

Onderzoek naar de eigenschappen en gebruik van Materialen in de Orthopedische Schoen technologie

Een NVOS-Orthobanda project mogelijk gemaakt door OFOM uitgevoerd door Fontys Paramedische Hogeschool Eindhoven

in de periode 15 december 2014 t/m 15 april 2016

door Trudi Sonderkamp, Fred Holtkamp en Lianne Grin



Eindrapport

Versie: 15 april 2016

Samenvatting

Dit project heeft als doel inzichtelijk maken welke materialen (materiaalsoorten) er in de Orthopedische Schoen Technologie (OST) gebruikt worden, waarvoor (doel van het materiaal) en waarom (eigenschappen) deze materialen deze gebruikt worden.

Gestart is met een literatuurstudie naar materiaalgebruik in orthopedische schoenen en wetenschappelijke beproevingen van deze materialen. Hieruit blijkt dat verschillende materialen zijn onderzocht met name op effectiviteit ten behoeve van reductie van piek plantair drukken en schokdemping. Er wordt echter geen eenduidige manier gehanteerd om compressie-karakteristieken weer te geven, zodat resultaten tussen studies onderling moeilijk vergelijkbaar zijn. Daarnaast blijkt uit enkele studies dat materiaaleigenschappen sterk wijzigen, meestal verharden, gedurende cyclische belasting of temperatuurbehandeling.

Vervolgens zijn er orthopedisch schoentechnologen/technici geïnterviewd. Onderzoeksvragen hierbij waren: wat is de werkwijze ten aanzien van materiaalgebruik, waarop worden keuzes gebaseerd en wat is de kennisbehoefte ten aanzien van materialen? Hiermee is een overzicht gecreëerd van veel gebruikte materialen die in de Nederlandse orthopedische schoentechniek branche en de eigenschappen die voor het gebruik van deze materialen van belang zijn.

Naast natuurlijke materialen, zoals leer en kurk, wordt er gebruik gemaakt van synthetische rubbers, een veelheid aan schuimen van PolyUrethaan (PU), PolyEthyleen (PE) of EthylVinylAcetaat (EVA), vezel versterkte kunststoffen, koolstofharsen en polypropyleen. Deze materialen zijn beschikbaar in veel verschillende kwaliteiten. Belangrijke eigenschappen zijn: gewicht, stijfheid/buigbaarheid, vormvastheid, compressiesterkte of indrukbaarheid, schokdemping, wrijving, slijtweerstand, scheursterkte en vochtopname of -doorlaatbaarheid. Daarnaast zijn ook verwerkingseigenschappen van belang zoals thermische vervormbaarheid, oventijd, afkoeltijd, krimp, schuurbaarheid en verlijmbaarheid.

De genoemde eigenschappen zijn voor een deel vertaald naar meetbare fysische grootheden, waarvoor een meetprogramma is opgesteld. De waarden van deze fysische grootheden zijn gemeten voor een kleine 40 verschillende materialen, waaronder de 10 in de OST meest gebruikte materialen. Op basis van deze meetgegevens is een eerste ruwe indeling gemaakt, een vertaling terug naar kwalitatieve eigenschappen, waarop een selectie gemaakt kan worden. In de database zijn deze materialen en meetgegevens opgenomen naast materialen waarvan datasheets met waarden gevonden kunnen worden van producenten en leveranciers.

Complicerende factor is dat veel materialen alleen gekend zijn bij hun merknaam. De chemische en/of fysische samenstelling is vaak moeilijk te achterhalen en datasheets met fysische eigenschappen zijn nauwelijks beschikbaar. Daarbij komt dat veel materialen onder dezelfde merknaam in verschillende kwaliteiten voorhanden zijn, waarbij niet altijd duidelijk is welke specifieke kwaliteit nu gebruikt wordt. In de database is getracht merknaam te koppelen aan chemische en fysische samenstelling, leverancier, producent en kwantitatieve materiaaleigenschappen.

De eerste versie van de database is gemaakt in Excel en komt beschikbaar via NVOS-Orthobanda. In de database kan worden gezocht op toepassing, hardheid, vormacceptatie, gewicht, schokabsorptie, energieabsorptie, stijfheid en veerkrachtbehoud. Vervolgens kan een materiaal worden geselecteerd, zodat alle beschikbare data van dat materiaal zichtbaar wordt. De database heeft als doel de orthopedisch schoentechnicus of schoentechnoloog te informeren zodat deze gemakkelijker en bewuster kan kiezen voor het materiaal met precies die eigenschappen die nodig zijn. Door de meer gedetailleerde, kwantitatieve kennis van de materialen kan mogelijk specifieker worden aangegeven waarom het ene materiaal beter voldoet dan het andere en welke specifieke waarde van welke eigenschap noodzakelijk is voor een goed functionerend materiaal. Het project heeft daarnaast geleid tot een aantal spin off projecten in het onderwijs en aanbevelingen voor verder onderzoek.

Dankwoord

Dit project is tot stand gekomen met medewerking van Fred Holtkamp, Lianne Grin en Mark Arts van de Fontys Paramedische Hogeschool Eindhoven.

Een speciaal woord van dank gaat uit naar de leden van de expertgroep voor hun actieve betrokkenheid, feedback en bijdrage in de expertmeetings:

- Willem Seves, Loopcentrum voor Sport en Orthopedie
- Rob Verwaard, Wittepoel Orthopedische Schoentechniek BV
- Johan Cederhout, Buchrnhornen Eindhoven
- Paul Volwater, Van Gils Footcare
- Ron Schiedon, Schiedon.nl
- Cor Rameau, C.J. Rameau Orthopedische Schoentechniek BV

Tevens gaat mijn dank uit naar alle orthopedisch schoentechnici en –technologen die hebben deelgenomen aan de interviews. Daarnaast bedank ik Toine Hesselberth van Fontys Engineering en Ronny Weis van het Pirmasens Forschungs Institut (PFI-Germany) voor hun hulp bij de materiaalmetingen.

Eindhoven, 15 april 2016
Trudi Sonderkamp

Inhoud

Samenvatting	3
Dankwoord	4
Inleiding	7
Literatuur over functies, materiaalgebruik en eigenschappen in orthopedische schoenvoorzieningen .	8
Drukverdeling	10
Drukverdeling door een inlegzool	10
Testmethoden	13
Literatuurreview	14
Effecten van vervroegde afwikkeling	22
Schuifkrachten en wrijving.....	23
Conclusies literatuuronderzoek	24
Interviews met het werkveld.....	25
Inleiding.....	25
Werkwijze.....	25
Materiaalkeuze.....	26
Enkelomsluiting.....	27
Voetbed, steunzool, bodemprofiel	28
Afwikkeling, afronding, schoring, wig.....	30
Schacht	30
Behoeften ten aanzien van materiaaleigenschappen.....	31
Interviews met materiaal leveranciers	31
Conclusies interviews	33
Materiaaltesten.....	34
Resultaten van Materiaalmetingen	36
Constructie van de database	41
Toelichting bij de indeling in klassen van de materialen.....	42
Conclusies.....	45
Aanbevelingen voor verder onderzoek	46
Spin-off van dit project	48
Literatuurverwijzingen	49
Bijlage 1. Publicatie in Orthopedische Techniek.....	52
Bijlage 2. Meetresultaten Materiaalmetingen.....	53
Bijlage 3. Toelichting gegevens kolommen in de materialendatabase	58

Inleiding

Dit project heeft als doel inzichtelijk maken welke materialen (materiaalsoorten) er in de Orthopedische Schoen Technologie (OST) gebruikt worden, waarvoor (doel van het materiaal) en waarom (eigenschappen) deze materialen deze gebruikt worden. Hoewel materialen al gebruikt worden sinds het ontstaan van de schoen industrie en de orthopedische schoentechniek, begin 20^{ste} eeuw [1], is hierover weinig wetenschappelijk gefundeerde kennis beschikbaar. Dit komt enerzijds omdat de OST ontstaan is uit een ambacht, waar voornamelijk gewerkt wordt op basis van experimentele ervaring. Daarnaast spelen bij het maken van een orthopedische schoen vele variabelen een rol, wat het bepalen en meten van relevante parameters ingewikkeld maakt. Orthopedisch schoenmakers maken in hun dagelijks werk daarom veelal gebruik van hun impliciete kennis, het uit ervaring weten dat een bepaalde constructie met een bepaald materiaal 'werkt', zonder precies te weten welke eigenschappen van het materiaal of de constructie er nu cruciaal zijn voor de beoogde werking.

Dit werk is een poging om deze impliciete kennis wat meer expliciet te maken. Dit is nodig omdat in onze veranderende maatschappij steeds meer nadruk komt te liggen op verantwoording van inzet van productiemiddelen en materialen om doelstellingen te bereiken. Orthopedisch schoenmakers merken deze druk vanuit de zorgverzekeraars die meer eisen gaan stellen aan verantwoording van de kosten van het orthopedisch product. Kostenbesparingen zouden kunnen komen uit alternatieve materialen of alternatieve productiemethodes. Voor beiden is kennis nodig van gewenste en meetbare eigenschappen van de uiteindelijke orthopedische schoen, die mogelijk kunnen worden voorspeld uit de eigenschappen van de gebruikte materialen en de constructie.

Het project is gestart met een literatuurstudie naar materiaalgebruik in orthopedische schoenen en wetenschappelijke beproevingen van deze materialen. Het materiaalgebruik is gerelateerd aan de beoogde functie, welke weer gerelateerd is aan de aandoening bij de cliënt die geacommodeerd moet worden. Hieruit ontstaat een beeld van een gewenste eigenschap per voorziening of functie. In de literatuurstudie is gekeken naar welke materialen onderzocht zijn en wat er aan gewenste meetbare parameters bekend is.

Vervolgens zijn er orthopedisch schoentechnologen/technici geïnterviewd. Onderzoeksvragen hierbij waren: wat is de werkwijze ten aanzien van materiaalgebruik, waarop worden keuzes gebaseerd en wat is de kennisbehoefte ten aanzien van materialen? De resultaten van deze 2 fasen zijn beschreven in een tussenrapport 'Materialenonderzoek tussenrapportage, juni 2015' .

Op basis van deze fasen is een vervolgplan gemaakt. In overleg met de expertgroep is een selectie gemaakt van een tiental veelgebruikte materialen en een even groot aantal meetgrootheden. Vervolgens is er een meetplan opgesteld en zijn de waardes van deze materialen gemeten. Details en specificaties van de metingen zijn beschreven in een apart meetrapport. Een overzicht van de resultaten is weergegeven in Bijlage 2.

De laatste fase is het rubriceren en classificeren van alle verzamelde data in een database waarin materialen gezocht kunnen worden op voor OST-ers gangbare parameters. De database bestaat uit gemeten materiaalgegevens en gegevens gevonden in datasheets gekregen via leveranciers, producenten of via internet. Er is een vertaalslag gemaakt van relevante eigenschappen naar gemeten grootheden, waarbij een eerste classificatie-verdeling is gemaakt op basis van het huidige gebruik en waardering van deze materialen. De database komt beschikbaar voor leden van de NVOS Orthobanda via de website.

Dit rapport is een uitbreiding van de tussenrapportage, waarin ook de laatste 2 fasen uitgebreid worden beschreven en toegelicht. Het rapport wordt afgesloten met concluderende bevindingen en aanbevelingen voor verder onderzoek.

Literatuur over functies, materiaalgebruik en eigenschappen in orthopedische schoenvoorzieningen

In het NVOS schoenprotocol 2010 (<http://www.nvos-orthobanda.nl/pages/48/Protocollen/Voet-schoenprotocol.html>) worden de volgende functies van orthopedische schoenvoorzieningen onderscheiden:

- Verlichten van pijn bij lopen of staan
- Compenseren voor afwijkende lengte van vorm of segment (opheffen van beenlengteverschil)
- Verbeteren lichaamshouding bij gang of staan
- Compenseren van te zwakke spieren
- Verminderen van te grote bewegingsuitslag gewricht
- In bedwang houden overmatig actieve spieren
- Beschermen weefsel
- Bevorderen genezing

Hierbij wordt rekening gehouden met aandoeningen als diabetes, reuma, neurologische aandoeningen en vaatlijden waardoor voeten extra gevoelig zijn voor bepaalde typen problemen. Daarnaast moeten schoenen de voet beschermen en gedurende langere tijd, 1,5 tot 2 jaar, hun eigenschappen behouden in het dagelijks gebruik.

De functies worden verwezenlijkt door gebruik van meestal een combinatie van een of meer van de volgende schoenvoorzieningen:

- Voetbed, voetzoolorthese
- Zoolaanpassing
- Afwikkeling
- Hakaanpassing
- Schachtaanpassing
- Enkelversteving
- Leestaanpassing

Elke schoenvoorziening is mogelijk in vele varianten zowel in vorm als in materiaal zodat de uiteindelijke schoen vaak een uniek exemplaar van precisie maatwerk is.

Omdat de schoen als geheel meestal meerdere functies tegelijkertijd vervuld, moet er vaak een compromis gesloten worden tussen tegenstrijdige eigenschappen. Dit wordt in de praktijk opgelost door meerdere materialen in laagjes over elkaar heen te gebruiken en meerdere voorzieningen te combineren, in de verwachting dat de uiteindelijk bereikte functionaliteit dan ook een optelsom is van de verschillende eigenschappen.

Vanuit puur engineering standpunt zou je een dergelijk probleem op willen lossen door een schoenontwerp te maken op basis van het krachten spel dat plaatsvindt tussen persoon, voet, schoen en grond tijdens lopen en staan. Uit de berekeningen zou dan moeten blijken waar draaipunten zouden moeten liggen, welke druk-, buigings-, trek- en afschuifkrachten het materiaal op welke plekken zou moeten kunnen weerstaan en waar je welke verende of dempende eigenschappen nodig hebt. Dit alles om het looppatroon van de cliënt optimaal te ondersteunen of te corrigeren. Hoewel er al het nodige onderzoek is gedaan aan biomechanische analyse van de voet en loop en er in 3D ontwerp software al veel mogelijk is, is dat op dit moment nog een onmogelijke opgave. Hiervoor zijn er teveel variabelen, waarvan een groot deel nog onbekend.

Om toch iets te kunnen zeggen over in ieder geval de bandbreedte waarin materialen zouden moeten opereren kan er gekeken worden naar het huidige materiaalgebruik dat in de huidige vorm blijkbaar voldoet aan de functie. Welke materialen worden gebruikt in welke voorzieningen en wat is er aan deze materialen onderzocht met betrekking tot hun orthopedische toepassing?

In literatuur is gezocht naar wat er bekend is over materiaalgebruik in relatie tot de volgende functies van de voorzieningen:

- Drukverdeling, schokabsorptie of demping en accommoderen
- Voorkomen van schuifkrachten en wrijving

Er is geen uitgebreid literatuuronderzoek gedaan naar stijfheidsmetingen aan materialen of metingen aan vochthuishouding. Dit is een aanbeveling voor een vervolgstudie.

In dit hoofdstuk wordt per functie beschreven wat bekend is uit de literatuur over met welke materialen en constructies dit wordt bewerkstelligd en wat de relevante eigenschappen zijn van deze materialen.

Drukverdeling

Het verbeteren van de drukverdeling onder de voet wordt gezien als belangrijk middel tegen pijnverlichting, bijvoorbeeld bij reuma, tegen drukplekken en ter voorkoming van ulcera bij diabetes. Er worden in de literatuur 2 manieren beschreven om de druk met name in de voorvoet te verminderen:

1. door een inlegzool
2. door een vorm van vervroegde afwikkeling

Met name in het eerste geval is er veel onderzoek gedaan naar de invloed van de eigenschappen van het materiaal. Hierover gaat het grootste deel van dit hoofdstuk. In het tweede geval speelt vooral de vorm een grote rol. Hier is aan het eind van dit hoofdstuk een kleine paragraaf gewijd.

Drukverdeling door een inlegzool

Er is veel onderzoek gedaan naar de effectiviteit van inlegzolen en inlegzool materiaalgebruik in drukverdeling en ter voorkoming van ulcera bij diabetes[2], [3-11]. De resultaten van deze onderzoeken zijn niet altijd eenduidig en onderling moeilijk vergelijkbaar vanwege verschillende referentiesystemen, meetapparatuur en meetmethodes.

Vorm

Algemeen wordt aangenomen dat een goed aansluitend voetbed helpt om de druk beter onder de voet te verdelen zodat de pieken in plantaire druk verminderen[3, 12-15]. Dit is logisch omdat druk gelijk is aan de kracht per oppervlakte-eenheid. Door een beter aansluitend voetbed vergroot je het oppervlak waarop de kracht wordt uitgeoefend, waardoor de druk vermindert. Dit is dus onafhankelijk van het gekozen materiaal. Wel kan een materiaal dat gemakkelijk vervormt naar de voet, een zogenaamd vormaccepterend materiaal, ervoor zorgen dat het voetbed nog beter aansluit of aansluiting blijft behouden en het contact-oppervlak nog verder wordt vergroot.

Materiaal

Een ander aspect van de dynamische drukverdeling zijn de krachten die optreden bij neerkomen en afwikkeling van de voet. Deze kunnen worden verminderd door schokdempende materialen in de hak, de zool en ook de inlegzool toe te passen. Schokdemping is het gedeeltelijk absorberen van de energie van het neerkomen van de voet op de grond, zodat de piekkracht wordt verlaagd en vertraagd.

Het review artikel van Michael Whittle [16] geeft een mooi overzicht over de krachten die optreden tussen voet en grond tijdens het lopen. Hij stelt dat de kracht onder de voet afhankelijk is van twee eigenschappen van de voet, massa en snelheid, en drie eigenschappen van het interface, dikte, elasticiteit en viscositeit. Voet-massa en -snelheid hangen af van de manier van lopen van de individuele persoon en diens gewicht. De dikte van het materiaal onder de voet bepaalt de tijd die beschikbaar is om te vertragen tot stilstand, hoe korter de tijd, hoe hoger de kracht. Kenmerk van een sterk elastisch materiaal is weinig energie absorberen en veel energie retourneren, leidend tot een groter impulsmoment en hogere krachten op het individu. Kenmerk van een sterk visceus materiaal is veel energie absorberen door deformatie, maar om effectief te zijn zal het materiaal moeten kunnen terugkeren in zijn uitgangspositie. Visco-elastische materialen hebben deze eigenschappen, waarbij de mate van weerstand tegen indrukking niet alleen afhankelijk is van de kracht, maar ook van de snelheid waarmee ingedrukt wordt.

Belangrijke materiaaleigenschappen voor schokdemping zijn daarmee elasticiteit, energie-absorptie, weerstand tegen compressie en het vermogen om terug te veren naar zijn oorspronkelijke vorm in relatie tot de dikte van het materiaal en de duur van de belasting.

Literatuurgegevens drukmetingen

Gemeten piek plantair drukken (PPP) schommelen tussen 220 en 911 kPa.[4, 13, 14, 17-26]. Ter vergelijking en indicatie: iemand van 80 kg oefent een kracht op de grond uit van 800 N (of kg.m/s²) als zijn schoenmaat 42 is, is het vloeroppervlak 560 cm² en de gemiddelde uitgeoefende druk in stand $800/560 = 1,43 \text{ N/cm}^2 = 14,3 \text{ kPa}$. Viswanathan et al.[10] vindt vergelijkbare drukken. Tijdens lopen wordt het contact oppervlak met de vloer kleiner en daarmee de druk plaatselijk hoger.

De gemeten ppp's treden veelal op onder MTH2-3 in overeenstemming met bevindingen van Hayafune et al.[27] in de gezonde voet. Verschillen kunnen veroorzaakt worden door verschillende meetsystemen, gewicht en mobiliteit van de proefpersonen en gebruikt schoeisel. Naast PPP wordt in de literatuur ook de zogenaamde Pressure-Time-Integral (PTI), de tijdsduur van de piekdruk maal de hoogte van de piekdruk, als belangrijke factor meegenomen in het ontstaan van klachten.

Inlegzolen reduceren de PPP met waarden tot 72% en PTI met waarden tot 32%. Waarden verschillen van studie tot studie door gebruik van andere materialen, materiaaldiktes, pasvormen, meetmethoden en meetapparatuur. Gevonden waarden van de verschillende gebruikte materialen staan in Tabel 1.

TABEL 1. Literatuurgegevens Insoles en Peak Plantar Pressure

Bron	Insole material	Compo- sition	Thick- ness mm	PPP kPa	Location	Reduction	PTI kPa.s	Reduction	Me- thod
18	shoe only			259	MTH2		76,7		A
	PrefabFO-AOL soft density orthose	EVA		221	MTH2	14,5%	52,2	31,9%	
	CustomFO, EVA	EVA	10	242	MTH2	6,5%	62,1	19,0%	
	Custom FO+Dome (teardrop shaped)	EVA +latex	10	218	MTH2	15,7%	59	23,1%	
	CustomFO + Bar (boomerang shaped)	EVA+latex	10	206	MTH2	20,5%	59,5	22,4%	
13	flat insole, Microcell Puff	EVA	6,5	350	MTH2				B
	TCI-1= PPT, Microcell puff thermocork	oc PU	3,2+						
		+EVA	6,5+				56,8%		
		+cork	11,6						
TCI-2 = medium Plastazote, PPT	cc PE+ oc PU	6,4 + 12,7			40,7%				
28	shoe only			462	Big Toe				A
21	healthy			268	ND				C
	Pes Cavus			404					
	latex foam 3 mm	latex	3	376		6,8%			
	polypropylene 3 mm	polypropylene	3	348		13,8%			
26	Barefoot			911					C
	Flat insole PPT	oc PU	9,5	302	MTH1	66,8%	131,8		
	Custom-made insole polyurethane	oc PU 60-80		255		72,0%	101,4		
22	healthy			430	MTH2				D
	Microcell Puff, Plug plastazote medium	EVA+ cc PE	12,7	240	MTH2	44,2%			
	Diabetes			380	MTH2				
	Microcell Puff, Plug plastazote medium	EVA+ cc PE		210	MTH2	44,7%			
23	walking			261	Med Foreft				C
	walking with Zuni system 20% supported	NA	NA	196	Med Foreft	25%			
	running			386	Med Foreft				
	running with Zuni system 20% supported	NA	NA	378	Med Foreft	2%			
14	Barefoot			323	Heel				D
	Microcell Puff 12,7	EVA	12,7	214	Heel	33,7%			
	Microcell Puff Lite 12,7	EVA	12,7	191	Heel	40,9%			
	Poron 12,7	oc PU	12,7	199	Heel	38,4%			
	Microcell Puff full conforming	EVA	12,7			40,7%			B
	Microcell Puff Lite full conforming	EVA	12,7			43,7%			
	Poron full conforming	oc PU	12,7			43,4%			

TABEL 1. (vervolg) Literatuurgegevens Insoles en Peak Plantar Pressure

Bron	Insole material	Compo- sition	Thick- ness mm	PPP kPa	Location	Reduction	PTI kPa.s	Reduction	Me- thod
4	ROI			303	ND				C
	local removal of insole material	NA				11,2%			
	Local softening of insole material	NA				14,1%			
	addition of MT or hallux pads or bars	NA				16,0%			
	Replacement of top cover	NA				14,4%			
	earlier or more significant rocker or roller	NA				12,3%			
12	Baseline ROI			263	MTH2-3				C
	ShoreA 35° EVA+Velcro/Velvet+50 Poron	EVA+Velvet +oc PU	3+2+ 6	221		15,7%			
	Post plug removal			150		42,9%			
	Post plug removal+arch support (latex)			136		48,3%			
27	No insole			566			57		E
	prefabricated EVA+Poron	EVA+ oc PU	3+6	363		35,9%	45	21,1%	
	customized EVA+Poron	EVA+oc PU	3+6	367		35,2%	45	21,1%	
24	BareFoot			220	MTH2				E
	Slow Recovery Poron (extra soft 4790-92)	oc PU	6,2	185		15,9%			
	Poron (soft 4708-blue)	oc PU	6,2	172		21,7%			
	Poron + Plastazote (30 shoreA)	oc PU + cc PE	6,2	162		26,4%			
	Poron+Plastazote (15 shore A)	oc PU + cc PE	6,2	159		27,6%			
	Semi compressed Felt with cutout at MT1	Felt	7	188		14,4%			
25	Shoe only			315	Whole foot		212		E
	Flat Nora Lunasoft 50 shore	EVA	3			2,4%		-5,1%	
	F-weight bearing Nora Lunasoft 50	EVA				8,1%		4,5%	
	Semi weight bearing Nora Lunasoft 50	EVA				13,8%		9,7%	
	Non-weight bearing Nora Lunasoft 50	EVA				13,4%		11,2%	
33	Plastazote+PPT 20+PLZ20 +Glidesoft inbetween	cc PE 30+oc PU 20+cc PE20	3,2+ 3,2+ 1,5	195	ND				C
				232					
	Plastazote+PLZ firm+PLZ20 +Glidesoft inbetween	cc PE 30+cc PE+ cc PE 20	3,2+ 3,2+ 1,5	177					
				192					
	Plastazote+EVA 45+PLZ20 +Glidesoft inbetween	cc PE 30+EVA+cc PE 20	3,2+ 3,2+ 1,5	206					
				221					
15	Prefab insoles (GloboTec Comfort)	PU+PE+PC		327	MTH2		59		E
	EVA 35	EVA	14	288	MTH2	11,9%	54	8,5%	
	EVA 55	EVA	14	291	MTH2	11,0%	55	6,8%	

Afkortingen: EVA=Ethyl-vinyl-acetate polymer, PU=Polyurethane foam, PE=Polyethylene foam, cc=closed cell, oc=open cell, NA=Not applicable, ND=Not determined, MTH=Metatarsal Head.

