

Fawzy Sherif

**Multifunktionale textilbasierte Schienung von
Frakturen am Beispiel der Radiusfraktur**

Im Namen Allahs,
des Allerbarmers, des Barmherzigen

*„Und sie befragen dich über die Seele. Sprich: "Die Seele ist eine Angelegenheit
meines Herrn; und euch ist vom Wissen nur wenig gegeben."*

Koran, [17-85]

In Dankbarkeit meinem Vater gewidmet

Multifunktionale textilbasierte Schienung von Frakturen am Beispiel der Radiusfraktur

Der Fakultät Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktoringenieur (Dr.-Ing.)
vorgelegte Dissertation

von

M.Sc. Sherif, Fawzy Said Zaki
geb. am 28.11.1977 in Menoufiya, Ägypten

Vorsitzender: Herr Prof. Dr.rer.med. H. P. Wiesmann

Gutachter: Herr Prof. Dr.-Ing.habil. H. Rödel

Herr Prof. Dr.med. H. Zwipp

Mitglieder: Herr Prof. Dr.-Ing. M. Schmauder

Herr Prof. Dr.rer.nat. M. Gelinski

Tag der Einreichung: 30.11.2010

Tag der Verteidigung: 04.04.2011

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als Promotionsstudent und als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik der Technischen Universität Dresden.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Hartmut Rödel für seine Unterstützung und Motivation. Seine zahlreichen Hinweise und Diskussionen waren mir eine bedeutende Hilfe bei der Erstellung der Promotion. Innerhalb der Konfektionsgruppe habe ich eine gute Arbeitsatmosphäre erleben können, die durch Verständnis, Herzlichkeit und menschliche Wärme gekennzeichnet ist.

Danken möchte ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik für ihre Unterstützung und gute Zusammenarbeit. Mein besonderer Dank geht an Frau Prof. Dr.-Ing. habil. Sybille Krzywinski, Frau Dr.-Ing. Claudia Herzberg, Frau Dipl.-Ing. Elke Haase und Frau Iris Kunath für ihre Bemühungen und die hilfreiche Unterstützung aller wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen des Institutes. Hervorheben möchte ich das angenehme kollegiale Arbeitsklima und die freundliche Unterstützung während meines Aufenthaltes in Deutschland.

Weiterhin danke ich ganz herzlich meinem Heimatland Ägypten für die Zulassung zum Promotionsstudium in Deutschland und für die finanzielle Unterstützung meines Aufenthaltes in Deutschland.

Meinen Freunden und Bekannten in Dresden möchte ich für ihre moralische Unterstützung während meines Aufenthaltes in Deutschland danken.

Abschließend gilt mein Dank auch meiner Frau, meinen Kindern Mahmoud, Ahmed und Israa und auch meiner Mutter und meinen Brüdern, die trotz der großen Entfernung zwischen Ägypten und Deutschland mir immer das Gefühl gegeben haben, dass sie alle hinter mir stehen und mich unterstützen.

Abstract

Technical textiles are one of the fastest growing sectors of the global textile industry, especially in the medical application which is considered as one of the most important applications of technical textiles. Plaster (gypsum) and plastics casts are widely used nowadays in hospitals, pharmacies and health care centers. But they are heavy, not washable, do not offer a suitable fixation for bone fractures (e.g. hand wrist) and always in individually sizes. After decrease of swelling, the cast is in a hard form and the stabilization effect of the cast is insufficient due to the occurring of distance between the skin and the cast. In this work, a new pneumatic cast is developed, that depends on a coated fabric as an outer layer, skin friendly fabrics as internal layers, air chamber and metal braces. For more comfort, the cast is anatomically formed and includes four internal layers of cotton/viscose fabric and polyester spacer fabric. The new developed cast controls the pressure on the injured part by using a pneumatic system. In a comparison with plaster and plastic casts that are heavy, not washable, provide an insufficient fixation after swelling decrease and always in individually sizes; the new developed pneumatic cast is light weight, easy to use, washable, mass-produced and offer the required fixation to the injured part during swelling conditions.

Inhaltsverzeichnis	I
Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
2 Verwendung technischer Textilien im medizinischen Bereich...	5
2.1 Technische Textilien im kurzen Überblick.....	5
2.2 Konfektionierung technischer Textilien.....	9
2.3 Medizintextilien.....	10
2.3.1 Klassifikation der medizinischen Textilien.....	11
2.3.2 Markt medizinischer Textilien.....	12
2.4 Knochenfrakturen.....	14
2.4.1 Klassifikation von Frakturen.....	15
2.4.2 Behandlung der Frakturen.....	16
2.5 Handradiusfraktur.....	16
2.6 Verbandsmaterialien für medizinische Anwendungen.....	17
2.6.1 Relevante textile Faserstoffe.....	17
2.6.2 Pflaster.....	18
2.6.3 Klebmassen.....	18
2.6.4 Adhäsive Stoffe.....	18
2.6.5 Fixierbinden.....	18
2.7 Geschichte der Schienenbehandlung.....	19
3 Stand der Behandlungsmethoden mittels fixierender Verbände – Einsatz von Materialien	21
3.1 Bandagen.....	21
3.1.1 Definition von Bandagen.....	21
3.1.2 Typen und Klassifizierung der Bandagen [MUD 07].....	22
3.1.2.1 Klassifikation nach dem Anwendungsort.....	22
3.1.2.2 Klassifikation nach Indikationen und therapeutischen Anwendungen.....	22
3.1.2.3 Klassifikation nach dem Konstruktionsprinzip.....	22
3.1.3 Anwendungsziele und Wirkungsweise von Bandagen.....	23
3.2 Schienen.....	23
3.2.1 Definition	23

3.2.2	Gipsschiene.....	24
3.2.2.1	Anlegen der Gipsschiene.....	24
3.2.2.2	Vorteile der Gipsschiene.....	25
3.2.2.3	Nachteile der Gipsschiene.....	26
3.2.3	Kunststoffschiene.....	26
3.2.3.1	Anlegen der Kunststoffschiene.....	27
3.2.3.2	Vorteile der Kunststoffschiene.....	27
3.2.2.3	Nachteile der Kunststoffschiene.....	27
3.2.4	Behandlung der Handfraktur mit statischen und dynamischen Schienen.....	28
3.2.4.1	Statische Schienen.....	28
3.2.4.2	Dynamische Schienen.....	29
3.2.5	Zweite Haut-dynamische Schiene.....	30
3.2.5.1	Spinale Schiene.....	30
3.2.5.2	Fußschiene.....	30
3.2.5.3	Handschiene.....	31
3.3	Kompression der fixierenden Verbände auf der Haut.....	31
3.3.1	Die menschliche Haut.....	31
3.3.2	Funktionen der Haut.....	32
3.3.3	Komforteigenschaften der Textilien.....	33
3.3.4	Komfortparameter und -komponenten.....	33
3.4	Kompressionsdruck auf der Haut.....	34
3.4.1	Definition des Kompressionsdruckes.....	34
3.4.2	Niveau des Kompressionsdruckes bei Bandagen	35
3.4.3	Funktion der Kompression.....	35
3.4.4	Klassifikation der Kompression auf der Haut.....	35
4	Entwicklung einer neuen pneumatischen Schiene.....	37
4.1	Fluidsysteme zur Lagefixierung gebrochener Knochen.....	37
4.1.1	Pneumatische Schiene.....	37
4.1.2	Vakuumschienen.....	38
4.2	Motivation.....	39
4.3	Entwicklung der pneumatischen Schiene zur Behandlung von Radiusfrakturen.....	39
4.4	Das pneumatische Konzept.....	41

5	Beschichtete Abstandsgewirke als innere Schicht der Kammer	43
5.1	Abstandsgewirke.....	43
5.1.1	Anwendungen der Abstandsgewirke.....	44
5.2	Beschichtung von Abstandsgewirke.....	45
5.2.1	Eigenschaften der Beschichtungsmaterialien.....	45
5.2.2	Angewandtes Abstandsgewirke.....	46
5.2.3	Beschichtungsverfahren.....	46
5.3	Prüfungen der beschichteten Abstandsgewirke.....	47
5.3.1	Oberflächenbeschaffenheit	47
5.3.2	Biegesteifigkeit	49
5.3.3	Dehnung unter Einfluss der Zugkraft.....	51
5.3.4	Luftdurchlässigkeit.....	52
5.3.5	Wärmedurchgangswiderstand.....	55
5.3.6	Wasserdampfdurchgangswiderstand.....	56
5.4	Zusammenfassende Wertung der textilphysikalischen Prüfungen...	58
6	Konstruktion, Aufbau und Fertigung der entwickelten pneumatischen Schiene	59
6.1	Beschichtetes Gewebe als pneumatische Kammer der entwickelten Schiene.....	59
6.2	Aufbau der Schiene.....	60
6.2.1	Aufbau der zwei Teile der Schiene.....	63
6.2.2	Die Pneumatische Kammer der Schiene.....	63
6.2.3	Komponenten des Vorderteiles der Schiene.....	63
6.2.4	Komponenten des Hinterteiles der Schiene.....	64
6.3	Funktion der Schiene.....	65
6.4	Modifizierte Konstruktion der pneumatischen Schiene.....	66
7	Experimentelle Untersuchungen der entwickelten pneumatischen Schiene	68
7.1	Bestimmung des Textilmaterials der pneumatischen Kammer und der äußeren Schicht.....	68
7.2	Eignung von Klebstoffen für die Montage der pneumatischen Kammer	68
7.3	Quantifizierung der Druckwirkung der pneumatischen Schiene auf die Hautoberfläche.....	70
7.4	Bestimmung der Waschzyklen der pneumatischen Kammer der Schiene.....	74
7.5	Physiologische Eigenschaften der pneumatischen Schiene.....	77

7.5.1	Wärmedurchgangswiderstand.....	77
7.5.2	Wasserdampfdurchgangswiderstand.....	79
8	Zusammenfassung und Schlussfolgerung.....	83
	Literaturverzeichnis.....	89
	Anhang.....	98
	Anhang zu Kapitel 5.....	99
	Anhang zu Kapitel 6.....	100
	Anhang zu Kapitel 7.....	105

Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis

Formelzeichen und Einheiten

B	[mN.cm ²]	Biegesteifigkeit
R	[mm/s]	Luftdurchlässigkeit
R _{ct}	[m ² K/W]	Wärmedurchgangswiderstand
R _{et}	[m ² Pa/W]	Wasserdurchgangswiderstand

Abkürzungen

2D	- zweidimensional
3D	- dreidimensional
Abb.	- Abbildung
bzw.	- beziehungsweise
CAD	- Computer Aided Design
CAM	- Computer Aided Manufacture
OP	- Operation
d. h.	- das heißt
DIN	- Deutsches Institut für Normung
GB	- Großbritannien
LKW	- Lastkraftwagen
usw	- und so weiter
PU	- Polyurethane
u. a.	- und andere
mmHg	- Millimeters of Mercury
vgl.	- vergleiche
z. B.	- zum Beispiel
PES	- Polyester
NBR	- Nitrile Butadiene Rubber
WZ	- Waschzyklen
PVC	- Polyvinylchlorid

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Anwendungsbereiche der Technischen Textilien.....	5
Abb. 2.2	Weltendverbrauch der technischen Textilien, 1995 - 2010, in Volumen- und Wertangaben.....	8
Abb. 2.3	Klassifikation der medizinischen Textilien.....	12
Abb. 2.4	Schematische Darstellung des Klassifikationsprinzips.....	15
Abb. 2.5	Anatomie der Hand.....	16
Abb. 2.6	Handradiusfraktur.....	18
Abb. 2.7	Distale Radiusfraktur mit Schwellung.....	17
Abb. 3.1	Instrumente und Hilfsmittel des Gipsraumes.....	24
Abb. 3.2	Prozess der Fixierung der Gipsschiene.....	24
Abb. 3.3	Prozess der Entfernung der Gipsschiene.....	25
Abb. 3.4	Fixierung eines Armbruchs mit einer Kunststoffschiene.....	27
Abb. 3.5	abstützende Handgelenkstützschiene (links) und kombinierte Lagerungsschiene (rechts) als Beispiele für die statischen Schiene.....	28
Abb. 3.6	dynamische Daumenschiene (links) und Handgelenkflexionsschiene (rechts) als Beispiele für die dynamischen Schienen.....	29
Abb. 3.7	Spinale Skoliose (links) und Behandlung mit der Spinalen Schiene (rechts).....	30
Abb. 3.8	Rolle der dynamischen Fußschiene, während der Änderung der Form der Fußknochen.....	30
Abb. 3.9	Form der Hand vor und nach Behandlung mit der dynamischen Handschiene.....	31
Abb. 3.10	Schematischer Querschnitt durch die menschliche Haut.....	32
Abb. 4.1	Pneumatische Schienen zur Ruhigstellung bei Frakturen an Arm und Bein.....	37
Abb. 4.2	Vakuumimmobilisator zur Ruhigstellung des Verletzten bei Oberschenkel- und Armfrakturen.....	38
Abb. 4.3	Veränderung des Abstands (a) zwischen dem traditionellen Gipsverband und der Haut während der Schwellung (links) und nach Rückgang der Schwellung.....	39
Abb. 4.4	Handradiusfraktur im Röntgenbild (links) und in Prinzipskizze (rechts).....	41
Abb. 4.5	Prinzip der pneumatischen Struktur.....	42
Abb. 5.1	Abstandsgewirke mit feuchteabweisender Funktion auf der Oberseite	43
Abb. 5.2	Abstandsgewirke mit feuchteabweisender und lufttrocknender Funktion	43

Abb. 5.3	Übersicht zur Anwendung der Abstandsgewirke	44
Abb. 5.4	Komponenten der pneumatischen Schiene mit beschichtetem Abstandsgewirke im Hautkontakt (erste Methode).....	45
Abb. 5.5	Schablone zur Oberflächenbeschichtung des Abstandsgewirkes, Innenmaß 15 cm x 18 cm (Draufsicht).....	47
Abb. 5.6	Schichtdicken der Beschichtungsmaterialien auf der Oberfläche des Abstandsgewirkes.....	48
Abb. 5.7	Beschichtungsmaterialdicken und Absorptionsniveaus der Oberflächen des Stoffes.....	49
Abb. 5.8	Biegesteifigkeit des Abstandsgewirkes in Abhängigkeit von der Beschichtungsmasse.....	51
Abb. 5.9	Dehnung des beschichteten Abstandsgewirkes	52
Abb. 5.10	Luftdurchlässigkeit der inneren Oberfläche des beschichteten Abstandsgewirkes.....	54
Abb. 5.11	Luftdurchlässigkeit der äußeren Oberfläche des beschichteten Abstandsgewirkes.....	55
Abb. 5.12	Wärmedurchgangswiderstand der Abstandsgewirke mit Beschichtungen.....	57
Abb. 5.13	Wasserdampfdurchgangswiderstand der Abstandsgewirke mit Beschichtungen.....	57
Abb. 6.1	Komponenten der pneumatischen Schiene nach der zweiten Methode.....	59
Abb. 6.2	Komponenten der Luftkammer.....	60
Abb. 6.3	Markierung für die größenspezifische Einstellung des Klettverbandverschlusses.....	62
Abb. 6.4	Ansicht der äußeren (links) und inneren, der Haut zugewandten Seite des Verbandes (rechts).....	62
Abb. 6.5	zusätzliche Lagestabilisierung mittels Metallschienen.....	63
Abb. 6.6	Komponenten der Vorderteile der neu entwickelten Schiene.....	64
Abb. 6.7	Komponenten des pneumatischen Systems.....	64
Abb. 6.8	Komponenten des Hinterteiles der neue entwickelten Schiene	65
Abb. 6.9	Ansicht des Verbandes bei Positionierung am linken Arm.....	65
Abb. 6.10	Bewegung des freien Daumens.....	65
Abb. 6.11	Bewegung der pneumatischen Kammer beim Aufpumpen zur Lagefixierung des Bereiches der Radiusfraktur.....	66
Abb. 6.12	Aufbau der modifizierten pneumatischen Schiene.....	66
Abb. 6.13	Lüftungsöffnungen in der äußeren Schicht der pneumatischen Schiene zur Gewährleistung des Luftaustausches.....	67
Abb. 7.1	Nahtfestigkeit der verschiedenen Adhäsionsmaterialien beim Kleben von gummiertem Gewebe PTO E 13-606-48.....	70

Abb. 7.2	Messung des Druckes der Schiene auf der Haut - Messgerät (links oben), Drucksensoranordnung (links unten), Arm des Probanden und Messtechnik während der Messung (rechts).....	71
Abb. 7.3	Vergleich zwischen Druck in der pneumatischen Schiene und Druck auf der Extremität ohne Schwellung an den Sondenpositionen.....	72
Abb. 7.4	Vergleich zwischen Druck in der pneumatischen Schiene und Druck auf der Extremität mit simulierter Schwellung an der Sonde 1	73
Abb. 7.5	Druck auf der Hautoberfläche im Bereich der Sonde 1 in Abhängigkeit vom Druck in der pneumatischen Schiene.....	74
Abb. 7.6	Gerät zur Messung des Nahtdruckwiderstands (links oben) und Ablauf des Tests mit fortlaufender Aufwölbung des Prüflings (rechts oben und links unten) und letztlich dem durchdringenden Wassertropfen (rechts unten).....	76
Abb. 7.7	Einfluss der Zahl der Waschzyklen auf den Nahtdruckwiderstand der Nahtproben aus dem Material der pneumatischen Kammer.....	77
Abb. 7.8	Innere Schichten der pneumatischen Schiene.....	77
Abb. 7.9	Mittelwerte der Temperatur während des Tragens der Schiene.....	79
Abb. 7.10	Auswirkung von Struktur der Schiene auf die Wärmeisolation.....	81
Abb. 7.11	Auswirkung von Struktur der Schiene auf die Wasserdampfdurchlässigkeit.....	81

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	Anwendungen der technischen Textilien.....	7
Tabelle. 2.2	Klassifizierung des Verkaufs der technischen Textilien im Jahr 2007.....	8
Tabelle. 2.3	Anwachsen des Output der EU - technische Textilien (2002 – 2007).....	9
Tabelle. 3.1	Klassifikation der Kompression auf der Haut.....	36
Tabelle. 5.1	Eigenschaften der Beschichtungsmaterialien.....	45
Tabelle. 5.2	Eigenschaften des Abstandsgewirkes.....	46
Tabelle. 5.3	Oberfläche des Abstandsgewirkes vor und nach der Beschichtung.....	48
Tabelle. 5.4	Biegesteifigkeit des Abstandsgewirkes ohne und mit unterschiedlichen Beschichtungsmaterialien.....	50
Tabelle. 5.5	Dehnung des beschichteten Abstandsgewirkes.....	51
Tabelle. 5.6	Luftdurchlässigkeit der inneren Seite (unbeschichtete Fläche)...	53
Tabelle. 5.7	Luftdurchlässigkeit der Außenseite (beschichtete Oberfläche).	53
Tabelle. 5.8	Wärmedurchgangswiderstand des beschichteten Abstandsgewirkes.....	56
Tabelle. 5.9	Wasserdampfdurchgangswiderstand des einseitig beschichteten Abstandsgewirkes.....	56
Tabelle. 6.1	Mechanische Eigenschaften des beschichteten Gewebes der Luftkammer.....	59
Tabelle. 6.2	Messwerte der Hand.....	61
Tabelle. 6.3	Handgelenkumfangsmaße der Größen A und B der pneumatischen Schiene.....	61
Tabelle. 7.1	Eigenschaften der verschiedenen beschichteten Gewebe für die Herstellung der pneumatischen Kammer.....	68
Tabelle. 7.2	Eigenschaften der verschiedenen Klebstoffe für die Montage der pneumatischen Kammer.....	69
Tabelle. 7.3	Druck auf der Haut ohne Schwellung.....	71
Tabelle. 7.4	Druck auf der Haut mit simulierter Schwellung.....	73
Tabelle. 7.5	Nahtdruckwiderstand der Proben vor und nach Waschzyklen (WZ).....	76
Tabelle. 7.6	Hauttemperatur der Haut während des Tragens der Schiene	79
Tabelle 7.7	Auswirkung der Struktur der Schiene auf die Wärme- und Wasserdampfdurchgangswiderstandseigenschaften	80

1 Einleitung

Die Welttextilindustrie verzeichnet bei der Herstellung Technischer Textilien hohe Wachstumsraten [CZA 05]. Technische Textilien werden von einer großen Zahl von Endanwendern in den verschiedensten Branchen und auf den unterschiedlichsten Märkten genutzt, z. B. Landwirtschaft, Kraftfahrzeugtechnik, Bauindustrie, Maschinenbau, Medizin und Hygiene, Verpackung, Schutzbekleidung, Sportausrüstung und Sportbekleidung und auch im Transport- und Logistikbereich [TEX 04].

Im medizinischen Bereich und zur Gesundheitspflege werden textile Produkte in verschiedenen Formen benutzt, wie deren Anwendung zum Teil schon seit Jahrhunderten praktiziert wird. Mit der Weiterentwicklung des medizinischen Wissens werden auch neue und höhere Anforderungen an die die medizinischen Prozesse unterstützenden textilen Produkte gestellt. In der Folge steigt der Grad der Komplexität und der Kompliziertheit der Produkte. Durch Forschung und Entwicklung muss diesen Anforderungen entsprochen werden. Für die Darstellung der Breite des Einsatzes von Textilien im medizinischen Bereich hat Rabe [RAB 99] eine Einteilung in Medizin- und Hygienetextilen vorgenommen, die sich einerseits in Medizintextilien für extra- und intrakorporale Anwendungen unterscheiden. Andererseits ist die Einteilung der Hygienetextilien in OP-Schutzbekleidung und- Ausrüstung, in Textilien für den Stationsbetrieb des Krankenhauses sowie die direkten Hygieneanwendungen sinnvoll.

Dieses breite Einsatzgebiet setzt zuerst die hygienische Funktionalität, gegebenenfalls sogar Sterilität, voraus. Dies kann durch eine antibakterielle textile Ausrüstung noch unterstützt werden. Eng damit verbunden sind die Gewährleistung der physiologischen Wechselwirkungen zwischen menschlichem Körper und textilem Produkt, welches mit den von Umbach [UMB 00] definierten thermophysiologischen, ergonomischen und hautsensorischen Tragekomfort verständlich und vergleichbar quantifiziert werden kann.

OP-Bekleidung der Operateure, diese besonders anspruchsvolle Arbeitsschutzbekleidung, und die Abdecktücher für den Patienten verlangen die hygienische Funktionalität gepaart mit dem komplexen Tragekomfort für diese Personen. Die Textilbranche hat zwei prinzipielle Möglichkeiten, diesen Forderungen zu entsprechen:

- Verwendung von Einwegtextilien aus steriler Produktion und deren Vernichtung nach erfolgtem Gebrauch
- Verwendung von Mehrwegtextilien und deren wiederholte Aufbereitung in validierten Textilpflegeprozessen mit integrierter Sterilisierung.

Mengenmäßig gigantische Märkte, die überwiegend mit Einwegtextilien versorgt werden, sind Inkontinenztextilien, diverse Vorlagen und Babywindeln.

Während die zu den extrakorporalen Textilien gehörenden verschiedenartigsten Verbände größere Mengen umfassen, sind textile Komponenten von Implantaten von technisch und hygienisch hohem Anspruch, aber nur in kleineren Mengen notwendig. Insbesondere für intrakorporale Anwendungen kommen auch Polymere, neue Filament- und Flächenstrukturen sowie Ausrüstungsvarianten zur Anwendung, die die Bioverträglichkeit zum menschlichen Körper gewährleisten, das Einwachsen in die Körperstruktur ermöglichen oder sich alternativ nach Funktionserfüllung resorbieren. Für medizinische Geräte, die zeitweise bestimmte Körperfunktionen übernehmen können, finden textile Materialien als Filter- oder Membranmaterial Anwendung.

Mit dem Trend der Smart Textiles oder auch Smart Clothing werden neue Problemstellungen Gegenstand der textilen Forschung, wobei erste Forschungsergebnisse bereits in die Praxis gelangen. Dies betrifft beispielsweise die Neurodermitisbehandlung mit antibakteriell ausgerüsteten Bekleidungstextilien. Die antibakterielle Funktion wird in marktrelevanten Produkten durch eine Metallisierung der Faseroberfläche mit Silber realisiert. Silber besitzt die antibakterielle Wirkung aufgrund des oligodynamischen Effektes [SIL 10]. Zum weiterentwickelten Wundmanagement gibt es Vorschläge, Verbände mit Sensoren zur Erfassung des Wundzustandes zu versehen und dadurch dem Patienten die schmerzhafteste Entfernung des Verbandes zu ersparen und zugleich medizinische Betreuungszeit einzusparen.

Die vorliegende Arbeit hat die Behandlung von Knochenbrüchen der menschlichen Hand durch eine textilbasierte Bandage zum Gegenstand. Die menschliche Hand spielt im täglichen Leben und bei der Ausübung der unterschiedlichsten Berufe eine dominierende Rolle. Die wissenschaftlich-technische Revolution mit vollständiger oder weitgehender Mechanisierung der verschiedenen Produktionsprozesse führte in einer Reihe von Berufen, die früher mit schwerer körperlicher Arbeit verbunden waren, heute zu notwendigen Manipulationen und Bewegungsabläufen, die einzig durch die Finger der Hand realisiert werden können [MAT 81].

In der Folge des unglücklichen Gebrauchs der Hand oder auch durch andere Umstände können verschiedene Arten von Frakturen an der Hand, z. B. Frakturen des Handwurzelknochens, des Mittelhandknochens, der Finger und des Radius auftreten. Zur Behandlung dieser Frakturen haben sich über die Zeit viele verschiedene Verbands- und Lagefixierungsmaterialien etabliert, z. B. Pflaster, Adhäsivstoffe, Fixierbinden, Bandagen und Schienen (Gips und Kunststoff).

Die allgemeinen Ziele der Schienen sind:

- Die Brüche und Verschiebungen der Frakturen so bald wie möglich zu immobilisieren und zu stabilisieren, um weiteren Schaden für das weiche Hautgewebe oder die Knochen selbst zu verhindern.
- Den Schmerz durch neurologischen Funktions- oder Muskelkrampf zu verringern.
- Die Schwellung, die mit der Verletzung verbunden ist, durch den Abfluss des Blutes und der Flüssigkeit aus dem weichen Gewebe zu verringern.
- Ruhigstellen der Muskeln und der Sehnen während des Heilens der entzündlichen Prozesse und nach der chirurgischen Wiederherstellung.

Die Schienenbehandlung der Hand hat eine lange Geschichte. Schienen können aus verschiedenen Materialien hergestellt werden, um die gebrochenen Knochen stützen und schützen zu können. Traditionell ist die Gipsschiene die häufigste Methode zur Behandlung der Knochenfrakturen, aber sie verursacht einige Probleme. Die Gipsschiene ist relativ schwer, schwierig zu fixieren und schwierig zu entfernen, sie ist nicht waschbar und verfügt über keine Elastizität.

In jüngerer Zeit wird die Gipsschiene durch eine Kunststoffschiene ersetzt, die in der Behandlung von Knochenfrakturen vorstehend genannte Probleme vermeidet oder reduziert. Die Kunststoffschiene wird aus einem Gewebe aus Synthesefasern und einem Harz hergestellt. Das Harz ist eine chemische Mixtur, die mit Wasser in Verbindung gebracht, ein vernetztes und damit festes Polymer bildet. Aber auch die Kunststoffschiene ist nicht problemfrei. Sie ist wesentlich teurer, schwerer als Gipschienen und das Polyurethanharz klebt an der ungeschützten Haut [GIP 96] [EIB 93].

Der Nachteil konventioneller Verbände aus Gips oder Kunststoff besteht in der absolut starren Struktur, so dass keine Anpassung des Schienungsverbandes an unterschiedliche Schwellungszustände des verletzten Körperteils erfolgen kann.

Ziel ist es deshalb, die Immobilisierung auch nach dem Rückgang der Schwellung im Bereich der Verletzung durch einen gut anliegenden Schienungsverband ausreichend zu gewährleisten und das korrekte Zusammenwachsen der Knochen in der richtigen Lage zu unterstützen.

Diese Dissertation basiert auf der Idee, die Immobilisierung mit einer gewissen Flexibilität der Schiene durch Nutzung eines pneumatischen Systems zu verbinden. Als Detailziele sind deshalb aufzuführen:

- Eine pneumatische Schiene zu entwickeln, die die vorstehend beschriebenen Schwierigkeiten der Fixierung des verletzten Körperteils überwindet.

-
- Für die Realisierung der dauerhaften Stabilisierung wird eine pneumatische Stützstruktur konzipiert, entwickelt und erprobt, die während und nach der Schwellung des betroffenen Körperbereiches die Immobilisierung verlässlich sichert.
 - Als Voraussetzung für die längerfristige, ununterbrochene Nutzung der Schienung sind angemessene physiologische Bedingungen zwischen Schienung und abgedeckter Körperoberfläche durch die Anwendung der innovativen, Komfort sichernden Textilien zu gewährleisten.
 - Das entwickelte Produkt muss in Herstellung und Nutzung wirtschaftlich sein. Die gegebenenfalls wiederholte Nutzung in mehreren Gebrauchszyklen mit mehreren Patienten soll einen Beitrag zur Kostendämpfung im Gesundheitswesen und zur Ressourcenschonung leisten.

Diese Arbeit an der Dissertation umfasst verschiedenartige Analysen zum Stand der Verwendung technischer Textilien im medizinischen Bereich und zu den derzeitigen Behandlungsmethoden durch fixierende Verbände. Die eigenen Entwicklungsarbeiten werden in eine allgemeine Konzeptentwicklung, Experimente zur Beschichtung von Abstandsstrukturen sowie Konstruktion, Aufbau und Fertigung der entwickelten pneumatischen Schiene gegliedert. Experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung der Materialeigenschaften und zur Verifizierung der Funktion der pneumatischen Schiene schließen die systematischen Arbeiten ab.

2 Verwendung technischer Textilien im medizinischen Bereich

2.1 Technische Textilien im kurzen Überblick

Technische Textilien sind einer der schnell wachsenden Sektoren der globalen Textilindustrie [CZA 05]. Die aktuelle Wirtschaftskrise verursachte erstmals leichte Einbrüche in dieser sonst positiven Entwicklung.

Die Definition der technischen Textilien, veröffentlicht vom Textile Institute Manchester, GB, benennt die „Textilmaterialien und Produkte, die hauptsächlich für ihre technischen und Leistungseigenschaften hergestellt werden (Abb. 2.1) und ästhetische oder dekorative Eigenschaften nur sekundär beurteilen“ [HOR 00].

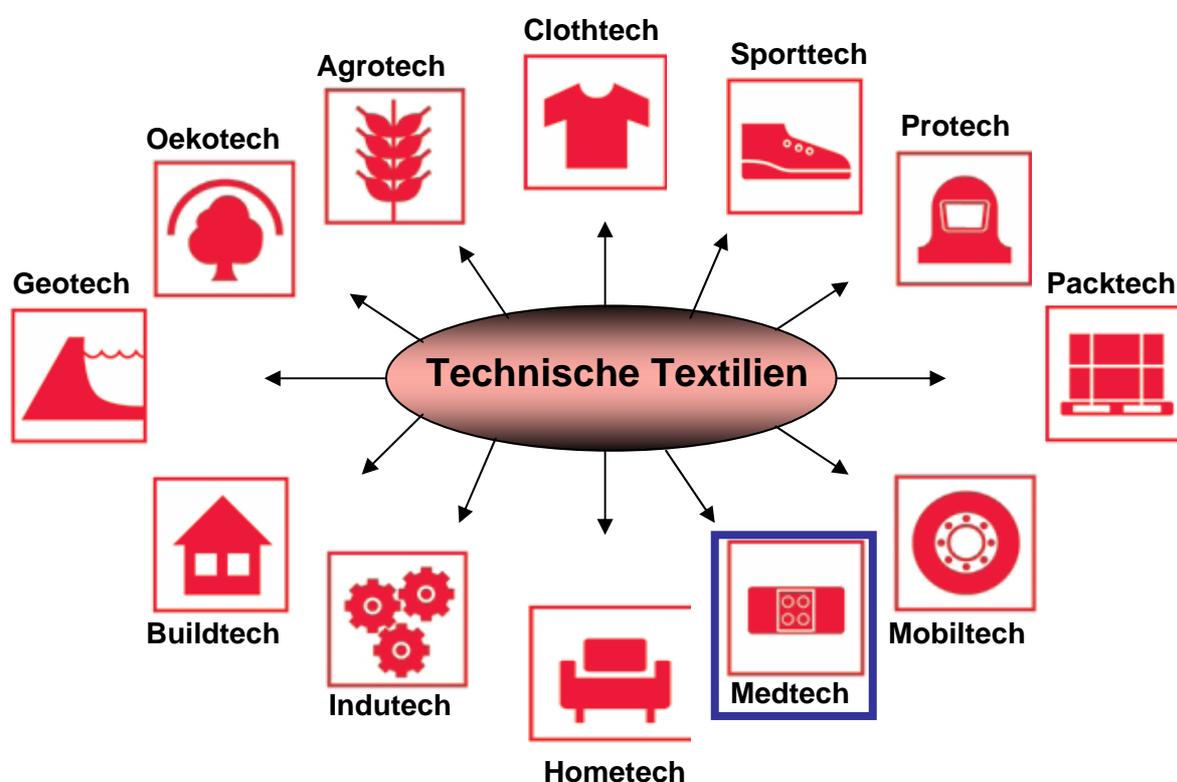


Abb. 2.1: Anwendungsbereiche der Technischen Textilien

Die Messe Frankfurt Exhibition GmbH (Abb. 2.1) gliedert das Angebot der international erfolgreichen und an mehreren internationalen Standorten durchgeführten Messe Tectextil ebenfalls in diese zwölf Anwendungsbereiche [<http://www.techtextil.de>]. Wenn eine Definition „der Textilien für den technischen Gebrauch“ zu erstellen ist, so muss das Primat der technischen Eigenschaften herausgestellt werden. Allerdings sind ästhetisch-stilistische Eigenschaften nicht gänzlich zu vernachlässigen, denn beispielsweise Sporttextilien, Mobiltextilien wie LKW-Planen mit Werbeaufschrift oder auch die architektonisch anspruchsvollen Textilmembranbauten benötigen die Einheit aus Funktionalität und Ästhetik. Entsprechend dem vorgesehenen Anwendungsfall sind technische Textilien in ihrem

Eigenschaftsprofil, der Summe ihrer detaillierten Eigenschaften, auf die konkreten Belastungen beispielsweise durch Klima, Temperaturen, chemische, biologische oder Strahlungseinwirkungen auszulegen. Die Auslegung beginnt bei der Wahl der Faserstoffe und ist über alle Stufen der textilen Wertschöpfungskette hinweg an diesem Eigenschaftsprofil auszuführen. Aus der begründeten Auswahl der Materialien und Textilstrukturen resultieren die nutzbaren Verarbeitungstechniken, z. B. die Anwendung des Laserzuscchnittes oder des Textilschweißens, die zur Herstellung verschiedener Produkte angewandt werden [RÖD 09]:

- Zelte und temporäre textile Bauten
- Sonnenschutztextilien
- hydraulisch und pneumatisch gestützte Sicherheitstextilien
- Sporttextilien mit hohem Elasthanfadenanteil
- Krankenhaus- und Medizintextilien
- Schutzbekleidung
- Wetterschutztextilien
- Flexible Behälter, Planen
- geklebte Produkte aus gummierten Flächengebilden
- textile Filter und Nähfäden für technische Textilien
- Automobiltextilien
- Gurte, Spannmittel

Diese vorstehend beispielhaft genannten Textilprodukte zeichnen sich durch sehr genau eingehaltene technische Eigenschaften und Parameter aus, während zumindest partiell das ästhetisch-stylistische Erscheinungsbild als zweitrangig zu betrachten ist. Im Bekleidungssektor wandeln sich technische Textilien zu funktionalen Textilien. Bekleidung mit technischer Funktion bekommt damit zusätzlich zu ihren ästhetischen Eigenschaften auch spezielle Funktionen und Leistungsparameter, die mit herkömmlich strukturierten Materialien und Bekleidungsprodukten unerreichbar sind [COM 09]. Deswegen werden die technischen Textilien in einer breiten Auswahl von Anwendungen und Märkten benutzt [TEX 04]. Tabelle 2.1 zeigt die verschiedenen Produkte der Technischen Textilien.

Die Gesamtwachstumsraten im Verbrauch technischer Textilien belegen die generell positive Entwicklung technischer Textilien. Abb. 2.2 zeigt die Weltprognose bis zum Jahr 2010. Diese Prognose aus dem Jahr 2002 stützt sich auf die kontinuierliche Entwicklung in den 1990er Jahren. Für die zweite Hälfte des laufenden Jahrzehnts wird eine noch höhere Wachstumsrate vom Branchenexperten David Rigby prognostiziert [RIG 02]. Zu erwartende statistische Angaben werden mit hoher Wahrscheinlichkeit dieser Prognose allgemein entsprechen, leichte Differenzen könnte die aktuelle Wirtschaftskrise z. B. infolge der reduzierten Automobilproduktion verursachen.

Tabelle 2.1: Anwendungen der technischen Textilien [RIG 02]

Techtextil Anwendungen	Abgedeckte Bereiche	Endprodukte
Agrotech 	Landwirtschaft, Gartenbau, Forstwirtschaft und Fischen	<ul style="list-style-type: none"> • Abdeckung, Schutz, • Fischerei • Bindung
Buildtech 	Gebäude und Konstruktion Textilien	<ul style="list-style-type: none"> • Schutz • Konstruktion • Gebäudekomponenten • Verstärkungen
Clothtech 	Technische Komponenten der Schuhe und der Kleidung	<ul style="list-style-type: none"> • Schuhkomponenten • Isolierung, Struktur • genähte Produkte
Geotech 	Geotextilien und Bauwesen	<ul style="list-style-type: none"> • Stabilisierung, Trennung, Entwässerung • Bodenverstärkung • Abnutzungssteuerung • Futter
Homotech 	Möbel, Haushaltstextilien und Fußbodenbelag	<ul style="list-style-type: none"> • Teppich-Komponenten • Möbel-Komponenten • Reinigung, Filtration • Ankleben
Indutech 	Filtration, Reinigung und andere industrielle Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Filtration • Sicherheitstextilien • Säubern • Anheben, ziehend • Elektrische Komponenten • Anderes
Medtech 	Hygiene- und medizinische Textilien	<ul style="list-style-type: none"> • Säubern • Matratzen • Verbände • Schutz
Mobiltech 	Automobil, Marine, Eisenbahnen, Luft- und Raumfahrt	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherheitstextilien (Bag and Belt) • Sicherheit • Ordnung, Isolierung • Fußbodenbedeckung • Schutz • Komposite
Packtech 	Verpackung	<ul style="list-style-type: none"> • Massenverpackung • Wegwerfverpackung • Bindung • Anderes
Protech 	Persönlicher und Eigentumsschutz	<ul style="list-style-type: none"> • Partikuläre Schutz • Chemischer Schutz • Flammfest • Schnittwiderstand • Anderes
Sporttech 	Sport- und Freizeitausrüstung	<ul style="list-style-type: none"> • Gepäck-Komponenten • Sport-Ausrüstung • Camping Ausrüstung • Anderes
Oekotech 	Umweltschutz	<ul style="list-style-type: none"> • Produkte extrahiert vom oben Genannten

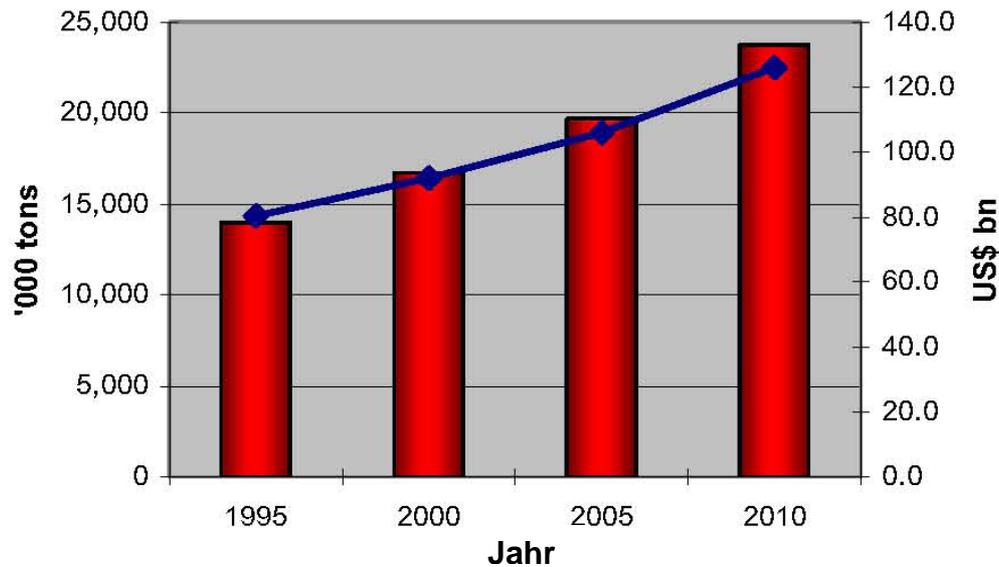


Abb. 2.2: Weltendverbrauch der technischen Textilien, 1995 - 2010, in Volumen- und Wertangaben [RIG 02]

Im Jahr 2007 erzielte Deutschland den ersten Platz im Verkauf der technischen Textilien mit einem prozentualen Anteil von 26,1 % im Vergleich zu den anderen EU-Ländern entsprechend der Produktionsdatenbank Prodcom des Deutschen Statistischen Bundesamtes (Tab. 2.2). Deutschland erzielte mit + 6,3 % zwischen den Jahren 2002 und 2007 den vierten Platz im prozentualen Zuwachs des Outputs an technischen Textilien (Tab. 2.3) [BYR 10].

Tabelle. 2.2: Klassifizierung des Verkaufs der technischen Textilien im Jahr 2007 [BYR 10].

Klassifizierung 2007	EU-Ländern	Verkauf (Million Euro)	Output (%)
1	Deutschland	3,984	26.1
2	Italien	3,177	20.8
3	Frankreich	2,508	16.4
4	Großbritannien	1,317	8.6
5	Spanien	1,078	7.1
6	Belgien	715	4.7
7	Polen	410	2.7
8	Finnland	343	2.2
9	Portugal	332	1.8
10	Tschechen	245	1.6
11	Niederland	245	1.6
12	Österreich	206	1.3
13	Norwegen	190	1.2
14	Dänemark	183	1.2
15	Schweden	158	1.0
	Andere	178	1.1
	SUMME	15,269	100.0

Tabelle. 2.3: Anwachsen des Output der EU - technische Textilien (2002 – 2007)
[BYR 10]

Land	Anwachsen (%)
Tschechen	+121 %
Polen	+40.0%
Belgien	+35.3%
Deutschland	+6.3%
Italien	-3.4%
Spanien	-7.9%
Frankreich	-21.5%
Portugal	-24.3%
Großbritannien	-32.9%

2.2 Konfektionierung technischer Textilien

Wegen der verschiedenen Anwendungen der technischen Textilien haben sie spezielle Eigenschaften, die es ihnen ermöglichen, ihre Funktionen zu erzielen. Die Herstellungsverfahren der technischen Textilien hängen von speziellen Techniken ab wie:

- **Nähtechnik**

Durch patentierte Gehäusegestaltung ist das Nähen zwischen (theoretisch) unendlich großen Textilflächen möglich. Technische Textilien sind vielfach durch Zuschnitteile großer Flächen, größerer Stoffdicke und hoher Flächenmasse gekennzeichnet. Infolge hoher Nadeldurchstechkräfte sind Nähnadelfeinheiten bis zu Nm 480 möglich/notwendig. Für die Sicherung der Nahtfestigkeit sind partiell auch stärkere Nähfäden zu verarbeiten. Es gibt viele Anforderungen beim Nähen von technischen Textilien, wie z. B. Nahtbild/Nahtaussehen, Nahtfestigkeit, Materialschonung, Prozesssicherheit, Reproduzierbarkeit und Dokumentierbarkeit [RÖD 09].

- **Schweißtechnik**

Durch den zunehmenden Einsatz von synthetischen Faserstoffen mit thermoplastischen Eigenschaften in textilen Flachengebilden und durch thermoplastische Beschichtungen textiler Flachengebilde bieten sich Schweißverbindungen für den Nahtbildungsprozess bei der Konfektionierung an. Aus der Vielzahl möglicher Schweißverfahren können aber nur die angewandt werden, die eine textilgerechte, weiche und flexible Naht liefern. In der Konfektionstechnik haben sich bisher das Hochfrequenzschweißen und das

Ultraschallschweißen neben dem Heißluft- und dem Heizkeilschweißen etabliert [RÖD 96].

