



Technische Universität München  
TUM School of Engineering and Design

# **Rechnergestützte Schnittmusterkonstruktion von maßangepasster Kleidung**

Konstruktionsalgorithmen und medizintechnische Anwendungsbeispiele

Christina Marita Hein

Vollständiger Abdruck der von der TUM School of Engineering and Design der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades einer  
Doktorin der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)  
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr. phil. Klaus Bengler

Prüfer der Dissertation: 1. Prof. Dr. rer. nat. Tim C. Lüth  
2. Prof. Dr.-Ing. Veit St. Senner

Die Dissertation wurde am 23.06.2021 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die TUM School of Engineering and Design am 28.02.2022 angenommen.

# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Mikrotechnik und Medizingerätetechnik der Technischen Universität München unter der Leitung von Prof. Dr. Lüth. Motiviert durch die Neuausrichtung hin zu Exoskeletten und die Verfügbarkeit eines Lasercutters für den maschinellen Stoffzuschnitt entwickelte sich die Idee, in einem automatisierten Prozess die Kleidung zum Tragen unter Exoskeletten individualisiert herzustellen. Die zentralen Zielsetzungen dieser Arbeit sind die Algorithmen zur Berechnung eines maßangepassten Oberteilgrundschnittes und die Vorstellung verschiedener medizintechnischer Anwendungen hiervon.

Mein Doktorvater Prof. Dr. Tim Lüth hat mir dieses Thema ans Herz gelegt und somit bereits früh erkannt, dass ich daran mit Begeisterung arbeiten kann. Ich danke ihm dafür, dass ich dies unter seiner Betreuung an einem hervorragend ausgestatteten Institut realisieren durfte. Des Weiteren bedanke ich mich bei Prof. Dr. Veit Senner für die Übernahme der Aufgabe des Zweitprüfers sowie für die sehr konstruktive Auseinandersetzung mit meiner Arbeit.

Darüber hinaus möchte ich mich bei meinem Mentor Dr. Franz Irlinger bedanken, der mir vor allem während der abschließenden Phase meiner Arbeit mit sehr konkreten Ratschlägen zur Seite stand. Ganz besonderer Dank gilt meinen Kolleginnen und Kollegen Kassim Abdul-Sater, Lukas Artmann, Sandra Brecht, Suat Cömert, Christian Dietz, Konrad Entsfellner, Joachim Kreutzer, Yannick Krieger, Simon Laudahn, Quirin Schmid und Matthias Träger die mich wann immer nötig mit Rat und Tat unterstützt haben. Bei der studentischen Hilfskraft Lisa-Marie Kraus bedanke ich mich für die tatkräftige Produktion von unzähligen Mustern. Für die außerdem sehr wichtige Unterstützung in allen nicht-wissenschaftlichen Fragen danke ich der Sekretärin Frau Renate Heuser und der Werkstatt unter der Leitung von Gerhard Ribnitzky und Markus Wörl. Für den fachlichen Austausch in den Bereichen Bekleidungstechnologie, Schnittkonstruktion und CAD danke ich Frau Prof. Dr. Katerina Rose und ihrer Mitarbeiterin Gabriela Kosel von der Fakultät Textil und Design der Hochschule Reutlingen.

Selbstverständlich gilt mein ganz besonderer Dank meinem Mann, meinen beiden Kindern, Eltern und Schwiegereltern. Ohne deren Flexibilität und Unterstützung wäre es mir nicht möglich gewesen, diese Arbeit fertig zu stellen.

# Gender Disclaimer

Das in dieser Arbeit gewählte generische Maskulinum bezieht sich zugleich auf die männliche, die weibliche und andere Geschlechteridentitäten. Zur besseren Lesbarkeit wird auf die Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Alle Geschlechteridentitäten werden ausdrücklich mitgemeint, soweit die Aussagen dies erfordern.