Method A=EMED, B=Finite Element Computations, C=Novel Pedar system, D=PP sensor Novel Pliance, E=F-scan.

Literatuurgegevens materiaalbeproevingen

Belangrijke materiaaleigenschappen voor schokdemping zijn daarmee elasticiteit, energie-absorptie, weerstand tegen compressie en het vermogen om terug te veren naar zijn oorspronkelijke vorm in relatie tot de dikte van het materiaal en de duur van de belasting.

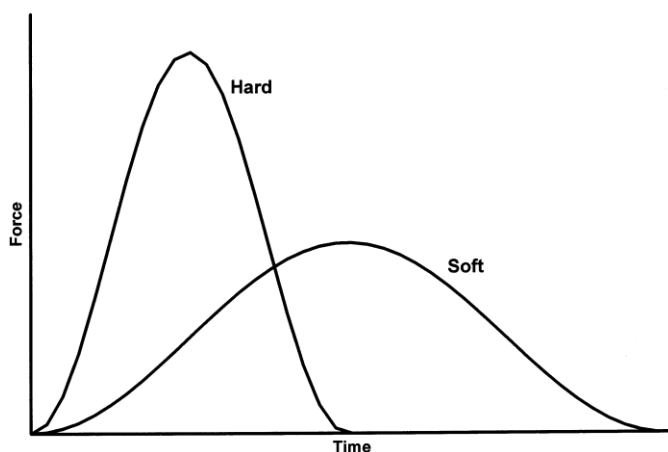
Testmethoden

1. Elasticiteit

Elasticiteit wordt gemeten door de vervorming uit te zetten tegen de opgelegde spanning. Voor zuiver elastische materialen geeft dit een lineaire verband waarvan de helling, de elasticiteitsmodulus, een maat is voor de elasticiteit. Voor visco-elastische materialen is dit verband niet lineair en dat maakt het lastiger deze materialen te karakteriseren.

2. Schokabsorptie

Voor de meting van elasticiteit van een visco-elastisch materiaal wordt vaak gebruik gemaakt van de methode zoals beschreven in ASTM standaard D2632. Deze meet de veerkracht van het materiaal door een bal van enige hoogte te laten vallen op het materiaal, dat zich op een kracht-meetplaat bevindt. Gemeten wordt hoe hoog de bal opstuit en welke kracht de impact heeft. Vergelijking met de kracht zonder testmateriaal geeft de kracht-reductie capaciteit. De mate van schokdemping kan worden bepaald door de tijd te meten van de impact en uit te zetten in een kracht-tijd curve. Schokdemping is feitelijk het uitsmeren van de impact over een langer tijdsinterval, waardoor de piekkracht wordt verlaagd. Zie Figuur 1 (uit Whittle et al [16])



Figuur 1. Bij een hard materiaal is de kracht van de impact groter dan bij een zacht materiaal. De oppervlakte onder de curves is voor beide curves gelijk.

Een andere methode om de schokabsorptie te meten is middels een accelerometer aan het vallende gewicht. Deze meet de vertraging tijdens de impact. Hoe lager de maximum vertraging, des te beter is de schokabsorptie.

In de verpakkingsindustrie wordt een zogenaamde cushion-factor gebruikt om de dempingeigenschap van een materiaal te karakteriseren. De cushion-factor C is dimensieloos en gedefinieerd als de maximale stress/maximaal geabsorbeerde energie. Hij wordt gebruikt om de dikte van een verpakkingsmateriaal te definiëren, via $\text{dikte} = C * \text{hoogte/valversnelling}$. Hoe lager C hoe beter de dempingeigenschappen [28]. Vertaald naar de schoenenbranche zegt de cushion factor iets over de schokabsorptie.

3. Compressie curve

Voor meting van de weerstand tegen compressie is er ISO standard 3386-1:1998. Hierbij wordt het materiaal tussen 2 drukplaten in een compressiebank samengedrukt met een bepaalde snelheid van belasting en wordt de kracht gemeten als functie van de indrukking tot 40% van de oorspronkelijke dikte. Dit levert een spanning-rek curve op.

Wanneer de druk met dezelfde belastingsnelheid wordt losgelaten, levert dat de bijbehorende relaxatiecurve, waaruit de mate van hysteresis bepaald kan worden. Hysteresis zegt iets over de blijvende energie-absorptie van het materiaal door warmte geluid of vervorming en daarmee iets over de rest-indrukking na belasting en de duurzaamheid van het materiaal. De verkregen waarden zijn bij visco-elastische materialen afhankelijk van de snelheid van belasting.

4. Compression set

Een andere test voor blijvende vervorming is de compression set, de restindrukking die overblijft enige tijd nadat je het materiaal langdurig hebt belast. ISO 7214 schrijft compressie tot 25% van originele dikte gedurende 22 uur voor en meten van de dikte na een half uur en na 24 uur hersteltijd.

5. Shore hardheid

De meest gebruikte methode om een materiaal te karakteriseren is het meten van de Shore hardheid met behulp van een durometer. (ISO 7619-1: 2010). Dit is ook een weerstand tegen indrukking, die bepaald wordt door een vorm met een bepaalde kracht in het te meten materiaal te drukken. De diepte waarmee het materiaal wordt ingedrukt bepaalt de Shore waarde. Bij Shore A is de vorm een rond staafje met een diameter van 1,1-1,4 mm met een afgekapte 35° kegel, diameter 0,79 mm, die met een kracht van 8,064 N in het materiaal wordt gedrukt [http://en.wikipedia.org/wiki/Shore_durometer]. Bij andere Shore-meters zijn de vorm, afmetingen of toegepaste krachten anders.

De Shore meting is een gemakkelijk toepasbare meting, maar zegt niks over de veerkracht van het materiaal, energieabsorptie of het vermogen om terug te veren naar de oorspronkelijke vorm.

6. Simulatie met Eindige Elementen Methode (FEM)

Het materiaal model dat gebruikt wordt in simulaties om het gedrag van schuimen te voorspellen is het niet-lineaire hyperfoam model van Ogden [29] Parameters in dit model, μ_i , α_i , β_i en ν_i worden verkregen door het fitten van de vergelijking aan gemeten compressie-curves. Deze zijn sterk afhankelijk van de temperatuur van het materiaal[30]

Literatuurreview

Verschillende onderzoekers hebben de compressie-karakteristieken (stress-strain curves) van enkele veelgebruikte materialen gemeten[8, 30-42]. Helaas zijn de resultaten van deze onderzoeken niet direct met elkaar te vergelijken. Hiervoor zijn verschillende oorzaken:

- De compressie-curves zijn afhankelijk van de snelheid van compressie en deze is bij elk onderzoek verschillend
- De compressie-curves zijn afhankelijk van de temperatuur
- De manier van meten verschilt: sommigen meten tot een maximale druk, anderen meten tot 40% compressie of tot 50% compressie, weer anderen meten tot de compressie niet meer verandert. Hierdoor krijg je resultaten in % compressie bij bepaalde druk, of in druk bij bepaalde compressie, of in maximale compressie (die afhankelijk is van de tijd)
- De manier van data bewerking en weergave verschilt, soms worden hysteresis-curves gegeven en bijbehorende absorptie-energieën berekend, soms alleen compressie-druk of % compressie. In weer andere gevallen worden Ogden-model-parameters bepaald of de parameters van een andere wiskundige beschrijving van de data-curve. Brodsky et al [38] meet de doorgegeven belasting aan een zich onder het testmateriaal bevindende uitsteeksel.

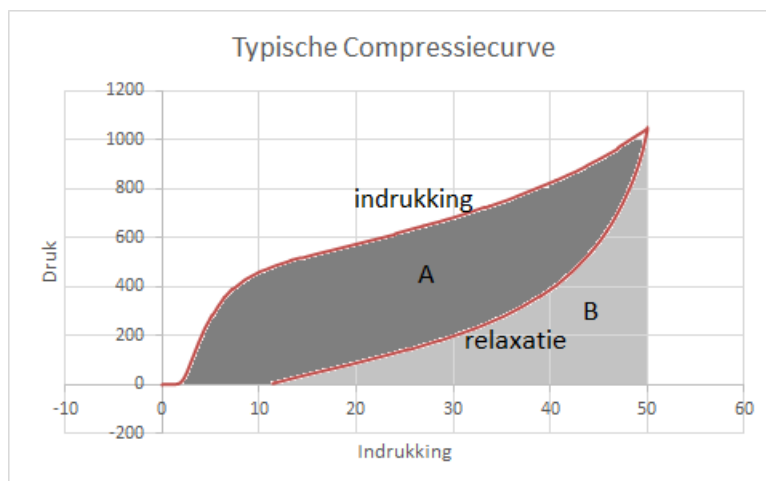
- Daarnaast maakt het ook het aantal doorgemaakte cycli van belasting veel verschil. De meeste materialen veranderen flink in eigenschappen in de eerste 1 tot 5 belastingscycli, waar niet alle onderzoekers rekening mee houden.

Hetzelfde geldt ook voor de schokabsorptie-eigenschappen. Hoewel een vergelijkbare test-opstelling wordt gebruikt, een gewicht dat van bepaalde hoogte op het materiaal valt, is de uitvoeringsvorm en de presentatie van de data per onderzoek verschillend. Gewicht, hoogte, vorm van het gewicht en dikte van het testmateriaal verschillen. Gemeten worden maximum vertraging, piekkracht, piekkracht-reductie, tijd van impact en soms opstuit-hoogte en deze worden vertaald in schokabsorptie-energie of performance-indicatoren (Tabel 3).

Schokabsorptie-experimenten, compressie-curves en metingen van de Shore-hardheid zijn weliswaar aan elkaar gerelateerd, maar geven andere eigenschappen van het materiaal omdat de snelheid van belasting en de grootte van de impact bij deze experimenten van elkaar verschilt. Het verschil in stijfheid en energie-absorptie bij snellere of tragere belasting is per materiaal verschillend.

De mate waarin het materiaal na belasting terugkeert naar zijn uitgangsdikte wordt niet altijd gemeten, maar als dat wel het geval is wordt het weergegeven in % van de oorspronkelijke dikte. Hierbij maakt het verschil of het materiaal cyclisch belast is of een duurbelasting heeft ondergaan of thermisch belast is (Tabel 4).

In Tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de compressie-curve metingen uit de literatuur[8, 30, 33, 38, 40, 41, 43, 44]. Om de resultaten onderling een beetje te kunnen vergelijken is er een compressie-factor berekend zijnde de toegepaste druk P_{max} (kPa) per percentage compressie. Hoe lager dit getal, des te gemakkelijker het materiaal comprimeerbaar is, des te zachter het materiaal is. Echter absoluut zegt het getal niet veel; het is slechts een punt op de compressie-curve, die niet lineair is en afhankelijk is van compressie snelheid, temperatuur en voorgeschiedenis van het materiaal anders verloopt. Zie ter illustratie Figuur 2.



Figuur 2. Voorbeeld van een typische compressiecurve. Energie nodig voor indrukking=Oppervlak A+B, Netto geabsorbeerde energie (Hysterese)=A, Vrijkomende energie bij relaxatie=B. Omdat het verloop tussen indrukking en opgelegde druk niet lineair is, is de waarde van de compressiefactor (Druk/Indrukking) voor elke gemeten druk of indrukking anders. Zelfs voor hetzelfde materiaal dat gemeten is onder dezelfde omstandigheden.

Vergelijking van de gegevens in Tabel 2, toont dat materialen bij compressie met hogere snelheid of hogere kracht of na cyclische of thermische belasting over het algemeen een hogere compressie factor hebben ofwel harder gedrag vertonen.

TABEL 2. Compressie metingen uit de literatuur, deel 1

Bron	Materiaal	Samenstelling	Initial Thickness mm	comp speed mm/min	Pmax kPa	Comp %	Comp.factor P/C
34	Podotherm (EVA)	EVA	75	600	50	3	16,67
34	Podotherm (EVA)	EVA	75	600	500	17	29,41
34	Medicfoam 35 (EVA)	EVA	75	600	50	3	16,67
34	Medicfoam 35 (EVA)	EVA	75	600	500	60	8,33
34	Thermofix (EVA)	EVA	75	600	50	3	16,67
34	Thermofix (EVA)	EVA	75	600	500	22	22,73
34	Softlux (EVA)	EVA	75	600	50	2	25,00
34	Softlux (EVA)	EVA	75	600	500	54	9,26
34	Medic Mousse		75	600	50	3	16,67
34	Medic Mousse		75	600	500	34	14,71
34	PPT (polyurethane)	PU	75	600	50	8	6,25
34	PPT (polyurethane)	PU	75	600	500	65	7,69
34	Kurklatex (Kurk en rubber)	corck and rubber	75	600	50	3	16,67
34	Kurklatex (Kurk en rubber)	corck and rubber	75	600	500	14	35,71
42	Silicone 15		6	525 N/s	167	5%	33,87
42	Silicone 15		16	525 N/s	167	2%	103,70
42	Silicone 15 after 20 cycles		6	525 N/s	167	8%	21,00
42	Silicone 15 after 20 cycles		16	525 N/s	167	6%	28,00
42	Silicone 20		6	525 N/s	167	5%	33,87
42	Silicone 20		16	525 N/s	167	2%	103,70
42	Silicone 20 after 20 cycles		6	525 N/s	167	8%	21,00
42	Silicone 20 after 20 cycles		16	525 N/s	167	9%	18,67
42	Silicone 25		6	525 N/s	167	7%	22,34
42	Silicone 25		16	525 N/s	167	2%	71,79
42	Silicone 25 after 20 cycles		6	525 N/s	167	8%	21,00
42	Silicone 25 after 20 cycles		16	525 N/s	167	10%	16,47
42	TPE 15		6	525 N/s	167	5%	32,81
42	TPE 15		16	525 N/s	167	1%	147,37
42	TPE 15 after 20 cycles		6	525 N/s	167	5%	35,00
42	TPE 15 after 20 cycles		16	525 N/s	167	8%	20,00
42	TPE 20		6	525 N/s	167	7%	23,86
42	TPE 20		16	525 N/s	167	2%	84,85
42	TPE 20 after 20 cycles		6	525 N/s	167	5%	35,00
42	TPE 20 after 20 cycles		16	525 N/s	167	8%	20,00
42	TPE 25 (shore C)		6	525 N/s	167	7%	23,33
42	TPE 25 (shore C)		16	525 N/s	167	2%	80,00
42	TPE 25 (shore C) after 20 cycles		6	525 N/s	167	5%	35,00
42	TPE 25 (shore C) after 20 cycles		16	525 N/s	167	10%	16,47
9	Pelite	cc PE	2,9	ND	104	40	2,60
9	Plastazote	cc PE	3,2	ND	98	40	2,45
9	Nora Lunairflex	cc EVA	3,1	ND	173	40	4,33
9	Nora Lunairmed	cc EVA	6,2	ND	108	40	2,70
9	Nora Lunalastike	cc EVA	2,9	ND	233	40	5,83
9	Nora Lunalight A	cc EVA	6,3	ND	1139	40	28,48
9	High Density EVA	cc EVA	3,4	ND	275	40	6,88
41	Aliplast 4E	PE	25,4	ND	177	50%	3,54
41	Aliplast 4E	PE	25,4	ND	276	61%	4,49
41	Aliplast 6A	PE	25,4	ND	276	45%	6,16
41	Aliplast 6A	PE	25,4	ND	353	50%	7,06
41	Evazote	cc Cross linked PE	25,4	ND	137	50%	2,74
41	Evazote	cc Cross linked PE	25,4	ND	276	68%	4,06
41	Firm Dermoplast	PE	25,4	ND	276	45%	6,07
41	Firm Dermoplast	PE	25,4	ND	431	50%	8,62
41	Firm Pelite	PE	25,4	ND	276	40%	6,91
41	Firm Pelite	PE	25,4	ND	468	50%	9,36
41	Soft Pelite	PE	25,4	ND	160	50%	3,20
41	Soft Pelite	PE	25,4	ND	276	66%	4,21
41	Firm Plastazote	PE	25,4	ND	276	45%	6,11
41	Firm Plastazote	PE	25,4	ND	411	50%	8,22
41	Med. Dermoplast	PE	25,4	ND	232	50%	4,64
41	Med. Dermoplast	PE	25,4	ND	276	55%	5,03
41	Med. Plastazote	PE	25,4	ND	180	50%	3,61
41	Med. Plastazote	PE	25,4	ND	276	61%	4,56
41	Medium Pelite	PE	25,4	ND	249	50%	4,98
41	Medium Pelite	PE	25,4	ND	276	52%	5,33

TABEL 2. Vervolg Compressie metingen uit de literatuur, deel 2

Bron	Materiaal	Samenstelling	Initial Thickness mm	comp speed mm/min	Pmax kPa	Comp %	Comp.factor P/C
39	Medium Plastazote+Soft plastazote	cc PE-foam	5,8+4,7=10,5	2,5	10	24%	0,42
39	Medium Plastazote+Soft plastazote	cc PE-foam	7,98	2,5	283	71%	3,98
39	Medium Plastazote+Soft plastazote 80.000 cyc	cc PE-foam	2,1	2,5	283	50%	5,66
39	Medium Plastazote + Nickelplast	PE + PE/EVA	5,8+4,9=10,7	2,5	10	28%	0,36
39	Medium Plastazote + Nickelplast	PE + PE/EVA	7,704	2,5	283	40%	7,03
39	Medium Plastazote + Nickelplast 80.000 cyc	PE + PE/EVA	5,136	2,5	283	42%	6,79
39	Medium Plastazote + P-Cell	cc PE + cc EVA	5,8+5,1=10,9	2,5	10	24%	0,42
39	Medium Plastazote + P-Cell	cc PE + cc EVA	8,284	2,5	283	71%	3,98
39	Medium Plastazote + P-Cell	cc PE + cc EVA	2,507	2,5	283	57%	5,01
39	Nickelplast + Poron	PE/EVA + PU	4,9+2,8=7,7	2,5	10	32%	0,31
39	Nickelplast + Poron	PE/EVA + PU	5,236	2,5	283	37%	7,70
39	Nickelplast + Poron 80.000 c	PE/EVA + PU	4,62	2,5	283	30%	9,43
39	Medium Plastazote + Spenc	cc PE+PU	5,8+3,9=9,7	2,5	10	22%	0,45
39	Medium Plastazote + Spenc	cc PE+PU	7,566	2,5	283	63%	4,50
39	Medium Plastazote + Spenc	cc PE+PU	3,783	2,5	283	51%	5,52
31	Plastazote Medium	ccPE	10	20	0,24	50	4,8
31	EVA low density	cc EVA	20	40	0,5	50	10,0
31	EVA Medium density	cc EVA	20	40	1,5	50	30,0
31	Lunasoft Nora Low density		20	40	0,5	50	10,0
31	Lunasoft Nora Medium density		20	40	0,8	50	16,0
31	Poron blue Medical	oc PU	6	12	0,3	50	6,0
31	Poron green Diabetic	oc PU	6	12	0,6	50	12,0
31	Poron grey medical	oc PU	6	12	0,2	50	4,0
44	Soft Pelite after 3 min	cc PE	3,1	220 kPa/s	29	50	0,58
44	Soft Pelite after 60 min	cc PE	3,1	220 kPa/s	643	50	12,86
44	Firm Plastazote after 3 min	cc PE	2,82	220 kPa/s	193	50	3,87
44	Firm Plastazote after 60 min	cc PE	2,82	220 kPa/s	40	50	0,80
44	Medium Pelite after 3 min	cc PE	3,1	220 kPa/s	115	50	2,30
44	Medium Pelite after 60 min	cc PE	3,1	220 kPa/s	7	50	0,14
44	Regular Plastazote after 3 min	cc PE	3,3	220 kPa/s	50	50	0,99
44	Regular Plastazote after 60 min	cc PE	3,3	220 kPa/s	ND	50	ND
44	Spenco after 3 min	silicone- neoprene	3,96	220 kPa/s	157	50	3,14
44	Spenco after 60 min	silicone- neoprene	3,96	220 kPa/s	123	50	2,46
44	Nickelplast after 3 min	cc PE +EVA	5,26	220 kPa/s	620	50	12,40
44	Nickelplast after 60 min	cc PE +EVA	5,26	220 kPa/s	525	50	10,50
44	Poron after 3 min	oc PU	3,18	220 kPa/s	120	50	2,40
44	Poron after 60 min	oc PU	3,18	220 kPa/s	113	50	2,26
44	Silicone after 3 min	nylon reinforced silicone	4,22	220 kPa/s	35	50	0,70
44	Silicone after 60 min	nylon reinforced silicone	4,22	220 kPa/s	25	50	0,49

TABEL 2. Vervolg Compressie metingen uit de literatuur, deel 3

Bron	Materiaal	Samenstelling	Initial Thickness mm	comp speed mm/min	Pmax kPa	Comp %	Comp.factor P/C
45	Medium plastazote	cc PE		2,5	283	70,9	3,99
45	MP heated	cc PE		2,5	283	71	3,99
45	Softplastazote	cc PE	6,86	2,5	283	64,1	4,41
45	SP heated	cc PE	5,97	2,5	283	66,8	4,24
45	MP+Puff	ccPE + cc EVA	10,92	2,5	283	69,2	4,09
45	MP+Puff heated	ccPE + cc EVA	7,11	2,5	283	49,4	5,73
45	SP+Puff	ccPE + cc EVA	11,58	2,5	283	63,7	4,44
45	SP+Puff heated	ccPE + cc EVA	10,35	2,5	283	54,7	5,17
45	SP+Puff +Poron	ccPE+ccEVA +oc PU	14,55	2,5	283	61	4,64
45	SP+Puff+Poron heated	ccPE+ccEVA +oc PU	10,16	2,5	283	54,7	5,17
45	MP+Puff+Poron	ccPE+ccEVA +oc PU	13,97	2,5	283	60,8	4,65
45	MP+Puff+ Poron heated	ccPE+ccEVA +oc PU	10,34	2,5	283	51,7	5,47
45	Nickelplast	EVA +PE	5,08	2,5	283	62	4,56
45	NP heated	EVA+PE	4,32	2,5	283	68,9	4,11
45	Puff	cc EVA	5,08	2,5	283	70,8	4,00
45	Puff heated	cc EVA	4,57	2,5	283	68	4,16

In Tabel 3 op de volgende pagina worden de schokabsorptiemetingen uit de literatuur vergeleken [8, 33, 34, 37, 39, 42, 45]. In het algemeen scoren de PU-schuimen PPT en Poron en de hardere EVA's hoger voor wat betreft schokabsorptiecapaciteit dan PE-schuimen als Plastazote. De dikte van het testmateriaal is hier van grote invloed. Voor isopropreen-rubbers is een lineair verband gevonden tussen hardheid, compressie-energie en maximum vertraging voor rubbers van 15 mm dikte [42], zodat met het meten van de hardheid de mate schokdemping kan worden bepaald. Over het belang van schokabsorptie in de schoen is discussie. Riezebos[46] stelt dat vanwege de dikte van het materiaal schokdemping in de schoen slechts marginaal bijdraagt aan de totale schokdemping van het lichaam, die grotendeels via de gewrichten plaatsvindt.

