt. De nervi olfactorii lopen van de neusholte door gaatjes in het bot aan de bovenkant van de neusholte (het zeefbeen) naar de bulbus olfactorius. Van hieruit worden zenuwprikkels naar andere gedeelten in de hersenen geleid. Die prikkel wordt vervolgens doorgestuurd naar andere delen van het olfactorische systeem in de hersenen en de rest van het centraal zenuwstelsel via de tractus olfactorius.

De olfactorische receptoren bevinden zich, zoals gezegd, op de cilia, die uit het neusslijmvlies steken. In de lucht die langs het neusslijmvlies stroomt, kunnen zich moleculen van geurstoffen bevinden. Deze moleculen lossen op in het slijm en kunnen daar door hun chemische, elektrische en ruimtelijke eigenschappen binden met de geurreceptoren. De geurreceptoren zetten de interactie met de moleculen om in een elektrische zenuwprikkel, die via de zintuigcel en een nervus olfactorius naar de bulbus olfactorius loopt.

De mens heeft ongeveer 12 miljoen geurreceptoren, onder te verdelen in 10.000 verschillende soorten receptoren. Iedere receptor kan slechts geactiveerd worden door een aantal geurstoffen met een vergelijkbare moleculaire structuur. De meeste geuren activeren meer dan één type geurreceptor. Verschil in affiniteit heeft verschillende activatiepatronen van sensoren tot gevolg, waardoor unieke geurprofielen ontstaan.

Vrijwel alle geurstoffen geven naast prikkeling van het reukzintuig ook prikkeling van de somatosensorische receptoren, die temperatuur, pijn, vervorming en dergelijke registreren. Dit is vooral het geval bij hogere concentraties. Sommige sterk bijtende stoffen worden niet via de reukzin waargenomen maar alleen via nociceptie (pijnzin), bijvoorbeeld bij vlugzout. Hierbij treedt directe prikkeling van pijnzenuwen op.



Figuur 6.8 Links: doorsnede van de neusholte (Gray, 1918). Een deel van de doorsnede is rechts uitvergroot, met o.a. de bulbus olfactorius en de reukzintuigcellen.

van leven en een symptoom kunnen zijn van een onderliggende ziekte, worden ze vaak over het hoofd gezien door medici. Voor patiënten is het moeilijk om reuk- en smaakproblemen te herkennen. Vaak wordt er geen onderscheid gemaakt tussen de smaak van datgene wat geproefd wordt (Engels: *flavor*) en de smaakwaarneming (*taste*).

Mensen die geen geuren kunnen waarnemen zou men 'reuf' kunnen noemen, een combinatie van reuk en doof. Dit stelt Schoneveld (2012), zelf ook reuf.

6.2.4 Ontwerpen voor de reukzin

Door technische ontwikkelingen komen steeds meer manieren beschikbaar waarop ontwerpers geur in een product kunnen incorporeren. Kunststof kan door fabrikanten met geur geleverd worden, bedrukking met geurende inkt is mogelijk, *scratch 'n sniff* (een oppervlaktebehandeling met een geurcoating, die vrijkomt als je er over krast) bestaat al langer.

Ontwerpen voor de reukzin kan verschillende doelen hebben, bijvoorbeeld het vermijden van onaangename geuren, het maskeren van ongewenste geuren, het 'congruent' (overeenkomstig, passend) laten ruiken van een product, waarschuwen, het geven van bepaalde informatie, het beïnvloeden van de omgeving of het beïnvloeden van de emotie.

Geuren vermijden en maskeren

Aan het vermijden en vooral het maskeren van geuren die onaangenaam geacht worden, wordt veel aandacht besteed in de moderne maatschappij. Zeep, cosmetica, afwasmiddelen, waspoeder en schoonmaakmiddelen zijn bijna alleen maar te verkrijgen met toegevoegde parfums. Ook medicijnen, levensmiddelen en kleding kunnen geurstoffen bevatten. Dennengeur verfrist wc-ruimtes niet alleen meer thuis, maar ook in de meeste openbare gelegenheden. Die alomtegenwoordigheid van geurstoffen is zeer onprettig voor mensen die daar allergisch voor zijn en zorgt ook voor toename van allergie (zie hieronder). Omdat lichaamsgeur ook een functie heeft, kan men zich afvragen of het gewenst is deze geheel door parfum te vervangen. Dit zijn redenen om terughoudend te zijn met parfumering.

Congruente geur en smaak

Elk materiaal heeft zijn eigen geur. Een product dat anders ruikt dan verwacht, is incongruent, 'klopt niet' voor het gevoel van de gebruiker. Dit geldt ook voor smaak. Wie een slok wijn denkt te nemen terwijl het druivensap is (of omgekeerd), is onaangenaam verrast.

Bij een industrieel geproduceerd product kan de geur van een product afwijken van de verwachting door materiaalbewerkingen en toevoegingen zoals lijm, verf of conserveringsmiddelen. Storende incongruentie kan het beste vermeden worden.

De vraag is echter welke geuren als incongruent worden beschouwd door de gebruikers. De associaties zijn grotendeels aangeleerd en door de huidige 'parfumering' van de westerse maatschappij worden incongruente geuren steeds meer

geaccepteerd en toegepast, bijvoorbeeld speelgoedpoppen met sterke aarbeiengeur en potloodgummen die naar snoep ruiken. Soms leidt dit tot een vreemde conditionering of tot misverstanden, zie kaders en figuur 6.9.