- **Klebetchnik**

Kleben ist ein auf wenige Anwendungsfälle begrenztes Sonderverfahren. Beim Konfektionieren technischer Textilien werden vorzugsweise linienförmige Verbindungsnahte gebildet. Kleben ist ein technologisches Grundverfahren der Stoffverbindung und -formung und gehört zur Verfahrenshauptgruppe "Formändern" und zur Verfahrensgruppe "Verbinden". Für textile Anwendungen werden meist thermoplastische Klebstoffe genutzt, die durch ein Wärmekontaktverfahren flächenförmige oder linienförmige, unlösbare Verbindungen erzeugen. Die Verbindung erfolgt je nach Ausführung des Klebers durch Einwirkung von Wärme, Druck und Feuchtigkeit. Die die Zuschnitteile verbindende Naht muss folgende Nahteigenschaften gewährleisten: textiltypisch flexibel, biegeweich, haltbar unter Gebrauchsbelastungen und wirtschaftlich herstellbar [RÖD 09] [RÖD 96].

- **CAD-System** [KRZ 05]

Während die Textilindustrie mit neuen Faserstoffen und neuartigen textilen Strukturen Innovationsgeber für viele technologische Entwicklungen in anderen Branchen ist (Leichtbau, Bauwesen, Medizin), sind die zur Gestaltung eines konfektionierten Produktes eingesetzten Verfahrenstechnologien nahezu unverändert. Die Anwendung der 2D-CAD-Technik, die bereits in den siebziger Jahren begann, wurde seitdem enorm perfektioniert, schließt aber nicht die informationstechnische Lücke zwischen dem Modellentwurf und der Konstruktion eines Produktes.

Um die Entwicklung von Bekleidungserzeugnissen und technischen Textilien sowohl aus gestalterischer (Design) als auch aus technischer (Schnittkonstruktion) Sicht dreidimensional ausführen zu können bzw. eine virtuelle Passformkontrolle zu ermöglichen, ist es häufig notwendig, Geometriemodelle zu erarbeiten, die in 3D-CAD-Systeme implementiert werden können. Die damit mögliche dreidimensionale Arbeitsweise bietet den erheblichen Vorteil, dass der Zusammenhang zwischen dem zu „bekleidenden“ Formkörper und dem zu entwickelnden Produkt jederzeit gegenwärtig ist.

2.3 Medizintextilien

Medizintextilien sind einer der sich am schnellsten ausdehnenden Sektoren auf dem Markt technischer Textilien. Medizinische Behandlungen sind bereits seit Jahrhunderten mit der Anwendung von Textilien verbunden. Die Entwicklungen auf

dem Gebiet der Faserstoffe, der Oberflächenveredlung von Textilien und auch die Kombination von textilen und nichttextilen Werkstoffen haben in den letzten Jahrzehnten eine tiefgreifende Veränderung und Erweiterung des Einsatzes von Medizintextilien verursacht. Neuartige Forschungstendenzen, wie der Einsatz von Biopolymeren, erschließen weitere textile Anwendungen in der Medizin. Wirtschaftlich bedeutend sind Veränderungen in der Hygiene, die sich insbesondere durch das extreme Marktwachstum der Hygienetextilien, wie Windeln u. ä. Einwegprodukte, zeigen.

Der medizinische und der Hygienesektor sind ein Feld, in dem technische Textilien viele mögliche Anwendungen finden und künftig finden können. Wobei zur Deckung des Bedarfs neben den klassischen textilen Faserstoffen und Textilstrukturen neue oder modifizierte Fasern und Filamente, neue Textilstrukturen durch Flächenbildung und/oder Beschichtung oder Oberflächenveredlung mit einsatzrelevanten Spezifikationen zu entwickeln, in komplexen Produkten zu konfektionieren und in den Markt einzuführen sind.

Kombinationen der Textiltechnologie, tangierender Bereiche der Werkstoffwissenschaft und der medizinischen Wissenschaft erweitern dieses Gebiet der medizinischen Textilien. Neue Anwendungen für medizinische Textilien sind mit der Entwicklung der neuen Faserstoffe, Fäden und Flächen sowie neuen Herstellungstechnologien verbunden. Diese vielfältigen Entwicklungen ermöglichen neuartige Behandlungsverfahren, verkürzen Behandlungs- und Genesungszeiten, mindern oder beseitigen körperliche Erkrankungen und Beschwerden, können lokal Körperteile oder -funktionen ersetzen, unterstützen oder stabilisieren und somit den Lebenskomfort und das körperliche und seelische Wohlbefinden wesentlich sichern.

2.3.1 Klassifikation der medizinischen Textilien

Abb. 2.3 zeigt die Struktur der medizinischen Textilien, die unterteilt werden können in:

- Gesundheitspflege und Hygieneprodukte
- Medizinische Geräte mit textilen Komponenten wie Filter oder Schläuche
- Chirurgisch nutzbare Textilstrukturen
 - implantabel
 - nicht implantabel

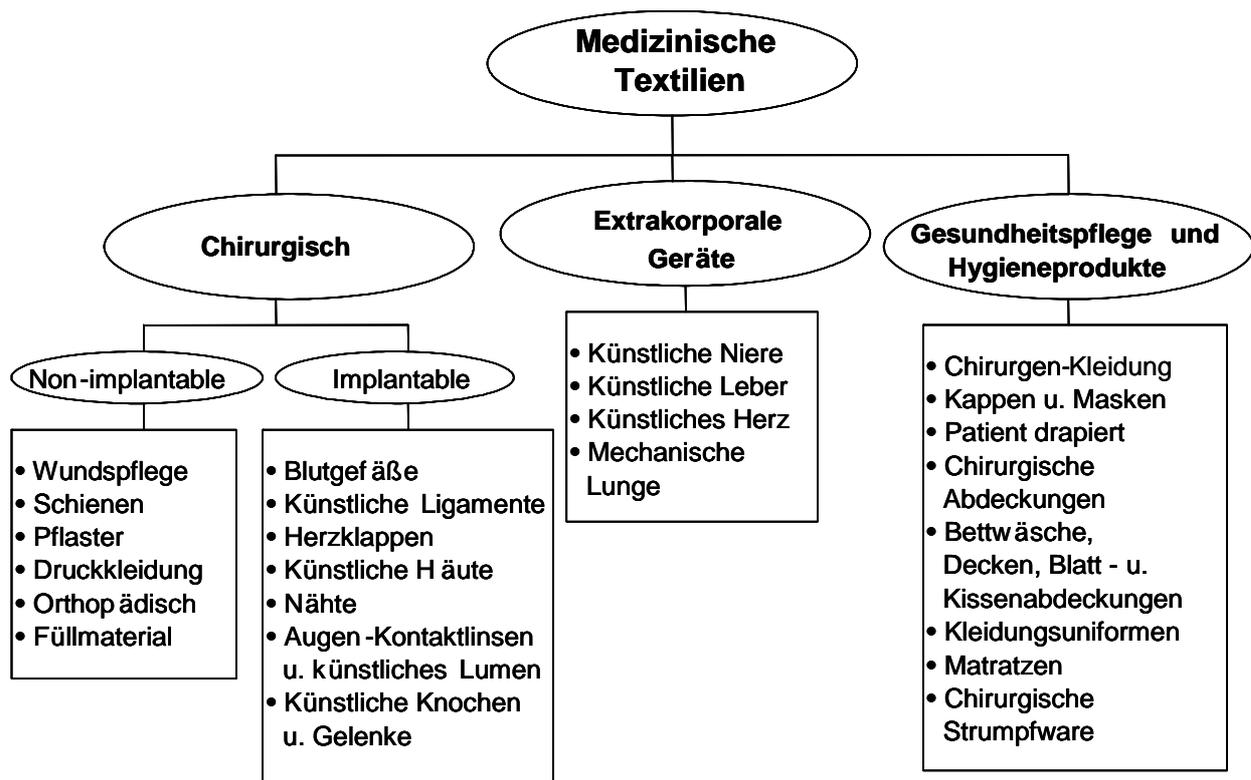


Abb. 2.3: Klassifikation der medizinischen Textilien [RAB 99] [CZA 05] [MEE 08] [HOU 09]

2.3.2 Markt medizinischer Textilien

Im Jahr 2004 hatten Personen, die über 60 Jahre alt waren, einen Anteil von 40 % der Weltbevölkerung. Noch im Jahr 1980 gehörten nur 22 % der Europäer zu dieser Altersklasse [HÖF 03].

Insbesondere in den entwickelten Industrieländern verstärkt sich die Tendenz der Überalterung der Bevölkerung, da steigende Lebenserwartung und geringe Geburtenrate zusammentreffen. Außerdem sind Single-Haushalte ohne Kinder Zeichen eines permanenten Werteverfalls. In der Folge rücken Fragen der gesundheitlichen und sozialen Betreuung älterer Menschen in den gesellschaftlichen Fokus. Nicht allein, aber auch durch den Einsatz technischer Textilien kann sowohl im Gesundheitsbereich als auch in der altersgerechten Pflege der älteren Menschen ein Beitrag zur angemessenen Heilung und Pflege geleistet werden.

Hinzu kommen die neuartigen medizinischen Entwicklungen, die erst mit dem Einsatz technischer Textilien möglich werden und sich beispielsweise in verkürzten OP- und Narkosezeiten, in verkürzter Verweilzeit im Krankenhaus oder auch in schnellerer Rehabilitation nach medizinischen Eingriffen zeigen. Dies ist ein

wesentlicher Beitrag zur Senkung der Behandlungskosten bzw. zur Entlastung der sozialen Sicherungssysteme.

Außerdem können technische Textilien im Medizinbereich die Sicherheit der Mitarbeiter vor Infektionen gewährleisten oder auch im Pflegebereich die körperliche Belastung des Pflegepersonals durch erkrankungsgerechte Bekleidung der Patienten und textile Hilfsmittel reduzieren.

Der russische Wirtschaftswissenschaftler Kondratjew erklärte die technisch-wirtschaftliche Entwicklung ab ca. 1800 mit aufeinanderfolgenden Zyklen. Jedes Maximum dieser Zyklen wird als x. Kondratjew ($x = 1, \dots, n$) beschrieben. Der aktuell 5. Kondratjew ist durch die umfassende Anwendung der Informationstechnik gekennzeichnet. Künftig könnte Medizintechnik als der 6. Kondratjew in der gesellschaftlichen Entwicklung auftreten [KON 10]. Diese Prognose resultiert aus den vorstehend genannten Entwicklungen.

Textilien stellen durch ihre Struktur und ihre Eigenschaften eine absolut ideale Schnittstelle zwischen Mensch und medizinischer Behandlung dar. Dies betrifft Physiologie, Ergonomie und Hygiene. Im Marktumfang ist zwischen Massenprodukten wie Hygienetextilien oder Spezialprodukten kleiner Losgrößen, z. B. textilen Trägern für das Zellwachstum für intrakorporal nutzbare Produkte, zu unterscheiden. Ein Verzicht auf die Möglichkeiten der textilen Werkstoffe und Produkte in medizinischen Anwendungen ist nicht möglich [HÖF 03].

Wachstumsraten der Medizintextilien sind überdurchschnittlich infolge der Verbrauchssteigerungen in den Entwicklungsländern, in Asien und auch in den entwickelten Industrieländern. Die Aussichten für medizinische Textilien sind deutlich besser als bei anderen textilen Applikationen. Dies trifft besonders für Vliesstoffe und die Materialien, die in den chirurgischen Bereichen benutzt werden, zu [CZA 05]. Die mengenmäßig größten medizinischen und Hygienemärkte sind Babywindeln, Erwachsenenhygiene und Inkontinenzprodukte [RIG 02]. Diese Märkte sind in den entwickelten Industrieländern relativ ausgereift, während in anderen Regionen der Welt noch extremes Wachstumspotenzial besteht. Es ist aber auch darauf hinzuweisen, dass diese Wegwerfprodukte eine bedeutende Belastung der Umwelt darstellen [RIG 02].

Medizinische und chirurgische Produkte sind in unterschiedlichen Wertkategorien in Produktion und Anwendung. Bettwäsche und Stationsbekleidung sind Standardprodukte. Deutlich höhere Wertschöpfung findet sich in Verbänden, orthopädischen Produkten und Produkten, die als Mehrwegprodukte zur hygienischen Aufbereitung in jedem Gebrauchszyklus eine Sterilisierung benötigen. High-Tech-Produkte sind textile Träger für das Zellwachstum oder auch Verbände mit integrierter Sensortechnik, die Informationen über den Wundzustand bereitstellt.

Sie erfordern eine längere Produktentwicklungs- und –erprobungszeit, Zulassungsprüfungen und auch Kommerzialisierungszeit. Mit der Zulassung der textilen Produkte als Medizinprodukt nach Medizinproduktegesetz sind hohe materielle Aufwendungen verbunden, so dass sich viele vor allem kleinere Firmen vor diesem Aufwand scheuen. Außerdem haben gewerbliche Schutzrechte wesentliche Bedeutung zur Sicherung der Marktposition. Ein Engagement in der internationalen, zumindest europäischen Normenarbeit kann ebenfalls zur Sicherung der eigenen Marktposition des Unternehmens beitragen. Kreative Mitarbeiter des Textilunternehmens müssen die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Medizinern, Werkstofftechnikern und anderen Fachexperten praktizieren. Das ist die Voraussetzung für starkes Wachstum auf der Basis wissenschaftlich-technischer Innovationen in Herstellung und Eigenschaften höchstwertiger medizinischer Spezialprodukte. Nur auf diesem Weg lassen sich die überdurchschnittliche wirtschaftliche Entwicklung der Unternehmen realisieren [CHA 02].

In den entwickelten Industrieländern bietet der Bereich der medizinischen Textilien starkes Wachstumspotenzial, woran sowohl die Konzerne der Einwegbranche mit Schutztextilien für den OP-Einsatz und Inkontinenzprodukten als auch die Unternehmen der mittelständig geprägten Mehrwegindustrie partizipieren. Die Mehrwegindustrie bietet mit wiederholter Produkthanwendung in Nutzungs- Pflege- und Lagerphasen einen schonenden Umgang mit den textilen Ressourcen. Allerdings werden zur Regenerierung in der Pflegephase Wasser und Energie sowie Tenside und andere Chemikalien verbraucht, die in einer vergleichenden Ökobilanz zwischen Einweg- und Mehrwegtextilien zu berücksichtigen sind. Die vorliegende Arbeit ist mit einer speziellen Aufgabe innerhalb der chirurgischen Praxis, der Lagestabilisierung von Knochen nach Frakturen befasst. Die Stabilisierungsaufgabe lässt sich nach Vorstellungen des Autoren durch Anwendung textiler Materialien bei gleichzeitig hohem Tragekomfort und guter Wirtschaftlichkeit erfüllen. Zum Verständnis wird das medizinische Problem nachfolgend vorgestellt.

2.4 Knochenfrakturen

Als Fraktur ist die Kontinuitätstrennung eines Knochens definiert. Die Trennungsstelle kann eine Formenvielfalt aufweisen, da ihre Ursachen und Entstehungsmechanismen variieren. Komplikationen sind örtlicher oder allgemeiner Natur und mannigfaltig möglich. Außerdem tritt bei einer Fraktur, allgemein auch als Knochenbruch bezeichnet, die Unterbrechung der Kontinuität eines Knochens unter Bildung zweier oder mehrerer Bruchstücke (Fragmente) mit oder ohne Verschiebung (Dislokation) auf [BRÜ 81].

2.4.1 Klassifikation von Frakturen

Das Klassifikationssystem ist so angelegt, dass es sowohl zur Identifizierung als auch Klassifizierung aller Frakturen angewendet werden kann. Trotz seiner Komplexität handelt es sich dabei um ein sehr logisches, einfach verständliches und benutzerfreundliches System. Das zugrunde liegende Prinzip dieser Klassifikation ist die Unterteilung aller Frakturen eines Knochensegments in drei Typen (Abb. 2.4), die ihrerseits in drei Gruppen und je drei Untergruppen weiter unterteilt sind.

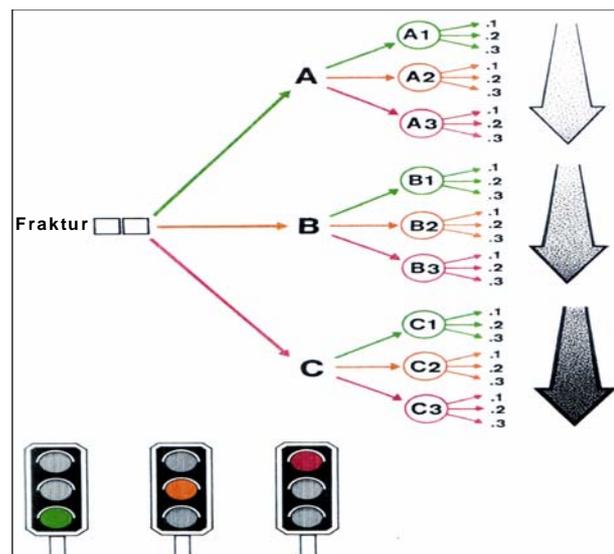


Abb. 2.4: Schematische Darstellung des Klassifikationsprinzips [SPA 05]

Die drei Hauptklassen sind [DIT 92] [SPA 05]:

A Stabile Frakturformen:

- A1: Querfrakturen
- A2: Kurze Schrägfrakturen
- A3: Biegungsfraktur mit kleinem Keil, weniger als 50 % des kortikalen Umfang betreffend

B Einfache instabile Frakturen

- B1: Lange Schrägfrakturen oder Spiralfrakturen
- B2: Schrägfraktur mit Biegungskeil, mehr als 50 % des kortikalen Umfang betreffend
- B3: Spiralfraktur mit Drehkeil

C Komplexe Frakturformen

- C1: Mehrfragmentfraktur oder Trümmerfraktur
- C2: Zweietagenfraktur
- C3: Defektfaktur

2.4.2 Behandlung der Frakturen

Mit der Frakturbehandlung werden die Form und die Kontinuität des Knochens wiederhergestellt und man ist bestrebt, dem verletzten Körperabschnitt seine völlige Gebrauchsfähigkeit zurückzugeben. Dieses Ziel verlangt zwei Maßnahmen. Die erste Maßnahme ist konservative Behandlung:

- Reposition (Einrichtung des Bruches)
- Retention (Aufrechterhaltung des Repositionsergebnisses)
- krankengymnastische Behandlung während und nach der Retentionszeit

Die zweite Maßnahme ist die operative Behandlung:

- äußere Fixation
- Einsetzen von Markraumnägeln nach Schwellung
- Einsetzen von Schrauben, Metallplatten, schmiegsamem oder starrem Draht
- weitere Mittel gemäß der Art der Brüche

2.5 Handradiusfraktur

Elle (Ulna) und Speiche (Radius) bilden am Unterarm des Menschen die knöcherne Verbindung zwischen dem Hand- und dem Ellenbogengelenk (Abb. 2.5). Dabei liegt die Elle an der Außenseite des Unterarmes und übernimmt dessen Führung im Ellenbogengelenk. Die Speiche dagegen liegt an der Innenseite (Daumenseite) und trägt die Hand einschließlich der Handwurzelknochen. Bei einem Sturz kann es zum Bruch der Speiche nahe dem Handgelenk (distale Radiusfraktur) kommen (Abb. 2.6) [MAI 07].

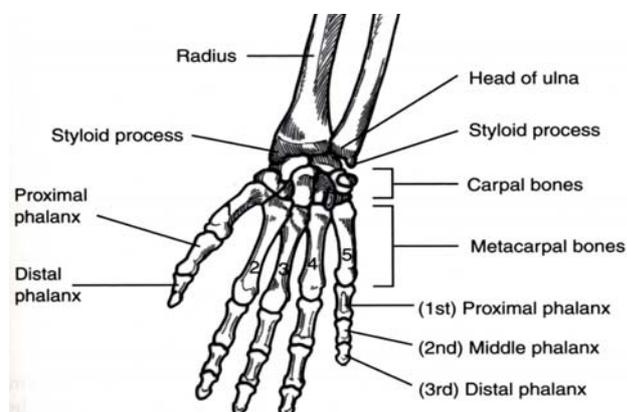


Abb. 2.5: Anatomie der Hand [JAM 06]

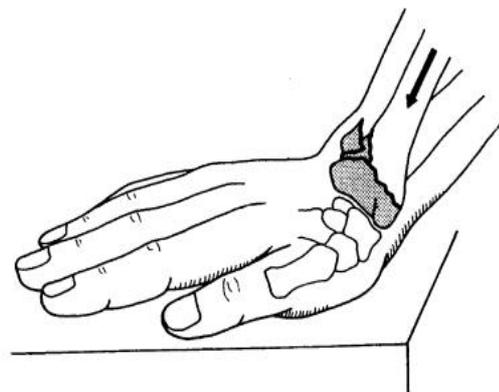


Abb. 2.6: Handradiusfraktur [KAT 03]

Die distale Radiusfraktur wurde erstmalig von dem englischen Arzt Abraham Colles aufgrund seiner klinischen und pathologischen Beobachtungen beschrieben. Sie ist die am häufigsten vorkommende Fraktur. Die Häufigkeit ihres Auftretens wird zwischen 10 und 25 % aller Frakturen angegeben. Frauen sind bis zu dreimal häufiger betroffen als Männer. Das Auftreten einer distalen Radiusfraktur ist im höheren Alter gehäuft, auch ist eine jahreszeitliche Abhängigkeit beschrieben. Während als Ursache Sturz und verminderte Knochendichte besonders im Alter eine wichtige Rolle spielen, tritt diese zunehmend auch bei jüngeren Patienten infolge von Verletzungen im Straßenverkehr wie auch im Sport auf [KAT 03].

In den meisten Fällen wird durch den Sturz die Gelenkfläche zur Rückseite des Handgelenkes abgekippt und eingestaucht, so dass schon von außen eine Fehlstellung erkennbar ist. Durch den Bluterguss tritt rasch eine Schwellung auf und die ganze Handgelenkregion ist schmerzhaft (Abb. 2.7). Unverschobene oder minimal abgekippte Brüche werden in einem stabilen Unterarmgips 4 – 6 Wochen ruhig gestellt [FRI 09]. Manchmal färbt sich die Haut durch einen Bluterguss blau. Werden die Knochenbruchstücke bewegt, ist ein deutliches Knirschen zu hören [MAI 07].



Abb. 2.7: Distale Radiusfraktur mit Schwellung [HAI 07]

2.6 Verbandmaterialien für medizinische Anwendungen

2.6.1 Relevante textile Faserstoffe

Die Auswahl beleuchtet einige allgemeine Aspekte der Beschaffenheit, der Verarbeitung und der besonderen Eigenschaften des Endprodukts. Der Grundstoff für Baumwolle, Zellwolle (Viskosefasern) und Zellstoff ist die Zellulose. Sie stellt den Hauptbestandteil pflanzlicher Zellwände dar und bildet ein langes Kettenmolekül durch Aneinanderreihung vieler Grundmoleküle (Polymerisation). Diesen Fasern stehen die vollsynthetischen Chemiefasern (Perlon, Nylon, Polyester usw.) gegenüber. Die früher verbreiteten natürlichen Fasern wie Flachs, Hanf, Leinen, Wolle oder Seide haben heute keine Bedeutung mehr [EIB 93].

2.6.2 Pflaster

Zur Fixierung von Verbänden werden Pflaster verwendet. Noch im 19. Jahrhundert wurde unter einem Pflaster ein Medikament verstanden, das zur äußeren Behandlung, z. B. einer Wunde, eingesetzt und aufgelegt wurde. Heute ist unter einem Pflaster ein Heftpflaster (klebendes Textilband) oder ein Wundschnellverband zu verstehen. Heftpflaster dienen der Verbandfixierung. Meistens wird es auf Rollen aufgewickelt. Auf einer Trägerschicht ist ein Kleber aufgebracht. Als Trägermaterialien dienen Gewebe aus Baumwolle, Zellstoff oder Seide, die in der Regel Wasser abweisend imprägniert, aber nicht ganz wasserundurchlässig sind [EIB 93].

2.6.3 Klebmassen

- Zinkoxid-Kautschuk:

Die Entwicklung von Zinkoxid-Kautschuk-Pflastern führte zum klassischen Leukoplast® (Markenname), das seit 1901 produziert wird. Das Zinkoxid soll die Klebmasse haltbarer und das Pflaster wegen seiner entzündungslindernden Eigenschaften verträglicher machen.

- Flüssigkleber, Sprühkleber:

Sprühkleber sind Kunstharzkleber, die in Druckflaschen mit Sprayköpfen erhältlich sind. Fein zerstäubt werden feinste Klebertröpfchen auf die Haut aufgesprüht, bis sich ein dünner, durchsichtiger Film bildet. Auf diesen Klebefilm können zusätzlich noch Wundaufgaben gebracht werden [EIB 93].

2.6.4 Adhäsive Stoffe

Adhäsivplatten sind kleberfrei, kleben nicht auf der Haut, aber haften sehr gut, z.B. Stomahesive®, HollihesiveQII®, Comfeel®, Karaya®. Sie bestehen aus pflanzlichen, quellfähigen Grundstoffen und sind ausgesprochen hautfreundlich. Bei vorliegenden Hautschädigungen und in Problembereichen wie der Dekubitusbehandlung, der Stomaversorgung und beim Verbinden von fistelnden Wunden werden sie daher bevorzugt eingesetzt. Sie werden bei Erwärmung geschmeidiger und passen sich dann gut der Haut an [EIB 93].

2.6.5 Fixierbinden

Die nicht-elastischen Mullbinden sind heute weitgehend von elastischen Mullbinden zur Verbandfixierung verdrängt worden. Die Elastizität beruht auf elastischen Kettgarnen, die aus so genannter überdrehter Baumwolle, aber auch aus dauerelastischen synthetischen Fäden (Elastanfäden) mit einer gummiähnlichen

Dehnbarkeit bestehen können. Diese Binden lassen sich gut über Gelenken anlegen. Sie schnüren so gut wie nie ein und rutschen nicht. [EIB 93]

2.7 Geschichte der Schienenbehandlung

Der Vorteil von äußeren Schienen bei der Behandlung von Knochen oder Weichteilverletzungen nach Unfällen oder Krankheiten wurde schon vor Jahrhunderten erkannt [SCH 07]:

- 350 v. Chr.

Hippokrates beschreibt Bandagen, die mit Wachs und Harz bestrichen wurden, um Beinfrakturen zu schienen. Die Bandage wurde bei gestrecktem Bein angelegt.

- 860 n. Chr.

Rhazes, ein arabischer Arzt, verwendete Bandagen, die durch eine Mixtur aus Kalk und Eiweiß gestärkt wurden.

- 900 n.Chr.

Andere arabische Ärzte ersetzten den Kalk durch Gips, "da er die Haut nicht so sehr reizte".

- 1720

Der englische Chirurg William Cheselden tauchte Lumpen in Albumin und fest werdenden Kleister und lehrte, dass das Gelenk über und unter der Fraktur immobilisiert werden müsste.

- 1814

Der erste therapeutische Einsatz von flüssigem Gips in Europa geht auf Hendrichs in Groningen/Holland zurück. Er tauchte die betroffene Extremität in einen Behälter mit Gips.

- 1851

Mathijsen, ein niederländischer Armeechirurg, entwickelte den Vorläufer der heutigen Gipsbandagen, indem er pulverisierten Gips auf eine Bandage streute, die als Trägermaterial fungierte. Die so vorbereitete Bandage wurde mit Wasser getränkt und in unterschiedlichen Lagen auf die Extremität gelegt. Dies ergab eine feste, steife Schiene. Heutzutage wird der Gips nicht mehr auf die Bandage gestreut, sondern verschiedene Klebstoffe binden den Gips in der Bandage. Dies verhindert, dass der Gips in trockenem Zustand von der Bandage rieselt und er sich nicht beim Wässern löst.

- 1931
Die erste Vermarktung von vorbereiteten Gipsbandagen erfolgte in Deutschland (Cellona, Lohmann GmbH). Sie bestanden aus Stoffen, die mit einer Mischung aus Gips und sich verflüchtigen Flüssigkeiten bestrichen waren. Wenn die Flüssigkeit verdunstet war, begann sich die Bandage zu verfestigen.
- 1955
Glassona - Smith & Nephew. Fiberglasmaterial, imprägniert mit Celluloseacetat. Diese Reaktion wurde ausgelöst durch Eintauchen in eine Acetonlösung, stellte aber ein potentiell Sicherheitsrisiko dar.
- 1978
Baycast Bayer/Johnson & Johnson. Leichtes Baumwollprodukt, imprägniert mit einem Polyurethan-(PU)-Harz, das nach Kontakt mit Wasser schnell aushärtete und innerhalb von 30 Minuten belastet werden konnte. Das PU-Harz führte allerdings zu Hautreaktionen und der Verband war schwer anzufügen.
- 1986
Scotchcast Plus - 3 M/Dynacast extra Smith & Nephew/Deltalite S® Johnson & Johnson. Ähnlich wie die anderen Fiberglasprodukte, aber mit einem weniger klebrigen Harz, um die Handhabung weiter zu verbessern.
- 1990
Dynacast Pro - Smith & Nephew; Deltacast plus Johnson & Johnson. Polypropylen-Lycra-Mix mit gering haftendem Harz, ein dickerer, aber flexiblerer Stoff als Fiberglas mit einem feineren Gewebe. Deltacast plus war ein Polyester mit PU-Harz, um die Verformbarkeit und Stärke gegenüber Deltacast zu verbessern. Es war allerdings ein raueres, dickeres Material als Fiberglas.

3 Stand der Behandlungsmethoden mittels fixierender Verbände – Einsatz von Materialien

Die konservative Extensions- und Stützverbandbehandlung entwickelt sich ständig weiter. Stützverbände haben immer noch einen hohen Stellenwert in der Unfallchirurgie und Orthopädie. Ein nicht unwesentlicher Teil der Frakturen, besonders im Kindesalter, wird konservativ behandelt. Operative Maßnahmen können somit die Gipsfixation auch zu Beginn des 21. Jahrhunderts nicht verdrängen. Parallel zu den Frakturen gibt es eine Vielzahl weiterer Indikationen, bei denen stabilisierende Verbände zum Einsatz kommen. Somit ist die Stützverbandstechnik nach wie vor fester Bestandteil des unfallchirurgischen Tätigkeitsspektrums [STÜ 07].

Das Ziel der Knochenfrakturenbehandlung ist es, den Schmerz zu kontrollieren, die Ausrichtung des zerbrochenen Knochens wieder herzustellen, zu heilen und dabei Komplikationen zu verhindern. Behandlungen der Knochenfrakturen können, wie in Kapitel 2 dargestellt, durch die konservative Methode mittels Fixation oder durch operative Behandlung erfolgen. Fixierende Verbände spielen auch in weiteren Behandlungsfällen eine sehr wichtige Rolle, beispielsweise können neben Knochenfrakturen auch neurologische Funktionsstörungen bei Kindern und Erwachsenen verbessert werden. Diese fixierenden Verbände umfassen [WAL 10] [OHI 10]:

- Bandagen
- Schienen

3.1 Bandagen

3.1.1 Definition von Bandagen

Bandagen dienen dem menschlichen Körper als unterstützende Hilfsmittel, die im Alltag, zur Knochenfrakturenbehandlung, im Sport sowie auch im Beruf eine große Rolle spielen. Bandagen sind kleinere, das Körperteil umschließende oder am Körperteil anliegende medizinische bzw. orthopädische Heil- und Hilfsmittel. Diese Bandagen relativ geringen Ausmaßes werden nach ihrer Anwendung an Körpergelenken, bei Knochenfrakturen, für Muskelfunktionen wie an Skelett- oder Weichteilbereichen differenziert. Die Grundelemente der Bandagen weisen entweder dynamische (elastische) oder statische (starre) Eigenschaften auf. Durch den engen Kontakt der Bandage zum Körper werden Hautrezeptoren angeregt. Weiterführende innere Mechanismen aktivieren die Muskulatur bei elastischen

Bandagen, die lagefixierende Funktion der Bandage trägt hingegen zur Stabilität bei Knochenfrakturen bei [HOH 05].

3.1.2 Typen und Klassifizierung der Bandagen [MUD 07]

3.1.2.1 Klassifikation nach dem Anwendungsort

In Deutschland werden Bandagen im Hilfsmittelverzeichnis in der Produktgruppe 5 -Bandagen- aufgeführt und nach ihrem Anwendungsort, das heißt, nach ihrer Lokalität an den Extremitäten wie Hand-, Fuß- oder auch Kniebandage eingeteilt.

3.1.2.2 Klassifikation nach Indikationen und therapeutischen Anwendungen

Bandagen können nach ihrem Haupteinsatzbereich auch in folgende Gruppen eingeteilt werden:

- prophylaktische Bandagen: Dies sind Bandagen, die zur Vorsorge und zum Schutz des Gelenkes oder der Gelenke eingesetzt werden.
- funktionelle Bandagen (aktive Bandagen): Sie unterstützen die Gelenke in ihrer physiologischen Funktion und verhindern pathologische Bewegungsmuster.
- postoperative und rehabilitative Bandagen: Sie finden ihren Einsatzbereich zur Sicherung des OP-Ergebnisses und werden nach operativen Eingriffen angelegt oder als Rehamittel zur Rehabilitation verordnet.

3.1.2.3 Klassifikation nach dem Konstruktionsprinzip

Wird vom Konstruktions- und Wirkungsprinzip ausgegangen, lassen sich Bandagen in folgende Gruppen gliedern:

- Kompressionsbandagen mit Pelotten: Kompressionsbandagen sind Bandagen, die eine komprimierende Wirkung mit geringer externer mechanischer Stabilisierung haben. Ihre Mobilisation ist hoch und die Immobilisation gering, daraus ergibt sich ein großer Bewegungsumfang. Kompressionsbandagen bewirken kaum die direkte mechanische Stabilisation und verursachen auch kaum Funktionseinschränkungen.
- Kompressionsbandagen ohne Pelotten: Hierzu sind vor allem Kompressionsstrümpfe sowie alle Bandagen, die einen großflächigen Druck auf die betroffene Körperregion ausüben, zu zählen.

- **Funktionssicherungsbandagen:** Bei der Funktionssicherungsbandage wird durch mechanische Führungsgelenke die Sicherung der Gelenkfunktion verstärkt. Die Mobilität bleibt erhalten. Leichte Immobilisation durch Blockierung oder Begrenzung von Bewegung durch die mechanischen Führungselemente ist möglich. Die Gelenkführung wird durch die mechanischen Konstruktionen unterstützt.
- **Stabilisierungsbandagen:** Durch mechanische Elemente wie Federn, Stäbe, Gelenke oder auch feste Schalen wirken diese Bandagen stabilisierend, teilimmobilisierend oder versteifend auf das Gelenk. Die Einschränkung der Mobilität und die Immobilisation sind oft sehr hoch. Dadurch wird eine mechanische Führung oder Überbrückung des Gelenkes vollzogen und eine passive Stabilisierung des Gelenkes erreicht.

3.1.3 Anwendungsziele und Wirkungsweise von Bandagen

Bei der therapeutischen Anwendung von Bandagen stehen folgende Ziele im Vordergrund:

- beschleunigte Mobilisation des Patienten
- Vermeidung oder Minimierung von Immobilisationsschäden
- Schmerzreduzierung

Die Wirkung von Bandagen auf den Bewegungsapparat basiert auf der Verknüpfung einer Anzahl von Faktoren. Dabei spielen sowohl direkte mechanische Wirkungen als auch indirekte Wirkungen eine Rolle, die über die Beeinflussung von Versorgungssystemen und nervalen Strukturen ausgelöst werden [THU 10].

3.2 Schienen

3.2.1 Definition

Schienen werden aus verschiedenen Materialien hergestellt, die die gebrochenen Knochen stützen und schützen können. Diese Materialien werden um den verletzten Körperteil positioniert, um die Knochenbruchstücke von Relativbewegungen zueinander abzuhalten und so eine Heilung zu befördern [OHI 10].

Es gibt einige Arten der Schienen, deren Struktur und Eigenschaften von den eingesetzten Materialien abhängig ist. Die Grundvarianten der Schienen sind:

- Gippschienen
- Kunststoffschienen

3.2.2 Gipsschiene

Gips ($\text{CaSO}_4/2\text{H}_2\text{O}$) kommt als Mineral in der Erdkruste vor. Als weißes, relativ weiches Material ist es ein wasserhaltiges Calciumsulfat mit zwei Molekülen Wasser im Kristallgitter (Dihydrat des Calciumsulfats) [SCH 07]. Gips bleibt trotz möglicher Alternativen weiterhin das meistbenutzte Material für Orthosherstellung und ist von hohem Wert im Gesundheitswesen [VIE 06]. Heutzutage gibt es in jedem Klinikum spezielle Hilfsmittel wie Gipsräume, wo täglich Stützverbände angelegt werden. Dieser Gipsraum umfasst viele Instrumente und viele Hilfsmittel sind notwendig (Abb. 3.1).

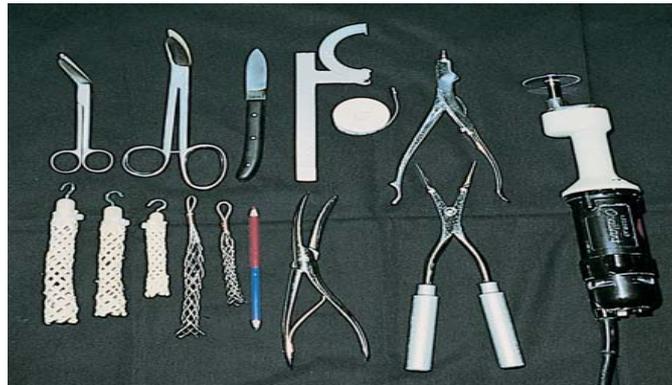


Abb. 3.1: Instrumente und Hilfsmittel des Gipsraums [SCH 07]

3.2.2.1 Anlegen der Gipsschiene

Die schräg gehaltene Gipsbinde wird zur beschleunigten Wasseraufnahme am tiefsten Punkt des Wasserbeckens eingetaucht (ca. 5 Sekunden bei einer Wassertemperatur von 17 - 24°C). Nach gleichmäßigem Abrollen erfolgt das Anmodellieren der Gipsbinde. Bei diesem Vorgehen entstehen homogene Schichten, Luftblasen treten nicht auf. Die Abbindezeit des Gipses beträgt 5 - 8 Minuten. Die Versteifungszeit des Gipses richtet sich nach der Wassertemperatur und der aufgenommenen Wassermenge. Die Festigkeit des Verbands wird durch Wassermenge und Tauchtechnik bestimmt. Die Trockenzeit von 24 - 36 Stunden ist abhängig von der Wandstärke des Verbands und aufgenommener Wassermenge [SCH 07].



Abb. 3.2: Prozess der Fixierung der Gipsschiene (Phasen A bis C) [MED 10]



Abb. 3.3: Prozess der Entfernung der Gipsschiene (Phasen D bis F) [MED 10]

3.2.2.2 Vorteile der Gipsschiene [EIP 93] [GIP 96]

- Die Materialkosten sind gering.
- Er ist außerordentlich modellierfähig.
- Nach dem Aushärten sind Korrekturen möglich.
- Gips ist grundsätzlich bei allen Individuen einsetzbar.
- Herstellung und Entsorgung sind ökologisch unproblematisch.
- Gips löst an der Haut keine toxischen oder allergischen Reaktionen aus.
- Eine Verschmutzung der Kleidung mit Gips lässt sich nach dem Austrocknen, im Gegensatz zu den Kunststoffen, entfernen.
- Die Versteifungszeit verlängert sich mit der aufgenommenen Wassermenge und mit steigender Wassertemperatur.
- Die Festigkeit sinkt mit der vermehrt aufgenommenen Wassermenge.
- Die Trockenzeit ist abhängig von der Dicke des Gipsverbandes und von der aufgenommenen Wassermenge, der Porosität und dem dadurch möglichen Luft- und Feuchtigkeitsaustausch.
- Die Gipsschiene zeichnet sich durch eine hohe Druckbelastbarkeit aus.
- Die Zugbelastbarkeit wird durch zusätzlich verankertes Mullgewebe erhöht.

3.2.2.3 Nachteile der Gipsschiene [EIP 93] [SPI 92]

- Gipsverbände sind relativ schwer.
- Sie sind schwierig zu fixieren (Abb. 3.2) und schwierig zu entfernen (Abb. 3.3).
- Die volle Belastbarkeit wird erst nach einem Tag erreicht.
- Gips ist spröde und bricht deshalb leicht, so dass Gipsverbände häufiger gewechselt werden müssen.

- Die Röntgenbilder sind durch das schattengebende Gipsmaterial häufig schwerer zu beurteilen.
- Bei der Bearbeitung von trockenem Gips, insbesondere bei der Entfernung der Gipsschiene, entsteht reichlich Staub.
- Das Umwickeln mit nassen elastischen Binden trägt zum besseren Schichtverbund bei. Dadurch entsteht eine raue Oberfläche.
- Gips verfügt über keine Dochtwirkung, deshalb ist der Feuchtigkeitsaustausch behindert. Dampfförmige Feuchtigkeit kann durch poröse Strukturen austreten. Schweiß, eingedrungene Feuchtigkeit oder Nässe bleiben im System liegen.

3.2.3 Kunststoffschiene

Moderne synthetische Bandagen setzen sich zusammen aus einem synthetischen Gewebe und einem Harz. Harze sind eine chemische Mischung, die, wenn sie mit Wasser in Verbindung gebracht werden, ein vernetztes Polymer bilden. Das Polymer verbindet die Gewebe und formt so die Stützschiene. Kunststoffmaterialien haben sich in den letzten 10-15 Jahren entwickelt. Es gibt für jede Verletzung verschiedene, z. T. ebenso erfolgreiche Therapiemöglichkeiten wie mit der konventionellen Gipstechnik. Häufig eingesetzte Trägermaterialien sind [SCH 07]:

- Glasfasergewebe
- Polyestergewebe
- Polypropylengewebe
- Zweikomponenten-Kunststoffgewebe

3.2.3.1 Anlegen der Kunststoffschiene

Die Anwendungsweise ist nahezu identisch mit der herkömmlichen, vorstehend beschriebenen Gipstechnik. Das Wasser im Tauchbecken soll eine Temperatur von 20 - 24 °C haben. Die Binde wird im Wasser gut durchgewalkt, abgeschüttelt und unausgedrückt. Unter leichtem Zug wird die Kunststoffbinde extremitätennah positioniert. Die Schiene ergibt mit 3 - 4 Wicklungen einen ausreichend stabilen Stützverband (Abb. 3.4). Die Belastung durch das gesamte Körpergewicht erfordert ca. 5 - 6 Lagen [SCH 07]. Im Jahr 1985 hat ein Team der Chirurgischen Klinik des Stadtkrankenhauses Cuxhaven eine neuartige Schiene namens Kombigipsschiene entwickelt [UNG 85]. Das ist eine Kombination von Kunststoff und Gips.



Abb. 3.4: Fixierung eines Armbruchs mit einer Kunststoffschiene [PRI 10]

3.2.3.2 Vorteile der Kunststoffschiene [GIP 96] [EIB 93]

- geringes Gewicht
- gute Röntgenstrahlendurchlässigkeit
- zeitlich länger haltbar, weniger Wechselbedarf aus Verschleißgründen
- hohe Festigkeit
- schnelle Belastbarkeit nach 30 - 45 min je nach Hersteller gegeben
- Anlegen und Entfernen von Kunststoffverbänden ohne wesentlichen Staub (Ausnahme: glasfaserhaltige Fabrikate)

3.2.3.3 Nachteile der Kunststoffschiene

- wesentlich teurer und schwerer als Gipsschienen
- nicht hautfreundlich
- Korrekturen am ausgehärteten Material nicht möglich
- Vielfalt hinsichtlich Elastizität, Adhäsivität, Modellierbarkeit einzelner Fabrikate
- einige Kunststoffbinden enthalten Silikon, das nach Aufbringen der letzten Schicht durch intensives Reiben mit den Latex-Handschuhen gelöst werden kann – Effekt: geglättete Oberfläche des Rundverbandes
- noch nicht ausgehärtetes Polyurethanharz klebt an der ungeschützten Haut, deshalb muss das Personal Handschuhe tragen! [GIP 96] [EIB 93]

3.2.4 Behandlung der Handfraktur mit statischen und dynamischen Schienen

Die Hand benötigt häufig einen Zeitraum der Immobilisierung nach Verletzung, um die Knochen richtig heilen zu lassen. Für die meisten Handverletzungen ist zur Immobilisierung eine Schiene die Methode der Wahl. Sie gewährleistet eine konstante Position der von der Fraktur betroffenen Bereiche [NAD 01]. Die Verwendung der Schienen ist ein wesentlicher Bestandteil der Rekonstruktion der Handchirurgie. Nach Verletzung, Infektion oder langen Zeitspannen der Schwellung und der Immobilisierung nimmt die Hand höchstwahrscheinlich eine Ruhe-Position an [LEU 80]. Im Schienendesign sind Kunst (Design und Konstruktion) und Wissenschaft (Anatomie und Komfort) kombiniert [DUN 89].