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort	ii
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung . . . . .	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit . . . . .	2
<b>2 Stand der Technik: Schnittmusterkonstruktion und Kleidungsproduktion</b>	<b>3</b>
2.1 Grade der Personalisierung . . . . .	3
2.1.1 Maßgeschneiderte Kleidung . . . . .	3
2.1.2 Konfektionskleidung . . . . .	4
2.1.3 Maßkonfektion . . . . .	4
2.2 Bekleidungsherstellung - von der Modellentwicklung bis zum Kleidungsstück . . . . .	5
2.2.1 Designentwurf und Schnittkonstruktion . . . . .	5
2.2.2 CAD-Unterstützung im Textilentwurf . . . . .	7
2.2.3 Bekleidungsherstellung: Zuschnitt und Verbinden der textilen Flächen . . . . .	9
2.2.4 Stricktechnologie für nahtlose Textilien . . . . .	10
2.3 Anthropometrie - Maße des menschlichen Körpers . . . . .	11
<b>3 Stand der Forschung: Automatische Schnittmusterkonstruktion</b>	<b>13</b>
3.1 Parametrisierte Schnittmuster und Gradierung . . . . .	13
3.2 2D-Schnittmuster aus 3D-Oberflächenscan . . . . .	13
3.2.1 Extraktion von Körpermaßen . . . . .	14
3.2.2 Skizzenbasiertes Design . . . . .	14
3.2.3 Oberflächenabflachung . . . . .	14
3.3 Entwurf von nahtlos gestrickter individualisierter Kleidung . . . . .	16
3.4 Schnitt- und Webmuster generierung für technische Anwendungen . . . . .	16
<b>4 Defizite am Stand der Technik</b>	<b>17</b>
<b>5 Konzept und eigener Ansatz</b>	<b>19</b>
5.1 Statische Konzeptbeschreibung . . . . .	19

5.2	Dynamische Konzeptbeschreibung . . . . .	20
<b>6</b>	<b>Konstruktionsalgorithmen für individualisierte Oberteilgrundschnitte</b>	<b>23</b>
6.1	Grundlagen . . . . .	24
6.1.1	SG-Library . . . . .	24
6.1.2	SVG-Dateien und DXF-Dateien . . . . .	25
6.2	Modellierung von geraden Abschnitten . . . . .	26
6.3	Modellierung von gekrümmten Abschnitten . . . . .	27
6.3.1	Bézierkurven 2. Grades für parabelförmige Abschnitte . . . . .	28
6.3.2	Bézierkurven 3. Grades für die stückweise Beschreibung von mehrfach gekrümmten Abschnitten . . . . .	29
6.3.3	Bézierkurven höheren Grades zur Abrundung von Ecken . . . . .	31
6.3.4	Vergleich mit weiteren Methoden zur Erzeugung von gekrümmten Segmenten . . . . .	33
6.4	Keilförmige Faltung als Brustabnäher . . . . .	36
6.4.1	Notwendigkeit des Abnehmers in Abhängigkeit der Körpermaße	37
6.4.2	Integration des Abnehmers in den Grundschnitt durch Rotation um Brustpunkt . . . . .	38
6.4.3	Geometrie des Faltungsdreiecks . . . . .	39
<b>7</b>	<b>Rechnergestützter Entwurf von maßangepassten Produktionsschnitten</b>	<b>42</b>
7.1	Parametrisierter Grundschnitt . . . . .	42
7.1.1	Körpermaße und Konstruktionsmaße . . . . .	42
7.1.2	Zugaben in Abhängigkeit der Elastizität des Stoffes . . . . .	44
7.1.3	Berechnung von Konstruktionspunkten . . . . .	47
7.2	Produktionsschnitt . . . . .	51
7.2.1	Verarbeitung mit Nähten, Säumen und Bündchen . . . . .	51
7.2.2	Parallelkonturen mit Naht- und Saumzugaben . . . . .	54
7.2.3	Saumfaltung und weitere Optimierungen . . . . .	56
7.3	Anwendungsbeispiele in Matlab . . . . .	59
7.3.1	Datenstrukturen . . . . .	60
7.3.2	Nutzung der Grundfunktionen zum Erstellen eines Schnittmusters . . . . .	61
7.3.3	Nutzung von Funktionen zur direkten Erzeugung aller Produktionshilfsmittel . . . . .	65

<b>8 Realisierung von Anwendungsbeispielen</b>	<b>70</b>
8.1 Exoskelett und Orthese . . . . .	71
8.2 Schutzpolster . . . . .	72
8.3 Protektoren . . . . .	73
8.4 Bewegungsaufzeichnung . . . . .	74
8.5 Textile Leiterbahnen . . . . .	75
8.6 EKG-Sensoren . . . . .	76
<b>9 Experiment zur Passformkontrolle</b>	<b>78</b>
9.1 Beschreibung des Messverfahrens . . . . .	78
9.2 Versuchsdurchführung . . . . .	80
9.3 Diskussion der Ergebnisse und Methodik . . . . .	84
<b>10 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>85</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>88</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>93</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>94</b>
<b>Anhang</b>	<b>102</b>
Vergleich der Methoden zum Maßnehmen . . . . .	102
Maßblatt . . . . .	104
Transkript: Experteninterview zu CAD-Programmen im Textilentwurf . .	105
Dokumentation Matlab: Variablennamen . . . . .	114
Matlab Beispiele . . . . .	117
Materialauswahl . . . . .	127