Met de frisse smaak van wc-reiniger

“Ik hou niet van luchtverfrissers op de wc. Een wc hoort niet naar bloemen te ruiken. Bovendien ruiken die verfrissers allemaal hetzelfde, dat gaat tegen staan. Ik zet dus liever een raampje open.” (oudere consument)
 “Bah, deze pudding ruikt en smaakt naar wc-reiniger” (tiener, over limoen-ananas-kokos-pudding).

Is het om te eten of om in je haar te smeren?

Een ‘eetbare’ geur geven aan niet-eetbare producten kan verwarring veroorzaken.
 “Ik dacht dat ik een lekker taartje kocht met appel en kaneel. Kom ik thuis, is het iets heel anders. Ik weet niet wat, maar geen appeltaart. Kan jij zien wat het is?” (Vrouw, 77 jaar, over een geurkaars)
 Chocola, je kan het niet alleen eten maar je kan er sinds kort ook mee onder de douche. Het is maar goed dat de fabrikant op de dop van het badschuim een waarschuwing heeft gezet dat je de fles niet aan je mond moet zetten, want echt, je zou het zo doen. (www.bysjanty.nl)



Figuur 6.9 Een ‘eetbare’ geur geven aan niet-eetbare producten kan verwarring veroorzaken, zie kader.

Waarschuwen en informatie geven

Van nature worden mensen al gealarmeerd door brandlucht en zullen ze onfris ruikend voedsel niet consumeren. Geur kan in principe gebruikt worden om informatie te geven bij mens-productinteractie, maar het gebeurt niet vaak. Als het gebeurt, is dit meestal als waarschuwingssignaal. Eerder al werd het voorbeeld gegeven van de geurstof die aan reukloos gas wordt toegevoegd, opdat een gaslek of een open gaskraan snel gedetecteerd kunnen worden.

Een voorbeeld van toepassing van geur in een product is een fietshelm die met geur waarschuwt als hij beschadigd is.

Fietshelm met een nuttige geur

Fietshelmen bestaan grotendeels uit piepschuim dat samengedrukt wordt als het een klap opvangt. Na een klap is de helm beschadigd en beschermt hij niet meer optimaal, zodat hij vervangen moet worden. Aan de buitenkant is de beschadiging echter niet te zien. De

6.3 Tastzin, thermoceptie en nociceptie

De aanrakingszin of tastzin is het vermogen van een organisme om aanraking, druk en vervorming van de huid waar te nemen.

Thermoceptie is het vermogen van een organisme om temperatuur waar te nemen, zowel warmte als koude.

Nociceptie is het vermogen van een organisme om schadelijke prikkels waar te nemen. Meestal worden deze waargenomen als 'pijn'.

Deze zogeheten somatische zintuigen maken onderdeel uit van de lichaamswaarneming, ofwel het 'somatosensorische systeem'. Somatosensorisch komt van de Latijnse woorden *soma* = het hele lichaam van een organisme, exclusief de geslachtsellen; en *sensus* = zintuigelijke waarneming.

Waarnemen met deze zintuigen noemen we 'voelen' of 'tactiele waarneming'. Voelen geeft een organisme belangrijke informatie. Anders dan bij zien, horen en ruiken is er direct contact met de bron. Via de verschillende huidzintuigen wordt informatie van diverse dimensies (druk, rek, vibratie, warmte, koude en pijn) op hetzelfde moment doorgegeven.

In het Engels wordt onderscheid gemaakt tussen *haptic of tactual sense* (waarneming en herkenning van producten door middel van de tastzin), en *tactile sense* (tast en proprioceptie). Het eerste is een actieve bezigheid, het tweede is een passieve ervaring. In het Nederlands wordt dit allemaal 'tactiel' genoemd.

De tactiele zintuigen spelen over het algemeen een belangrijke rol bij het contact tussen gebruiker en product. Bij het vastpakken van een product geeft het contact met het oppervlak informatie over bijvoorbeeld vorm, gewicht, textuur, indrukbaarheid, soort materiaal en temperatuur, en terugkoppeling of de greep op het product stevig genoeg is om het op te tillen. Naast deze fysieke informatie verbinden mensen emoties aan tastprikkels. Tactiele interactie gebeurt overigens niet alleen met de handen, maar kan het hele lichaam betreffen.

Informatie via de tastzintuigen is net zo onontbeerlijk als dat bij andere zintuigen het geval is, zie paragraaf 6.1.1. Sonneveld (2007) onderscheidt vijf soorten voelen die hier relevant zijn:

- Voelen als basis om zich bewust van zichzelf te kunnen worden.
- Voelen om informatie over de wereld te verkrijgen.
- Voelen om gevoelens en emoties te ontwikkelen.
- Voelen als communicatiemiddel.
- Voelen om affectie over te brengen.