3.2.4.1 Statische Schienen

Die statischen Schienen haben keine beweglichen Elemente, sie werden z. B. als abstützende Handgelenkstützschiene und kombinierte Lagerungsschiene (Abb. 3.5) [STU 91] angewandt.



Abb. 3.5: abstützende Handgelenkstützschiene (links) und kombinierte Lagerungsschiene (rechts) als Beispiele für die statischen Schienen [STU 91]

3.2.4.2 Dynamische Schienen

Der Einsatz dynamischer Schienen ist bei der Rehabilitation von Verletzungen und Krankheiten an den oberen Extremitäten von großer Bedeutung. Generell können sie korrigierende oder substituierende Kräfte erbringen und werden den spezifischen Bedürfnissen eines jeden Patienten individuell angepasst. Sie unterscheiden sich von den statischen Schienen durch ein oder auch mehrere bewegliche Teile und dienen dabei Therapiezielen, wie es z. B. bei der dynamischen Daumenschiene und der Handgelenkflexionsschiene der Fall ist (Abb.3.6) [STU 91].

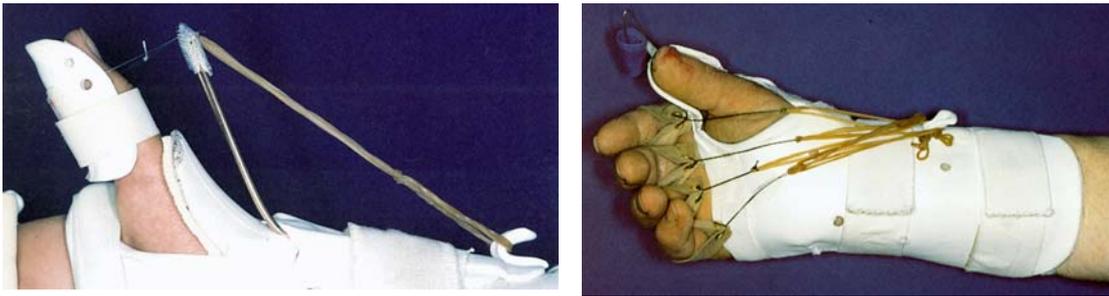


Abb. 3.6: Dynamische Daumenschiene (links) und Handgelenkflexionsschiene (rechts) als Beispiele für dynamischen Schienen [STU 91].

3.2.5 Zweite Haut-dynamische Schiene

Die Zweite Haut-dynamische Schiene wurde entwickelt, um die Funktionsleistung der Kinder und der Erwachsenen mit neurologischer Funktionsstörung zu verbessern. Jede Schiene wird nach persönlichem Maß einzeln entworfen, um den Funktionsbedarf in der Schule, beim Arbeiten und im Spiel zu sichern [SEC 10].

Die Zweite Haut-dynamische Schiene fördert die erhöhte Stabilität des Körpers und eine größere Unabhängigkeit des Patienten beim Sitzen und Stehen. Der Träger führt tägliche Tätigkeiten in dieser geänderten Körperhaltung durch und bietet seinen Muskeln damit die Gelegenheit, am biomechanischen Ablauf teilzuhaben und sie zu stärken. Diese Schiene soll 6 - 8 Stunden pro zwei Wochen getragen werden.

Diese Schiene ist aus einem Lycra basierten Gewebe hergestellt und hat ein hydrophobes Gewebe als Innenschicht, um über den Luftaustausch einen optimalen hautsensorischen Komfort zu bieten. Diese Zweite Haut-dynamische Schiene existiert als:

- Spinale Schiene
- Fußschiene
- Handschiene

3.2.5.1 Spinale Schiene

Die spinale Schiene ist eine dynamische Alternative zu der statischen Orthese bei der Behandlung von Skoliose (Abb. 3.7). Die spinale Schiene kann benutzt werden, um die spinale Symmetrie zu fördern, die spinale Rotation zu verringern und die Weiterentwicklung von Skoliose zu begrenzen. Dieser Prozess erlaubt dem Patienten verbesserte Funktionsfähigkeiten beim Sitzen und Halten des Kopfes [SEC 10].



Abb. 3.7: Spinale Skoliose (links) und Behandlung mit der Spinale Schiene (rechts)
[SEC 10]

3.2.5.2 Fußschiene

Fußschiene sind eine weit verbreitete Art der Zweiten Haut-dynamische Schienen. Diese Art der Schienen wurde für Kinder und Erwachsene entwickelt, die Probleme mit den Fußknochen haben (Abb. 3.8). In den letzten Jahren gab es eine starke Nachfrage von den Kliniken und den Eltern, um mit den einzelnen dynamischen Fußschiene Schwierigkeiten der traditionellen Behandlungsmethoden zu beheben. Kinder und Erwachsene können die Fußschiene jetzt benutzen. Jede Schiene ist ein einzelner Entwurf, der auf dem konkreten Fall des Patienten basiert und dem Bedarf der Hautintegrität entspricht.



Abb. 3.8: Rolle der dynamischen Fußschiene während der Änderung der Form der Fußknochen [SEC 10]

3.2.5.3 Handschiene

Die Grundfunktion dieser Schiene ist es, das Handgelenk zu stabilisieren, um die Hand bei einfachen Tätigkeiten zu benutzen. Diese Schiene hilft Patienten, die eine schwache Handfunktion haben oder deren Gelenke instabil sind (Abb. 3.9).

Die flexible Binde stützt den Daumen in der Funktionsposition. Fingerkomponenten fördern eine normalere Position der Bewegungen. Die Handgelenkposition wird so

eingesichert, damit der Patient die Fähigkeit der Bewegung während der Funktionsaufgaben erhält.

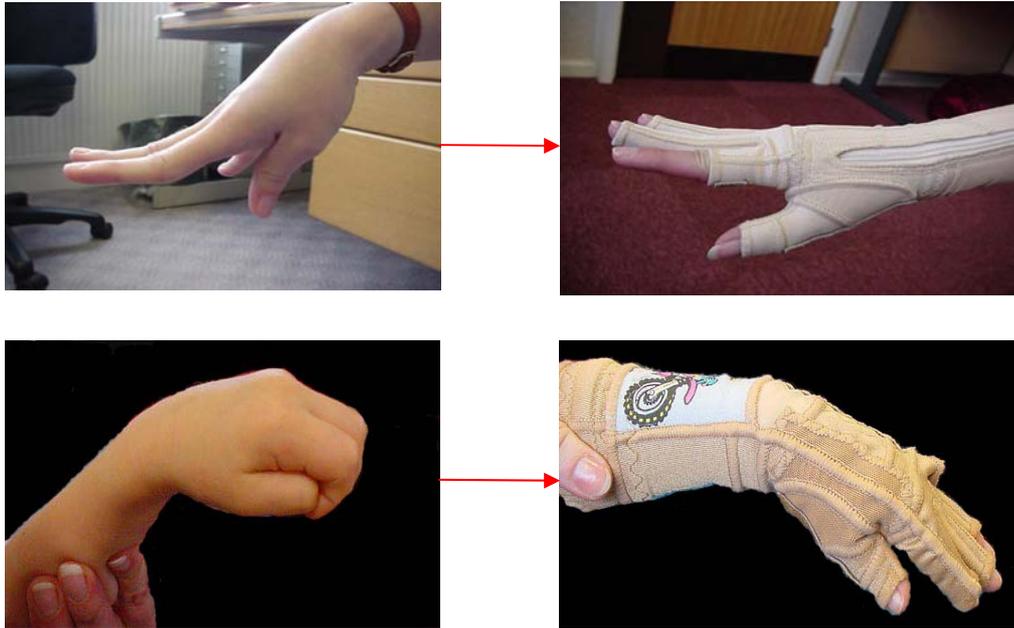


Abb. 3.9: Form der Hand vor und nach Behandlung mit der dynamischen Handschiene [SEC 10]

Diese Art der Schienen ist sehr wichtig für die Behandlung der Knochenprobleme, besonders bei Kindern und Jugendlichen. Die Zukunft der Herstellung dieser Art der Schienen liegt in der CAD-Konstruktion unter Berücksichtigung der mechanischen Eigenschaften der Schienungsmaterialien hinsichtlich Biegesteifigkeit, Schersteifigkeit und Zugkraft-Dehnungs-Verhalten.

3.3 Kompression der fixierenden Verbände auf der Haut

3.3.1 Die menschliche Haut

Der Mensch ist in seiner gesamten Körperoberfläche von Haut bedeckt. Mit einer ungefähren Fläche von 1,8 m² und einem Gewicht zwischen 3,5 und 10 kg stellt die Haut damit das größte Organ des menschlichen Körpers dar. Grundvoraussetzung zum Verständnis der Physiologie der Haut ist die Kenntnis des Aufbaus und der Funktion dieses vielfältigen komplexen Organs.

Die eigentliche Haut kann in drei Schichten unterteilt werden. Wie aus der Abbildung 3.1 ersichtlich, besteht sie aus der Epidermis (Oberhaut), der Dermis (Lederhaut) und Hypodermis oder Subcutis (Unterhaut). Zudem sind in der Haut unterschiedliche Hautanhangsgebilde wie die Haarfollikel und die Talg- und Schweißdrüsen zu finden [ELS 03, MAC 07].

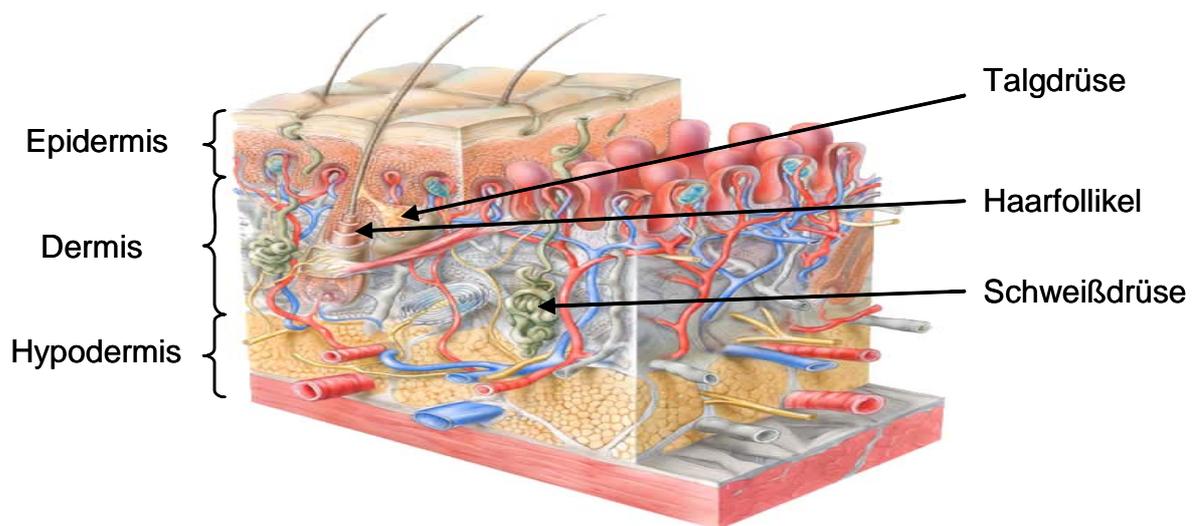


Abb. 3.10: Schematischer Querschnitt durch die menschliche Haut [SKI 10]

3.3.2 Funktion der Haut

Die Haut als größtes menschliches Organ erfüllt eine Vielzahl von Aufgaben. Zugleich ist die Haut mit einer Dicke von nur wenigen Millimetern das dünnste Organ des Menschen und erfüllt viele lebenswichtige Funktionen [WAL 02], wie zum Beispiel:

- Grenze zur Außen- und Innenwelt des Körpers
- Schutz gegen Trauma und Infektion und auch vor chemischen, mechanischen und thermischen Schäden
- Regulation der Körpertemperatur
- Verzögerung des Flüssigkeitsverlustes
- Sensorische Perzeption, Tastsinn, Schmerzwahrnehmung auf äußere Einflüsse
- Synthese von Vitamin D
- Blutdruckregulation (durch Konstriktion von Blutgefäßen in der Dermis)
- Reparatur von oberflächlichen Wunden
- Ausscheidung von Schweiß, Harnstoff, Milchsäure
- assoziiert mit Ausdrücken von Gefühlen [WAL 02]

3.3.3 Komfoteigenschaften der Textilien

Funktionsbekleidung, Unterwäsche und insbesondere auch medizinisch genutzte Textilien, die direkt an der Haut anliegen, müssen einen bestimmten Tragekomfort

aufweisen. Der optimale Tragekomfort sichert die biologisch notwendige Körperkerntemperatur von nicht mehr als 37 °C. Die Hauttemperatur sollte in Abhängigkeit von den äußeren Bedingungen 33 – 35 °C nicht überschreiten. Die relative Luftfeuchtigkeit im Volumen zwischen Haut und Kleidung soll 50 ± 10 % betragen, die Luftströmungsgeschwindigkeit wird bis maximal 0,5 m/s als angenehm empfunden. Unter solchen idealen Bedingungen fühlt sich der Mensch wohl [MAC 07].

3.3.4 Komfortparameter und -komponenten

Durch Komforttextilien wird das sogenannte Mikroklima zwischen der Haut und den textilen Schichten der Kleidung positiv beeinflusst und dem Menschen auch unter unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen das entsprechende Komfortgefühl vermittelt. Dieser Luftraum zwischen der Haut und der ersten Schicht der Kleidung ist besonders zu berücksichtigen. Übersteigt die Luftfeuchtigkeit in diesem Raum 75 %, tritt für den Nutzer dieser Kleidung das Gefühl des Unwohlseins ein. Nachlassende Konzentration und sinkende körperliche Leistungsfähigkeit sind die Folgen. Insbesondere die Hohensteiner Institute, Bönningheim, und die EMPA St. Gallen, Schweiz, sind im deutschsprachigen Raum durch wissenschaftliche Untersuchungen zum Tragekomfort von Textilprodukten, wie Sport- und Arbeitsschutzkleidung oder Militärausrüstung, bekannt. Die Anforderungen an die einzelnen Schichten der Bekleidung sind klimazonenspezifisch und jahreszeitabhängig, zudem ist der Grad der körperlichen Anstrengungen zu berücksichtigen. Außerdem bewirken unterschiedliche individuelle Ansprüche des Menschen Unterschiede in der Wahrnehmung des Kleidungskomforts [SPO 01, LI 01].

Aus wissenschaftlicher Sicht resultiert der Tragekomfort aus drei wesentlichen Komponenten:

- **Thermophysiologischer Tragekomfort**

Das Wärmegleichgewicht des Menschen mit der Körperkerntemperatur von 37 °C bleibt erhalten, wenn die im Körper durch den Stoffwechsel entstehende Wärmeenergie als Wärmestrom über die Haut durch die einzelnen Textilienschichten an die Umgebung abgeleitet werden kann. Die Wärme im Körper entsteht infolge des stoffwechselbedingten metabolischen Leistungsumsatzes [MEC 91, LI 01]

- **Ergonomischer Tragekomfort**

Weitere wichtige Kriterien für den Komfort sind der Schnitt und die Konstruktion des Bekleidungsprodukts. Die bekleidungsprodukttypischen

Körperbewegungen dürfen nicht behindert werden, insbesondere Sport- und Arbeitskleidung sollten keine oder nur wenige Einschränkungen verursachen. Durch geeignete Abstände zwischen Körperoberfläche und Textilschichten können gute Luftumwälzung zum Gewährleisten der Konvektion und des Luftaustauschs durch Ventilation zwischen Umgebung und körpernahen Schichten auch durch Kleidungsöffnungen erreicht werden, so dass das Mikroklima Innerhalb der Kleidung im optimalen Bereich gehalten werden kann [MEC 91].

- **Hautsensorischer Tragekomfort**

Dieser bezieht sich auf mechanische Eigenschaften der Textilschicht, die sich direkt auf der Haut befindet. Ein unangenehmes Gefühl beim Tragen ist unerwünscht. Der Textilstoff darf nicht auf der Haut kratzen. Die unangenehmen Stellen werden u. a. vom Material, Verbundsystemen wie Nähte und Reißverschlüsse oder Dekoration wie Glasperlen verursacht [UMB 00].

3.4 Kompressionsdruck auf der Haut

Ein Hauptmerkmal von elastischen Bandagen oder Schienen ist die Wirkung der Kompression auf das menschliche Gewebe des betreffenden Körperbereiches. Kompression kann aktiv durch die Wirkung eigener Muskeln oder passiv durch Bandagen aufgebaut werden. Damit Kompression erzielt werden kann, ist es wichtig, dass die Bandage eng am Körper anliegt, die Blutzirkulation aber erhalten bleibt [MUD 07].

3.4.1 Definition des Kompressionsdruckes

Der therapeutisch wirksame Druck, den Kompressionsbandagen erreichen, ist unter anderem von den physikalischen Eigenschaften des Materials der Bandagen abhängig. Die Höhe der Kompressionsklasse ist abhängig von der Kraft, die benötigt wird, um die Bandage im Prozess des Anlegens zu dehnen [MÜN 03].

Es ist zwischen dem Arbeitsdruck und dem Ruhedruck einer Bandage zu unterscheiden. Der Arbeitsdruck einer Bandage ist der Druck, den die Bandage bei der Arbeit der Muskulatur gegen die Extremität aufbringt. Das heißt, es ist der Widerstand gegen die Ausdehnung durch die Muskulatur. Der Ruhedruck ist der Druck, den die Bandage auch dann noch leistet, wenn nach dem Arbeitstakt die Muskulatur an Umfang verliert. Das gleiche gilt auch für alle Medizinprodukte, die Kompression realisieren [MUD 07].

3.4.2 Niveau des Kompressionsdruckes bei Bandagen

Das Niveau des Kompressionsdruckes kann wie folgt erklärt werden:

Ist die Muskulatur entspannt, resultiert das Niveau des Kompressionsdruckes nur aus den elastischen Eigenschaften und der Dehnung des Bandagenmaterials. In diesem Falle wird eine hohe Kompression durch die starke Dehnung und die damit verbundene große Rückstellkraft des Bandagenmaterials bewirkt.

Bei Kontraktion des Muskels entsteht durch die zirkulär geschlossene Bandage ein zusätzlicher Widerstand. Der Druck wird dabei umso grösser, je weniger nachgiebig die Bandage ist. Bei Bandagen liegt die Kompressionsstärke normalerweise zwischen 20 - 30 mmHg, dies entspricht den Kompressionsklassen 1 und 2 bei Kompressionsstrümpfen. Es ist wichtig zu erwähnen, dass Bandagen im Vergleich zu medizinischen Kompressionsstrümpfen keine verbindliche Kompressionsstärke aufweisen [MUD 07], da beim Anlegen und durch die individuelle Körperkonstitution Toleranzen auftreten.

3.4.3 Funktion der Kompression

Elastische, schlauchförmige Gebilde, wie Bandagen oder Kompressionsstrümpfe, üben infolge ihrer gedehnten Applikation eine komprimierende Wirkung auf das darunterliegende Gewebe aus. Aus dieser Kompression resultieren Druckwirkung auf das biologische Gewebe und zugleich ein intensiver Hautkontakt. Die Stärke der Kompression hängt von den Materialeigenschaften, vom Dehnungsgrad und von der Form des Körperteils ab. Die Kompression beschleunigt den Abbau von Schwellungen und verhindert den Blutaustritt aus Wunden.

Wenn von Kompressionsstärke gesprochen wird, ist der Druck auf die Hautoberfläche an einem bestimmten Anwendungsort gemeint. Die Kompressionsstärke sollte einerseits in einem physiologisch wirksamen Bereich liegen, darf aber andererseits Größenordnungen nicht übersteigen, die die Durchblutung der Extremität und die unbedingt notwendige Sauerstoffversorgung des biologischen Gewebes vollkommen verhindern. Der Kompressionsdruck wird auch zum Risikofaktor, wenn zu hohe Kompressionswerte erreicht werden, die Kompression über zu lange Zeiträume einwirkt oder auch ungünstige Gelenkstellungen eingenommen und lange gehalten werden [THU 10].

3.4.4 Klassifikation der Kompression auf der Haut

Die vielfältigen Eigenschaften der textilen Flächen und der Kontakt zur menschlichen Haut beeinflussen das Wohlbefinden des Menschen. Konfektionierte Textilien werden aber auch zur Therapieunterstützung eingesetzt [RÖD 01]. Die

Kompressionstherapie ist eine seit Jahrtausenden geübte Therapieform und basiert vorwiegend auf Erfahrung. Wissenschaftliche Wirksamkeitsnachweise stehen erst seit relativ kurzer Zeit zur Verfügung [PAR 08]. Im Jahr 1995 werden durch den britischen Standard BS 7505 vier Klassen von Druckverbänden entsprechend ihrer Fähigkeit, einen spezifizierten Druck an einem bekannten Knöchelumfang von 23 cm zu erzeugen, definiert.

Nach dem Stand der Technik werden die meisten Druckverbände als Kombinationen von verschiedenen Kompressionsmaterialien hergestellt, um unterschiedliche Wirkungen durch Elastizität und Kompression zu erreichen. Als maximaler Druck auf der Haut werden, durch unterschiedliche wissenschaftliche Untersuchungen gestützt, nicht mehr als 30 mmHg angegeben. Tabelle 3.1 enthält die Daten zur Klassifizierung der Druckverbände in vier Klassen [RIE 09, PAR 08, RAB 08].

Tabelle. 3.1: Klassifikation der Kompression auf der Haut [PAR 08] [RIE 09]

Kompressionsklasse	Intensität	Druck [mmHg]
1	leicht	< 20
2	mittel	> 20 - 32
3	kräftig	> 32 - 46
4	sehr kräftig	> 46
1 mmHg = 0,133 kPa		

4 Entwicklung einer neuen pneumatischen Schiene

4.1 Fluidsysteme zur Lagefixierung gebrochener Knochen

Neben den mechanischen Gips- und Kunststoffformen, die individuell an die Körperform angepasst werden, gibt es auch Lagefixierung durch Fluidsysteme. Die Anpassung eines Fertigproduktes an die individuelle Körperform erfolgt durch Veränderungen der Fluidbefüllung. Gegebenenfalls ist es sinnvoll, lagefixierende Fluidsysteme in Größenstufungen für verschiedene Körpermaße vorrätig zu halten.

Beispielsweise kann eine mit Luft gefüllte fluiddichte Bandage zur Lagefixierung der gebrochenen Knochen benutzt werden. Hier liegt der Innendruck der Luft über dem Luftdruck der Umgebung. Diese Variante wird im Weiteren als **pneumatische Schiene** bezeichnet. Alternativ ist es möglich, die Luft aus dem geschlossenen Raum der Bandage abzusaugen, so dass die Funktion der **Vakuumschiene** durch den Druckunterschied zwischen minimalem Innendruck und Umgebungsluftdruck erreicht wird.

4.1.1 Pneumatische Schiene

Es handelt sich meist um aufblasbare, flexible, biegeweiche Kunststoffhüllen, die für Arme und Beine in unterschiedlichen Größen angeboten werden (Abb. 4.1). Sie sind während der medizinischen Behandlung einfach anzulegen. Die von Luft entleerte doppelwandige Hülle wird über die bekleidete oder unbekleidete Extremität gezogen, mit Reißverschluss und/oder Klettband verschlossen und locker aufgepumpt. Dadurch wird eine weitgehende Ruhigstellung und Schmerzstillung erreicht. Zur Röntgenuntersuchung muss diese Schienung nicht abgenommen werden, weil das Kunststoffmaterial vollständig röntgenstrahlendurchlässig ist. Von Vorteil ist außerdem die geringe Masse der Schienung [EIB 93, POR 09].

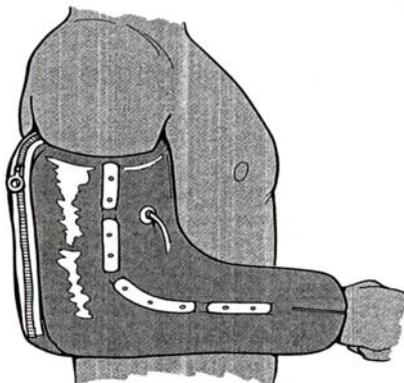


Abb. 4.1: Pneumatische Schienen zur Ruhigstellung bei Frakturen an Arm und Bein [EIB 93, POR 09]

Die pneumatische Schiene darf nur bis zu einem Druck von maximal 20 mmHg aufgepumpt werden. Höherer Druck behindert die venöse Zirkulation im Blutkreislauf. Wenn die Hülle durch scharfe Gegenstände verletzt wird, fällt der schienende Effekt durch Undichtigkeit aus [EIB 93].

4.1.2 Vakuumschienen

Die Vakuumschienen bestehen aus einer oder mehreren biegeweichen, luftdichten Plastik- oder Gummikammern; sie werden in unterschiedlichen Größen angeboten.

Am gebräuchlichsten sind zwei Meter lange Matratzen zur Immobilisierung des ganzen Menschen (Vakuumimmobilisator). Sie sind etwa zu zwei Dritteln des Volumens mit geschäumten Kunststoffkügelchen angefüllt. Wenn die Matratze der Körperform grob anmodelliert und anschließend mit einer Vakuumpumpe die Luft abgesaugt wird, entsteht eine Schienung für den gesamten Körper, die einerseits exakt anliegt, so dass keine Druckstellen entstehen können. Andererseits ist das System so fest, dass keine relevante Fragmentverschiebung an der Bruchstelle möglich ist (Abb. 4.2). Der Patient kann nur aus dieser Matratze genommen werden, wenn das Vakuum wieder aufgehoben wird.

Diese Immobilisierung ist besonders bei Frakturen der Wirbelsäule, des Beckens und der Oberschenkel erwünscht. Transportbedingte Schäden, die besonders am Rückenmark bei Wirbelfrakturen gefürchtet sind, werden vermieden. Becken- und Oberschenkelfrakturen werden weitgehend in Einlagerung gehalten, wodurch Blutung und Schmerzen gemindert werden. Die Vakuumsysteme sind ebenfalls aus röntgendurchlässigem Material gefertigt und können deshalb für eine Reihe von Röntgenuntersuchungen in der Funktion belassen werden [EIB 93, POR 09].

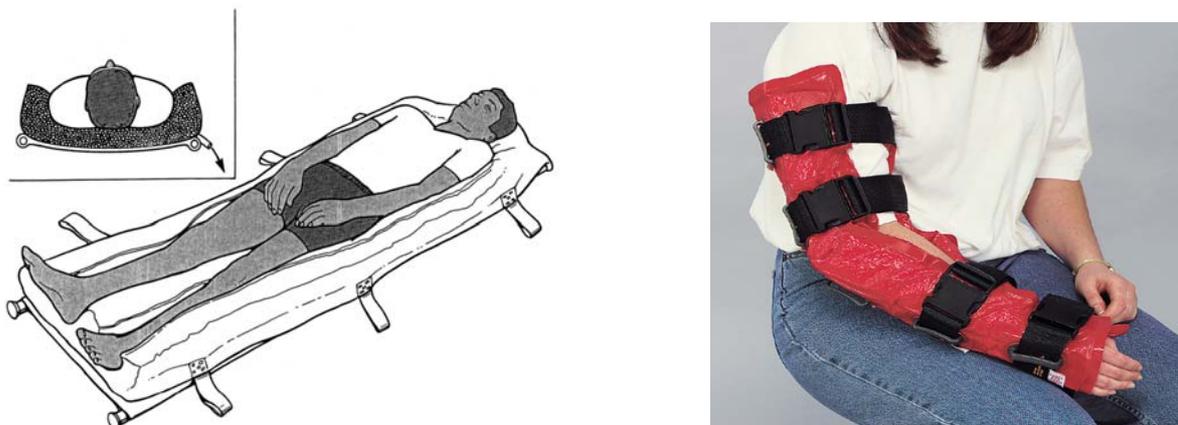


Abb. 4.2: Vakuumimmobilisator zur Ruhigstellung des Verletzten bei Oberschenkel- und Armfrakturen [EIB 93, POR 09]

4.2 Motivation

Gips und Kunststoffverbände weisen als konventionelle, formstabile Verbände den Nachteil auf, dass keine Anpassung des Verbandes an unterschiedliche Schwellungszustände des verletzten Körperteils erfolgen kann. Mit dem Rückgang der Schwellung ist die Stabilisierungswirkung des Verbandes an dem ehemals geschwollenen Bereich unzureichend. Es bedarf somit einer technischen Lösung, damit das Zusammenwachsen der Knochen in falscher Lage vermieden würde. (Abb. 4. 3).

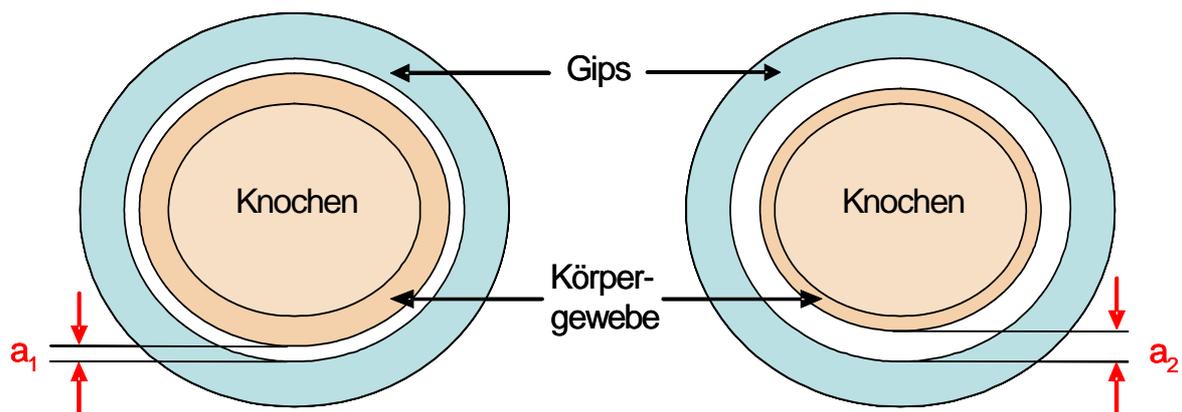


Abb. 4.3: Veränderung des Abstands (a) zwischen dem traditionellen Gipsverband und der Haut während der Schwellung (links) und nach Rückgang der Schwellung (rechts)

4.3 Entwicklung der pneumatischen Schiene zur Behandlung von Radiusfrakturen

Vielfältige Anforderungen an die pneumatische Schiene beim Anlegen und Tragen derselben aus medizinischer Sicht, das Gewährleisten eines akzeptablen Tragekomforts sowie das Einhalten wirtschaftlicher Kriterien im medizinischen Bereich sind bei dieser Produktentwicklung zu berücksichtigen.

Die Anforderungen aus medizinischer Sicht umfassen die Wirkung des Drucks der pneumatischen Schiene auf die Blutzirkulation, die Fixierungswirkung der Schiene zum Gewährleisten der richtigen Position und Stabilisierung der gebrochenen Knochen zueinander und den Kontakt zwischen Haut und Schiene.

Das Konzept für eine derartige pneumatische Schiene muss deshalb die Eigenschaften des fluiddichten Schienenmaterials, darunter Widerstandsfähigkeit gegen Innendruckbelastung, Wärme- und Wasserdampfdurchlässigkeit, Hautkontakt und Hauthaftung, Regenerationsfähigkeit für Mehrfachnutzung berücksichtigen und insbesondere für die Anpassung an die durch Abschwollen im Prozess der Heilung sich verändernde Form der Gliedmaßen eine Nachstellmöglichkeit aufweisen.

Die gegenwärtig aktuellen pneumatischen Schienen erfüllen diese Forderungen nur unzureichend. Häufig ist die gute Stabilisierung der Knochenfrakturen gewährleistet, aber es werden keine hautfreundlichen Materialien verwendet. Daraus resultieren viele dermatologische Probleme. Einige von ihnen können wegen der Wirkung des hohen Innendrucks der Schienung auf die Blutzirkulation nicht länger als 2 oder 3 Tage verwendet werden.

Deshalb zielt diese Entwicklungsarbeit darauf ab, die bekannten und geschätzten Vorteile gebräuchlicher Schienen aus Gips und Kunststoff oder auch pneumatischer Schienen zu erhalten und gleichzeitig die vorstehend genannten Nachteile zu vermeiden. Ziel ist es, auch nach dem Rückgang der Schwellung die Bruchstelle durch einen gut anliegenden Verband ausreichend zu stabilisieren, um das Zusammenwachsen der Knochen in der richtigen Lage zu gewährleisten.

Dazu sind folgende Teilprobleme zu lösen:

- Überwindung der bestehenden Schwierigkeiten bei der Fixierung einer verletzten Hand mittels Schiene
- Realisierung der dauerhaften Stabilisierung durch pneumatische Stützstrukturen
- Verbesserung des physiologischen Verhaltens bisheriger pneumatischer Verbände durch Einsatz innovativer Textilien.

Entsprechend den vorhergehend genannten Anforderungen müssen dabei folgende Eigenschaften durch Gestaltung, Konstruktion, Materialauswahl und –kombination erzielt werden; schnelles und leichtes Anlegen im Prozess der medizinischen Repositionierung der Bruchstelle durch:

- biegeweiches Material
- optimal handhabbare Verschlusstechnik mit Größenauspassung
- präzise Ventiltechnik zum Befüllen mit Luft und zur längerfristigen Druckstabilität
- sichere, fluiddichte Nahtausführung
- gute, hautfreundliche Kontaktfläche des Schienenmaterials zur Hautoberfläche durch:
 - Faserstoff mit Feuchtespeicherung und Feuchtetransport
 - luftdurchlässige Struktur der zur Haut orientierten äußeren Textilfläche

- optimale Lagefixierung der Bruchstelle bei gleichzeitiger Beweglichkeit einzelner Finger
- anatomisch angepasste Schnittkonstruktion
- anatomisch sinnvolle Produktmaße mit funktional definiertem Lagefixierungsbereich
- lange Lebensdauer, Wiederverwendbarkeit
- geringe mechanische Abnutzung
- temperaturbeständiges Grundmaterial (-34 °C bis 70 °C)
- leicht zu reinigen mit haushaltstypischen Wasch- und Trocknungsverfahren
- wettbewerbsfähiger Preis in Relation zu anderen Schienungsvarianten.

4.4 Das pneumatische Konzept

Die Grundidee dieser zu entwickelnden Schiene ist es, durch eine geeignete Gestaltung des pneumatischen Systems eine gute Fixierung der Hand und des Unterarmes bei Radiusfraktur mit hautfreundlicher Kontaktfläche zur Verfügung zu stellen (Abb. 4.4).



Abb. 4.4: Handradiusfraktur im Röntgenbild (links) und in Prinzipskizze (rechts)
[OES 99]

Die Aufgabe des pneumatischen Systems ist es, bei hinreichender Blutzirkulation den Bereich der Handradiusfraktur durch den Druck des pneumatischen Systems in seiner Lage zu stabilisieren. Dies bedeutet, dass sich die Hand innerhalb der pneumatischen Struktur befinden muss (Abb. 4.5). Diese pneumatische Struktur besteht aus äußerer und innerer Schicht, die gemeinsam eine geschlossene Kammer bilden. Ein Ventil ermöglicht den Anschluss einer Luftpumpe bzw. eines Luftspeichers. Die innere Schicht der pneumatischen Struktur ist der Haut des Armes zugewandt und bedarf einer hautfreundlichen Außenfläche. Die andere, äußere

Schicht kommt nicht mit der Haut in Berührung. Die Luft wird zwischen diese zwei Schichten gepumpt, um den passenden Druck auf der Fraktur zu realisieren.

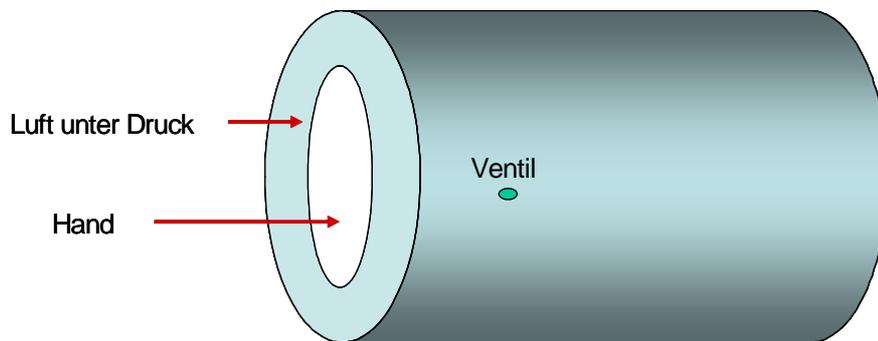


Abb. 4.5: Prinzip der pneumatischen Struktur

Der erste Schritt, um das beschriebene pneumatische System herzustellen, ist es, eine passende Kammer unter Beachtung relevanter Körpermaße, erforderlichenfalls auch in mehreren Größen, zu konstruieren, die die eingepumpte Luft zur Erzeugung des erforderlichen Druckes aufnimmt und den Druck auf die Oberfläche von Hand und Arm weiterleitet.

Um die benötigte pneumatische Kammer mit dem gewünschten Eigenschaftsprofil herzustellen, sind zwei Varianten der Konstruktion, insbesondere hinsichtlich des Materials mit Hautkontakt, sinnvoll:

- mit beschichtetem Abstandsgewirke als interne Schicht der Kammer
- mit beschichtetem Gewebe als ganze Kammer

Aus der Anwendung des beschichteten Abstandsgewirkes wird ein akzeptabler Hautkontakt mit Hinterlüftung und Feuchtetransport erwartet. Bei der Fertigung der pneumatischen Kammer ausschließlich aus beschichtetem Gewebe ist eine andere Variante der Sicherung des Hautkontaktes erforderlich.

5 Beschichtete Abstandsgewirke als innere Schicht der Kammer

5.1 Abstandsgewirke

Abstandsgewirke sind dreidimensionale gewirkte Strukturen (Abb. 5.1), bei denen Vorder- und Rückseite separat gewirkt, aber gleichzeitig durch Monofilamente miteinander verbunden sind. Das Monofilament kann aus Polyamid oder Polyester bestehen. Für die Vermehrung der Feuchtespeicherung kann das Monofilament zusätzlich mit Viskose- oder Baumwollfasern umwunden sein [BAG 07].

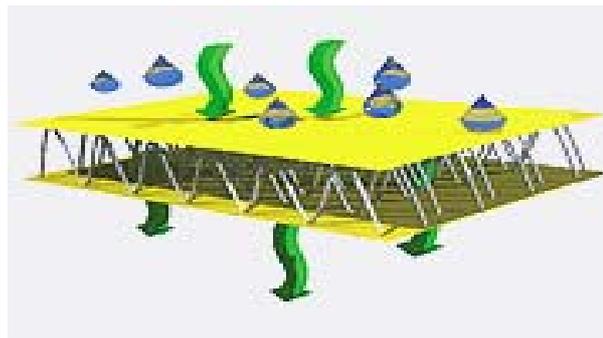


Abb. 5.1: Abstandsgewirke mit feuchteabweisender Funktion auf der Oberseite
[ELS 03]

Die Abstandsgewirke können mit Kettenwirkmaschinen, Flachwirkmaschinen oder Rundstrickmaschinen hergestellt werden. Die Eigenschaftsprofile der Abstandsgewirke können durch Auswahl der Garne und Bindungen der drei verschiedenen und voneinander unabhängigen Elemente Vorder- und Rückseite sowie Abstandsfäden für eine spezielle Endanwendung konstruiert werden. Diese Gesamtstruktur gewährleistet offene Räume, in denen Wärme- und Feuchtigkeit transportiert werden kann (Abb. 5.2) [BAG 07, JIP 08].

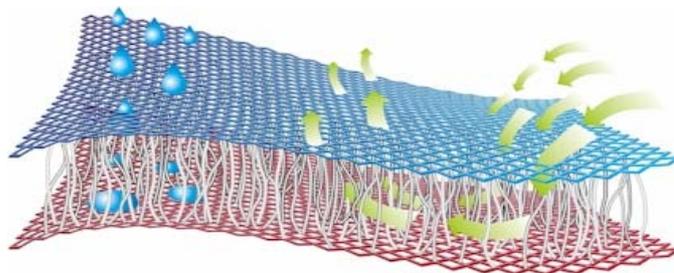


Abb. 5.2: Abstandsgewirke mit feuchteabweisender und lufttrocknender Funktion
[SHA 05]]

Abstandsgewirke werden auf RR-Kettenwirk-Maschinen mit mindestens drei Fadensystemen gewirkt. Alternativ ist es auch möglich, Abstandsstrukturen nach der Stricktechnologie auf RR-Strickmaschinen mit Nadelzylinder und Nadelsteller herzustellen [JIP 08, BRU 05].

5.1.1 Anwendungen der Abstandsgewirke

Abstandsgewirke haben durch ihre spezielle Struktur viele Vorteile, wie Luftdurchlässigkeit, umweltfreundliches Feuchtigkeitsmanagement, geringe Masse, Schockabsorption, hoher Widerstand gegen Abnutzung und 3D-Effekte. Diese speziellen Eigenschaften machen Abstandsgewirke für verschiedene Produkte verwendbar (Abb. 5.3), wie z. B. für Automobiltextilien, Sporttextilien, Faserverbundwerkstoffe mit Kunststoff- oder Betonmatrix und medizinischen Textilien (antibakteriell veredelte Matratzen und OP-Tischauflagen, Stützkissen, Verbände sowie Schuhsohlen und Schuhfutter) [YIP 09, ARM 09, ELS 03, VAN 07].

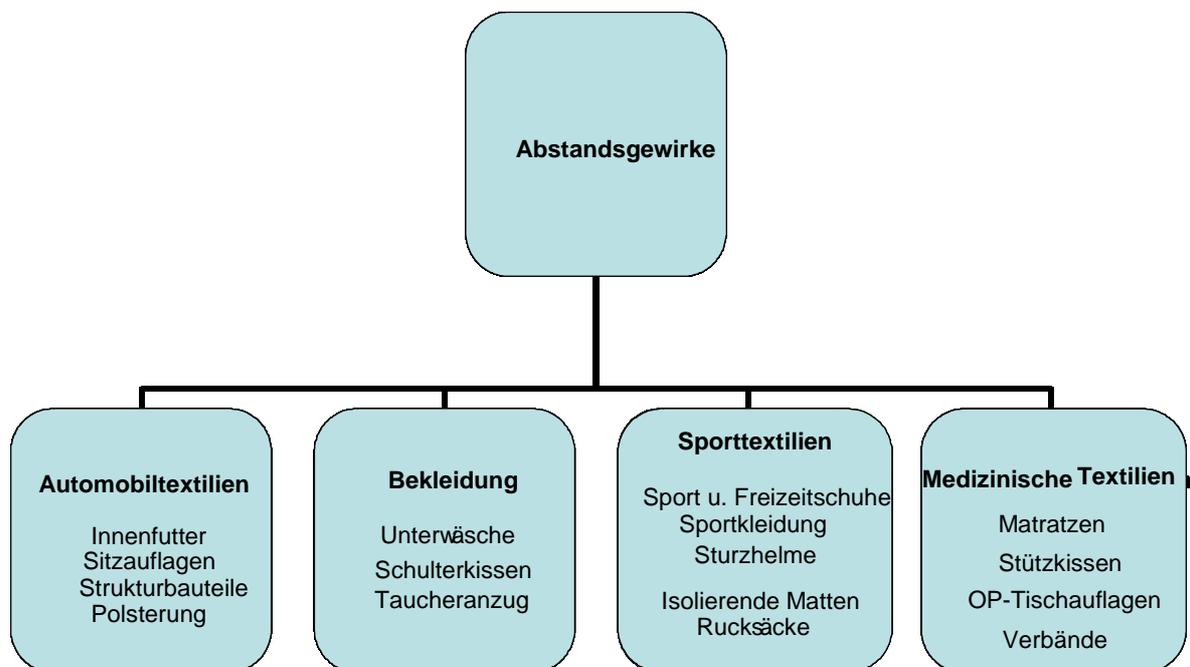


Abb. 5.3: Übersicht zur Anwendung der Abstandsgewirke

Bei dieser Methode zur Herstellung der pneumatischen Kammer wurde Abstandsgewirke verwendet. Das Abstandsgewirke ist mit einer Oberflächenbeschichtung versehen worden. Die innere Lage der pneumatischen Schiene erzeugt damit optimalen physiologischen Komfort. Die äußere Schicht der pneumatischen Kammer wird durch ein normal beschichtetes Gewebe gebildet (Abb. 5.4). Diese beiden Schichten stellen die Kammer dar, die mit Luft gefüllt wird.