TABEL 3. Literatuurgegevens schokdempings metingen

Bron	Materiaal	Samenstelling	dikte		Performance Index	Interpretatie	Opmerkingen	
			mm	Shore A				
38	Viscolas	PU	3,96		620	+	2,8 g 0,43 m hoogte	
38	Sorbothane 30 Shore	PU	2,54	30	2599	-		
38	Sorbothane 50 Shore	PU	3,18	50	1312	+/-		
38	Sorbothane 70 shore	PU	2,54	70	1113	+/-		
38	Hygard	cc PU foam	3,18		329	++		
38	Isoloss LS	cc HD PU foam	3,05		570	+		
38	Poron (high modulus 481 kg/m3)	cc PU foam	2,37		695	+		
					Piekkracht [N]	dempings tijd [ms]		
34	PPT	cc PU-foam	10	14	15,9	584	+	
34	Medicfoam 35	EVA	10	31	12,6	504	++	
34	Softlux	EVA	10	31	12,3	483	++	
34	Medic Mousse	Kurk & rubber?	10	37	18,2	508	+	
34	Podotherm	EVA	10	42	18,3	419	+	
34	Thermofix	EVA	10	43	18	398	+	
34	Kurklatex	Kurk & rubber	10	60	27,8	275	-	
					Force reduction [%]			
9	Nora Lunairmed	cc EVA	6,2	18	55,64		+	
9	Nora Lunairflex	cc EVA	3,1	22	60,73		+	
9	Nora Lunalastike	cc EVA	2,9	25	41,18		+/-	
9	Nora Lunalight A	cc EVA	6,3	58	82,51		++	
9	Plastazote	cc PE	3,2	15	50,07		+	
9	High Density EVA	cc EVA	3,4	35	41,07		+/-	
9	Pelite	cc PE	2,9	20	38,91		-	
					Deceleration reduction %			
40	LD45 pink Plastazote (cc PE)	cc PE	6		22%		+	
40	P-Cell (cc EVA)	cc EVA	6		31%			
					Cushion Energy [mJ]	Cushion Factor		
40	LD45 pink Plastazote (cc PE)	cc PE	6		131	5,4	+	Walking 360 kPa
40	LD45 pink Plastazote (cc PE)	cc PE	6		204	6,5	+/-	Running 688 kPa
40	P-Cell (cc EVA)	cc EVA	6		165	4,8	++	Walking 360 kPa
40	P-Cell (cc EVA)	cc EVA	6		256	5,8	+	Running 688 kPa
					Shock Attenuation Score [%]			
35	Viscolas	PU-foam			82,2		++	
35	Viscolas	PU-foam			89,4		+	after 12 months
35	PPT	PU-foam	3,5		83,5		++	
35	PPT	PU-foam	3,5		86		+	after 6 months
35	PPT	PU-foam	3,5		93,5		+/-	after 12 months
35	Plastazote	cc PE-foam	3		98		-	
35	Plastazote	cc PE-foam	3		98,5		-	after 12 months
35	Gait Aid				97,2		-	
35	Gait Aid				99		-	after 12 months
					max Dec [m/s2]			
43	L105	11% NR 89% rubber	15	54	306,6		+/-	
43	L120	100% Styrene butadiene	15	56	314,5		+/-	
43	L148	39% NR	15	47	279,2		+	
43	L153	59% NR	15	47	279,2		+	
43	L157	79% NR	15	37	240,0		++	
43	L158	79% Isoprop. Rubber	15	35	232,1		++	
43	L159	69% NR	15	56	314,5		+/-	
43	P601	28% NR	15	68	361,5		-	
					Dampening factor			
46	Poron 92	PU-foam			3		+	
46	Poron 94	PU-foam			5		++	
46	Poron 96	PU-foam			6		++	
46	Poron 4000	PU-foam			6		++	
46	EVA High Density	EVA			2		-	
46	EVA Medium Density	EVA			3		+	
46	Lunacell Nore EVA	EVA			2		-	
46	Cleron				4		+	
46	LD Plastazote	PE-foam			2		-	
46	MaxaCane				1		-	
46	PPT	PU-foam			3		+	

In Tabel 4 staan de literatuurwaarden gevonden voor de compression set, de mate van blijvende indrukking na langdurige belasting. Campbell et al.[36, 47] heeft de compressie eigenschappen van 31 materialen getest en de materialen ingedeeld naar vorm van de compressiecurve. Hij onderscheidt 4 categorieën: 1. erg stijf, 2A matig vervormbaar A, 2B matig vervormbaar B en 3 sterk vervormbaar. Vervolgens meet hij de reductie in dikte na langdurige belasting (50% compressie, 7 dagen) en na repeterende belasting (294 MPa, 1 Hz, 250,000 cycli) en de mate waarin ze hun eigenschappen behouden na verhitting (7 dagen 41°C). Helaas vermeldt hij geen absolute meetwaarden van de compressie curves in zijn publicaties.

TABEL 4. Literatuurgegevens compression set

Bron	Materiaal	samenstelling		0 s recovery %	1 day recovery %			
	34 PPT (polyurethane)	cc PU-foam		94,5	100	24 h, 10 N/cm2		
	34 Medicfoam 35 (EVA)	EVA		90,5	98,6	24 h, 10 N/cm2		
	34 Softlux (EVA)	EVA		94,7	99	24 h, 10 N/cm2		
	34 Medic Mousse	Kurk & rubber?		95,1	98	24 h, 10 N/cm2		
	34 Podotherm (EVA)	EVA		98	100	24 h, 10 N/cm2		
	34 Thermofix (EVA)	EVA		98	99	24 h, 10 N/cm2		
	34 Kurklatex (Kurk en rubber)	Kurk & rubber		98	100	24 h, 10 N/cm2		
Bron	Materiaal	samenstelling		1 h recovery %				
	40 LD45 pink Plastazote (cc PE)	cc PE		73,6		24 h, 136 kg		
	40 P-Cell (cc EVA)	EVA		71,6		24 h, 136 kg		
Bron	Materiaal	samenstelling	Category	Reduction in thickness sustained loading	Reduction in thickness repetitive loading	Retain properties after heat loading	Retain properties after sustained loading	Retain properties after repeated loading
	48 HD Neoprene	chloroprene	1 Very stiff	35	5			
	48 Aliplast-10	PE	1 Very stiff	35	5			
	48 Pelite 1,6 mm	PE	1 Very stiff	25	22			
	48 Kemblo		1 Very stiff	30	10			
	48 Pacer		1 Very stiff	22	20			
	48 Poron-20125	PU	2A Moderat	2	2		++	++
	48 Plastazote-LD 3,2 mm and 6,35 mm	PE	2A Moderat	40	70			
	48 Aliplast 6A	PE	2A Moderat	40	40			
	48 Neoprene R 425N 6,35 mm	chloroprene	2A Moderat	35	20	++		
	48 Poron 'Sport'	PU	2A Moderat	3	7	++	++	++
	48 Neoprene 431 3,2 mm and 6,35 mm	chloroprene	2A Moderat	40	30	++		++
	48 Ensolite 3,2 mm and 6,35 mm		2B Moderat	40	50	++		
	48 Evazote 1,6 and 12,7 mm	EVA	2B Moderat	40	80	++		
	48 Neoprene-R 425N 3,2 mm	chloroprene	2B Moderat	35	5			++
	48 Poron-17125	PU	2B Moderat	5	2		++	++
	48 Aliplast 4E	PE	2B Moderat	50	80			
	48 Ethafoam	EVA	2B Moderat	50	60	++		
	48 Celltite	EVA	2B Moderat	50	50	++		
	48 Pelite 12,7 mm	PE	2B Moderat	45	90			
	48 Spenco	chloroprene	2B Moderat	30	42	++		
	48 Bonfoam		2B Moderat	40	20			++
	48 Lynco	chloroprene	2B Moderat	5	10	++	++	++
	48 Carpet-Wool 1,15 kg/m2		2B Moderat	25	25	++		
	48 Carpet-polypropylene 0,74 kg/m2		2B Moderat	30	40	++		
	48 Dr Scholl's cusion insole		3 Highly de	2	10			
	48 Odor eating insole		3 Highly de	10	10			
	48 Polyurethane foam	PU	3 Highly de	10	75			

Uit Tabel 4 kan worden afgeleid dat de vervormbare EVA's en chloroprenes hun eigenschappen goed behouden bij verhitting en dat de Poron PU-schuimen en Neoprene chloroprenes hun eigenschappen goed behouden na herhaaldelijk belasten. EVA's en PE-schuimen verliezen echter veel van hun dikte na duurbelasting. Bij kortere duurbelasting zoals gemeten door De Lange[33] en Marty[39] is dat effect minder zichtbaar.

Ook Sanders et al. [43] gebruikt de vorm van de compressiecurve om materialen in te delen. In een duurbelastingsexperiment (60 min, 220 kPa, 1 Hz) onderscheidt hij 3 typen curves op basis van het aantal parameters benodigd de mathematische fit. De gevonden parameters zijn afhankelijk van de tijd. De waarden in Tabel 2 zijn met behulp van de parameters berekend voor $t=3$ min en $t=60$ min. De materialen in zijn groep 1, Spenco, Poron en Silicone (chloroprene, PU-schuim en silicone rubber) behouden hun eigenschappen tijdens duurbelasting. De materialen uit zijn groep 2, Pelite en Plastazote, (PE-schuimen) doen dat in veel mindere mate. In zijn studie behoudt ook Nickelplast (PE+EVA) goeddeels zijn compressie-eigenschappen. Dit wordt ook door Brodsky et al. [44] gevonden. Blijkbaar is de combinatie van EVA en PE zoals die voorkomt in Nickelplast duurzamer dan alleen EVA of alleen PE.

Shariatmadari[30], Chen[12], Erdemir[21] en Goske[13] gebruiken compressiecurves om de parameters voor eindige elementen methode simulaties te bepalen. In Tabel 5 is te zien dat deze waarden per studie sterk verschillen.

TABEL 5. Literatuurgegevens parameters niet lineaire hyperfoam model van Ogden[48]

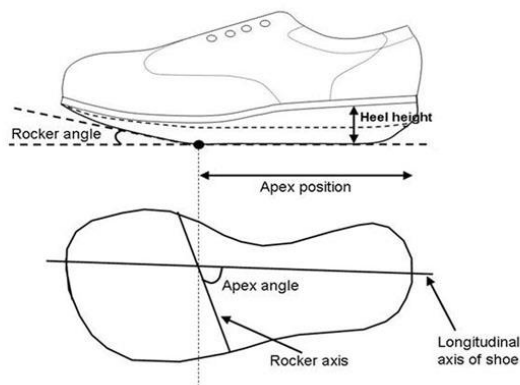
Ref.	Materiaal naam	Samenstelling	Mu1 (kPa)	Mu2 (kPa)	Alfa1	Alfa2	Nu1	Nu2
31	EVA low density	EVA	1,81	-0,86	11,77	-5,965	0	0
31	EVA Medium density	EVA	1,78	-0,85	9,78	-4,95		
31	Lunasoft Nora Low density	EVA	1,78	-0,85	9,79	-4,95		
31	Lunasoft Nora Medium density	EVA	2,33	-1,2	6,33	-3		
31	Poron grey medical	PU	0,58	-0,276	11,66	-5,9		
31	Poron blue Medical	PU	1,01	-0,646	3,372	-1,03		
31	Poron green Diabetic	PU	-37,02	61,86	0,26	3,16		
31	Plastazote Medium	PE	0,63	-0,28	9,72	-5,03		
							Beta1	beta2
13	PPT	PU	0,062	-0,06	15	-5	-14,558	0,062
13	Medium plastazote	PE	0,07	-0,002	16,325	-2,002	-12,224	1,501
13	Microcell puff	EVA	0,167	0,369	22,882	44,072	-2,86	-5,509
13	Thermocork	Kurk + rubber						
			Mu1 (kPa)	Mu2 (kPa)	Alfa 1	Alfa2	Nu 1	Nu2
22	soft tissue		14,3		7,3			
22	Microcell Puff 29 mm	EVA	2112	-414,4	25	4,02	0,034	-3,44
22	Microcell Puff Lite 29mm	EVA	874,6	-127,2	25	0,75	0,051	1,39
22	Plastazote Medium 29 mm	PE	778,7	-166,9	25	6,02	0,032	-1,76
22	Poron 9,5 mm	PU	333,3	-6,7	14,6	2,156	0,043	0,54
			Mu1 (kPa)		Alfa 1		Nu 1	
14	Microcell Puff 12,7	PE	1340		28,14		0,054	
14	Microcell Puff Lite 12,7	PE	1220		48,29		0,028	
14	Poron 12,7	PU	620		34,36		0,037	
14	Heel pad		16,45		6,82			
14	Midsole firm crepe 20mm		4240		28,59		0,076	

Effecten van vervroegde afwikkeling

Vervroegde afwikkeling wordt toegepast om de druk op de voorvoet te verminderen tijdens het lopen. Voor diabetici worden hiervoor speciale forefoot offloading schoenen ontworpen. Deleu et al.[49] beschrijft een 79-96% plantaire druk reductie door gebruik van zo'n type schoen (Barouk). Bus et al [50] vergelijkt 5 verschillende typen forefoot off-loading schoenen en concludeert dat het geteste vacuum-systeem een alternatief kan zijn voor de standaard Forefoot off-loading schoen, omdat deze een drukverlaging bewerkstelligt van 41 tot 56%. Ook Nagel et al [51] vindt bij vacuum-orthoses en post-operatieve schoenen vergelijkbare drukverlagingen ten opzichte van normale schoenen.

In de speciale forefoot off-loading schoen is de zool zo gemaakt dat de voorvoet en de tenen als het ware in de lucht zweven. Dat is een extreem geval, speciaal ontworpen voor het post-operatieve herstel bij diabetes patiënten. Minder extreme afrondingen van de zool kunnen ook drukverlichting teweeg brengen. Bus et al [3] beschrijft 12,3% verlaging van PPP door het aanbrengen van een eerdere of meer significante rocker of roller in orthopedische schoenen van neuropathische diabetische patiënten..

Chapman et al. [52] heeft systematisch de 3 relevante variabelen, apex-positie, apex-hoek en rocker hoek, van de rocker zool geëvalueerd bij 30 gezonde personen en 30 diabetici. Hij komt tot de conclusie dat de optimale apex hoek tussen 90 en 100° is. De optimale apex-positie en rocker hoek zijn echter sterk persoons-afhankelijk.



Figuur 3. Uit Chapman et al.[52] Ontwerp van afwikkeling

Schuifkrachten en wrijving

Naast verticale drukkrachten zijn horizontale schuifkrachten en wrijving ook een belangrijke factor in het ontstaan van ulcera bij diabetici [32, 53-55]. Scherer [53] vergelijkt de wrijvingscoëfficiënt van veel gebruikte materialen in droge en in bevochtigde toestand. De veelgebruikte toplaag-materialen hebben een wrijvingscoëfficiënt van tussen de 0,5 en 0,6 en deze wordt hoger als het materiaal vochtig wordt. Harde materialen als teflon en polyethyleen hebben een lagere wrijvingscoëfficiënt (0,16 en 0,3) die niet afhankelijk is van het vochtgehalte. Zie Tabel 6. Hij suggereert patches van dat gladde materiaal onder MTH 3, 4 en 5 om afschuifkrachten te verminderen.

Lavery et al.[32] heeft een speciale inlegzool ontwikkeld waarbij tussen 2 lagen van de zool een dubbele teflon-laag is geplaatst die met elastieken binders bij elkaar gehouden wordt. De teflon-laag heeft een lage wrijvingsweerstand en is tegelijkertijd zo dun dat die de verdeling van drukkrachten nauwelijks beïnvloedt. Hij toont aan dat daarmee de wrijvingskracht 57% wordt verlaagd en dat het 3,5 keer minder kans geeft op het ontstaan van ulcers [55]

Lo et al. [8] bepaalde de wrijvingscoëfficiënt en wrijvingshoek van enkele veelgebruikte materialen bij inlegzolen met een door henzelf ontwikkelde test-opstelling met en zonder sok. Hij vindt iets lagere wrijvingscoëfficiënten dan Scherer[53], die door de sok nog verder (met 0,1) worden verlaagd. Zijn wrijvingscoëfficiënt van plastazote zit in dezelfde orde-grootte als die van teflon.

Ook Sanders et al.[43] bepaalde de wrijvingscoëfficiënten van veelgebruikte materialen met en zonder sok bij verschillende krachten (1-4 N).

De resultaten zijn samengevat in Tabel 6. Opvallend zijn de uiteenlopende waarden die gevonden worden voor Plastazote. Dit kan komen doordat verschillende kwaliteiten Plastazote zijn getest of doordat er verschillende testmethoden zijn gebruikt.

TABEL 6. Literatuurgegevens wrijvingscoëfficiënten

Bron	Materiaal		Coefficient of Friction without sock	Average Coefficient of friction dry cotton sock	Average Coefficient of friction wet cotton sock
54	PTFE Low fraction interface	PTFE		0,16	0,16
54	Polyethylene	PE		0,3	0,3
54	Copolyester	Nylon		0,22	0,38
54	Copolyester	Nylon		0,31	0,41
54	Isoprene rubber	Isoprene		0,28	0,4
9	High Density EVA	cc EVA	0,37	0,24	
9	Nora Lunalight A	cc EVA	0,37	0,27	
9	Nora Lunairflex	cc EVA	0,44	0,35	
9	Nora Lunalastike	cc EVA	0,47	0,36	
9	Nora Lunairmed	cc EVA	0,54	0,39	
40	P-Cell (cc EVA)	cc EVA	0,69		0,55
40	LD45 pink Plastazote (cc PE)	cc PE	0,5		0,48
9	Plastazote	cc PE	0,32	0,22	
9	Pelite	cc PE	0,42	0,31	
54	Polyethylene foam brand A	cc PE		0,49	0,56
54	Polyethylene foam brand B	cc PE		0,51	0,48
54	Polyethylene foam brand C	cc PE		0,57	0,51
44	Medium Pelite	cc PE	0,73	0,6	
44	Regular Plastazote	cc PE	0,75	0,62	
44	Firm Plastazote	cc PE	0,8	0,64	
44	Nickelplast	cc PE+EVA	0,8	0,71	
44	Spenco	chloropren	0,69	0,69	
54	Polyurethane foam	PU		0,55	0,57
44	Poron	PU	0,74	0,79	
54	Rusette Leather			0,41	0,62
54	Calf skin			0,49	0,68
54	Moleskin			0,63	0,87

Conclusies literatuuronderzoek

1. Inlegzolen zijn effectief in het reduceren van piek plantair drukken (peak plantar pressures, PPP). Qua materiaal voldoen de commerciële materialen op basis van Ethyl-Vinyl-Acetaat (EVA), Polyurethaan (PU), en combinaties PU/PolyEthyleen (PE) en EVA/PE in vergelijkbare mate.
2. Er wordt geen eenduidige manier gebruikt om de compressie-karakteristieken van materialen weer te geven. Van belang lijken elasticiteit, schok absorberend vermogen, compressie-weerstand en blijvende vervorming (compression set). Deze kunnen op verschillende manieren worden gemeten en de resultaten kunnen op verschillende manieren worden weergegeven.
3. Indrukbaarheid hangt nauw samen met hardheid. De gemeten waarden zijn sterk afhankelijk van compressiesnelheid, initiële dikte, voorbelasting (cyclisch of temperatuur), meettemperatuur. In het algemeen lijken de geteste materialen te verharden door cyclische belasting of temperatuurbehandeling. De hardheid zegt niks over de blijvende vervorming.
4. Geteste EVA, PU en rubbers hebben betere schokdempingseigenschappen dan PE-schuimen
5. PU-schuimen en Chloroprene rubbers veren goed terug na langdurige en cyclische belasting, EVA's en PE-schuimen zijn minder duurzaam; vertonen eerder een blijvende vervorming. Een combinatie van EVA en PE (Nickelplast) is wel weer duurzamer.
6. Een vervroegde afwikkeling werkt drukverlagend. De vorm is hierbij bepalend.
7. Van een aantal materialen zijn wrijvingscoëfficiënten bepaald. Harde, gladde materialen als teflon en polyester hebben een lage wrijvingscoëfficiënt. Voor Plastazote zijn de gevonden waarden wisselend.

Interviews met het werkveld

Inleiding

Om meer inzicht te krijgen in de keuzes die gemaakt worden ten aanzien van het gebruik van materialen zijn er interviews gehouden met orthopedisch schoentechnologen of –technici (OST-ers) en materiaalleveranciers. Dit is gedaan in samenwerking met 2 studenten van Fontys in het kader van hun afstudeerproject. Hun afstudeerwerk richt zich met name op de overwegingen die de OST-ers maken ten aanzien van materiaalkeuzes op het gebied van respectievelijk ondersteuning en correctie van standsafwijkingen en verminderen van druk- en schuifkrachten.

In totaal zijn 14 interviews afgenomen met deelnemers uit 10 bedrijven. De selectie van de deelnemers komt voort uit een lijst van de kamer van koophandel, waarbij gekeken is naar connecties, spreiding over het land en grootte van het bedrijf. Daarnaast zijn 4 materiaalleveranciers geïnterviewd. De bevindingen uit deze laatste interviews staan in een aparte paragraaf aan het einde van dit hoofdstuk.

Doel van de interviews met de OST-ers is informatie verkrijgen over:

- De werkwijze van de orthopedische schoentechnoloog met betrekking tot materiaalkeuze
- De kennisbehoefte op het gebied van materialen en eigenschappen, dit is nodig om het uiteindelijke eindproduct te laten aansluiten bij de behoefte vanuit het werkveld

Vooraf is een interviewplan opgesteld met de werkwijze, achtergrondinformatie, interviewvragen, toestemmingsformulier en informatiebrief voor de deelnemers. Het werk van Wouters et al.[56] heeft hiertoe als leidraad gediend. De geïnterviewde bedrijven zijn verspreid over 6 provincies in Nederland. Er hebben 4 grote (>80 personeelsleden), 6 middelgrote (tussen 15 en 80 personeelsleden) en 4 kleine bedrijven deelgenomen. Participanten waren allen nog werkzaam in het vak in functies als maatnemer, hoofd productie, manager of directeur. Hun ervaring varieerde van 2,5 tot 38 jaar.