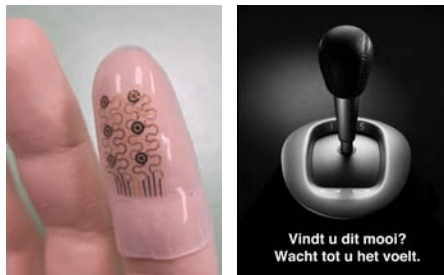
Aanraking is essentieel voor een gezonde fysieke en mentale ontwikkeling. Een kind ontwikkelt zijn gevoel voor fysieke persoonlijkheid ('ik') door aangeraakt te worden. Dit legt de basis voor zelfbewustzijn. Dieren en mensenkinderen die opgroeien onder omstandigheden waarbij zij zeer weinig worden aangeraakt, gedijen niet goed. Liefdevolle aanraking in de eerste levensfasen is nodig om op te groeien tot een gezond, empatisch mens. De behoefte aan aanraking blijft ook bij volwassenen

bestaan (Montagu, 1971; Fields, 2003). Deze onderzoeken betreffen aanraking door soortgenoten. Tactiel contact met dieren kan een vergelijkbare rol vervullen.

Uit onderzoek van Sonneveld (2007) blijkt dat de affectieve en emotionele ontwikkeling en het welzijn ook door interactie met producten beïnvloed zouden kunnen worden. De tactiele aspecten van producten zouden dus eveneens een rol kunnen spelen bij de ontwikkeling van kinderen en het welzijn van mensen in het algemeen.

Elk zintuig heeft zijn eigen esthetiek. Vaak gaat dat over de tegenstelling mooi-lelijk, maar niet altijd. Voor de tast gaat het over lekker versus vies, of lekker versus pijn. Comfort zou je als een onderdeel van de esthetische ervaring kunnen beschouwen, hoewel dat niet altijd zo hoeft te zijn: een skateboard kan heel 'lekker' voelen, maar dat noem je meestal dan geen comfort. De tegenstelling comfort-discomfort is dus ook een aspect van tactiele esthetiek, maar tactiele esthetiek en comfort zijn niet synoniem (Sonneveld, 2007).

Tactiele aspecten zijn van belang voor industrieel ontwerpers, omdat tactiel contact een kenmerk is bij het meeste productgebruik en omdat tactiele aspecten een bijdrage kunnen leveren aan het welzijn van de gebruikers. Desondanks wordt er bij het ontwerpen van producten meestal weinig aandacht aan besteed. Een product dat wat tactiliteit betreft goed ontworpen is, kan comfortabeler zijn in gebruik, zie figuur 6.11.



Figuur 6.11 Links: een kunsthand die in staat is om tast bij de gebruiker te simuleren. Aan de binnenkant zitten dunne elektroden die met een kleine spanning op de huid een tintelende sensatie kunnen veroorzaken. Aan de buitenkant kunnen sensoren worden aangebracht om druk, temperatuur of elektrische eigenschappen zoals weerstand te meten. De grootte van de spanning is afhankelijk van de eigenschappen van het aangeraakte oppervlak. Rechts: met een aangenaam aanvoelende versnellingspook wordt een auto beter verkocht.

Om tastzin, thermoceptie en nociceptie beter te begrijpen, zal eerst worden uitgelegd hoe deze zintuigen werken en wat de vensterkarakteristieken zijn.

6.3.1 De werking van de huidreceptoren

'Voelen' wordt in het algemeen ervaren als één zintuig. Theoretisch is echter sprake van een aantal zintuigen die verschillende soorten informatie (mechanisch, thermisch, chemisch) kunnen waarnemen.

bron zich op 90° links of rechts van de toehoorder, dan kunnen faseverschillen waargenomen worden bij frequenties tot 780 Hertz (voor musici: bijna de toonhoogte G₅)

Richtinghoren door middel van verschil in geluidssterkte werkt omdat het hoofd geluiden boven de 637 Herz tegenhoudt. Voor lagere frequenties vormt het hoofd geen obstakel. Een geluid met een frequentie hoger dan 637 Hz (voor musici: tussen de toonhoogten D[#]₅/E^b₅ en E₅ in) aan de linkerkant van het hoofd wordt daarom met het linkeroor luider waargenomen dan met het rechteroor. Op deze wijze kan de richting van een geluid bepaald worden.

Lastiger dan richtinghoren van geluiden ter linker- en rechterzijde is het richtinghoren van geluiden die van voor, achter, onder of boven komen. Een geluid recht van voren klinkt immers in beide oren even sterk als een geluid recht van achteren. Toch kan een mens geluiden tot 4.000 Hz uit die richtingen van elkaar onderscheiden, dankzij de grillige asymmetrische vorm van de oorschelpen. Door deze onregelmatige vorm worden geluiden verschillend versterkt, afhankelijk van de richting en de toonhoogte. Van geluid dat recht van voren komt, worden bepaalde toonhoogtes versterkt en andere verzwakt. Voor elke richting van het geluid heeft een oorschelp andere reflectiekenmerken. Ditzelfde geldt voor de gehoorgang, die resonantie geeft bij frequenties van 2.000 tot 3.000 Hz. Met behulp van deze karakteristieke versterkingen en verzwakkingen beoordelen de hersenen bij de verwerking van het geluid uit welke richting het komt.

De belangrijke rol van de oorschelp bij het richtinghoren is er de oorzaak van dat mensen met een hoorapparaat meer moeite hebben met richtinghoren. Daarbij is de gehoorgang geheel of gedeeltelijk geblokkeerd door het oorstukje van het hoorapparaat, terwijl de microfoon zich vaak buiten de oorschelp bevindt.