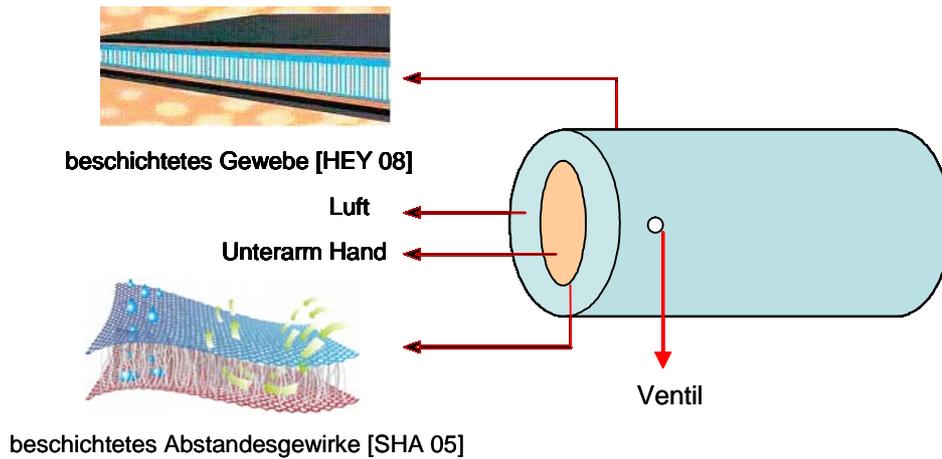


Abb. 5.4: Komponenten der pneumatischen Schiene mit beschichtetem Abstandsgewebe im Hautkontakt (erste Methode)

5.2 Beschichtung von Abstandsgewirke

Abstandsgewirke sind globaler Gegenstand der Forschung hinsichtlich Herstellung und Anwendung. Relativ wenig Forschungsarbeiten befassen sich bisher mit der Beschichtung einer oder beider Seiten von Abstandsgewirke, die insbesondere zur fluiddichten Anwendung benötigt wird. Deshalb werden in dieser Arbeit eigenständige Beschichtungsversuche an Abstandsgewirken durchgeführt.

5.2.1 Eigenschaften der Beschichtungsmaterialien

Vier verschiedene Beschichtungsmaterialien sind für diese Versuche benutzt worden (Tab. 6.1), um eine luftdichte Beschichtung der Abstandsgewirke erreichen zu können. Die Basiskomponente der ersten drei Materialien ist Polyurethan (PU), da Polyurethan vielfältig beispielsweise für Sitze, Polstermöbel und Matratzen benutzt wird [XIA 08]. Die Handelsnamen dieser angewandten Beschichtungsmaterialien sind Impranil DLH, Evo Top KHS und Evo Top KD.

Tabelle. 5.1: Eigenschaften der Beschichtungsmaterialien

Material	Hersteller	Komponente	Viskosität [mPas]
Impranil DLH (4% thickner)	Bayer GmbH, Deutschland	Polyesterpolyurethan-Dispersion	6600
Evo Top KHS	DyStar GmbH, Deutschland	Polyurethan mit ca. 20 % Keramik	6000
Evo Top KD	DyStar GmbH, Deutschland	Polyurethan mit ca. 10 % Keramik	5000
Supron U 3347 (5% thickner)	Weserland GmbH, Deutschland	Polyacrylat	7000

Die Basiskomponente des vierten Beschichtungsmaterials ist Polyacrylat (PAC), der Handelsname dieses Materials ist Supron U 3347. Polyurethane und Polyacrylate sind in der Textilbeschichtung wegen ihrer Leistungsfähigkeit und ihrer umweltverträglichen Konzepte weit verbreitet [BID 04].

5.2.2 Angewandtes Abstandsgewirke

Die Abstandsstruktur, die in dieser Arbeit benutzt wurde, ist ein Abstands-Kettengewirke. Tabelle 5.2 fasst Materialaufbau, Garnart, Dicke, Garnkomposition und Flächengewicht zusammen.

Tabelle. 5.2: Eigenschaften des Abstandsgewirkes

		
Hinteransicht innere Oberfläche (Hautkontakt)	Seitenansicht	Vorderansicht äußere Oberfläche
Material	Kettengewirke	
Multifilamente der Innen- und Außenfläche	100% Polyester	
Abstandsfaden	Monofilament	
Dicke (mm)	6,5	
Abstandsgarnkomposition	100% Polyester	
Flächengewicht (g/m ²)	310	
Hersteller	Pressless GmbH, Deutschland	

5.2.3 Beschichtungsverfahren

Zur Ausführung von Beschichtungen auf textilen Substraten existieren verschiedene Verfahren, die sich für industrielle Anwendungen und/oder für labortechnische Untersuchungen eignen. Aufgrund der verfügbaren Materialmenge musste ein für Laboruntersuchungen geeignetes Verfahren angewandt werden.

Eine Methode, unter Laborbedingungen einen Schichtstoff herzustellen, ist das direkte Auftragen eines Polymers in Form einer dicken Flüssigkeit oder einer Paste unter Verwendung einer Rakelvorrichtung [FUN 02]. Dieses Rakelmesser wird mit einem minimalen Abstand über der Oberfläche des Stoffes positioniert. Das Textilmaterial wird gespannt unter der Rakel hindurchgeführt. Zum Gewährleisten einer konstanten Dicke der Beschichtung werden rahmenartige Schablonen zum Aufspannen der Textilfläche gefertigt, auf denen der Rakel abgezogen werden konnte (Abb. 5.5). Die verdickte Polymerflüssigkeit des Beschichtungsmaterials wird

vor die Rakel gegeben und manuell auf die Oberfläche des Stoffes aufgetragen. Die Relativbewegung zwischen Schablone und Rakel wird durch Verschieben der Rakel erreicht. Anschließend wird die Beschichtung für 3 Minuten bei einer Temperatur von 160 °C in einem Heißluft-Ofen (Werner Mathis AG, Schweiz) fixiert.



Abb. 5.5: Schablone zur Oberflächenbeschichtung des Abstandsgewirkes, Innenmaß 15 cm x 18 cm (Draufsicht)

5.3 Prüfungen der beschichteten Abstandsgewirke

Für die beabsichtigte Anwendung stehen Hautverträglichkeit und Feuchtetransport im Mittelpunkt. Deshalb werden sechs verschiedene Prüfungen vorgenommen, die pauschal in mechanische und in Komforteigenschaften an Außen- und Innenfläche einzuteilen sind:

Außenfläche (beschichtete Oberfläche):

- Oberflächenbeschaffenheit
- Biegesteifigkeit (DIN 53362)
- Kraft-Dehnungs-Verhalten (Zugversuch) (DIN ISO 1421)
- Luftdurchlässigkeit (DIN EN ISO 9237)

Innenfläche (Oberfläche ohne Beschichtung)

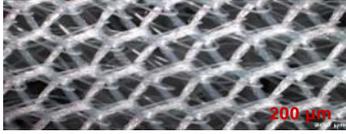
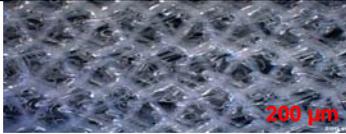
- Luftdurchlässigkeit (DIN EN ISO 9237)
- Wärmedurchgangswiderstand (DIN EN 31092)
- Wasserdampfdurchlässigkeit (DIN EN 31092)

5.3.1 Oberflächenbeschaffenheit

Das Abstandsgewirke weist eine Dicke von 6,5 mm auf. Die Schablone, die für das Beschichten des Abstandsgewirkes benutzt wurde, besitzt eine Dicke von 0,3 mm. Theoretisch müsste damit ein beschichtetes Abstandsgewirke von 6,8 mm Gesamtdicke entstehen.

Tabelle 5.3 zeigt die Oberflächenstrukturen vor und nach der Beschichtung mit verschiedenen Beschichtungsmaterialien, die unterschiedliche Viskositäten besitzen. Abbildung 5.6 und 5.7 geben Auskunft über die mit den Beschichtungsmaterialien erreichten Schichtdicken.

Tabelle. 5.3: Oberfläche des Abstandsgewirkes vor und nach der Beschichtung

Material	Dicke [mm]	Oberfläche
ohne Beschichtung	-	
Impranil DLH	0,275	
Evo Top KHS	0,246	
Evo Top KD	0,223	
Supron U 3347	0,299	

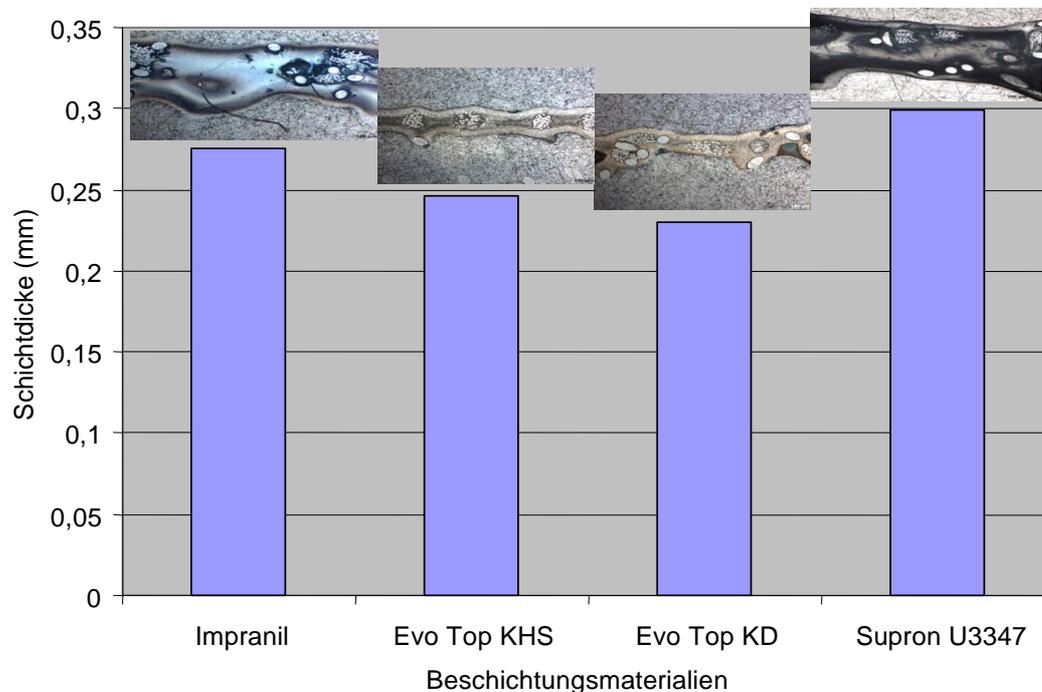


Abb. 5.6: Schichtdicken der Beschichtungsmaterialien auf der Oberfläche des Abstandsgewirkes

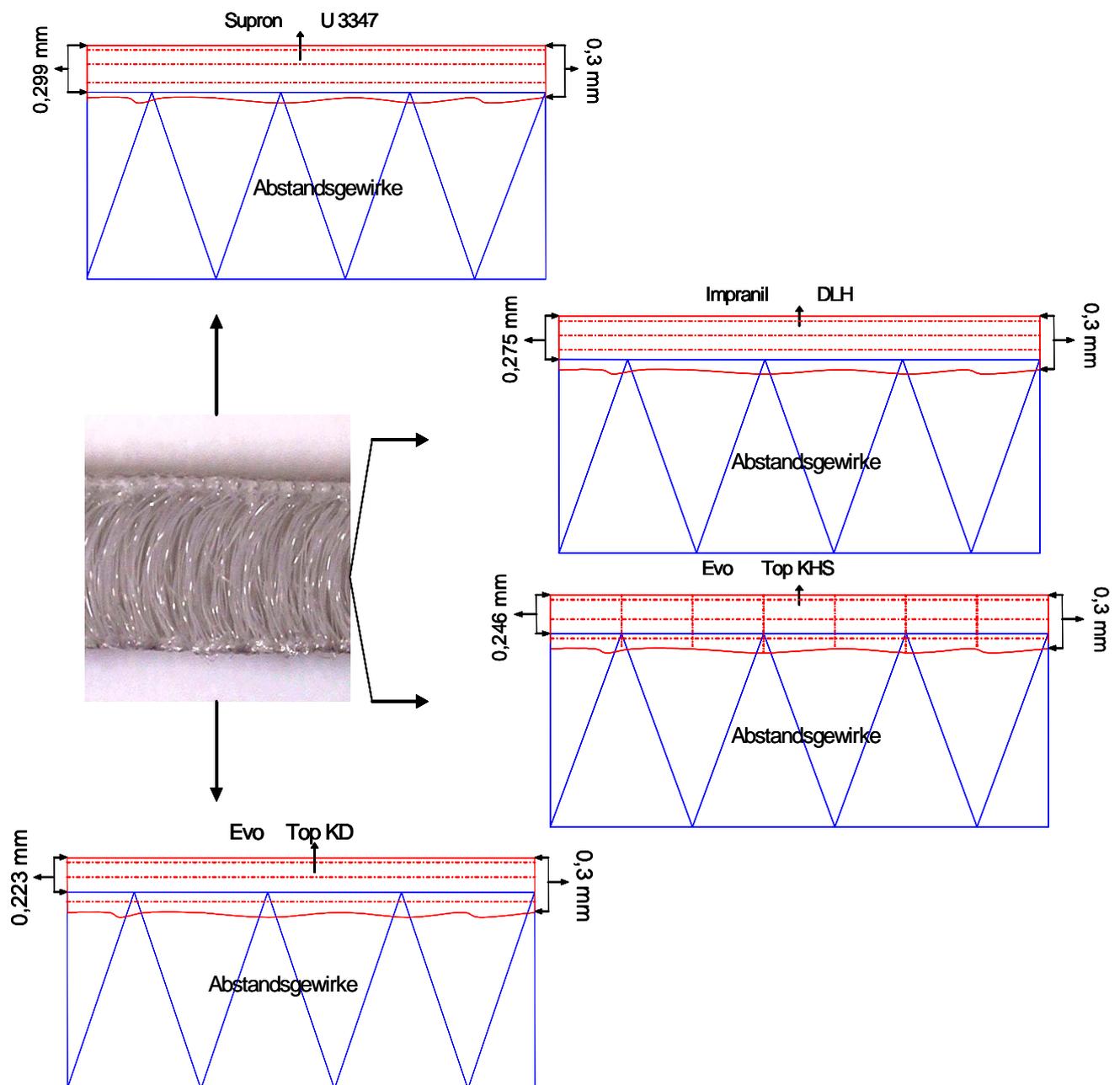


Abb. 5.7: Beschichtungsmaterialdicken und Absorptionsniveaus der Oberflächen des Stoffes

5.3.2 Biegesteifigkeit

Die Biegesteifigkeit der Proben des Abstandsgewirkes vor und nach Beschichtung wurde mit dem am ITM entwickelten Messgerät ACPM 200 [SEI 07] entsprechend der DIN 53362 bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.4 zusammengefasst. Die Messwertauswertung erfolgt automatisch durch die zugehörige Software.

Tabelle. 5. 4: Biegesteifigkeit des Abstandsgewirkes ohne und mit unterschiedlichen Beschichtungsmaterialien

Beschichtungsmaterialien	Biegesteifigkeit [mN*cm]	
	Kettrichtung	Schussrichtung
Ohne Beschichtung	50,74	122,34
Impranil	205,32	209,61
Evo Top KHS	165,68	198,29
Evo Top KD	86,82	186,56
Supron U 3347	400,91	410,11

Abbildung 5.8 zeigt die Ergebnisse der Biegesteifigkeitsbestimmung für Kett- und Schussrichtung der beschichteten Abstandsgewirke. In einem Vergleich mit der nicht-beschichteten Probe des Kettengewirkes scheint es, dass die Biegesteifigkeit des Abstandsgewirkes eng mit der Viskosität der Oberflächenbeschichtungsmaterialien zusammenhängt. So hatte das mit Supron U 3347 beschichtete Abstandsgewirke den höchsten Biegesteifigkeitswert in Kettrichtung (400,91 mN*cm) und in Schussrichtung (410,1 mN*cm), während das mit Evo Top KD beschichtete Abstandsgewirke den niedrigsten Biegesteifigkeitswert in der Kettrichtung mit 86,82 mN*cm und in der Schussrichtung mit 186,56 mN*cm aufweist.

Im Vergleich mit den beschichteten Proben hatte die unbeschichtete Probe erwartungsgemäß die geringste Biegesteifigkeit in beiden Richtungen (Kette und Schuss). Dieses Verhalten wird hauptsächlich von der Viskosität der Beschichtungsmaterialien beeinflusst, so dass die Beschichtungsmasse unterschiedlich tief in die textile Struktur des Abstandsgewirkes eindringt. Im Vorfeld ausgeführter Versuche mit Schablonen verschiedener Dicke zwischen 0,3 mm und 1 mm zeigen, dass der mit der Schablone von 0,3 mm Dicke erreichbare minimale Beschichtungsauftrag bereits die geschlossene Beschichtungsfläche gewährleistet. Dickere Beschichtungen haben häufig auch Luftblasen an der Oberfläche. Außerdem ist zu beachten, dass außerhalb der Textilstruktur Beschichtungsmasse in unterschiedlicher Dicke verbleibt. Je größer diese Schichtdicke des Beschichtungsmaterials ist, desto größer ist auch die Biegesteifigkeit des Stoffes, somit hat die Schichtdicke Einfluss auf die Biegesteifigkeit.

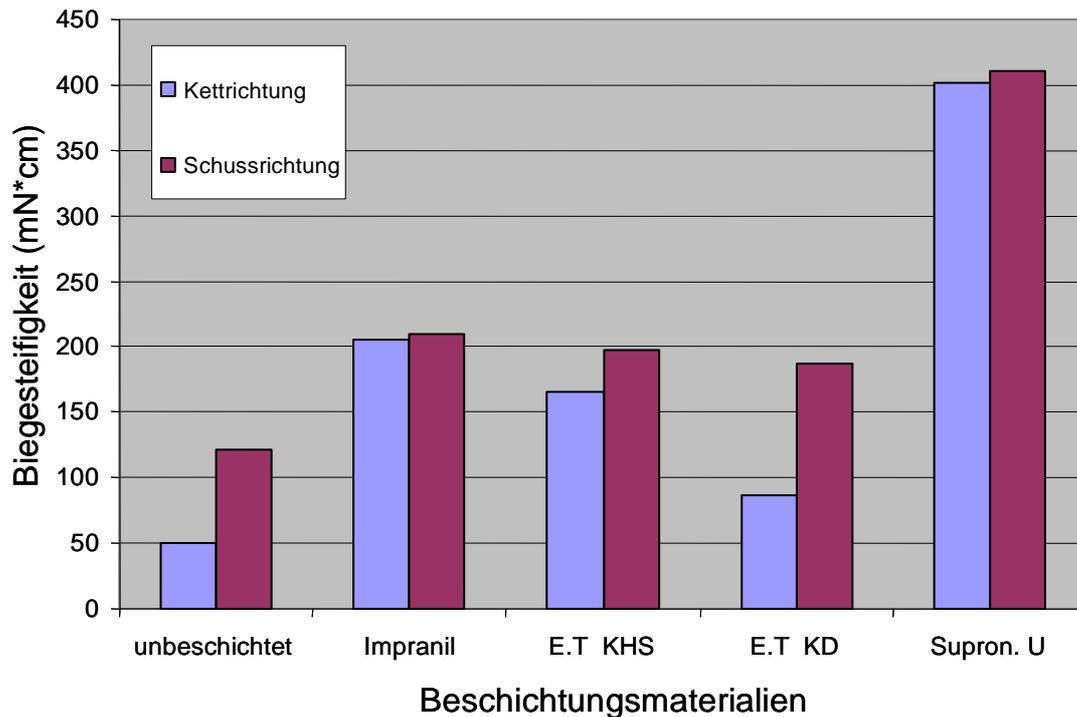


Abb. 5.8: Biegesteifigkeit des Abstandsgewirkes in Abhängigkeit von der Beschichtungsmasse

5.3.3 Dehnung unter Einfluss der Zugkraft

Dehnung ist für die beabsichtigte Anwendung eine wichtige Eigenschaft des Abstandsgewirkes [BAD 07]. Deshalb ist sie vor und nach der Beschichtung mit dem Messgerät Z2.5 von Zwick/Roell entsprechend Standard DIN ISO 1421 in Kettfaden und auch in Schussfaden geprüft worden. Die Ergebnisse der Prüfungen des Zugkraft-Dehnungs-Verhaltens sind in Tabelle 5.5 aufgeführt.

Tabelle. 5. 5: Dehnung des beschichteten Abstandsgewirkes

Beschichtungsmaterialien	Dehnung [%]	
	Kettrichtung	Schussrichtung
ohne Beschichtung	81,3	60,6
Impranil DLH	78,7	53,8
Evo Top KHS	67,7	35,3
Evo Top KD	63,6	37,9
Supron U 3347	79,9	60,1

Die Ergebnisse bestätigen den erwarteten Effekt der Wirkung der Viskosität der Beschichtungsmaterialien auf die Dehnbarkeit des beschichteten Abstandsgewirkes (Abb. 5.9). Die Proben, die mit Supron U 3347 beschichtet sind, besitzen mit 79,9 % in Kettrichtung und 60,1 % in Schussrichtung die höchste Dehnung. Dem gegenüber wurden an den Proben, die mit Evo Top KD beschichtet wurden, die niedrigsten Dehnungen in der Kettrichtung (63,6 %) und in der Schussrichtung (37,9 %) gemessen. Die unbeschichtete Probe verfügt im Vergleich mit den beschichteten

Proben über die höchste Dehnung in beiden Richtungen. Wird die Dicke der Schicht des Beschichtungsmaterials in die Auswertung des Dehnungsverhaltens einbezogen, so zeigt sich, je dicker die Beschichtung, desto höher ist die Dehnung des beschichteten Abstandsgewirkes.

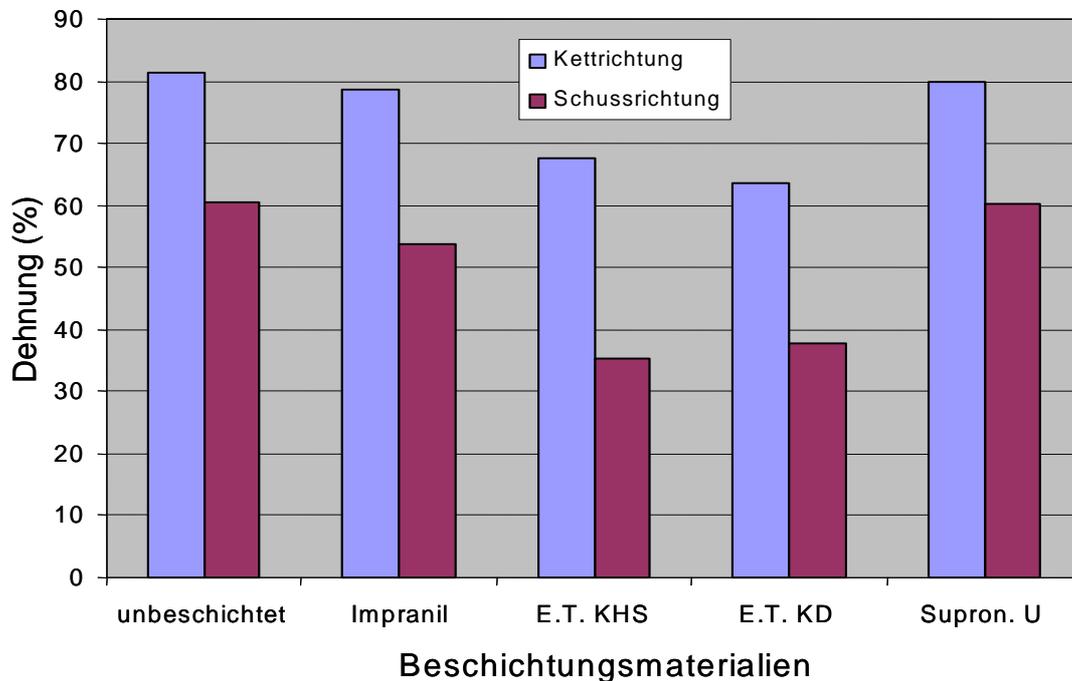


Abb. 5.9: Dehnung des beschichteten Abstandsgewirkes

5.3.4 Luftdurchlässigkeit

Aufgrund ihrer guten Luftdurchlässigkeit können durch die Anwendung von Abstandsgewirken viele physiologische Probleme in Produkten wie Sitze, Polstermöbel und Matratzen gelöst werden [XIA 08]. Durch die vollflächige Beschichtung der Außenseite des Abstandsgewirkes wird jedoch die Luftdurchlässigkeit auf dieser Seite unterbunden.

Die Prüfung der Luftdurchlässigkeit muss dennoch sowohl für die Außenseite (beschichtete Oberfläche) als auch die innere Seite (unbeschichtete Oberfläche) des Abstandsgewirkes durchgeführt werden. Die Prüfung erfolgt mit dem Prüfgerät FX 3300 entsprechend der Norm DIN EN ISO 9237. Die gemessenen Mittelwerte aus jeweils 10 Messungen sind in Tabelle 6.6 zusammengefasst. Für die Außenseite (beschichtete Oberfläche) werden die Auswirkungen unterschiedlicher Höhen des Luftdruckes auf die beschichtete Fläche untersucht (Tabelle 5.7). Der Standardluftdruck beträgt entsprechend Norm 200 Pa und die Prüffläche ist 20 cm² groß.

Das angewandte Prüfgerät ist für die Prüfung ebener textiler Strukturen konstruiert worden. Die Prüfung von druckelastischen Abstandsstrukturen ist daher eine kritische Anwendung und erfordert Kompromisse. Die Luft strömt von unten in die

Prüffläche ein, so dass die zu prüfende Seite jeweils nach unten im Prüfgerät positioniert werden muss. Die beschichtete Außenseite muss funktionsgemäß jegliche Durchströmung verhindern. Tritt Durchströmung auf, so ist entweder eine undichte Beschichtung die Ursache oder es bestehen Einspannmängel, so dass die Luft unkontrolliert am Prüfling vorbeiströmen kann. Die Prüfung der Luftdurchlässigkeit der unbeschichteten Seite erfordert die Einspannung dieser Seite nach unten, die Luftströmung erfolgt durch die unbeschichtete Fläche und dann radial seitlich durch die kreisförmige Einspannung.

Tabelle. 5. 6: Luftdurchlässigkeit der inneren Seite (unbeschichtete Fläche)

Beschichtungsmaterialien	Luftdurchlässigkeit [mm/s]
Ohne Beschichtung	4105
Impranil DLH	41,50
Evo Top KHS	28,40
Evo Top KD	20,75
Supron U 3347	48,01

Tabelle. 5. 7: Luftdurchlässigkeit der Außenseite (beschichtete Oberfläche)

Luftdruck [Pa]	Luftdurchlässigkeit [mm/s]				
	Ohne Beschichtung	Impranil DLH	EvoTop KHS	Evo Top KD	Supron U 3347
100	1764	undurchlässig	undurchlässig	0,03	undurchlässig
150	3688	undurchlässig	undurchlässig	0,04	undurchlässig
200	4402	undurchlässig	0,02	0,06	undurchlässig
250	5030	0,06	0,05	0,09	0,04
300	5587	0,07	0,1	0,11	0,06
350	6093	0,08	0,14	0,12	0,08

Entsprechend den gewonnenen Ergebnissen ist die Luftdurchlässigkeit des Stoffes von der Dicke der Beschichtung und auch der Menge der Beschichtungsmasse innerhalb der Textilstruktur abhängig. Die Verteilung der Beschichtungsmasse auf der Oberfläche der Textilstruktur und partiell auch darin ist, wie schon vorstehend ausgeführt, bei gleicher Schablone mit 0,3 mm von der Viskosität des Beschichtungsmaterials abhängig. Wichtig für das Verhindern des Luftdurchtritts ist die geschlossene Beschichtung.

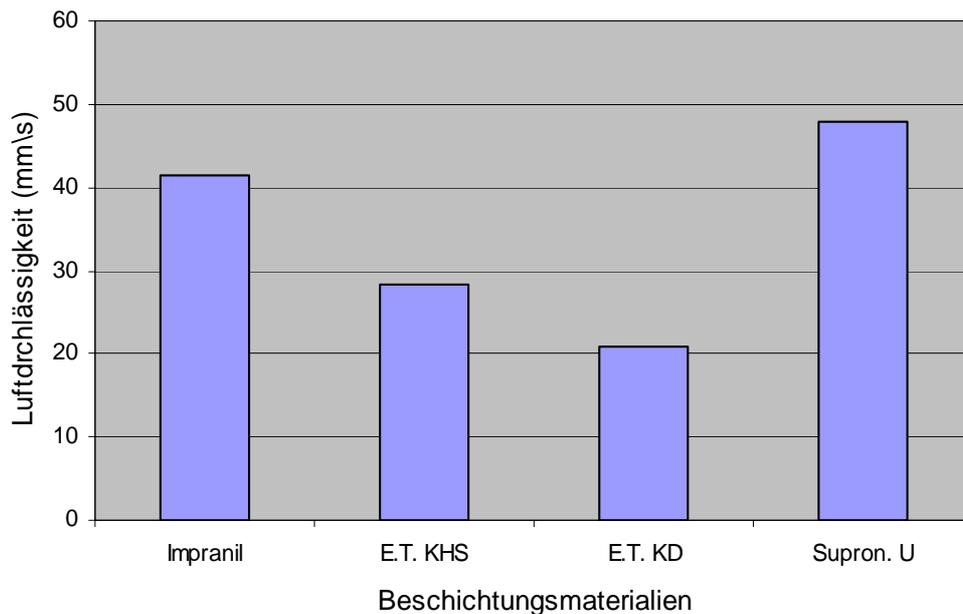


Abb. 5.10: Luftdurchlässigkeit der inneren Oberfläche des beschichteten Abstandsgewirkes

Aus den Abbildungen 5.10 und 5.7 ist zu erkennen, dass trotz der hohen Dicke der Beschichtung mit Supron U 3347 diese Variante den besten Luftdurchlässigkeitswert im Vergleich zu den anderen Proben mit einen anderen Beschichtungsmaterialien aufweist.

Andererseits hat die mit Evo Top KD beschichtete Probe den niedrigsten Luftdurchlässigkeitswert, obwohl nur eine sehr dünne Beschichtungsschicht auf der Oberfläche vorhanden ist. Das bedeutet, dass die äußere Oberfläche der Probe, die mit Supron U 3347 beschichtet wurde, nur eine kleine Menge des Beschichtungsmaterials in die Struktur absorbiert hat. Deshalb gibt es einen genügenden Bereich innerhalb der Abstandsgewirkestruktur, der die hohe Luftdurchlässigkeit gewährleistet. Die gleiche Wirkung der Dicke der Beschichtung auf die Luftdurchlässigkeit des Stoffes ist an den anderen Proben erkennbar. Die dünnen Beschichtungen reduzieren die Luftdurchlässigkeit infolge der absorbierten Beschichtungsmaterialien in der Struktur. Das bedeutet, dass es ein indirektes Verhältnis zwischen den Dicken der Beschichtungsmaterialien und der Luftdurchlässigkeit des Abstandsgewirkes gibt.

Wie in Abb. 5.7 und Abb. 5.11 gezeigt, gibt es eine klare Wirkung des Niveaus der Beschichtungsmaterial-Absorption auf die Luftdurchlässigkeit der inneren Oberfläche, die keine Beschichtung aufweist. Mit dem Luftdurchlässigkeitsprüfgerät FX 3300 wird der Luftdruck in mehreren Stufen 100, 150, 200, 250, 300 und 350 Pa variiert, um den maximalen Luftwiderstand der inneren Oberfläche festzustellen.

Die mit Supron U 3347 und Impranil DLH beschichteten Proben sind luftdicht bis 200 Pa, aber die mit Evo Top KHS beschichtete Probe ist nur luftdicht bis 150 Pa. Alle diese Ergebnisse beziehen sich auf die Dicke der Beschichtung auf der Oberfläche des Abstandsgewirkes.

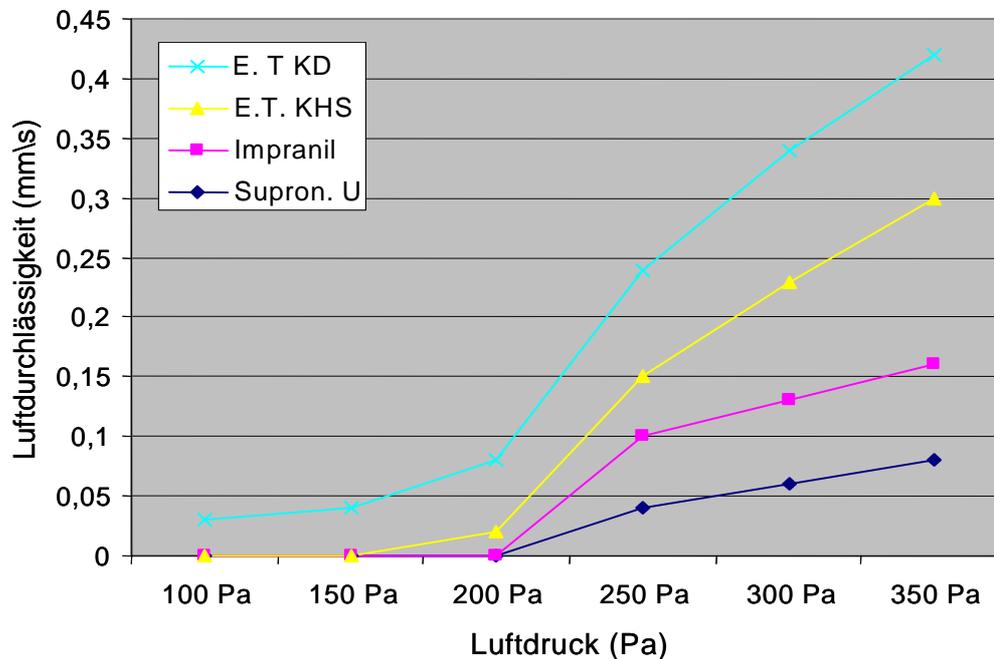


Abb. 5. 11: Luftdurchlässigkeit der äußeren Oberfläche des beschichteten Abstandsgewirkes

5.3.5 Wärmedurchgangswiderstand

Eine der grundlegenden Eigenschaften der Abstandsgewirke ist der Wärmedurchgangswiderstand. Trockene Wärmeenergie wird durch Textilmaterialien auf drei Arten übertragen: durch Leitung, Konvektion und Strahlung. Leitung ist Wärmeübertragung durch ein Material oder durch mehrere Materialien im direkten Kontakt miteinander [MAO 07]. Wärmetransport durch Konvektion erfordert den Energietransport durch bewegte Luft. Wärmestrahlung wird direkt im Raum übertragen.

Diese Messung des Wärmedurchgangswiderstandes simuliert die Anwendungssituation des Wärmeübergangs von der Körperoberfläche des menschlichen Armes durch die Abstandsstruktur an die Umgebung. Die innere, unbeschichtete Seite des Abstandsgewirkes wird der warmen Oberfläche des Permetest-Prüfgerätes zugeordnet. Die Prüfung erfolgt nach DIN EN 31092. Aus Tab. 5.8 ist zu entnehmen, dass keine gravierenden Unterschiede des Wärmedurchgangswiderstandes der einzelnen Varianten vorhanden sind.

Tabelle. 5.8: Wärmedurchgangswiderstand des beschichteten Abstandsgewirkes

Beschichtungsmaterialien	Wärmedurchgangswiderstand [$\text{m}^2 \text{ K/W}$]
Ohne Beschichtung	0,0492
Impranil DLH	0,0444
Evo Top KHS	0,0440
Evo Top KD	0,0439
Supron U 3347	0,0472

5.3.6 Wasserdampfdurchgangswiderstand

Eine weitere wichtige, ihren Einsatz befördernde Eigenschaft des Abstandsgewirkes ist gute Wasserdampfdurchlässigkeit. Abstandsgewirke ermöglichen die Luftzirkulation, so dass unterschiedliche Wasserdampfkonzentrationen innerhalb der Abstandsstruktur und hin zur Umgebung ausgeglichen werden können. Durch Schwitzen befeuchtete, warme Haut kann die flüssige Feuchte durch Verdunstung in Wasserdampf umwandeln, der die Schicht des Mikroklimas zwischen Haut und allgemeinen Textilhülle auf die genannte Art verlassen kann. Die Verdunstung leistet einen weiteren Beitrag zur Stabilisierung der Körperkerntemperatur, die beim Menschen $37 \text{ }^\circ\text{C}$ betragen muss. Erfolgt dieser Energieausgleich nicht wie erforderlich, reagiert der Mensch mit Unbehagen bis hin zum Extrem, z. B. bei Feuerwehrleuten, dem Hitzestress mit Todesfolge [MAC 07].

Deshalb ist der Wasserdampfdurchgangswiderstand der inneren Seite des Abstandsgewirkes, der unbeschichteten Seite, untersucht worden. Für die Messungen wurde das Permetest-Prüfgerät nach Standard DIN EN 31092 genutzt (Tab. 5.9)

Tabelle. 5. 9: Wasserdampfdurchgangswiderstand des einseitig beschichteten Abstandsgewirkes

Beschichtungsmaterialien	Wasserdampfdurchgangswiderstand [$\text{m}^2 \text{ Pa/W}$]
Ohne Beschichtung	230,70
Impranil DLH	225,09
Evo Top KHS	223,34
Evo Top KD	220,46
Supron U 3347	228,62

Wärmedurchgangs- und Wasserdampfdurchgangswiderstand, die wichtigen Kennwerte zum Textilkomfort, weisen für die einseitig beschichteten Abstandsgewirke keine wesentlichen negativen Veränderungen (Abb. 5.7, Abb. 5.12 und Abb. 5.13) infolge der einseitigen Beschichtung auf. Die Werte des Wärmedurchgangswiderstands liegen zwischen 0,0439 und 0,0492 m² K/W, und die Werte des Wasserdampfdurchgangswiderstands waren zwischen 220,46 und 230,7 m² Pa/W. Folglich ist die Anwendung dieser Materialien im vorgesehenen Einsatz ohne Einschränkungen möglich.

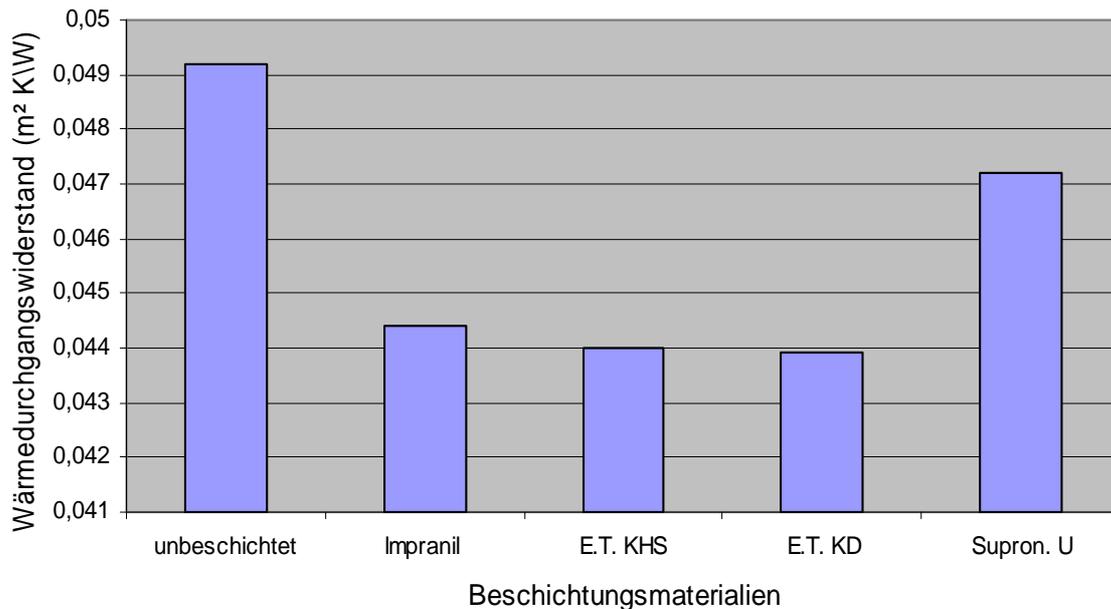


Abb. 5.12: Wärmedurchgangswiderstand der Abstandsgewirke mit Beschichtungen

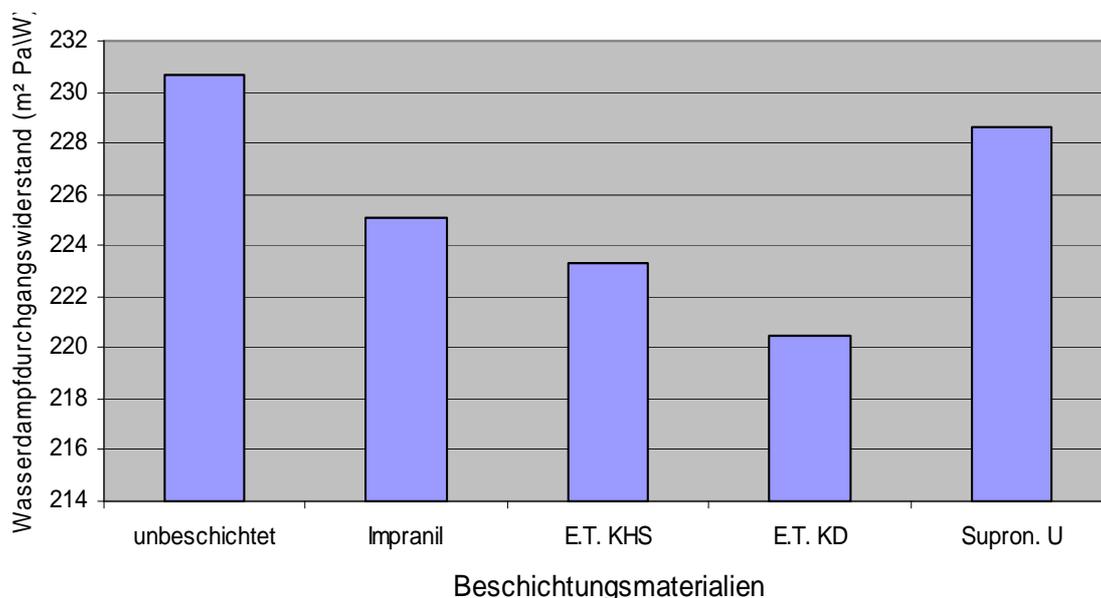


Abb. 5.13: Wasserdampfdurchgangswiderstand der Abstandsgewirke mit Beschichtungen

5.4 Zusammenfassende Wertung der textilphysikalischen Prüfungen

In den vorstehenden Experimenten wurden insbesondere Abstandsgewirke hinsichtlich ihrer Eignung für die vorgesehene Anwendung in der pneumatischen Schiene untersucht. Neben vielen positiven Ergebnissen gibt es einen wesentlichen Schwachpunkt, die begrenzte Luftundurchlässigkeit der beschichteten Struktur. Zur Herstellung der pneumatischen Schiene ist ein Druck im pneumatischen System zwischen **2,666 und 3,996 kPa (20 bis 30 mmHg)** erforderlich, der die Stabilität der Schienung mit der sicheren Durchblutung des Armes verbindet. Die ausgeführten Beschichtungen der Abstandsgewirke waren jedoch nur bis **200 Pa (1,500 mmHg)** stabil. Die Forschung auf dem Gebiet der fluiddichten Beschichtungen für Abstandsgewirke steht somit noch vor größeren Aufgaben. Das Institut für Textilmaschinen und textile Hochleistungswerkstofftechnik, an dem der Autor tätig ist, reagiert gemeinsam mit dem TITV Greiz auf diese Herausforderung mit einem im März 2010 beginnenden IGF-Forschungsprojekt, welches Beschichtung und Konfektionierung zum Gegenstand hat.

Für den unmittelbaren Fortgang der Entwicklung der pneumatischen Schiene müssen andere Konstruktionsvarianten gesucht werden, die das pneumatische System mit ausreichend widerstandsfähigen beschichteten Materialien bilden und trotzdem den gewünschten Tragekomfort bieten. Die multifunktionale Wirkung von Abstandsgewirken ist derzeit nicht umsetzbar.

6 Konstruktion, Aufbau und Fertigung der entwickelten pneumatischen Schiene

6.1 Beschichtetes Gewebe als pneumatische Kammer der entwickelten Schiene

Die zweite Methode zum Herstellen einer ganzen pneumatischen Kammer für die pneumatische Schiene besteht in der Anwendung gummierter Gewebe [PTO]. Zum Einsatz der pneumatischen Schiene kamen zwei unterschiedliche Materialien. Die äußere Schicht besteht aus einem beschichteten Polyestergewebe, die innere, dem menschlichen Arm zugewandte Seite, besteht aus einem PES-Abstandsgewirke (Abb. 6.1 und Tabelle 6.1).

