

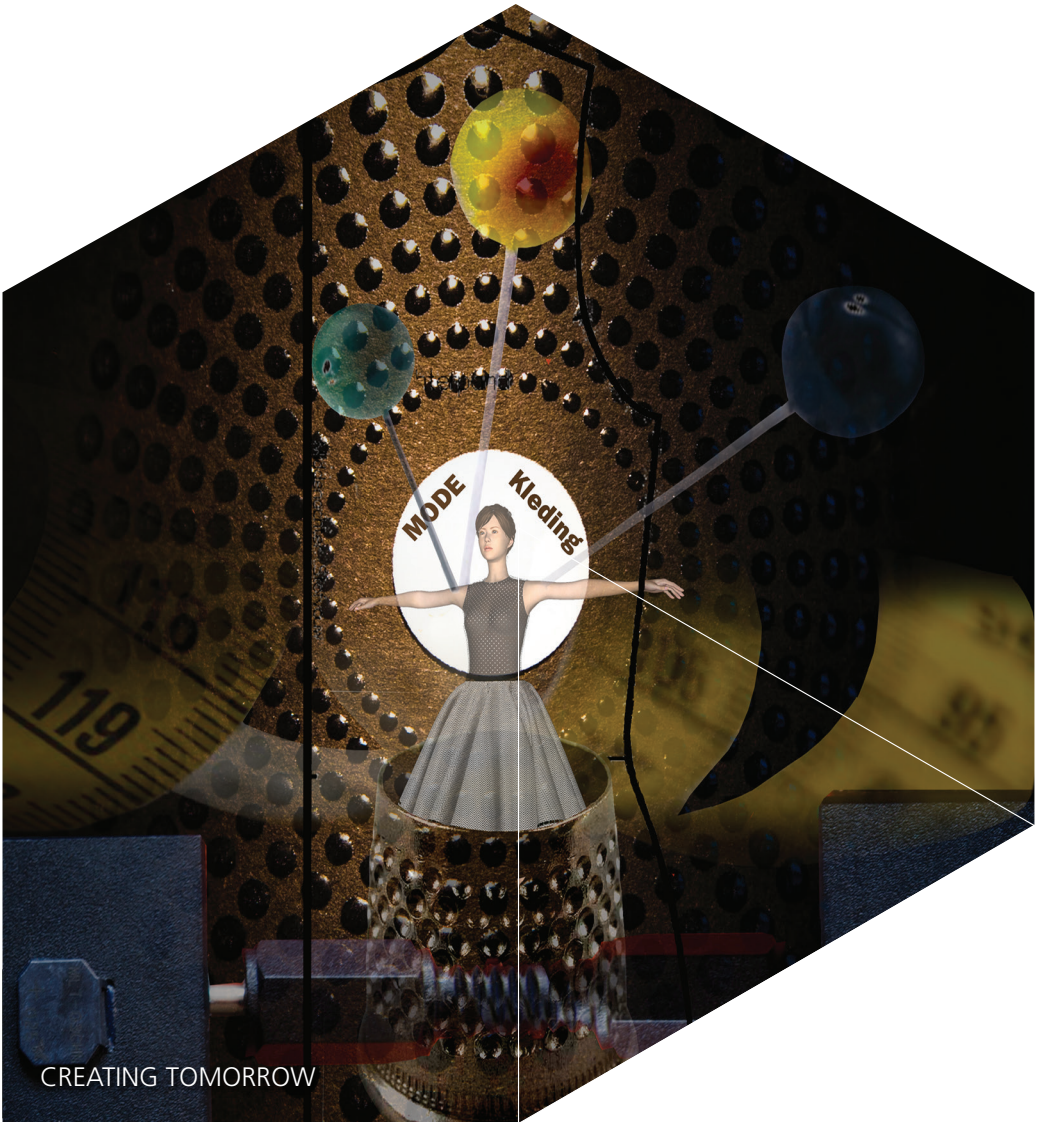


Hogeschool van Amsterdam

# KLEDING EN MODE

EEN KRITISCH-WETENSCHAPPELIJKE BESCHOUWING

Prof. dr. H.A.M. Daanen



CREATING TOMORROW

# Kleding en Mode



# Kleding en Mode

*Een kritisch-wetenschappelijke beschouwing*

## *Lectorale Rede*

in verkorte vorm uitgesproken op dinsdag 25 november 2014

door

prof. dr. Hein Daanen

lector Fashion Research & Technology  
aan de Hogeschool van Amsterdam

Amsterdam Fashion Institute (AMFI) en kenniscentrum CREATE-IT  
Domein Digitale Media en Creatieve Industrie



**Hogeschool van Amsterdam**

HvA Publicaties is een imprint van Amsterdam University Press.  
Deze uitgave is tot stand gekomen onder auspiciën van de Hogeschool van Amsterdam.

Omslagillustratie: foto en collage van Bert Zuiderveen.nl

Vormgeving omslag: Kok Korpershoek, Amsterdam  
Opmaak binnenwerk: JAPES, Amsterdam

ISBN 978 90 5629 757 2  
e-ISBN 978 90 4852 845 5 (pdf)

© Hein Daanen / HvA Publicaties, Amsterdam 2014

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeleenvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voorzover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974, Stb. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	7
1.1	<i>Achtergrond en indeling</i>	7
1.2	<i>Kledingidentiteit</i>	9
1.3	<i>Duurzaamheid van mode</i>	10
1.3.1	Omgevingsbelasting van mode	10
1.3.2	Methoden om omgevingsbelasting te reduceren	12
1.4	<i>Analyse van de wetenschappelijke literatuur voor fashion en kleding</i>	15
1.4.1	Tijdschriften	15
1.4.2	Onderwerpen	16
1.4.3	Wie publiceren?	17
<b>2</b>	<b>Kleding vanuit functioneel/ergonomisch perspectief</b>	19
2.1	<i>Noodzaak van kleding in de kou</i>	19
2.2	<i>Warmte- en vochthuishouding in kleding</i>	21
2.3	<i>Ergonomische aspecten van kleding</i>	24
<b>3</b>	<b>Slimme kleding</b>	25
3.1	<i>Kleding als platform voor metingen</i>	25
3.1.1	Fysiologische metingen	25
3.1.2	Metingen in kleding	33
3.1.3	Metingen van de buitenwereld	34
3.2	<i>Actuatoren</i>	35
3.3	<i>Verwarmende en koelende kleding</i>	37
3.3.1	Verwarmende kleding	37
3.3.2	Koelende kleding	40
<b>4</b>	<b>Pasvorm van kleding</b>	45
4.1	<i>Belang en bepaling van pasvorm</i>	45
4.1.1	Bewegingsvrijheid in kleding	46
4.1.2	Grootte van de kledingtoeslag	47
4.1.3	Compressiekleding	47
4.1.4	Houdingsondersteuning door kleding	49
4.2	<i>Relatie mensmaten / kledingmaten</i>	50
4.2.1	Geen standaard in kledingmaten	50
4.2.2	Graderen	51
4.2.3	<i>Fitmaps</i> en virtueel passen	53
4.2.4	Virtueel ontwerpen	55
4.3	<i>3D-scanning</i>	56
4.3.1	Scanners	56
4.3.2	Scans	57

Het lectoraat Fashion Research & Technology	61
Dankwoord	63
Noten	65
Referenties	66

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond en indeling

In het lectoraat Fashion Research & Technology van de Hogeschool van Amsterdam (HvA) wordt beoogd kennis te ontwikkelen die toepasbaar is in het vakgebied van mode en kleding. Mode staat voor 'tijdelijk, voorbijgaand gebruik in kleding' (Van Dale, [www.vandale.nl](http://www.vandale.nl), toegang 3/5/2014). Onderzoek naar mode, de taak van het lectoraat, kan alleen met multidisciplinair onderzoek goed worden uitgevoerd. Mode bevat immers esthetische componenten (wat vindt iemand mooi?), filosofische aspecten (waarom dragen we kleding?), historische elementen (hoe is de huidige kledingkeuze ontstaan uit historische ontwikkelingen?), economische raakvlakken (hoe verandert het kleedgedrag in tijden van crisis?), bewegingswetenschappelijke raakvlakken (hoe groot is de bewegingsvrijheid in kleding?), technische componenten (welke textiele materialen leiden tot goed draagcomfort?), thermofysiologische aspecten (welke mode draag ik bij warm weer?), enzovoorts.

Kleding vormt de interface tussen het menselijk lichaam en de leefomgeving. Kleding geeft mensen de mogelijkheid om hun identiteit en culturele achtergrond uit te drukken. Daarnaast heeft kleding vaak een beschermende rol, vooral tegen extreme weersomstandigheden zoals hoge en lage temperatuur, neerslag, wind, zonnestraling, maar ook tegen vuil, gifgas, kogels (zogenaamde ballistische bescherming), stoten, extreme druk, explosies e.d. Soms is kleding juist nodig om de omgeving af te schermen tegen vuil dat de mens produceert, zoals bij de productie van computerelektronica.

Onder kleding wordt in deze verhandeling al het materiaal verstaan dat het menselijk lichaam omhult. Globaal betreft het voor het hoofd een hoofddekkel, voor de handen handschoenen of wanten, voor de voeten sokken en schoenen. Voor het boven- en onderlijf is meer keuze beschikbaar zoals een hemd, bh, T-shirt, polo, overhemd, trui, jas, onderbroek, broek en rok. Er zijn ook kledingstukken die boven- en onderlijf omspannen zoals een jurk, overall en lange jas. Bovendien is er een grote variatie binnen een categorie kledingstukken; hierbij kan onderscheid gemaakt worden in vorm, materiaal en kleur.

Kleding is belangrijk voor de Nederlandse economie. De 750 bedrijven die zijn aangesloten bij MODINT, de ondernemersorganisatie van fabrikanten, importeurs, agenten en groothandelaren van kleding, modeaccessoires, tapijt en (interieur)textiel, realiseren jaarlijks een gezamenlijke omzet van € 9 miljard in Nederland. Hiervan wordt ruim 50% geëxporteerd ([www.modint.nl](http://www.modint.nl), toegang 3/5/2014).



In het lectoraat is gekozen voor drie speerpunten van onderzoek voor kleding/mode. Deze speerpunten zijn tot stand gekomen op basis van aanwezige expertise in de kenniskring van het lectoraat, analyse van kennislacunes en een inschatting van potentieel relevante maatschappelijke ontwikkelingen.

Het eerste speerpunt is *kledingidentiteit*. Er is een uitstekend kennisniveau binnen het lectoraat, zoals blijkt uit recente proefschriften van Maaïke Feitsma<sup>1</sup> en Constantin van Maltzahn,<sup>2</sup> een komend proefschrift van Rebecca Breuer en het werk van Sander Schellens en Suzanne van Rooij. Mode biedt bij uitstek de kans om je te associëren met een doelgroep of idool. Er wordt nog veel op gevoel gewerkt in de modebranche als het gaat om het introduceren van nieuwe producten. Kennis van historische achtergronden en cultuurverschillen bijvoorbeeld vergroot de kans op het introduceren van succesvolle kleding in de markt.

Het tweede speerpunt is *virtueel ontwerpen*. Al ruim vijf jaar worden studenten geschoold in virtueel ontwerp van kleding met Lectra software én in het daadwerkelijk maken daarvan. Hiermee is unieke kennis ontstaan over de mogelijkheden én beperkingen van virtueel ontwerp. Een groep docenten onder wie Sandra Kuijpers, Jacqui Haker en Ineke Siersema heeft zich op dit onderwerp toegelegd. Uit een HvA-rapport van Rachel Miles in het kader van het project 3D-fashion,<sup>3</sup> bleek dat vrijwel geen bedrijf in Nederland gebruikmaakt van de mogelijkheden van virtueel ontwerp. De techniek maakt grote sprongen voorwaarts (zoals integratie van 3D-scans en interactie via een 'virtuele catwalk') waarmee de integratie van deze techniek voor de kledingindustrie steeds relevanter wordt.

Het derde speerpunt is *slimme kleding*. Steeds vaker wordt sportkleding een onderdeel van het huidige modebeeld. Hierin vinden steeds meer sensoren een plekje in kleding of accessoires. De gebruiker krijgt informatie over hoe actief hij/zij is en wordt gestimuleerd meer te bewegen. Er zijn ook allerlei toepassingen van deze nieuwe technieken op andere gebieden, zoals bewegingsregistratie in kleding om de vooruitgang te kwantificeren na een knie- of heupvervanging, correctie als je lang in een slechte werkhouding zit en signaleren van longoedeem (impedantievest van Philips). Kennis is aanwezig binnen het lectoraat door eerdere ervaring in Europese projecten ([www.prospie.eu](http://www.prospie.eu)). Kennis over 3D-lichaamsscanning (om kleding van goede pasvorm te maken zodat de sensoren en actuatoren op de goede plaats zitten) en bewegingsregistratie kan daaraan worden toegevoegd.

Deze onderwerpen komen aan de orde in deze verhandeling. *Kledingidentiteit* wordt kort genoemd in paragraaf 1.2. Dit is niet de expertise van de lector en voor meer informatie wordt dan ook verwezen naar het werk van de experts in de kenniskring: Feitsma, Van Maltzahn, Breuer, Schellens en Van Rooij. In deze inleiding wordt verder gesproken over duurzaamheid van mode in paragraaf 1.3. Een

groot probleem met betrekking tot duurzaamheid is dat er veel meer kleding wordt gemaakt dan wordt verkocht. De schatting is dat ongeveer 1/3 van alle kleding niet wordt gedragen. De klant staat aan het eind van de kledingketen en moet kiezen op basis van drie factoren: vind ik het mooi, past het me en past het binnen mijn budget? Daarom wordt een verkenning gemaakt van de mogelijkheden tot ketenomkering om zo de milieubelasting te verminderen. In paragraaf 1.4 wordt nagegaan wat de raakpunten zijn tussen wetenschap en kleding. Waarover schrijft de wetenschap en, nog belangrijker, waarover schrijft zij niet. Wat zijn de trends: welke landen verdwijnen van het toneel en welke komen op; welke nieuwe onderwerpen komen op de agenda?

Hoofdstuk 2 handelt over kleding vanuit functioneel perspectief. De noodzaak van kleding als beschermingsmiddel wordt besproken en er wordt aandacht besteed aan ergonomie, warmte- en vochthuishouding van kleding.

Aan *slimme kleding* is hoofdstuk 3 gewijd. Kleding wordt in toenemende mate het platform voor sensoren, communicatiesystemen en actuatoren. De componenten worden steeds kleiner en krachtiger: de smartphone heeft een standaardplek verworven in een broek- of jaszak en speelt een belangrijke rol in het uitlezen en interpreteren van de sensoren en het aansturen van de actuatoren. Wil de slimme kleding goed kunnen functioneren, dan moet deze nauw aansluiten op het lichaam. Dit geldt bijvoorbeeld voor lokale koeling en verwarming (lucht ertussen is immers een isolator), voor bewegingsregistratie in kleding (ruim vallende kleding zorgt dan voor bewegingsartefacten), sensoren voor huidtemperatuur en hartslagfrequentie en voor actuatoren zoals tactiele interfaces. 3D-scanning maakt het mogelijk kleding individueel op maat te maken, maar toch is het belangrijk in deze fase van de ontwikkeling om ook aandacht te besteden aan optimalisatie van kledingmaatsystemen. Dit gebeurt in hoofdstuk 4, waarin ook *virtueel ontwerp* wordt genoemd. De lezer wordt voor meer informatie hierover verwezen naar het werk van onder andere Kuijpers, Haker en Siersema.

Met de plannen van het lectoraat Fashion Research & Technology wordt afgesloten.

## 1.2 Kledingidentiteit

Mensen hebben vaak een negatieve perceptie van hun eigen lichaam. Tijdens de CAESAR 3D scan survey in 1999 en 2000 (Robinette et al. 2002) werd aanvankelijk een afdruk van de 3D-lichaamsscan gegeven als aandenken aan de meting, maar dit werd zo slecht ontvangen dat dit idee is verlaten. Kleding geeft mensen de kans om zichzelf aan de buitenwereld te tonen op een manier die hun culturele achtergrond, identiteit en interesses tot uitdrukking brengt. Een mooi voorbeeld

van uitdrukking van identiteit betreft de traditionele klederdracht, men laat zo zien tot een coherente groep te behoren. In haar proefschrift laat Maaïke Feitsma goed zien hoe deze identiteit gekoppeld is aan mythes en hoe deze ook nog in het huidige kledingaanbod terug te vinden zijn (Feitsma 2014). Een ander mooi voorbeeld betreft een revival van traditionele Ierse invloeden op kledingkeuze om uiting te geven aan identiteit (Ward 2014). Een onderzoek van beperkte omvang bij vrouwen leert dat zij niet alleen met kleding tot uiting brengen wie zij (denken te) zijn, maar ook wie zij wel en niet willen zijn (Guy en Banim 2000). Kledingkeuze wordt daarmee een belangrijke activiteit.

Mannen vinden vrouwen met een smalle tailleomvang ten opzichte van heupomvang aantrekkelijk, terwijl vrouwen mannen met een grote borstomvang ten opzichte van tailleomvang aantrekkelijk vinden (Braun en Bryan 2006). Kleding kan deze verschillen accentueren, zoals een strakke taillieriem in vrouwenkleding of epauletten in herenkleding.

In de keuze van kleding is de mens niet compleet vrij; deze wordt bepaald door aanbod. Het aanbod in de winkel (en tegenwoordig ook op internet) varieert sterk per seizoen, maar er zijn ook langjarige trends. Zo laten George et al. (1996) zien dat in de afgelopen decennia in modetijdschriften vrouwen in toenemende mate hoofdbedekking droegen, mogelijk om nadelige effecten van zonnestraling te voorkomen.

### 1.3 *Duurzaamheid van mode*

#### 1.3.1 *Omgevingsbelasting van mode*

Mode wordt vaak gezien als tegenpool van functionele kleding. Mode is daarbij op uiterlijk gericht en functionele kleding op het optimaal beschermen van de mens. Deze tegenstelling lijkt echter in toenemende mate naar de achtergrond te verdwijnen, omdat bij mode toenemende belangstelling is voor functionaliteit (zie bijvoorbeeld de intrede van sportkleding in het modebeeld – *active wear* kende in de VS in 2013 een omzet van 8,4 miljard euro (Bregje Lampe, Volkskrant 4/8/14) – en omdat bij gebruikers van functionele kleding zoals politie en defensie steeds meer oog is voor modieuze aspecten om de acceptatiegraad van kleding te verhogen. Er lijkt wel een tweede tegenstelling te gaan ontstaan, namelijk die tussen mode en duurzaamheid.

Duurzame mode lijkt een *contradictio in terminis* te worden. Op de eerste plaats doet de productie van textiele materialen, vooral katoen, een groot beroep op onze natuurlijke bronnen zoals water. Voor één spijkerbroek is bijvoorbeeld bijna 11 duizend liter water nodig (Chapagain et al. 2005). Dit water wordt vervuild

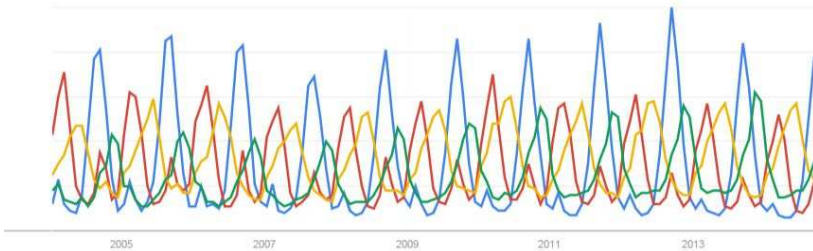
door het proces en daarmee aan menselijke consumptie onttrokken. Vervolgens wordt het textiel omgezet naar een geconfectioneerd kledingstuk. Dit is arbeidsintensief en gebeurt dan ook vaak in lagelonenlanden om de kosten van het product te minimaliseren. De arbeidsomstandigheden staan momenteel sterk ter discussie na de ramp waarbij een productiefaciliteit in Bangladesh instortte. Productie in lagelonenlanden brengt met zich mee dat het kledingstuk over grote afstanden moet worden vervoerd met dienovereenkomstige milieudruk.