# 1 Einleitung

Die grundlegende Aufgabe von Kleidung ist das Bedecken und der Schutz des Körpers vor Umwelteinflüssen wie Wind, Kälte und Sonne (Eberle et al., 2013, S. 48). Kleidung kann darüber hinaus jedoch viel mehr sein. Gut sitzende Kleidung ist Schmuck und gibt dem Träger einen persönlichen Charakter. Außerdem kann Kleidung als Schutz vor Verletzungen dienen oder auch zusätzliche Aufgaben übernehmen wie z. B. das Messen von Vitalparametern (Stichwort Smarte Textilien). Die Anforderung einer guten Passform geht daher über den modischen/ästhetischen Aspekt hinaus und sichert die Funktionserfüllung der Kleidung.

## 1.1 Problemstellung

Hinter einer Konfektionsgröße verbirgt sich eine Vielzahl an Körperabmessungen, die für den Entwurf des Schnittes als Basis genommen werden. Da kaum jemand alle diese exakt erfüllt (Stephens, 2014), ist eine Konfektionsgröße stets ein Kompromiss bezüglich der Passform.

Eine gute Passform zeichnet sich aus rein ästhetischen Gesichtspunkten dadurch aus, dass sie dem Träger das gewünschte Aussehen gibt, auch bei Bewegung korrekt sitzt und keinen unschönen oder störenden Faltenwurf erzeugt. Jedoch gibt es auch technische Anwendungen, die eine gute Passform erfordern:

- Ein Faltenwurf unter Exoskeletten oder Orthesen führt zu unerwünschten Druckstellen. Dies ist besonders problematisch, da Exoskelette häufig zur Kompensation neurologischer Erkrankungen (Aach et al., 2015; Iandolo et al., 2019) eingesetzt werden und genau diese Patientengruppe Druckstellen nicht spürt. Es kann infolgedessen bei kurzer starker oder niedriger langer Druckdauer zu einer Minderdurchblutung (Ischämie) und somit zu einem Sauerstoff- und/oder Nährstoffmangel im Gewebe (Hypoxie) führen. Abhilfe kann hier zusätzlich geschaffen werden, indem an den korrekten Stellen in die Kleidung schützende Polster integriert werden, um Druckstellen und Blasen zu verhindern.
- Ein Trend geht hin zur Integration von Elektronik in Kleidung für Anwendungen im Gesundheitswesen, aus dem Bereich des Internet of Things (IoT) (Shi et al., 2020) oder auch im Leistungssport (Nusser u. Senner, 2010). Wenn hierbei Sensoren in die Kleidung integriert werden, setzt dies voraus, dass diese an der exakten Position mit dem korrekten Anpressdruck platziert sind. Beispiele sind das Erfassen von Muskelaktivität mittels EMG (Kim et al., 2020), der Herzaktivität mittels EKG (Ruiz et al., 2021) oder von Gelenkstellungen (Hermann et al., 2020) durch textilintegrierte Sensorik.

## 1.2 Zielsetzung der Arbeit

Die am Lehrstuhl entwickelte SG-Library (Matlab Bibliothek zur Generierung, Optimierung und Simulation von Festkörpergeometrien - Solid Geometry) für das automatisierte Konstruieren wird genutzt, um Algorithmen zum Entwurf von Schnittvorlagen für die Herstellung maßgeschneiderter Kleidung zu entwickeln. Mit ihnen sollen sich auch mit geringen Kenntnissen im Schnittmusterentwurf und dem Nähen schnell und zuverlässig Kleinserien von maßgeschneiderten Shirts herstellen lassen. Der Anwender soll dazu nur wenige Parameter wie Körpermaße (händisch gemessen oder aus einem Oberflächenscan) und die Stoffart sowie die Fertigungsmethode vorgeben. Basierend darauf wird automatisch ein individuelles Schnittmuster berechnet. Anschließend können die Stoffteile mit einem Laserschneider (Laser Cutter) zugeschnitten und zu einem passgenauen Kleidungsstück verbunden werden oder die entsprechenden Dateien werden an einen externen Anbieter für die Fertigung gesendet.