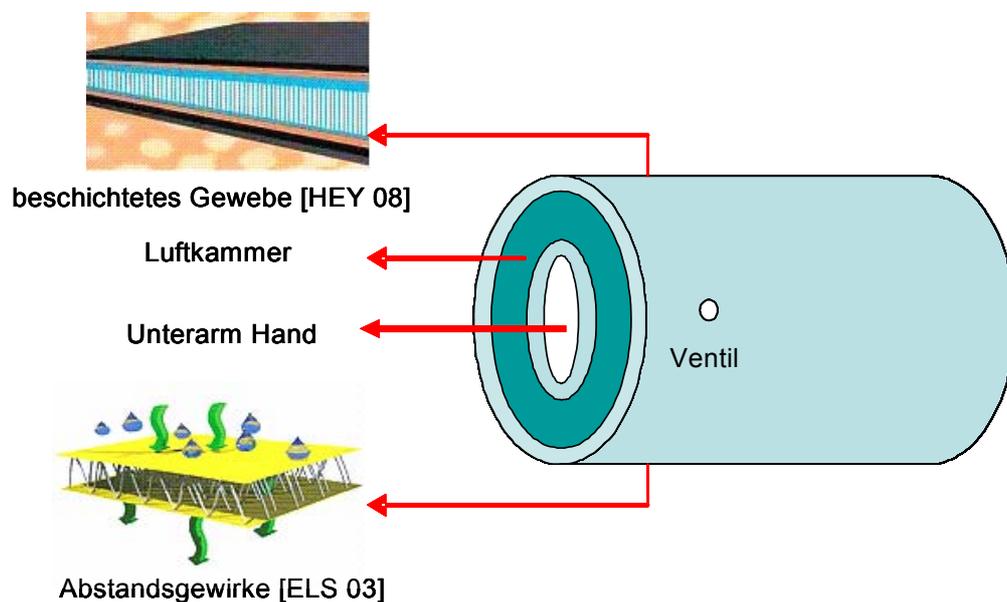


Abb. 6.1: Komponenten der pneumatischen Schiene nach der zweiten Methode

Tabelle. 6.1: Mechanische Eigenschaften des beschichteten Gewebes der Luftkammer

Gewebe	Polyester, 295 dtex,
Beschichtung	beidseitig NBR-Blend
Farbe	weiß
Nutzbreite	ca. 90 cm
Flächengewicht	$580 \pm 60 \text{ g/m}^2$
Dicke	$0,5 \pm 0,05 \text{ mm}$
Reißfestigkeit	
Kette	$\geq 700 \text{ N/5cm}$
Schuss	$\geq 500 \text{ N/5cm}$
Haftung der Beschichtung	
Kette	$\geq 50 \text{ N/5cm}$
Schuss	$\geq 50 \text{ N/5cm}$
Luftdurchlässigkeit	luftdicht

Wie Abb. 6.2 zeigt, ist aus dem beschichteten Gewebe eine ganze pneumatische Kammer erstellt worden. Das Fügen mittels Nähprozesses ist ungeeignet, da durch die perforierenden Stiche der Nähnadel Undichtheiten erzeugt würden. Ultraschall-Schweißtechnik ist nicht nutzbar, da die gummierte Beschichtung nicht thermoplastisch ist. Deshalb wurden die Verbindungsstellen mittels Klebtechnik zusammengefügt. Die Klebtechnik ist ein geeignetes Verfahren, um die beiden Schichten der ganzen Kammer zu verbinden und um das Ventil an geeigneter Stelle zu fixieren. Verwendet wurde nach eigenen Klebeversuchen ein spezieller Adhäsionsklebstoff auf Basis von Cyanacrylat.



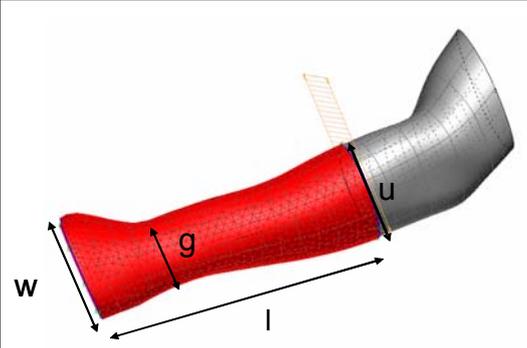
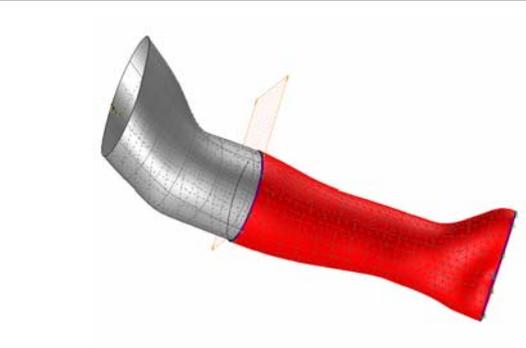
Abb. 6.2: Komponenten der Luftkammer

6.2 Aufbau der Schiene

Um zu den genauen Maßen der pneumatischen Manschette zu kommen, müssen Form und Maße des menschlichen Armes berücksichtigt werden. Bekanntermaßen unterscheiden sich die Menschen in ihren Längen- und Umfangsmaßen, die Bekleidungsindustrie nutzt zur möglichst umfassenden Versorgung ihrer Kunden nationale oder auch international übergreifend gültige Größensysteme.

Zur Konstruktion eines Prototyps wurde auf die verfügbaren 3D-Daten eines menschlichen Armes in Größe M des CAD-Systems der Professur für Konfektionstechnik am ITM der TU Dresden zurückgegriffen. Für eine Überleitung in die Praxis wäre der übliche Prozess der Schnittgradation, d. h. der Größenabstufung von Konfektionsprodukten, durchzuführen. Tabelle. 6.2 zeigt den simulierten Arm mit biegeweichen, textilen Hüllen und den relevanten Maßen. Ausgehend von diesen Informationen wurde die Abwicklung dieser Verbandsoberflächen in die Ebene der Textilfläche mit kommerzieller branchentypischer Software rechentechnisch ausgeführt [KRZ 05]. Nahtzugaben für die sichere Nahtausführung sind noch anzufügen (Tab. 6.2).

Tabelle. 6.2: Messwerte der Hand

	
äußere Ansicht	innere Ansicht
Messwerte	
(g) Handgelenkumfang	19,0 cm
(u) Unterarmumfang	27,8 cm
(w) Handwurzelumfang	27,6 cm
(l) Unterarmlänge	30,0 cm

Unter Anwendung der im SizeGERMANY-System zusammengestellten Körpermaße werden für diese pneumatische Schiene zwei Größen A und B vorgeschlagen, wobei die Größe A für Menschen konzipiert ist, deren Körpermaße am Handgelenk den Bekleidungsgrößen S und M entsprechen. Analog ist Größe B für Menschen mit Körpermaßen am Handgelenk entsprechend Bekleidungsgrößen L und XL (Tab. 6.3) geeignet. Das grundlegende Körpermaß aller Größen ist der Handgelenkumfang in cm. Die anderen für die Schiene relevanten Maße sind Unterarmumfang, Handwurzelumfang und Unterarmlänge. Die Anpassung dieser pneumatischen Schiene an das konkrete Körpermaß erfolgt durch eine größendefinierte Einstellung der Klettbandverschlüsse (Abb. 6.3). Beispielhaft wird in dieser Arbeit die pneumatische Schiene für zwei mittlere Größen M und L hergestellt. Um die richtige Fixierung der Hand durch die Schiene zu realisieren, müssen die Klettbandverschlüsse gemäß der Markierungen am Klettverband zusammengeführt werden.

Tabelle. 6.3: Handgelenkumfangsmaße der Größen A und B der pneumatischen Schiene

Kategorie	Handgelenkumfang (cm)		
	Größe	Männer	Frauen
A	S	15 – 17	14 - 16
	M	>17 – 19	>16 - 18
B	L	>19 – 21	>18 - 20
	XL	>21 – 23	>20 - 22

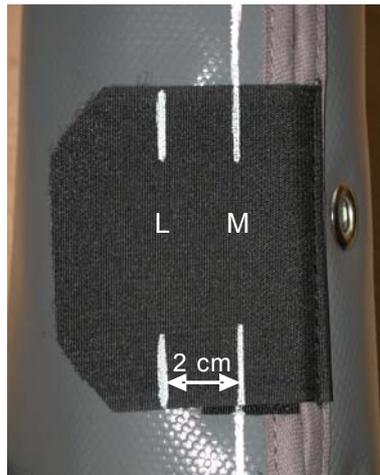


Abb. 6.3: Markierung für die größenspezifische Einstellung des Klettverband-
verschlusses

Im Resultat dieses CAD-Prozesses besteht der Verband aus nur zwei miteinander verbundenen Zuschnitteilen (Abb. 6.4), dem Vorderteil und dem Hinterteil. Das Vorderteil ist über der Hand positioniert, und das Hinterteil ist unter der Hand angeordnet. Die pneumatische Stabilisierung wird nur durch das Vorderteil realisiert. Für das Anziehen der Manschette ist eine Öffnung vorhanden, die mit einem Klett-Flausch-Band verschlossen werden kann. Der Daumen kann wie medizinisch notwendig in einer vorgesehenen Öffnung des Verbandes positioniert werden.

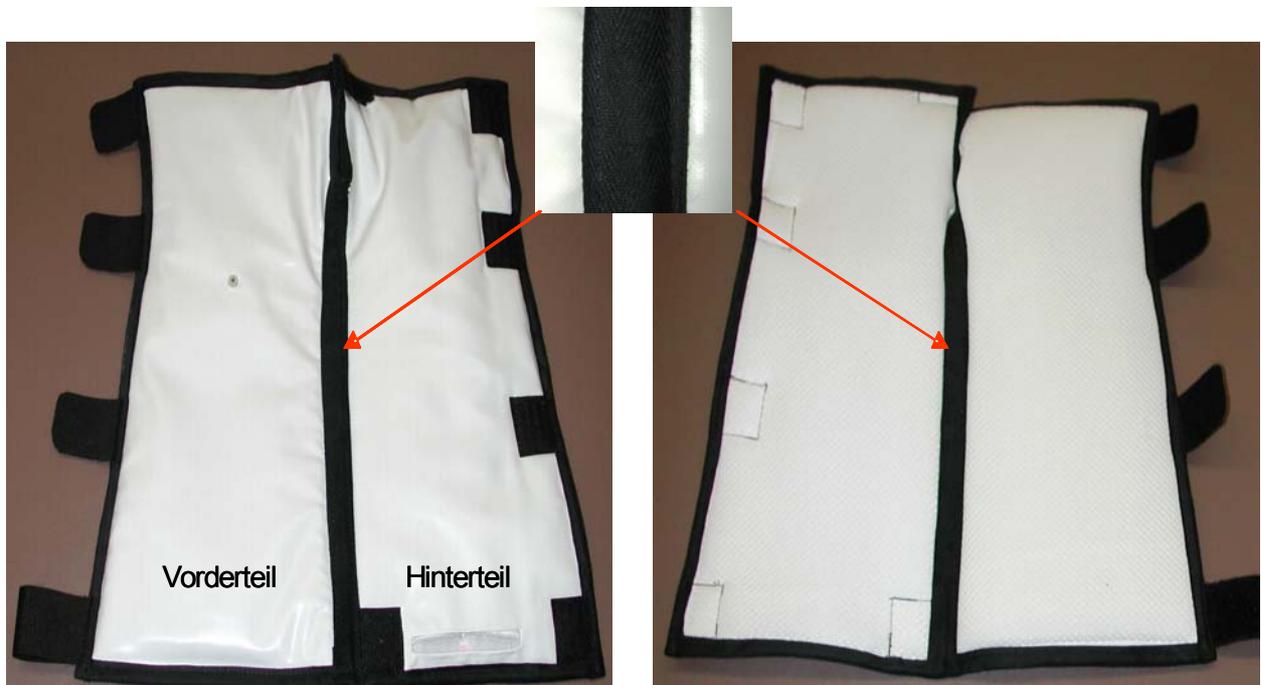


Abb.6.4: Ansicht der äußeren (links) und inneren, der Haut zugewandten Seite des
Verbands (rechts)

6.2.1 Aufbau der zwei Teile der Schiene :

1. Die äußere Schicht, aus beschichtetem Gewebe bestehend, ist der äußere Körper des Verbandes.
2. Die innere Schicht, bestehend aus Abstandsgewirke, befindet sich im Kontakt mit der Körperoberfläche von Hand und Arm. Das Abstandsgewirke besteht aus zwei gleichen Oberflächen, die durch Monofile auf ca. 6,5 mm Abstand gehalten werden. Damit wird der Tragekomfort für den Hautkontakt durch Hinterlüftung erzielt. Die eine Oberfläche ist direkt im Hautkontakt, die zweite Oberfläche kontaktiert die pneumatische Kammer. Die Hauptaufgabe der zweiten Lage ist, die richtige Position der Bruchverletzung der Hand zu sichern. Dafür werden zusätzlich Metallschienen in die Struktur eingelagert (Abb. 6.5), die jeweils am Abstandsgewirke in mit der Ultraschall-Schweißmaschine befestigten Taschen positioniert sind. Diese zusätzliche mechanische Schienung bietet mehr Stabilisierung in dem Verband und damit mehr Rehabilitation.



Abb. 6.5: zusätzliche Lagestabilisierung mittels Metallschienen

6.2.2 Die pneumatische Kammer der Schiene

Die pneumatische Kammer, die nur im Vorderteil eingearbeitet ist, wird im Zuge der Positionierung der Schienung durch das Ventil mit Luft gefüllt. Die Grundaufgabe dieser pneumatischen Komponente ist es, die Anpassung des Verbandes entsprechend dem Grad der Schwellung (bzw. dem Radius des Armes) anzupassen. Die Höhe des Druckes auf den verletzten Arm muss mit einem Manometer überprüft werden, um ausreichenden Druck ohne kritische Reduzierung der Blutzirkulation zu erreichen.

6.2.3 Komponenten des Vorderteiles der Schiene

Wie Abb. 6.6 zeigt, besteht das Vorderteil aus drei Komponenten, der äußeren Schicht (beschichtetes Gewebe), der pneumatischen Kammer, die den Druck aufrecht hält, und der inneren Schicht (PES-Abstandsgewirke). Im

Zusammenwirken dieser Komponenten wird die sichere Positionierung der Radiusfraktur zu erreicht.



Abb. 6.6: Komponenten der Vorderteile der neu entwickelten Schiene



Abb. 6.7: Komponenten des pneumatischen Systems

Der Druck in der pneumatischen Kammer wird durch eine manuelle Pumpe aufgebaut und durch ein Manometer mit einem Messbereich von 0 bis 300 mmHg erfasst. Manometer und Pumpe werden über einen flexiblen, aber auch druckbeständigen Schlauch mit einer das Ventil öffnenden Nadel angeschlossen (Abb. 6.7).

6.2.4 Komponenten des Hinterteiles der Schiene

Das Hinterteil (Abb. 6.8) besteht aus 2 Teilen, der äußeren (beschichtetes Gewebe) und der inneren Schicht. Die innere Schicht enthält zwei Taschen; jede Tasche schließt eine Metallschiene ein, die entsprechend der Form des inneren Teils der Hand nachgebildet worden ist. Diese spezielle Form der Metallschienen ermöglicht es dem Verband, mehr Stabilität in der Phase der Rehabilitation zu haben. An der Unterseite des Hinterteiles gibt es eine Öffnung, um die parallel angeordneten Metallschienen zum Zweck der Reinigung des Verbandes entfernen zu können. Diese Öffnung wird um das gute Gesamterscheinungsbild des Verbandes nicht in Frage zu stellen, mit einem Flausch-Klett-Band abgedeckt.

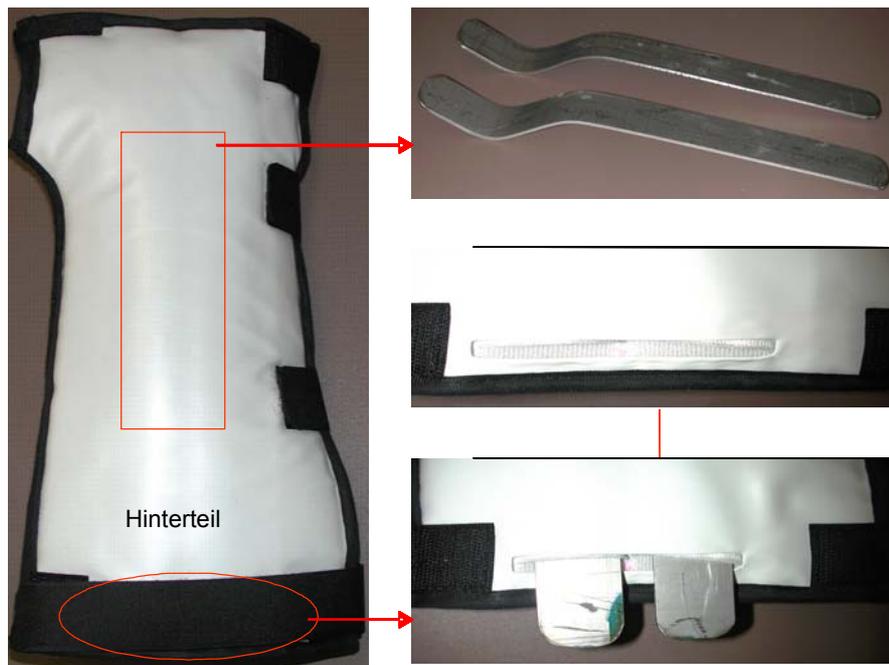


Abb. 6.8: Komponenten des Hinterteiles der neue entwickelten Schiene

6.3 Funktion der Schiene



Abb. 6.9: Ansicht des Verbandes bei Positionierung am linken Arm

Nachdem der Verband auf den notwendigen Druck aufgepumpt ist, ist durch die geometrische Gestaltung die Beweglichkeit der Finger bei solider Positionierung der Hand gegeben (Abb. 6.9). Der Bewegungskomfort des freien Daumens ist auch betrachtet worden. Der Daumen lässt sich gut bewegen und befindet sich in einer bequemen Position (Abb. 6.10). Die vorhandene Verstellmöglichkeit an der Daumenöffnung des Verbandes gestattet die Anpassung an die Größe desselben.

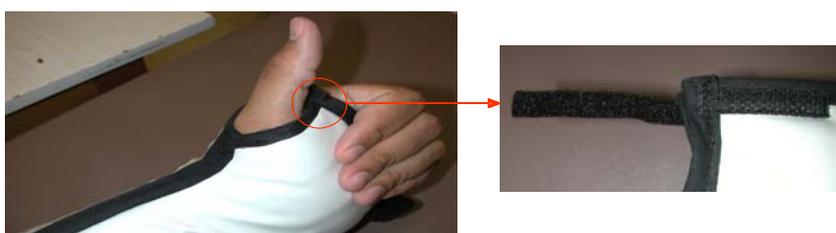


Abb. 6.10: Bewegung des freien Daumens

Mit dem Aufpumpen der pneumatischen Kammer des Verbandes wirkt zunehmend mehr Druck auf die innere Schicht. Das Abstandsgewirke wird dadurch in Richtung zur Radiusfraktur gepresst (Abb. 6.11). Durch die pneumatische Wirkung baut sich über die Zeit ein konstanter Druck auf den Bereich der Radiusfraktur und damit auf die Schwellung dieses Bereiches auf.

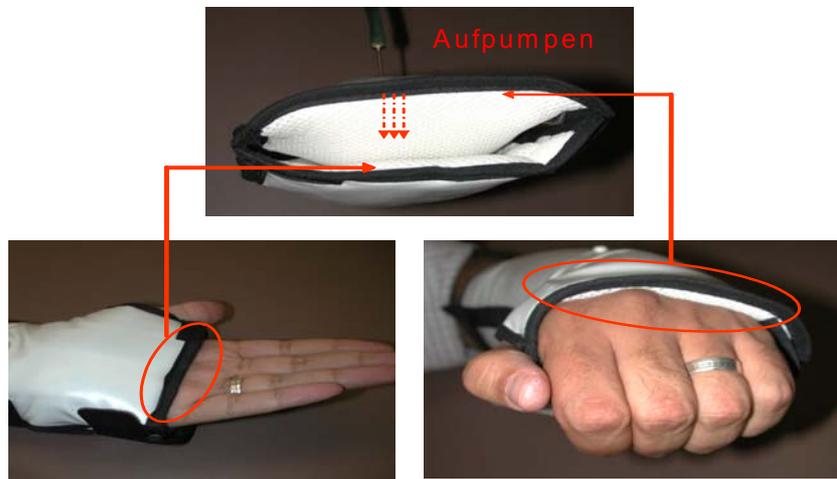


Abb. 6.11: Bewegung der pneumatischen Kammer beim Aufpumpen zur Lagefixierung der Radiusfraktur.

Hinweis: In realen Behandlungen sind Ringe abzunehmen

6.4 Modifizierte Konstruktion der pneumatischen Schiene

Aus den Erfahrungen mit der vorstehend beschriebenen Konstruktion resultiert die Modifikation der Konstruktion mit dem Ziel, den bekleidungsphysiologischen Komfort zu begünstigen.

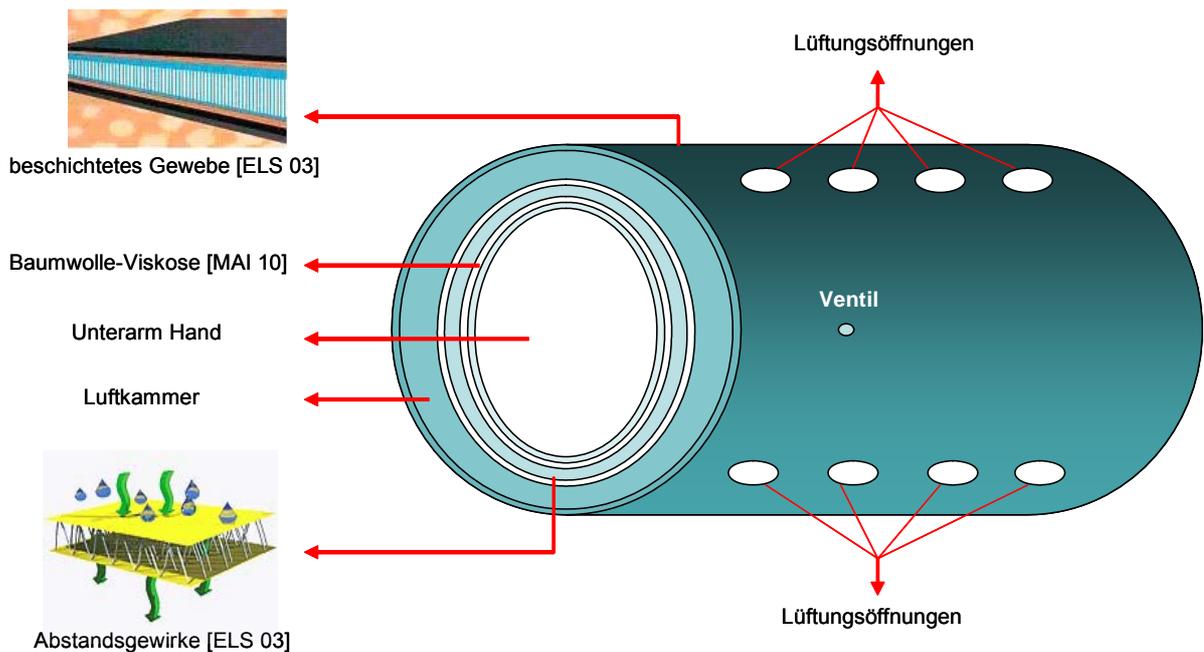


Abb. 6.12: Aufbau der modifizierten pneumatischen Schiene

Der physiologische Komfort der pneumatischen Schiene wird über den erhöhten Luftaustausch durch das Einbringen geeigneter Lüftungsöffnungen gesteigert (Abb. 6.13). Der hautsensorische Komfort wird durch eine innere Schicht mit Kontakt zur Hautoberfläche durch eine glatte, hautfreundliche und feuchtaufnehmende 65% Baumwoll-35% Viskose-Maschenware (Abb. 6.12) erreicht [MAI 10].



Abb. 6.13: Lüftungsöffnungen in der äußeren Schicht der pneumatischen Schiene zur Gewährleistung des Luftaustausches

7 Experimentelle Untersuchungen der entwickelten pneumatischen Schiene

7.1 Bestimmung des Textilmaterials der pneumatischen Kammer und der äußeren Schicht

Das Textilmaterial der pneumatischen Kammer und der äußeren Schicht der Schiene müssen spezielle Eigenschaften wie geringe Masse und geringe Steifigkeit bei Biegebelastung haben, um einerseits die Gesamtmasse der Schiene zu verringern und andererseits beim Füllen der pneumatischen Kammer sich flexibel an die Armoberfläche anzupassen. Deshalb werden fünf marktverfügbare Materialien hinsichtlich dieser Eigenschaften geprüft, um das Geeignete auszuwählen (Tab. 7.1).

Tabelle. 7.1: Eigenschaften der verschiedenen beschichteten Gewebe für die Herstellung der pneumatischen Kammer

Material	Hersteller	Beschichtungsmaterial	Gewicht [g/m ²]	Biegesteifigkeit [mN*cm]	Dicke [mm]	Thermoplastizität
VALMEX 7318	Mehler	PVC	1000	120,68	0,9	ja
VALMEX 7316	Mehler	PVC	630	113,23	0,7	ja
Heytex 55128	Heytex	PVC	600	63,54	0,5	ja
Heytex 3561	Heytex	PVC	700	80,75	0,6	ja
PTO E 13-606-48	Polymer Technik Ortrand	NBR-Blend	580	20,96	0,5	nein

Das Material PTO E 13-606-48 hat die niedrigste Flächenmasse, die geringste Biegesteifigkeit und auch die geringste Dicke. Deshalb empfiehlt es sich zur Anwendung als Material für die pneumatische Kammer. Das Material der äußeren Schicht muss steifer als das Luftkammermaterial sein, um beim Füllen der pneumatischen Kammer die Bewegung der inneren Schichten vorwiegend in Richtung der Hand und des Armes zu orientieren. Außerdem beeinflusst diese äußere Hülle die Stabilität des Gesamtaufbaus der pneumatischen Schiene. Von den vorhandenen Strukturen wurde deshalb Heytex 55128, ein mit PVC beschichtetes Gewebe für die äußere Schicht genutzt.

7.2 Eignung von Klebstoffen für die Montage der pneumatischen Kammer

Klebstoffe sind nach DIN EN 923 als „nichtmetallische Werkstoffe, die Füge­teile durch Flächenhaftung (Adhäsion) und innere Festigkeit (Kohäsion) verbinden können“ definiert. Klebetechnik heißt, dass die Verbindung der Zuschnittteile untereinander oder auch mit sich selbst durch einen Zusatzstoff, der Klebstoff, erfolgte [RÖD 09].

Tabelle 7.2: Eigenschaften verschiedener Klebstoffe für die Montage der pneumatischen Kammer

Klebstoff-bezeichnung	Hersteller	Basis-komponente	Naht höchst-zugkraft [N/5cm]	Höchst-zugkraft-dehnung [%]
Jowatherm 630	Jowat	PUR	162,6	1,3
SC 4000	Rima Tip Top	Polychloropren	416,6	7,9
Proma Kleber	ProMa	Cyanacrylat	651,7	9,9
Magnumbond	K+S	Cyanacrylat	378,9	5,9
UHU Flexible	UHU	PUR	175,7	2,4

Das Material der pneumatischen Kammer PTO E 13-606-48 ist mit Gummibeschichtung (NBR-Blend) versehen, weist also kein thermoplastisches Verhalten auf. Folglich ist die textilrelevante Schweißtechnik nicht anwendbar, um die Luftkammer mit fluiddichten Nähten zu montieren.

Alternativ bietet die Adhäsionstechnik oder auch Klebetechnik die Möglichkeit, die gummiert beschichtete Textilfläche zur pneumatischen Kammer zu verarbeiten. Tabelle 7.2 zeigt fünf Adhäsionsmaterialien (Klebstoffe), die hinsichtlich ihrer Eignung als Klebstoff erprobt worden sind. Die Eignung dieser Adhäsionsmaterialien hängt von den chemischen Komponenten derselben und den zu verbindenden Oberflächen ab.

Die Adhäsionsmaterialien müssen die Oberflächen der zu verbindenden Oberflächen benetzen, eine chemische und gegebenenfalls auch eine physikalische Wechselwirkung mit diesen eingehen. Bei Belastung muss der Klebstoff die belastenden Kräfte über die Nahtfläche hinweg zwischen den beiden Teilen übertragen.

Nahtfestigkeitsuntersuchungen sind für das gummiert beschichtete Material mit allen ausgewählten Adhäsionsmaterialien ausgeführt worden. Abbildung 7.1 zeigt, dass das Adhäsionsmaterial Proma Kleber den höchsten Wert der Nahtfestigkeit erreicht und zugleich die notwendige Dehnung gewährleistet. Deshalb wurde die pneumatische Kammer mit diesem Klebstoff montiert.

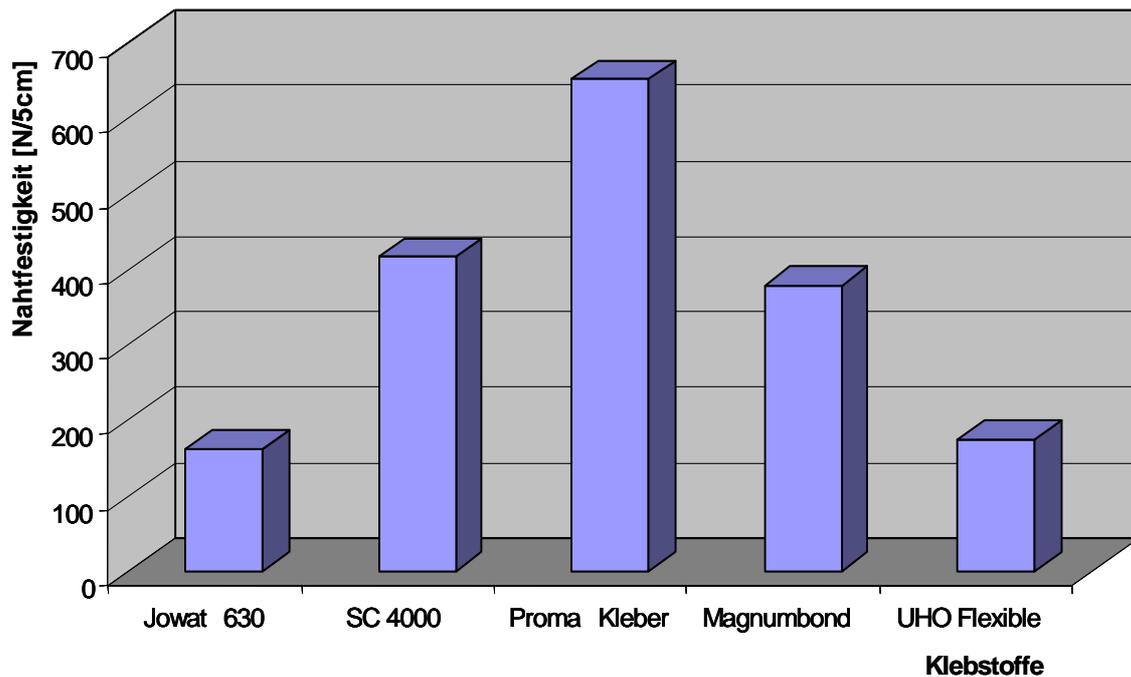


Abb. 7.1: Nahtfestigkeit der verschiedenen Adhäsionsmaterialien beim Kleben von gummiertem Gewebe PTO E 13-606-48

7.3 Quantifizierung der Druckwirkung der pneumatischen Schiene auf die Hautoberfläche

Die pneumatisch gestützte Schienung von Frakturen steht in enger Wechselwirkung mit der Kompression der Haut und der darunter liegenden biologischen Gewebe. Bekanntermaßen wirkt die Kompression menschlicher Gliedmaßen auf die Blutzirkulation. Das wird beispielsweise bei medizinischen oder Sportstrümpfen, den sogenannten Thrombosestrümpfen, zur Unterstützung des venösen Rückstromes und auch bei einigen Verbänden in der Praxis genutzt (siehe Kapitel 3). Um zwischen Schienungsfunktion und Druckwirkung auf die Durchblutung einen akzeptablen Kompromiss zu finden, wurde der Druck der entwickelten pneumatischen Schiene mittels Argus junior Messgerät, Mammendorfer Institut, mit zwei Sensoren geprüft (Abb. 7.2). Zur sicheren Positionierung der Drucksensoren wurde ein dünnes, schlauchförmiges, leicht verformbares Textilmaterial genutzt (Abb. 7.2 links unten). Mit dem Messgerät wurden für die beiden Positionen der Druck zwischen pneumatischer Kammer und der Hautoberfläche erfasst, gleichzeitig wurde der Druck in der pneumatischen Kammer schrittweise erhöht und dabei messtechnisch erfasst. Bereits beim definierten Anlegen der pneumatischen Manschette ergibt sich eine erste Druckwirkung auf die Oberfläche, die im weiteren Verlauf durch das Aufpumpen der pneumatischen Kammer weiter gesteigert wird. Wesentlich ist, dass durch die längerfristige Nutzung der pneumatischen Schiene der arterielle und venöse Blutfluss im von der Radiusfraktur betroffenen Arm nicht zu stark unterbunden oder gar gänzlich verhindert wird.



Abb. 7.2: Messung des Druckes der Schiene auf der Haut - Messgerät (links oben), Drucksensoranordnung (links unten), Arm des Probanden und Messtechnik während der Messung (rechts)

In der Anwendung der pneumatischen Schiene sind zwei Extremsituationen zu berücksichtigen. Zunächst erfolgt das Schienen der geschwollenen Extremität und mit fortschreitender Behandlung geht durch Ruhigstellung und Lagefixierung die Schwellung zurück. Die Basisüberlegung der Entwicklung ist die sichere Lagefixierung unter beiden Extremen durch selbsttätige Anpassung der pneumatischen Schiene an die Volumenänderung der Extremität.

Deshalb wird in den Experimenten zur Druckmessung zunächst der Zustand der normalen Extremität in Stufen mit Druckwerten zwischen 0 und 100 mmHg in der pneumatischen Schiene, realisiert durch das externe Pumpsystem, untersucht. Sonde 1 misst in dem Bereich, der im Falle der Radiusfraktur der Schwellung unterworfen ist.

Tabelle. 7.3: Druck auf der Haut ohne Schwellung

Luftdruck der Schiene [mmHg]	Druck auf der Haut [mmHg]		
	Theorie	Sonde 1	Sonde 2
0	0	7,8	0,2
10	10	8,6	1,0
20	20	9,5	1,9
30	30	13,0	4,7
40	40	17,1	8,6
50	50	21,3	11,2
60	60	25,1	14,9
70	70	30,00	18,8
80	80	35,1	22,7
90	90	39,2	26
100	100	42,8	30,1

Die Abbildung 7.3 zeigt, dass die in der Schiene eingestellten und gemessenen Druckwerte nicht den von den Druckmesssonden erfassten Druckwerten auf der Haut entspricht. Bereits beim Anlegen der pneumatischen Schiene wird durch das Schließen der Klettbandverschlüsse ein enger Kontakt zwischen Arm und Schiene erreicht, der bereits als wirksamer Druck zwischen Arm und Schiene ohne zusätzliche pneumatische Wirkung registriert wird (Tabelle 7.3, 1. Zeile).

Die Schiene verursacht jeweils einen geringeren, milden Druck an beiden Bereichen, die von den Sonden vor und nach dem stufenweisen Pumpen erfasst werden. Die Sonde 1 erfasst mehr Druck als die Sonde 2, dies liegt im unterschiedlichen biologischen Aufbau im Bereich des Kopfes des Radiusknochens. Sonde 1 hat mit dem Knochen einen relativ festen Widerstand, während Sonde 2 in die Muskelstruktur einsinkt.

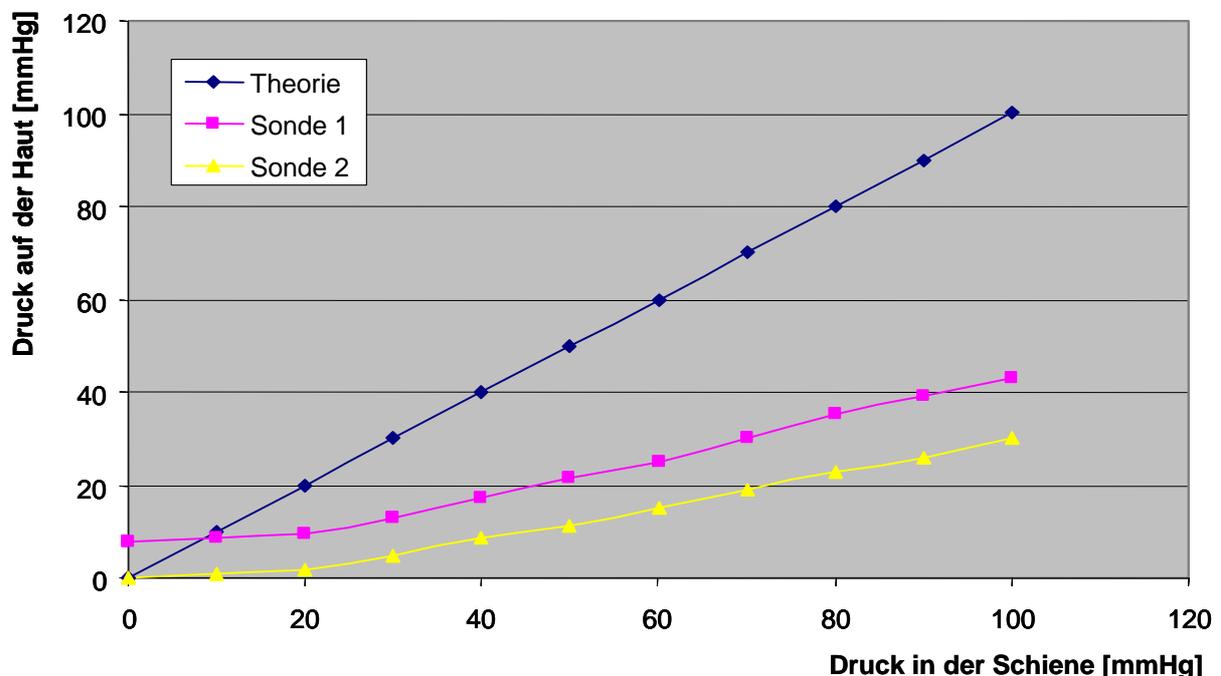


Abb. 7.3. Vergleich zwischen Druck in der pneumatischen Schiene und Druck auf der Extremität ohne Schwellung an den Sondenpositionen

Zur Simulation einer Schwellung wurde das Handgelenk mit Textilschichten umwickelt, so dass eine Schwellung in Form einer Äquidistanten von ca. 1,4 cm dargestellt werden konnte. Dieser Wert orientiert sich an Aussagen medizinischer Experten [Fachdiskussion mit Herrn. Dr. Wolfgang Schneiders, Uniklinikum Dresden, 2009], die eine Schwellungsdicke zwischen 1 cm und 1,5 cm für realistisch quantifizieren. Tabelle 7.4 fasst die Messwerte dieser Versuchsreihe mit simulierter Schwellung zusammen.

Tabelle. 7.4: Druck auf der Haut mit simulierter Schwellung

Luftdruck der Schiene [mmHg]	Druck auf der Haut [mmHg]		
	Theorie	Sonde 1	Sonde 2
0	0	20,8	6,1
10	10	23,1	7,5
20	20	28,1	7,9
30	30	34,5	8,8
40	40	39,3	9,4
50	50	43,4	11,1
60	60	47,9	16,5
70	70	53,2	19,7
80	80	57,8	24,8
90	90	62,1	27,2
100	100	65,3	35,5

Die Abbildung 7.4 zeigt, dass bereits beim Anlegen der pneumatischen Schiene über die „geschwollene“ Extremität durch das Schließen der Klettbandverschlüsse wiederum ein enger Kontakt zwischen Arm und Schiene erreicht wird. Beide Sonden registrieren den entsprechenden Druck, wobei Sonde 1 infolge der biologischen Struktur wieder den höheren Druckwert erfasst. Dieses Verhältnis wird auch über die gesamte Messreihe mit zunehmendem Druck in der pneumatischen Schiene registriert (Tabelle 7.4).

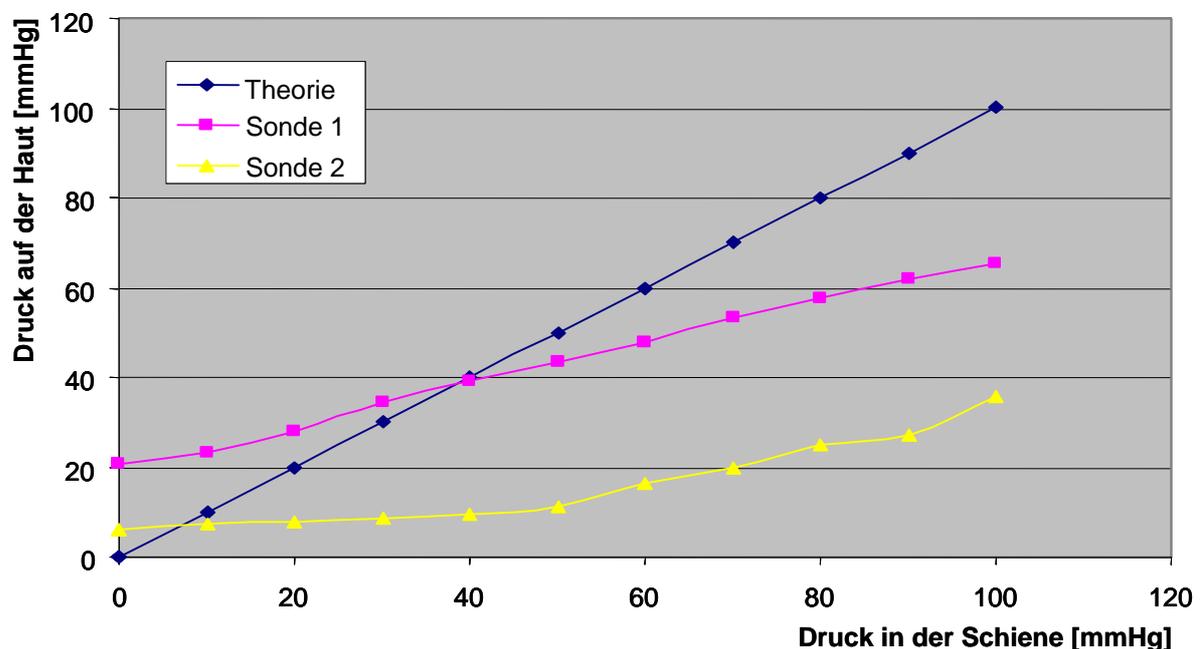


Abb. 7.4. Vergleich zwischen Druck in der pneumatischen Schiene und Druck auf der Extremität mit simulierter Schwellung an der Sonde 1

Die pneumatische Schiene ist so konstruiert, dass sie unabhängig vom aktuellen Umfang der Extremität auf den gleichen Umfang geschlossen werden kann. Folglich wird die geschwollene Extremität stärker von der Schiene gedrückt als im Verlauf der medizinischen Behandlung später die nicht geschwollene Extremität. Im Experiment

wird dies durch die an Sonde 1 gemessenen Druckwerte 20,8 mmHg bis 7,8 mmHg, siehe Tabellen 7.3 und 7.4, jeweils 1. Zeile, belegt. Mit und auch ohne Schwellung bleibt die Extremität unter einer Lagefixierung. Entsprechend Kapitel 3, ist 20,8 mm Hg ein passender Druck auf der Hautoberfläche. Wird mit der Abnahme der Schwellung nach ca. 10 Stunden zusätzlich durch den Druck in der pneumatischen Schiene eine Differenzdruck von 13 mmHg auf der Hautoberfläche an Sonde 1 erzeugt, so kann auch weiterhin von einer sicheren Schienung der Bruchstelle bei rückläufiger Schwellung ausgegangen werden.

Um diese notwendige Druckdifferenz zu erreichen, muss das pneumatische System mit einem Druck von ca. 32 mmHg versehen werden. Aus Durchblutungsgründen ist ein maximaler Druck von 30 mmHg auf der Hautoberfläche zulässig. Dieser extreme Wert des Druckes auf der Hautoberfläche wird an der Extremität ohne Schwellung erst bei einem Druck von 70 mmHg im pneumatischen System erreicht, so dass keine Durchblutungsbehinderung auftreten wird (Abb. 7.5).