Bij stereogeluid wordt aan de oren geluid aangeboden dat verschilt in fase en luidheid, zodat de illusie wordt gewekt dat het geluid uit een bepaald punt in de ruimte afkomstig is.

Omdat voor richtinghoren altijd twee oren nodig zijn, zijn mensen die aan één kant doof zijn niet in staat de richting van een geluid te bepalen.

Glashelder geluid, maar waar komt het vandaan?

Een glasharmonica is een muziekinstrument dat bestaat uit een aantal draaiende glazen, waar geluid mee gemaakt wordt door een vinger tegen de rand van een draaiend glas aan te houden (zoals men ook met een kristallen wijnglas kan doen), zie figuur 6.22. Het etherische geluid van de glasharmonica heeft een timbre tussen de 1.000 en de 4.000 Hertz (voor musici: toonhoogte ongeveer C₆ tot C₈). Het is moeilijk te bepalen waar het geluid vandaan komt (Essl et al., 2004). Dat komt omdat de glasharmonica een relatief zuivere toon produceert, met weinig boventonen die snel uitdoven (Gibbon, 2007). Van zuivere tonen is de richting moeilijk te horen, door uitdoving en versterking van de geluidsgolven. Dat is waarschijnlijk de reden dat het heldere geluid van een glasharmonica zo mysterieus en desoriënterend klinkt.



Figuur 6.22 Glasharmonica. Uitvinding van Benjamin Franklin (links) in 1761. Hier bespeeld door Thomas Bloch (rechts).

Echolocatie

Echolocatie is het waarnemen van de omgeving door middel van de weerkaatsing van zelf uitgezonden geluid. Vleermuizen gebruiken hiervoor ultrasoon geluid, walvisachtigen zenden gerichte klikgeluiden. Ook mensen kunnen informatie over de omgeving ontleen aan de weerkaatsing van geluid. Een taststok voor blinden en slechtzienden heeft aan het uiteinde een speciale punt, die zorgt voor een goede echo-akoestiek. Omdat het weerkaatste geluid van de stok anders klinkt bij objecten van verschillende vorm en textuur en op verschillende afstand, kunnen de gebruikers objecten op hun pad waarnemen. Om echolocatie zinvol te kunnen gebruiken, is training nodig, maar ook ongetrainden kunnen het fenomeen horen.

6.4.3 Ontwikkeling van gehoor bij kinderen

Het gehoor van kinderen ontwikkelt zich in een aantal stadia. Onderstaande informatie is ontleend aan Hoekstra (2009).

Een foetus in de baarmoeder kan waarschijnlijk de eerste geluiden waarnemen rond de 20^{ste} week van de zwangerschap. Bij de geboorte is de cochlea volledig aangelegd en zijn het middenoor en het buitenoor bijna volledig aangelegd. Het neurale deel van het gehoor is nog in ontwikkeling. Een pasgeboren baby heeft daarom een hoge gehoordrempel en zal nog niet veel verschillende reacties geven op geluidsprikkels.

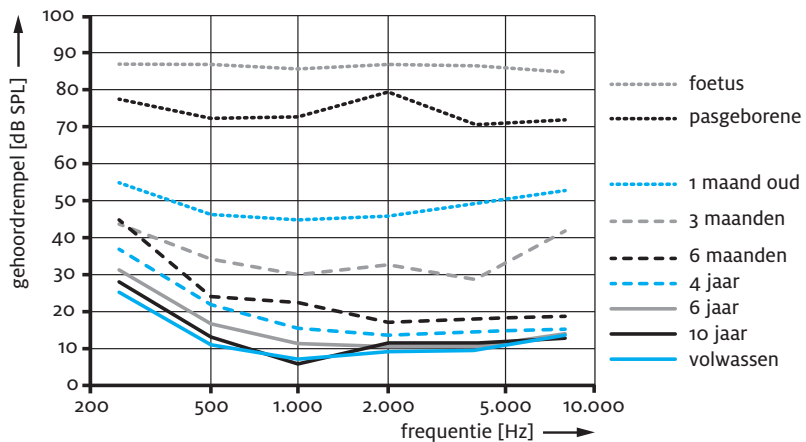
Na de geboorte vindt er vooral in het neurale deel veel ontwikkeling plaats. Dat is een actief proces: de baby verkrijgt informatie door actieve interactie met zijn omgeving. Geleidelijk aan wordt de gehoordrempel lager, zie figuur 6.23. De ontwikkeling van het horen duurt ongeveer vijftien jaar, te onderscheiden in drie periodes:

1. Leren coderen van auditieve input.
2. Selectief leren horen.
3. Verschillende aspecten van geluid flexibel leren gebruiken onder wisselende luisteromstandigheden.

normale spraak- en taalontwikkeling wordt vanaf het zesde levensjaar geleidelijk aan afgesloten.

De normale ontwikkeling van het horen kan verstoord worden door verschillende factoren. Ten eerste door gehoorverlies. Gehoorverlies kan taal- en spraakontwikkeling, maar ook sociale, emotionele en cognitieve ontwikkeling belemmeren. Dat geldt zowel bij ernstige, blijvende vormen van slechthorendheid, als bij een tijdelijk gehoorverlies.