Für die rechnergestützte Berechnung von Schnittmustern ist eine mathematisch formalisierte Beschreibung der Kontur eines solchen erforderlich. Im Rahmen dieser Arbeit werden alle notwendigen Schritte von der Beschreibung gekrümmter oder gefalteter Schnittmusterabschnitte über die Parametrisierung auf Grundlage von Körpermaßen bis hin zur Berechnung von Zugaben für Passform und Produktion am Beispiel eines Oberteilgrundschnittes entwickelt und vorgestellt.



## 2 Stand der Technik: Schnittmusterkonstruktion und Kleidungsproduktion

Zur Herstellung von Kleidung sind diverse Schritte vom Entwurf des Designs, der Schnittkonstruktion, dem Zuschnitt und dem Fügen der textilen Flächen notwendig. Insbesondere für die Personalisierung von Kleidung sind die Ermittlung der Körpermaße und die Schnittkonstruktion von Bedeutung. Kleidung wird in unterschiedlichen Graden der Personalisierung angeboten. Das Spektrum reicht hier von Serienproduktionen in Standardgrößen bis hin zu handwerklich maßgeschneiderter Kleidung.

### 2.1 Grade der Personalisierung

Je nach Anspruch des Kunden kann Kleidung in unterschiedlichem Grad der Personalisierung erworben werden. Während maßgeschneiderte Kleidung in handwerklicher Fertigung und als Einzelstücke hergestellt wird, werden in Serienproduktionen Kleidungsstücke in Standardgrößen gefertigt. Darüber hinaus wird Kleidung aus industrieller Maßkonfektion angeboten, bei der kundenindividuelle Anpassungen des Schnitts und Designs realisiert werden.

#### 2.1.1 Maßgeschneiderte Kleidung

Bei einem Maßschneider wird der Fokus auf eine persönliche Beratung, gute Passform und die Umsetzung individueller Wünsche und Ideen gelegt. Die handwerkliche Anfertigung dauert mehrere Wochen und verläuft in folgenden Schritten:

- Maßnahmen von Längen- und Weitenmaßen sowie die Untersuchung auf Einseitigkeiten (Asymmetrien) oder Besonderheiten der Figur (z. B. ausgeprägtes Hohlkreuz, starker Nacken)
- Konstruktion eines individuellen Maßschnittes anhand eines Schnittmustersystems (z. B. Cabrera u. Antoine 2015; Gilewska 2014; Hofenbitzer 2009; Stiegler 2017) unter Berücksichtigung von Figurbesonderheiten (z. B. Hofenbitzer 2013) und Einbeziehung von Erfahrungswerten
- Mehrmalige Anproben zur Überprüfung der Passform (z. B. Veblen 2013) und Festlegung von schnitttechnischen Details (z. B. Lage der Taschen und Knopflöcher)

Durch den hohen Zeitaufwand sind diese Einzelanfertigungen teurer als vergleichbare Konfektionsware. Maßgeschneiderte Kleidung zeichnet sich jedoch durch eine individuelle Note und durch eine hohe Qualität von Material und Verarbeitung aus (Eberle et al., 2013).

### 2.1.2 Konfektionskleidung

Konfektionskleidung wird in Serienfertigung oder auch Massenfertigung hergestellt. Die Kleidung wird in Einheitsgrößen produziert. Jede Einheitsgröße wird durch eine Vielzahl an Körpermaßen definiert (Eberle et al., 2013, S. 231ff). Als Grundlage für die Schnittkonstruktion dienen firmenspezifische Größentabellen, die auf Reihemessungen basieren. Der Kunde kann zwischen verschiedenen Modellen wählen, hat aber keinen Einfluss auf Material, Form und Verarbeitung. Durch die rationelle Fertigung sind die Kleidungsstücke jedoch preisgünstiger als Maßanfertigungen. (Eberle et al., 2013, S. 209)

### 2.1.3 Maßkonfektion

Die Maßkonfektion (Made-to-Measure, MtM) ist eine industrielle Maßanfertigung (Eberle et al., 2013, S. 208, 231). Sie ist ein Kompromiss aus Maßschneiderei und Konfektionsware. Hierfür werden Kundenmaße sowie Wünsche bezüglich sonstiger Produkteigenschaften (z. B. Material) erfasst. Als Grundlage wird ein bestehender Konfektionsschnitt gewählt, welcher am ehesten zu den Kundenmaßen passt. Dann werden figurspezifische Änderungen daran vorgenommen.