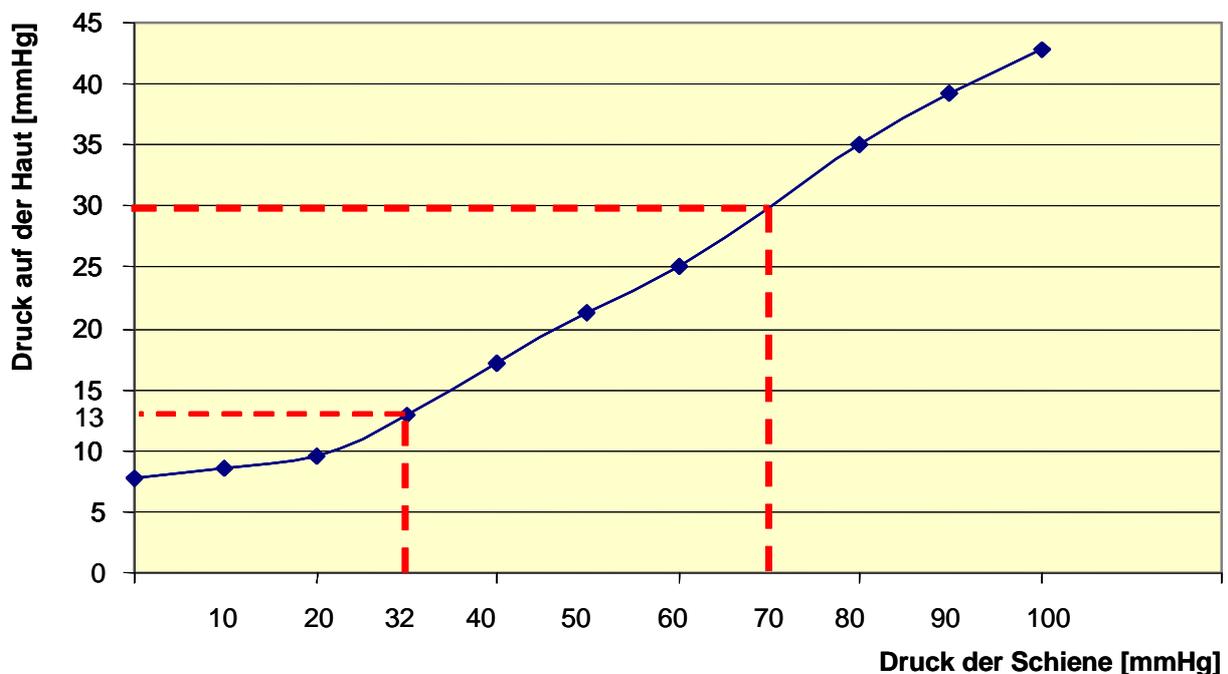


Abb. 7.5: Druck auf der Hautoberfläche im Bereich der Sonde 1 in Abhängigkeit vom Druck in der pneumatischen Schiene

7.4 Bestimmung der Waschzyklen der pneumatischen Kammer der Schiene

Untersuchungen der Lebensdauer und reparaturfreien Nutzungszeit textiler Produkte mit diversen mechanischen Beanspruchungen und/oder mit Textilpflegeprozessen belegen, dass häufig die Textilpflegeprozesse zum typischen Festigkeitsverlust der Textilprodukte beitragen [ELH 05]. U. a. auch aus Gründen der Ressourcenschonung ist die mehrfache Nutzung von Textilprodukten sinnvoll.

Die hygienischen Ansprüche bei medizinischen Anwendungen sind jedoch sehr hoch, so dass die Widerstandsfähigkeit der Produkte gegen die Belastungen bei Textilpflegeprozessen zwingend zu erproben ist. Aus wirtschaftlichen Erwägungen heraus sollen möglichst viele Gebrauchszyklen, bestehend aus Nutzung, Textilpflege oder Regenerierung sowie Lagerung vor der nächsten Nutzung, mit jedem Produkt möglich sein.

Im Fall der pneumatischen Schiene ist der Schwerpunkt der Waschtests die Widerstandsfähigkeit der luftdichten Naht der pneumatischen Kammer, da deren störungsfreie Funktion für die vorgesehene Nutzung elementaren Charakters ist und Reparaturen praktisch nicht möglich sind.

Wegen des Hygienekonzeptes werden die Waschtests entsprechend Standard DIN EN ISO 6330 mit einer Waschflottentemperatur von 60 °C ausgeführt. Diese Temperatur entspricht den Mindesthygieneanforderungen. Nach den Beanspruchungen durch die wiederholten Waschtests wird der Verschleißgrad durch Messung der Nahtfestigkeit unter Berstbelastung infolge Wasserdruck mit dem Messgerät Textest FX 3000 entsprechend Standard DIN EN 1734 durchgeführt (Abb. 7.6). Die Nutzung von Wasser als drückendes Medium ist notwendig, da die verfügbaren Geräte mit pneumatischer Belastung nicht das notwendige Druckniveau erreichen.

Die vom Messgerät (Abb. 7.6 oben links) registrierten Druckwerte sind mit der Maßeinheit cmH₂O (cm-Wassersäule) ausgewiesen. Sie sind in die medizinrelevante Druckangabe in mmHg zu konvertieren. Jeweils fünf Proben mit und ohne Naht werden vor und nach mehrmals durchgeführten Waschzyklen, im Maximum 15 Waschzyklen, auf die Nahtfestigkeit unter Berstbelastung geprüft (Tab. 7.5).

Alle Proben ohne Naht waren wasserdicht, sie konnten mit der Versuchseinrichtung und unter dem maximal aufzubringenden Druck nicht zerstört werden.

Die Messergebnisse nach den verschiedenen Anzahlen von Waschzyklen belegen, dass die den Waschprozessen unterworfenen Nahtproben einem hohen Verschleiß, gekennzeichnet durch nur noch ca. 10 % der Ausgangsfestigkeit, unterliegen. Es ist dabei zu beachten, dass nur Prüflinge, keine kompletten pneumatischen Schienen gewaschen wurden. Die Abweichungen zwischen den einzelnen Proben sind minimal, was einerseits auf eine solide, reproduzierbare Prüfung und andererseits auch auf eine korrekte Nahtausführung schließen lässt.

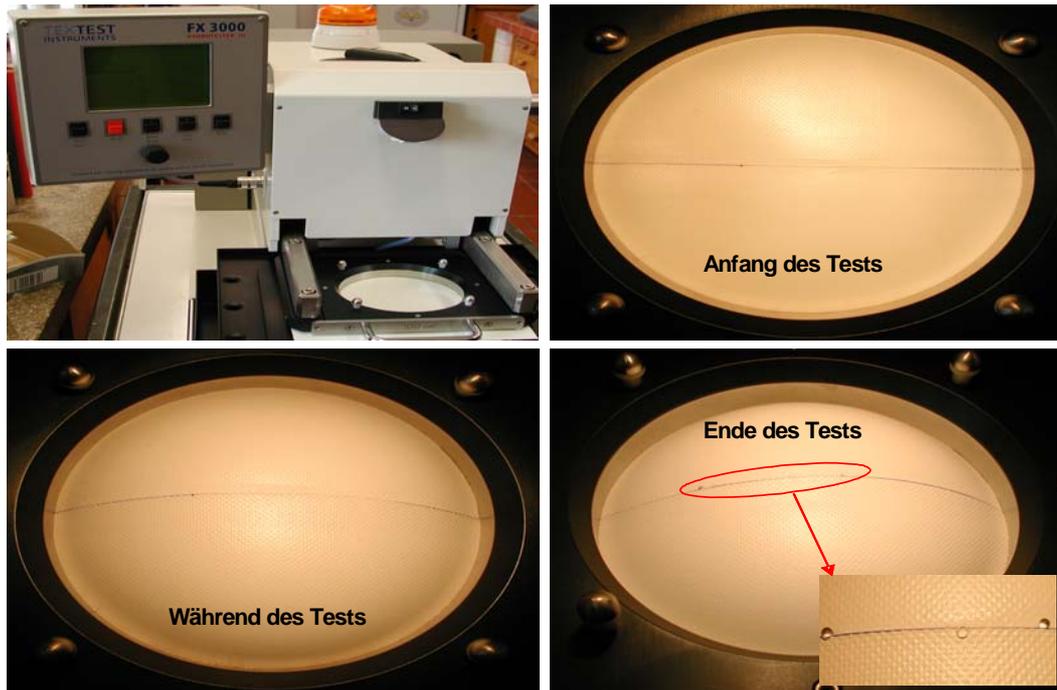


Abb. 7.6: Gerät zur Messung des Nahtdruckwiderstandes (links oben) und Ablauf des Tests mit fortlaufender Aufwölbung des Prüflings (rechts oben und links unten) und letztlich dem durchdringenden Wassertropfen (rechts unten)

Tabelle. 7.5: Nahtdruckwiderstand der Proben vor und nach Waschzyklen (WZ)

Proben	Nahtdruckwiderstand [mmHg]									
	ohne Naht	mit Naht								
		Vor W	1 WZ	3 WZ	5 WZ	7 WZ	9 WZ	11 WZ	13 WZ	15 WZ
1	wasserdicht	677	449	339	257	229	182	134	95	55
2	wasserdicht	675	441	337	258	231	179	135	97	57
3	wasserdicht	678	449	334	255	228	178	131	96	54
4	wasserdicht	674	447	336	256	229	183	135	95	56
5	wasserdicht	676	446	337	255	230	181	133	97	55
Mittelwert	wasserdicht	674	446	337	256	229	181	134	96	55

Abbildung 7.7 zeigt, dass die Proben selbst nach 15 Waschzyklen noch einen Nahtdruckwiderstand aufweisen, der nahezu doppelt über dem Druck in der pneumatischen Schiene bei Nutzung liegt. Mit hoher Sicherheit sind 10 Nutzungszyklen möglich, aber auch 15 Nutzungszyklen können noch als sicher erreichbar eingestuft werden.

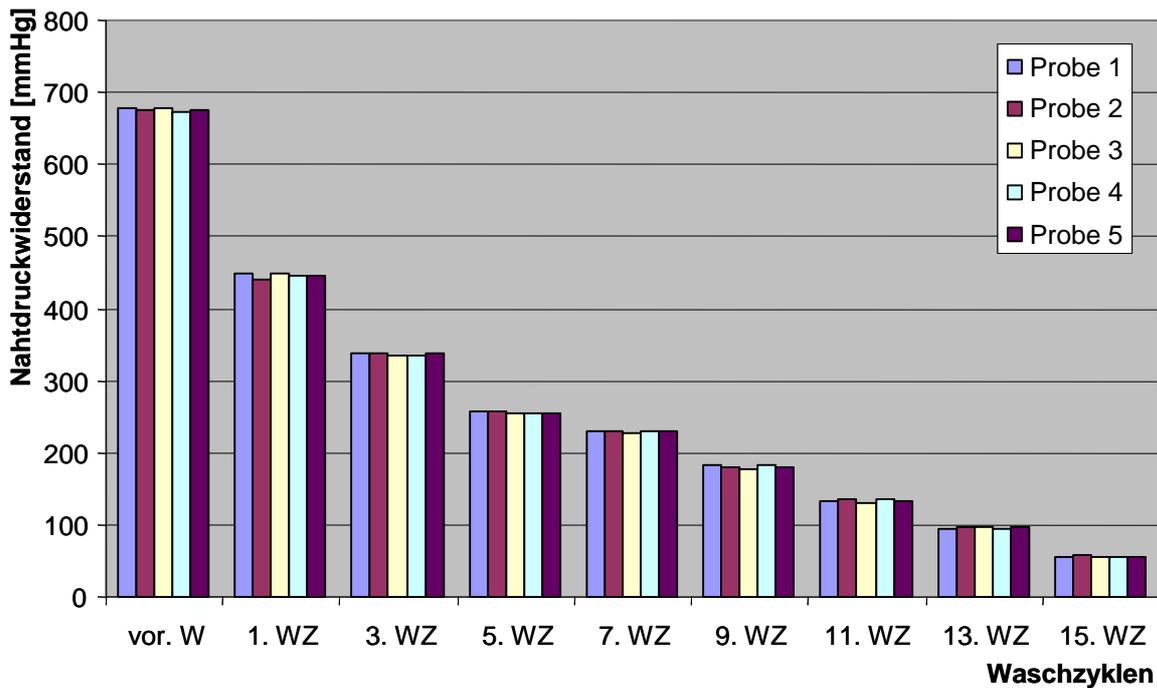


Abb. 7.7: Einfluss der Zahl der Waschzyklen auf den Nahtdruckwiderstand der Nahtproben aus dem Material der pneumatischen Kammer

Wie in den Abbildungen 7.5 und 7.7 gezeigt, ist der erforderliche Druck in der pneumatischen Schiene nach Rückgang der Schwellung auf ca. 32 mmHg einzustellen. 15 Waschzyklen gefährden diese Funktion nicht, für mehr Sicherheit könnte eine Einschränkung auf 10 bis 12 Nutzungszyklen empfohlen werden.

7.5 Physiologische Eigenschaften der pneumatischen Schiene

7.5.1 Tragekomfort der pneumatischen Schiene

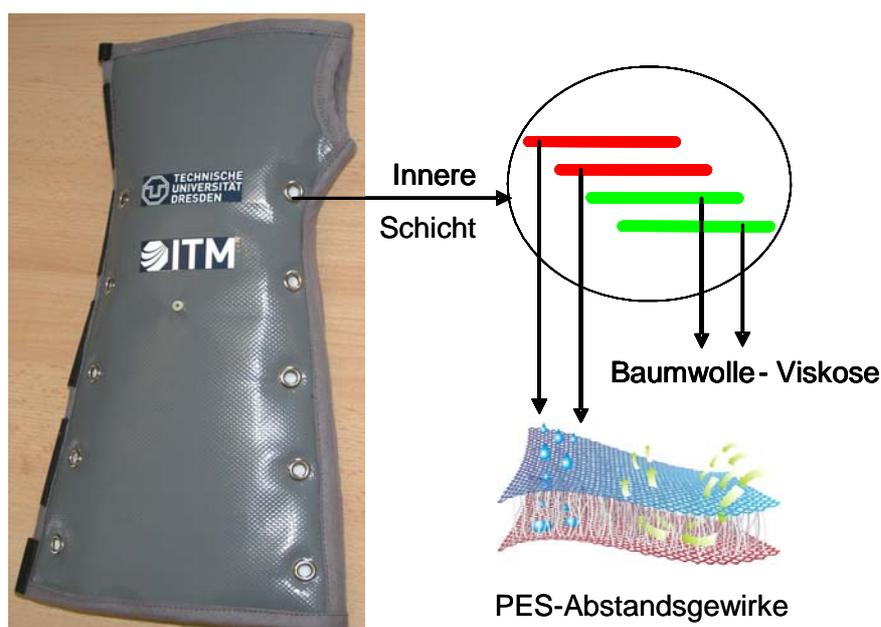


Abb. 7.8: Innere Schichten der pneumatischen Schiene

Wie bereits in Kapitel 3 gezeigt, gibt es Konzepte für das Gewährleisten des komplexen Tragekomforts, der insbesondere in der Produktentwicklung von Textilprodukten für medizinische Anwendungen äußerst wichtig und entscheidend für die Akzeptanz des Produktes durch den Patienten ist.

Diese pneumatische Schiene hat eine spezielle innere Struktur (Abb.7.8), die ihr diesen Tragekomfort erfolgreich verleiht. Diese interne Schicht der pneumatischen Schiene, die aus vier Schichten, zwei aus Abstandsgewirke und zwei aus Baumwolle/Viskose-Gestrick, besteht, gewährleistet es, eine passende Temperatur und Atmungsaktivität für die fixierte Hand bereitzustellen.

Das Komfortkonzept der pneumatischen Schiene umfasst:

- **Ergonomisches Konzept**
Die pneumatische Schiene ist unter Berücksichtigung anatomischer Verhältnisse entworfen worden, so dass der Schnitt ideal zur Hand angepasst ist. Entsprechend den Maßen, den Größen und dem Design bietet die pneumatische Schiene deshalb ein gutes Niveau des ergonomischen Komforts an der Hand an.
- **Hautkontaktkonzept**
Die pneumatische Schiene hat eine spezielle Schicht aus einem Baumwolle/Viskose-Gestrick, das eine sehr glatte Oberfläche hat. Tritt diese Schicht mit der Haut direkt in Verbindung, so hat sie keine negative Auswirkung, etwa ein Auslösen allergischer Reaktionen, auf die Haut /Fachgespräch mit Frau Dr. Bauer, Dermatologie Abteilung, Uniklinikum Dresden/. Die Haut hat keine direkten Kontakte mit den anderen Komponenten der Schiene, wie z. B das PES-Abstandsgewirke oder das PVC-beschichtete Gewebe der äußeren Schicht der Schiene.
- **Thermophysiologisches Konzept**
Die pneumatische Schiene kann für mehr als 3 Wochen, abhängig von dem konkreten Fall des Handradiusbruches, benutzt werden. Deshalb ist die Temperatur zwischen der Schiene und der Haut mit einem Thermometer zehnmal pro Tag über zwei Wochen während des Tragens der Schiene gemessen worden (Abb. 7.9). Die gemessenen Temperaturen liegen zwischen 35,5 °C und 37,1 °C (Tabelle 7.6). Diese Werte entsprechen den optimalen Werten für die Haut, die nach Literatur nicht niedriger als 33° C und nicht mehr als 37 °C $\pm 0,2$ °K betragen sollen [SPO 01].

Tabelle. 7.6: Hauttemperatur der Haut während des Tragens der Schiene

Tag	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Wert 7	Wert 8	Wert 9	Wert 10
1	36,9	36,2	36,8	37	36,9	36,5	36,1	37	36,8	35,9
2	37	36,7	35,9	36,1	35,5	35,7	35,8	36,6	36,7	37
3	36,4	37,1	37	36,6	36,8	35,9	35,9	36,1	36,6	36,9
4	35,9	36,1	35,6	35,8	36,6	35,8	37	37,1	36,9	37,1
5	37	36,5	35,7	36,1	36,4	37	35,8	36,1	36,5	35,9
6	36,4	36,2	37	37,1	35,8	35,9	36,1	36,7	36,2	36,9
7	35,5	36	37,1	36	36,7	35,8	37	35,9	37	37
8	36,4	37	36,9	36,5	36,8	35,5	36,5	37	36,2	35,5
9	36,7	36,3	36	37	35,7	36,3	36,8	36	37,1	36,8
10	36	36,2	36,7	35,9	35,8	36,1	36	36,7	35,6	37,1
11	35,9	36	36,1	36,5	36,3	36,2	36,2	35,8	35,9	36
12	36,2	36,6	35,5	35,5	36	35,9	36,3	36,8	35,9	36,8
13	35,8	36	36,7	37	36,3	36,7	36,6	37,1	36,7	36,9
14	36,6	35,9	37,1	36	36,8	36,9	36,3	35,9	36,3	36

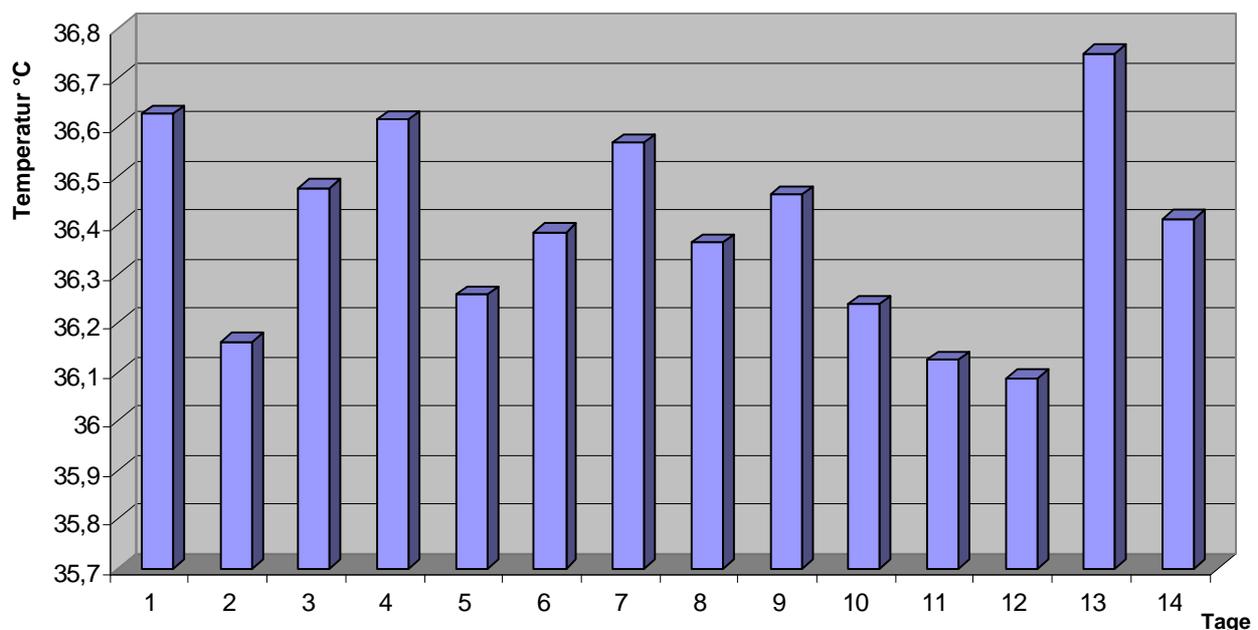


Abb. 7.9: Mittelwerte der Temperatur während des Tragens der Schiene

7.5.2 Wärme- und Wasserdurchgangswiderstand

Der Wärmedurchgangswiderstand ist definiert als Temperaturdifferenz zwischen den beiden Oberflächen eines Materials, dividiert durch den Wärmefluss je Flächeneinheit, der aus dem Temperaturgradienten resultiert. Dieser trockene Wärmefluss kann eine oder mehrere Komponenten von Konduktion, Konvektion oder Strahlung beinhalten. Der Wärmedurchgangswiderstand R_{ct} , ausgedrückt in Quadratmeter Kelvin je Watt, ist eine spezifische Materialeigenschaft textiler Flächengebilde bzw. textiler Materialaufbauten, die den trockenen Wärmefluss durch eine gegebene Fläche infol-

ge eines bestehenden stationären Temperaturgradienten bestimmt [MEC 91, DIN 93].

Der Wasserdurchgangswiderstand ist definiert als Wasserdampfpartialdruckdifferenz zwischen den beiden Oberflächen eines Materials, dividiert durch den Verdampfungswärmefluss je Flächeneinheit, der aus dem Partialdruckgradienten resultiert. Dieser Verdampfungswärmefluss kann sowohl Diffusions- als auch Konvektionskomponenten enthalten. Der Wasserdampfdurchgangswiderstand R_{et} , ausgedrückt in Quadratmeter Pascal je Watt, ist eine spezifische Materialeigenschaft textiler Flächengebilde bzw. textiler Materialaufbauten, die den Verdampfungswärmefluss durch eine gegebene Fläche infolge des bestehenden stationären Partialdruckgradienten bestimmt [DIN 93].

Wärme- und Wasserdampfdurchgangswiderstand der einzelnen Materialien der Schiene werden mit dem Permetest-Prüfgerät ermittelt. Sieben Proben in Form einer geschichteten Anordnung aus zwei Zuschnitten Abstandsgewirke und zwei Zuschnitten Baumwolle/Viskose-Gestrick werden dafür untersucht. Außerdem werden drei Varianten in diesen Experimenten bearbeitet:

- ohne äußere Schicht,
- mit äußerer Schicht, aber ohne Lüftungsöffnungen, sowie
- mit äußerer Schicht und mit Lüftungsöffnungen, wie dies im Produkt auch zur Erhöhung des Komforts realisiert wurde (Tab 7.7).

Tabelle 7.7: Auswirkung der Struktur der Schiene auf die Wärme- und Wasserdampfdurchgangswiderstandseigenschaften

Proben	ohne äußere Schicht		mit äußerer Schicht ohne Lüftungsöffnungen		mit äußerer Schicht & mit Lüftungsöffnungen	
	Wärme R_{ct}	Wasserdampf R_{et}	Wärme R_{ct}	Wasserdampf R_{et}	Wärme R_{ct}	Wasserdampf R_{et}
1	0,1012	39,41	0,1168	224,62	0,1055	60,46
2	0,1015	39,89	0,1172	271,69	0,1076	63,87
3	0,1076	40,22	0,1231	300,11	0,1078	69,91
4	0,1076	40,62	0,1252	318,71	0,1089	71,89
5	0,1101	40,76	0,1264	336,88	0,1107	75,98
6	0,1123	42,11	0,1266	342,67	0,1141	80,87
7	0,1178	43,18	0,1421	383,07	0,1212	81,88
Mittelwert	0,1060	40,88	0,1253	311,09	0,1100	72,12

Entsprechend Tabelle 7.7 weisen die Werte des Wärmedurchgangswiderstandes keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei Varianten der Proben auf. Die Proben, die ohne äußere Schicht ausgeführt sind, besitzen den niedrigsten Wert des Wärmedurchgangswiderstandes, weil der Wärmefluss leicht zwischen die Schichten

erfolgen kann. Die Proben, die eine geschlossene äußere Schicht (ohne Lüftungsöffnungen) haben, sind durch die höchsten Werte des Wärmedurchgangswiderstandes gekennzeichnet, weil der Wärmefluss durch bewegte Luft stark eingeschränkt ist. Die Proben, deren äußere Schichten mit Lüftungsöffnungen versehen sind, weisen zwischen den Extremen liegende Werte auf (Abb. 7.10), da der Wärmefluss durch den Luftaustritt über die Lüftungsöffnungen begünstigt wird. Dies bestätigt die Notwendigkeit der Lüftungsöffnungen in der äußeren Schicht.

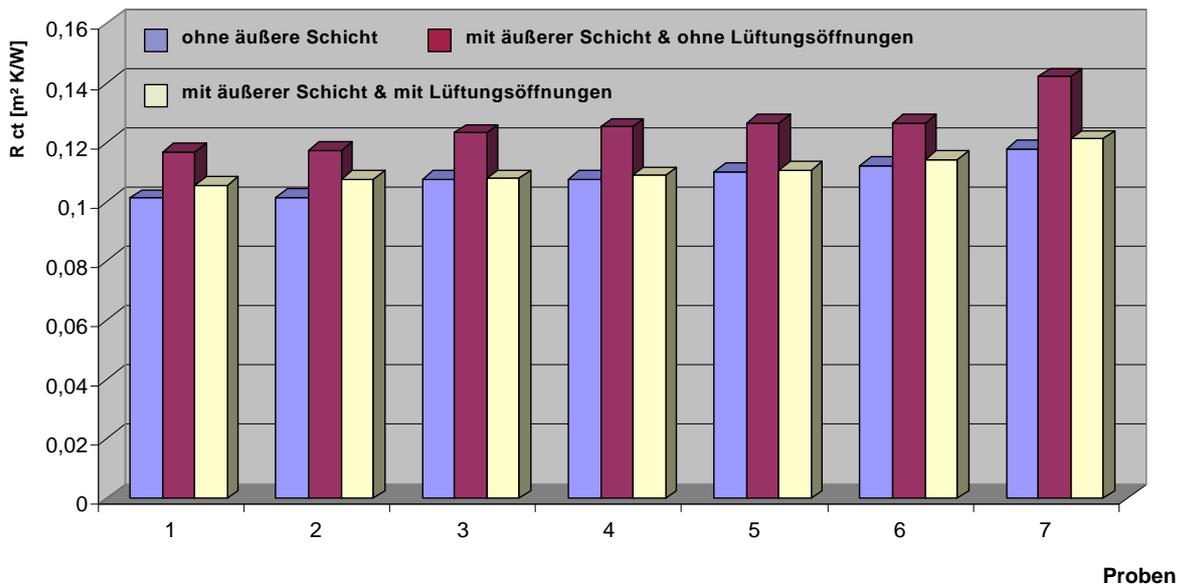


Abb. 7.10: Auswirkung von Struktur der Schiene auf die Wärme-Tätigkeit

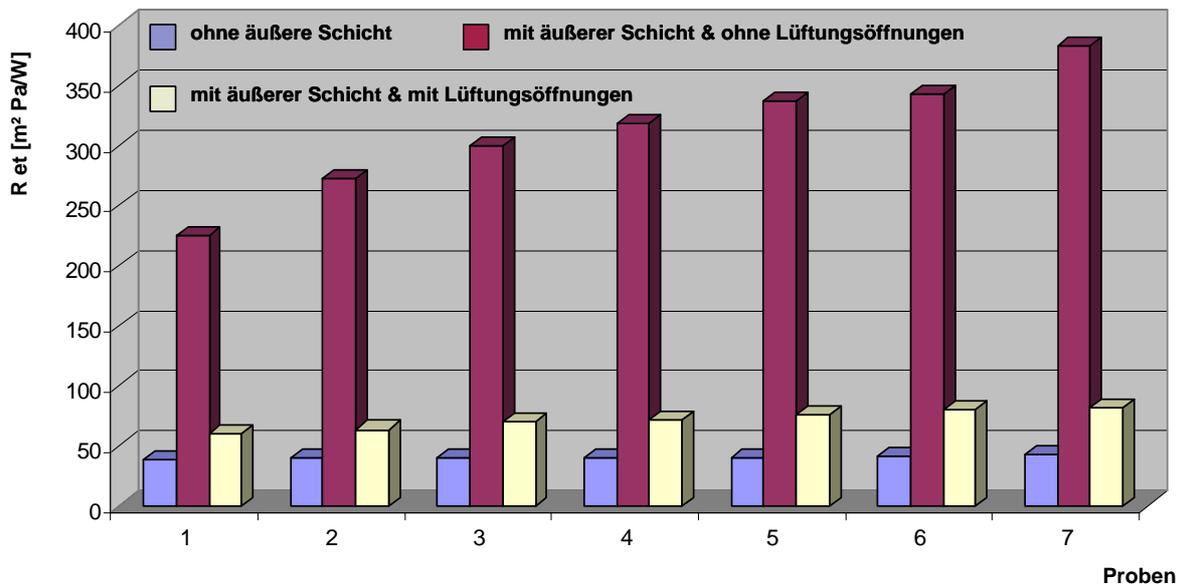


Abb. 7.11: Auswirkung von Struktur der Schiene auf die Wasserdampfdurchlässigkeit

Zwischen den Werten des Wasserdampfdurchgangswiderstandes der drei Probenvarianten gibt es einen signifikanten Unterschied (Abb. 7.11). Die Proben, die keine

äußere Schicht haben, besitzen die niedrigsten Werte, aber die Proben, deren äußere Schicht ohne Lüftungsöffnungen ist, haben den höchsten Wert des Wasserdampfdurchgangswiderstandes. Die Proben, deren äußere Schicht mit Lüftungsöffnungen ausgestattet ist, liegen mit den gemessenen Werten nahe bei den optimalen Werten des Aufbaus ohne die beschichtete äußere Schicht. Dies zeigt, dass die Lüftungsöffnungen einen wesentlichen Beitrag für den Tragekomfort der Schiene leisten und unverzichtbar sind.

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Elle (Ulna) und Speiche (Radius) bilden am Unterarm des Menschen die knöcherne Verbindung zwischen dem Hand- und dem Ellenbogengelenk. Die Radiusfraktur ist die am häufigsten vorkommende Fraktur. Die Häufigkeit ihres Auftretens wird zwischen 10 und 25 % aller Frakturen angegeben. Das Ziel der Radiusfrakturenbehandlung ist es, den Schmerz zu kontrollieren, die Ausrichtung des zerbrochenen Knochens wieder herzustellen, zu heilen und dabei Komplikationen zu verhindern. Eine Schienenbehandlung der Radiusfraktur ist sehr wichtig. Die Schienen, die die gebrochenen Knochen stützen und schützen sollen, werden aus verschiedenen Materialien hergestellt. Diese Materialien werden um die Radiusfraktur positioniert, um die Knochenbruchstücke von Relativbewegungen zueinander abzuhalten und so eine Heilung zu befördern. Traditionell ist die Gipsschiene die häufigste Methode zur Behandlung der Knochenfrakturen. Eine andere Methode ist die Kunststoffschiene. Sie wird aus einem Gewebe aus Synthefasern und einem Harz hergestellt.

Gips- und Kunststoffschiene sind relativ schwer, schwierig zu fixieren und schwierig zu entfernen, sie sind nicht waschbar und verfügen über keine Elastizität. Deswegen weisen die Gips und Kunststoffverbände als konventionelle, formstabile Verbände den Nachteil auf, dass keine Anpassung des Verbandes an unterschiedliche Schwellungszustände des verletzten Körperteiles erfolgen kann. Mit dem Rückgang der Schwellung ist die Stabilisierungswirkung des Verbandes am ehemals geschwollenen Bereich unzureichend. Es bedarf somit einer technischen Lösung, damit das Zusammenwachsen der Knochen in falscher Lage vermieden wird.

Neben den mechanischen Gips- und Kunststoffformen, die individuell an die Körperform angepasst werden, gibt es auch Lagefixierung durch Fluidsysteme. Die Anpassung eines Fertigproduktes an die individuelle Körperform erfolgt durch Veränderungen der Fluidbefüllung. Gegebenenfalls ist es sinnvoll, lagefixierende Fluidsysteme in Größenstufungen für verschiedene Körpermaße vorrätig zu halten.

Die Grundidee dieser zu entwickelnden Schiene ist es, durch eine geeignete Gestaltung eines pneumatischen Systems eine gute Fixierung der Hand und des Unterarmes bei Radiusfraktur mit hautfreundlicher Kontaktfläche zur Verfügung zu stellen. Die Aufgabe des pneumatischen Systems ist es, bei hinreichender Blutzirkulation den Bereich der Handradiusfraktur durch den Druck des pneumatischen Systems in seiner Lage zu stabilisieren. Dies bedeutet, dass sich die Hand innerhalb der pneumatischen Struktur, bestehend aus zwei Schichten, befinden muss. Die Luft wird zwischen diese zwei Schichten gepumpt, um den passenden Druck auf der Fraktur zu realisieren.

Der erste Schritt, um das beschriebene pneumatische System herzustellen, ist es, eine passende Kammer unter Beachtung relevanter Körpermaße, erforderlichenfalls auch in mehreren Größen, zu konstruieren, die die eingepumpte Luft zur Erzeugung des erforderlichen Druckes aufnimmt und den Druck auf die Oberfläche von Hand und Arm weiterleitet. Um die benötigte pneumatische Kammer mit den gewünschten Eigenschaftsprofil herzustellen, sind zwei Varianten der Konstruktion, insbesondere hinsichtlich des Materials mit Hautkontakt, sinnvoll:

- mit beschichtetem Abstandsgewirke als interne Schicht der Kammer
- mit beschichtetem Gewebe als ganze Kammer

Abstandsgewirke haben durch ihre spezielle Struktur viele Vorteile, wie Luftdurchlässigkeit, umweltfreundliches Feuchtigkeitsmanagement, geringe Masse, Schockabsorption, hoher Widerstand gegen Abnutzung und 3D-Effekte. Diese speziellen Eigenschaften machen Abstandsgewirke für verschiedene Produkte verwendbar. Relativ wenig Forschungsarbeiten befassten sich bisher mit der Beschichtung einer oder beider Seiten von Abstandsgewirke, die insbesondere zur fluiddichten Anwendung benötigt wird. Deshalb werden in dieser Arbeit eigenständige Beschichtungsversuche an Abstandsgewirken durchgeführt. Nur eine Seite (äußere Seite) des Abstandsgewirkes ist mit verschiedenen Beschichtungsmaterialien beschichtet, um eine luftdichte Beschichtung der Abstandsgewirke zu erreichen. Die Handelsnamen dieser angewandten Beschichtungsmaterialien sind Impranil DLH, Evo Top KHS, Evo Top KD (Polyurethan als Basiskomponente) und Supron U 3347 (Polyacrylat als Basiskomponente).

Für die beabsichtigte Anwendung stehen Hautverträglichkeit und Feuchtetransport im Mittelpunkt. Deshalb werden verschiedene Prüfungen vorgenommen, die pauschal in mechanische und in Komfoteigenschaften an Außen- und Innenfläche einzuteilen sind. Diese Prüfungen sind Oberflächenbeschaffenheit, Biegesteifigkeit, Kraft-Dehnungs-Verhalten (Zugversuch) und Luftdurchlässigkeit für die Außenfläche (beschichtete Oberfläche) sowie Wärmedurchgangswiderstand und zusätzlich Wasserdampfdurchlässigkeit für die Innenfläche (Oberfläche ohne Beschichtung). Neben vielen positiven Ergebnissen gibt es einen wesentlichen Schwachpunkt, die begrenzte Luftundurchlässigkeit der beschichteten Struktur. Zur Herstellung der pneumatischen Schiene ist ein Druck im pneumatischen System zwischen 2,666 und 3,996 kPa (20 bis 30 mmHg) erforderlich, der die Stabilität der Schienung mit der sicheren Durchblutung des Armes verbindet. Die ausgeführten Beschichtungen der Abstandsgewirke waren jedoch nur bis 200 Pa (1,500 mmHg) stabil.

Die zweite Methode zum Herstellen einer ganzen pneumatischen Kammer für die pneumatische Schiene besteht in der Anwendung gummierter Gewebe. Das Fügen

mittels Nähprozesses und Ultraschall-Schweißtechnik sind nicht nutzbar, da der Nähprozess nicht perforiert werden darf und die gummierte Beschichtung nicht thermoplastisch ist. Deshalb wurden die Verbindungsstellen mittels Klebtechnik zusammengefügt. Die Klebtechnik ist ein geeignetes Verfahren, um die beiden Schichten der ganzen Kammer zu verbinden und um das Ventil an geeigneter Stelle zu fixieren. Verwendet wurde nach eigenen Klebeversuchen ein spezieller Adhäsionsklebstoff auf Basis von Cyanacrylat.

Zur Konstruktion eines Prototyps wurde auf die verfügbaren 3D-Daten eines menschlichen Armes in Größe M des CAD-Systems der Professur für Konfektionstechnik am ITM der TU Dresden zurückgegriffen. Unter Anwendung der im SizeGERMANY-System zusammengestellten Körpermaße werden für diese pneumatische Schiene zwei Größen A und B vorgeschlagen, wobei die Größe A für Menschen konzipiert ist, deren Körpermaße am Handgelenksgrößen den Größen S und M entsprechen. Analog ist Größe B für Menschen mit Körpermaßen am Handgelenk nach Größe L und XL geeignet. Das grundlegende Körpermaß aller Größen ist der Handgelenkumfang in cm. Im Resultat des CAD-Prozesses besteht der Verband aus einem Vorderteil und einem Hinterteil. Das Vorderteil ist über der Hand positioniert und das Hinterteil ist unter der Hand angeordnet. Die pneumatische Kammer, die nur im Vorderteil eingearbeitet ist, wird im Zuge der Positionierung der Schienung durch das Ventil mit Luft gefüllt. Die Grundaufgabe dieser pneumatischen Komponente ist es, die Anpassung des Verbandes entsprechend dem Grad der Schwellung (bzw. dem Radius des Armes) anzupassen. Die Höhe des Druckes auf den verletzten Arm muss mit einem Manometer überprüft werden, um ausreichenden Druck ohne kritische Reduzierung der Blutzirkulation zu erreichen.

Die äußere Schicht, aus PVC-beschichtetem Gewebe bestehend, ist der äußere Körper des Verbandes. Die innere Schicht des Verbandes, bestehend aus 100% PES-Abstandsgewirke (ca 13 mm dicke) und 65% Baumwoll- 35% Viskose-Maschenware, befindet sich im Kontakt mit der Körperoberfläche von Hand und Arm. Der Druck in der pneumatischen Kammer wird durch eine manuelle Pumpe aufgebaut und durch ein Manometer mit einem Messbereich von 0 bis 300 mmHg erfasst. Manometer und Pumpe werden über einen flexiblen, aber auch druckbeständigen Schlauch mit einer das Ventil öffnenden Nadel angeschlossen. Die innere Schicht des Hinterteiles enthält zwei Taschen; jede Tasche schließt eine Metallschiene ein, die entsprechend der Form des inneren Teiles der Hand nachgebildet worden ist. Diese spezielle Form der Metallschienen ermöglicht es dem Verband, mehr Stabilität in der Phase der Rehabilitation zu besitzen. An der Unterseite des Hinterteiles gibt es eine Öffnung, über die die parallel angeordneten Metallschienen zum Zweck der Reinigung des Verbandes entfernt werden. Die äußere Schicht der Schiene hat viele Lüftungsöffnungen. Der physiologische Komfort

der pneumatischen Schiene wird über den erhöhten Luftaustausch durch das Einbringen geeigneter Lüftungsöffnungen gesteigert.

Verschiedene Prüfungen sind durchgeführt worden, um das Funktionsverhalten der Schiene auszuwerten. Diese Prüfungen umfassten die Bestimmung der Textilmaterialien der pneumatischen Kammer und der äußeren Schicht, die Überprüfung der Eignung von Klebstoffen für die Montage der pneumatischen Kammer, die Quantifizierung der Druckwirkung der pneumatischen Schiene auf die Hautoberfläche, die Bestimmung der Waschzyklen der pneumatischen Kammer der Schiene und die physiologischen Eigenschaften der pneumatischen Schiene.

Das Textilmaterial der pneumatischen Kammer und der äußeren Schicht der Schiene müssen spezielle Eigenschaften wie geringe Masse und geringe Steifigkeit bei Biegebelastung haben, um einerseits die Gesamtmasse der Schiene zu verringern und andererseits beim Füllen der pneumatischen Kammer sich flexibel an die Armoberfläche anzupassen. Deshalb werden fünf marktverfügbare Materialien hinsichtlich dieser Eigenschaften geprüft, um das Geeignete auszuwählen. PTO E 13-606-48 (gummiertes Gewebe) wurde als Material für die pneumatische Kammer benutzt und die Heytex 55128 (PVC beschichtetes Gewebe) wurde als Material für die äußere Schicht eingesetzt.

Die Klebtechnik bietet die Möglichkeit, die gummiert beschichtete Textilfläche zur pneumatischen Kammer zu verarbeiten. Nahtfestigkeitsuntersuchungen sind für das gummiert beschichtete Material mit verschiedenen Adhäsionsmaterialien ausgeführt worden. Das Adhäsionsmaterial Proma Kleber (Cyanacrylat als Basiskomponente) erreicht den höchsten Wert der Nahtfestigkeit und gewährleistet zugleich die notwendige Dehnung. Deshalb wurde die pneumatische Kammer mit diesem Klebstoff montiert.

Die pneumatisch gestützte Schienung von Frakturen steht in enger Wechselwirkung mit der Kompression der Haut und der darunter liegenden biologischen Gewebe. Um zwischen Schienungsfunktion und Druckwirkung auf die Durchblutung einen akzeptablen Kompromiss zu finden, wurde der Druck der entwickelten pneumatischen Schiene mittels Argus junior Messgerät (Mammendorfer Institut) mit zwei Sensoren geprüft. Mit dem Messgerät wurden für die beiden Positionen der Druck zwischen pneumatischer Kammer und der Hautoberfläche erfasst, gleichzeitig wurde der Druck in der pneumatischen Kammer schrittweise erhöht und dabei messtechnisch festgehalten. Im Experiment werden gemessene Druckwerte von 20,8 mmHg (während der Schwellung) bis 7,8 mmHg (ohne Schwellung) belegt. Entsprechend den Klassifikationen der Kompression ist 20,8 mmHg ein passender Druck auf der Hautoberfläche. Wird mit der Abnahme der Schwellung zusätzlich durch den Druck in der pneumatischen Schiene ein Differenzdruck von 13 mmHg auf

der Hautoberfläche erzeugt, so kann auch weiterhin von einer sicheren Schienung der Bruchstelle bei rückläufiger Schwellung ausgegangen werden. Um diese notwendige Druckdifferenz zu erreichen, muss das pneumatische System mit einem Druck von 13 mmHg auf der Haut versehen werden.

Im Fall der pneumatischen Schiene ist der Waschtest ganz wichtig, um die Widerstandsfähigkeit der luftdichten Naht der pneumatischen Kammer zu prüfen. Wegen des Hygienekonzeptes werden die Waschttests entsprechend Standard DIN EN ISO 6330 mit einer Waschflottentemperatur von 60 °C ausgeführt. Die Proben mit und ohne Naht werden vor und nach mehrmals durchgeführten Waschzyklen, im Maximum 15 Waschzyklen, auf die Nahtfestigkeit unter Berstbelastung geprüft. Alle Proben ohne Naht waren wasserdicht, sie konnten mit der Versuchseinrichtung und unter dem maximal aufzubringenden Druck nicht zerstört werden. Die Messergebnisse nach unterschiedlicher Anzahl von Waschzyklen belegen, dass die den Waschprozessen unterworfenen Nahtproben einem hohen Verschleiß, gekennzeichnet durch nur noch ca. 10 % der Ausgangsfestigkeit, unterliegen. Die Proben selbst weisen nach 15 Waschzyklen noch einen Nahtdruckwiderstand auf, der nahezu doppelt über dem Druck in der pneumatischen Schiene bei Nutzung liegt. Mit hoher Sicherheit sind 10 Nutzungszyklen möglich, aber auch 15 Nutzungszyklen können noch als sicher erreichbar eingestuft werden.