Vaak vindt er nog nabewerking plaats van het kledingstuk. Om bij het voorbeeld van spijkerbroeken te blijven; chemische stoffen en schuurbehandelingen worden toegepast om ze een versleten uiterlijk te geven. Dit proces drijft de prijs op en vermindert de duurzaamheid van het product.

Als dan het kledingstuk is gemaakt en in de winkel hangt, blijkt dat er veel meer van worden verkocht dan we nodig hebben. Een vrouw in de VS koopt gemiddeld 2.400 kledingstukken per jaar (Siegle 2011).

Mode kenmerkt zich door vaak wisselende collecties waardoor de klant de neiging krijgt om nieuwe kleding te kopen voordat de oude kleding is versleten. Van de modieuze man of vrouw wordt verwacht dat deze kleding draagt die ten minste per seizoen anders is. Figuur 1 laat zien hoe voor de VS de seizoensgebondenheid van mode is. Dit is bepaald met behulp van de Google zoekmachine. Opvallend is dat herfstmode meer wordt gezocht dan lentemode en deze weer meer dan zomer- en wintermode. De continue aanpassing van het kledingassortiment aan de tijdgeest leidt tot overmatige aanschaf met nadelige consequenties voor ons ecosysteem.

**Figuur 1** Seizoensgebondenheid van mode voor de VS. Rood: lentemode (piek maart), geel: zomermode (piek juni), blauw: herfstmode (piek september), groen: wintermode (piek nov.-dec.). De hoogste score is genormeerd op 100 (piek in herfstmode 2012) en alles is relatief daarnaartoe geschaald.



### 1.3.2 Methoden om omgevingsbelasting te reduceren

Mode laat zich dus lastig verenigen met duurzaamheid, maar het is wel belangrijk na te denken over mogelijkheden om de milieubelasting van dit proces te reduceren. De voorstellen hieronder zijn in volgorde van mogelijke impact geordend.

#### Ketenoptimalisatie

Een kritische analyse leert dat de klant aan het eind van de kledingketen staat. Onze taak bij winkelen is om uit de geproduceerde hoeveelheid een kledingstuk te vinden dat 1) ons past, 2) we mooi vinden en 3) binnen ons budget past. Als dat allemaal lukt, spreken we van een geslaagde aankoop. Dit proces brengt met zich mee dat veel kleding die niet aan onze criteria voldoet, niet bij de klant terecht komt. Uit schattingen door MODINT blijkt dat gemiddeld slechts een derde deel van de gemaakte kleding via reguliere kanalen de klant bereikt, een derde in de uitverkoop gaat en een derde deel niet wordt verkocht en dus afgevoerd.

Een eerste optie ter vermindering van de milieubelasting is dan ook het omkeren van de kledingketen (Daanen 1998). Het idee hierbij is dat de consument zijn relevante lichaamsdimensies, voorkeuren en beschikbaar budget naar de producent communiceert en dat op basis daarvan het productieproces wordt gestart. Het voordeel hiervan is dat er geen kledingstukken worden gemaakt die niet direct door een consument worden afgenomen. Uitdagingen hierbij zijn vooral logistiek en financieel: het hele proces moet worden gestart als er een order binnenkomt en uiteindelijk moet het product bij de klant of een uitleverbalie worden opgeleverd. Een voorbeeld van extra kosten betreft het investeren in éénlaagse snijmachines voor kleding, terwijl traditioneel voor massaproductie meerlaagse snijmachines worden gebruikt.

Dat ketenomkering kan werken, blijkt bijvoorbeeld uit de werkwijze van het bedrijf Bivolino ([www.bivolino.com](http://www.bivolino.com)) waar de klantinformatie binnen enkele minuten wordt omgezet in een voor die persoon specifiek patroon van een overhemd of bloes. Figuur 2 toont een *screendump* van de website. Op basis van bh-maat, lengte, gewicht en leeftijd wordt een schatting gemaakt van de lichaamsmaten die essentieel zijn voor het ontwerp van bloezen (Daanen en Byvoet 2011). Men kan kiezen uit diverse ontwerpen en materialen.

De patronen worden vervolgens in Tunesië gesneden en blouse of overhemd wordt daar geconfectioneerd en naar de klant verstuurd. Het is niet onaannemelijk dat het maken van kleding bij ketenomkering dichterbij huis gaat plaatsvinden dan bij massaproductie, waar lage lonen cruciaal zijn. Dit is ook de reden dat de overheid vanuit de aardgasbaten onderzoek in Nederland op dit gebied heeft gestimuleerd. In 2003 is door TNO samen met Wehkamp en andere partners een

Figuur 2 *Screendump* van de website van Bivolino waar de klantinformatie het startpunt is van een op maat gemaakte bloes of overhemd



kleine keten opgezet om een herenkostuum op maat te maken (Hin et al. 2003). Met een 3D-lichaamsscanner zijn scans gemaakt van 34 mannen en daaruit zijn voor een kostuum relevante lichaamsmaten berekend met een softwarepakket afkomstig van TC2 uit de VS. Vervolgens hebben de bedrijven Devis en De pasvorm in het pakket Grafis het kostuum gemodelleerd. Bard.zo coördineerde de productie bij een bedrijf in Slowakije. Medewerkers van de Universiteit van Tilburg brachten hun kennis in over ketenomkering en registreerden de consumentenbeleving. 16 van de 34 consumenten behielden het kostuum voor het bedrag van 350 tot 400 euro. Voor allen moest het kostuum na de passessie wél verpompt (passend gemaakt) worden. Vrijwel iedereen, ook degenen waarbij het pak niet paste, hadden een positief oordeel over de procedure. De helft van de mensen waarvan het kostuum paste, gaf aan dat ze in het vervolg weer op deze wijze een kostuum wilden kopen. Er werd geconcludeerd dat hoewel slechts in de helft van de gevallen een passend pak kon worden geleverd, men positief was over de opgedane ervaring. Dit geeft de marktpotentie van het concept 'kleding op maat' aan. De complexiteit van de relatie tussen lichaamsmaten en patroonmaten is onderschat en was een bron van fouten. Verbeteringen zijn in kaart gebracht en kunnen in de toekomst worden gebruikt bij nieuwe initiatieven. Op dit moment blijft het als bedrijf een risico om de kledingketen volledig om te draaien; te veel technische knelpunten zijn nog niet voldoende opgelost.

## Klantbeleving

Een tweede manier om de milieubelasting van kleding aan te pakken grijpt aan bij de overconsumptie. Veel mensen hebben een uitgebreide garderobe met kleding, waarvan maar een deel wordt gedragen. Met de kleding die je veel draagt, is vaak een speciale band: het zit lekker, voelt en staat goed – meer algemeen: het gaat samen met een goed gevoel. Het Europese project Open Garments heeft dit als uitgangspunt genomen en als doel gesteld een proces te starten waarin de emotionele band met kledingstukken wordt geïntensiveerd. Achterliggend ideaal was een garderobe met een beperkt aantal items die met plezier en betrokkenheid worden gedragen.

In dit project ([www.open-garments.eu](http://www.open-garments.eu)) hebben vele partners samengewerkt en is een gebruikersgroep gemaakt (*virtual community*) waarin men veel onderling overleg had over kleding en kledingontwerp. Men kon op een website een overhemd zelf deels mee ontwerpen op basis van ontwerpen van bekende kledingontwerpers. De klant kon het hele proces van ontwerp tot productie via internet volgen en het overhemd moest zelf ook nog in elkaar worden gezet (zoals de knopen eraan naaien). Dit alles was bedoeld om de emotionele band tussen klant en kleding te verhogen. De klanten vonden het prettig om op deze manier te werken, maar of hierdoor daadwerkelijk een reductie in de omvang van de garderobe is opgetreden, is niet onderzocht. Hier ligt nog een kennishiaat.

De rol van sociale media in de verkoop van kleding krijgt steeds meer aandacht. Tijdens het nationaal modecongres 2014 ([www.nationaalmodecongres.nl/sprekers](http://www.nationaalmodecongres.nl/sprekers)) gaf Vlisco het grote belang aan van social media voor het succes van dit Helmondse textielbedrijf in Afrika. Hierbij werd met name de culturele achtergrond genoemd. Jongere klanten attenderen elkaar, bijvoorbeeld met Facebook of Twitter, op aantrekkelijke producten. Ook wordt soms het oordeel van een peer-group gevraagd tijdens passen in een winkel, waarna men al dan niet tot aanschaf overgaat. Vooral de jonge klanten schaffen kleding snel en impulsief aan, zoals ze ook hamburgers kopen, en dit wordt daarom ook wel McFashion genoemd (Priest 2005).

## Product en productieproces

Naast de aandacht voor de productieketen en de consumentenbeleving bij het verminderen van milieudruk, dient natuurlijk ook naar het product en het productieproces zelf gekeken te worden. Het in één adem noemen van natuurlijke vezels en vermindering van milieudruk is niet gerechtvaardigd. Integendeel, voor sommige natuurlijke stoffen als katoen is het bekend dat er een grote milieubelasting is door overmatig watergebruik. Het verdient aanbeveling dat de klant inzicht

heeft in de mate van milieudruk van het aan te schaffen kledingstuk. Er bestaat momenteel een groot aantal milieulabels, maar deze focussen vaak op de gebruikte chemische stoffen en bijvoorbeeld niet op het gebruik van water. Een verantwoord totaalplaatje is daarmee niet eenduidig te verkrijgen. Hier moet meer aandacht aan worden besteed.

#### *1.4 Analyse van de wetenschappelijke literatuur voor fashion en kleding*

In het onderstaande is een analyse gemaakt van de wetenschappelijke literatuur op basis van de trefwoorden 'fashion' en 'clothing' met de zoekmachine Scopus op 1 augustus 2014. Scopus is met 53 miljoen wetenschappelijke artikelen, boeken en congresverslagen de grootste database met samenvattingen en citaties van de wetenschappelijke literatuur. In totaal zijn met deze trefwoorden 2.791 documenten geïdentificeerd. Een globale scan laat inderdaad zien dat de titels passen binnen het beoogde onderwerp van kleding en mode.

##### *1.4.1 Tijdschriften*

Wetenschappers worden beloond als zij hun bevindingen beschrijven in wetenschappelijke tijdschriften. Ook voor mode zijn er diverse tijdschriften waarin mode-wetenschappers hun resultaten onderling communiceren. De meest genoemde tijdschriften voor de trefwoorden 'fashion' en 'clothing' staan in tabel 1.

**Tabel 1 Meest voorkomende tijdschriften voor de trefwoorden 'fashion' en 'clothing' in Scopus op 1 augustus 2014. Tussen haakjes staat het aantal keer dat het tijdschrift voorkomt.**

---

Journal of Fashion Marketing en Management	(107)
Textilwirtschaft	(87)
Textile Asia	(75)
Bekleidung Wear	(71)
Textiles South East Asia	(60)
Fashion Business International	(56)
Textil Revue	(52)
Textile Outlook International	(48)
Wool Record	(48)
Textile Network	(46)

---



Dit zijn niet de tijdschriften met de grootste wetenschappelijke impact. De tijdschriften op het gebied van fashion/clothing met de grootste wetenschappelijke impact staan in tabel 2.

**Tabel 2 Tijdschriften met de hoogste impact op het gebied van fashion/clothing/textile op 1 augustus 2014. De rechterkolom betreft de SJR (SCI Imago Journal Rank) als impactmaat.**

Textile Research Journal	0.972
Indian Journal of Fibre and Textile Research	0.673
Journal of Industrial Textiles	0.638
Journal of the Textile Institute	0.575
Fibres and Textiles in Eastern Europe	0.507
Clothing and Textiles Research Journal	0.486
International Journal of Clothing Science and Technology	0.436
Fashion Theory – Journal of Dress Body and Culture	0.230
International Journal of Fashion Design, Technology and Education	0.208

Opvallend is de lage impact van tijdschriften op dit vakgebied. Van de 29.385 tijdschriften zijn er 4.174 met een SJR hoger dan 1. Hierbij zit geen enkel tijdschrift op het gebied van kleding/textiel/mode. De textieltijdschriften lijken ook nog een hogere impact te hebben dan de kleding- en modetijdschriften. De wetenschap van kleding en mode lijkt hiermee nog nauwelijks ontwikkeld te zijn.

#### 1.4.2 Onderwerpen

De meest voorkomende onderwerpen van de artikelen die gevonden werden met de trefwoorden 'fashion' en 'clothing' staan in tabel 3.

**Tabel 3 Onderwerpen voor de trefwoorden 'fashion' en 'clothing' in Scopus op 1 augustus 2014 met tussen haakjes hoe vaak dit onderwerp voorkomt in de 2.791 publicaties (let op: een publicatie kan meerdere onderwerpen hebben).**

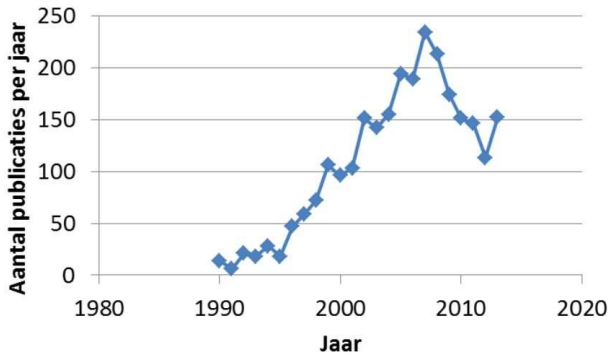
Business, Management & Accounting	(1.458)
Materials Science	(1.228)
Engineering	(941)
Arts and Humanities	(316)
Social Sciences	(275)

Duidelijk hieruit is, dat als het gaat om mode en kleding, de zakelijke, economische kant het meest naar voren komt in wetenschappelijke publicaties, gevolgd door het materiaal. Het kunstzinnig aspect van mode, 'arts' en 'humanities' draagt maar 11% van het totaal.

### 1.4.3 Wie publiceren?

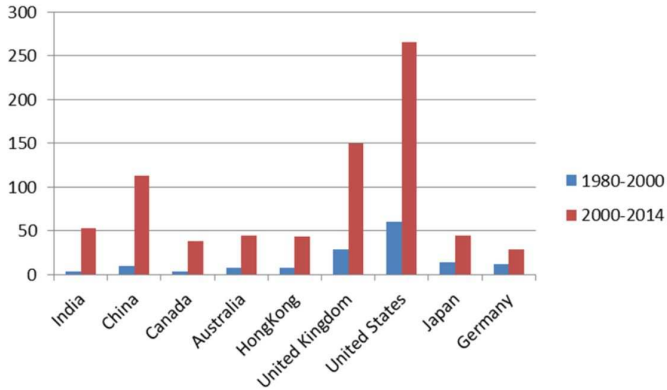
Het aantal publicaties per jaar staat weergegeven in figuur 3. Opvallend is de sterke stijging tot het jaar 2007 en de afname daarna. Hiervoor is geen directe verklaring aan te dragen. Mogelijk speelt de crisis van 2007-2009 een rol.

**Figuur 3** Aantal publicaties in de wetenschappelijke literatuur met trefwoorden 'fashion' en 'clothing' per jaar



Interessant is om te kijken welke landen domineren in de publicaties. Zoals verwacht zijn de VS dominant, maar er zijn grote veranderingen gaande. In figuur 4 staan de landen die het meest publiceren, de volgorde van de landen op de x-as is bepaald op basis van de verhouding publicaties in de periode 2000-2014 ten opzichte van de periode 1980-2000. De toename in het aantal publicaties is dus het grootst in India en China, de verhouding nieuwe/oude publicaties ruim een factor 10, terwijl deze voor Japan en Duitsland niet meer dan een verdubbeling is. In absolute aantallen hebben India en China inmiddels Duitsland en Japan ingehaald in de meest recente periode. Als deze trend zich voortzet, zullen de meeste publicaties in de toekomst uit deze twee BRIC (Brazilië, Rusland, India en China) landen komen, en dit impliceert dat daar ook de meeste innovaties vandaan zullen komen.

**Figuur 4** Meest publicerende landen met hun publicatieaantallen in 1980-2000 en 2000-2014. De landen zijn gesorteerd op de ratio publicaties 2000-2014/publicaties 1980-2000.



De toplaboratoria die publiceren staan in tabel 4. Met name de groep van Jintu Fan van Hong Kong Polytechnic is een topper. Jintu Fan is onlangs in dienst getreden van de Cornell University (VS).

**Tabel 4** Meest publicerende laboratoria voor de trefwoorden 'fashion' en 'clothing' in Scopus op 1 augustus 2014 met in de rechterkolom het aantal publicaties

Hong Kong Polytechnic University	46
Manchester Metropolitan University	22
University of Zagreb, Faculty of Textile Technology	18
Donghua University	18
Glasgow Caledonian University	13
Florida State University	12
University of the Arts London	11
Iowa State University	10

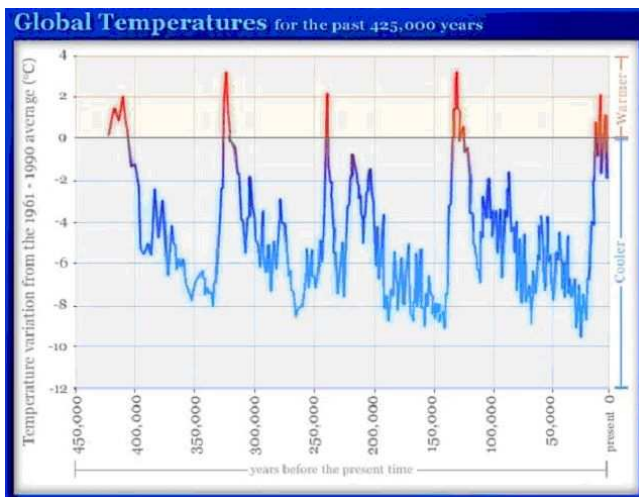
Samenvattend kan worden gesteld dat wetenschappelijke publicaties op het gebied van kleding/mode relatief schaars zijn in vergelijking met andere vakgebieden, met name op het gebied van mode. De publicaties komen steeds meer uit India en China, terwijl Duitsland en Japan sterk op hun retour zijn.

## 2 Kleding vanuit functioneel/ergonomisch perspectief

### 2.1 Noodzaak van kleding in de kou

Sinds de oerknal van 13,8 miljard jaar geleden ligt er een lang pad naar de huidige geklede mens. De aarde ontstond zo'n 4,56 miljard jaar geleden en pas 2 miljoen jaar geleden bevolkten de eerste mensachtigen deze planeet. De eerste Homo Sapiens leefde ongeveer 160.000 jaar v.Chr. in een warm Afrikaans land; de naakte mens kon daar uitstekend uit de voeten zonder kleding. Pas ongeveer 40.000 jaar geleden is de mens uit Afrika vertrokken naar koudere streken (Diamond 2013). We zaten toen midden in een ijstijd (Petit et al. 1999) (fig. 5), voor een naakte mens niet bepaald een optimaal tijdstip om de warme omgeving te verlaten. Er zijn dan ook wetenschappers die speculeren dat de diaspora pas een aanvang nam nadat de mens zich omhulde met kleding (Taylor et al. 2014).

Figuur 5 Verloop van temperaturen in °C op de aarde, geschat op basis van ijsanalyse op de Zuidpool (Petit et al. 1999). Referentie is het gemiddelde van de jaren 1961 tot 1990 – deze waarde is op 0 gezet.



Ongeveer 11 duizend jaar geleden was vrijwel overal op aarde menselijk leven aanwezig (Diamond 2013). Dat de mens juist in deze koude periode over de aarde

is uitgezworven, maakt het aannemelijk dat de mens zich toen kon beschermen tegen koude. Door grottekeningen is het bekend dat de eerste mensen in Zuid-Europese grotten aanwezig waren. Ze werden door de grot beschermd tegen extreme temperatuurwisselingen en neerslag; mogelijk werden ook dierenhuiden gebruikt om het lichaam warm te houden.