Ten tweede kan een problematische relatie tussen kind en verzorgers remmend werken op de ontwikkeling van het horen en dus op de spraak- en taalontwikkeling. Ten derde spelen de cognitieve mogelijkheden en de sensomotorische ervaringen van het kind een rol. Ten vierde zullen onvoldoende uitdaging door de omgeving en een beperkt taalaanbod remmend werken op de ontwikkeling van het horen.



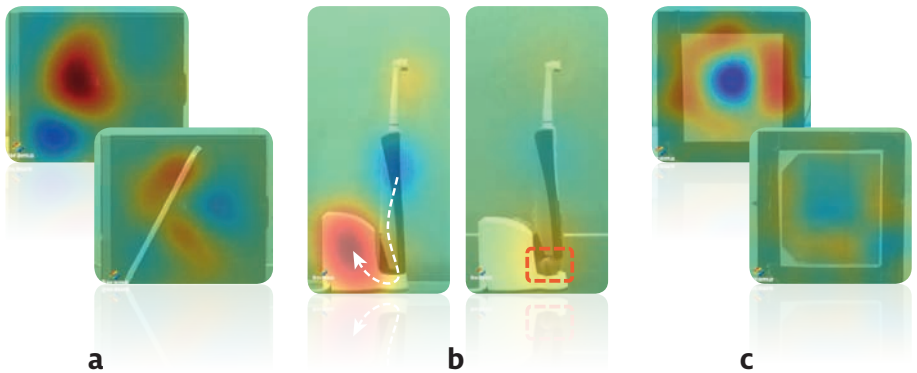
Figuur 6.23 Gehoordrempels als functie van leeftijd, van foetus tot en met 10 jaar en bij volwassenen. Via Hoekstra (2009) ontleend aan Werner en Marean (1996).

6.4.4 Invloed van ouderdom op het gehoor

Vanaf dertig jaar vermindert de gehoorfunctie geleidelijk. Als deze vermindering merkbaar is, wordt dit 'ouderdomsslechthorendheid' of 'presbycusis' genoemd. Veroudering is de meest vóórkomende oorzaak van gehoorverlies. Onderstaande informatie is ontleend aan Kapteyn en Lamoré (2012).

Doordat de gemiddelde levensverwachting de laatste decennia is toegenomen, neemt ook het aantal mensen met presbycusis toe. Van de mensen die 65 jaar en ouder zijn, is 25 % tot 40 % slechthorend. Ouderdomsslechthorendheid kan reeds beginnen rond het 30^{ste} jaar. Van mensen van 75 jaar en ouder heeft circa 14 % moeite met het voeren van een tweegesprek en circa 40 % heeft moeite met het volgen van een groepsgesprek. Ruim 80 % van de mensen van 85 jaar en ouder heeft zodanig gehoorverlies dat zij in aanmerking komen voor geluidsversterking.

Bij onderzoek naar een storend geluid in een woning werd met behulp van *Sound Imaging* vastgesteld dat het storende geluid door de binnenmuren werd voortgebracht. Deze binnenmuren werden op hun beurt aangeslagen door een cv-ketel en een centraal ventilatiesysteem. Door slimme ophanging van ketel en ventilatiesysteem is het geluid met 25-30 dB(A) teruggedrongen en voor de meeste mensen niet meer hoorbaar. (Sorama, 2012)



Figuur 6.33 Het zichtbaar maken van geluid en trillingen helpt ontwerpers geluidsbronnen te identificeren en geluidsoverlast aan de bron aan te passen, zie kader. De grootste trilling is in rood weergegeven.

Ontwerpen voor geluidsdemping

Demping kan gebruikt worden om lawaai en trilling van structuren, producten en -onderdelen tegen te gaan. Demping wordt voornamelijk gebruikt om laagfrequente vibraties te reduceren. Door materiaal of massa toe te voegen wordt de weerstand van een structuur vergroot, zodat de structuur niet alleen moeilijker in trilling te brengen is, maar eventuele trillingen ook sneller zullen uitdoven.

Geluidsdemping van een proces of product kan bevorderd worden door:

- Het omkassen van een proces of machine.
- Het afschermen van de bron of de ontvanger.
- Het aanbrengen van geluidsabsorberend materiaal.
- Het toevoegen van materiaal of massa.
- Het bekleden van bewerkte materialen om afstraling van het geluid te voorkomen.
- Het verend opstellen van machines om contactgeluid te verminderen.
- Het toepassen van antigeluid.

Gehoorgescherping

Het dragen van gehoorbescherming is een specifieke vorm van geluidsdemping, in dit geval niet bij de bron maar bij de gebruiker. Dit is de minst effectieve maatregel om lawaaibeschadiging tegen te gaan. Daarom moet gehoorbescherming bij voorkeur toegepast worden in combinatie met andere maatregelen, zoals preventieve geluidsbeperving en vermindering van blootstellingsduur. Toch zal in veel lawaaiige situaties het dragen van gehoorbescherming onvermijdelijk zijn, zie figuur 6.34. Indien gehoorbescherming gedragen wordt, moet deze wel goede bescherming bieden. Daarover volgt hier informatie, die ontleend is aan Marinus et al. (2008).