Wegen der physiologischen Eigenschaften der pneumatischen Schiene hat diese eine spezielle Schicht aus einem Baumwolle/Viskose-Gestrick, das eine sehr glatte Oberfläche besitzt. Tritt diese Schicht mit der Haut direkt in Verbindung, so hat dies keine negative Auswirkung, etwa ein Auslösen allergischer Reaktionen, auf die Haut. Entsprechend den Maßen, den Größen und dem anatomischen Design bietet die pneumatische Schiene deshalb ein gutes Niveau des ergonomischen Komforts an der Hand an. Die pneumatische Schiene kann für mehr als 3 Wochen, abhängig vom konkreten Fall des Handradiusbruches, benutzt werden. Deshalb ist die Temperatur zwischen der Schiene und der Haut während des Tragens der Schiene gemessen worden. Die gemessenen Temperaturen liegen zwischen 35,5 °C und 37,1 °C. Diese Werte entsprechen den als optimal geltenden Werten der Hauttemperatur

Die Lüftungsöffnungen der äußeren Schicht der pneumatischen Schiene spielen eine wichtige Rolle für die Atmungsaktivität der Schiene. Wärme- und Wasserdampfdurchgangswiderstand der einzelnen Materialien der Schiene wurden mit dem Permetest-Prüfgerät ermittelt. Die Proben in Form einer geschichteten Anordnung aus gleichen Schichten der Schiene werden dafür untersucht. Entsprechend den Ergebnissen weisen die Werte des Wärmedurchgangswiderstands keinen signifikanten Unterschied zwischen den Varianten der Proben auf. Die Proben, die ohne äußere Schicht ausgeführt sind, besitzen den niedrigsten Wert des Wärmedurchgangswiderstandes und die Proben,

die eine geschlossene äußere Schicht (ohne Lüftungsöffnungen) haben, sind durch die höchsten Werte des Wärmedurchgangswiderstandes gekennzeichnet. Die Proben, deren äußere Schichten mit Lüftungsöffnungen versehen sind, weisen zwischen den Extremen liegende Werte auf, da der Wärmefluss durch den Luftaustritt über die Lüftungsöffnungen begünstigt wird. Zwischen den Werten des Wasserdampfdurchgangswiderstandes der drei Probenvarianten gibt es einen signifikanten Unterschied. Die Proben, die keine äußere Schicht haben, besitzen die niedrigsten Werte, aber die Proben, deren äußere Schicht ohne Lüftungsöffnungen ist, haben den höchsten Wert des Wasserdampfdurchgangswiderstandes. Die Proben, deren äußere Schicht mit Lüftungsöffnungen ausgestattet ist, liegen mit den gemessenen Werten nahe bei den optimalen Werten des Aufbaus ohne die beschichtete äußere Schicht. Dies bestätigt die Notwendigkeit der Lüftungsöffnungen in der äußeren Schicht, Sie leisten einen wesentlichen Beitrag für den Tragekomfort der Schiene.

Im Vergleich zu den Gips- und Kunststoffschienen, die schwer, nicht waschbar, nur einmal verwendbar und schwierig zu fixieren und zu entfernen sind, und über die keine Anpassung an unterschiedliche Schwellungszustände des verletzten Körperteiles erfolgen kann, ist die neu entwickelte pneumatische Schiene leicht, waschbar, mehrfach verwendbar, industriell herstellbar und bietet die erforderliche Fixierung während der Schwellenzustände an.

Literaturverzeichnis

- [AME 08] American society for Dermatologic Surgery.:
Classification of Compression Bandages: Dermatologic Surgery
Journal, Vol.34, No.5, 600-609, May 2008
- [ARM 09] Armakan. D.; Roye, A.:
Study on the Compression Behaviour of Spacer Fabrics Designed for
Concrete Applications: Fibers and Polymers Journal, Vol.10, No.1, 116-
123. 2009
- [ARM 08] Arm.:
www.wikipedia.orgArm: 14.08.2008
- [BAD 07] Badawy, S.:
Development of the Weaving Machine and 3D Woven Spacer Fabric
Structures for Lightweight Composites Materials: Doctoral thesis,
Engineering faculty, Technical university of Dresden: Germany, 2007
- [BAG 07] Bagherzadeh, R.; Montazer, M.; Latifi, M.; Sheikhzadeh, M., Sattari, M.:
Evaluation of Comfort Properties of Polyester Knitted Spacer Fabrics
Finished with Water Repellent and Antimicrobial Agents: Fibers and
Polymers Journal, Vol.8, No.4, 386-392. 2007
- [BID 06] Bidoki, S. M.; Wittlinger, R.; Alamdar. A. A.; Burger, J.:
Eco-efficiency Analysis of Textile Coating Materials: Journal of the
Iranian Chemical Society, Vol.3, No.4. (351-359). 2006
- [BRU 05] Bruer, S. M., Powell, N.; Smith, G.:
Three-dimensionally knit spacer fabrics: A review of production
techniques and applications: Journal of textile and apparel, technology
and management, Vol.4, No.4, 2005.
- [BRÜ 81] Brückner, H
Frakturen und Luxationen: VEB Verlag Volk und Gesundheit Berlin,
Deutschland, 1981
- [BYR 10] Byrne, C
The Current Position of Technical Textiles in the UK: Managing
Innovation in Textiles International Conference, Manchester, England,
2010
- [CHA 02] Chang, W.; Kilduff, M.:
The US Market for Technical Textiles: SBTDC Technical Textiles
Industry Study, USA, 2002
- [COM 09] COMEZ.:
Modern Techniques for the Production of Narrow Technical Fabrics with
Crochet Knitting Machines, Weaving Needle Looms and Double Needle
Bed Warp knitting Machines: COMEZ Company, Italy,
www.comez.com/pdf/PRESENTAZIONE_2009_TT_en.pdf, 07.11.2009

- [CZA 05] Czajka, R.:
Development of Medical Textile Market: Fibers & Textiles in Eastern Europe Journal, Vol.13, No.1 (49), January \ March 2005
- [DIN 93] DIN EN 31 092.:
Textilien physiologische Wirkungen: Deutsche Institute für Normung, Berlin, Deutschland, 1993
- [DIT 92] Dittrich, V.:
Manual der Frakturklassifikation: Deutsche Ärzte-Verlag, Köln, Deutschland, 1992
- [DUN 89] Duncan, R. M.:
Basic Principles of Splinting the Hand: Physical Therapy Journal: Vol.69, No.12, December, 1989
- [EIB 93] Eibl-Eibesfeldt, B.; Kessler, S.:
Verbandlehre: Urban & Schwarzenberg Verlag, München, Deutschland, 1993
- [ELH 05] El Hammadi, A.:
Gebrauchsbeanspruchungssimulation als Teil der Qualitätsbeurteilung textiler Konfektionsprodukte: Dissertation, Fakultät Maschinenwesen, Technische Universität Dresden, 2005
- [ELS 03] Elsner, P.; Hatch, K.; Wigger-Alberti, W.:
Textiles and the Skin: Karger Verlag, Freiburg, Deutschland, 2003
- [FRE 86] Freuler, F.; Wiedmer, U.; Bianchini, D.:
Gipsfibel: Springer-Verlag, Berlin, Deutschland, 1986
- [FRI 09] Fricker, R
Radiusfraktur, Handgelenksnahe Speichenbrüche: Klinik für Orthopädische Chirurgie und Traumatologie des Bewegungsapparates Kantonsspital Bruderholz, Schweiz, 2009
- [FUN 02] Fung, W.:
Coated and Laminated Textiles: Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 2002
- [HAR 99] Harten, H.:
Physik für Mediziner: Springer-Verlag, Berlin, Deutschland, 1999
- [HEA 10] Health and Happiness.:
www.rejuvworld.com/category_s/70htm,13.01.2010.
- [HEI 07] Heinsen, J.:
Distale Radiusfraktur: Gips ist oft zu wenig, Klinik für Unfall- und Orthopädische Chirurgie, Klinikum Nürnberg Süd, Der Allgemeinarzt 15/ 2007, www.allgemeinarzt-online.de, 10.11.2007

- [HEY 08] Heytex.:
Julius Heywinkel GmbH: Persönlicher Kontakt, Deutschland,
11.06.2008
- [HIR 00] Hirsch, M. C.:
Glossar der Neuroanatomie: Springer-Verlag, Berlin, Deutschland, 2000
- [HOH 05] Hohmann, D.; Uhlig, R.:
Orthopädische Technik: 9 Auflage, Thieme Verlag, Deutschland, 2005
- [Höf 03] Höfer, D.; Swerev, M.:
The Future of Medical Textiles: High-tech For the Well-being of the
Patient: Journal of Textiles and Apparel, Technology and Management,
2003.
- [HOR 00] Horrocks, A. R.; Anand, S. C.:
Handbook of Technical Textiles: Woodhead Publishing Limited,
Cambridge, England, 2000
- [HOU 09] Houis, S.; Deichmann, T.; Veit, D.; Gries, T.:
Medizinische Textilien: *Medizintechnik*, Life Science Engineering,
Zeiten 961-992, SpringerLink Verlag, 2009
- [JAM 06] James, R.; Doyle, MD.:
Hand and Wrist: Lippincott Williams & Wilknis, New York, USA. 2006
- [KAT 03] Katavic, J.:
Problematik der in Fehlstellung ausgeheilten distalen Radiusfraktur:
Doktoral Dissertation, Medizinischen Fakultät, Universität Ulm, 2003
- [KON 10] Kondratjew-Zyklus
Kondratjew-Zyklus, www.de.wikipedia.org/wiki/Kondratjew-Zyklus,
15.09.2010
- [KRÄ 93] Krämer, K.; Franz-Peter, M.:
Scores, Bewertungsschemata und Klassifikationen in Orthopädie und
Traumatologie: Georg Thieme Verlag, Stuttgart, Deutschland, 1993
- [KRZ 05] Krzywinski, S.:
Verbindung von Design und Konstruktion in der Textilen Konfektion
unter Anwendung von CAE: TUD press, Dresden, Deutschland, 2005
- [LEU 80] Leung, P. C.; Wan, C. Y.:
Splinting in hand surgery: The Journal of the Hong Kong Physiotherapy
Association, Vol.3, 1980
- [Li 01] Li. Y.:
The Science of Clothing Comfort: The Textile Institute Progress, Vol.31,
No.1/2, Manchester, England, 2001

- [LIS 97] Lisa M.:
Cast changes: synthetic versus plaster Pediatric Nursing: Professional journal for child health nurses, July-August, 1997
(www.findarticles.com/p/articles/mi_m0FSZ)
- [MAC 07] Machova, K.:
Abstandstextilien als Kaminsystem für Sport- und Outdoor-Bekleidung: Dissertation, Fakultät Maschinenwesen, TU Dresden, 2007.
- [MAI 07] Maier, R.:
Knochenbruch - handgelenksnaher Speichenbruch, distale Radiusfraktur, Handgelenksbruch: www.medhelp.at, 11.04.2007
- [MAI 10] MaiMed.:
MaiMed Medical GmbH: persönlicher Kontakt, Deutschland, 08.04.2010
- [MAO 07] Mao, N.; Russell, S. J.:
The Thermal Insulation Properties of Spacer Fabrics with a Mechanically Integrated Wool Fiber Surface: Textile Research Journal, Vol.77, No.12, 2007
- [MAT 81] Matev, I.; Bankov, S.:
Rehabilitation der Hand: VEB Verlag Volk und Gesundheit, DDR, 1981
- [MEC 91] Mecheels, J.:
Körper – Klima – Kleidung, Grundzüge der Bekleidungsphysiologie: Schiele und Schön Fachverlag, Berlin, Deutschland, 1991
- [MEE 10] Meena, C.:
Medical Textiles: Fiber 2 Fashion:
www.fibre2fashion.com/industry-article/4/330/medical-textiles1.asp,
20.05.2010
- [MED 10] Medical Education Division.:
Operational Medicine 2001, Plaster Cast a Forearm Fracture: Medical Education Division, Brookside Associates,
www.brooksidepress.org/Products/OperationalMedicine/DATA/operationalmed/Procedures/PlasterCastaForearmFracture.htm, 12.07.2010
- [MUD 07] Muders, A. F.; Frei, A.:
Erklärungsmodelle zur Wirkung von Bandagen: Eine schriftliche Arbeit im Rahmen der Bundesfachschule für Orthopädietechnik Dortmund, 2007
- [MÜL 90] Müller, M. E.; Nazarian, S.; Koch, P.; Schatzker, J.:
Classification of Fractures: Springer-Verlag, Berlin, Deutschland, 1990
- [MÜN 03] Münch, T.; Jostkleigrew, F.:
Druckmessung bei Verbrennungsbandagen: Orthopädie-Technik Zeitschrift, Vol.3, Zeiten 202-208, 2003

- [NAD 01] Nadine, B.; Semer, MD.:
Practical Plastic Surgery for Nonsurgeons: Hanley & Belfus, Inc, USA, 2001
- [OES 99] Oestern, H.J.:
Distale Radiusfrakturen, Teil I. Grundlagen und konservative Therapie:
Der Chirurg, Vol.71, No.9, Springer-Verlag, 1999
- [OHI 10] Ohio State Medial Center.:
Orthopaedic Trauma: the Ohio State University Medical Center, USA,
<http://medicalcenter.osu.edu/PatientEd/Materials/PDFDocs/surgery/ortho/treating-fractures.pdf>, 07.07.2010
- [ORT 09] Orthopedic Cast.:
Orthopedic Cast, www.wikipedia.org/wiki/Orthopedic-cast, 11.02.2009
- [PAR 08] Partsch, H.:
Classification of Compression Bandages: Practical Aspects: American Society for Dermatologic Surgery, Blackwell Publishing, Vol.34, Pages 600 - 609, 2008
- [PER 07] Pereira, S.; Anand, S.C.; Rajendran, S.; Wood, C.:
Study of the Structure and Properties of Novel Fabrics for Knee Braces:
Journal of Industrial Textiles, Vol.36, No.4, 2007
- [PLA 08] Plaster.:
www.wikipedia.org/wiki/Plaster, 15.08.2008
- [POR 09] Porteous. W.:
Splinting, Bandaging and Immobilization Techniques and Devices: A Guide For Education & Competency, Department of Human Services, State Government of Victoria, Australia, 2009
- [PRE 08] Pressless.:
Pressless GmbH: Persönlicher Kontakt, Frau. Dr. Katarina Machova, Deutschland, 19.06.2008
- [PRI 10] 3M Medica.:
3M Primacast Schiene, schnell und leicht: 3M Medica GmbH,
http://solutions.3mschweiz.ch/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?locale=de_CH&cmd=1160581517000&assetId=1114308182053&assetType=MMM_Image&blobAttribute=ImageFile, Deutschland, 14.07.2010
- [PRO 09] ProMa.:
ProMa Universal Kleber Firma: Persönlicher Kontakt, 15.09.2009
- [PTO 08] PTO.:
Polymertechnik Ortrand GmbH: persönlicher Kontakt, 11.07.2008

- [RAB 99] Rabe, M.:
Analyse und Optimierung der Barrierewirkung textiler Fügeverbindungen gegenüber kontaminierten Körperflüssigkeiten am Beispiel von OP-Schutzsystemen: Shaker Verlag, Aachen 1999.
- [RAB 08] Rabe, E.; Partsch, H., Jünger, M.:
Guidlines for Clinical Studies with Compression Devices in Patients with Venous Disorders of the Lower Limb: European Journal of Vascular and Endovascular Surgery, Elsevier Publishing Ltd, Vol.35, Pages 494 – 500, 2008
- [RIE 09] Riesner, I.:
Druckwirkung von Kompressionstextilien an Patienten: 12. Chemnitzer Textiltechnik- Tagung, Chemnitz, Deutschland, 2009
- [RIG 02] Rigby, D.:
Report Scope and Definitions Used: David Rigby Associates, England, 2002
- [ROB 05] Robert, C.:
Development of Medical Textile Market: Fibers & Textiles in Eastern Europe Journal, Vol.13, No.1 (49), January/March 2005
- [RÖD 96] Rödel, H.:
Analyse des Standes der Konfektionstechnik in Praxis und Forschung sowie Beiträge zur Prozessmodellierung: Shaker Verlag, Aachen, 1996
- [RÖD 01] Rödel, H.; Haase, E.:
Grundlegende Untersuchungen zur Konstruktion kompressiver Bekleidung und deren Wirkung auf die Durchblutung: Forschungsbericht, ITM Institut, TU Dresden, 2001
- [RÖD 09] Rödel, H.:
Lehrveranstaltung „Konfektionierung technischer Textilien“: Fakultät Maschinenwesen, TU Dresden, 2009
- [SCH 07] Schleikis, A.:
Gips und Synthetischer Stützverband: Steinkopf Darmstadt Verlag, Deutschland, 2007
- [SEC 10] Second Skin.:
Second Skin Dynamic Splints for Neurological Dysfunction: www.secondskin.com.au/uploads/publications/34_LHNuroBrochure.pdf, Second Skin Dynamic Foot Splint: www.secondskin.com.au/uploads/publications/8_HANDOUTSFootSplint.pdf, Second Skin Dynamic Splinting and its Application for Children and Adults with Hemiplegia: www.secondskin.com.au/uploads/publications/9_HANDOUTSHemiplegia.pdf, Second Skin LTD, Perth – Sydney - Edinburgh, 14.07.2010

- [SEI 07] Seif, M.:
Provision of material parameters for the simulation of apparel products:
Doctoral thesis, Faculty of Engineering, TU Dresden. Germany. 2007
- [SEN 08] Sen, A
Coated Textiles Principles and Applications, CRC Press Taylor &
Francis Group, Boca Raton, USA, 2008
- [SHA 05] Shanna, M. B.; Powell, N.; Smith, G.:
Three-Dimensionally Knit Spacer Fabric: A Review of Production
Techniques and Applications: JTATM Journal, Vol 4, Issue 4, 2005
- [SIL 10] Silvertex.:
Was ist Silvertex?: www.silvertex.de/was.html, 03.08.2010
- [SKI 10] Skin.:
Schematischer Querschnitt durch die menschliche Haut: Skin Care
Forum, Ausgabe 27,
www.scfonline.com/german/27_d/frontpage27_d.htm, 15.07.2010
- [SLA 03] Slavonski, J. K.:
Problematik der in Fehlstellung ausgeheilten distalen Radiusfraktur:
PhD Dissertation, Medizinische Fakultät, Universität Ulm, 2003
- [SPA 05] Spatz, H.; Müller, M. E.:
Klassifikation von Frakturen: Praxisbuch Unfallchirurgie, Teil 2,
Springer-Verlag, Berlin, Deutschland, 2005
- [SPI 92] Spier, W.; Härter, R.; Kern, G.:
Checkliste Gipstechnik – Fixationsverbände: Georg Thieme Verlag,
Stuttgart, Deutschland, 1992
- [SPO 01] Sponer, S.:
Grundlagen eines funktionellen Bekleidungskonzeptes, Vortrag 40.
Internationale Chemiefasertagung , Dornbirn, Österreich, 2001
- [STU 91] Sturzenegger, M.; Bohli, M.:
Schienenbehandlung an der Hand, Verlag Hans Huber, Göttingen,
Deutschland. 1991
- [STÜ 07] Stürmer, K. M.:
Geleitwort zur 2. Auflage, Gips und Synthetischer Stützverband:
Steinkopf Darmstadt Verlag, Deutschland, 2007
- [TEX 04] Textiles Intelligence.:
Technical Textiles Markets: Business and market analysis for the world
fibers, textiles and apparel industries: Issue 59: 3rd-4th quarters, 2004

- [THA 08] Thamostraran, G.:
An analysis of medical textiles: Fiber 2 Fashion,
www.fibre2fashion.com/industry-article/8/780/an-analysis-of-medical-textiles1.asp, 03.06.2008
- [THU 10] THUASNE.:
Bandagen: THUASNE Unternehmensgruppe, Deutschland,
www.thuasne.com, 06.07.2010
- [TRA 06] Tracton, A.:
Coatings Technology Handbook: CRC Press Taylor & Francis Group,
Boca Raton, USA, 2006
- [UMB 00] Umbach, K-H.:
Mikroklima in der Bekleidung : Laminate und Beschichtungen,
Innovationsforum über intelligente Bekleidungstextilien High-Tex,
Stuttgart, Deutschland, 2000
- [UNG 85] Ungern-Sternberg, F. W.; Adam, O.; Hallern, B. V.:
Kombination von Kunststoff und Gips (Kombigips) in der
Frakturbehandlung: [European Journal of Trauma](#), Vol.11 (1985), Nr.1,
S. 46-48
- [VAN 07] Van Langenhove, L.:
Smart textiles for medicine and healthcare: Woodhead Publishing
Limited. England. 2007
- [VIE 06] Vieira, G. C.; Fonseca, M. C. R.; Shimano, A. C.:
Evaluation of the mechanical properties of plaster bandages used for
orthosis manufacture, marketed by three different manufacturers: *Acta
Ortopédica Brasileira Journal*, Vol 14, No 3, 2006
- [VOL 95] Voll, J.:
Handbuch Sporttraumatology Sportorthopädie: Johann Ambrosius
Barth Verlag, Heidelberg, Deutschland, 1995
- [VOL 96] Voltz, T.:
Gips- und Stützverbände, Gustav Fischer Verlag, Lübeck, Deutschland,
1996
- [WAL 10] Wallenböck, E.:
Materialien: 31. Fortbildungsseminar der Österreichischen Gesellschaft
für Unfallchirurgie – Grundlagen, Technik der konservativen
Frakturbehandlung: Österreich,
http://www.unfallchirurgen.at/download/agenda/31_wallenboeck.pdf,
03.06.2010
- [WAL 02] Walter, K. A.:
Dermatological and Transdermal Formulations: Marcel Dekker Inc, New
York, 2010

-
- [WES 09] Weserland.:
Weserland GmbH: Persönlicher Kontakt, Deutschland, 18.05.2009
- [WOA 03] Woan, G.:
The Cambridge Handbook of Physics Formulas: Cambridge University
Press, UK, 2003
- [XIA 08] Xiaohua. Y.; Hong, H.; Feng, X.,:
Development of the Warp Knitted Spacer Fabrics for Cushion
Applications: Journal of Industrial Textiles, Vol.37, No.3, 213 - 223,
2008
- [YIP 08] Yip, J.; Pui Ng, S.:
Study of Three-dimensional Spacer Fabrics: Physical and Mechanical
Properties: Journal of Materials processing Technology, Vol.206, Pages
359 - 364, 2008
- [YIP 09] Yip, J.; Pui Ng, S.:
Study of Three-dimensional Spacer Fabrics: Molding Properties for
Intimate Apparel Application: Journal of Materials Processing
Technology, Vol.209, Pages 58–62, 2009

Anhang

- Anhang zu Kapitel 5: Beschichtungsprozess der Abstandsgewirke
- Anhang zu Kapitel 6: Bestimmung der Herstellung der pneumatischen Schiene
- Anhang zu Kapitel 7: Bestimmung der Eigenschaften der pneumatischen Schiene

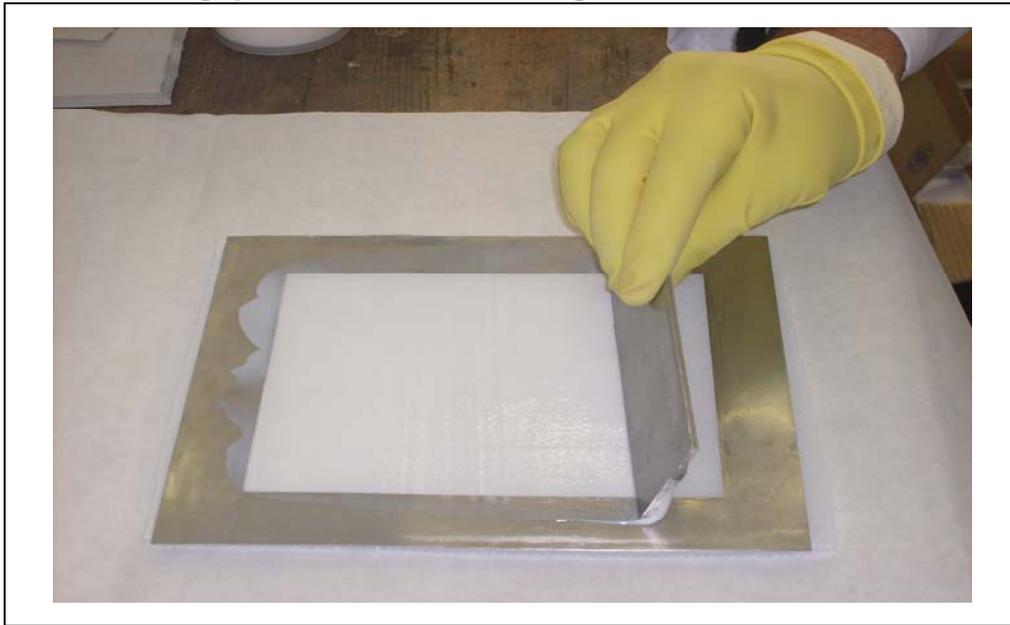
A5 Beschichtungsprozess der Abstandsgewirke

Abb. A5. 1: Manuelle Beschichtung auf einer Seite der Abstandsgewirke

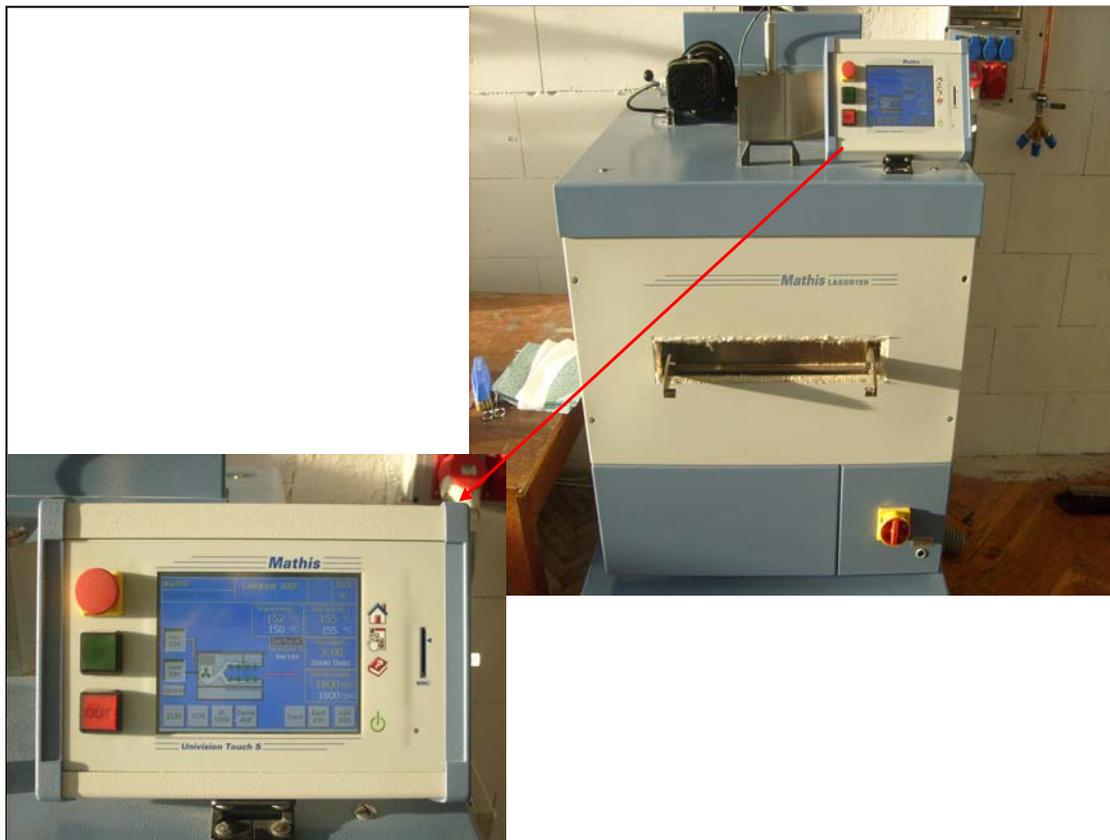


Abb. A5. 2: Thermofixierung der Abstandsgewirke als finaler Prozess der Beschichtung

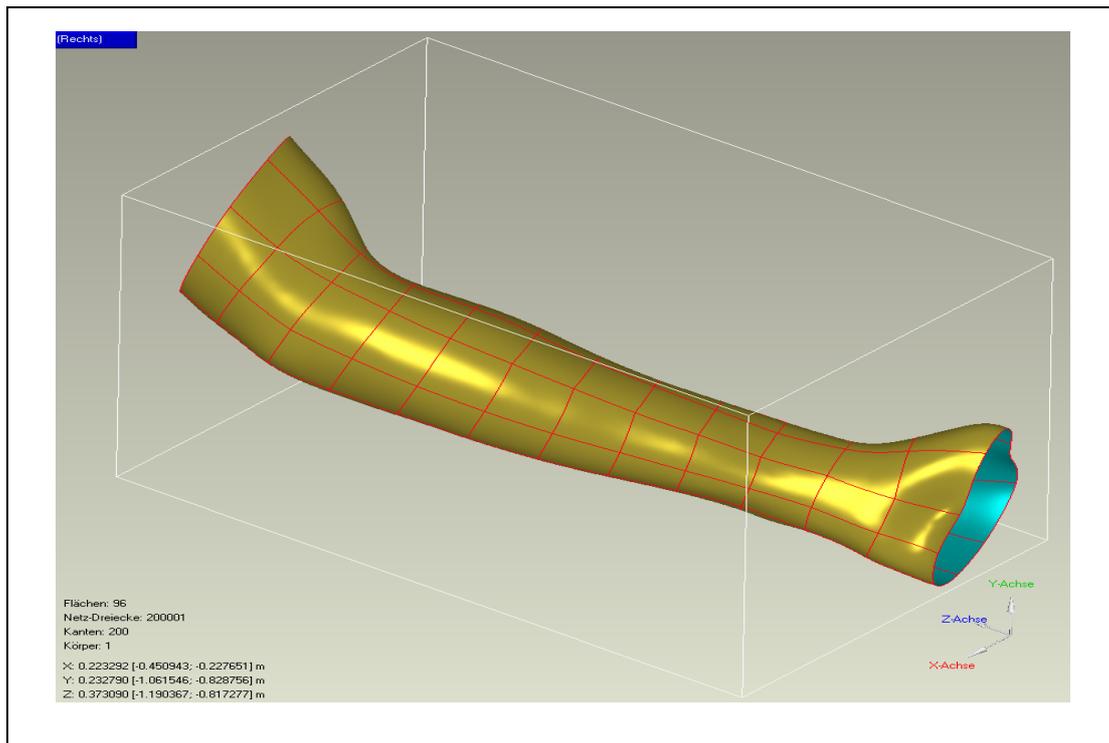
A6. Bestimmung der Herstellung der pneumatischen Schiene

Abb. A6. 1: Bearbeitung des Unterarmes in Geomagic Studio (3D Design)

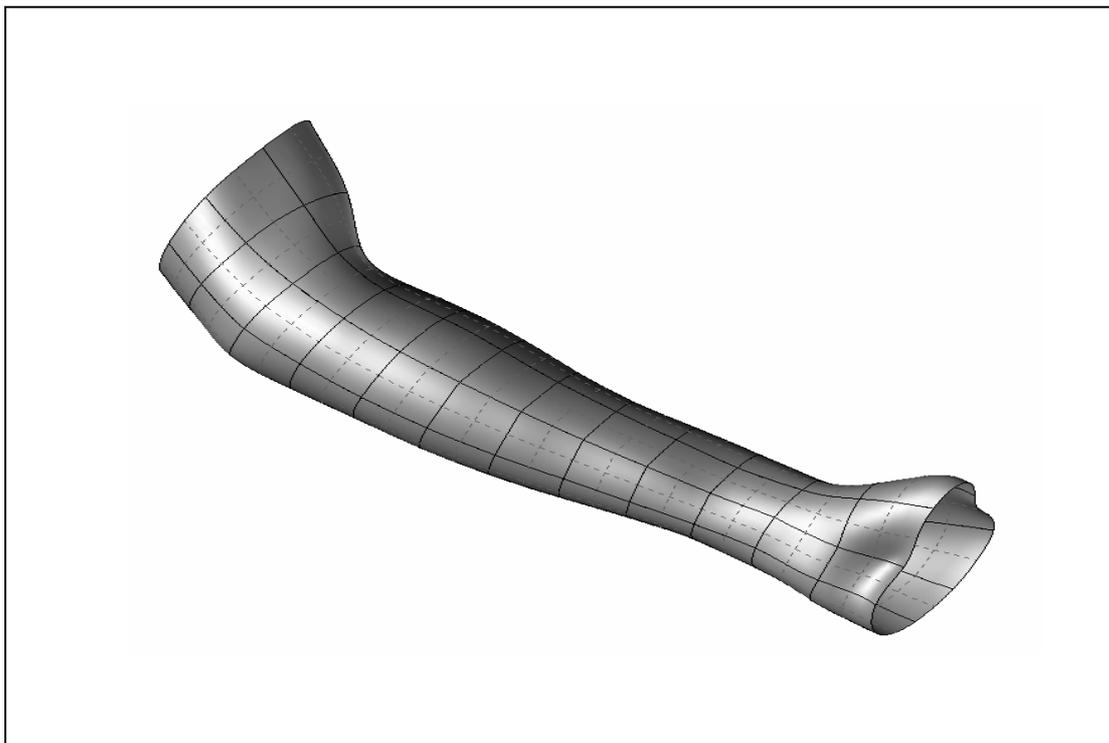


Abb. A6. 2: importierte Flächen in 3D (DesignConcept, Lectra)

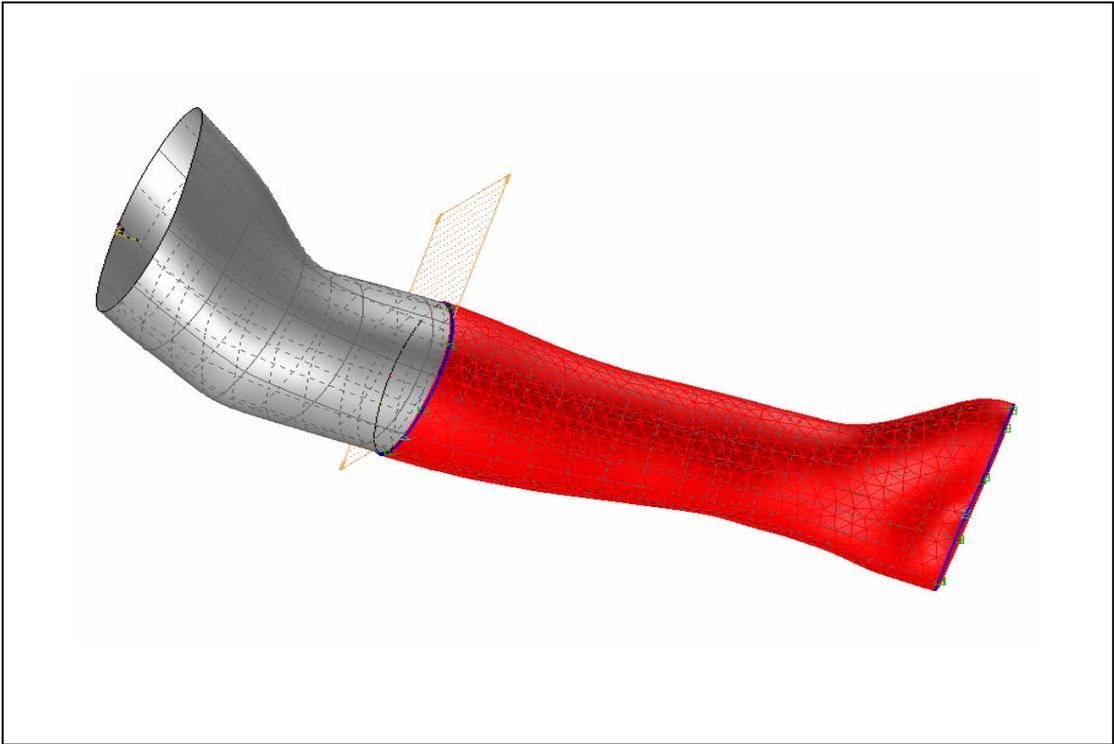


Abb. A6. 3: 3D-Regionen der pneumatischen Schiene

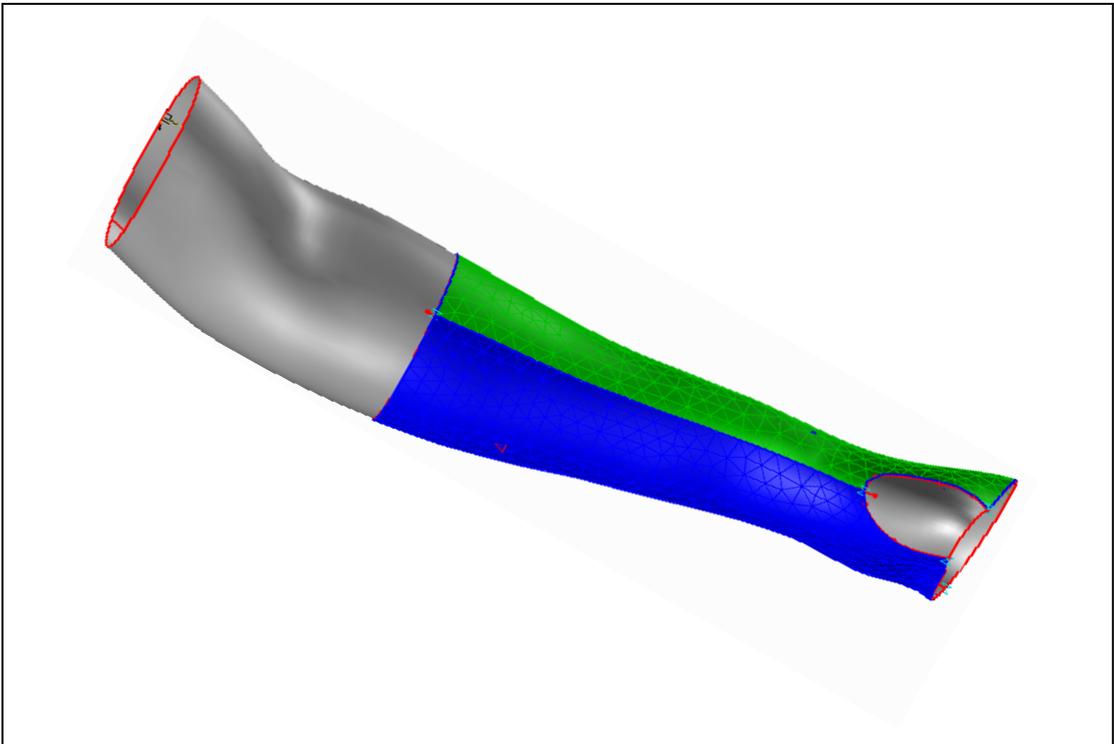


Abb. A6. 4: Erstellung der 3D-Schnitteile der pneumatischen Schiene

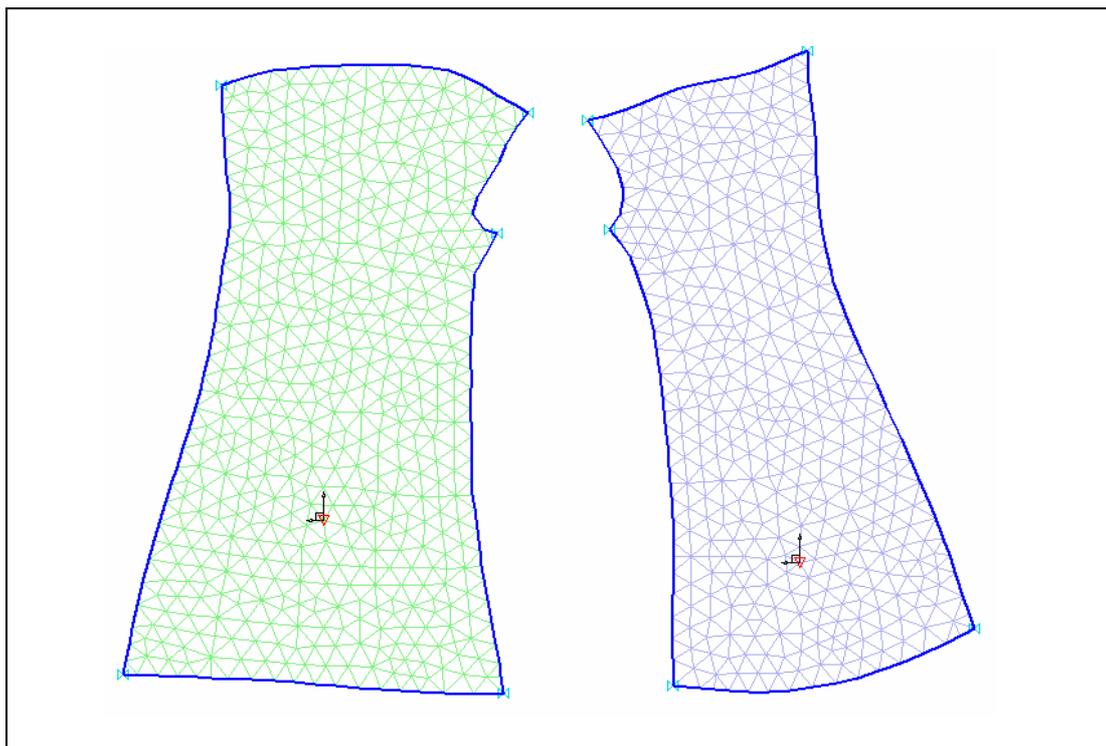


Abb. A6. 5: 2D-Schnitteile der pneumatischen Schiene

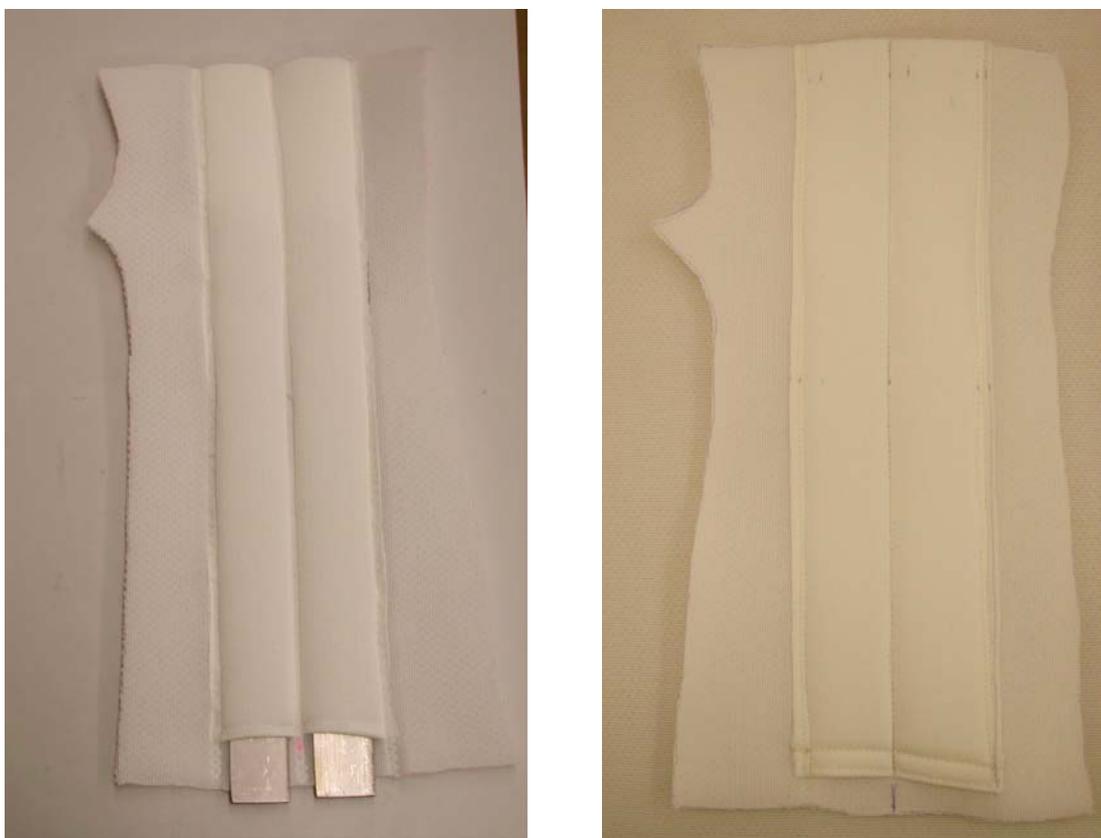


Abb. A6. 6: Taschen der Metallschienen des Hinterteils



Abb. A6. 7: Gummiertes Ventil der pneumatischen Kammer



Abb. A6. 8: Fixierung der pneumatischen Kammer in der äußeren Schicht des Vorderteils