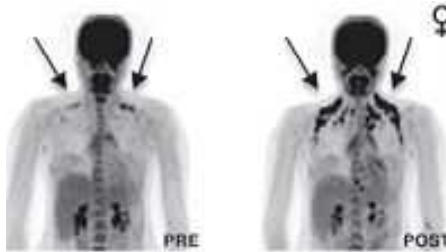
Een andere mogelijkheid die de moderne (Cro-Magnon) mens heeft gehad is het uitwisselen van genetisch materiaal met Neanderthalers. Deze waren al 180.000 jaar geleden in kleine aantallen in Europa aanwezig en waren beter bestand tegen de kou, met name door hun gunstigere oppervlakte-inhoudverhouding (10 cm kleiner dan de Cro-Magnonmens, kortere benen, breder). Het is niet onwaarschijnlijk dat zij kleding droegen die tot 80% van hun lichaam bedekte (Wales 2012). Zij zijn ongeveer 30.000 jaar geleden uitgestorven (Finlayson et al. 2006), maar hebben nog wel seksueel contact gehad met de moderne mens. Naar schatting 5% van het erfelijk materiaal in de Europese mens is afkomstig van de Neanderthaler, in de Afrikaanse mens is daar geen aanwijzing voor gevonden (Plagnol en Wall 2006). Het valt aldus niet uit te sluiten dat enig genetisch materiaal gerelateerd aan koudeweerstand is overgedragen van de Neanderthaler op de Cro-Magnonmens.

Een verblijf van 40.000 jaar in koude streken is erg kort in evolutionair perspectief. De mens heeft dan ook nauwelijks mechanismen ontwikkeld om in de kou zonder kleding te kunnen functioneren.

Als een mens in de kou komt, zorgt vasoconstrictie van bloedvaten in de huid en weefsels van de extremiteiten tot een vermindering van de warmteafgifte. Daarnaast kan 'de kachel' beperkt harder worden gestookt door rillen en klappertanden. De hoeveelheid warmte die kan worden geproduceerd is enkele honderden W en hangt af van de kern- en huidtemperatuur (Tikuisis en Giesbrecht 1999). Veel minder warmte kan worden gemaakt door *non-shivering thermogenesis*, meestal door verbranding van het kleine beetje bruine vet dat een mens heeft (Van Marken Lichtenbelt et al. 2009). Deze warmteproductie ligt in de ordegrootte van 10 W (Van Ooijen et al. 2005). Toch wordt vaak geclaimd dat deze *non-shivering thermogenesis* van groot belang is voor de mens omdat deze bij milde koudeblootstelling direct wordt geactiveerd (Cannon en Nedergaard 2004). Er zijn ook aanwijzingen dat mensen die veel aan koude worden blootgesteld, meer bruin vet ontwikkelen (Van der Lans et al. 2013) (fig. 6).

Er zijn slechts beperkte langetermijnaanpassingen aan kou. Naast de genoemde toename van bruin vet, zijn er enige gedragsmatige, morfologische, genetische en fysiologische aanpassingen beschreven. Gedrag is ons belangrijkste wapen: uit de wind zitten, de zon opzoeken, kleding aandoen, gehurkt gaan zitten om warmteafgifte te beperken, enz. De Duitse bioloog Carl Bergmann be-

**Figuur 6** Kenmerkend voorbeeld van een proefpersoon waarbij meer bruin vet bij de schouders is waargenomen na herhaalde koudeblootstelling (Van der Lans et al. 2013)



schreef in 1847 dat sommige dieren groter waren in koude streken en kleiner in warme regio's. Of dit ook voor mensen geldt, is discutabel. Een overzicht geeft aan dat voor mensen een dergelijke relatie nauwelijks bestaat op basis van lichaamslengte (Gustafsson en Lindenfors 2009). Door herhaalde koudeblootstelling kunnen meer UCP's (UnCoupling Proteins) ontstaan die ervoor zorgen dat meer warmte kan worden gemaakt. Dit speelt een rol bij verbranding van bruin vet. Daarnaast is het mogelijk dat meer Cold Shock Proteins gaan ontstaan die beschermend werken bij plotse koudeblootstelling (Phadtare et al. 1999). De overige aanpassingen betreffen vooral tolerantie van lagere kerntemperaturen en het ontstaan van een iets dikkere vetlaag op de huid (Launay en Savourey 2009). Dit laatste is mooi aangetoond door een onderzoek waarbij Japanse vrouwen met minirok of lange rok door de koude winter moesten en waarbij de vrouwen in minirok na afloop een iets dikkere vetlaag op de benen hadden ontwikkeld (Imamura et al. 2000). In fysiologiehandboeken wordt er nog wel op gewezen dat de doorbloeding van vingers aanzienlijk toeneemt als deze regelmatig aan koude worden blootgesteld. Het idee is vooral ontleend aan de bevindingen dat visfileerders in koud water warme vingers hebben (Nelms en Soper 1962). Echter, recent onderzoek laat zien dat hier waarschijnlijk sprake is van selectie (alleen mensen met warme vingers worden visfileerder) en niet van fysiologische aanpassingen (Cheung en Daanen 2012; Daanen et al. 2012a).

Samenvattend kunnen we stellen dat de mens een tropisch dier is, met beperkte middelen om te leven in koude en dat dit kleding essentieel maakt!

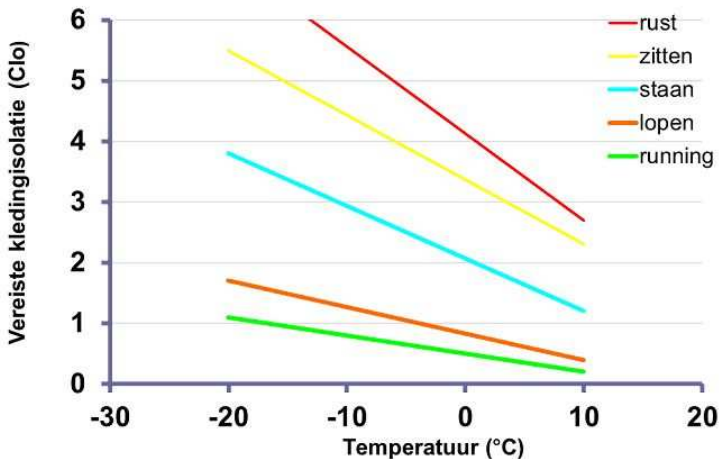
## *2.2 Warmte- en vochthuishouding in kleding*

Kleding speelt dus een essentiële rol om in de koude te kunnen overleven. Kleding isoleert ons van onze thermische omgeving. De isolatie van kleding wordt uitge-

drukt in Clo (1 Clo = 0,155 m<sup>2</sup> K/W). Het zijn de stilstaande luchtlagen tussen huid en kleding of tussen kledinglagen die voor de isolatie zorgen.

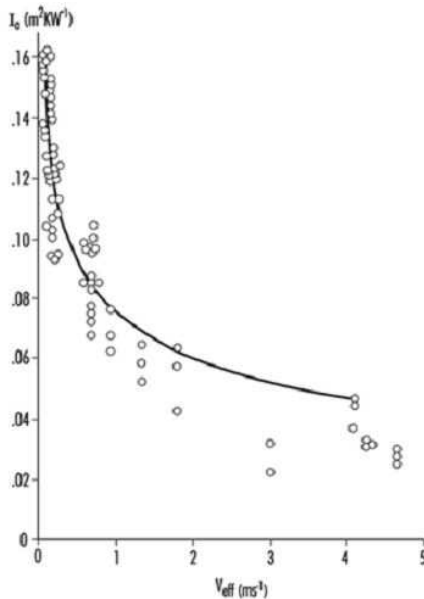
Met ISO-norm 11079 (NEN-EN-ISO 11079, 2008) kan worden uitgerekend hoeveel kledingsisolatie noodzakelijk is om thermisch in evenwicht te blijven. Met name in koude omstandigheden kan dit erg nuttig zijn om te bepalen hoeveel kleding (en slaapzakisolatie) moet worden meegenomen om niet onderkoeld te raken. Figuur 7 laat zien hoe de vereiste isolatie voor thermische neutraliteit afhangt van omgevingstemperatuur en inspanningsniveau. Opvallend is hoe sterk de invloed van inspanning is. Bij 0°C in rust is 4 Clo nodig, equivalent aan twee slaapzakken, terwijl bij flinke inspanning slechts een halve Clo nodig is. Dit betekent dat in de koude bij wisselende inspanning-rustperiodes telkens de kledingsisolatie moet worden aangepast om de lichaamstemperatuur constant te houden. Wordt tijdens inspanning de kledingsisolatie niet teruggebracht, dan gaat men transpireren. Dit is ongewenst omdat in de rustperiode daarna de vochtverdamping voor extra afkoeling zorgt (zogenaamde *after-chill*).

**Figuur 7** Relatie tussen vereiste kledingsisolatie (Clo) en omgevingstemperatuur voor verschillende inspanningsintensiteiten



De isolatie neemt sterk af als er wind is omdat dan de luchtlaag tussen huid en kleding telkens wordt verversd. In figuur 8 staat de relatie tussen windsnelheid en isolatie weergegeven (Lotens 2011).

Figuur 8 Relatie tussen isolatie van een luchtlaag (in  $m^2 K/W$ ) bij verschillende windsnelheden (m/s)



Lucht, vastgehouden door kleding, vormt dus een isolator die warmteverlies tegengaat. Dezelfde lucht kan verzadigd raken met waterdamp door het zweet dat van de huid verdampt. Het is belangrijk om de spouw zo droog mogelijk te houden. In de kou is dat belangrijk omdat waterdamp condenseert en het vocht in de spouw warmte geleidt en daarmee de isolatie vermindert. In de hitte is het belangrijk dat het zweet van de huid kan verdampen om op die manier voor koeling te zorgen. Luchtverplaatsing in de spouw helpt de waterdampconcentratie te verlagen. Als er wind is of als men luchtverplaatsing krijgt door bewegen, verdampt het vocht beter (Wang et al. 2012). Ook kan men buitenlucht met een ventilator door de spouw blazen. Dit heeft een sterk koelend effect, zelfs als de lucht 35°C warm is (Reffeltrath 2006). Zowel in de hitte als koude is het dus van belang dat de waterdamp uit de luchtspouw wordt verwijderd.

Het materiaal van kleding speelt een belangrijke rol in de warmte- en vochthuishouding. Katoen heeft de eigenschap om vocht vast te houden, waardoor het minder goed kan verdampen en daardoor minder koeling kan genereren dan polyester (Wang et al. 2014). Daarom wordt sportkleding steeds meer van synthetisch materiaal gemaakt. Als kleding waterdicht moet zijn om tegen regen te bescher-



men, is het lastig om toch de waterdampdoorlaatbaarheid te garanderen. Hiertoe zijn semipermeabele membranen, zoals Goretex, die wel waterdamp doorlaten op de markt gebracht, maar impermeabel zijn voor water. Semipermeabele membranen kennen een beperkte waterdampdoorlaatbaarheid; bij erg lage temperaturen is dit vrijwel nihil (Havenith et al. 2004).

De warmte- en vochtregulerende eigenschappen van kleding bepalen in belangrijke mate het thermisch comfort. Het zijn daarin vooral de huidtemperatuur en het tactiel gevoel van de huid die het comfort bepalen (Havenith 2002). Het (thermisch) comfort van kleding is overigens niet gelijk aan de thermische sensatie (hoe koud of warm het aanvoelt) (Teunissen et al. 2014); bij het begrip comfort worden vaak esthetische elementen betrokken in het oordeel. De huid kent overigens geen sensoren voor gevoel van nattigheid. We interpreteren een bepaalde koelcurve als natheidsindicator, waarbij we onderscheid kunnen maken tussen verschillende textiele materialen (Bergmann Tiest et al. 2012a en 2012b).

### *2.3 Ergonomische aspecten van kleding*

Kleding dient ons te beschermen tegen invloeden van buiten, maar ons daarbij niet te beperken in onze mogelijkheden. Toch is dit lastig te vermijden.

Kleding zorgt ervoor dat onze sensoren in de huid niet langer direct in contact met de buitenwereld staan en daarmee wordt onze inschatting van thermische omstandigheden minder nauwkeurig. Als we ons hoofd moeten bedekken, kan ook onze auditieve, visuele en geurwaarneming minder worden. Bij het dragen van een helm bijvoorbeeld is dat een probleem. Er zijn technische oplossingen mogelijk met sensoren aan de buitenkant van de helm waarvan de informatie dan vervolgens versterkt aan de binnenkant wordt weergegeven, maar deze zijn toch minder optimaal dan direct contact met de buitenwereld.

Bij het dragen van kleding stijgt de metabole belasting: je hebt meer zuurstof nodig om taken als lopen uit te voeren. Dit komt door het gewicht van kleding, de bewegingsbeperking en thermische belasting. Bij beschermende kleding is iets minder dan de helft van de belasting toe te schrijven aan het gewicht daarvan (Dorman en Havenith 2009). Met name als het gewicht rond enkels en voeten zit, zorgt dit voor extra metabole belasting (Browning et al. 2007).

Bij inspanning in de hitte zorgt de verminderde warmteafgifte in beschermende kleding voor extra fysiologische belasting, die kan leiden tot niet te compenseren hitte-stress en daarmee tot voortijdige beëindiging van de inspanning (McLellan et al. 2013).

Een ander deel van de beperking komt doordat de kleding fysieke weerstand biedt tegen bewegingen. Om de ergonomische effecten van kleding goed in kaart te brengen zijn ergonomische testbatterijen beschikbaar (Havenith en Heus 2004).

Helaas is het zo dat ergonomische aspecten van kleding minder aandacht krijgen bij ontwerp en evaluatie dan beschermende aspecten. Eisen met betrekking tot bescherming zijn vastgelegd in normen omdat ze eenduidig meetbaar zijn gemaakt, terwijl ergonomische testen niet of nauwelijks terug te vinden zijn in de normen. Door deze disbalans komt het regelmatig voor dat beschermende kleding uitstekend geschikt is om weerstand te bieden aan de meest uiteenlopende agentia, maar dat mensen na korte tijd door thermische overbelasting niet in de kleding kunnen functioneren.

## 3 Slimme kleding

Kleding vormt de interface tussen de mens en zijn omgeving. Kleding leent zich daarbij als een uitstekend platform voor sensoren, communicatiesystemen en actuatoren. Daarbij kunnen de waarnemingen in drie richtingen plaatsvinden: naar de mens toe, in de kleding zelf en naar de buitenwereld toe. Deze indeling vormt het uitgangspunt voor de onderstaande beschrijving van mogelijkheden en ontwikkelingen.

### 3.1 *Kleding als platform voor metingen*

#### 3.1.1 *Fysiologische metingen*

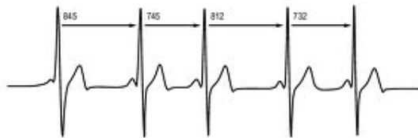
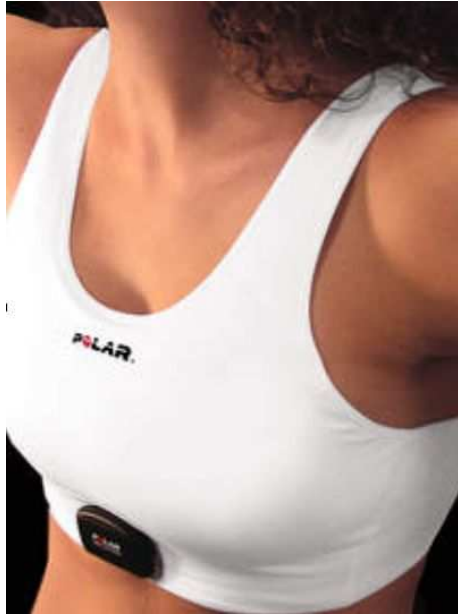
De mens geeft bij zijn functioneren diverse elektrische en chemische signalen aan de huid af, die met sensoren kunnen worden gedetecteerd. Deze signalen op zich zeggen vaak weinig, maar met de juiste verwerkingstechnieken en soms in combinatie met andere signalen, kan bruikbare informatie worden gegenereerd.

Hieronder worden kort de belangrijkste signalen met hun toepassingen beschreven.

#### Elektrocardiogram (ECG)

De samentrekking van het hart start in de sinusknoop, een verzameling zenuwcellen die zelfstandig een ritme genereert. Dit ritme wordt beïnvloed door een sympathische zenuw (de nervus accelerantes) en een parasymphatische zenuw (de nervus vagus). Het elektrisch signaal dat over de hartboezem en het hartventrikel gaat, is goed te visualiseren als het spanningsverschil op de borstkas wordt gemeten. Meestal wordt gebruikgemaakt van een band om de borstkas waarin twee sensoren en een aardelektrode zitten; voor dames zijn speciale bh's beschikbaar (fig. 9).

Figuur 9 Een bh met ingebouwde sensoren. Het zwarte kastje bevat de versterker en zender. Eronder een voorbeeld van een ECG met de intervaltijden in ms tussen elke opeenvolgende hartslag.



De sensoren meten het ECG: alle spanningsveranderingen op de borst. Uit dit ECG kan de hartslagfrequentie (HF) worden berekend. Hoe zwaarder de inspanning, des te hoger de HF. De HF is een veelgebruikte maat voor sporters: voor optimale winst in uithoudingsvermogen bij duurtraining moet de intensiteit niet te hoog en niet te laag zijn. Meestal wordt als richtgetal 70-80% van de maximale hartslagfrequentie of van de *heart rate reserve* (maximale hartslagfrequentie minus rusthartslagfrequentie) aangehouden. Deze is dan op een horloge af te lezen en/of de grenzen van het gewenste interval worden met piepjes aangegeven. Op deze wijze kan een 'slim' sportshirt dus bijdragen aan een beter uithoudingsvermogen.

Wat nog weinig wordt gedaan, maar wel mogelijkheden biedt, is het bepalen van de HRR (*Heart Rate Recovery*). Als de hartslag één minuut na inspanning snel daalt, heb je een goede conditie. Je kunt de HRR dus gebruiken om de vooruitgang in uithoudingsvermogen te monitoren (Daanen et al. 2012b). Daarbij is het belangrijk je te realiseren dat hartslagfrequentie slechts een beperkt beeld geeft, en dat dit beeld vollediger wordt als deze informatie wordt gecombineerd met trainingsgegevens, vragenlijsten en prestatietesten (Buchheit 2014). Ook op het gebied van hartrevalidatie kan de HRR een goede maat zijn (Snoek et al. 2014). De daalsnelheid van de hartslag na inspanning is dus een bruikbare maat, maar recent is gebleken dat ook de stijging van de hartslag bij aanvang van inspanning zinvolle informatie oplevert (Hettinga et al. 2014); een snelle stijging is indicatief voor een slechte conditie.

Naast de hartslagfrequentie en de daarvan afgeleide HRR kan ook de regelmaat van de hartslag in kaart worden gebracht (HRV of *heart rate variability*). Als de hartslag erg regelmatig is, is dit een indicatie van verhoogde sympathische activiteit en verminderde parasympathische activatie. Deze disbalans is indicatief voor stress en vergroot de kans op hartproblemen (Thayer et al. 2010). Er is inmiddels een aantal bedrijven dat stress-managementprogramma's aanbiedt op basis van HRV. Meestal wordt daarvoor een borstband of vinger-oorlelensor gebruikt, maar integratie in kleding ligt hier sterk voor de hand. Voor een goede meting moeten de sensoren goed op de huid worden gedrukt. Daarom zie je in de huidige kledingoplossingen vaak nog een extra borstband met klittenband op de kleding, die strak kan worden aangetrokken (zie bijvoorbeeld [www.prospie.eu](http://www.prospie.eu) en [www.omsignal.com](http://www.omsignal.com)).