Krakend verse verpakking

Een collega vertelde mij dat ze last heeft van het geluid van een verpakking, een kunststoffolie die is verwerkt als flow wrap. In deze verpakking wordt biologische broccoli verpakt. De kunststoffolie maakt een knisperend, knetterend, krakend geluid. Bij het oppakken, bij het in je mandje leggen, bij het op de transportband leggen, bij het vervoeren in je tas, thuis bij het uitpakken en wegleggen, en uiteraard bij het openen. Iedere keer kraakt de verpakking heel luid in je oren, opvallend hard en helder. De collega vindt het vreselijk. Is het knisperen misschien een sluwe marketingtruc om de consument onbewust te vertellen dat de groenten krakend vers zijn? (Daams, 2004)



Figuur 6.37 Folie van broccoliverpakking knispert onaangenaam.

6.4.9 Ontwerpen voor ouderen en slechthorenden

Ouderen hebben een hogere gehoordrempel en horen vooral hoge tonen minder goed. Ze hebben meer moeite met het onderscheiden van een signaal als er veel omgevingsgeluid (achtergrondruis) is, zoals reeds beschreven in paragraaf 6.4.4 *Invloed van ouderdom op het gehoor*. Draggers van hoorapparaten nemen tonen op een andere manier waar dan goedhorende mensen. Daardoor zijn harde, hoge tonen problematisch voor hen en kunnen zij slecht richtinghoren.

Op welke wijze kunnen ontwerpers rekening houden met slechthorenden, met dragers van hoorapparaten en met doven? Voor slechthorenden, inclusief dragers van hoorapparaten, kan aan de volgende maatregelen gedacht worden.

Om discomfort te vermijden:

- **Vermijd te harde geluiden, vooral hoge tonen.** Deze worden door allen, maar vooral door ouderen en zeker door mensen met een hoortoestel als onplezierig ervaren. Soms kan een hard geluid echter noodzakelijk zijn om bijvoorbeeld te waarschuwen.

Voor goede begrijpelijkheid:

- **Codeer geluiden redundant.** Een geluidssignaal wordt daarbij vergezeld van een signaal dat via een ander zintuig waargenomen kan worden, bijvoorbeeld zichtbaar of voelbaar.



Figuur 6.41 Licht reguleert de biologische klok. Een lichtbehandeling kan helpen tegen winterdepressie (links). Licht kan het bioritme ook ontregelen, zoals het led-licht van een computerscherm (rechts).

Scherp zien

Om een object scherp te kunnen zien, moeten de twee ogen focussen op dit object. Hiervoor moeten de ogen zowel 'accommoderen' als 'convergeren'. Daarbij wordt vaak tegelijk ook 'geadapteerd'. Wat betekenen deze drie acties?

Accommoderen wil zeggen dat de lens het binnenvallende licht concentreert op de fovea centralis, opdat scherp wordt waargenomen. Hiertoe veranderen de ciliaire spieren rondom de lens de spanning ervan, zodanig dat de lens boller wordt bij dichterbij zien en platter wordt bij verder weg zien.

Convergeren wil zeggen dat de twee ogen beide naar hetzelfde punt kijken en daarop scherpstellen. Hiertoe draaien de extra-oculaire spieren, die zich aan de buitenkant van de oogbol bevinden, de oogbol in zijn geheel zodanig dat licht van het object waarop gefocust wordt, door het midden van de lens gaat en op de fovea valt.

Adapteren wil zeggen het aanpassen van het oog aan de lichtintensiteit. Hierover wordt meer informatie gegeven in paragraaf 6.5.3 *Vensterkarakteristiek van het gezichtsvermogen*.

Een mens accommodeert, convergeert en adapteert continu, zonder het zich bewust te zijn. Accommodatie en convergentie zijn automatisch aan elkaar gekoppeld, als de ogen naar een bepaald punt convergeren, zal de lens vanzelf voor de bijbehorende kijkafstand accommoderen.

Saccaden

Een saccade of oogsprong is een snelle beweging van de ogen om een nieuw fixatiepunt te vinden. Saccaden worden continu gemaakt, als een openvolging van discontinue individuele bewegingen. Bij het kijken naar een beeld of bij een activiteit als lezen, helpen saccaden om scherp te zien over een gebied dan groter is dan de fovea. We denken dat we een groot beeld tegelijk scherp kunnen zien, maar in werkelijkheid schiet het fixatiepunt heen en weer, vooral tussen interessante onderdelen van het beeld. Bij een afbeelding van een gezicht zijn dat bijvoorbeeld de ogen en de mond. Deze oogsprongen worden geheel onbewust gemaakt. Bij een statische, gefixeerde blik treden saccaden ook op, om het beeld te kunnen blijven zien. Is het beeld immers helemaal statisch, dan zou het na enkele seconden verdwijnen omdat bij een continu



Figuur 6.51 Voorbeeld van zicht bij diverse visuele problemen.

6.5.5 Ontwikkeling van gezichtsvermogen bij kinderen

De kwaliteit van het gezichtsvermogen wordt beïnvloed door leeftijd. Kinderen moeten hun gezichtsvermogen nog ontwikkelen.

Het gezichtsvermogen van pasgeboren baby's is nog niet optimaal ontwikkeld. Dat geldt zowel voor de ogen als voor de verwerking van visuele signalen in de hersenen. Onderstaande informatie is ontleend aan Coenen-van Vroonhoven et al. (2010) en Kalat (2009).