Die Maßkonfektion wird meist von Ketten mit mehreren Filialen angeboten. Anbieter sind beispielsweise:

- Rebmann Maßkonfektion (Rebmann Fashion Style e.K., Deutschland, Braunschweig): 2 Filialen
- Cove (Cove GmbH & Co. KG, Düsseldorf, Deutschland): 15 Filialen
- Kuhn Maßkonfektion (KUH N Maßkonfektion KG, Schneeberg, Deutschland): 18 Filialen
- Dolzer (DOLZER Maßkonfektionäre GmbH, Schneeberg, Deutschland): 19 Filialen und Online Shop (Maße werden immer in Filiale genommen)
- Tailorjack (tailorjack GmbH, Hamburg, Deutschland): Online Shop mit Anleitung zur Selbstvermessung
- Anbieter von Skisprunganzügen wie Fischer (Fischerkleidung GmbH, Schuttertal-Schweighausen, Deutschland) und Meininger (Meininger Jumpsuits, Bessenbach, Deutschland) fertigen nach Körpermaßen Skisprunganzüge an (Hintergrund: Regularien für maximale Mehrweiten).

Die Vermessung erfolgt in der Regel wie bei der Maßschneiderei mithilfe eines Maßbands. Die meisten Unternehmen setzen hier auf geschultes Personal. Anstelle des Maßbands können zur Zeitersparnis auch 3D Bodyscanner (z. B. Vitus Bodyscan von Vitronic, Avalution GmbH, Kaiserslautern, Deutschland) eingesetzt werden.

Eine alternative Vermessungsmöglichkeit bietet das Unternehmen Zozo (ZOZO Inc., Chiba, Japan)<sup>1</sup> an. Hierbei werden die Körpermaße mithilfe eines Spezialanzugs und der Kamera eines Smartphones erfasst. Der Modeanbieter hat Kleidung in vielen Größen vorproduziert und der Kunde erhält innerhalb weniger Tage das am besten passende Kleidungsstück zugeschickt. Ist kein passendes Modell vorrätig, wird aus einer Großzahl von Schnittmustervariationen das nächstbeste gewählt und neu angefertigt.

## 2.2 Bekleidungsherstellung - von der Modellentwicklung bis zum Kleidungsstück

Bei der Herstellung eines neuen Kleidungsstücks wird zunächst dessen Design entworfen. Anschließend erfolgt die technische Schnittkonstruktion. Hierzu kann CAD-Software unterstützend zum Einsatz kommen. Der entworfene Schnitt wird maschinell zugeschnitten und die Schnittteile anschließend durch Nähen oder Schweißen zum fertigen Kleidungsstück verbunden. Alternativ ist es auch möglich, mithilfe der Stricktechnologie nahtlose Textilien herzustellen.

### 2.2.1 Designentwurf und Schnittkonstruktion

**Entwurf (Design)** Die Modellerstellung im kreativen Bereich wird als Entwurf bzw. Design bezeichnet. Hierzu wird entweder ein Modellentwurf von Hand gezeichnet, mit einem CAD-System erstellt oder er wird an einer Büste modelliert (Eberle et al., 2013, S. 150).

**Schnittkonstruktion** Die Schnittkonstruktion ist der technische Bereich der Modellerstellung. Sie beschreibt die zeichnerische Entwicklung der Schnittteile eines Kleidungsstückes und kann manuell oder computergestützt erfolgen (Eberle et al., 2013, S. 150). In Deutschland und vielen anderen europäischen Ländern hat sich hierfür das Schnittsystem M. Müller und Sohn verbreitet, welches den Zuschnitt auf zu den Körpermaßen proportionale Berechnungen stützt.

Auf Grundlage von Körpermaßen (individuelles Kleidungsstück), Tabellenmaßen (entsprechend Kleidergrößen) oder Warenmaßen (Fertigmaße des Kleidungsstückes) wird zuerst ein *Grundschnitt* konstruiert (siehe Abbildung 2.1). Aus diesem wird der *Modellschnitt* entwickelt. Dieser wird mit Nahtzugaben und Verarbeitungsmarkierungen ergänzt, um den *Produktionsschnitt* zu erhalten.