### Spieractiviteit (EMG)

Als een spier samentrekt, loopt een stroompje over de spierwand vanuit de motorische eindplaatjes. De corresponderende spanningen op de huid zijn echter veel geringer van omvang dan die van het hart. Gelukkig hebben de moderne EMG-sensoren een voorversterker op de elektrode (zie bijvoorbeeld [www.biosemi.com](http://www.biosemi.com)), zodat meteen na het oppikken van het signaal verdere storingen worden geminimaliseerd. De grootte van het gelijkgerichte EMG zegt iets over de mate waarin de spier wordt aangespannen. In de sport en revalidatie kan dit bruikbare informatie opleveren over functioneren en herstel van spieren. Het maken van een goed spiermeetsysteem in kleding is een technische uitdaging, maar de eerste ontwikkelingen zijn al waargenomen ([www.liveathos.com](http://www.liveathos.com), fig. 10). Voor beenspieren, waar het ECG minder zichtbaar is, zijn al goede registraties met kleding gedaan (Bifulco et al. 2011).

Figuur 10 Visualisatie van een concept voor meting van ECG en EMG in kleding (www.liveathos.com)



Net als bij het ECG, kan zinvolle informatie gehaald worden uit het frequentie-spectrum van het EMG. Als een spier vermoeid is, loopt de elektrische spanning langzamer over de spier dan bij een niet-vermoeide spier (Daanen et al. 1990). Ook kan mogelijk de progressie van bepaalde neuro- en myopathieën met een frequentieanalyse worden gevolgd.

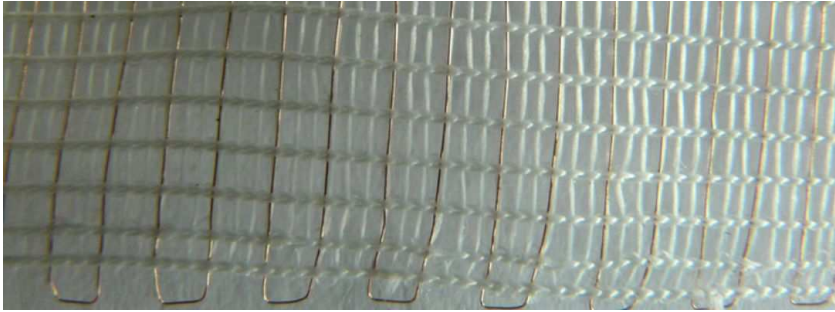
#### Ademfrequentie

Als iemand gespannen is, is de ademhaling vaak minder diep en sneller. Door de mate van rek in een borstband te meten kan de ademfrequentie worden bepaald. Nog eenvoudiger is het echter om uit de hartslagfrequentie de ademfrequentie te berekenen. Immers, bij inademing stijgt de hartslag licht en bij uitademing daalt deze. Met een frequentie-analyse kan in stabiele situaties de ademfrequentie worden bepaald. De ademfrequentie kan dan een extra fysiologische parameter zijn om het stressniveau in te schatten.

#### Huidtemperatuur

De huidtemperatuur is eenvoudig en nauwkeurig te bepalen met goedkope thermistoren of thermokoppels. Er zijn ook textiele materialen die als geheel de temperatuur van de onderliggende huid bepalen (<http://www.sefar.com/en/609/Product-Detail.htm?Folder=1484717>) (fig. 11). Ook hier geldt dat een intensief contact met de huid wenselijk is; lucht is immers een isolator en zal zorgen voor een lagere waarde van de sensor (Psikuta et al. 2014).

**Figuur 11** Voorbeeld van een textiel materiaal met de mogelijkheid om temperatuur te meten ([www.sefar.com](http://www.sefar.com))



Een hoge huidtemperatuur is indicatief voor een warm lichaam en een lage huidtemperatuur voor een koel lichaam. Als de huidtemperatuur hoger is dan  $43^{\circ}\text{C}$  is er gevaar voor huidletsel. Normaliter zijn onze temperatuur- en pijnsensoren in de huid voldoende om hiervoor te waarschuwen, maar als door zenuwletsel de sensoren niet werken, kunnen sensoren in textiel mogelijkheden bieden. Als de huidtemperatuur lager is dan  $14^{\circ}\text{C}$  is de handvaardigheid sterk verminderd en als deze lager is dan ongeveer  $8^{\circ}\text{C}$ , is het gevoel vrijwel weg (Daanen 2009). Een sensor in de kleding kan dan informatie geven die leidt tot waarschuwen voor een verhoogd risico op koudeletsel. Voor baby's wordt huidtemperatuur gebruikt om ouders te informeren over het welzijn van hun baby ([www.mimobaby.com](http://www.mimobaby.com)).

Huidtemperatuur geeft een goede indicatie van het thermisch comfort (Gagge et al. 1967). Op basis van de huidtemperatuur zou daarmee automatisch het klimaatsysteem kunnen worden aangepast om zo deze optimaal in te kunnen stellen. Het is wel belangrijk rekening te houden met persoonlijke voorkeuren, omdat er grote interindividuele verschillen bestaan.

### Kerntemperatuur

Relevanter voor menselijk functioneren dan de huidtemperatuur is de kerntemperatuur. De mens moet als homeotherm wezen een temperatuur in rust van rond de  $37^{\circ}\text{C}$  zien te handhaven. Als de temperatuur daalt onder de  $35^{\circ}\text{C}$  wordt van hypothermie gesproken. Als de temperatuur stijgt boven de  $37^{\circ}\text{C}$ , wordt de efficiëntie van de mens minder. Per graad kerntemperatuurstijging wordt de mens 1% minder efficiënt (Daanen et al. 2006). Als de kerntemperatuur boven de  $42^{\circ}\text{C}$  stijgt, is het menselijk leven in gevaar.

Het bepalen van de kerntemperatuur gebeurt meestal via een ingang van het menselijk lichaam zoals het oorkanaal, de mond, de slokdarm of het rectum. Metingen van de huidtemperatuur als schatter voor de kerntemperatuur, zoals de okseltemperatuur, zijn onbetrouwbaar. Recentelijk is er een 'revival' van een oude methode om de kerntemperatuur te bepalen via de huid: de zogenaamde *zero heat flux* meting. Principe hierbij is dat een klein element op de huid net zo lang wordt verwarmd tot de warmtestroom naar de onderliggende huid nul is. Op dat moment is de temperatuur van het element idealiter gelijk aan dat van het dieper gelegen weefsel. Vooral in een hoofdband kunnen betrouwbare metingen worden gedaan (Teunissen et al. 2011), maar ook op andere plaatsen, zoals op het borstbeen, zijn mogelijkheden. Een *zero heat flux* meetsysteem lijkt goed verwerkbaar in kleding.

Een alternatieve methode om de kerntemperatuur te bepalen met kleding is via een combinatie van verschillende huidtemperatuurwaarden en hartslagfrequentie. In het Prospie-project ([www.prospie.eu](http://www.prospie.eu)) is hier onderzoek naar gedaan en daaruit bleek dat de fout in de geschatte waarde van de kerntemperatuur terug te brengen was naar minder dan 0,3°C (Niedermann et al. 2014). Op deze wijze kan dus in kleding een fysiologisch meetsysteem worden geïntegreerd dat een schatting kan maken van de kerntemperatuur in het menselijk lichaam. Interessant is dat nu door onder andere de Belgische brandweer voor het eerst een brandweerpak wordt verworven, waarin zo'n slim meetsysteem in het programma van eisen is opgenomen ([www.smartatfire.eu](http://www.smartatfire.eu)).

### Huidgeleiding

Als een mens transpireert, zorgt het vocht in en op de huid voor een toename van de huidgeleiding. Deze kan eenvoudig worden gemeten door een stroompje van één locatie op de huid naar een andere plek te sturen en de weerstand te berekenen. Als je een wisselstroompje stuurt en je meet hoeveel stroom er aankomt, wordt van impedantie gesproken. Huidweerstand en -impedantie veranderen snel onder invloed van mentale spanning. Deze informatie wordt gebruikt in een leugendetector: de emotionele reactie op diverse stimuli kan worden bepaald. De sensoren zijn goed in kleding te verwerken mits er een standaard contact met de huid is. Als het contact met de huid niet constant is, treden bewegingsartefacten op die betrouwbare metingen in de weg staan.

Huidgeleiding kan worden gebruikt om emoties te detecteren en te communiceren met de buitenwereld. De huidgeleiding is zeer waarschijnlijk een van de componenten die input geven aan de Buble-jurk van Philips die in 2006 is geïntroduceerd en in 2007 eerste werd bij TIME 'top inventions of the year' (fig. 12).

**Figuur 12** De Philips Bubelle-jurk, waarvan het licht afhankelijk is van emotie (2006)



#### Vochtsensoren

Met vochtsensoren kan worden bepaald of de huid nat is. Een mens heeft geen sensoren voor vochtigheid in de huid, en interpreteert een bepaalde afkoelsnelheid van de huid als 'nattigheid' (European patent 08154613.7: 'Method and system for alerting the occurrence of wetness'). Het meten van vocht met in kleding geïntegreerde sensoren kan van belang zijn voor diverse toepassingen. Als de spouw tussen kleding en huid bij brandweerlieden verzadigd is van vocht, bestaat de kans op stoomvorming en huidverbranding. Sensoren die vochtigheid registreren zouden niet alleen hiervoor kunnen waarschuwen, maar ook bijvoorbeeld kunnen zorgen voor activatie van systemen die de spouwlaag tussen huid en kleding vergroten. Een andere toepassing betreft luiers voor kinderen en incontinentieluiers van ouderen. Omdat impermeabel materiaal in de luier is verwerkt en daardoor verdamping niet of nauwelijks optreedt, merkt de mens niet dat hij nat is. Met een sensor kan dat worden geregistreerd en kan een waarschuwing worden gegeven. Het mooiste is natuurlijk als de waarschuwing alleen voor de direct betrokkene op een prettige manier wordt aangeboden: een goede koelsensatie op de huid, te genereren met kleine Peltier-elementen, zorgt dan voor een elegante waarschuwing dat de luier van binnen nat is.



## Andere sensoren

Het merendeel van de *smart wearables* wordt gedragen op het hoofd (brillen, kop-telefoons e.d.) of de pols. Integratie in kleding (*smart garments* oftewel 'slimme kleding') is relatief beperkt van omvang, maar heeft veel potentie door het grote oppervlak van huid dat kan worden gebruikt. Zweet bijvoorbeeld bevat diverse chemische stoffen die gemeten kunnen worden en informatie over hormonen kunnen generen (Windmiller en Wang 2013). Huiddoorbloeding kan gemeten worden met laser Doppler flowmeting of met foto-plethysmografie. Met name het oor is een interessante plek om te meten, omdat de hartslagfrequentie, de zuurstofopname en het energieverbruik kunnen worden gegeneerd uit het doorbloedingssignaal (Leboeuf et al. 2014).

De pols is een locatie waar een 'horloge' informatie eenvoudig kan aanbieden. Als sensorlocatie is het interessant, omdat een slagader waarvan de hartslagfrequentie kan worden afgeleid dicht onder de huid loopt.

Het hoofd bevat de meeste natuurlijke sensoren (voor zien, horen en proeven) en dit maakt het mogelijk om informatie hier aan te bieden. Daarnaast kan hier hersenactiviteit worden gemeten. Hiervoor zijn diverse technieken beschikbaar. Het elektro-encefalogram (EEG) geeft de elektrische activiteit weer die wordt veroorzaakt door de zenuwen in de hersenen. Het meten van het EEG is bewerkelijk, maar geeft een schat aan informatie over activiteit. Het is bijvoorbeeld mogelijk om aandacht te meten. Recentelijk zijn de eerste stappen gemaakt om met EEG-bewerkingstechnieken na te gaan welke mode men mooi vindt (Lu en Chen 2013). Het artikel is nog zwak van opzet, maar de potentie is aanwezig. Omdat het zo bewerkelijk is om EEG-elektroden aan te brengen en de noodzakelijke geleidende pasta in je haren komt te zitten, zijn er alternatieven gezocht. Een van de meest veelbelovende is de ZEO, een hoofdband met sensoren waarvan de informatie bruikbaar lijkt om slaapstadia en -kwaliteit in kaart te brengen (Griessenberger et al. 2013). Echter, de firma is failliet, een manco waarmee meerdere starters in de markt van *smart wearables* kampen (<http://mobihealthnews.com/20772/exclusive-sleep-coach-company-zeo-is-shutting-down/>).

Naast de elektrische activiteit kan in een hoofdband ook andere informatie van de hersenen worden verzameld zoals oxygenatiegraad van het bloed met *near infrared spectroscopy* (NIRS). Dit is wat compacter dan het EEG, maar staat nog aan het begin van haar ontwikkeling en heeft nog maar een beperkt aantal gevalideerde toepassingen (Strait en Scheutz 2014). Bovendien laat NIRS zich niet gemakkelijk met kleding integreren.

### 3.1.2 Metingen in kleding

In kleding kunnen sensoren worden aangebracht die iets zeggen over de kleding zelf.

Het aanbrengen van RFID (*radio-frequency identification*) tags in kleding is daarvan een voorbeeld. Het wordt vooral voor logistieke doeleinden gebruikt. RFID gebruikt elektromagnetische velden om gegevens uit te wisselen om voorwerpen automatisch te identificeren en te volgen. RFID-tags in de vorm van knopen kunnen gebruikt worden om het reinigingsproces van kleding te volgen (<http://www.rfid-in-china.com/rfid-laundry-tags.html>). Er kan zo ingeschat worden na hoeveel wasbeurten het kledingstuk aan vervanging toe is. Inmiddels zijn er ook RFID-tags op de markt met ingebouwde temperatuursensoren, zodat ook nagegaan kan worden hoe heet iets is gewassen. Meestal kunnen deze tags met een smartphone worden uitgelezen (zie bijvoorbeeld [www.americanthermal.com](http://www.americanthermal.com)).

Daarnaast kan beweging in kleding worden vastgelegd, wat informatie geeft over de beweging van de mens. (3D) Bewegingsregistratie wordt vooral gedaan met camerasystemen waarbij de mens markers op het lichaam draagt die worden waargenomen, zoals Optotrack of Vicon. Beperkingen betreffen vooral het gebied waarin een mens zich vrij kan bewegen. Een goed alternatief, vooral voor flexie/extensie, is het gebruikmaken van sensoren in de kleding, zoals het XSENS-systeem (Zhang et al. 2013). Toepassingen zijn vooral te vinden in het detecteren van bewegingsafwijkingen of het volgen van het genezingsproces na operaties (Weenk et al. 2013). De Rossi beschrijft mogelijkheden om rek in textiele materialen te gebruiken om bewegingen van mensen uit af te leiden (De Rossi et al. 2003). Voor basketbal is een mouw ontwikkeld (fig. 13) die bewegingen in de pols en de elleboog registreert en terugkoppelt aan de gebruiker als deze niet optimaal zijn (<http://www.vibradotech.com/>). Bij basketbal wordt het als optimaal gezien als de pols in maximale flexie is en de elleboog in maximale extensie direct na een schot.

In slimme kleding is behoefte aan elektrisch vermogen om de componenten van voeding te voorzien. Het betreft hier vooral de actuatoren en in mindere mate de sensoren, die geen of minder voeding nodig hebben. Kleding kan een rol spelen in het genereren van dit vermogen. Voor het omzetten van bewegingen naar elektrisch vermogen is het potentieel erg gering, in de ordegrootte van enkele microwatt (Mitcheson et al. 2008). Dit is recent nog eens bevestigd met een piëzo-opnemer op het lichaam die een maximum van 50 microwatt kon leveren (Pillatsch et al. 2014). Als de mens met de voet de ondergrond raakt tijdens lopen, is er meer energiestroom. Door in een schoenzool een piëzo-elektrische omzetter te bouwen, kon een energie van 833 microjoule worden geleverd, genoeg om een RFID-tag te voeden die 450 microjoule aan energie nodig had (Orecchini et al. 2011).

**Figuur 13** De basketbalmouw van Vibradotech die informatie geeft over ideale pols- en ellebooghoek tijdens een schotpoging



Andere methoden om energie te 'oogsten' zijn het gebruik van zonnecellen in kleding (Schubert en Werner 2006) of in hoeden (Lin 2011). Bij een stralingsintensiteit van 500 watt, een zonneceloppervlak van  $0,5 \text{ m}^2$  en een efficiëntie van 10% kan 25 watt vermogen worden gegenereerd.

### *3.1.3 Metingen van de buitenwereld*

In Nederland zijn diverse 'snuffelpalen' die de hoogte van de concentratie fijnstof en het aantal allergenen in de lucht, het lokale klimaat en dergelijke aangeven. Doel van deze sensoren is om een beeld te geven van de belasting van de mens. Het ideaalplaatje is dan ook dat kleding aan de buitenzijde is uitgerust met deze sensoren, want dan kan pas echt een goed beeld worden verkregen van de belasting van de individuele mens. Natuurlijk maken kosten van de sensoren dit lastig, maar er zijn al wat stappen in deze richting gezet.

In het Prospie-project was één sensor op de rug van de werknemer geplaatst die CO of CO<sub>2</sub> kon registreren (fig. 14). Hiermee kan, als de concentratie van CO of CO<sub>2</sub> te hoog is, een waarschuwing worden afgegeven zodat de werknemer maatregelen kan treffen.

**Figuur 14** Werknemer bij Tata-steel uitgerust met het Prospie-systeem (www.prospie.eu) dat CO/CO<sub>2</sub> meet op de rug van het pak



### 3.2 Actuatoren

Naast de metingen in kleding, dient informatie aan de mens te worden overgedragen. Traditioneel is dit visuele en auditieve informatie waarvoor de natuurlijke sensoren op het hoofd zijn gelokaliseerd. In relatie tot kleding is het interessant om na te gaan welke informatie via de huid kan worden overgedragen.

De huid is sterk in het registreren van druk en temperatuur. We zijn vooral goed in dynamische aspecten: constante druk en constante temperatuur worden niet goed aan de hersenen doorgegeven; veranderingen in druk en temperatuur wel. Daarom wordt bij tactiele interfaces vooral gebruikgemaakt van trillende informatie (drukwisselingen) en bij thermische interfaces van temperatuurschommelingen (Akiyama et al. 2012). Ook pijn kan door de huid worden gesignaleerd, bijvoorbeeld door een temperatuur aan te bieden van meer dan 43°C. Echter, dit is in de meeste gevallen niet zo wenselijk.

Voorbeelden van toepassingen van tactiele interfaces zijn er te over. Ze kunnen gebruikt worden om ruimtelijke desoriëntatie te verminderen (Van Erp et al. 2006), om mensen te helpen bij navigeren (Elliott et al. 2010), of zelfs om mensen met

gehoorstoornissen in een disco weer op de maat van de muziek te laten meeswingen (TNO magazine, september 2009). Meestal gaat het om trilelementen zoals uit een mobiele telefoon, die worden geactiveerd. Activatiepatronen kunnen worden gevarieerd en verschillende sensaties veroorzaken. Het Nederlandse bedrijf Elitac is een belangrijke speler op dit gebied ([www.elitac.nl](http://www.elitac.nl)).

Thermische interfaces zijn zeldzaam. Thermische stimulatie kan plaatsvinden met Peltier-elementen die ook flexibel te maken zijn (Goncalves et al. 2007). Thermische interfaces bieden veel potentieel voor informatieoverdracht (Akiyama et al. 2012) en zijn goed in kleding te verwerken, maar er zijn slechts een gering aantal studies hiernaar gedaan.

Naast overdragen van informatie naar de mens, kan kleding ook informatie naar de buitenwereld overdragen. Interessante voorbeelden hiervan zijn de *mood-dress* van Philips (fig. 12), maar ook het werk van CuteCircuit ([www.cutecircuit.com](http://www.cutecircuit.com)) is interessant (fig. 15).