De interviews zijn bij de deelnemers op locatie afgenomen en opgenomen middels een voicerecorder. Interviews zijn telkens met twee personen afgenomen. Tijdens de interviews is doorgevraagd op basis van goed voorbereide topics. Er is geïnterviewd tot verzadiging. De interviews zijn woordelijk uitgeschreven en daarna gecodeerd en axiaal gecodeerd. Dit is door twee afstudeerders gezamenlijk gedaan in peer review. De bevindingen van de afstudeerders zijn gerapporteerd in hun afstudeerverslagen en er is een artikel over verschenen in het vakblad 'Orthopedische Techniek'[57] In dit werk zijn de interviews los hiervan gecodeerd omdat de onderzoeksvraag zich ook richt op welke materialen dan waarvoor gebruikt worden en de werkwijze en kennisbehoefte van de OST-er.

Werkwijze

Het aanmeten van een orthopedische schoen gaat in alle bedrijven op vergelijkbare wijze. De aanmeter, orthopedische schoentechnoloog of technicus doet een anamnese middels een gesprek en metingen. Hij analyseert de klacht, voeten, benen, bekken, rug, looppatroon en gewicht van de cliënt. Tevens be vraagt hij beroep, mate van activiteit en verwachtingspatroon. Dit gebeurt soms aan de hand van het NVOS-schoenprotocol[58] dat gerelateerd is aan ISO9999, ICF en Cliq, of aan de hand van daaraan gerelateerde zelf ontwikkelde protocollen.

Vervolgens worden de voeten opgemeten via blauwdruk, schuimafdruk, gipsafdruk of CAD/CAM scan. Dit gebeurt niet overal op dezelfde wijze. De manier van corrigeren van de voetstand en de mate van correctie kan per bedrijf en per maatnemer verschillen en is ook afhankelijk van de gebruikte methode. Soms is de gebruikte methode van aanmeten ook afhankelijk van de aandoening of andere beperkingen van de cliënt.

In het hoofd van de aanmeter vormt zich dan impliciet een beschoeiingsplan om de klachten te verminderen. Dit wordt met de cliënt besproken. Bij vrijwel alle bedrijven kunnen cliënten het type schoen kiezen uit een assortiment of zelf aanleveren.

De maatnemer vertaalt het beschoeiingsplan dat zich in zijn hoofd heeft gevormd vervolgens naar een instructie voor de werkplaats. Slechts in een enkel geval wordt de orthopedische voorziening volledig door de maatnemer zelf gemaakt (I3). De instructie voor de werkplaats omvat type schoen, type voorzieningen, afmetingen en materiaalkeuze. De laatste is vaak kwalitatief in termen van hard, stijf, dempend, waarbij de maatnemer daar zelf wel een beeld bij voor ogen heeft.

De voetafdruk wordt vervolgens vertaald naar een leest. Deze is veelal van hout, polyurethaan of van gips. Sommige bedrijven vervaardigen hun leesten zelf, anderen besteden dat uit. Op de leest worden meestal nog correcties aangebracht ten behoeve van de voorzieningen of van de pasvorm.

Vrijwel alle bedrijven werken met een doorzichtige passchoen, een folieschoen om te controleren of de pasvorm van de leest goed is. Sommige bedrijven werken daarnaast ook met proefschoenen. Dit zijn schoenen, veelal van voeringleer waarin alle voorzieningen aanwezig zijn, en waarop cliënten een aantal dagen binnenshuis kunnen lopen om te controleren of de pasvorm en voorzieningen naar wens zijn.

De voetbedden, omsluitingen en kokers worden nog wel in de werkplaats gemaakt. Schachten en onderwerk wordt uitbesteed naar bedrijven in het buitenland.

Vrijwel alle geïnterviewde deelnemers geven aan dat het managen van de verwachtingen van de cliënt erg belangrijk is. De cliënt moet begrijpen dat bepaalde functionaliteiten wellicht niet te combineren zijn met diens de esthetische, cosmetische of gewicht voorkeur. Als daar problemen te verwachten zijn moeten deze vooraf besproken en zoveel mogelijk opgelost worden zodat iedereen weet wat hem te wachten staat. Dat is de basis voor het afleveren van een schoenvoorziening die ook daadwerkelijk gedragen gaat worden en een tevreden cliënt.

Materiaalkeuze

De materiaalkeuze hangt direct samen met de cliënt, de aandoening, en de gekozen voorziening. Andere factoren die een rol spelen zijn de duurzaamheid, verwerkingseigenschappen van het materiaal, de prijs en leverbetrouwbaarheid en in veel mindere mate milieuvriendelijkheid. Onder duurzaamheid verstaat men in het algemeen de mate waarin het materiaal in staat is om gedurende de levensduur van de schoen zijn functie te blijven vervullen. De levensduur van een orthopedische schoen is verzekeringstechnisch gezien minimaal 15 maanden.

In de interviews worden meer dan 90 verschillende materialen genoemd, die worden toegepast in circa 40 genoemde verschillende schoenonderdelen of voorzieningen. Het assortiment aan beschikbare materialen wordt veelal bepaald door de maatnemers zelf, die daarbij afgaan op eigen ervaring met de materialen en informatie van de leveranciers. Wanneer leveranciers met nieuwe materialen komen, dan worden die proefondervindelijk getest, wanneer men denkt dat er behoefte aan is. In geen van de geïnterviewde bedrijven worden ingekochte materialen systematisch getest op eigenschappen. Dit gebeurt hooguit achteraf als problemen geconstateerd zijn.

Per voorziening/schoenonderdeel worden afhankelijk van de cliënt en de aandoening andere eisen aan het materiaal gesteld; vindt men andere eigenschappen belangrijk. In een aantal bedrijven wordt/is het materialenassortiment enigszins gestandaardiseerd. Dit betekent dat er per voorziening gekozen is voor een aantal standaard materialen, die zoveel mogelijk de range van gewenste eigenschappen voor die voorziening dekken. Dit wordt gedaan om voorraad te beperken en kosten-effectiever te werk te gaan. In die bedrijven wordt ernaar gestreefd om 80% van het werk met standaard materialen te produceren, 20% is gereserveerd voor speciale, complexe gevallen, die andere materialen vergen.

Cliëntfactoren die genoemd worden als zijnde van invloed zijn op de materiaalkeuze zijn: gewicht van de cliënt, mate en aard van bewegingsactiviteiten, beroep, kwetsbaarheid van de huid, sensibiliteitsproblemen, mobiliteitsproblemen en cosmetische wensen.

Verwerkingseigenschappen die genoemd worden zijn: vervormbaarheid bij verwarming, modelleerbaarheid, krimp, oventijd, oven temperatuur, afkoeltijd, schuurbaarheid, verlijmbaarheid, al dan niet opzuigen van lijm, afwerkbaarheid (rafelen), corrigeerbaarheid achteraf, arbeidsintensiviteit en al dan niet vrijkomen van schadelijke stoffen bij schuren (vezels, dampen). In het algemeen zullen nieuwe materialen sneller geprobeerd worden als ze passen in het werkpatroon dat men op de werkplaats gewend is.

Voor wat betreft lijmen wordt de voorkeur gegeven aan lijm met voldoende kleefkracht die in een dunne laag kan worden opgebracht, maar die ook weer losgehaald kan worden als het nodig is. Geen van de bedrijven geeft de gewenste kleefkracht weer in een getal. Sommige bedrijven passen oppervlaktebehandeling van materialen toe om lijmen beter te laten hechten, opruwen of een chemische oppervlaktebehandeling. De invloed van de lijm op de mechanische eigenschappen van het materiaal wordt door de meeste bedrijven wel onderkend. Lijm maakt het materiaal harder of stijver. Voor wat betreft keuze van de lijm wordt afgegaan op informatie van de leveranciers. Bij sommige bedrijven is er sprake van een lijmwijzer en meerdere soorten lijm, bij anderen is er weinig keus. Het loslaten van met name zolen is een geregeld voorkomende klacht.

Het gaat voor dit project te ver om alle genoemde schoenonderdelen en voorzieningen in detail te analyseren op gewenste eigenschappen en toegepaste materialen. Voor het overzicht heb zijn ze gegroepeerd in 4 categorieën, enkelomsluiting, voetbed, afwikkeling en schacht.

Enkelomsluiting

De enkelomsluiting wordt toegepast om de stabiliteit van de cliënt te verbeteren, om pijn en druk op het enkelgewricht te ontlasten, voetstand te corrigeren of om de voet goed achterin de schoen te houden en zo afschuifkrachten in de voorvoet te verminderen.

Onder de voorzieningen voor de enkelomsluiting vallen de enkel-voet orthese (EVO), Peroneusveer, koker, arthrodese koker, hoffa, ezelsoor, keerwand, beugelconstructie, contrefort, hoge schacht, halfhoge schoen, schachtversteving.

De belangrijkste eigenschap van de enkelomsluiting is stijfheid in combinatie met afdoende comfort voor de hiel en enkel. Natuurlijk is de pasvorm hierbij ook van belang en heeft de keuze van de sluiting ook invloed. Verschillende gradaties in stijfheid worden verkregen door verschillende combinaties van materialen toe te passen. Meestal is er in het buitenleer van de schacht een aan een leest gevormd hard of stijf materiaal dat de basis stijfheid verzorgt met aan de binnenkant één of meerdere verende, dempende of polsterende materialen die voor het draagcomfort moeten zorgen. De uiteindelijke stijfheid wordt bepaald door de combinatie van de toegepaste materialen waarbij dikte en ook lijmlagen een rol spelen. In Tabel 7 is uitgezet welke materialen genoemd zijn, zoveel mogelijk geordend naar oplopende stijfheid.

Extra stijfheid wordt veelal verkregen door meerdere lagen te gebruiken van hetzelfde materiaal. Hierbij is er een afweging tussen dikte, cosmetiek en gewicht versus materiaalstijfheid.

TABEL 7. Materialen genoemd in enkel-omsluitingen

Enkelomsluitingen			
Referentie	Materiaal voor verstijving	Referentie	Materiaal voor comfort
I7, I11	MO	I4	Poro 30/60 shore
I2, I4, I10, I12	Koolstof	I10	Polyform
I11, I12	Koolstoflaminaat/acrylhars	I6	Plastazote
I2, I4, I8	polypropyleen	I1, I4, I9	Voering (rundsleer)
I9	Corit	I4	Dumocel
I4	Crocit		
I6	Cutaniem		
I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I10, I12, I7, I6	Renoflex		
	Ercoflex/renoflex		
I3, I5, I7, I9, I11, I12	Ercoflex		
I2	Plastiflex		
I4	Interflex		
I3	Cast		
I6	Formo		
I6	Thermo200		
I6	Prix		
I4, I6, I9	Poro		
I1	Leer		

Voetbed, steunzool, bodemprofiel

Veel aandacht gaat uit naar het voetbed. Het voetbed moet zorgen voor stabiliteit, moet druk (her-)verdelen en daarmee pijn verlichten, moet geprononceerde botdelen accommoderen en pijnlijke plekken of wonden ontzien en het moet eventueel transpiratievocht opnemen.

Onder de voorzieningen voor het voetbed vallen afdekzooltjes, afdeklaagje, dekzooltje, deklaagje, binnenzool, cambreurdek, zoolverstijving, cambreur, bodemprofiel, steunzool, voetbed, opbouw, transversaalsteun, retrocapitaalsteun, pelotte.

De belangrijkste eigenschap van het voetbed is de pasvorm. Deze wordt bepaald aan de hand van de aandoeningen van de cliënt, waarbij het vaak noodzakelijk is om plaatselijk uitsparingen of verhogingen aan te brengen om voetdelen te ontlasten of extra opdruk te geven. De gebruikte materialen moeten stabiliteit geven, hun vormvastheid behouden, schok dempen, terugveren, zacht aanvoelen en vocht opnemen.

Hiervoor worden per voetbed meestal 3 tot 5 verschillende materialen gebruikt. De onderlaag zorgt voor de stabiliteit en vormvastheid, en is bij veel bedrijven kurk, want dat is makkelijk verwerkbaar. De tussenlaag moet vaak schokdempend en verend zijn. Dit is bij veel bedrijven PPT, maar ook EVA, microkurk, en multiform worden daar genoemd. Ook extra verhogingen of uitsparingen worden vaak van verend materiaal gemaakt of ermee opgevuld, waarbij het belangrijk is dat het materiaal goed terugveert naar de oorspronkelijke vorm. In de toplaag is veel variatie afhankelijk van de specifieke eigenschappen die nog noodzakelijk zijn. Voor extra accommodatie wordt vaak Plastazote gebruikt, dat het voordeel heeft dat het glad wordt. Voor kwetsbare voeten worden vaak hele zachte materialen gekozen, hoewel er ook bedrijven zijn die juist zo min mogelijk zachte materialen gebruiken. Voor extra vochtopname of anti-allergene werking zijn andere materialen in omloop. In Tabel 8 staat een overzicht van gebruikte materialen.

TABEL 8. Materialen gebruikt in voetbedden

Voetbedden			
Referentie	Opbouw materiaal	Referentie	Materiaal voor zoolverstijving
I1, I4, I5, I6, I8, I10, I12	Kurk	I7, I10	koolstof
I5	Perskurk	I4, I5, I9	Thermo 200/100
I4, I6, I10	Poro	I5	Thermofix
I6, I10	Rubber	I5	Renoflex
I4	Microkurk	I4	Tep
I5	Polyform		
I5, I8, I12	birkobakjes		

Voetbedden			
Referentie	Materiaal voor polstering	Referentie	Materiaal voor afdeklaag
I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I12	PPT	I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I10, I12	Plastazote
I3, I7, I8, I9	EVA	I1, I5	EVA
I3, I9	Diatec	I5, I6	Microkurk
I6, I10	Polyform	I3, I5, I9	leer
I1, I2, I5, I6, I10	Multiform	I4	antitranspiratie-laag
I4, I5, I9	X2	I1	antibacterieel-laag
I6	Dumocel	I8, I9, I11	Alcantara
I10	Prefab pelotte grijze nr.11	I4, I9, I10	leer plantaardig geloid zonder chroom (anti-allergeen), Ecopel
I3	Poron	I9	Dryfeet
I12	Ricospons	I1, I4, I5, I9, I12	Multiform (Tepafoam)
		I5, I10	X2
		I4	Kunstleer
		I1	v-pot
		I7	Skyver
		I5	letex
		I4	Cambrella
		I4	Thermolast 30
		I5	PPT
		I4	polyprop (tegen schuiven)
		I12	Ricospons

Afwikkeling, afronding, schoring, wig

Een afwikkeling, afronding, schoring of wig wordt toegepast om stand te corrigeren, lopen te vergemakkelijken, of de enkel of voet bij het lopen te ontzien.

Onder deze voorzieningen worden gerekend: afgeronde hak, afronding, afwikkeling, wig, schoring, hakbuffering, hakschoring.

De belangrijkste eigenschap van deze voorzieningen is vormvastheid onder druk, waarbij soms ook schokdemping noodzakelijk is. In combinatie met de specifieke vorm van de constructie zorgen ze voor de vereiste standscorrectie of afwikkeling. De gebruikte materialen moeten een zekere hardheid hebben, gecombineerd met een grote terugveerkracht en gemakkelijk schuurbaar zijn in de juiste vorm. De afwikkeling wordt soms in het voetbed verwerkt, en soms in het onderwerk. Dit is afhankelijk van de mogelijkheden bij het gekozen schoentype en cosmetische wensen en eisen. In de interviews genoemde materialen voor deze voorzieningen staan weergegeven in Tabel 9.

Sommigen [I3] noemen vroegtijdig vervormen, wegdrukken van de afwikkeling als materiaalprobleem.

TABEL 9. Materialen gebruikt voor afwikkeling

Afwikkeling			
Referentie	zool	Referentie	supplement
I9	Astral	I5, I6, I10	Kurk
I11	Astro Light	I6, I10, I12	Rubber
I4, I11	Vibram	I5	Balsahout
	Nylon	I3, I4, I5, I7, I9	EVA 60/70
		I7, I9, I10, I12	Poro
		I4	Bigspy
		I1	Conticel
		I7	Leer

Schacht

De schacht is de buitenkant en het gezicht van de schoen. Ze dient om voet en enkel te beschermen en schoenvoorzieningen te omkleden.

Onder de schacht reken ik ook sluitingen en tong.

De belangrijkste eigenschap van de schacht is cosmetiek. Het moet er mooi uitzien. Daarnaast draagt de soepelheid van het materiaal erg bij tot het draagcomfort. Voor bepaalde typen aandoeningen, zoals bijvoorbeeld hamertenen worden specifieke eisen aan de schacht gesteld. Genoemd worden vermijden van stiknaden, aanbrengen van tongpolsteringen, specifieke eisen aan inschot-openingen of type sluitingen en veters. Schachten worden vrijwel uitsluitend van leer gemaakt. Voor tongpolstering worden dezelfde polstermaterialen gebruikt als bij het voetbed, met name PPT.

Schachten en onderwerk worden vrijwel niet meer in Nederland gemaakt. Het werk wordt uitbesteed naar bedrijven die het laten maken in Portugal, Litouwen of de Filipijnen.

Behoeften ten aanzien van materiaaleigenschappen

Bij de geïnterviewde deelnemers was de behoefte ten aanzien van materiaaleigenschappen wisselend. Sommigen gaven aan behoefte te hebben aan meer orde in het woud van verschillende merknamen, zodat materialen van verschillende leveranciers makkelijker te vergelijken zijn. Een deelnemer wil hiervoor graag een sticker op het materiaal, met daarop chemische naam en belangrijkste fysische eigenschappen. Deze behoefte ontstaat ook in het kader van de standaardisatie waarbij materialen met vergelijkbare eigenschappen worden vervangen door één materiaal, al wordt dat meestal toch op basis van ervaring en uitproberen gedaan. Een enkele deelnemer heeft behoefte aan meer inzicht in de toepasbaarheid van verschillende materialen.

Er zijn echter ook deelnemers die helemaal geen behoefte hebben aan betere kwantificering van materiaaleigenschappen; ze weten toch welk materiaal ze voor wat moeten gebruiken. Deze mensen hebben eerder behoefte aan nieuwe materialen die dezelfde kwaliteit leveren tegen lagere kosten of levertijd of die nieuwe, betere combinaties van eigenschappen hebben. Het beter weten wat de huidige eigenschappen dan zijn is een eerste stap in die richting. Al wordt dat niet door alle deelnemers als zodanig onderkend.

Interviews met materiaal leveranciers

In totaal hebben 4 materiaalleveranciers deelgenomen aan een interview. Twee van deze bedrijven zijn naast leverancier ook nauw betrokken bij de productie van de materialen. Eén bedrijf verzorgt in opdracht van OST-bedrijven de productie in Aziatische landen en één1 bedrijf is een puur handelsbedrijf is. Doel van de interviews is informatie verkrijgen over:

- wat de kennis is van de materiaalleverancier ten aanzien van de behoefte van het werkveld
- welke materialen worden gebruikt voor welke functie, zijn eigenschappen bekend en wordt er iets aan gemeten
- de kennisbehoefte op het gebied van materialen en eigenschappen

De geïnterviewden geven aan goed te weten wat er speelt in het werkveld ten aanzien van wensen en eisen van afnemers. Afhankelijk van de betrokkenheid bij de productie van de materialen is er meer kennis van materiaaleigenschappen.

Eén bedrijf geeft aan zelf actief nieuwe materialen te ontwikkelen met betere eigenschappen. Dit heeft met name betrekking op de eigenschappen in de verwerking van het materiaal. Eigenschappen waar op getest worden zijn krimp, vormbehoud en vormstabiliteit (testzolen), compression set, oventemperatuur en oventijd, verlijmbaarheid, en gevoelstemperatuur van het materiaal bij vervormen. Dit bedrijf geeft ook in haar catalogus de meest uitgebreide informatie over materialen: soortelijk gewicht, hardheid, thermoplasticiteit, herstelvermogen, schokreductie, stijfheid, scheursterkte en slijtweerstand.

Het andere geïnterviewde bedrijf dat nauwer betrokken is bij de productie levert met name aan groothandelaren. Het bedrijf is betrokken geweest bij het definiëren van de specificaties van een carbon-materiaal, maar test deze specificaties verder niet. Het heeft de beschikking over ruimte en apparatuur om verwerkingseigenschappen van materialen te testen.

Het bedrijf dat in opdracht produceert, koopt daarvoor ook de eigen materialen in. Voor leer en zoolmateriaal zijn daarvoor kwaliteitsstandaarden opgezet, voor inlegzoolmaterialen en verstevigingsmaterialen niet. Daarvan wordt gezegd: “we werken daar met bekende materialen, we weten wat die materialen doen”. Deze materialen worden verder niet aan fysische testen onderworpen. De verantwoordelijkheid voor de keuze van het materiaal per voorziening ligt bij de opdrachtgever. Wel geeft dit bedrijf aan daar ook in te adviseren, vanuit de eigen expertise.

Het groothandelsbedrijf heeft op haar website van enkele materialen wel meer achtergrondinformatie in de vorm van datasheets, toegankelijk via een inlogcode. Dit bedrijf besteedt met name aandacht aan inspelen op de klantbehoefte door het uitgebreide assortiment, snelle levertijd en het leveren van

voorgestante vormen. De ingekochte materialen worden niet getest op fysische eigenschappen, alleen visueel gecontroleerd. Bij problemen of klachten wordt contact gezocht met de producent van de materialen.

Concluderend kan gezegd worden dat de kwantitatieve kennis van materiaaleigenschappen bij de geïnterviewde leveranciers wisselend is. Deze is sterk afhankelijk van hoeveel invloed ze hebben op de productie van materialen. Buiten het productieproces wordt er door de leveranciers nauwelijks iets gemeten aan materialen. De indruk is dat dit niet als een gemis wordt ervaren, omdat er vanuit de afnemers niet specifiek om deze kwantitatieve kennis wordt gevraagd. De bij deze leveranciers vergaarde informatie over eigenschappen van materialen is opgenomen in de database.

Conclusies interviews

Materiaalkeuze wordt bepaald door de maatnemer op basis van cliënt, aandoening en gekozen voorziening. De keuze is voornamelijk gebaseerd op ervaring en kwalitatieve kennis van de materiaaleigenschappen. Andere factoren die een rol spelen zijn de duurzaamheid, verwerkingseigenschappen van het materiaal, de prijs en leverbetrouwbaarheid en in veel mindere mate milieuvriendelijkheid.

Voor stabiliteit, ondersteunen en corrigeren is de belangrijkste eigenschap stijfheid/buigbaarheid in combinatie met voldoende comfort. Dit wordt bereikt door verschillende gradaties hardere, stijvere materialen te combineren met polstermaterialen, die indrukbaar moeten zijn en terug moeten veren naar hun oorspronkelijke vorm. Meest genoemde verstevigingsmaterialen zijn Erkoflex, Rhenoflex (vezelversterkte polymeren) en Carbon (koolstof-acrylaathars). Meest genoemde polstermateriaal is PPT (een PU-schuim). PPT wordt toegepast als polstermateriaal omdat het goed veert, goed dempt en zijn dempingskracht behoudt. Nadeel is dat het kwetsbaar is en dus afgedekt moet worden tegen beschadiging.