Baby's worden normaal gesproken hypermetroop (verziend) geboren, omdat het oog nog klein is en de oogas daardoor te kort, de lengte is dan slechts $2/3$ van een volwassen oog. Daarnaast is de retina nog niet geheel ontwikkeld. Baby's zien daardoor in de eerste maanden van hun leven uiterst wazig, zie figuur 6.52. De resolutievisus is bij jonge kinderen bovendien mede gerelateerd aan de ontwikkeling van de primaire visuele schors. Pas op twee- tot driejarige leeftijd is de *resolutievisus* op volwassen niveau.

De *recognitievisus* bereikt pas veel later het volwassen niveau. Deze wordt gemeten met een optotypenkaart (zoals Landolt-C). Hiervoor is begrip en medewerking (dus enige intelligentie) nodig en bovendien rijpheid van het visuele systeem (Schaapveld en Hirasing, 1997).

Daar komt bij dat de twee ogen van een pasgeboren baby nog niet kunnen samenwerken. Convergeren en andere vormen van binoculaire samenwerking ontstaan vanaf drie maanden en zijn pas tussen acht en twaalf maanden voldoende ontwikkeld. Het gezichtsvermogen is in de eerste maanden van het leven dus nog niet de belangrijkste bron van informatie voor het kind.



Figuur 6.63 Speciale kleurpotloden voor kleurenblinden, met de naam van de kleur er op (www.clevercolours.nl).

Ontwerpen voor kleurenblinden

Omdat kleurenblindheid vaak voorkomt, niet te verhelpen of te compenseren is en problematische situaties kan opleveren, moet bij functioneel kleurgebruik (waarbij kleur informatie overdraagt) altijd rekening worden gehouden met kleurenblinden.

Ondanks het grote aantal kleurenblinden zijn ontwerpers zich onvoldoende bewust van het feit dat een groot aantal gebruikers van hun producten problemen heeft met sommige kleuren en kleurencombinaties. Dit is jammer, want ontwerpen voor kleurenblinden kan met weinig moeite grote winst opleveren. Het is meestal niet moeilijk om producten kleurenblindproof en daarmee bovendien gebruiksvriendelijk voor iedereen te maken, zeker in schemerlicht. De kosten zijn verwaarloosbaar en er is genoeg kennis voorhanden (Oudenampsen en Flikweert, 2010). Enige richtlijnen:

- Codeer informatie altijd redundant, nooit alleen met kleur. Dit hoeft niet moeilijk te zijn, zie figuur 6.64.
- Maak gebruik van NPR 7022: *Functioneel kleurgebruik – Aanpassing aan kleurziestoornissen*. Deze praktijkrichtlijn geeft zowel toelichting op, als aanwijzingen voor het verantwoord gebruik van functionele kleur om informatie te coderen. De doelstelling van de richtlijn is om door optimale kleurselectie en/of redundant coderen, functionele kleurcodering toegankelijk te maken voor iedereen, inclusief personen met een verminderd vermogen tot kleurenzien (www.nen.nl).
- Bij het gebruik van rood en groen als signaalkleuren moeten deze kleuren voor kleurenblinden voldoende contrast hebben met de achtergrond en voldoende gesatureerd zijn. In het rode spectrum is oranje-rood het beste zichtbaar, in het groene spectrum is dat blauwgroen.
- Rood/groene lichten moeten redundant gecodeerd worden door rood altijd bovenaan te zetten. In de scheepvaart en luchtvaart wordt rood licht gebruikt om links (bakboord) aan te geven en groen licht om rechts (stuurboord) aan te geven.
- Bij producten met functionele kleuren die inherent lastig redundant te

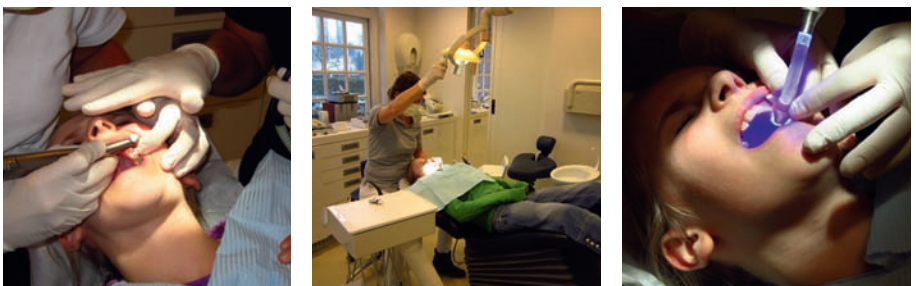
Voor alle verlichting geldt dat deze niet mag verblinden, overstralen of hinderlijke reflecties mag opleveren. Bij taakverlichting moet hier extra op gelet worden, omdat het vaak om hogere verlichtingsniveaus gaat en zowel de lichtbron als de oppervlakken die het licht reflecteren zich relatief dicht bij de gebruiker bevinden. Met een dimbare taakverlichting kan sfeer worden gecreëerd op momenten dat de werkvlakken niet gebruikt worden. Ook kunnen door het dimmen van taakverlichting ongewenste (tijdelijke) reflecties worden tegengegaan, bijvoorbeeld bij het lezen van een boek met zeer reflecterend papier.