**Figuur 15** De Galaxy dress van CuteCircuit, bestaande uit kleuren-led's op zijde (www.cutecircuit.com)



Ook kan kleding als display fungeren met teksten op de buitenzijde (Cochrane et al. 2011; Meunier et al. 2011). Voor defensietoepassingen is gewerkt met kleding-systemen waarin een camera en beeldschermje in kleding zijn geïntegreerd. De beelden van de camera worden dan op de andere zijde van de kleding geprojecteerd zodat de mens niet te onderscheiden is van zijn visuele omgeving (<http://www.youtube.com/watch?v=zLdNeatXCvE>).

### 3.3 *Verwarmende en koelende kleding*

#### 3.3.1 *Verwarmende kleding*

In het algemeen wordt in de koude afkoeling voorkomen door extra isolatie rondom het lichaam aan te brengen. Als de mens lange tijd inactief is in een koude omgeving (bijvoorbeeld tijdens slaap), kan extra verwarming in kleding helpen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen elektrische verwarming, chemische verwarming, *phase change materials* (PCM) en warmteluchtstroom (Wang et al. 2010).

Voor elektrische verwarming worden in het algemeen draden met weerstand in kleding verwerkt waarop spanning gezet wordt zodat er een stroom gaat lopen. Hierdoor wordt warmte gegenereerd. De warmte zal op de huid snel tot een gevoel van meer comfort leiden, maar er is heel wat vermogen nodig om de warmtebalans van een mens positief te beïnvloeden. Om zo veel mogelijk gegenereerde warmte aan de mens over te dragen, is het verstandig om de verwarmingselementen zo dicht mogelijk bij het lichaam te plaatsen en daarbuiten isolerend materiaal aan te brengen. Omdat er een flinke energiebron in de buurt moet zijn, wordt deze manier van verwarmen voornamelijk gebruikt in combinatie met voertuigen, zoals motoren. De firma Gerbing ([www.gerbing.com](http://www.gerbing.com)) bijvoorbeeld brengt dit soort systemen op de markt. Een ander voorbeeld is de firma Warmthru ([www.warmthru.com](http://www.warmthru.com)) (fig. 16).

De lichaamsdelen die het meest op deze manier worden verwarmd zijn de handen en voeten, vanwege het discomfort dat vaak bij deze lichaamsdelen in de kou wordt ervaren. Echter, de handen en voeten zijn het koudste deel van het lichaam en het betekent dat verwarmen hiervan het minst efficiënt is: door bloedvatvernauwing in de huid komt de warmte immers slecht bij de lichaamskern. Het meest efficiënt om warme vingers te krijgen is paradoxaal genoeg het verwarmen van de torso (Brajkovic et al. 1998). Haisman liet zien dat je bij een goede torsoverwarming geen additionele verwarming aan de extremiteiten meer nodig hebt in extreme koude (Haisman 1988).

**Figuur 16** Voorbeeld van verwarmde handschoenen met een 7.4 V batterij bij de pols ([www.warmthru.com](http://www.warmthru.com))



Elektrische verwarming van het lichaam heeft nadelen, zoals bewegingsbeperkingen en duurzaamheid (Haisman 1988). Voor sommige bezigheden, zoals duiken, speelt ook veiligheid een rol. Daarom wordt vaak gebruikgemaakt van alternatieve systemen zoals chemische verwarming. Het Noorse leger maakt gebruik van chemische verwarming: het Heatpac-systeem, een kacheltje waarin koolstof wordt verbrand en waarvan de warmte via buizen in de kleding wordt verdeeld ([www.normeca.no](http://www.normeca.no)) (fig. 17). Chemische verwarming wordt soms ook gebruikt in handschoenen en schoenen om vingers en tenen warm te houden. Uit een vergelijkende test tussen verschillende systemen kwamen kleine koolstofkacheltjes goed uit de bus, maar er moet wel gelet worden op voldoende zuurstoftoevoer (Daanen en Kistemaker 1999).

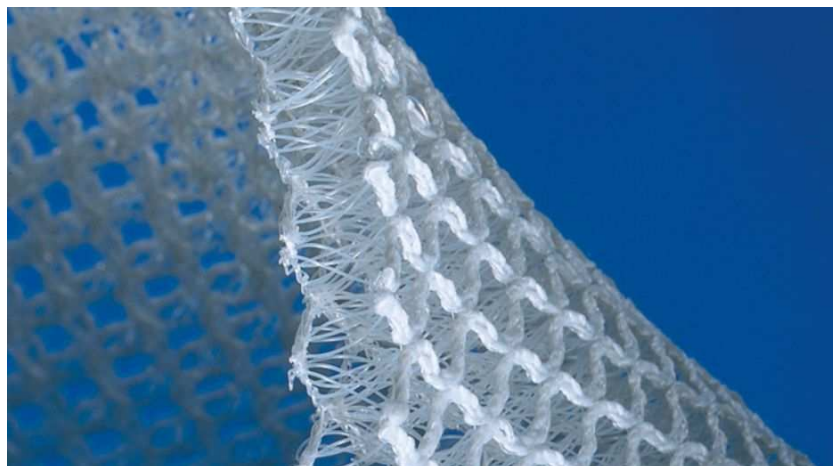
**Figuur 17** Het Heatpac-systeem in een slaapzak



*Phase change materials* (PCM) zijn meestal paraffine-achtige stoffen die bij faseverandering thermische effecten hebben (Cox 1998). Outlast is een van de bekendste merken van PCM en kan worden aangetroffen in bijvoorbeeld betere ski-jassen. Als de paraffine warm wordt smelt deze en neemt daarbij warmte op uit de omgeving; als de paraffine koud wordt, wordt deze warmte weer afgegeven. Er is veel Outlast nodig om enig effect te merken en het nadeel is dan ook dat je kilo's mee moet nemen om effectief te zijn (Den Hartog en Heus 2000). Eigenlijk is PCM een thermische buffer en niet zozeer een manier om te verwarmen: het werkt namelijk maar één keer en is dan uitgewerkt. PCM's komen het best tot hun recht in sterk wisselende klimaten zoals bij het in- en uitrijden van koelcellen. Naast paraffine zie je dat zouten ook steeds meer gebruikt worden als PCM (Mondal 2008).

Voor het blazen van warme lucht is een verwarmingssysteem nodig dat elektrisch of chemisch kan zijn. Het voordeel van ventilatie is dat de warme lucht beter in de kleding wordt verspreid wat perfect kan plaatsvinden door de spouwlaag tussen kleding en huid. Om de spouwlaag egaal van dikte te maken, kan gebruik worden gemaakt van *spacer*-materialen. Een goed voorbeeld hiervan is het materiaal van de Duitse firma Müller ([www.muelertextil.de](http://www.muelertextil.de)) (fig. 18).

**Figuur 18** *Spacer*-materiaal van de firma Müller ([www.muellertextil.de](http://www.muellertextil.de))



Kledingsisolatie is de beste manier om mensen warm te houden in de kou, en kan dus worden ondersteund door onder het isolatiemateriaal elektrisch of chemisch geproduceerde warmte te ventileren.



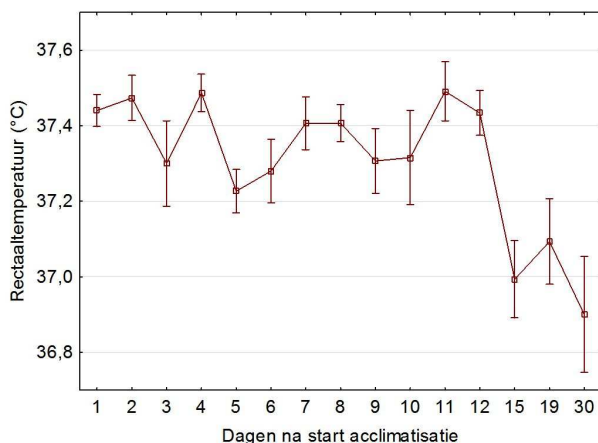
### 3.3.2 Koelende kleding

In de hitte wil je eigenlijk zo min mogelijk kleding dragen, maar soms is het nodig om je te beschermen tegen zon of chemische substanties. In dat geval wordt de mens ingekapseld en zijn er problemen om voldoende koeling te krijgen (McLellan et al. 2013). Om goed te kunnen functioneren in de hitte, kan de mens het best drie dingen proberen voor elkaar te krijgen: (1) een zo laag mogelijke kerntemperatuur bij aanvang van de inspanning, (2) een zo gering mogelijke stijging van de kerntemperatuur en (3) een tolerantie van een zo hoog mogelijke kerntemperatuur.

Met een koude kern beginnen

De kerntemperatuur bij de start van inspanning is lager als mensen goed zijn geacclimatisiseerd aan hitte. In figuur 19 wordt dit geïllustreerd (Daanen et al. 2011). In een onderzoek moesten mensen op tien achtereenvolgende dagen zware arbeid in de hitte (35°C) verrichten. Dag 11 en 12 werd de thermische belasting nog zwaarder gemaakt (41°C). Toen de mensen op dag 15, 19 en 30 terugkwamen, had het lichaam zich goed aangepast: de kerntemperatuur in rust voorafgaand aan de inspanning lag 0,4°C lager. Normaal zie je deze aanpassingen al tijdens de periode van blootstelling aan hitte, maar door het zware programma is het waarschijnlijk dat de aanpassingen pas daarna tot stand kwamen.

**Figuur 19** Ontwikkeling van de rectaaltemperatuur tijdens (dag 1-12) en na acclimatisatie (dag 15-30) aan hitte (Daanen et al. 2011)



Eigenlijk kan deze vorm van daling van kerntemperatuur worden gezien als een manier van voorkoeling. Voorkoeling kan ook goed met koude dranken of kleding worden bewerkstelligd.

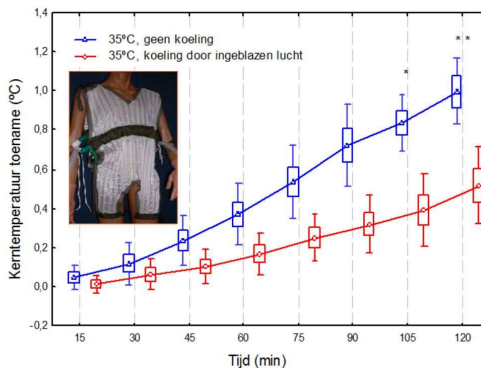
Om goed te presteren werd vroeger een warming-up gedaan, tegenwoordig is het onomstreden dat het voor duurprestaties beter is om te koelen (Ross et al. 2013). Als beste koelmiddel om in te nemen, wordt geschaafd ijs aangeraden (Siegel et al. 2010). Vaak is de combinatie met koelende kleding het meest succesvol (Levels et al. 2013).

### Reduceren van de stijging van de kerntemperatuur

Het verminderen van de stijging van de kerntemperatuur tijdens inspanning in de hitte gebeurt meestal automatisch omdat het inspanningsniveau wordt verlaagd. Dit wordt ook wel *pacing*-strategie genoemd. Om op een zo hoog mogelijk niveau te functioneren, dient de kerntemperatuur niet te hoog te zijn: voor elke graad die de kerntemperatuur stijgt, worden we 1% minder efficiënt (Daanen et al. 2006).

Koelende kleding kan een rol spelen in het verminderen van de thermische belasting. Een mooi voorbeeld is het gebruik van ventilatievesten tijdens vliegtaken in de hitte (Reffeltrath 2006) in figuur 20. Hier is goed te zien dat de lichaamstemperatuur minder snel oploopt als omgevingslucht in de spouw tussen huid en kleding wordt geblazen.

**Figuur 20** Kerntemperatuurstijging (°C) tijdens een vliegtak in de hitte (35°C) met (rood) en zonder (blauw) koeling door ingeblazen buitenlucht. Het gebruikte vest staat linksboven weergegeven: het zijn buisjes met halfopen structuur waardoor de lucht werfelt. Een asterisk geeft aan dat een vlieger niet langer zijn taak kon uitvoeren.



**Figuur 21** Voorbeeld van een systeem waarbij water door onderkleding wordt geleid. Met een warmtebeeldcamera kan mooi de koeling worden gevisualiseerd en gekwantificeerd (rechts). Onder in het rechterbeeld staat de kleurenas die correspondeert met de temperatuur (van 17,4 tot 33,4°C).



### Kerntemperatuurtolerantie

De kerntemperatuur waarbij de mens niet langer kan functioneren hangt af van de mate van omhulling van het lichaam, uitdroging en trainingstoestand (McLellan et al. 2013). Goed getrainde mensen geven pas bij een hogere kerntemperatuur op (McLellan et al. 2013; Montain et al. 1994). Het is opvallend dat naarmate mensen meer omhuld zijn, ze bij een lagere kerntemperatuur stoppen met inspanning. Als mensen volledig ingekapseld zijn, stoppen ze bij een kerntemperatuur die 0,3°C lager is dan zonder inkapseling (Montain et al. 1994). Waarschijnlijk spelen psychologische aspecten hierin een rol.

### Soorten koelende kleding

Zoals aangegeven kan koelende kleding een rol spelen in het vóórkoelen van mensen en in het koelen tijdens inspanning. Steeds vaker worden atleten ook na inspanning gekoeld, al dan niet met speciale kleding, maar de effecten daarvan zijn minder eenduidig dan die van koeling voor of tijdens inspanning. Als je mensen na afloop van inspanning wilt koelen, werkt kleding vaak minder goed dan een ventilator op het lichaam zetten: door de verdamping van vocht koel je snel af (Barwood et al. 2009).

Koelende kleding kan worden verdeeld in kleding met vloeistofkoeling, luchtkoeling en PCM-koeling. Een voorbeeld van kleding met vloeistofkoeling is ondergoed waardoor koud water loopt (fig. 21).

Vloeistofkoeling wordt bijvoorbeeld gebruikt in pakken van de Explosieven Opruimingsdienst Defensie (EOD) (fig. 22).

**Figuur 22** Het MedEng EOD 8 beschermende systeem waaronder waterkoeling zit. Op het linkerbeen zitten het koelwater, de warmtewisselaar en de pomp.



Vloeistofkoeling heeft als nadeel dat er een pomp en warmtewisselaar meegenomen moeten worden en dus de mobiliteit sterk wordt beperkt. Er zijn weliswaar systemen die in een rugzak megedragen kunnen worden, maar gewicht blijft een probleem. Er kan wel veel warmte aan het lichaam worden onttrokken, omdat water een goede geleider is van warmte en omdat water een grote warmtecapaciteit heeft. De hoeveelheid warmteonttrekking hangt onder andere af van het koelmedium (glycol koelt meer dan water bijvoorbeeld), de temperatuur van het koelmedium en de doorstroomsnelheid. Waarden tot 600 W aan koeling zijn voor mensen mogelijk (Nunneley 1970). Dit is voldoende koeling voor lichte tot matige

inspanning. Als een mens op een fiets 150 W vermogen levert bij 20% efficiëntie, wordt 600 W aan hitte geproduceerd. Dat is ongeveer de maximale hoeveelheid warmte die kan worden weggekoeld met vloeistofgekoelde kleding. Water heeft meestal de voorkeur als koelmedium, omdat bij lekkage minder problemen optreden dan wanneer glycol wordt gebruikt.

Een andere vorm van vloeistofkoeling die vrij populair is (bijvoorbeeld bij het Nederlands voetbalteam in Brazilië tijdens de WK voetbal), betreft vesten die je in water dompelt en dan aantrekt (zie bijvoorbeeld <http://www.techniche-europe.-com/catalogus/hyperkewl-vest-ultra-sport.html> – fig. 23). Probleem met dit soort vesten is dat het eigen zweet vaak lastiger van de huid kan verdampen en dat door de verdamping het vest wel koud wordt, maar dat dit niet noodzakelijk ook geldt voor het lichaam daaronder. Het moet strak op het lichaam zitten voor een goede effectiviteit. Voor mensen die minder (hypohydrrose) of helemaal niet kunnen zweten (anhydrose) kan zo'n vest wel bijdragen aan koeling.

**Figuur 23** Het HyperKewl Ultra Sport Cooling vest, gebaseerd op koeling door verdamping van water uit het vest



Luchtkoeling kan lichter worden uitgevoerd dan waterkoeling. De meest eenvoudige vorm is door ongekoelde omgevingslucht in de kledingspouw te blazen en op deze wijze de verdamping van zweet te verbeteren. Door deze wijze van koeling toe te passen onder het dompelpak van vliegers, steeg hun zweetefficiëntie (de verhouding tussen verdampt en geproduceerd zweet) van 57% naar 90% ofwel

50 watt extra koeling (Reffeltrath 2006) (fig. 20). Een andere manier om te koelen is door de lucht te drogen en dan in te blazen; op die manier kan het zweet gemakkelijker verdampen. Erg krachtig werkt het natuurlijk door de lucht te koelen en te drogen met een airconditioningsysteem en dan in de kleding te blazen. Nadeel van deze laatste methode is dat je daarvoor weer veel apparatuur (en daarmee gewicht) nodig hebt.

Het bekendste PCM (*phase change material*) voor koelend gebruik in kleding is ijs. Vesten met zakken om ijs in te doen zijn gemakkelijk te maken en geven aanzienlijke koeling. Ijsvesten zijn populair en effectief als *precool*-middel voor sport (Arngrímsson et al. 2004). In de Duitse mijnen kregen mijnwerkers toestemming om langer door te werken (en dus meer te verdienen) als ze deze vesten droegen. Nadeel van PCM's is dat na de faseverandering en het ophouden van het koelvermogen het extra gewicht moet worden meegedragen. Voor andere PCM's als paraffine en zouten gelden dezelfde nadelen als bij verwarmende kleding (paragraaf 3.3.1).

Een nadeel van koelen kan zijn dat door bloedvatvernauwing in de huid of door reactieve thermogenese de effectiviteit daalt (Bogerd et al. 2010). Bloedvatvernauwing in de huid zorgt voor meer isolatie waardoor het lastiger wordt om warmte aan de huid te onttrekken. Een manier om dit te omzeilen is door niet continu, maar intermitterend te koelen. Op deze manier spaar je energie, zonder veel in te leveren op koelvermogen. Dit geldt zowel voor vloeistofkoeling (Cadarette et al. 2006) als voor luchtkoeling (Davey et al. 2013).

## 4 Pasvorm van kleding

Voor slimme kleding, vooral als deze fysiologische metingen aan het lichaam gaat verrichten, geldt dat deze strak om het lichaam dient te zitten. Er is dan ook steeds meer belangstelling voor pasvorm van kleding. Dit geldt ook voor de wetenschappelijke literatuur met sinds 2004 een gemiddelde van ongeveer vijftig publicaties per jaar.

### 4.1 Belang en bepaling van pasvorm

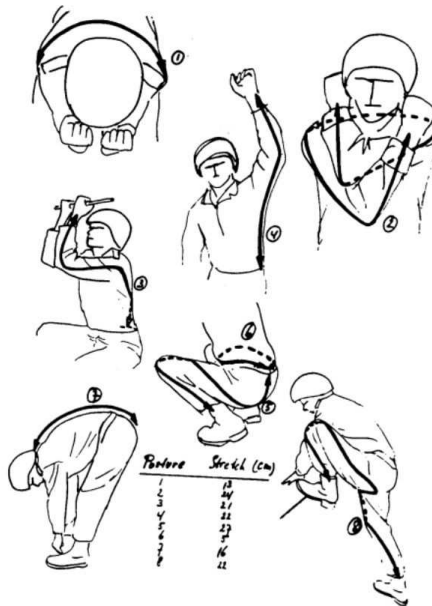
Je zou een goede pasvorm kunnen definiëren als een goede relatie tussen kledingafmetingen en lichaamsafmetingen. Het lokale verschil tussen kleding- en lichaamsafmetingen wordt wel de toeslag genoemd. Is de toeslag groter dan optimaal, dan kun je spreken van ruimvallende kleding, is deze te klein dan is de

kleding te strak. De toeslag hangt af van het type kleding (hierin spelen historische ontwikkelingen, identiteit, gewenste bescherming enz. een rol), de mode (soms is ruimvallend in de mode, dan weer strak), de individuele voorkeur, de locatie op het lichaam (rondom de borst is de toeslag van damesbloezen bijvoorbeeld geringer dan rond de taille), vorm van het lichaam (heel magere en dikke mensen willen graag wat meer toeslag om hun lichaamsvorm te verhullen) enz.