Voor het voetbed is de belangrijkste eigenschap de pasvorm. Gebruikte materialen moeten naast vorm accepteren en een bepaalde stijfheid waarborgen, ook schok dempen, terugveren, zacht aanvoelen en vocht opnemen. Dit wordt bereikt door combinaties van 3 tot 5 materialen, die elk een andere functie uitoefenen: Verstijven, opbouwen, polsteren, afdekken of extra vormaccepteren. Meest genoemde opbouwmaterialen zijn Kurk, EVA, Multifoam. De belangrijkste eigenschap die aan kurk wordt toegedicht wordt is vormvastheid, met een matige demping. Meest genoemd vormaccepterend materiaal is Plastazote (een PE-schuim). Plastazote wordt toegepast als vormaccepterend materiaal omdat het makkelijk indrukt en zich vormt naar de voet. Als voordeel wordt ook genoemd dat het huidvriendelijk is, tegen de huid gebruikt kan worden en een glad oppervlak heeft, wat gunstig is ter voorkoming van afschuifkrachten. Nadeel is dat het weinig dempt; als het eenmaal ingedrukt is, veert het niet terug. EVA zit, mede afhankelijk van de gekozen hardheid, voor wat betreft eigenschappen een beetje tussen PPT en Plastazote in. Het is enigszins indrukbaar, en komt enigszins terug. Er is een brede range aan afdekmaterialen, waarbij ook kleur en print een belangrijke rol spelen.

Voor de afwikkeling is de belangrijkste eigenschap vormvastheid bij compressie. Hiervoor wordt opbouw of zoolmateriaal in de juiste vorm geslepen of geschuurd. Veelgebruikt zoolmaterialen zijn rubber en Poro. Rubber is over het algemeen stugger en zwaarder dan EVA en PPT. Belangrijke eigenschappen zijn schokdemping en slijtvastheid.

De schacht beschermt en heeft met name een cosmetische functie. Keuze wordt in belangrijke mate door de cliënt bepaald, waarbij voor sommige aandoeningen restricties gelden in wat mogelijk is. Het maken van schachten en onderwerk wordt uitbesteed. Materiaal is veelal leer.

De behoefte aan meer kwantitatieve kennis van materiaaleigenschappen is wisselend. Sommigen hebben behoefte aan meer materialenkennis, anderen alleen aan betere materialen of materialen met vergelijkbare eigenschappen tegen een lagere prijs. Maar hiervoor is het ook noodzakelijk de eigenschappen beter te definiëren.

Materiaaltesten

Uit voorgaande hoofdstukken kan geconcludeerd worden dat voor de in de OST gebruikte materialen de volgende eigenschappen van belang zijn:

1. Soortelijk gewicht
2. Compressiesterkte
3. Schokabsorptie
4. Blijvende vervorming (Compression set)
5. Buigsterkte en Torsiesterkte
6. Scheursterkte
7. Wrijving
8. Slijtweerstand
9. Vochtopname of doorlaatbaarheid

Deze kunnen afhankelijk zijn van de dikte van het materiaal, temperatuur, vochtgehalte en aard en mate van cyclische belasting.

Daarnaast zijn van belang de verwerkingseigenschappen:

10. Thermoplastisch vervormbaar bij temperaturen tussen
11. Oventijd
12. Afkoeltijd
13. Krimp
14. Schuurbaarheid
15. Voorbewerking voor lijmen en lijm mogelijkheden
16. Additioneel noodzakelijke maatregelen (afzuiging e.d.)

Afhankelijk van de toepassing zijn bepaalde materiaaleigenschappen meer of minder belangrijk. Voor voetbed materialen zijn voornamelijk compressiesterkte, blijvende indrukking (compression set), wrijving, vochtopname en schokabsorptie van belang. Voor enkelomsluitingen en verstijvingen zijn buigsterkte, torsiesterkte en scheursterkte van belang. Voor zoolmaterialen zou gelet moeten worden op slijtweerstand en schokabsorptie, maar ook op buigsterkte en torsiesterkte.

De 10 meest gebruikte materialen uit de interviews zijn:

1. PPT
2. Plastazote
3. EVA 30
4. EVA 60
5. Multiform
6. Poro
7. Kurk
8. Microkurk
9. Erkoflex
10. Rhenoflex

De materialen en de eigenschappen zijn geëvalueerd in de expertgroep meeting van 6 juli 2015. Een behoorlijk discussiepunt bij het meten van materiaaleigenschappen is de uitvoeringsvorm van de meting in relatie tussen de relevantie van het meetresultaat. Voor de relevantie van het meetresultaat wordt idealiter gezocht naar de eigenschappen van het product in zijn finale vorm. Echter dit heeft zo veel variabele parameters dat het daardoor moeilijk wordt om producten met elkaar te vergelijken en eenduidig vast te leggen welke parameter verantwoordelijk is voor geconstateerde verschillen. Dit zou

ondervangen kunnen worden door een 'standaard'-vorm waarin alleen 1 materiaal-soort verandert. Maar welke vorm moet dat dan zijn? En wat zegt dat over de toepassing van de op deze wijze geteste materialen in een andere vorm? Omdat hierover geen consensus bereikt kon worden, is ervoor gekozen om de materialen in eerste instantie als plaat materiaal te meten. Hoewel eigenschappen in bewerking en in een opgesloten ruimte als de schoen en na een vervorming of in combinatie met andere materialen kunnen veranderen, is ervoor gekozen om daar bij de samenstelling van de eerste database gegevens geen rekening mee te houden. Mogelijk kan in de toekomst het gedrag in meer complexere vormen of combinaties worden voorspeld op basis van deze gemeten eigenschappen bijvoorbeeld middels simulatieberekeningen of via empirisch te bepalen relaties.

Er is een meetplan opgesteld waarmee zoveel mogelijk van de genoemde eigenschappen voor de geselecteerde materialen bepaald kunnen worden ("MEETPLAN Project Materialenonderzoek OST.docx"). Voor elke meetgrootte is gezocht naar een passende ISO-standaard om de meetmethode te standaardiseren en te kunnen vergelijken met andere meetwaarden in de literatuur. Bijkomend voordeel van werken volgens een ISO-standaard is dat de referentie naar de meetmethode eenduidig en helder is en weinig verdere uitleg behoeft. Een nadeel van het gebruik van ISO-standaarden kan zijn dat de opgegeven meetcondities buiten de range kunnen liggen waarvoor het materiaal in de OST wordt gebruikt. Een voorbeeld hiervan is de bepaling van de rest indrukking, waar de ISO standaard voorschrijft het materiaal gedurende 24 uur tot 25% van zijn oorspronkelijke dikte ingedrukt te houden. In de praktijk worden de meeste materialen niet zo zwaar belast. Een overzicht van meetgrootheden en daaraan gerelateerde ISO-standaarden is weergegeven in Tabel 10.

TABEL 10. ISO-standaarden voor relevante meetgrootheden

Nr.	Grootte				
1	SG of dichtheid	ISO 2781	DIN EN ISO 845	DIN 53479	
2a.	Hardheid	ISO 7619-1	ISO 2439:2008	DIN 53505	
2b.	Compressie Curves	DIN EN ISO 3386	ISO 11752	ISO 20865	
3	Schokabsorptie	ISO 4662	DIN EN ISO 4651	DIN 53512	ASTM F1614-06
4	Herstelvermogen (Compression set)	ISO 815	ISO 1856:2000	DIN 53517	ISO 13362
5a.	Stijfheid-Teksterkte				
5b.	Stijfheid-Buigsterkte	ISO 1432			
6	Scheursterkte	ISO 34-1			
7	Wrijving	ISO 22653	ISO 15113	ISO 8295	
8	Slijtwearstand	ISO 4649	ISO 20868	DIN 53516	
9a.	Waterdamp doorlaatbaarheid	ISO 1663			
9b.	Water opname / afstoting	ISO 1420	ISO 2896		
	Kruip	ISO 7850			
	Thermische geleiding	ISO 8301	ISO 8302	ISO 8497	

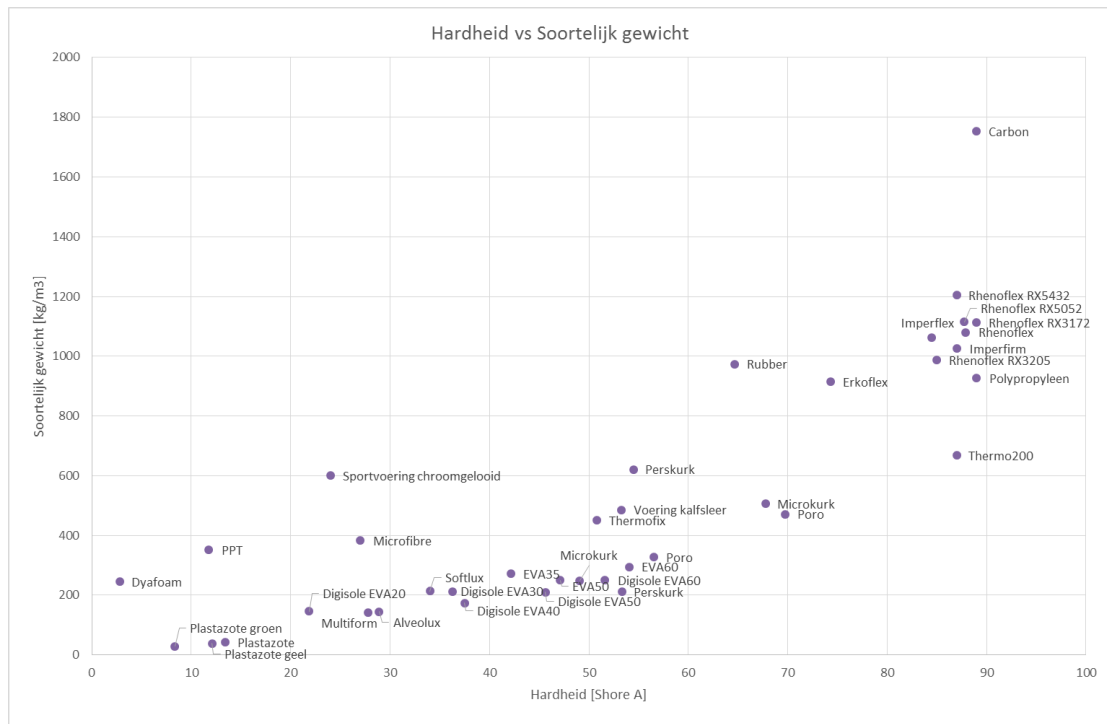
Er is ook een overkoepelende standaard voor Cellular plastics Polyethylene: DIN EN ISO 7214.

Een deel van de metingen is uitgevoerd bij Fontys Engineering (1, 2a., 2b., 4, 5a. en 5b.) en een deel is uitbesteed aan het Pirmasens Forschungs Institut in Duitsland (3 en 8). Daarnaast zijn er nog metingen gedaan voor en na cyclische belasting om de duurzaamheid van materialen na veelvuldig gebruik te kunnen bepalen. Metingen 6, 7 en 9 zijn doorgeschoven naar een eventueel vervolgproject.

De details van de meetmethoden en de resultaten van de metingen zijn weergegeven in het Rapport Materiaalmetingen. In Bijlage 2 en de volgende paragraaf zijn de meetresultaten samengevat.

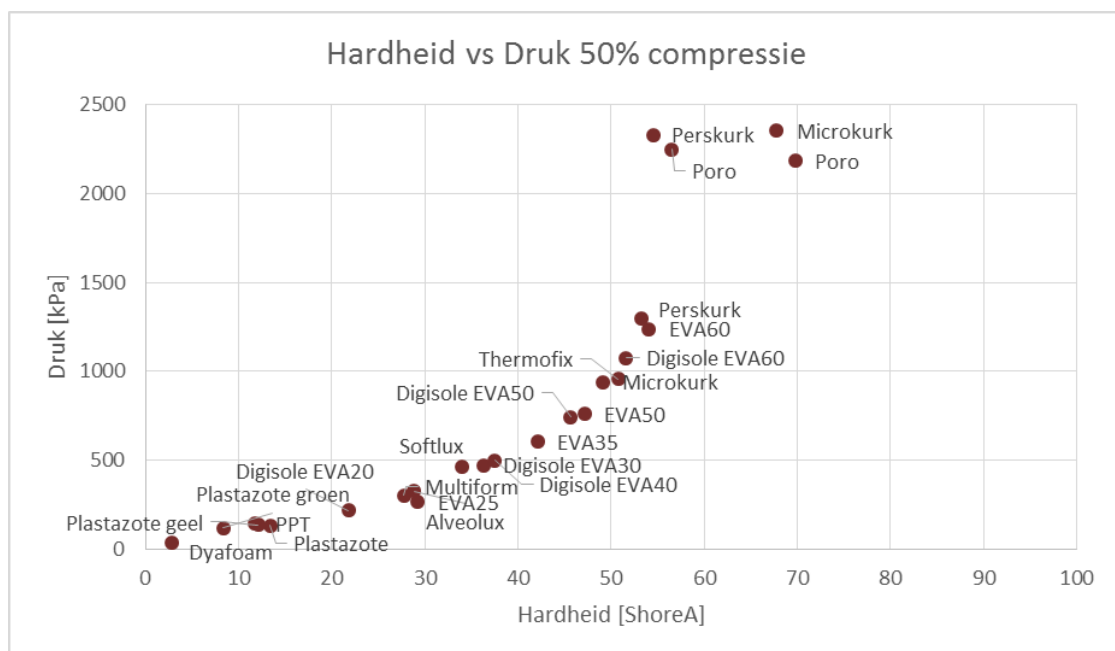
Resultaten van Materiaalmetingen

In totaal waren er 39 verschillende materialen beschikbaar voor een of meerdere testen en zijn er 10 verschillende materiaaltesten uitgevoerd. In de praktijk is hardheid veelal de meest gebruikte eigenschap om een materiaal op te selecteren. In navolgende grafieken wordt duidelijk hoe hardheid correleert met andere belangrijke eigenschappen van veelgebruikte materialen.



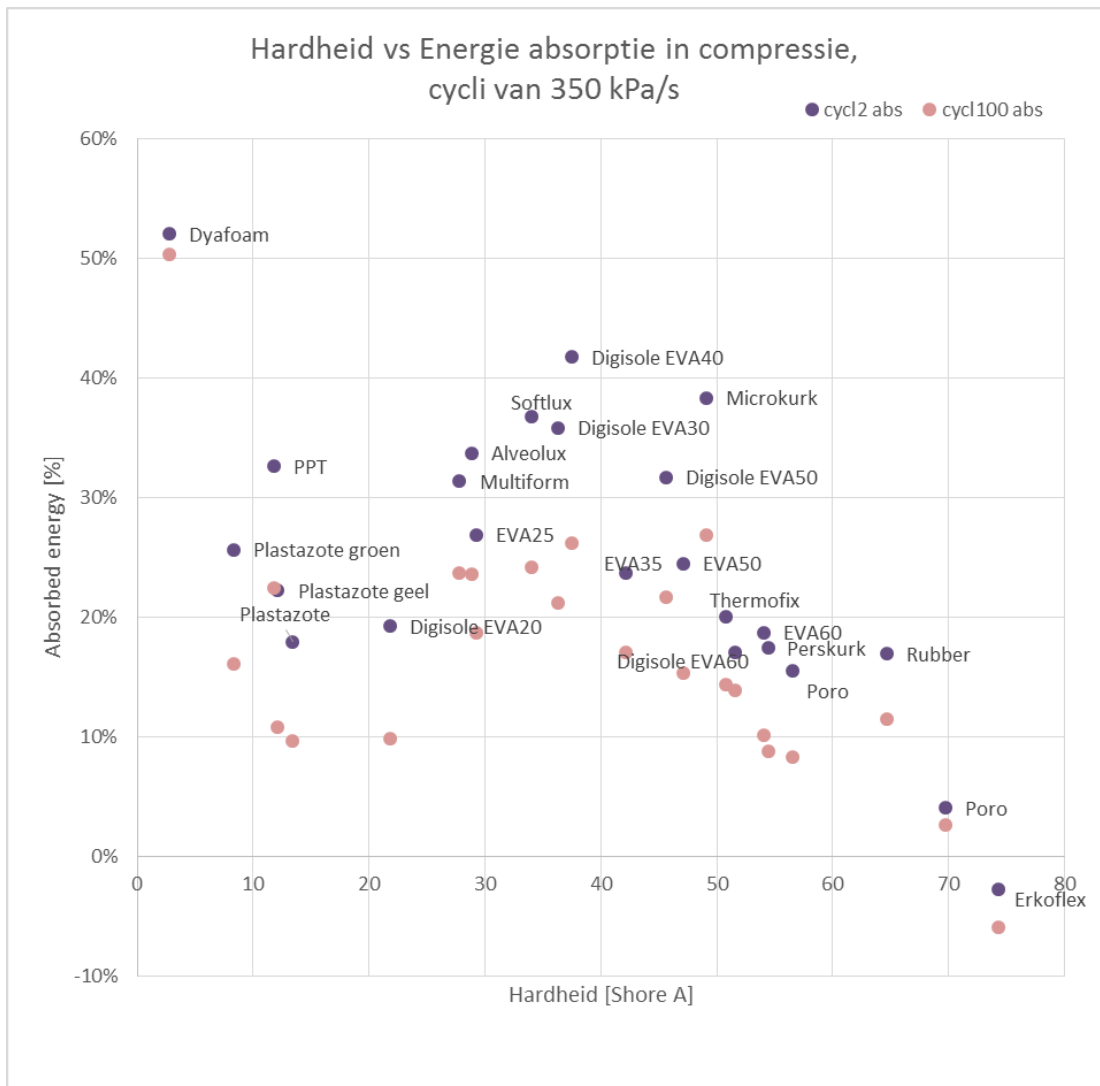
Figuur 4. Soortelijk gewicht vs Shore Hardheid

In het algemeen zijn zachtere materialen ook lichter van gewicht, hoewel de polyurethaan schuimen (PPT en Dyafoam/Poron/X2) en de geteste voeringmaterialen hierop een uitzondering vormen.

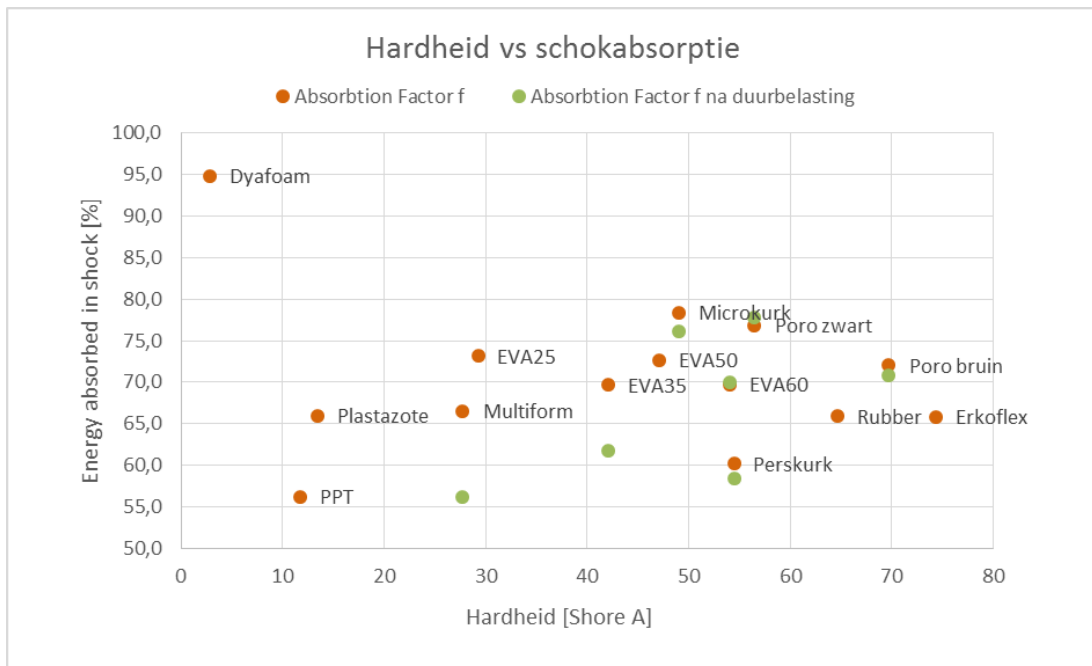


Figuur 5. Druk vs Shore Hardheid

Hardheid correleert heel aardig met de hoeveelheid druk benodigd voor 50% compressie. De relatie is niet lineair.

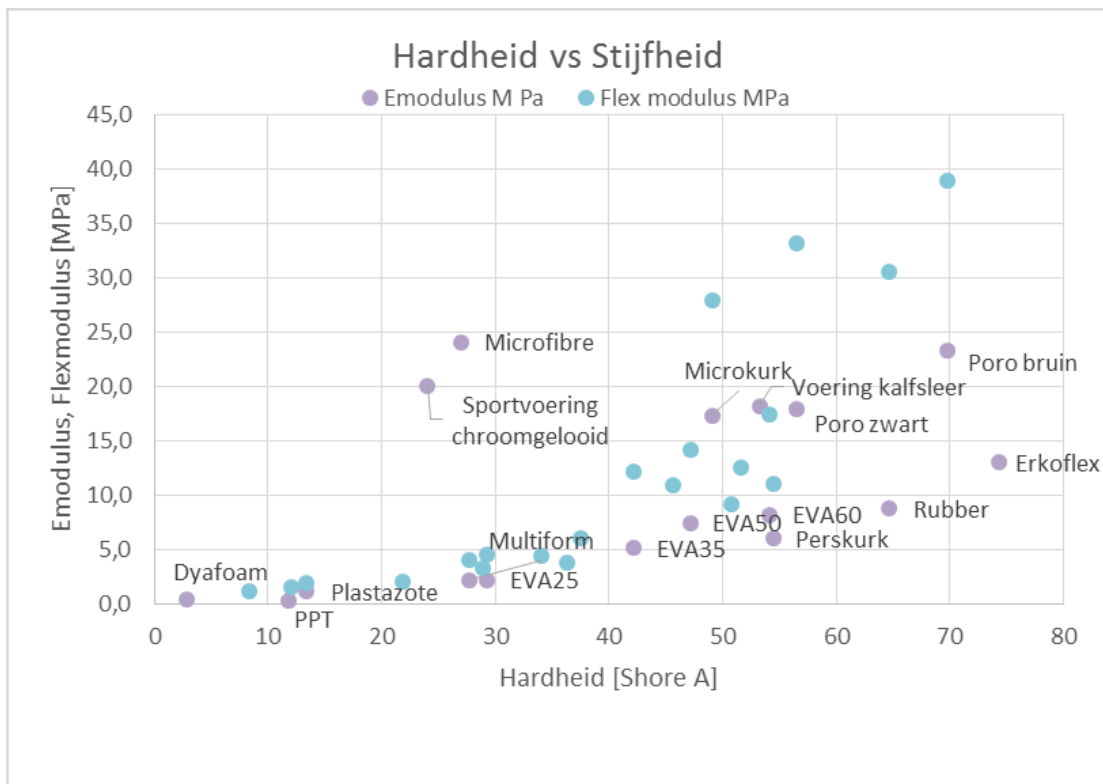


Figuur 6. Netto geabsorbeerde energie in compressie vs Shore Hardheid. Getoond zijn waarden van de 2^{de} cyclus en de 100^{ste} cyclus van indrukking met 350 kPa/s



Figuur 7. Netto geabsorbeerde energie in schok-proef vs Shore Hardheid

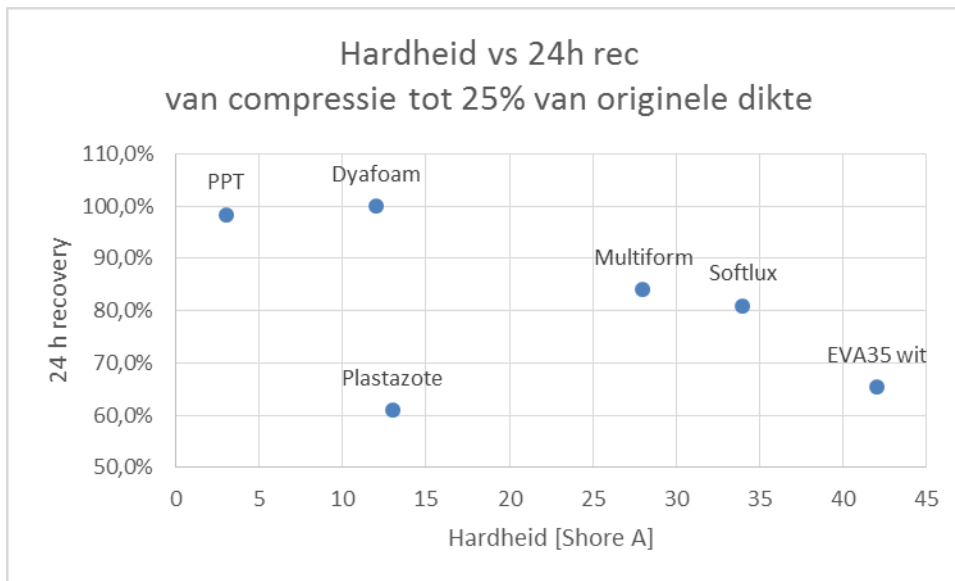
Er is geen eenduidige relatie tussen materiaal hardheid en energie-absorptie in compressie. Dit geldt zowel voor de cyclische compressie als voor de schok energie-absorptie. Cyclische compressie geeft voor alle geteste materialen een verslechtering van hun energie-absorptiecapaciteit.