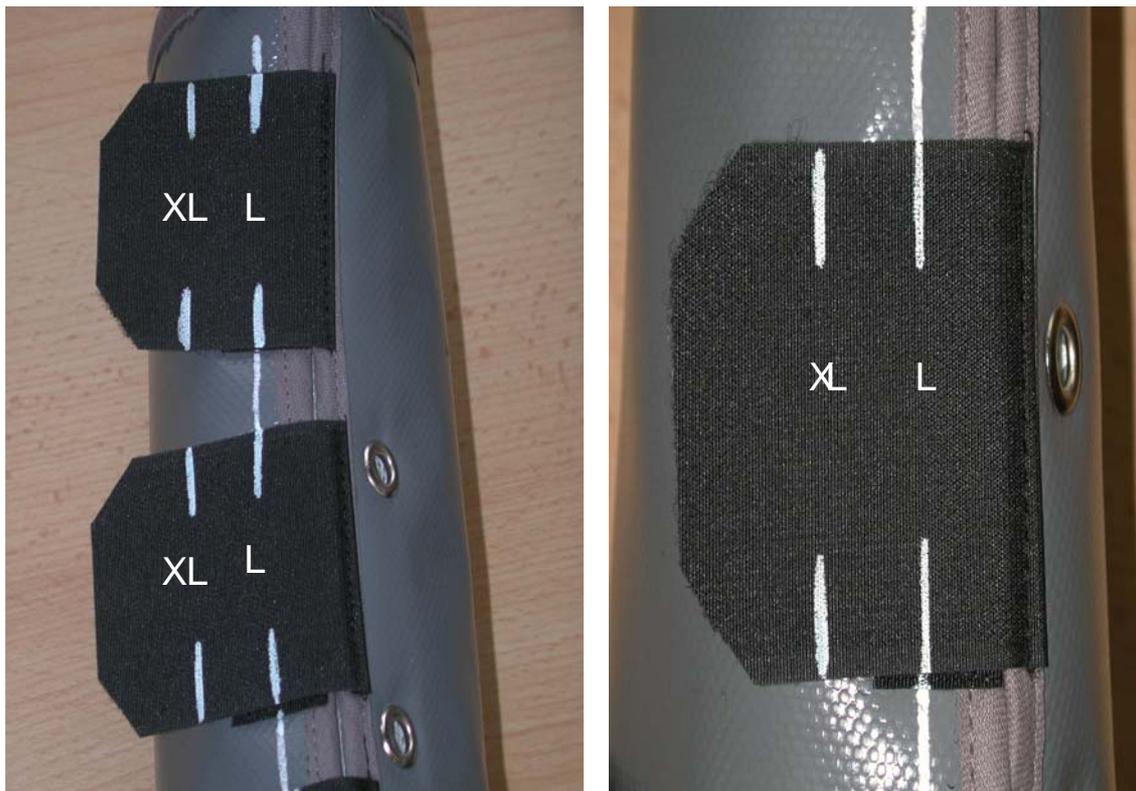


Abb. A6. 8: Positionierung der verschiedenen Größen der pneumatischen Schiene



Abb. A6. 9: richtige Position des Verschlusses der pneumatischen Schiene

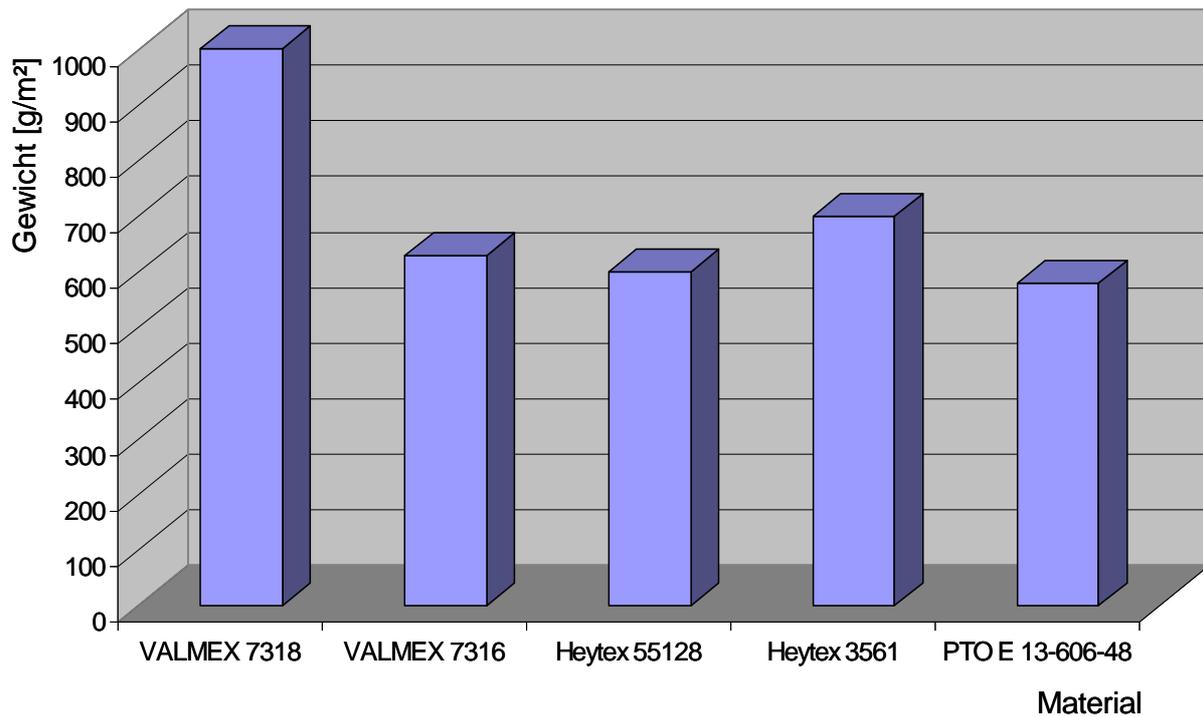
A7 Bestimmung der Eigenschaften der pneumatischen Schiene

Abb. A7. 1: Bestimmung des Gewichtes von Materialien der äußeren Schicht der pneumatischen Schiene

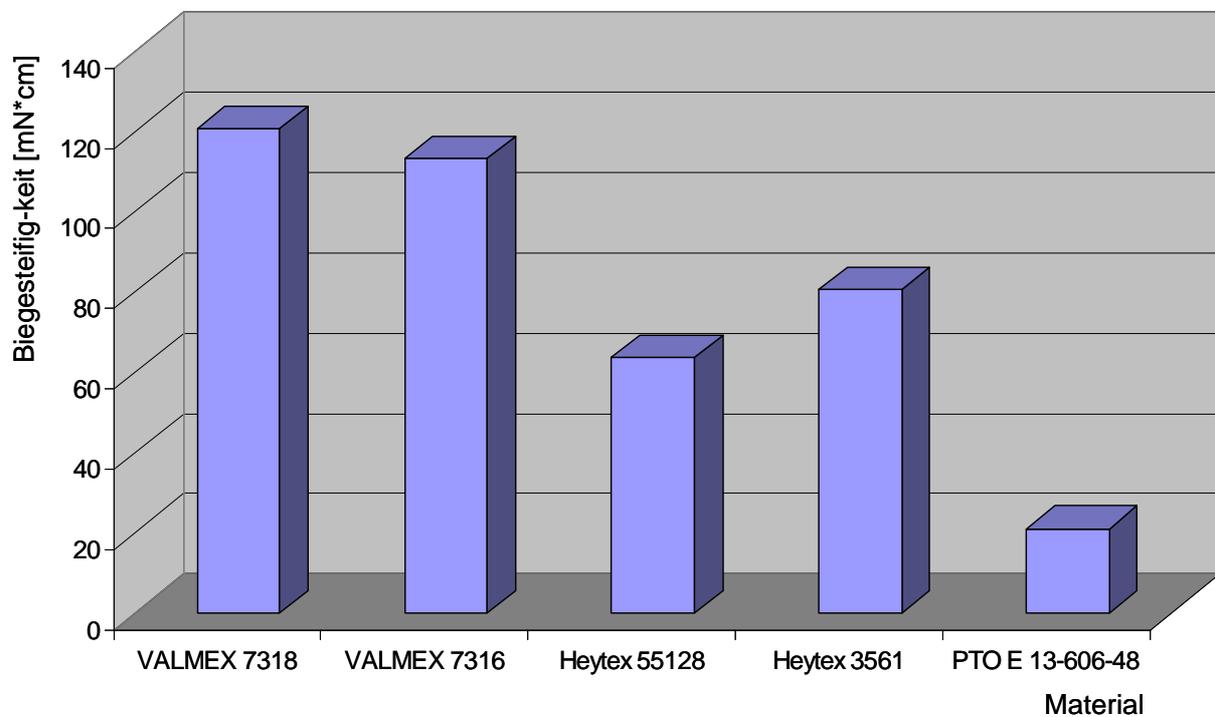


Abb. A7. 2: Bestimmung der Biegesteifigkeit von Materialien der äußeren Schicht der pneumatischen Schiene

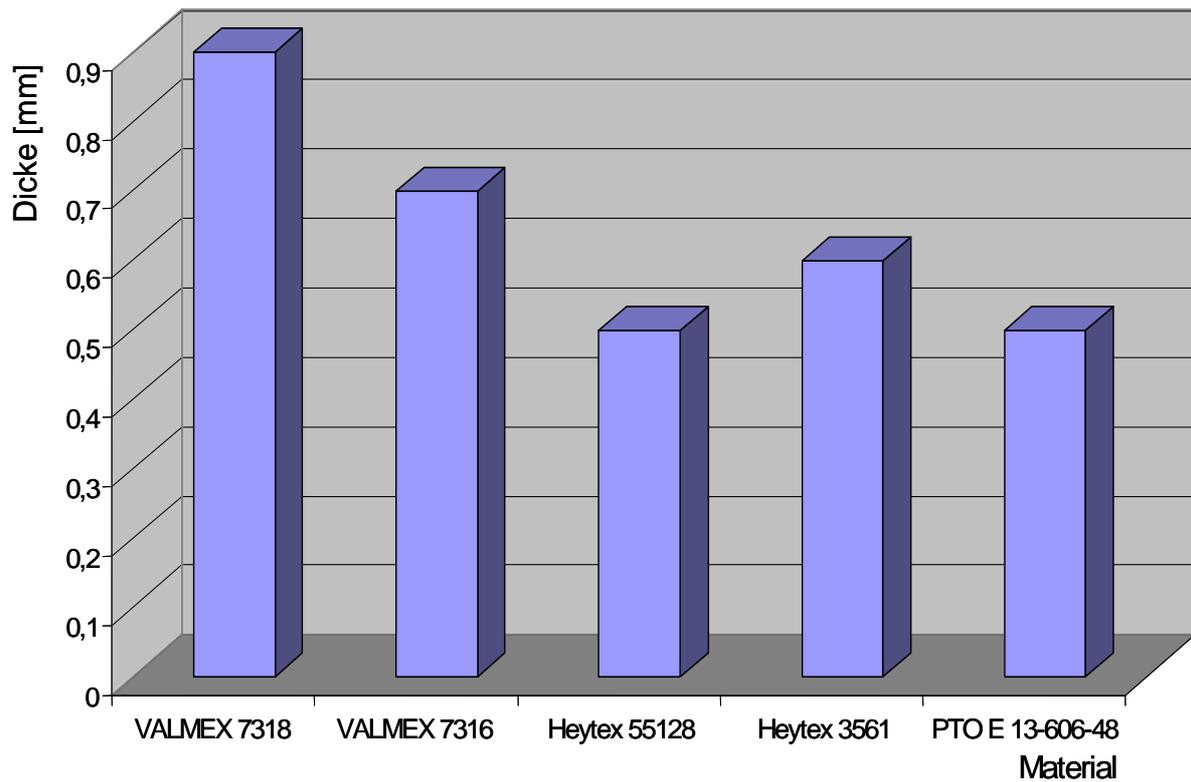


Abb. A7. 3: Bestimmung der Biegesteifigkeit von Materialien der äußeren Schicht der pneumatischen Schiene

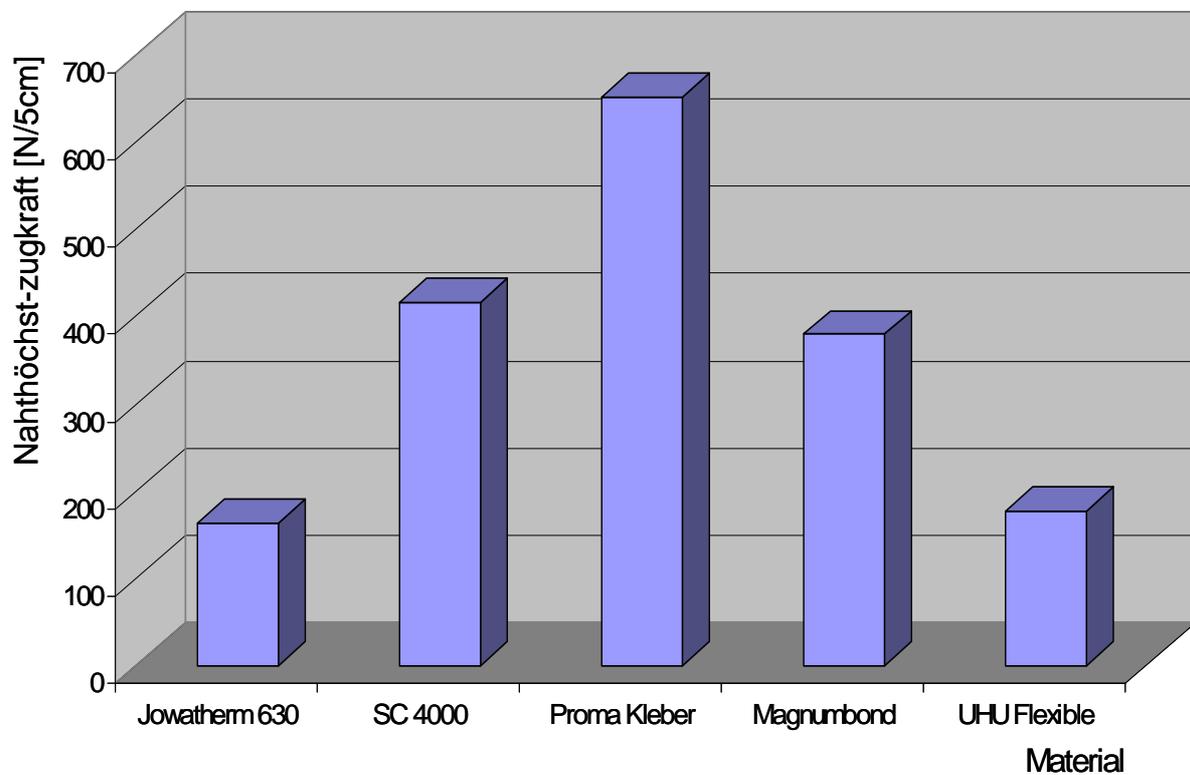


Abb. A7. 4: Bestimmung der Nahthöchstzugkraft von Materialien der pneumatischen Kammer

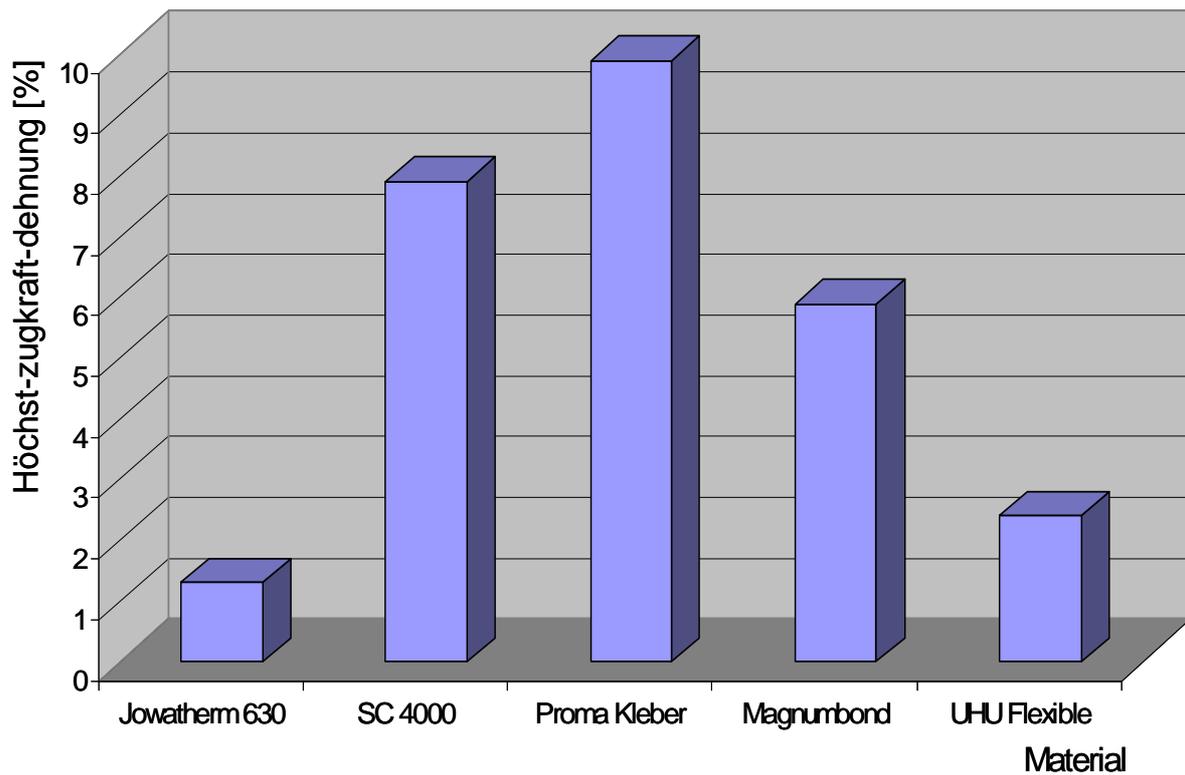


Abb. A7. 5: Bestimmung der Höchstzugkraft-Dehnung von Materialien der pneumatischen Kammer

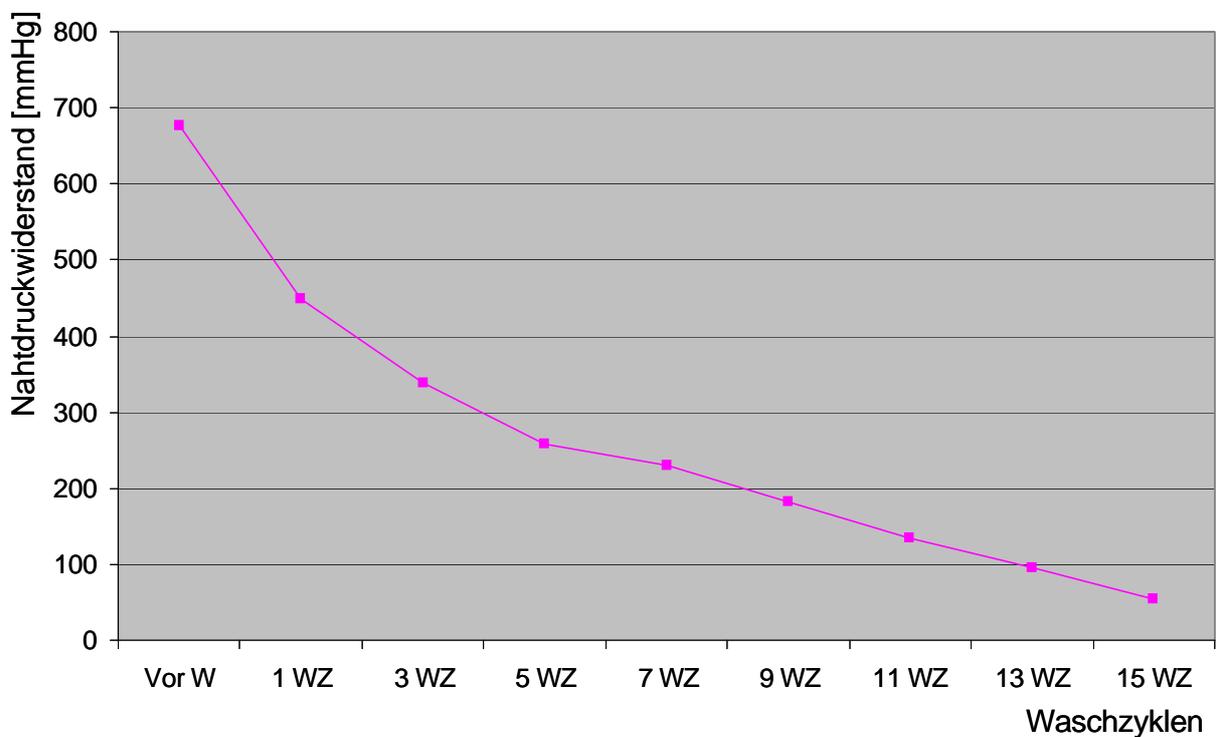


Abb. A7. 6: Waschtests der Naht der pneumatischen Kammer, Versuch 1

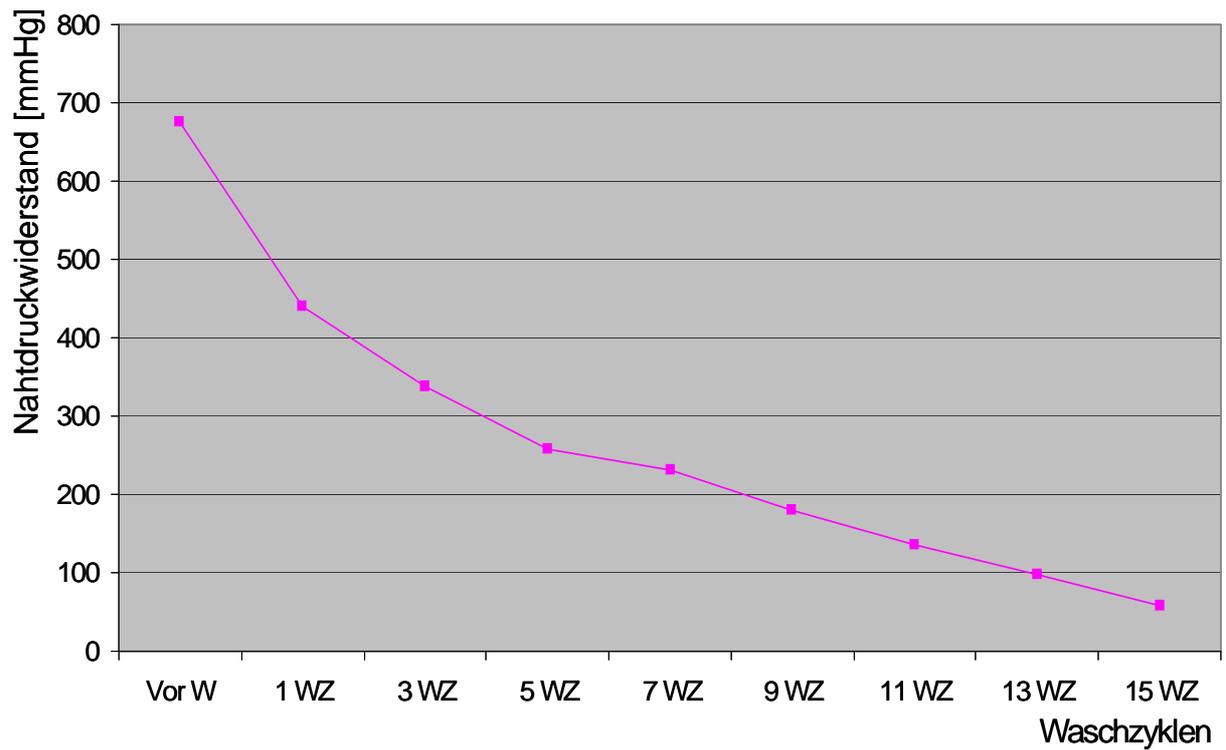


Abb. A7. 7: Washtests der Naht der pneumatischen Kammer, Versuch 2

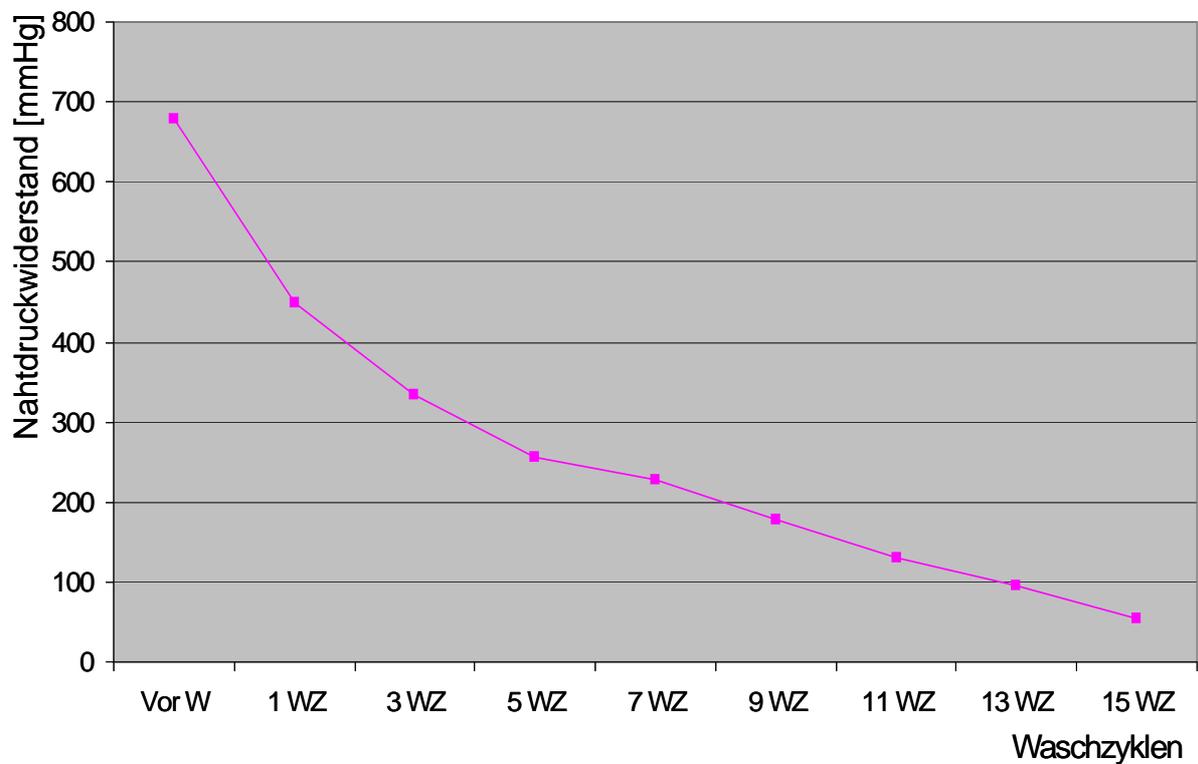


Abb. A7. 8: Washtests der Naht der pneumatischen Kammer, Versuch 3

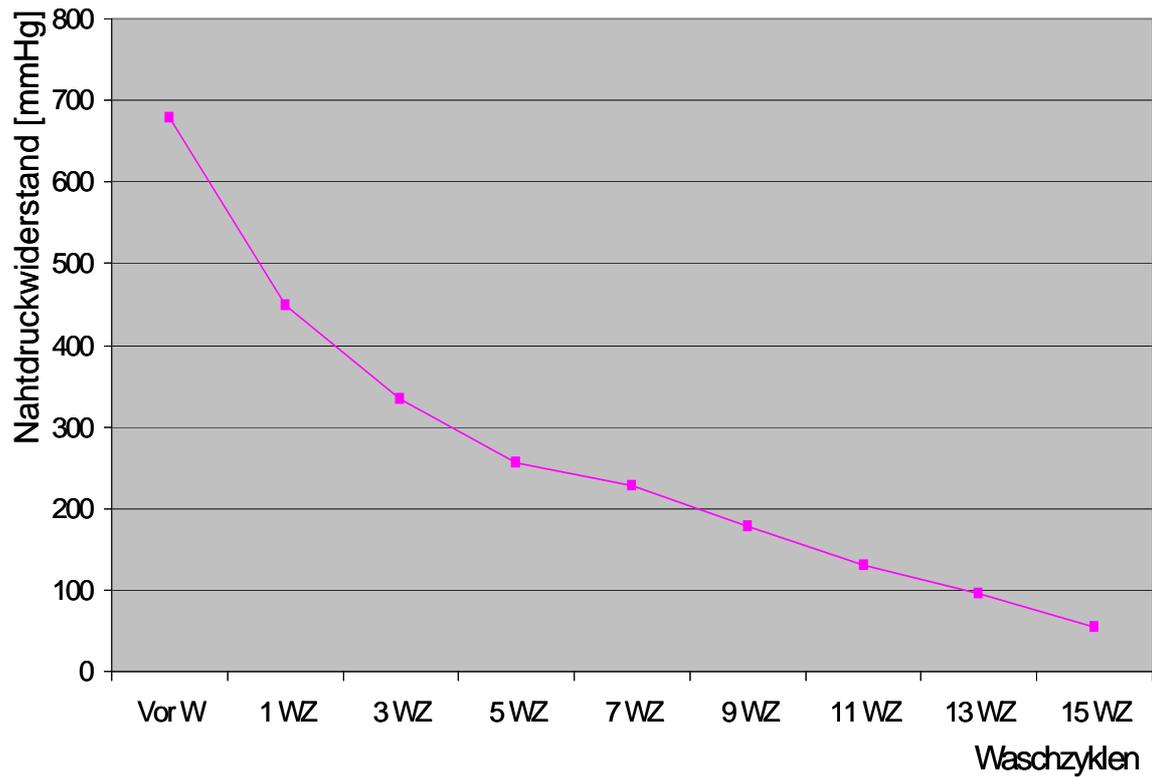


Abb. A7. 9: Waschtests der Naht der pneumatischen Kammer, Versuch 4

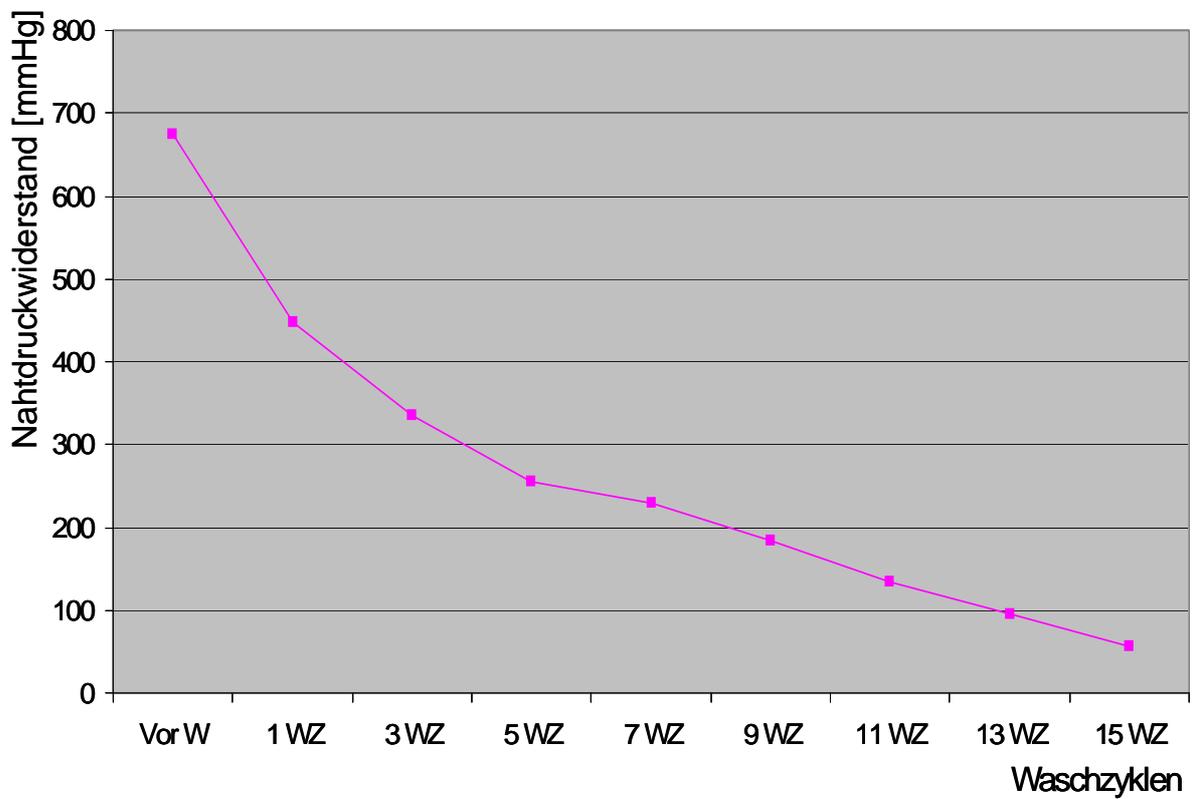


Abb. A7. 10: Waschtests der Naht der pneumatischen Kammer, Versuch 5

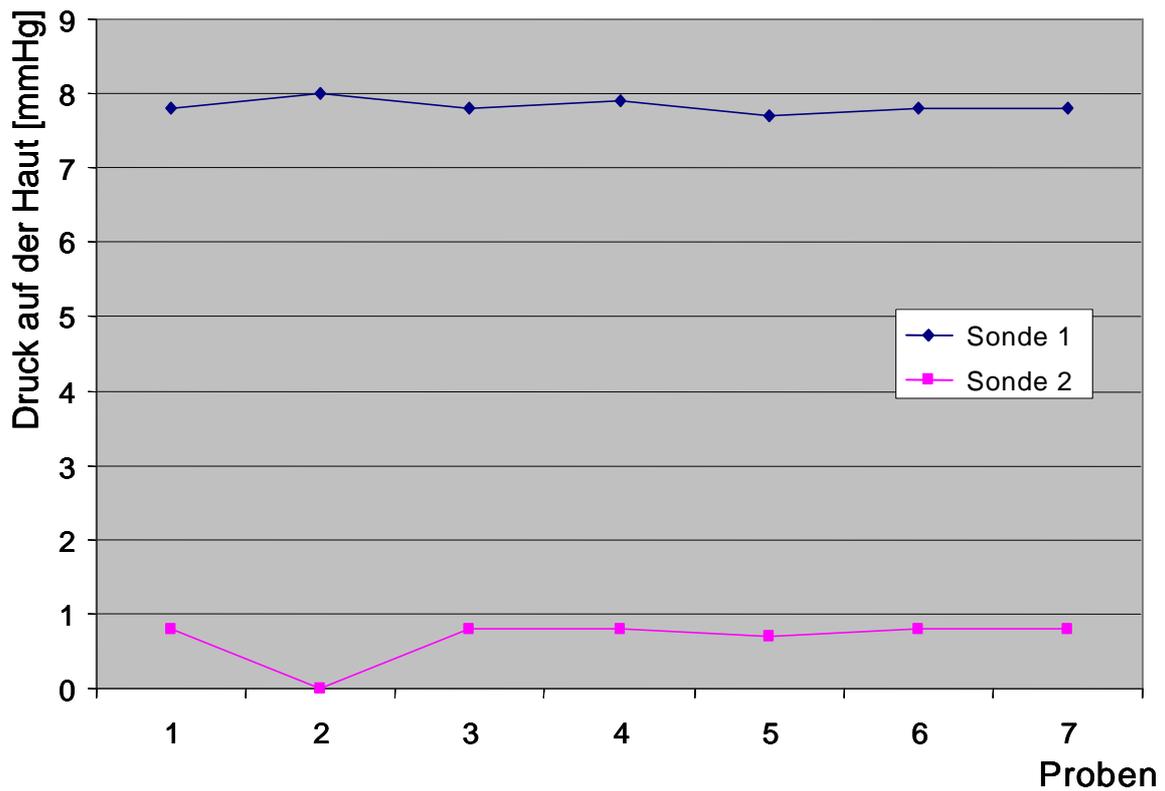


Abb. A7.11: Druck auf der Haut ohne Schwellung im Bereich der Radiusfraktur (Sonde 1)

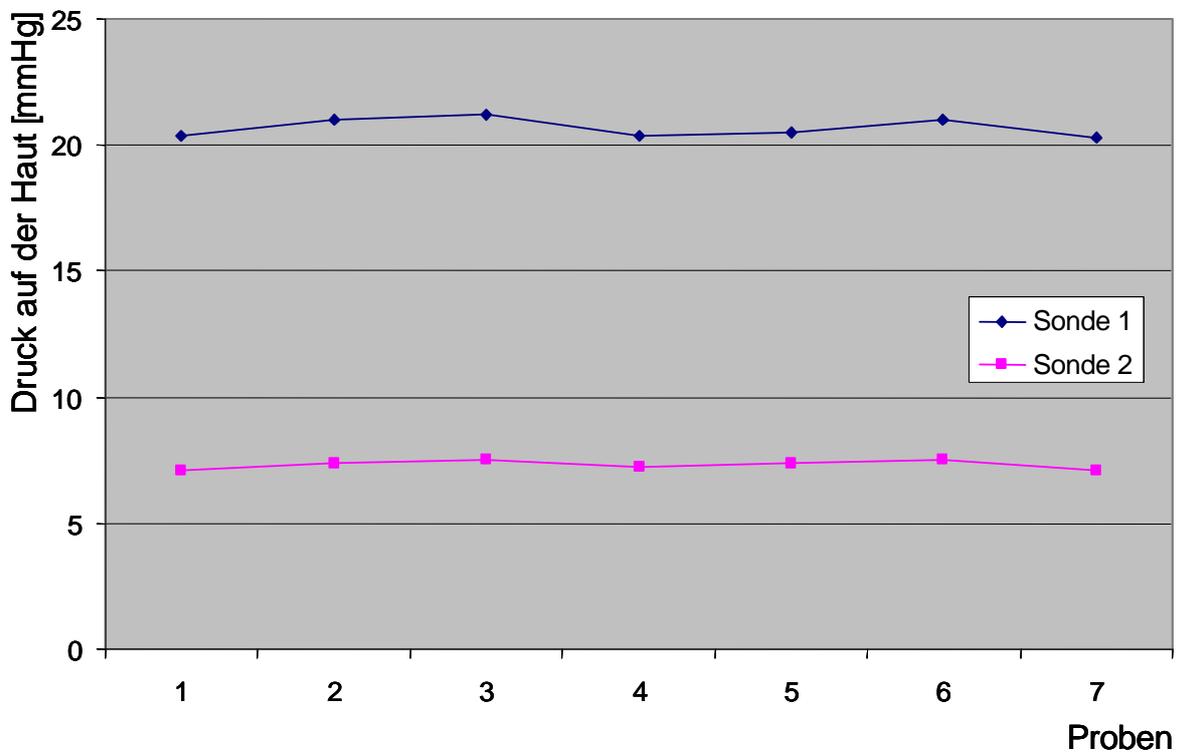


Abb. A7. 11: Druck auf der Haut durch Schwellung im Bereich der Radiusfraktur (Sonde 1)

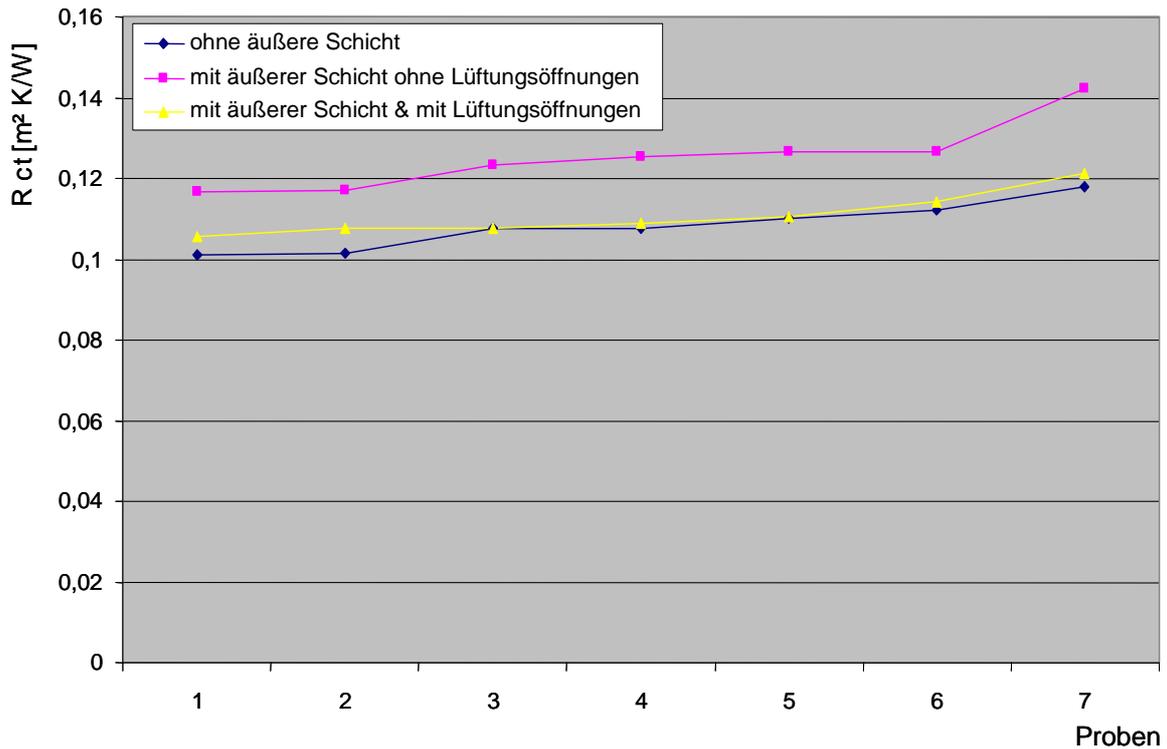


Abb. A7.12: Wärmedurchgangswiderstand der verschiedenen Varianten von Materialien der pneumatischen Schiene

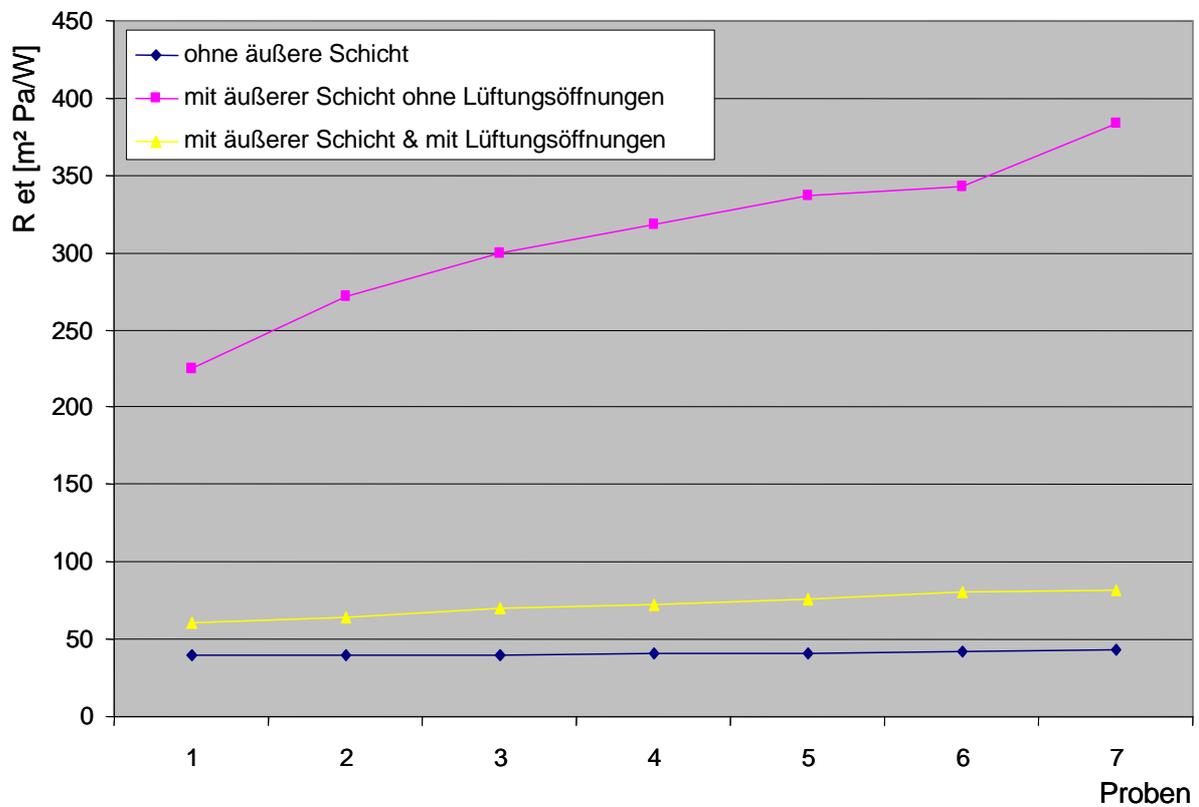


Abb. A7. 13: Wasserdampfdurchgangswiderstand der verschiedenen Varianten von Materialien der pneumatischen Schiene