#### 4.1.1 Bewegingsvrijheid in kleding

Is de kleding te ruimvallend dan treden problemen op als blijven haken aan objecten in de omgeving. Is de kleding te strak, dan treedt er bewegingsbeperking op. Bij het maken van kleding is het daarom belangrijk dat de volledige bewegingsrange van de lichaamsdelen die worden omsloten door de kleding wordt betrokken bij het ontwerp. De onderzoeker Wouter Lotens geeft enkele voorbeelden van extreme lichaamshoudingen die hiertoe kunnen worden gebruikt (fig. 24) (Lotens 2007).

**Figuur 24** Houdingen en hun bijbehorende gemeten veranderingen ten opzichte van de normale staande houding (stretch in cm)



### 4.1.2 Grootte van de kledingtoeslag

Het totale volume van lucht tussen kleding en huid geeft een indicatie van de gemiddelde toeslag van de kleding. Het volume kan worden bepaald door een 3D-scan van mensen zonder kleding af te trekken van een scan van mensen mét kleding (Havenith et al. 2010). Gemiddeld zit er onder een T-shirt ongeveer 12 liter en onder een overall 33 liter lucht (fig. 25).

De lokale toeslag van de kleding ter hoogte van de borst kan worden gezien in het rechter venster van figuur 25. De plooien in de kleding zijn zichtbaar en goed zichtbaar is dat op de rug meer ruimte is dan op de borst.

**Figuur 25** Bodyscans met ondergoed (links), T-shirt (midden) en overall (rechts). Het rechter venster geeft een doorsnede weer op borstniveau. Hier kunnen de plooien in de kleding worden gezien.



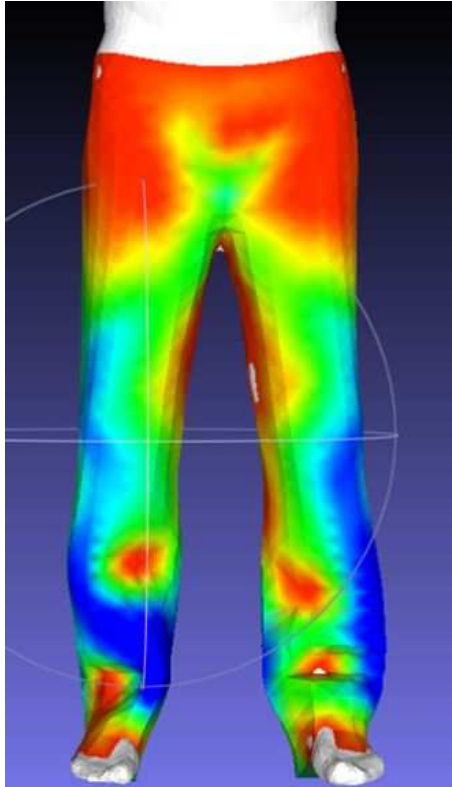
Een ander voorbeeld van het visualiseren van kledingtoeslag staat in figuur 26 (Daanen et al. 2014). Hierin is de loodrechte afstand (t.o.v. de kleding) berekend tussen huid en kleding en met kleurcodering weergegeven. Op deze wijze kan snel een indruk worden gekregen van de pasvorm van bijvoorbeeld een broek.

### 4.1.3 Compressiekleding

Steeds vaker wordt in de sport gebruikgemaakt van compressiekleding – kleding die te strak zit. Van compressiekousen is bekend dat bij mensen met oedeem de veneuze *pooling* (ophoping in de aderen) van bloed wordt tegengegaan en daardoor minder klachten optreden. Dit effect is niet zomaar te vertalen naar betere



Figuur 26 Toeslag (verschil tussen kleding en lichaam) voor een broek. Waarden liggen tussen de 0 cm (rood) en 5 cm (blauw) afstand (gemaakt in Meshlab).



sportprestaties. Er zijn wel indicaties dat bij het gebruik van compressiekousen minder spierpijn optreedt (Ali et al. 2007), maar de mechanismen daarvan zijn niet duidelijk. Tegenwoordig zie je dat grotere delen dan alleen de benen met compressiekleding worden bedekt (fig. 27). Hoewel er diverse claims zijn dat dit leidt tot betere sportprestaties, ontbreekt het wetenschappelijk bewijs hiervoor (Barwood et al. 2013). Een recent overzicht van de literatuur laat zien dat compressiekleding de warmteafgifte bemoeilijkt en daarmee de huidtemperatuur doet toenemen, hetgeen mogelijke positieve compressie-effecten van de bloedvaten in de huid tenietdoet (Warmerdam 2014).

Figuur 27 Voorbeeld van een compressieshirt (www.sportcompressiekleding.nl)



#### 4.1.4 Houdingsondersteuning door kleding

Meestal wordt het kledingontwerp gemaakt voor een staande houding. Er zijn echter sporten zoals wielrennen en schaatsen waarbij altijd een gebogen houding wordt aangenomen. Dan kan dus het ontwerp ook beter voor die houding worden gemaakt. Een relatief nieuwe ontwikkeling is dat in de kleding banden worden verwerkt die de houding ondersteunen zodat de spieren minder hoeven aan te spannen voor houdinghandhaving. Dit wordt ook wel spierondersteunende kleding genoemd. Met name deze ontwikkeling zit nog in de onderzoeksfase, er zijn nog weinig concrete producten te krijgen. Een voorbeeld van een schaatspak met gecoat rubber is te vinden op [www.janvanderhoorn.nl](http://www.janvanderhoorn.nl). Een extreme vorm van spierondersteunende kleding is het exoskelet (fig. 28). Dit wordt gebruikt voor revalidatie van patiënten met verlammingen, maar ook bij defensie wordt geld en energie in de ontwikkeling ervan gestoken om militairen te ontlasten als ze zware gewichten moeten meedragen. Een belangrijke uitdaging is om het exoskelet zo goed mogelijk de contouren van het lichaam te laten volgen.

**Figuur 28** Een exoskelet voor toepassingen bij revalidatie (links en midden) en voor defensie (rechts). Bronnen: [www.eksobionics.com](http://www.eksobionics.com) en <http://bleex.me.berkeley.edu/research/exoskeleton/bleex>



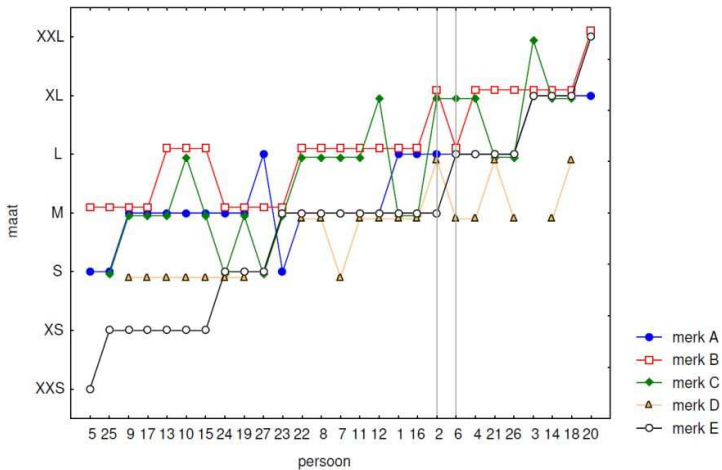
## 4.2 Relatie mensmaten / kledingmaten

Maatvoering van kleding start bij de afmetingen van mensen. Alleen op basis van informatie over lichaamsmaten en lichaamsvorm van een klant is het mogelijk om met succes passende kleding te maken.

### 4.2.1 Geen standaard in kledingmaten

Er kan onderscheid gemaakt worden tussen maatgemaakte kleding voor een individu en confectiematen voor een groep mensen. Bij maatgemaakte kleding speelt passen een grote rol: door achtereenvolgende pas-sessies kan het kledingstuk steeds beter op het lichaam worden afgestemd. Bij het zoeken van passende confectiekleding is passen meestal ook nodig; er bestaat helaas vaak geen vaste relatie tussen lichaamsmaten en kledingmaten. Figuur 29 is hier een mooi voorbeeld van. In dit onderzoek moesten 27 mensen de juiste maat brandweerjas kiezen van vijf verschillende aanbieders (Krul 2004). Duidelijk is dat er grote verschillen waren tussen de merken: de proefpersonen hadden bijvoorbeeld over het algemeen een veel kleinere maat nodig bij merk E dan bij merk B. Ook waren er grote interindividuele verschillen: zo koos bijvoorbeeld persoon 2 bij merk D voor maat L en bij merk E voor maat M, terwijl dit bij persoon 6 juist omgekeerd was. Standaardisatie is erg gewenst, maar lastig te realiseren door belangen van bedrijven in standaardisatie-organisaties.

**Figuur 29 Keuze van de best passende brandweerjaasmaat bij 27 proefpersonen**

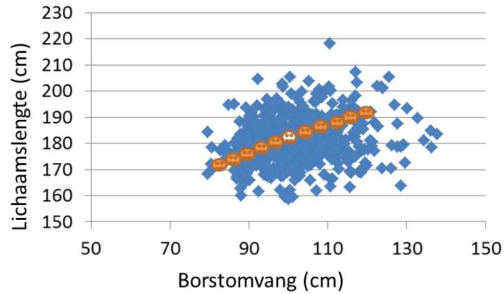


De lichaamsmaten die van belang zijn voor kledingontwerp staan in ISO 8559 (ISO 8559, 1989). Voor bovenkleding wordt traditioneel borstomvang als de belangrijkste variabele gezien, met als tweede indicator de lichaamslengte. Voor broeken wordt vaak bij mannen de taille- en bij vrouwen de heupomvang als bepalende waarde gezien, met als tweede indicator de tussenbeenlengte.

#### 4.2.2 Graderen

Bij het maken van een ontwerp voor een grote populatie (confectiekleding), wordt vaak een eerste ontwerp gemaakt op een *dress-form* of op een model. Idealiter wordt begonnen met een persoon die qua afmetingen in het midden van de populatie zit, waarna de maten worden geschaald naar kleinere en grotere maten. Figuur 30 geeft de borstomvang en lichaamslengte van 568 mannen weer. Het witte symbool midden in de populatie is de persoon die als uitgangspunt voor het ontwerp diende met een borstomvang van ongeveer 100 cm en een lichaamslengte van ongeveer 182 cm. Grotere en kleinere maten zijn vervolgens gemaakt op basis van de (zwakke) relatie tussen borstomvang en lichaamslengte. Dit heet graderen en is vaak standaard ingebouwd in software voor kledingontwerp zoals pakketten van Lectra, Gerber of Optitex.

**Figuur 30** Relatie tussen borstomvang (cm) en lichaamslengte (cm) van 568 mannen met daarin het uitgangspunt voor kledingontwerp (wit symbool) en de gegradeerde maten (oranje symbolen)



Het nadeel van deze methode wordt direct duidelijk uit figuur 30: lange dunne mensen en korte dikke mensen zullen moeite hebben om een passend kledingstuk te vinden. Figuur 31 geeft het verschil weer tussen de pasvorm van een standaard (links) en een maatgemaakte (rechts) overall voor een lange, smalle man (Hin et al. 2000). Het bleek dat de maatgemaakte overalls, hoewel ze meer werk kosten om te maken, voordeel opleverden doordat minder textiel werd gebruikt en ze door de leidinggevenden beter werden gewaardeerd. De werknemer zelf vond overigens een ruime pasvorm, vooral bij de zakken, voordelen bieden in draagcomfort.

**Figuur 31** Confectieoverall (links) en een maatgemaakte overall (rechts)

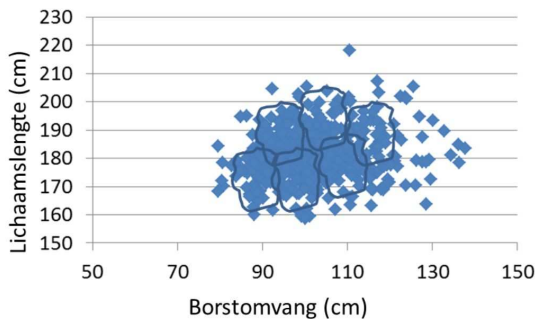


Om de genoemde problemen enigszins te overkomen, worden in de confectiekleding vaak lengtematen toegevoegd (dan worden de symbolen in figuur 30 omhoog geschoven) of buikmaten (dan schuiven de symbolen in figuur 30 naar rechts). Echter, deze kunstgrepen mogen niet verhullen dat de relatie tussen kledingmaten en lichaamsmaten op deze wijze statistisch zeer suboptimaal zijn.

#### 4.2.3 Fitmaps en virtueel passen

Hoe moet het dan wel? Het verdient aanbeveling om het ontwerp, gemaakt voor de persoon die zo mogelijk karakteristiek is voor de hele populatie, te laten passen door een groep mensen. De mensen die zeggen er in te passen, grens je daarna af. De afgrenzing wordt wel een *fitmap* genoemd. Vervolgens plaats je de *fitmap* zo goed mogelijk over de populatie en probeer je met zo min mogelijk maten een zo goed mogelijke dekking te krijgen van de gehele populatie. Figuur 32 geeft weer hoe *fitmaps* geplaatst kunnen worden, resulterend in zes kledingmaten. In figuur 33 staat een *fitmap* weergegeven voor een broek (Daanen et al. 2014).

**Figuur 32** Relatie tussen borstomvang (cm) en lichaamslengte (cm) van 568 mannen met daarin zes *fitmaps* (begrenzings van een groep mannen waarbij het kledingstuk past)

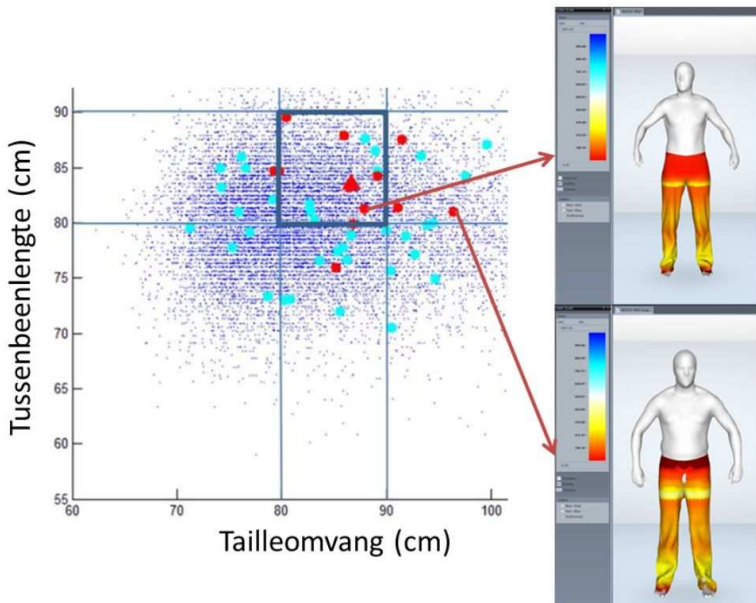


Een mogelijk nadeel van deze benadering is dat het lastig wordt om een goede maatnaamgeving voor het kledingstuk te bepalen. Voor het kledingstuk linksonder in figuur 32 kan het een optie zijn om de maat B90L170 te voeren, waarbij B voor borstomvang staat en L voor lichaamslengte. De NATO heeft een kledingstandaard vastgelegd in STANAG 2335 (STANAG 1976) die hier op lijkt.

Een ander nadeel is dat passen van kleding tijdrovend is. Hiervoor is nu een alternatief voor handen: virtueel passen. De 3D-scan van een persoon wordt in relatie gebracht met zijn kledingpatroon in een softwarepakket dat daartoe de

mogelijkheden biedt, zoals het Lectra Modaris systeem. Figuur 33 geeft duidelijk weer dat rondom het middel de broek te krap is (donkerrode kleur). Virtueel passen staat nog in de kinderschoenen, maar heeft potentie om goed inzicht te geven in de relatie tussen een mens en zijn kledingstuk.

**Figuur 33** Relatie tussen tailleomvang van 15.321 militairen en hun tussenbeenlengte. Elk klein blauw puntje geeft één militair weer. Hiervan hebben er 48 aan een pastest meegedaan. De rode punten geven de tailleomvang en tussenbeenlengte aan van militairen die kozen voor broekmaat 8090/8090 (gemaakt voor een tussenbeenlengte tussen 80 en 90 cm en een taille-omvang tussen 80 en 90 cm). De grote blauwe punten geven de afmetingen aan van militairen die kozen voor een andere maat. De rode driehoek geeft het midden aan van de *fitmap*. Aan de rechterzijde staat de virtuele passing weergegeven van twee personen: een waarin de broek te krap zit (onder) en een waarbij de broek past. Rood is krap en geel is ruim.

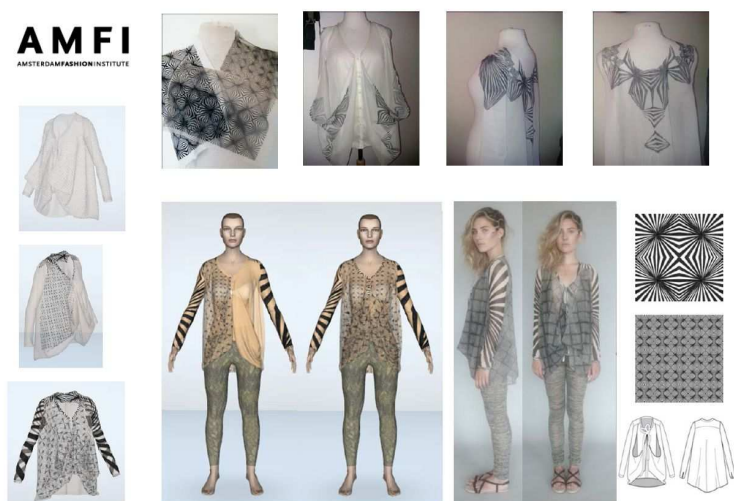


#### 4.2.4 Virtueel ontwerpen

Virtueel passen kan worden gezien als een onderdeel van het virtueel ontwerpen van kleding. Bij virtueel ontwerpen maakt de ontwerper gebruik van CAD-pakketten om het ontwerpproces te ondersteunen. De patronen worden digitaal ingegeven en gecombineerd met een mensmodel. Dit mensmodel kan een avatar zijn die door de softwarefabrikant wordt aangeboden, maar ook een 3D-scan van het lichaam of een mensmodel gebaseerd op een database van lichaamsscans.

Bij virtueel ontwerpen kan snel een indruk worden verkregen van het visueel effect van een ander patroon of andere kleur van het ontwerp. De achtergrond kan worden gewijzigd om het ontwerp in diverse omgevingen te kunnen beoordelen. Het gebruik van virtuele ontwerphulpmiddelen geeft in het onderwijsproces dan ook een goede ondersteuning van het creatieve proces door de snelle visualisatie van ideeën. Belangrijk hierbij is wel dat de student ook leert om het ontwerp in het echt te maken, anders ontstaat een niet-realistisch beeld. Een voorbeeld van werk van AMFI-studenten met het Lectra Modaris® systeem staat weergegeven in figuur 34. Hierin staat zowel het werkelijke als het virtuele ontwerp weergegeven.

**Figuur 34** Weergave van het werk van Nina Wormer (2011) in de Hypercraft minor van AMFI waarin zowel het virtuele ontwerp als het echte ontwerp zichtbaar is



2011 Minor Hypercraft 2<sup>nd</sup> prize Nina Wormer



Om een realistische valing van de stof te verkrijgen (*draping*) moeten enkele fysieke parameters van de stof worden ingegeven, zoals de rekbaarheid. Hiervoor zijn verschillende systemen beschikbaar. Bij AMFI wordt hiertoe het FAST-systeem gebruikt. Voor meer informatie over virtueel ontwerp en het bepalen van fysieke eigenschappen van materialen zijn diverse presentaties beschikbaar.<sup>4</sup> Sommige pakketten voor virtueel ontwerp, zoals DC Suite en Assyst, bieden de mogelijkheid om de avatar te laten bewegen zoals over een catwalk. Hiermee wordt een nog realistischer beeld van de kleding op het lichaam weergegeven. De software voor virtueel ontwerp wordt in snel tempo steeds geavanceerder.