Figuur 8. Stijfheid (Emodulus en Flexmodulus) vs Shore Hardheid

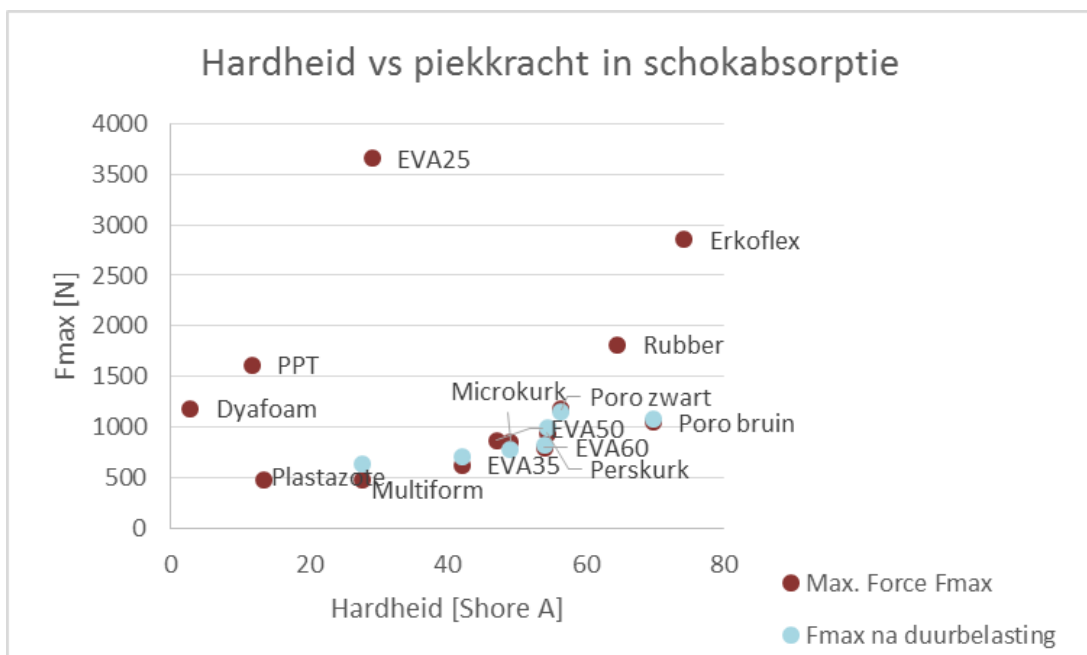
Er lijkt wel een relatie tussen gemeten hardheid en stijfheid voor de minder stijve materialen, wederom met uitzondering van 2 voeringmaterialen. Echter, de harde verstevigingsmaterialen waarvoor stijfheid met name van belang is, zoals Rhenoflex, Carbon en Polypropyleen vallen buiten

de hier getoonde schaal (buigbaarheidsmodulus 1,000-930,000 MPa). Shore A hardheidsmetingen zijn voor deze harde materialen ook eigenlijk niet van toepassing.



Figuur 9. Restindrukking in % na 24 uur hersteltijd van 24 uur compressie tot 25% van originele dikte vs Shore Hardheid

Volgens deze metingen is hardheid niet direct een maat voor herstel na langdurige indrukking.



Figuur 10. Piekkracht in schokabsorptie vs Shore Hardheid. Getoond zijn waarden vóór en na duurbelasting van 10.000 cycli van 400 kPa.

Daarnaast geven deze metingen geen eenduidige relatie tussen hardheid en maximale kracht in schok. Dat laatste wordt misschien veroorzaakt door bottom-out effecten bij de zachte materialen EVA25, PPT en Dyafoam. Een onderzoek naar schokabsorptie van deze materialen bij grotere diktes zou hierin uitsluitsel kunnen geven.

Middels de metingen is veel kwantitatieve informatie beschikbaar gekomen over de eigenschappen van veel gebruikte materialen in OST. Deze is waar mogelijk vergeleken met waarden beschikbaar uit datasheets van leveranciers. Hieruit blijkt dat de gemeten waarden veelal vergelijkbaar zijn, wat vertrouwen geeft ten aanzien van de validiteit van de meetresultaten.

Benadrukt moet worden dat deze metingen een eerste aanzet zijn tot het krijgen van meer kwantitatief inzicht in materiaaleigenschappen. De uitvoering van de experimentele testen kan op een aantal vlakken verder geoptimaliseerd worden, zodat in de toekomst meer nauwkeurige resultaten worden verkregen van meer verschillende materialen. Reeds gedane metingen kunnen in meervoud worden uitgevoerd, bij verschillende materiaaldiktes, bij verschillende temperaturen of vochtigheidsgraden en bij materialen die nu nog niet gemeten zijn. Ook kan gekeken worden naar effecten van materiaalbewerking (verwarmen, vervormen) op eigenschappen en het gedrag van lagen van verschillende materialen. Mogelijk kan een relatie gelegd worden met de eigenschappen van de individuele materialen waaruit de lagen zijn opgebouwd. Daarnaast zijn er een heleboel eigenschappen nog niet gemeten die ook van belang zijn, zoals bijvoorbeeld de verwerkingseigenschappen en het effect van lijmen. Hiervoor zullen vervolgprojecten gedefinieerd moeten worden. De gemeten data zijn opgenomen in de database van materiaaleigenschappen.

Constructie van de database

De database van materiaaleigenschappen is opgezet als een grote Excel-file met de materialen en eigenschappen verkregen uit metingen en uit datasheets verkrijgbaar via leveranciers en via internet. Als bronnen zijn gebruikt de materialen genoemd in de interviews, catalogi van Puzo, HJ van Drunen, Dumco, WPD/Medical Leather, Frecoma, Schinsleder, Jan Van Velden, Nora, Choose Your Shoes, de CES Edupak 2015 en datasheets afkomstig van Rogers Corporation (Poron), Zotefoams (Plastazote), Resogoo en Sorbothane. Er is getracht om van de materialen zoveel mogelijk te achterhalen wat de chemische samenstelling is, wie de leverancier is en wie de producent van het materiaal is. Dat is niet voor alle materialen mogelijk gebleken. Zo is nog onduidelijk wat Multiform/Alveolux voor een materiaal is en of Poro een rubber is. Complicerende bijkomstigheid is dat sommige materiaalnamen in veel verschillende kwaliteiten blijken voor te komen. Zo zijn er meer dan 28 Plastazotes van uiteenlopende dichtheden en eigenschappen en ook Poron (Dyafoam/X2) is er in veel verschillende kwaliteiten. Het is niet altijd duidelijk welke kwaliteit nu in de OST-praktijk wordt gebruikt en wordt bedoeld. Waar meerdere gegevens beschikbaar zijn, zijn deze alle opgenomen in de database. Van de Plastazotes zijn er enkele opgenomen.

Gevonden datasheets en leveranciers- en producenteninformatie geven een breed scala aan verschillende eigenschappen, die op uiteenlopende wijze zijn gemeten en niet altijd worden weergegeven in dezelfde eenheden. In principe zijn materialen toegevoegd wanneer meer gegevens bekend zijn dan alleen de materiaalnaam en de toepassing, hoewel dat vaak betekent dat nog veel eigenschappen onbekend zijn. De verschillende grootheden zijn als aparte kolommen weergegeven in de tabel. De toegepaste meetmethode is zoveel mogelijk toegevoegd als opmerking aan de cel met de waarde in het Excel-werkblad met de ruwe data. Waar nodig zijn waarden omgezet in vergelijkbare SI-eenheden. De bedoeling is dat dit werkblad met de ruwe data in een later stadium verder kan worden aangevuld. Een overzicht van de eigenschappen die in de tabel met ruwe data is opgenomen is te vinden in Bijlage 3.

Op basis van dit scala aan eigenschappen zijn, een aantal eigenschappen gedefinieerd waarmee op materialen gezocht kan worden. Allereerst is dat het toepassingsgebied van het materiaal, waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen: Afdek, dempen, opbouw, verstevigen, zool. Deze informatie is voornamelijk gebaseerd op de opgave of omschrijving van de leveranciers. Vervolgens is een selectie gemaakt uit de relevante eigenschappen die naar voren gekomen zijn uit de interviews, weergegeven in Tabel 11. De relevante eigenschappen zijn gerelateerd aan meetbare grootheden en die zijn onderverdeeld in 3 of 4 klassen op basis van meetwaarden en huidig gebruik van het materiaal.

TABEL 11. Materiaaleigenschappen, gerelateerde meetgrootheden en indeling in klassen

Eigenschap	Meetbare grootheid	Eenheid	Grenswaarden			
			Zacht	Middelhard	Hard	
Hardheid	Shore hardness	[Shore A]	30	55	>55	
Vormacceptatie	Compression pressure	[kPa]	Goed 350	Matig 750	Slecht 1500	Niet
Gewicht	Density	[kg/m ³]	Lichtgewicht 300	Middelgewicht 600	Zwaar >600	
Schokabsorptie	{1} % shokenergy absorbed	[%]	Slecht 70	Middelmatig 80	Goed 90	Zeer goed >90
Energie absorptie	{2}% net energy absorbed cycle 100	[%]	Slecht 0,1	Middelmatig 0,2	Goed 0,3	Zeer goed >30%
Stijfheid	{1} Tensile modulus	[MPa]	Slap 5	Middelmatig 25	Stijf 700	Zeer stijf >700
	{2} Flexural modulus	[MPa]	10	50	1000	>1000
Veerkracht behoud	{1} net energy absorbed cycle 100/cycle2	[%]	Niet >50	Redelijk 50%	Goed 75%	

Toelichting bij de indeling in klassen van de materialen

De materialen die uit de interviews als zacht worden ervaren (Plastazote, Dyafoam, EVA25) hebben een shorewaarde kleiner dan 30. De grens tussen middelhard en hard is eveneens op basis van de informatie uit de interviews hier op 55 gezet.

Plastazote wordt in de interviews genoemd als een goed vorm-accepterend materiaal en heeft een druk lager dan 350 kPa nodig voor 50% compressie. Met een grens op 350 kPa valt Multiform nog net binnen de goed vormaccepterende materialen en Softlux er net buiten, zijnde een matig vormaccepterend materiaal. De grens tussen matig en slecht gezet op 750 kPa, betekent dat EVA50 net binnen de grens valt en EVA60 er net buiten. Niet vormaccepterende materialen zijn boven de grens van 1500 kPa Poro en Perskurk.

Voor gewicht zijn grenzen gezet op soortelijk gewicht van 300 en 600 kg/m³. In de praktijk betekent dit dat de meeste EVA's, Plastazote, Dyafoam/Poron en sommige kurkmaterialen tot de lichte materialen worden gerekend, PPT, Thermofix, Voeringmaterialen en andere kurkmaterialen tot de middelzware materialen en Rhenoflex, Erkoflex, Carbon, Rubber en Polypropyleen tot de zware materialen.

Er is niet echt een eenduidige maat voor de schokabsorberende, dempende en terugveer eigenschappen van een materiaal. Dit komt omdat voor goede schokabsorptie feitelijk een lange remweg noodzakelijk is en een hoge energie-absorptie in het materiaal, terwijl tegelijkertijd het materiaal goed terug moet veren om klaar te zijn voor de energie-absorptie van de volgende stap. Sterk terugveren betekent meestal een lage energie-absorptie in het materiaal, dus dat is enigszins tegenstrijdig. De gewenste eigenschap bij gebruik in OST is piekdrukverlaging, ook bij herhaaldelijk gebruik. Bij voorkeur zou dat afgelezen moeten kunnen worden aan één parameter, waarin zowel het energie-absorptiegedrag als het terugveergedrag verdisconteerd is. In de literatuur [39] wordt ook wel gesproken over een Cushion Factor die zo laag mogelijk moet zijn voor een zo goed mogelijke schokdemping. Dit is een soort verhouding tussen maximale druk en daarbij geabsorbeerde energie, waarbij het onduidelijk is of het terugveergedrag van het materiaal hierin wordt verdisconteerd.

Vanwege deze onduidelijkheid en omdat OST-ers niet bekend zijn met deze term, is er voorsnog voor gekozen om % netto geabsorbeerde energie als maat te nemen voor schokabsorptie. Deze grootheid wordt vaker gemeten en is gemakkelijker te vergelijken dan piekkracht of piekdruk, omdat de laatste twee sterk afhankelijk zijn van proefopzet en materiaaldikte. Grenzen zijn gezet op 70, 80, en 90 %, maar meer onderzoek naar de relatie tussen het percentage schokenergie absorptie en piekdruk verlaging (in een voor OST relevante proefopzet) is noodzakelijk om deze grenzen te valideren.

Het terugveergedrag gedrag kan worden gehaald uit een 2^{de} parameter, namelijk de netto geabsorbeerde energie in de 100^{ste} cyclus. Een materiaal dat in de 100^{ste} cyclus van 350 kPa/s nog steeds meer dan 30% van de energie absorbeert is gedefinieerd als een zeer goed energie-absorberend materiaal (Dyafoam). Tussen 20% en 30% is goed (PPT, EVA25, Multiform en Microkurk) Tussen 10% en 20% is matig (o.a. Plastazote, EVA35, EVA50) en onder 10% slecht (Poro, Erkoflex).

Stijfheid kan worden gekwantificeerd middels Emodulus of Flexmodulus. In eerste instantie wordt gekeken naar de Emodulus. Als deze niet bekend is, wordt de Flexmodulus gebruikt om materialen in te delen. Met de hier gedefinieerde grenzen vallen Carbon en Polypropyleen onder de zeer stijve materialen, Rhenoflex, Imperflex en Thermo onder de stijve materialen en EVA50/60, Rubber, Poro en Erkoflex onder de middlematig stijve materialen, terwijl Plastazote, PPT en Dyafoam als slap worden geclassificeerd.

Duurzaamheid van een materiaal kan onder andere afgemeten worden aan het behoud van veerkracht. Hiervoor is de energieabsorptie van de 100ste cyclus vergeleken met die van de tweede cyclus. Wanneer meer dan 75% van de energie-absorberende eigenschappen behouden blijven is het materiaal als goed veerkracht behoudend bestempeld (o.a. Dyafoam, EVA40). Tussen 50% en 75% redelijk (EVA30/50, Multiform, Rubber) en onder de 50% niet (Plastazote, Kurk, PPT).

Een impressie van de database is weergegeven in Figuur 11. Benadrukt moet worden dat deze selectie aan materiaaleigenschappen en de indeling in klassen per eigenschap bedoeld is als een eerste aanzet tot een gebruikersvriendelijke, makkelijk hanteerbare database. In de praktijk moet blijken of de geselecteerde eigenschappen juist en volledig zijn en of de grenzen tussen de klassen in de praktijk zinvol en bruikbaar zijn.

Toepassingsgebied	Hardheid	Vormacceptatie	Gewicht	Schokabsorptie	Energie absorptie	Stijfheid	Veerkracht behoud
Afdek	3: Hard	4: Goed	3: Lichtgewicht	4: Zeer goed	4: Zeer goed	4: Zeer stijf	3: Goed
Dempen	2: Middelhard	3: Matig	2: Middelgewicht	3: Goed	3: Goed	3: Stijf	2: Redelijk
Opbouw	1: Zacht	2: Slecht	1: Zwaar	2: Middelmatig	2: Middelmatig	2: Middelmatig	1: Niet
Verstevinging	0: Onbekend	1: Niet	0: Onbekend	1: Slecht	1: Slecht	1: Slap	0: Onbekend
Zool		0: Onbekend		0: Onbekend	0: Onbekend	0: Onbekend	

Selecteer de gewenste eigenschappen en waarden. Gebruik CTRL om extra waarden te selecteren. Klik vervolgens op het productnummer om de uitgebreide specificaties te bekijken

#	Merknaam	Toepassingsgebied	Hardheid	Vormacceptatie	Gewicht	Schokabsorptie	Energie absorptie	Stijfheid	Veerkracht behoud
40	EVA 40 Digisole	Opbouw	2: Middelhard	3: Matig	3: Lichtgewicht	0: Onbekend	3: Goed	0: Onbekend	2: Redelijk
41	EVA 50 Digisole	Opbouw	2: Middelhard	3: Matig	3: Lichtgewicht	0: Onbekend	3: Goed	0: Onbekend	3: Goed
72	Microkurk 50	Opbouw	2: Middelhard	2: Slecht	3: Lichtgewicht	2: Middelmatig	3: Goed	2: Middelmatig	2: Redelijk
146	Softlux	Opbouw	2: Middelhard	3: Matig	3: Lichtgewicht	0: Onbekend	3: Goed	0: Onbekend	2: Redelijk

Figuur 11. Impressie van de materialendatabase. Bij selectie Toepassingsgebied=Opbouw, Hardheid=Middelhard en Energieabsorptie=goed worden 4 materialen gevonden. Door op het nummer # voor de Merknaam te klikken, wordt een werkblad geopend waarop alle in de database bekende materiaaleigenschappen worden getoond.

Conclusies

Dit project heeft een overzicht gecreëerd van veel gebruikte materialen in de Nederlandse Orthopedische Schoentechneik branche en de eigenschappen die voor het gebruik van deze materialen van belang zijn. Naast natuurlijke materialen, zoals leer en kurk, wordt er gebruik gemaakt van synthetische rubbers, een veelheid aan schuimen van PolyUrethaan (PU), PolyEthyleen (PE) of Ethylvinylacetaat (EVA), vezel versterkte kunststoffen, koolstofharsen en polypropyleen. Deze materialen zijn beschikbaar in veel verschillende kwaliteiten. Belangrijke eigenschappen zijn: gewicht, stijfheid/buigbaarheid, vormvastheid, compressiesterkte of indrukbaarheid, schokdemping, wrijving, slijtweerstand, scheursterkte en vochtopname of -doorlaatbaarheid. Daarnaast zijn ook verwerkingseigenschappen van belang zoals thermische vervormbaarheid, oventijd, afkoeltijd, krimp, schuurbaarheid en verlijmbaarheid.

Een aantal van deze kwalitatieve materiaaleigenschappen zijn vertaald naar meetbare fysische grootheden. Deze zijn voor een deel gemeten bij een kleine 40 verschillende materialen, waaronder de 10 in de OST meest gebruikte materialen. Gemeten zijn soortelijk gewicht, Shore A-hardheid, druk benodigd voor compressie tot 50%, compressiecurves in cyclische belasting tot 350 kPa/s, stijfheidsmodulus in rek, flexibiliteitsmodulus in buiging, restindrukking na duurbelasting, schokabsorptie energie en piekkracht vóór en na cyclische belasting en slijtage door wrijving.

Op basis van deze gemeten waarden is een eerste ruwe indeling gemaakt, een vertaling terug naar kwalitatieve eigenschappen, waarop een selectie gemaakt kan worden. Er is per eigenschap een initiële onderverdeling gemaakt in drie of vier categorieën: licht, middel, sterk en/of zeer sterk. De waarden waarop deze onderverdeling is gebaseerd zijn ruwweg zo gekozen dat de onderverdeling overeenkomt met de ervaringen uit het werkveld zoals genoemd in de interviews. De classificatie zal in de toekomst vanuit de ervaringen met het gebruik van de database verder moeten worden gevalideerd.

In de database zijn de materialen en meetgegevens opgenomen naast materialen en waarden uit datasheets afkomstig van producenten en leveranciers. Complicerende factor is dat veel materialen alleen gekend zijn bij hun merknaam. De chemische en fysische samenstelling is vaak moeilijk te achterhalen en datasheets met fysische eigenschappen zijn nauwelijks beschikbaar. Daarbij komt dat van veel materialen onder dezelfde merknaam verschillende kwaliteiten voorhanden zijn, waarbij niet altijd duidelijk is welke specifieke kwaliteit nu gebruikt wordt. In de database is zoveel mogelijk getracht merknaam te koppelen aan chemische en fysische samenstelling, leverancier, producent en kwantitatieve materiaaleigenschappen.

De eerste versie van de database is gemaakt in Excel en komt beschikbaar via NVOS-Orthobanda. In de database kan worden gezocht op toepassing, hardheid, vormacceptatie, gewicht, schokabsorptie, energieabsorptie, stijfheid en veerkrachtbehoud. Vervolgens kan een materiaal worden geselecteerd, zodat alle beschikbare data van dat materiaal zichtbaar wordt. De database heeft als doel de OST-ers te informeren zodat deze gemakkelijker en bewuster kan kiezen voor het materiaal met precies die eigenschappen die hij of zij nodig heeft. Door de meer gedetailleerde, kwantitatieve kennis van de materialen kan mogelijk specifieker worden aangegeven waarom het ene materiaal beter voldoet dan het andere en welke specifieke waarde van welke eigenschap noodzakelijk is voor een goed functionerend materiaal.

Mogelijk kunnen OST-ers in de toekomst gewenste materiaaleigenschappen specificeren en kwantificeren en deze bij producenten bestellen. Of kan het gedrag van een orthese in de praktijk vooraf voorspeld worden op basis van het ontwerp en materiaalkeuze van de orthopedische schoen.

Aanbevelingen voor verder onderzoek

1. Completeren van de database

De uit dit onderzoek voortkomende database (versie 1.0) is verre van compleet. Nog lang niet alle in de praktijk gebruikte of beschikbare materialen zijn aan deze database toegevoegd. Daarnaast zijn van veel al wel in de database voorkomende materialen vele eigenschappen nog onbekend. Deze moeten worden gemeten of anderszins achterhaald. Dit geldt met name voor de belangrijk geachte verwerkingseigenschappen van materialen, zoals verwerkingstemperatuur, schuurbaarheid e.d. Het idee is om het meten van materiaal-eigenschappen ook in te bedden in het reguliere onderwijs, zodat de database up-to-date kan blijven.

2. Validatie van selectiecriteria

In deze eerste versie van de database zijn op arbitraire wijze selectiecriteria gekozen en grenswaardes aan bepaalde klassen van eigenschappen gesteld. Deze zouden in een nader onderzoek verder moeten worden gevalideerd. Zijn de gedefinieerde criteria voldoende? Voldoen de criteria aan de verwachtingen, leiden de opgestelde criteria tot zinvolle materiaalkeuzen?