Schaduw die het zicht of de taakuitvoering belemmeren, moeten voorkomen worden. Voor schrijftaken is voor rechtshandigen lichtinval van links het best, omdat daarbij geen storende schaduw van de hand ontstaat. Het omgekeerde geldt uiteraard voor linkshandigen.

Voor sommige taken is het precies richten van de lichtbundel belangrijk. Het gebruik van licht kan onderdeel uitmaken van een bepaalde taak, vaak gaat het dan om een zeer specifieke toepassing, bijvoorbeeld de koplamp van een mijnwerker of speleoloog. Wordt de richting van het licht door de gebruiker aangepast tijdens het uitvoeren van een taak, dan moet de armatuur daar geschikt voor zijn, zoals bij de taakverlichting van de tandarts, zie figuur 6.67.

Niet alleen de taak zelf moet verlicht worden, ook omgevingsverlichting is belangrijk en draagt bij aan de totale beleving van de lichtsituatie. Het helderheidscontrast tussen omgeving en taak mag niet te groot zijn, omdat dat de ogen vermoeit.

Voor beeldschermwerk is volgens de Nederlandse ARBO-richtlijn 200 tot 800 lux een aanvaardbaar verlichtingsniveau. In het Belgische ARAB wordt een minimum verlichtingssterkte van 300 lux voorgeschreven. Bij computerwerk wordt in verband met de lichtval aanbevolen de computer loodrecht op het venster te plaatsten, op minstens twee meter afstand ervan. Dit om onplezierige reflecties en een te groot helderheidscontrast tussen scherm en achtergrond te voorkómen. Als de genoemde opstelling niet mogelijk is, moet het licht van buiten worden afgeschermd.



Figuur 6.67 Taakverlichting bij de tandarts (links) kan snel gericht worden met handvatten (midden). Specifieke verlichting kan onderdeel uitmaken van een taak, zoals toepassing van UV-licht voor het uitharden van composietmateriaal (vulling).

Over de auteur

Brecht Daams studeerde af aan de faculteit industrieel ontwerpen van de TU Delft en promoveerde daar in 1994 op een ergonomisch onderwerp, *Human force exertion in user-product interaction. Backgrounds for design*. Daarna heeft ze aan de Saxion Hogeschool in Enschede een (kop)opleiding Industriële Productontwikkeling opgezet.

Sinds 1998 werkt Daams als zelfstandig ergonomisch consultant en onderzoeker op het gebied van productergonomie. Vanaf 1990 geeft ze onderwijs in ergonomie en ontwerpen aan verschillende hogescholen en universiteiten. Daams schrijft zowel columns in vaktijdschriften als wetenschappelijke artikelen voor *peer-reviewed* tijdschriften en was een aantal jaren redacteur van het *Tijdschrift voor Ergonomie*.

Daams is Europees Ergonoom (Eur. Erg.), *Fellow of the Institute of Ergonomics and Human Factors* (FIEHF) en lid van de NvVE (Nederlandse Vereniging voor Ergonomie).

Productergonomie, ontwerpen voor nut, gebruik en beleving is een meerdelig handboek voor ontwerpers en anderen die betrokken zijn bij industriële productontwikkeling. Dit is deel 2a.

Producten hebben grote invloed op de kwaliteit van het leven van mensen, wat ontwerpers en fabrikanten een grote verantwoordelijkheid geeft. Zij bepalen in welke mate de gebruikers een product nuttig, effectief, efficiënt, veilig en comfortabel kunnen gebruiken. Dit boek reikt hen kennis, methoden en technieken aan waarmee ze ergonomische producten kunnen realiseren.

Aanvullende informatie over productergonomie en informatie over de andere delen van het boek is te vinden op www.productergonomie.info



“Deel 2a van *Productergonomie* is een goed leesbaar, geordend, uitgebreid en toepasbaar geheel. Fysieke en sensorische ergonomie worden juist, breed en ook toepasbaar behandeld, inclusief de fysiologische achtergronden. Daarbij gaat het niet alleen over volwassenen, maar ook over kinderen, ouderen en gehandicapten. Het boek bevat moderne inzichten, interessante details en bruikbare informatie. De paragraaf over reuk en smaakzin is enig (zowel leuk als uniek!). Kortom, het is een plezierig boek en een onmisbare bron van informatie voor iedere industrieel ontwerper.”

dr. Hans Dirken, Eur. Ing. BNO (emeritus hoogleraar Industrieel Ontwerpen, i.h.b. Productergonomie, Technische Universiteit Delft)

“Ik ben enthousiast over *Productergonomie* omdat dit boek echt bruikbaar is voor ontwerpers van producten. Brecht Daams geeft heldere uitleg, sprekende voorbeelden en praktische vuistregels. Maar bovenal: ze biedt inzicht waaróm het toepassen van alle facetten van ergonomisch ontwerp zo belangrijk is.”

ir. Anne van der Graaf (docente ergonomie, opleiding IPO Windesheim Zwolle)

“Dit boek leest echt goed! Mooie voorbeelden en duidelijke grafieken. Ik had meteen door wat voor mij relevant is en heb al heel veel kunnen gebruiken bij het ontwerpen.”

Björn Flinterhoff (student Industrieel Product Ontwerpen, Hogeschool Arnhem en Nijmegen)