### 4.3 3D-scanning

#### 4.3.1 Scanners

Lichaamsmaten dienen het uitgangspunt voor kledingontwerp te zijn. Het meten van mensen met traditionele middelen zoals centimeters en schuifmaten is erg bewerkelijk en daarmee kostbaar. Daarom zijn antropometrische bestanden schaars. Ongeveer twee decennia geleden kwamen de eerste 3D-lichaamsscanners op de markt waarmee een accurate kopie van het menselijk lichaam gemaakt kon worden (Daanen en Van de Water 1998). Het maken van een scan kost slechts enkele seconden en uit de scan kunnen lichaamsmaten worden berekend. De eerste generatie scanners was vooral gebaseerd op lasertechnologie. De nieuwste generatie scanners kent meer diversiteit en is veel goedkoper geworden (Daanen en Ter Haar 2013). Scanners voor kledingdoeleinden krijgen steeds meer de vorm van een pas-hokje (fig. 35).

Figuur 35 De SizeStream 3D-scanner ([www.sizestream.com](http://www.sizestream.com))

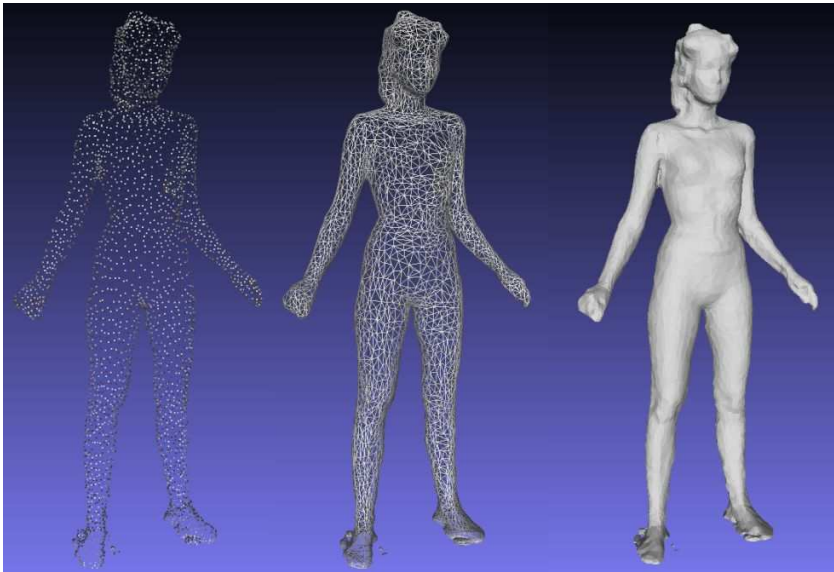


De techniek van 3D-scanning heeft een grote impuls gekregen door de ingebouwde PrimeSense sensoren in de XBOX spelcomputer. Deze sensoren zitten nu in veel 3D-scanners. Apple heeft eind 2013 de firma PrimeSense overgenomen en de verwachting is dat de technologie ook in nieuwe Apple-systemen wordt ingebed, zodat thuis 3D-scans kunnen worden gemaakt.

#### 4.3.2 Scans

Figuur 36 laat een scan zien die gemaakt is met de SizeStream scanner. Links de puntenwolk: de 3D-coördinaten die de scanner heeft gegenereerd. Topscanners kunnen met sub-millimeter precisie scannen. In het middelste plaatje staan de verbindingen tussen de punten weergegeven. Het omzetten van de puntenwolk naar een verzameling verbonden driehoekjes wordt trianguleren genoemd. In het rechter plaatje zijn de driehoekjes vastgemaakt en is schaduwwerking aangebracht door een lichtbron te veronderstellen. Op deze wijze wordt een goed beeld van het menselijk lichaam op basis van de scan verkregen.

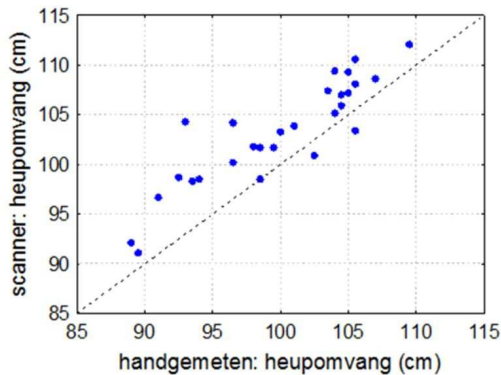
**Figuur 36** Weergave van een 3D-scan als puntenwolk (links), mesh (midden) en vast object (rechts). De plaatjes zijn gemaakt met het softwarepakket MeshLab.



## Lichaamsmaten uit 3D scans

De lichaamsmaten die worden berekend uit de scans zijn vaak anders dan handbepaalde metingen, vooral als het omtrekken betreft. Figuur 37 geeft voor 28 proefpersonen het verschil weer tussen scan-gegenereerde heupomvang (met de Vitronic Smart scanner) en handgemeten heupomvang (Daanen et al. 2014). Het is met de hand veel moeilijker om de maximumomvang te bepalen omdat je op het oog niet goed kunt zien op welke hoogte deze zit. Daarom is er risico op onderschatting zoals blijkt uit de figuur.

**Figuur 37** Relatie tussen handgemeten en scan-gegenereerde heupomvang



Het voordeel van een 3D-scanner is dat vorminformatie aanwezig is, waardoor het beperken van scananalyses tot eendimensionale waarden als omvang en lengte is te ontmoedigen. De uitdaging is om de vorminformatie te gebruiken. Uit een scan kan bijvoorbeeld het lichaamsoppervlak (Tikuisis et al. 2001) of het lichaamsvolume (Wells et al. 2000) worden berekend.

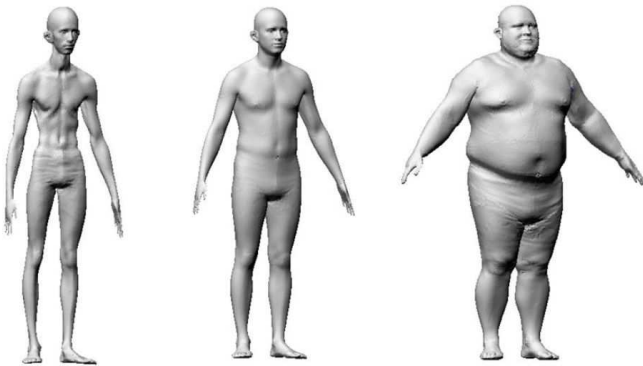
## Databases van 3D-scans

Doordat 3D-scans gemakkelijk gemaakt kunnen worden, vormt zich snel een groot databestand. Het Nederlandse ministerie van Defensie heeft bijvoorbeeld inmiddels al een bestand van 20.000 militairen. Dit bestand wordt onder andere gebruikt om militaire kleding te evalueren en beter vorm te geven.

Met dit soort grote bestanden wordt het een uitdaging om de scans zodanig te ordenen dat deze gemakkelijk toegankelijk worden voor verschillende toepassingen.

gen. Een grote vooruitgang hiertoe is bewerkstelligd door de University of Washington (Allen et al. 2003). Met een principale component analyse (PCA) kan uit 3D-scans met een onderliggend 'skelet' worden berekend welke componenten dominant zijn. Zo zijn lengte en gewicht de primaire variabelen waarop mensen variëren, maar ook houding kan een principale component zijn. Figuur 38 geeft een visualisatie van de principale component 'gewicht' uit de CAESAR database, een bestand met 3D-scans van de Nederlandse, Italiaanse en Noord-Amerikaanse bevolking (Azouz et al. 2006). Deze modellen kunnen goed gebruikt worden voor ontwerp van kleding en uitrusting. Ze kunnen worden ingelezen in pakketten als die van Lectra, Gerber en Optitex, zodat kleding op de modellen gepast kan worden.

**Figuur 38** Visualisatie van de component 'gewicht' van een mensmodel op basis van een grote database van 3D-scans. Het linker plaatje geeft het lage percentiel weer en het rechter plaatje het hoge percentiel. (bron: Dr. Shu, NRC, Canada)



#### Van 3D-scans naar kleding

Vorminformatie kan ook direct worden omgezet in kleding (Daanen en Hong 2008). Door de driehoeken (zie fig. 36) iets te vergroten en deze te maken van denim, is een rok gemaakt die precies om het lichaam past (fig. 39). Aangezien alle coördinaten van de driehoeken bekend zijn, leent een dergelijk proces zich goed voor automatisering. Momenteel vindt in het kader van een NWO Kiem-project verkenning plaats van nieuwe bindingstechnieken om de geproduceerde driehoeken te kunnen verbinden.

Figuur 39 Vooraanzicht van de basisscan (links), het van denim gemaakte kledingstuk tussen taille en heup (rechts) en een daarop geïnspireerde rok (midden)



Deze techniek heeft ontwerpster Marina Toeters geïnspireerd tot een ontwerp van een jas gebaseerd op driehoeken (fig. 40).

Figuur 40 Jas gebaseerd op de triangulatie van 3D-scans (Marina Toeters – [www.by-wire.net](http://www.by-wire.net))

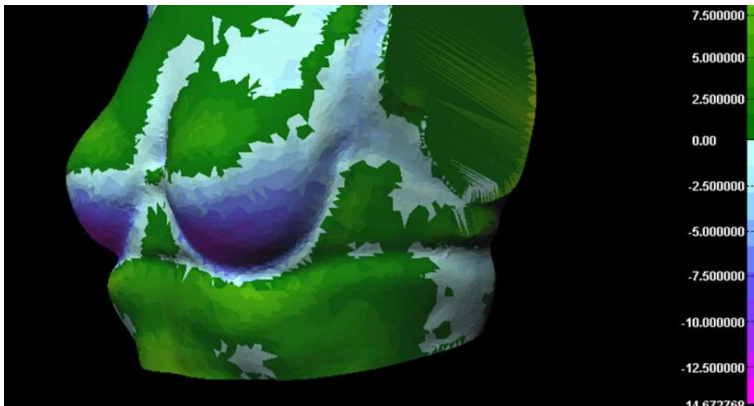


Een voorbeeld van toepassing van 3D-scanning: bh's

Het vinden van de juiste maat bustehouder (bh) vormt een bron van ergernis voor veel vrouwen. Ondanks het groot aantal beschikbare maten (bijvoorbeeld 66 maten op Wehkamp.nl), geven veel vrouwen aan dat ze geen passend exemplaar kunnen vinden. Probleem is dat de maatkeuze gebaseerd is op twee omvangsmaten (onderbusteomvang en bovenbusteomvang) die niet optimaal zijn gekozen. Zo is het voor de maatvoering beter (minder bh-maten en een betere dekking van de populatie) als niet over de borsten wordt gemeten (bovenbusteomvang), maar beide borsten apart (Pechter 2009).

Goed inzicht wordt verkregen door 3D-scans te maken van borsten en op deze wijze het volume te bepalen (Daanen 2007). Het volume en de vorm van de borst vormen een goede input voor de afmeting van de bh die de borst omhult. Ook kan op deze wijze het push-up-effect van bh's worden gevisualiseerd en onderzocht. Figuur 41 geeft een voorbeeld hoe het push-up-effect kan worden weergegeven.

**Figuur 41** Visualisatie van het push-up-effect van bh's. Een scan met en zonder bh zijn van elkaar afgetrokken. De donkerblauwe delen zijn gecomprimeerd.



## Het lectoraat Fashion Research & Technology

Op 1 september 2013 is het lectoraat Fashion Research & Technology ingesteld op de Hogeschool van Amsterdam. Dit lectoraat maakt deel uit van het Amsterdam Fashion Institute (AMFI) en van het kenniscentrum CREATE-IT.

Het lectoraat beoogt internationaal bij te dragen aan hoogwaardig wetenschappelijk onderzoek en dit toepasbaar te maken voor de industrie en onderwijs. Als centrale thema's zijn gekozen:

- kledingidentiteit,
- virtueel ontwerp, en
- slimme kleding.

Het lectoraat bestaat per 1 september 2014 uit 3,7 fte onderzoekscapaciteit. Om goed antwoord te geven op de vragen die leven in de maatschappij is het team multidisciplinair samengesteld met kennisachtergronden in historisch onderzoek, filosofie, bewegingswetenschappen, industrieel ontwerp en natuurlijk mode.

Het lectoraat kan gebruikmaken van een goede infrastructuur:

- een fysisch meetlaboratorium met bijvoorbeeld FAST-apparatuur om fysieke eigenschappen van textiel eenduidig te bepalen,
- een 3D-lichaamsscanner om op het lichaam te kunnen ontwerpen,
- klimaatkamers voor onderzoek naar warmtehuishouding in kleding bij TNO te Soesterberg,
- een goed uitgerust bewegingslaboratorium bij de VU in Amsterdam,
- een goed geoutilleerde bibliotheek bij AMFI in Amsterdam met een kundige bibliothecaris,
- het medialab van de Hogeschool voor visualisatie,
- diverse computers met Lectra Modaris® software voor virtueel ontwerp,
- computers met DC Suite voor visualisatie van kleding op een virtuele catwalk.

Het lectoraat werkt nauw samen met andere lectoraten binnen het domein Media, Creatie en Informatie van de Hogeschool, met name met de lectoraten Digital Life (lector Ben Kröse) op het gebied van slimme kleding, Digital Archiving & Compliance (lector Geert-Jan van Bussel) op het gebied van virtueel kledingontwerp, en Crossmedia (lector Harry van Vliet) op het gebied van innovatieve businessmodellen in de kledingbranche. Met het domein Bewegen, Sport en Voeding wordt nauw samengewerkt op het gebied van sportkleding (bijvoorbeeld met lectoren Huub Toussaint en Janine Stubbe).

Het lectoraat mag zich ook verheugen in een groot aantal externe partners waarmee wordt samengewerkt. Het betreft met name TNO, de Faculteit Bewegingswetenschappen van de Vrije Universiteit en de hogescholen ArtEZ en Saxion.

De voorgaande beschrijving laat zien dat er diverse kansen zijn voor het lectoraat. Zowel kwantiteit als kwaliteit van de wetenschappelijke publicaties op het gebied van mode en vooral het ontwerp van mode is niet hoog. Het lectoraat probeert bij

te dragen aan een goed wetenschappelijk klimaat op dit gebied door te publiceren en door organisatie van en participatie in congressen, workshops en seminars.

Voor slimme kleding is er nog een te groot hiaat tussen producenten van slimme technologie en de ontwerpers en eindgebruikers. Door samen te werken met ontwerpers en technologieproducenten hopen we een brug te slaan. De plotselinge interesse in *active wear* laat zien dat er kansen zijn op het gebied van slimme kleding. Het lectoraat wil verder focussen op bewegingsregistratie in kleding en koel-systemen in kleding.

Pasvorm is essentieel voor slimme kleding. Met de 3D-scanner kunnen we nu op een lichaam gaan ontwerpen. Met de aanwezige SizeStream scanner kan onderzoek worden gedaan om lacunes in kennis op te vullen. Zo beschikt de scanner over 4D-scanmogelijkheden: door zes keer per seconde een kopie te maken kunnen bewegingen worden geregistreerd en wellicht gewrichtsassen worden bepaald zodat een statische scan kan worden omgezet tot een dynamische pop die op een virtuele catwalk kleding kan tonen. AMFI heeft veel ervaring met het Lectra-systeem en weet hoe de virtuele ontwerpen zich verhouden tot echte ontwerpen. Kennis over de beperkingen van de software is essentieel om stappen te maken. Met het aanvullende Koreaanse pakket DC Suite wordt ervaring opgedaan over nieuwe manieren van visualisatie. We willen daarin nauw blijven samenwerken met de Koreanen.

We realiseren ons dat nieuwe kledingsystemen pas succesvol zijn als ze aansluiten bij de identiteit en wensen van de gebruiker. Kennis hierover is gewaarborgd door expertise binnen de kenniskring. Samen willen we verder onderzoek vormgeven dat het inzicht verbetert in hoe de culturele en historische wortels vertaald worden naar kledingkeuze.

Met brancheorganisatie MODINT en vanuit stages van studenten bij bedrijven willen we de nieuwe inzichten communiceren in de markt. Samen met de docenten van AMFI willen we zorgen dat de studenten in hun studieprogramma's kennismaken met de nieuwe ontwikkelingen.

## Dankwoord

Het lectoraat Fashion Research en Technology zou niet mogelijk zijn geweest zonder de inzet van de directrice van AMFI, Souraya Bouwmans-Sarraf, en de domeinvoorzitter van Media, Creatie en Informatie, Geleyn Meijer. Zij hebben de mogelijkheid gecreëerd om invulling te geven aan het lectoraat. Peter Beek, decaan van de Faculteit der Bewegingswetenschappen, dank ik omdat de samenwerking met de VU goed is geregeld.



Ook dank ik het College van Bestuur van de Hogeschool van Amsterdam voor hun interesse en betrokkenheid bij het lectoraat. Huib de Jong, Louise Gunning en Hans Amman hebben al in het eerste jaar van het lectoraat met AMFI kennisgemaakt.

Sabine Niederer wil ik graag bedanken voor de heldere wijze waarin ze me terugkoppeling geeft over mijn functioneren en waarop ze samenwerking met anderen weet te bevorderen. Marlies Voskuilen en Ellen Gaus dank ik voor de ondersteuning bij mijn werkzaamheden; met name voor hun pro-actieve rol.

Mijn collega-lectoren van het domein Media, Creatie en Informatie hebben me snel wegwijs gemaakt in hoe het werkt. De lopende activiteiten van Ben Kröse, Geert-Jan van Bussel en Harry van Vliet bezorgden me een vliegende start.

De collega's in de kenniskring van het lectoraat: Maaïke Feitsma, Constantin von Maltzahn, Rebecca Breuer, Suzanne van Rooij, Sandra Kuijpers, Ad Vink, Lisette Vonk en Laura Duncker, zijn mijn nauwste samenwerkingspartners en ik dank hen voor het vertrouwen dat ze in mij hebben gesteld. Ook Marco Mossinkoff, die per 1 september het lectoraat van Danny Jacobs in Utrecht over kon nemen, dank ik voor de prettige samenwerking.

Mijn kamergenote Yma van den Born-van der Meer heeft me goed ingewerkt op het AMFI, met name hoe de verhoudingen liggen en hoe met bedrijven het best kan worden omgegaan. Ik heb het genoeg gehad om al met diverse bedrijven samen te mogen werken. Met name wil ik daarbij noemen het KPU-bedrijf van defensie (Henk Reulink), Vlisco (Anne van Hoof) en Van de Velde (Dick Laan en Chantal Aarts).

Veel mensen uit het docentencorps van AMFI heb ik al leren kennen, maar helaas nog niet iedereen. Met Leslie Holden, René van de Velden, Martiene Heinen, Jacqui Haker, Ineke Siersema, Merete Gerhards-Reineke, Dirk Jan Wessels en Chris Koeleman bijvoorbeeld heb ik in het eerste jaar prettig in projecten mogen samenwerken. Verder zijn Paul Reinierse, Fraerk Broersma en Maarten Rotschäfer me erg behulpzaam geweest.

Mijn collega's van TNO en de Faculteit Bewegingswetenschappen van de VU stimuleren me in de samenwerking met de Hogeschool, waarvoor dank!

Ten slotte wil ik ook graag mijn gezin: Elly, Paul en Emma, bedanken voor de ondersteuning die ze me geven bij mijn werk en de verhalen van mij die ze aan willen horen. Mijn moeder dank ik voor de stimulans die ze altijd heeft gegeven om te gaan studeren en de informatie die ze voor me verzamelt.