3. Gebruikersvriendelijkheid van database

Daarnaast is het zinvol om te onderzoeken of de database als voldoende gebruikersvriendelijk wordt ervaren en of er vanuit het gebruik misschien suggesties zijn voor aanpassing verbetering. Een al gesuggereerde aanpassing voor een volgende versie is het koppelen van een geselecteerde toepassing aan voor-die-toepassing-van-belang-zijnde materiaaleigenschappen, waarbij de niet van belang zijnde eigenschappen verborgen worden. Ook staat op het lijstje van een volgende versie om indien wenselijk ook op een of andere wijze achtergrondinformatie (de opmerkingen bij de cellen in de ruwe data aangaande de gevolgde meetmethode), ergens zichtbaar te maken.

4. Koppeling van de database aan het indicatiematrix-project

Binnen NVOS-Orthobanda is in 2015 het Indiciematrix Orthopedische Schoentechniek project opgestart. Het is een beslissingsmodel voor het opbouwen van een behandelplan en dient om het huidige voet-schoen protocol meer sturend te krijgen, om recente kennis meer geïmplementeerd te krijgen op de werkvloer en om data op te bouwen om interventies te evalueren en verbeteren. Onderdeel van de matrix is naast de selectie van de voorziening ook de selectie van het materiaal waaruit deze voorziening is opgebouwd. Idealiter is dit gekoppeld aan de materialendatabase. De indicatiematrix definieert de benodigde combinatie van eigenschappen van het materiaal. De database geeft een lijst met materialen dat aan die eigenschappen voldoet.

Hiervoor is het noodzakelijk dat in beide projecten dezelfde terminologie gebruikt wordt om eigenschappen en materialen te definiëren. Daarnaast zal het handig zijn als er vanuit de indicatiematrix een rechtstreekse koppeling gemaakt kan worden naar de materialendatabase. Hiermee kan een gebruiker van de indicatiematrix rechtstreeks de materialen met de noodzakelijke eigenschappen selecteren. Als voorbereiding hiertoe is het bedrijf dat de software gaat maken voor de indicatiematrix ook betrokken bij de realisatie van de materialendatabase.

5. Invloed van bewerking op eigenschappen van materialen

Uit literatuur [44] is bekend dat verwerking (verwarmen, vervormen, verlijmen) invloed heeft op de eigenschappen van het materiaal. Voor de materialen in de database zou verder onderzocht kunnen worden hoe voor OST 'normale' verwerking de eigenschappen beïnvloedt.

6. Gedrag van combinaties van materialen in relatie tot individuele materialen en effect van lijm

In de OST worden vaak combinaties van verschillende materialen in laagjes gebruikt. Zijn de eigenschappen van combinaties van materialen een optelsom van de eigenschappen van de individuele materialen? Wanneer wel, wanneer niet? Onderzoek zou gedefinieerd kunnen worden om die vraag te beantwoorden. Mogelijk kan hier ook het effect van lijmen meegenomen worden. In hoeverre heeft de lijm invloed en welke lijm heeft welke invloed?

7. Voorspellen van eigenschappen van materialen in een vorm

Uiteindelijk is van belang hoe het materiaal zich in zijn finale vorm gedraagt. Feitelijk zou dat voorspeld moeten kunnen worden uit de eigenschappen van het kale plaatmateriaal. Onderzocht zou kunnen worden of het voorspellen van de eigenschappen van een vorm gemaakt uit een specifiek materiaal in de praktijk mogelijk is en in hoeverre die voorspelling achteraf valide is.

8. Verwerken van eigenschappen in CAD-CAM simulaties

Het gedrag van materialen in een bepaalde constructie kan vooraf voorspeld door middel van simulatiesoftware zoals CAD-CAM systemen. Hiervoor heeft de software wel informatie nodig over de fysische eigenschappen van de materialen. Veel in de OST-gebruikte materialen zitten niet standaard in de commercieel beschikbare databases. Onderzocht kan worden in hoeverre simulaties nu al mogelijk zijn en er kunnen projecten worden opgestart om ontbrekende informatie aan te vullen.

9. Actieve participatie van het werkveld

Daarnaast is het zinvol om na te denken over hoe leveranciers en gebruikers geprikkeld kunnen worden om zelf actief informatie aan deze database toe te voegen.

Spin-off van dit project

Het project Materialenonderzoek voor de orthopedische schoentechnologie naast de resultaten beschreven in dit verslag geleid tot

- Afstudeerprojecten van 2 Fontys OST-studenten die in 2015 zijn afgestudeerd op onderzoek naar van belang zijnde eigenschappen bij materiaalkeuze door orthopedisch schoentechnici
- Afstudeerprojecten van 2 Fontys OST-studenten die momenteel bezig zijn met hun afstudeeronderzoek naar ervaringen van cliënten en schoentechnici met betrekking tot materiaaleigenschappen in relatie tot reumatoïde artritis
- Een systematische literatuur review met hulp van 2 Fontys OST-studentes die moet leiden tot een review artikel in een wetenschappelijk tijdschrift
- Een Expo-project bij Fontys Engineering, waar 6 studenten een meetinstrument ontwerpen om schokabsorptiemetingen te doen aan OST-materialen
- Practicum Materialenonderzoek Fontys OT in periode 1.2 van jaar 2015-2016 in het kader van 'Technische Kennis en Vaardigheden' waar eerstejaars studenten kennis hebben gemaakt met het doen van materiaalonderzoek.
- Een collegeblok van het vak 'Materiaalkunde' voor 3de jaars OST-studenten
- Video-opnames en collegemateriaal van materiaaltesten ten behoeve van materiaalkunde colleges en voordrachten
- Een workshop 'Materiaalonderzoek in de orthopedische schoentechnologie' op het NVOS Orthobanda symposium 'Kwaliteit in de orthopedische hulpmiddelenzorg' van 29 januari 2016
- Een voordracht op 12 februari op het symposium van Nederlandse Beroepsvereniging van Orthopedisch Technologen in Den Bosch

Onderzoeksvoorstellen voor vervolprojecten, zowel voor O(S)T-studenten, als voor docent/onderzoekers zijn in de maak. De database komt ook beschikbaar voor alle studenten in O(S)T en podotherapie. De opgedane kennis wordt ook in toekomstige practica en colleges ingebed. Er is een plan om in een jaarlijks terugkerend materiaalkunde practicum, systematisch materialen door te meten waarmee data in de database kan worden aangevuld.

Literatuurverwijzingen

1. Holtkamp F, D.F., *Challenges for the Orthopaedic Shoe Profession and related research*. Foot & Shoe (The International Journal for Foot Orthotics), 2015. **1**: p. 36-38.
2. Allerton J, *Minimising diabetic tissue injury by reducing the effects of pressure variables*. Thesis, 2013.
3. Bus, S.A., R. Haspels, and T.E. Busch-Westbroek, *Evaluation and optimization of therapeutic footwear for neuropathic diabetic foot patients using in-shoe plantar pressure analysis*. Diabetes Care, 2011. **34**(7): p. 1595-600.
4. Bus, S.A., et al., *Plantar pressure relief in the diabetic foot using forefoot offloading shoes*. Gait Posture, 2009. **29**(4): p. 618-22.
5. Ashry, H.R., et al., *Effectiveness of diabetic insoles to reduce foot pressures*. J Foot Ankle Surg, 1997. **36**(4): p. 268-71; discussion 328-9.
6. Armstrong, D.G., et al., *Is there a critical level of plantar foot pressure to identify patients at risk for neuropathic foot ulceration?* J Foot Ankle Surg, 1998. **37**(4): p. 303-7.
7. Healy, A., R. Naemi, and N. Chockalingam, *The effectiveness of footwear as an intervention to prevent or to reduce biomechanical risk factors associated with diabetic foot ulceration: a systematic review*. J Diabetes Complications, 2013. **27**(4): p. 391-400.
8. Lo, W.T., et al., *New methods for evaluating physical and thermal comfort properties of orthotic materials used in insoles for patients with diabetes*. J Rehabil Res Dev, 2014. **51**(2): p. 311-24.
9. Lott, D.J., et al., *Effect of footwear and orthotic devices on stress reduction and soft tissue strain of the neuropathic foot*. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2007. **22**(3): p. 352-9.
10. Viswanathan, V., et al., *Effectiveness of different types of footwear insoles for the diabetic neuropathic foot: a follow-up study*. Diabetes Care, 2004. **27**(2): p. 474-7.
11. Lin, T.L., et al., *The effect of removing plugs and adding arch support to foam based insoles on plantar pressures in people with diabetic peripheral neuropathy*. J Foot Ankle Res, 2013. **6**(1): p. 29.
12. Chen, W.-P., C.-W. Ju, and F.-T. Tang, *Effects of total contact insoles on the plantar stress redistribution: a finite element analysis*. Clinical Biomechanics, 2003. **18**(6): p. S17-S24.
13. Goske, S., et al., *Reduction of plantar heel pressures: Insole design using finite element analysis*. J Biomech, 2006. **39**(13): p. 2363-70.
14. Hellstrand Tang, U., et al., *Comparison of plantar pressure in three types of insole given to patients with diabetes at risk of developing foot ulcers – A two-year, randomized trial*. Journal of Clinical & Translational Endocrinology, 2014. **1**(4): p. 121-132.
15. Ibrahim, M., et al., *A pilot study to assess the effectiveness of orthotic insoles on the reduction of plantar soft tissue strain*. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2013. **28**(1): p. 68-72.
16. Whittle, M.W., *Generation and attenuation of transient impulsive forces beneath the foot: a review*. Gait Posture, 1999. **10**(3): p. 264-75.
17. Hodge, M.C., T.M. Bach, and G.M. Carter, *novel Award First Prize Paper. Orthotic management of plantar pressure and pain in rheumatoid arthritis*. Clin Biomech (Bristol, Avon), 1999. **14**(8): p. 567-75.
18. Guo, L.-Y., et al., *Effect on Plantar Pressure Distribution with Wearing Different Base Size of High-Heel Shoes during Walking and Slow Running*. Journal of Mechanics in Medicine and Biology, 2012. **12**(01): p. 1250018.
19. Hennessy, K., J. Burns, and S. Penkala, *Reducing plantar pressure in rheumatoid arthritis: a comparison of running versus off-the-shelf orthopaedic footwear*. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2007. **22**(8): p. 917-23.
20. Najafi, B., et al., *Dynamic plantar loading index: understanding the benefit of custom foot orthoses for painful pes cavus*. J Biomech, 2012. **45**(9): p. 1705-11.
21. Erdemir, A., et al., *Local plantar pressure relief in therapeutic footwear: design guidelines from finite element models*. J Biomech, 2005. **38**(9): p. 1798-806.
22. Flynn, T.W., et al., *Plantar pressure reduction in an incremental weight-bearing system*. Phys Ther, 1997. **77**(4): p. 410-6.
23. Tong, J.W. and E.Y. Ng, *Preliminary investigation on the reduction of plantar loading pressure with different insole materials (SRP--Slow Recovery Poron, P--Poron, PPF--Poron +Plastazote, firm and PPS--Poron+Plastazote, soft)*. Foot (Edinb), 2010. **20**(1): p. 1-6.
24. Tsung, B.Y.S., et al., *Effectiveness of insoles on plantar pressure redistribution*. The Journal of Rehabilitation Research and Development, 2004. **41**(6): p. 767.

25. Bus, S.A., J.S. Ulbrecht, and P.R. Cavanagh, *Pressure relief and load redistribution by custom-made insoles in diabetic patients with neuropathy and foot deformity*. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2004. **19**(6): p. 629-38.
26. Paton JS1, S.E., Bruce G, Zahra D, Jones RB, *A comparison of customised and prefabricated insoles to reduce risk factors for neuropathic diabetic foot ulceration: a participant-blinded randomised controlled trial*. J Foot Ankle Res, 2012. **5**(1).
27. Hayafune N, H.Y., Jacob H.A.C., *Pressure and force distribution characteristics under the normal foot during the push off phase in gait*. The Foot, 1999. **9**: p. 88-92.
28. Jones R.E., J.W.L., *Simplified methods for selecting and designing packaging cushioning materials*. US Forest Service Department of Agriculture Report No. 2031, 1955. **Report No. 2031**: p. 1-33.
29. Briody, C., et al., *The implementation of a visco-hyperelastic numerical material model for simulating the behaviour of polymer foam materials*. Computational Materials Science, 2012. **64**: p. 47-51.
30. Shariatmadari, M.R., R. English, and G. Rothwell, *Effects of temperature on the material characteristics of midsole and insole footwear foams subject to quasi-static compressive and shear force loading*. Materials & Design, 2012. **37**: p. 543-559.
31. Lavery, L.A., et al., *Novel methodology to obtain salient biomechanical characteristics of insole materials*. J Am Podiatr Med Assoc, 1997. **87**(6): p. 266-71.
32. Lavery, L.A., et al., *Wear and biomechanical characteristics of a novel shear-reducing insole with implications for high-risk persons with diabetes*. Diabetes Technol Ther, 2005. **7**(4): p. 638-46.
33. Lange, d.T., *Materiaalkeuze en steunzolen, nog een lange weg te gaan*. Podosophia, 2007. **Nov**(6): p. 13-17.
34. DJ, P., *Long term comparison of some shock attenuating insoles*. Prosthetics and Orthotics International, 1990. **14**: p. 59-62.
35. Campbell, G., E. Newell, and M. McLure, *Compression testing of foamed plastics and rubbers for use as orthotic shoe insoles*. Prosthet Orthot Int, 1982. **6**(1): p. 48-52.
36. Campbell, G.J., M. McLure, and E.N. Newell, *Compressive behavior after simulated service conditions of some foamed materials intended as orthotic shoe insoles*. J Rehabil Res Dev, 1984. **21**(2): p. 57-65.
37. Lewis, G., T. Tan, and Y.S. Shiue, *Characterization of the performance of shoe insert materials*. J Am Podiatr Med Assoc, 1991. **81**(8): p. 418-24.
38. Brodsky, J.W., et al., *Physical properties, durability, and energy-dissipation function of dual-density orthotic materials used in insoles for diabetic patients*. Foot Ankle Int, 2007. **28**(8): p. 880-9.
39. R, M., *Data support use of P-cell in diabetic footwear*. BioMechanics, Forum put to the test, 2003. **March**.
40. Kuncir, E.J., R.W. Wirta, and F.L. Golbranson, *Load-bearing characteristics of polyethylene foam: an examination of structural and compression properties*. J Rehabil Res Dev, 1990. **27**(3): p. 229-38.
41. Sun, P.C., et al., *Effects of varying material properties on the load deformation characteristics of heel cushions*. Med Eng Phys, 2008. **30**(6): p. 687-92.
42. Silva, R.M., et al., *Evaluation of shock absorption properties of rubber materials regarding footwear applications*. Polymer Testing, 2009. **28**(6): p. 642-647.
43. Sanders JE, G.J., Mitchell SB, Zachariah SG, *Material properties of commonly-used interface materials and their static coefficients of friction with skin and socks*. J Rehabil Res Dev. , 1998. **35**(2): p. 161-76.
44. Brodsky, J.W., et al., *Effect of Heating on the Mechanical Properties of Insole Materials*. Foot & Ankle International, 2012. **33**(09): p. 772-778.
45. Paton, J., et al., *The physical characteristics of materials used in the manufacture of orthoses for patients with diabetes*. Foot Ankle Int, 2007. **28**(10): p. 1057-63.
46. C., R., *Schokdemping en schoenzolen, de kunst van het inveren*. Podosophia, 2015. **3**(mei 2015): p. 24-25.
47. Campbell G., N.E., McLure M., *Compression testing of foamed plastics and rubbers for use as orthotic shoe insoles*. Prosthetics and Orthotics International, 1982. **6**(1): p. 48-56.
48. R.W., O., *Non-linear elastic deformations*. New York, Dover Civil and Mechanical Engineering, Ellis Harwood Ltd, 1997.
49. Deleu, P.A., et al., *Plantar pressure relief using a forefoot offloading shoe*. Foot Ankle Surg, 2010. **16**(4): p. 178-82.

50. Bus, S.A., et al., *The efficacy of a removable vacuum-cushioned cast replacement system in reducing plantar forefoot pressures in diabetic patients*. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2009. **24**(5): p. 459-64.
51. Nagel, A. and D. Rosenbaum, *Vacuum cushioned removable cast walkers reduce foot loading in patients with diabetes mellitus*. Gait Posture, 2009. **30**(1): p. 11-5.
52. Chapman, J., et al., *What is the best Rocker Shoe design?* Journal of Foot and Ankle Research, 2012. **5**(Suppl 1): p. O6.
53. P, S., *The Case for Friction Management*. Biomechanics & Orthotics, 2012. **Sept** p. 111-116.
54. Huppin, L., *A New Look at Orthotics for Diabetes*. Biomechanics & Orthotics, 2012. **Sept 2012**: p. 147-152.
55. Lavery, L.A., et al., *Shear-reducing insoles to prevent foot ulceration in high-risk diabetic patients*. Adv Skin Wound Care, 2012. **25**(11): p. 519-24; quiz 525-6.
56. Wouters E. , Z., van Y., Bruijning J *Praktijkgericht Onderzoek in de paramedische zorg*. Uitgeverij Coutinho Bussum, 2012.
57. Diesbergen R, M.M., Grin, L, Sonderkamp T, Holtkamp F *Materiaalonderzoek voor de orthopedische schoentechniek, waar staan we nu?*, in *Orthopedische Techniek*. 2015. p. 20-21.
58. Heerkens Y.F, B.C.B.N., Jansen R., Verwaard R.,Elferink F.H.M.,Bougie Th.,Postema K. , *Ontwikkeling van protocollen voet-/schoenvoorziening voor orthopedisch schoentechnische bedrijven en orthopedisch schoentechnici bij cliënten die zijn verwezen*. NPI Kenniscentrum Paramedische Zorg, <http://www.nvos-orthobanda.nl/pages/48/Protocollen/Voet-schoenprotocol.html>, 2010.

Bijlage 1. Publicatie in Orthopedische Techniek

TEST by Dierbosch, Marco; Muijter, Kees; On, Thijs; Poulkamp, Tom; Indikings, Joop; Remmelink, Jijg; Embro

MATERIAALONDERZOEK VOOR DE ORTHOPEDISCHE SCHOENTECHNIEK, WAAR STAAN WE NU?

Iedere dag worden vele diverse materialen gebruikt voor het vervaardigen van orthopedische schoenen, orthopedische zolen en aanpassingen aan bestaande schoenen. Op basis van wetten en best practices worden de diverse materialen geselecteerd en we weten dat schoenen van hoge kwaliteit, licht, warm en met voldoende eigenschappen van deze materialen worden opgevoerd, blijkt vaak maar een zeer beperkte hoeveelheid informatie beschikbaar te zijn. Het project "Materiaalonderzoek voor de orthopedische schoenbranche" heeft tot doel de beschikbare kennis en informatie over de materialen eigenschappen te vergroten. De resultaten van het materiaalonderzoek moeten beschikbaar komen in een database waarmee, bij het ontwerpen van orthopedische hulpmiddelen, materialen gekozen kunnen worden op relevante eigenschappen. Uitwendig zal in de toekomst het mogelijk worden om het effect van een materiaalkeuze op de functionaliteit van de schoen op de computer te simuleren alvorens de schoen daadwerkelijk wordt gemaakt.

LITERatuurONDERZOEK

In het begin 2015 is gestart met dit onderzoek, project, in opdracht van NVOG Orthoband en mogelijk gemaakt door de OCM. Het project omvat een literatuuronderzoek, veldonderzoek naar materiaalkeuzes in de praktijk, materiaaltesten en het opzetten van een database. Uit het literatuuronderzoek blijkt dat er betrekkelijk veel studies zijn gedaan naar effecten van materialen met name op het gebied van plantaire druk en schoelcomfort. Voor recente studies zie bijvoorbeeld [1]. Een completere factor bij het vergelijken van deze studies is het

gebrek aan embelidigheid. Kennelijk is bijvoorbeeld de materialen veelvuldig aangeduid worden met hun merknaam en niet met hun chemische naam en fysieke structuur. Hetzelfde materiaal kan verschillende namen hebben en de materialen worden genoemd in verschillende artikelen. Daarnaast is er geen eenduidigheid in de methode van meten en in de weergave van de meetresultaten. In de meeste onderzoeken wordt dan ook alleen gesproken over het relatieve verschil tussen de in de studie onderzochte materialen. Een vergelijking maken met materialen onderzocht in een andere studie is lastig.

RESULTATEN

In totaal zijn er twaalf interviews afgenomen bij negen orthopedisch schoenbranche bedrijven verspreid over zes provincies binnen Nederland. Uit de data bleek dat de orthopedisch schoenmaker een aantal verschillende aspecten meewegt in zijn overwegingen ten aanzien van de constructie van materiaalkeuzes, weergegeven in een codeboek in figuur 1.

METHODE

De door hen opgestelde onderzoeksopzet is besproken door middel van twee bijeenkomsten met hun chemische naam en fysieke structuur. Hetzelfde materiaal kan verschillende namen hebben en de materialen worden genoemd in verschillende artikelen. Daarnaast is er geen eenduidigheid in de methode van meten en in de weergave van de meetresultaten. In de meeste onderzoeken wordt dan ook alleen gesproken over het relatieve verschil tussen de in de studie onderzochte materialen. Een vergelijking maken met materialen onderzocht in een andere studie is lastig.