## Noten

1. Nederlandse Mode? Een verkenning van mythevorming en betekenissen (KUN, 2014)
2. Dutch Identity in Fashion: co-evolution between brands and consumers (UvA, 2013)
3. Fashion Design and Presentation using 3D Digital Prototyping: Experiences, Opinions and Knowledge. Intern HvA-rapport, december 2013.
4. Bijvoorbeeld A. Kuijpers: 3D virtual prototyping for fashion design, pushing the boundaries of possibility. 14th IFFTI congress, Jaipur, India, 2012.

## Referenties

- Akiyama S, Sato K, Makino Y, Maeno T (2012) Presentation of thermal sensation through preliminary adjustment of adapting skin temperature. *Haptics Symp, HAPTICS – Proc*:355-358.
- Ali A, Caine MP, Snow BG (2007) Graduated compression stockings: Physiological and perceptual responses during and after exercise. *J Sports Sci* 25:413-419.
- Allen B, Curless B, Popovic Z (2003) The space of human body shapes: Reconstruction and parameterization from range scans. *ACM SIGGRAPH Pap, SIGGRAPH*:587-594.
- Arngrímsson SÁ, Pettitt DS, Stueck MG, Jorgensen DK, Cureton KJ (2004) Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat. *J Appl Physiol* 96:1867-1874.
- Azouz ZB, Rioux M, Shu C, Lepage R (2006) Characterizing human shape variation using 3D anthropometric data. *Visual Comput* 22:302-314.
- Barwood MJ, Corbett J, Feeney J et al. (2013) Compression Garments: No enhancement of high-intensity exercise in hot radiant conditions. *Int J Sport Physiol Perform* 8:527-535
- Barwood MJ, Davey S, House JR, Tipton MJ (2009) Post-exercise cooling techniques in hot, humid conditions. *Eur J Appl Physiol* 107:385-396.
- Bergmann Tiest WM, Kusters ND, Kappers AML, Daanen HAM (2012a) Haptic perception of wetness. *Acta Psychol* 141:159-163.
- Bergmann Tiest WM, Kusters ND, Kappers AML, Daanen HAM (2012b) Phase change materials and the perception of wetness. *Ergonomics* 55:508-512.
- Bifulco P, Cesarelli M, Fratini A, Ruffo M, Pasquariello G, Gargiulo G (2011) A wearable device for recording of biopotentials and body movements. *MeMeA – IEEE Int Symp Med Meas Appl, Proc*.
- Bogerd N, Perret C, Bogerd CP, Rossi RM, Daanen HAM (2010) The effect of pre-cooling intensity on cooling efficiency and exercise performance. *J Sports Sci* 28:771-779.
- Brajkovic D, Ducharme MB, Frim J (1998) Influence of localized auxiliary heating on hand comfort during cold exposure. *J Appl Physiol* 85:2054-2065.
- Braun MF, Bryan A (2006) Female waist-to-hip and male waist-to-shoulder ratios as determinants of romantic partner desirability. *J Soc Pers Relatsh* 23:805-819.
- Browning RC, Modica JR, Kram R, Goswami A (2007) The effects of adding mass to the legs on the energetics and biomechanics of walking. *Med Sci Sports Exerc* 39:515-525.
- Buchheit M (2014) Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Front Physiol* 5 FEB.
- Cadarette BS, Chevront SN, Kolka MA, Stephenson LA, Montain SJ, Sawka MN (2006) Intermittent microclimate cooling during exercise-heat stress in US army chemical protective clothing. *Ergonomics* 49:209-219.
- Cannon B, Nedergaard J (2004) Brown Adipose Tissue: Function and Physiological Significance. *Physiol Rev* 84:277-359.
- Chapagain AK, Hoekstra AY, Savenije HHG, Gautam R (2005) The water footprint of cotton consumption. *Value of Water Research Report Series No. 18*. Unesco IHE.
- Cheung SS, Daanen HA (2012) Dynamic Adaptation of the Peripheral Circulation to Cold Exposure. *Microcirculation* 19:65-77.

- Cochrane C, Meunier L, Kell FM, Koncar V (2011) Flexible displays for smart clothing: Part I-overview. *Indian J Fibre Text Res* 36:422-428.
- Cox R (1998) Synopsis of the new thermal regulating fiber Outlast. *Chem Fibers Int* 48:475-479.
- Daanen H, Hong S (2008) Made-to-measure pattern development based on 3D whole body scans. *Int J Cloth Sci Technol* 20:15-25.
- Daanen HA, Van Es EM, De Graaf JL (2006) Heat strain and gross efficiency during endurance exercise after lower, upper, or whole body precooling in the heat. *Int J Sports Med* 27:379-388.
- Daanen HAM, Woering AA, Ter Haar FB (2014) Wetenschappelijke ondersteuning maatvoering militaire kleding. Rapport TNO Soesterberg.
- Daanen HAM, Ter Haar FB (2013) 3D whole body scanners revisited. *Disp* 34:270-275.
- Daanen HAM, Koedam J, Cheung SS (2012a) Trainability of cold induced vasodilatation in fingers and toes. *Eur J Appl Physiol* 112:2595-2601.
- Daanen HAM, Lamberts RP, Kallen VL, Jin A, Van Meeteren NLU (2012b) A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes. *Int J Sport Physiol Perform* 7:251-260.
- Daanen HAM, Byvoet MB (2011) Blouse sizing using self-reported body dimensions. *Int J Cloth Sci Technol* 23:341-350.
- Daanen HAM, Jonkman AG, Layden JD, Linnane DM, Weller AS (2011) Optimising the acquisition and retention of heat acclimation. *Int J Sports Med* 32:822-828.
- Daanen HAM (2009) Manual performance deterioration in the cold estimated using the wind chill equivalent temperature. *Ind Health* 47:262-270.
- Daanen HAM (2007) Bra sizing and fit. In: Veitch et al., *World Engineering Anthropometry Resource*. ISBN: 0-9586854-9-5. Human Factors and Ergonomics Society of Australia Inc. Baulkham Hills, NSW 2153, Australia.
- Daanen HAM, Kistemaker LJ (1999) Effect van heat packs op handvaardigheid in de kou. Rapport TNO M38.
- Daanen HAM (1998) Massa-individualisering in de kledingindustrie. In: *Massa-individualisering: maatwerk in de praktijk*. TVA developments BV. Veldhoven. ISBN 90-802865-3-2:153-156.
- Daanen HAM, Van de Water GJ (1998) Whole body scanners. *Disp* 19:111-120.
- Daanen HAM, Mazure M, Holewijn M, Van der Velde EA (1990) Reproducibility of the mean power frequency of the surface electromyogram. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 61:274-277.
- Davey SL, Barwood MJ, Tipton MJ (2013) Thermal perceptions and skin temperatures during continuous and intermittent ventilation of the torso throughout and after exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol* 113:2723-2735.
- De Rossi D, Carpi F, Lorussi F et al. (2003) Electroactive fabrics and wearable biomonitoring devices. *Autex Research Journal* 3:180-185.
- Den Hartog EA, Heus R (2000) Effectiviteit van 'Phase Change Materials' in kleding. Rapport TNO A029.
- Diamond J (2013) Zwaarden, paarden en ziektekiemen – de ongelijkheid in de wereld verklaard. Spectrum BV, Houten.
- Dorman LE, Havenith G (2009) The effects of protective clothing on energy consumption during different activities. *Eur J Appl Physiol* 105:463-470.

- Elliott LR, Van Erp J, Redden ES, Duistermaat M (2010) Field-based validation of a tactile navigation device. *IEEE Trans Haptic* 3:78-87.
- Feitsma M (2014) Nederlandse mode? Een verkenning van mythevorming en betekenissen. Proefschrift, Radboud Universiteit Nijmegen.
- Finlayson C, Giles Pacheco F, Rodríguez-Vidal J et al. (2006) Late survival of Neanderthals at the southernmost extreme of Europe. *Nature* 443:850-853.
- Gagge AP, Stolwijk JAJ, Hardy JD (1967) Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. *Environ Res* 1:1-20.
- George PM, Kuskowski M, Schmidt C (1996) Trends in photoprotection in American fashion magazines, 1983-1993: Will fashion make you look old and ugly? *J Am Acad Dermatol* 34:424-428.
- Goncalves LM, Rocha JG, Couto C et al. (2007) Fabrication of flexible thermoelectric micro-coolers using planar thin-film technologies. *J Micromech Microengineering* 17:S168-S173.
- Griessenberger H, Heib DPJ, Kunz AB, Hoedlmoser K, Schabus M (2013) Assessment of a wireless headband for automatic sleep scoring. *Sleep Breathing* 17:747-752.
- Gustafsson A, Lindfors P (2009) Latitudinal patterns in human stature and sexual stature dimorphism. *Ann Hum Biol* 36:74-87.
- Guy A, Banim M (2000) Personal collections: Women's clothing use and identity. *J Gender Stud* 9:313-327.
- Haisman MF (1988) Physiological aspects of electrically heated garments. *Ergonomics* 31:1049-1063.
- Havenith G, Zhang P, Hatcher K, Daanen H (2010) Comparison of two tracer gas dilution methods for the determination of clothing ventilation and of vapour resistance. *Ergonomics* 53:548-558.
- Havenith G, Den Hartog E, Heus R (2004) Moisture accumulation in sleeping bags at  $-7^{\circ}\text{C}$  and  $-20^{\circ}\text{C}$  in relation to cover material and method of use. *Ergonomics* 47:1424-1431.
- Havenith G, Heus R (2004) A test battery related to ergonomics of protective clothing. *Appl Ergon* 35:3-20.
- Havenith G (2002) Interaction of clothing and thermoregulation. *Exogenous Dermatol* 1:221-230.
- Hettinga FJ, Monden PG, Van Meeteren NLU, Daanen HAM (2014) Cardiac Acceleration at the Onset of Exercise: A Potential Parameter for Monitoring Progress During Physical Training in Sports and Rehabilitation. *Sports Med* :1-12.
- Hin AJS, Wiegerinck VJJ, Vos B, Willems W, Hofhuis JH, Gakeer C (2003) Kleding op maat – Ketenomkering in de kledingindustrie. Rapport TNO-TM03-D020.
- Hin AJS, Adema MM, Daanen HAM (2000) Van confectie naar maatwerk: de overall opnieuw gesneden. Rapport TNO D14.
- Imamura R, Funatsu M, Kawachi H, Tokura H (2000) Effects of wearing long- and mini-skirts for a year on subcutaneous fat thickness and body circumference. In: Werner, J, Hexamer, M (Red) *Environmental Ergonomics IX*, Shaker Verlag, Aachen:315-318.
- ISO 8559 (1989) Garment construction and anthropometric surveys – Body dimensions. ISO, Geneva.
- Krul AJ (2004) Wat is de juiste maat? *Brand en Brandweer* 9:609-610.
- Launay J, Savourey G (2009) Cold adaptations. *Ind Health* 47:221-227.

- Leboeuf SF, Aumer ME, Kraus WE, Johnson JL, Duscha B (2014) Earbud-based sensor for the assessment of energy expenditure, HR, and VO<sub>2</sub>max. *Med Sci Sports Exerc* 46:1046-1052.
- Levels K, Teunissen LPJ, De Haan A, De Koning JJ, Van Os B, Daanen HAM (2013) Effect of WARM-UP and precooling on pacing during a 15-km cycling time trial in the heat. *Int J Sport Physiol Perform* 8:307-311.
- Lin MT (2011) A study for estimation power: Quantity of solar cell installed on top of circular hat. *Taiwan Text Res J* 21:52-61.
- Lotens WA (2011) Heat exchange through clothing. In: *Heat and Cold*, Vogt, Jean-Jacques (Ed), *Encyclopedia of Occupational Health and Safety*, Jeanne Mager Stellman (Editor-in-Chief). International Labor Organization, Geneva. 42.
- Lotens WA (2007) Optimal design principles for clothing systems. *NATO handbook on clothing*, Goldman, R.F., Kampmann, B. (Eds):17-1-17-16.
- Lu J, Chen D (2013) The analysis of emotional responses evoked by clothing styling. *J Theor Appl Inf Technol* 49:695-700.
- McLellan TM, Daanen HAM, Cheung SS (2013) Encapsulated environment. *Compr Physiol* 3:1363-1391.
- Meunier L, Kelly FM, Cochrane C, Koncar V (2011) Flexible displays for smart clothing: Part II – electrochromic displays. *Indian J Fibre Text Res* 36:429-435.
- Mitcheson PD, Yeatman EM, Rao GK, Holmes AS, Green TC (2008) Energy harvesting from human and machine motion for wireless electronic devices. *Proc IEEE* 96:1457-1486.
- Mondal S (2008) Phase change materials for smart textiles – An overview. *Appl Therm Eng* 28:1536-1550.
- Montain SJ, Sawka MN, Cadarette BS, Quigley MD, McKay JM (1994) Physiological tolerance to uncompensable heat stress: Effects of exercise intensity, protective clothing, and climate. *J Appl Physiol* 77:216-222.
- Nelms JD, Soper DJ (1962) Cold vasodilatation and cold acclimatization in the hands of British fish filleters. *J Appl Physiol* 17:444-448.
- NEN-EN-ISO 11079 (2008) Ergonomics of the thermal environment – Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects. ISO Geneva.
- Niedermann R, Wyss E, Annaheim S, Psikuta A, Davey S, Rossi RM (2014) Prediction of human core body temperature using non-invasive measurement methods. *Int J Biometeorol* 58:7-15.
- Nunneley SA (1970) Water cooled garments: A review. *Space Life Sciences* 2:335-360.
- Orecchini G, Tentzeris MM, Yang L, Roselli L (2011) Smart shoe: An autonomous inkjet-printed RFID system scavenging walking energy. *IEEE Antennas Propag Soc AP S Int Symp* :1417-1420.
- Pechter EA (2009) Method for determining bra size and predicting postaugmentation breast size. *Breast Augmentation: Principles and Pract* :77-83.
- Petit JR, Jouzel J, Raynaud D et al. (1999) Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399:429-436.
- Phadtare S, Alsina J, Inouye M (1999) Cold-shock response and cold-shock proteins. *Curr Opin Microbiol* 2:175-180.

- Pillatsch P, Yeatman EM, Holmes AS (2014) A piezoelectric frequency up-converting energy harvester with rotating proof mass for human body applications. *Sens Actuators A Phys* 206:178-185.
- Plagnol V, Wall JD (2006) Possible ancestral structure in human populations. *PLoS Genet* 2:0972-0979.
- Priest A (2005) Uniformity and differentiation in fashion. *Int J Cloth Sci Technol* 17:253-263.
- Psikuta A, Niedermann R, Rossi RM (2014) Effect of ambient temperature and attachment method on surface temperature measurements. *Int J Biometeorol* 58:877-885.
- Reffeltrath PA (2006) Heat stress reduction of helicopter crew wearing a ventilated vest. *Aviat Space Environ Med* 77:545-550.
- Robinette KM, Blackwell S, Daanen HAM et al. (2002) Civilian American and European Surface Anthropometry Resource (CAESAR). Final Report, Volume I: Summary, AFRL-HE-WP-TR-2002-0169, United States Air Force Research Laboratory, Human Effectiveness Directorate, Crew System Interface Division, 2255 H Street, Wright-Patterson AFB OH 45433-7022 and SAE International, 400 Commonwealth Dr., Warrendale, PA 15096.
- Ross M, Abbiss C, Laursen P, Martin D, Burke L (2013) Precooling methods and their effects on athletic performance: A systematic review and practical applications. *Sports Med* 43:207-225.
- Schubert MB, Werner JH (2006) Flexible solar cells for clothing. *Mater Today* 9:42-50.
- Siegel R, Maté J, Brearley MB, Watson G, Nosaka K, Laursen PB (2010) Ice slurry ingestion increases core temperature capacity and running time in the heat. *Med Sci Sports Exerc* 42:717-725.
- Siegle L (2011) *To die for: Is fashion wearing out the world?* Harper Collins ISBN 978-0-00-726409-4.
- Snoek JA, Van Berkel S, Van Meeteren NLU, Backx FJG, Daanen HAM (2014) Effect of Aerobic Training on Heart Rate Recovery in Patients with Established Heart Disease; a Systematic Review. *PLoS ONE* 8:e83907.
- STANAG (1976) Interchangeability of combat clothing sizes. STANAG 2335, edition 2.
- Strait M, Scheutz M (2014) NIRS-Based BCIs: Reliability and Challenges. *Commun Comput Info Sci* 434 PART I:463-468.
- Taylor NAS, Machado-Moreira CA, Van den Heuvel AMJ, Caldwell JN (2014) Hands and feet: physiological insulators, radiators and evaporators. *Eur J Appl Physiol*. in press.
- Teunissen LPJ, Wang L, Chou S, Huang C, Jou G, Daanen HAM (2014) Evaluation of two cooling systems under a firefighter coverall. *Appl Ergon*. in press.
- Teunissen LPJ, Klewer J, De Haan A, De Koning JJ, Daanen HAM (2011) Non-invasive continuous core temperature measurement by zero heat flux. *Physiol Meas* 32:559-570.
- Thayer JF, Yamamoto SS, Brosschot JF (2010) The relationship of autonomic imbalance, heart rate variability and cardiovascular disease risk factors. *Int J Cardiol* 141:122-131.
- Tikuisis P, Meunier P, Jubenville CE (2001) Human body surface area: Measurement and prediction using three dimensional body scans. *Eur J Appl Physiol* 85:264-271.
- Tikuisis P, Giesbrecht GG (1999) Prediction of shivering heat production from core and mean skin temperatures. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 79:221-229.
- Van der Lans AAJJ, Hoeks J, Brans B et al. (2013) Cold acclimation recruits human brown fat and increases nonshivering thermogenesis. *J Clin Invest* 123:3395-3403.
- Van Erp JBF, Groen EL, Bos JE, Van Veen HAH (2006) A tactile cockpit instrument supports the control of self-motion during spatial disorientation. *Hum Factors* 48:219-228.

- Van Marken Lichtenbelt WD, Vanhomerig JW, Smulders NM et al. (2009) Cold-activated brown adipose tissue in healthy men. *New Engl J Med* 360:1500-1508.
- Van Ooijen AMJ, Van Marken Lichtenbelt WD, Van Steenhoven AA, Westerterp KR (2005) Cold-induced heat production preceding shivering. *Br J Nutr* 93:387-391.
- Von Maltzahn C. (2013) Dutch Identity in Fashion: co-evolution between brands and consumers. Proefschrift Universiteit van Amsterdam.
- Wales N (2012) Modeling Neanderthal clothing using ethnographic analogues. *J Hum Evol* 63:781-795.
- Wang F, Annaheim S, Morrissey M, Rossi RM (2014) Real evaporative cooling efficiency of one-layer tight-fitting sportswear in a hot environment. *Scand J Med Sci Sports* 24: e129-e139.
- Wang F, del Ferraro S, Lin L et al. (2012) Localised boundary air layer and clothing evaporative resistances for individual body segments. *Ergonomics* 55:799-812.
- Wang F, Gao C, Kuklane K, Holmér I (2010) A review of technology of personal heating garments. *Int J Occup Saf Ergon* 16:387-404.
- Ward A (2014) Dress and national identity: Women's clothing and the Celtic revival. *Costume* 48:193-212.
- Warmerdam J (2014) Compressiekleding in een warme omgeving. *Sportgericht* 3:13-15.
- Weenk D, Van Beijnum B-F, Baten CT, Hermens HJ, Veltink PH (2013) Automatic identification of inertial sensor placement on human body segments during walking. *J NeuroEng Rehabil* 10.
- Wells JCK, Douros I, Fuller NJ, Elia M, Dekker L (2000) Assessment of body volume using three-dimensional photonic scanning. *Ann New York Acad Sci* 904:247-254.
- Windmiller JR, Wang J (2013) Wearable Electrochemical Sensors and Biosensors: A Review. *Electroanalysis* 25:29-46.
- Zhang J, Novak AC, Brouwer B, Li Q (2013) Concurrent validation of Xsens MVN measurement of lower limb joint angular kinematics. *Physiol Meas* 34:N63-N69.