CONCLUSIE

Uitgangspunt is steeds de zorgening die het doel van de voorziening bepaalt, waarbij betrokken partijen soms direct invloed hebben op de keuze. In de uitvoering van de voorziening wordt vervolgens ook rekening gehouden met aanbestedingen, probiemak en anatomie en bewegingsaspecten van de zool. Fitting en profilering zijn meestal cruciaal voor de functionaliteit van de voorziening, dus het kiezen van materiaal moet in dat licht te bepalen zijn. Verder zijn designaspecten als gewicht, mate van activiteit en comfort ook van invloed op de keuze van het materiaal. De materialkeuze is dus een optimaal van al deze overwegingen in combinatie met de eigen schappen van de beschikbare materialen, waarbij de vervaardiging aspecten van de materialen soms ook een rol spelen. De uiteindelijke materiaalkeuze wordt vaak

Figuur 1. Codeboek, waarin coden de interviews zijn gegroepeerd in thema's

CONCLUSIES, AANBEVELINGEN VAN HET AFSTUDEERONDERZOEK

Uit de onderzoeken kan geconcludeerd worden dat de orthopedisch schoenmaker overwegingen maakt op gebied van de in figuur 1 benoemde thema's. De grootste variaties tussen individuele deelnemers zijn gevonden op het thema 'eigen schappen van materiaal' en 'construktie'. Het ontwerp van de schoen, de fitting, de anatomie, de beweging, de activiteit, de gewicht, de mate van activiteit en comfort zijn belangrijke overwegingen. Daarnaast speelt de keuze van materiaal een grote rol bij de keuze van materiaal en constructie. Een aanbeveling vanuit deze afstudeprojecten is om verder onderzoek te doen naar het meetbaar maken van materiaalkeuzeop-

Bijlage 2. Meetresultaten Materiaalmetingen

Nr	Naam	Merksnaam	Chemische naam	Herkomst	Leverancier	kleur	dikte	lengte	breedte
							mm	cm	cm
1	Dyafoam	Dyafoam/X2/Poron	PU-foam open cell	Buchrnhornen	HJ van Drunen	roze	3	50	50
1	Dyafoam	Dyafoam/X2/Poron	PU-foam open cell	Buchrnhornen	HJ van Drunen	roze	6	50	50
2	PPT	PPT	PU-foam open cell	Buchrnhornen	HJ van Drunen	beige	3	50	50
2	PPT	PPT	PU-foam open cell	Buchrnhornen	HJ van Drunen	beige	6	50	50
3	EVA25	Delta plaat EVA30	EVA kunststof	Loopcentrum	Jan van Velden	wit	3	50	50
4	EVA35	Delta plaat EVA40	EVA kunststof	Loopcentrum	Jan van Velden	gebroken wit	10,6	50	50
5	EVA50	Aeroflex EVA50	EVA kunststof	Loopcentrum	HJ van Drunen	zandkleurig	5,1	50	50
6	EVA60	Delta plaat EVA 60	EVA kunststof	Loopcentrum	Jan van Velden	zwart	10	50	50
7	Multiform	Alveolux ?	Polyolefin	Puzo		zalm	10	21	15,1
8	Microkurk	Felkor 70	Natuurkurk/EVA	Wittepoel	Puzo	grijsbeige	5	10	10
9	Microkurk	Felkor 50	Natuurkurk/EVA	Puzo	Puzo	grijsbeige	10	21	15,1
10	Perskurk	PKR Kurk	Natuurkurk/Natuurrubber	Puzo	Puzo	Kurkbruin	10	21	15,1
11	Perskurk	PKR	Natuurkurk/Natuurrubber	Wittepoel	Amorim (Portugal)	Kurkbruin	5	10	10
12	Poro bruin	Lavero Opbouw shore 65	Rubber?EVA?	Buchrnhornen	HJ van Drunen	bruin	10	40	50
13	Poro zwart	Lavero Opbouw zwart	Rubber?EVA?	Buchrnhornen	HJ van Drunen	zwart	6	40	50
14	Plastazote	Plastazote LD-33?	PE-foam closed cell	Fontys		wit	10	50	100
15	Erkoflex	Erkoflex	Ethylene Vinyl Acetaat copolymer	Loopcentrum	HJ van Drunen/Frecoma?	doorzichtig	3	50	50
15	Erkoflex	Erkoflex	Ethylene Vinyl Acetaat copolymer	Frecoma	Frecoma	doorzichtig	2	50	50
16	Rhenoflex	RX-3182	Polyolefin with fabric	Loopcentrum	HJ van Drunen/Frecoma?	wit	1,6	50	50
17	Rubber	Rubber	Natuurrubber?SBR?	Buchrnhornen	HJ van Drunen	zwart	4	zoolvorm	zoolvorm
17	Rubber	Rubber	Natuurrubber?SBR?	Buchrnhornen	HJ van Drunen	zwart	6	zoolvorm	zoolvorm
18	Polypropyleen	ThermoLyn RCH 500 (PE-HD)	HD-PE 500	Wittepoel	Otto Bock	rood	5	10	10
19	Voering kalfsleer	Kalfsvoering	leer	Loopcentrum	HJ van Drunen	beige	1	50	50
20	Sportvoering chroomg	Voorbladvoering grijs	leer	Loopcentrum	Van Oosterum leder	lichtgrijs	1	50	50
21	Microfibre	Microfibre	PA/PU/PES	Frecoma	Frecoma	beige	0,8	144	22,7
22	Plastazote geel	Plastazote LD-45	PE-foam closed cell	Frecoma	Frecoma	geel	15	21	15,1
23	Plastazote groen	Plastazote LD-33	PE-foam closed cell	Frecoma	Frecoma	groen	15	21	15,1
24	Carbon	Duralite Mix	Carbonvezel/glasvezel 45%/55%	Frecoma	Frecoma	zwart	2	21	15,1
25	Rhenoflex RX3172	RX 3172 10.10.015	Polyolefin with fabric	Frecoma	Frecoma	wit	1,5	30	21
26	Rhenoflex RX5432	RX 5432 00.00.000	Polyolefin with fabric	Frecoma	Frecoma	beige bruin	0,8	30	21
27	Rhenoflex RX3205	RX3205 10.20.018	Polyolefin with fabric	Frecoma	Frecoma	grijs	1,8	30	21
28	Rhenoflex RX5052	RX5052 00.00.000	Polyolefin with fabric	Frecoma	Frecoma	lichtbruin	1,1	30	21
29	Thermo200	Thermo 200	Polyolefin with fabric	Frecoma	Frecoma	wit	2	30	21
30	Imperfirm	Imperfirm 65P 20.20.012	Polyolefin with fabric	Frecoma	Frecoma	bruin	1,2	21	15,1
31	Imperflex	Imperflex V55P 20.10.010	Polyolefin with fabric	Frecoma	Frecoma	lichtblauw	1	21	15,1
32	Thermofix	Thermofix ca 50 shore	EVA kunststof	Fontys	Puzo	bruin caramél	15	50	50
33	Alveolux	Alveolux glag 30 shore	Polyolefin	Fontys	Inmotus	zalm	15	50	50
34	Digisole EVA20	Digisole EVA 20 shore	EVA kunststof	Fontys	Puzo	lichtgeel	15	50	50
35	Digisole EVA30	Digisole EVA 30 shore	EVA kunststof	Fontys	Puzo	heel licht grijs	15	50	50
36	Digisole EVA40	Digisole EVA 40 shore	EVA kunststof	Fontys	Puzo	grijs	15	50	50
37	Digisole EVA50	Digisole EVA 50 shore	EVA kunststof	Fontys	Puzo	donker grijs	15	50	50
38	Digisole EVA60	Digisole EVA 60 shore	EVA kunststof	Fontys	Puzo	antraciet	15	50	50
39	Softlux	Softlux wit 35 Shore A	EVA kunststof	Fontys	Puzo	wit	15	50	50

Nr	Naam	Soortelijk Gewicht	Hardheid	Compr speed	Pressure at 10%	Pressure at 25%	Pressure at 50%	P/C at max press.
		kg/m ³	Shore A	mm/min	kPa	kPa	kPa	
1	Dyafoam	236	31					0
1	Dyafoam	244	3	6	12	24	36	0,7
2	PPT	377	21					0,0
2	PPT	352	12	6	34	66	143	2,9
3	EVA25	154	29	3	113	163	265	5,3
4	EVA35	271	42	5,3	310	404	604	12,1
5	EVA50	250	47	5,1	309	469	759	15,2
6	EVA60	294	54	5	538	754	1239	24,8
7	Multiform	141	28	5	135	181	302	6,0
8	Microkurk	505	68	5	1	1264	2356	47,1
9	Microkurk	249	49	5	433	598	942	18,8
10	Perskurk	620	55	5	460	1069	2330	58,3
11	Perskurk	211	53	5	287	632	1298	26,0
12	Poro bruin	471	70	5	941	1556	2186	54,6
13	Poro zwart	327	57	6	1044	1324	2251	45,0
14	Plastazote	42	13	5	50	71	132	2,6
15	Erkoflex	914	74	6	813	2158		143,9
15	Erkoflex			2	942			0,0
16	Rhenoflex	1080	88					0,0
17	Rubber	973	65		942	2403		0,0
17	Rubber			6	942	2403		96,1
18	Polypropyleen	927	89					0,0
19	Voering kalfsleer	486	53					0,0
20	Sportvoering chroomg	600	24					0,0
21	Microfibre	382	27					0,0
22	Plastazote geel	38	12	7,5	51	73	135	2,7
23	Plastazote groen	29	8	7,5	43	62	118	2,4
24	Carbon	1752	89					0,0
25	Rhenoflex RX3172	1112	89					0,0
26	Rhenoflex RX5432	1204	87					0,0
27	Rhenoflex RX3205	987	85					0,0
28	Rhenoflex RX5052	1115	88					0,0
29	Thermo200	667	87					0,0
30	Imperfirm	1025	87					0,0
31	Imperflex	1062	85					0,0
32	Thermofix	451	51	7,5	149	522	955	19,1
33	Alveolux	145	29	7,5	139	195	325	6,5
34	Digisole EVA20	146	22	7,5	66	109	218	4,4
35	Digisole EVA30	213	36	7,5	175	264	471	9,4
36	Digisole EVA40	174	38	7,5	255	328	497	9,9
37	Digisole EVA50	210	46	7,5	361	484	743	14,9
38	Digisole EVA60	250	52	7,5	533	726	1076	21,5
39	Softflux	213	34	7,5	206	286	461	9,2

Nr	Naam	Speed	Cycle 1 Compr	Cycle 2 Compr	Cycle 100 Compr	c100 vs c2 Comp	c1 absorbed	c2 abs	c100 absorber2	% 100 tov 2
		mm/min	mm	mm	mm		Nmm			
1	Dyafoam	180	9,23	7,27	5,20	-28%	59%	52%	50%	80%
1	Dyafoam		9,23	7,27	5,20	-28%	59%	52%	50%	80%
2	PPT	180	6,59	4,73	3,15	-33%	45%	33%	22%	45%
2	PPT		6,59	4,73	3,15	-33%	45%	33%	22%	45%
3	EVA25	180	6,45	5,37	4,99	-7%	45%	27%	19%	55%
4	EVA35	60	6,59	4,73	3,15	-33%	45%	33%	22%	45%
5	EVA50	60	1,46	0,81	0,86	6%	32%	24%	15%	63%
6	EVA60	30	0,87	0,47	0,38	-19%	22%	19%	10%	44%
7	Multiform	180	5,20	4,66	4,16	-11%	47%	31%	24%	58%
8	Microkurk									#####
9	Microkurk	60	1,09	0,93	0,74	-20%	50%	38%	27%	54%
10	Perskurk	60	0,70	0,61	0,62	1%	23%	17%	9%	49%
11	Perskurk									
12	Poro bruin	10	0,27	0,15	0,15	-4%	13%	4%	3%	65%
13	Poro zwart	10	0,33	0,27	0,24	-10%	23%	15%	8%	49%
14	Plastazote	180	7,34	4,43	3,66	-17%	48%	18%	10%	45%
15	Erkoflex	10	0,16	0,17	0,18	3%	-7%	-3%	-6%	208%
15	Erkoflex									
16	Rhenoflex									
17	Rubber	30	0,44	0,43	0,41	-5%	17%	17%	11%	64%
17	Rubber									
18	Polypropyleen									
19	Voering kalfsleer									
20	Sportvoering chroomgeloid									
21	Microfibre									
22	Plastazote geel	180	11,49	8,36	7,06	-15%	45%	22%	11%	40%
23	Plastazote groen	21	7,65	5,86	4,61	-21%	45%	26%	16%	49%
24	Carbon									
25	Rhenoflex RX3172									
26	Rhenoflex RX5432									
27	Rhenoflex RX3205									
28	Rhenoflex RX5052									
29	Thermo200									
30	Imperfirm									
31	Imperflex									
32	Thermofix	21	0,72	0,77	0,84	9%	32%	20%	14%	78%
33	Alveolux	21	6,36	6,59	6,30	-4%	49%	34%	24%	54%
34	Digisole EVA20	21	9,17	8,63	7,87	-9%	35%	19%	10%	41%
35	Digisole EVA30	21	4,70	4,32	4,85	12%	50%	36%	21%	50%
36	Digisole EVA40	21	2,35	2,32	3,17	37%	55%	42%	26%	66%
37	Digisole EVA50	21	0,67	0,71	0,93	31%	36%	32%	22%	79%
38	Digisole EVA60	21	0,34	0,34	0,35	1%	20%	17%	14%	79%
39	Softlux	21	3,59	3,89	4,25	9%	52%	37%	24%	56%

Nr	Naam	Emod	Stress		Flex		Flex
		(RC1)	max	at Strain	stress	at strain	modulus
		M Pa	M Pa		kPa	%	kPa
1	Dyafoam						
1	Dyafoam	0,4	0,6	168%			
2	PPT						
2	PPT	0,2	0,5	236%			
3	EVA25	2,2	1,8	174%	747	8%	25
4	EVA35	5,1	2,5	231%	1400	24%	275
5	EVA50	7,4	3,5	151%	1304	9%	158
6	EVA60	8,2	3,9	156%	2229	24%	393
7	Multiform	2,2	2,0	319%	624	23%	96
8	Microkurk						
9	Microkurk	17,3	2,2	64%	2116	24%	617
10	Perskurk	6,0	1,2	36%	1920	27%	237
11	Perskurk						
12	Poro bruin	23,3	4,3	63%	4944	25%	901
13	Poro zwart	17,9	4,3	129%	2329	12%	458
14	Plastazote	1,1	0,55	197%	260	28%	36
15	Erkoflex	13,0	NVT	NVT			
15	Erkoflex						
16	Rhenoflex	279	20	23%	28175	3%	3583
17	Rubber						
17	Rubber	2,9	12	582%	2411	14%	454
18	Polypropyleen				6,95E+04	7%	7,60E+06
19	Voering kalfsleer	18,2	13	93%			
20	Sportvoering chroomg	20,1	13	91%			
21	Microfibre	24,0	20	108%			
22	Plastazote geel				188	45%	40
23	Plastazote groen				149	44%	31
24	Carbon	7101	290	6%			
25	Rhenoflex RX3172	414	20	16%			
26	Rhenoflex RX5432	259	19	12%			
27	Rhenoflex RX3205	287	15	7%			
28	Rhenoflex RX5052	703	18	7%			
29	Thermo200	266	14	19%			
30	Imperfir	278	24	22%			
31	Imperfex	171	15	22%			
32	Thermofix				1580	46,0%	239
33	Alveolux				534	48%	89
34	Digisole EVA20				330	48%	55
35	Digisole EVA30				582	47%	101
36	Digisole EVA40				698	45%	154
37	Digisole EVA50				1475	50%	294
38	Digisole EVA60				1711	44%	333
39	Softlux				717	48%	115

PFI-Measurements						
	Peak Force F _{Peak}	Max. Force F _{max}	Input Energy W _{in}	Output Energy W _{out}	Absorbed Energy W _{absorb}	Absorption Factor f
Materiaal:	N	N	J	J	J	%
Dyafoam/X2 (15)	1248,3	1187,6	1,072	0,055	1,016	94,9
PPT	1708,2	1618,3	1,105	0,484	0,621	56,2
EVA 25	4787	3653,1	1,029	0,276	0,753	73,2
EVA 35 wit	655,6	627,6	1,077	0,327	0,75	69,7
EVA 50 zand	914,2	872,3	0,963	0,263	0,7	72,7
EVA 60 zwart (10)	860,3	804,6	1,012	0,306	0,706	69,8
Multiform zalm	580,1	481,8	1,222	0,409	0,813	66,6
Microkurk Felkor 50	1004	856	1,052	0,227	0,825	78,4
Perskurk PKR	996,9	944	1,001	0,398	0,602	60,2
Poru bruin	1208,8	1055,1	0,981	0,274	0,707	72,0
Poru zwart	1266,3	1182,9	0,959	0,222	0,738	76,9
Plastazote wit	583,7	488,4	1,384	0,371	0,913	66,0
Erkoflex	2954,8	2856,8	0,899	0,307	0,592	65,8
Rubber	1916,5	1815,3	0,923	0,315	0,609	65,9

10,000 cycles, 600 N- 40 N/cm ²									
	Peak Force F _{Peak}	Max. Force F _{max}	Input Energy W _{in}	Output Energy W _{out}	Absorbed Energy W _{absorb}	Absorption Factor f	Effect of 10.000 cycles Max Force	Effect of 10.000 cycles on Absorption factor	Thickness
Materiaal:	N	N	J	J	J	%	%	%	mm
Dyafoam/X2 (15)									5,9
PPT									5,8
EVA 25									
EVA 35 wit	727,4	709	1,146	0,439	0,707	61,7	13,0	-11,4	10,64
EVA 50 zand									5,2
EVA 60 zwart (10)	849,6	823	1,001	0,3	0,701	70,0	2,3	0,4	9,98
Multiform zalm	687,9	640,6	1,217	0,533	0,684	56,2	33,0	-15,5	10,04
Microkurk Felkor 50	820,8	781,8	1,055	0,251	0,804	76,2	-8,7	-2,8	9,82
Perskurk PKR	1101	1000	1,053	0,438	0,615	58,4	5,9	-3,0	9,63
Poru bruin	1129,8	1082,9	0,992	0,289	0,703	70,8	2,6	-1,6	10,53
Poru zwart	1219,6	1155,2	0,952	0,211	0,741	77,9	-2,3	1,3	5,9
Plastazote wit									10
Erkoflex									3,9
Rubber									6,1

Bijlage 3. Toelichting gegevens kolommen in de materialendatabase

Merknaam	Naam zoals weergegeven in leverancierscatalogi
Materiaal	Belangrijkste bestanddelen
Chemische naam	Chemische naam van bestanddelen
Leverancier	Mogelijke leverancier
Producent	Producent van het materiaal
Alias	Andere namen voor hetzelfde materiaal
Structuur	Open of gesloten celstructuur, celgrootte
Herkomst gegevens	Waar komen de gegevens vandaan: datasheets producent, datasheets leverancier, metingen Fontys Hogescholen Metingen PFI
Toepassingsgebied	Waarvoor wordt het materiaal voornamelijk gebruikt: Zool, Versteving, Opbouw, Dempen, Afdek
Functie	Kwalitatieve omschrijving van gewenste eigenschappen
Omschrijving	Hoe wordt het materiaal omschreven in leveranciers catalogi
Profiel	Oppervlakte karakteristiek
Formaat	Afmetingen (LxB)
Dikte	Hoogte
Kleur	Kleur waarin het materiaal verkrijgbaar is
Hardheid min [Shore A]	ISO 7619-1 (2004) reading after 10 s
Hardheid max [ShoreA]	
S.Gewicht min [kg/m3]	ISO 2781 DIN 53479
S. Gewicht max [kg/m3]	
Thermoplast	
Compressie 10%[kPa]	ISO7214 (1998) verwijst naar ISO3386 Druk benodigd om materiaal 10% te comprimeren met een snelheid van de helft van de dikte
Compressie 25% [kPa]	ISO7214 (1998) verwijst naar ISO3386 Druk benodigd om materiaal 25% te comprimeren met een snelheid van de helft van de dikte
Compressie 40% [kPa]	ISO7214 (1998) verwijst naar ISO3386 Druk benodigd om materiaal 40% te comprimeren met een snelheid van de helft van de dikte
Compressie 50% [kPa]	ISO7214 (1998) verwijst naar ISO3386 Druk benodigd om materiaal 50% te comprimeren met een snelheid van de helft van de dikte/minuut
Net absorbed energy c100 [%]	Oppervlak tussen compressiecurve en relaxatiecurve ten opzichte van totaal oppervlak onder de compressiecurve gemeten na 100 cycli van 350 kPa met een frequentie van 1 Hz
E modulus [MPa]	elasticiteitsmodulus=spanning [MPa]/vervorming[%] gemeten bij uitrekking voor een lineair elastisch materiaal
E modulus Flex [MPa]	Buigingsmodulus =ratio van stress en strain bij buiging. $E_{flex}=(L^3*F)/(4w*h^3*d)$ Ideaal: $E=E_{flex}$
Ultimate stress	ISO178 stress at break
Herstelvermogen 24h25%, 30 min [%]	ISO7214 (1998) % van de oorspronkelijke dikte na 24 uur indrukken tot 25% van oorspronkelijke dikte en 30 minuten recovery
Herstelvermogen 24h25%, 24 h [%]	ISO7214 (1998) % van de oorspronkelijke dikte na 24 uur indrukken tot 25% van oorspronkelijke dikte en 24 h recovery
Herstelvermogen 24h50%, 30 min	ISO7214 (1998) % van de oorspronkelijke dikte na 24 uur indrukken tot 50% van oorspronkelijke dikte en 30 minuten recovery

Herstelvermogen 24h50%, 24h [%]	ISO7214 (1998) % van de oorspronkelijke dikte na 24 uur indrukken tot 50% van oorspronkelijke dikte en 24 h recovery
Shockenergy absorbed [%]	schokenergie-absorptie, terugveerhoogte ten opzichte van valhoogte ISO4651 (1988) Dynamische stootdemping ASTMD2632 Rebound height ISO4662 Rubber Rebound Resilience
Treksterkte min [kPa]	ISO 527 maximale spanning bij breuk
Treksterkte [kPa]	
Verlenging min [%]	Maximale verlenging tot breuk
Verlenging [%min]	
Stijfheid [Nm/°]	ISO1432 Gehmann test, relatieve torsie stijfheid over temperatuurrange 20-(-150°)C
Stijfheid [Nm/°]2	
Scheursterkte [N/m]	ISO 34-1 Kracht nodig om (ingesneden) materiaal te scheuren $T_s = F / (\text{dikte})$ ISO13937 Textiles Elmendorf pendulum test 20mm knip scheurt 43 mm verder
Slijtweerstand [mm3]	ISO4649 DIN 53516 Rubbers, Volume dat verdwijnt in slijtage door een kracht van 10 N in een gestandaardiseerd ronddraaiend schuurwerktuig ASTM D4966-98 Martindale Abrasion: # cycli nodig om visuele slijtage-effecten (gaten) te creëren bij een druk van 9 of 12 kPa ISO20868 Insoles: Surface resistance shown by an insole test piece when rubbed with a piece of wet white wool felt pad, covered with an abradant fabric, under a given pressure, with a number of to-and-fro motion cycles
Vochtopname [%]	ISO 1420 Resistance to penetration with water
Waterdampdoorlaatbaarheid [g/m2/24h]	ISO1663 Hoeveelheid waterdamp [g] die in 24 h door een bepaald oppervlak wordt doorgelaten, dikte 10 mm
Wrijvingscoëfficiënt dry/static	ISO22653 kracht nodig om gewicht in beweging te krijgen/zwaartekracht
Wrijvingscoëfficiënt wet/kinetic	ISO22653 kracht nodig voor constante snelheid/zwaartekracht
Thermische geleidbaarheid [W/m.K]	ISO 8301 (heat flow)/8302(hot plate): Isolatiemateriaal bepaling van thermische weerstand en daaraan gerelateerde eigenschappen
Elektrische weerstand [kΩ]	ISO 8031 rubber en plastic omhulsels ISO 10965: Textiel vloerbedekking
Peeling strength	ISO 11339:2010: Kracht per breedte eenheid benodigd om een gelijkjnde verbinding tussen 2 flexibele materialen te verbreken en/of met gelijke snelheid uit elkaar te trekken
Martindale abrasion (wet)	ASTM D4966-98, ISO12947:1998: aantal rotaties tot breuk van de vezels van een materiaal belast onder specifieke condities
Duurzaamheid energie absorptie c100 vs c2	Oppervlak tussen compressiecurve en relaxatiecurve na 100 cycli van 350 kPa/s vs hetzelfde oppervlak na 2 cycli van 350 kPa/s
Color fastness	ISO105-B01: 2014: bepaling van de invloed van daglicht op de kleur van textiel
Thermoplastisch vervormbaar bij [°]	Temperatuur waarbij het materiaal thermoplastisch vervormbaar wordt (vaak in dezelfde orde grootte als de glastemperatuur)
Oventijd [s]	Tijdsduur in de oven noodzakelijk om het materiaal verwerkbaar te maken
Afkoeltijd [min]	Tijdsduur noodzakelijk om het materiaal voldoende af te laten koelen
Krimp [%]	Omvang van het materiaal na opwarmen en afkoelen, in relatie tot de omvang van het oorspronkelijke materiaal
Vorbewerking voor verlijmen	Chemische of mechanische behandeling van het oppervlak, noodzakelijk om lijm te laten hechten
Lijm	Soort lijm dat hecht aan dit materiaal
Schuurbaarheid	Gedrag van het materiaal onder een schuurband

Nabewerking	Bewerkingen noodzakelijk om het materiaal af te werken of mogelijkheid om het materiaal nog verder te bewerken, nadat het gevormd of vervormd is
Additionele maatregelen	Extra maatregelen noodzakelijk in de bewerking van dit materiaal, zoals bijvoorbeeld de noodzaak van extra afzuiging of beschermende kleding in verband met het vrijkomen van giftige stoffen of minuscule splinters
	ISO 20344-ISO 20347 Personal protective equipment test methods for footwear