**Grundschnitte** Im folgenden Abschnitt wird der Fokus auf Oberteil-Grundschnitte gelegt, da sich auch die vorliegende Arbeit mit der Schnittmusterkonstruktion von Oberteilen beschäftigt. Während ein Rock oder eine Hose an der Taille passend

---

<sup>1</sup>Das Unternehmen zog sich jedoch aufgrund von Verlusten im April 2019 vom europäischen sowie nord- und südamerikanischen Markt zurück.

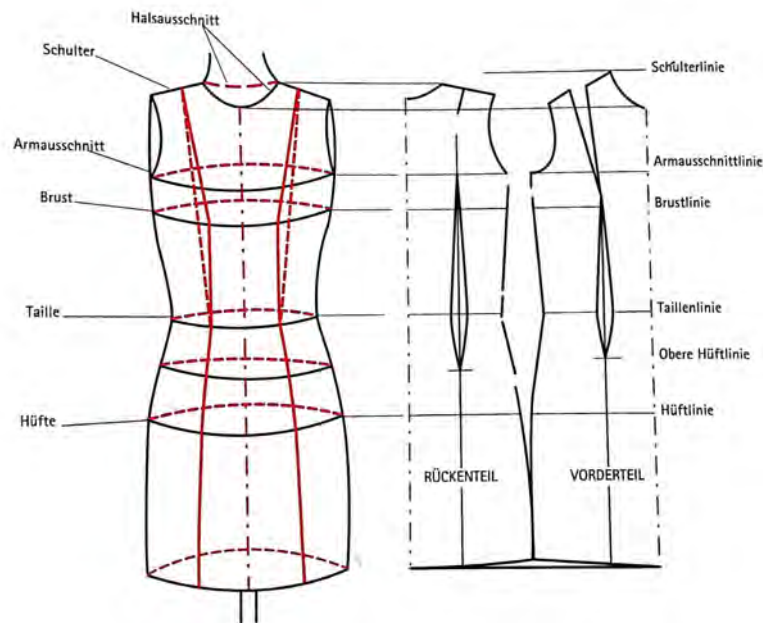


Abb. 2.1: Konstruktion eines Grundschnittes für ein Damenoberteil anhand von Körpermaßen (entnommen aus: Gilewska 2015, S. 14)

anliegen muss, um Halt zu haben, liegt ein Oberteil auf den Schultern auf und kann daher mehr Weite haben, ohne dass es an Halt verliert. Genau diese Weite charakterisiert verschiedene Oberteil-Grundschnitte. Der Grundschnitt muss darüber hinaus stets zum gewählten Material passen. (Hofenbitzer, 2009, S. 129)

Im Wesentlichen wird zwischen drei Grundkonstruktionen unterschieden (Hofenbitzer, 2009, S. 129):

- Grundschnitt für legere Oberteile ohne Abnäher - bei eng anliegenden Passformen ist der Schnitt nicht uneingeschränkt für alle Figurentypen geeignet, da der Brustbereich nicht stark abgeformt wird
- Grundschnitt für taillierte Oberteile mit Abnäher - für nahezu alle Figurentypen auch bei eng anliegender Passform geeignet
- Grundschnitt für enge Oberteile aus elastischem Material mit und ohne Abnäher - bei sehr eng anliegenden Passformen geeignet

Jeder Grundschnitt kann mit unterschiedlichen Zugaben konstruiert werden, welche bei positiven Werten eine Mehrweite des Kleidungsstückes charakterisieren. Bei elastischen Materialien kann für hautenge Bekleidung die Zugabe auch negativ sein, was einem Dehnbetrag für den Stoff entspricht.

**Bekleidungssysteme** Bekleidungssysteme sind verschiedene, aufeinander abgestimmte Bekleidungsschichten (Hofenbitzer, 2013, S. 258). Ein Bekleidungssystem kann beispielsweise aus Unterwäsche, Shirt und Jacke bestehen. Auch die Kombination aus eng anliegender Kleidung und einem dazu getragenen Exoskelett kann

als ein solches System betrachtet werden. Die erste Schicht auf dem Körper (Unterwäsche) soll durch einen guten Feuchtigkeitstransport trocken halten und nicht drücken oder kneifen. Da stets eine Elastizität gefordert ist, eignet sich hierfür Maschenware aus Kunststoff- oder Baumwollfasern, häufig mit einer elastischen Beimischung.

**Gradieren unterschiedlicher Größen** Die unterschiedlichen Größen werden ausgehend von dem Erstschnitt durch Gradieren abgeleitet (siehe Abbildung 2.2). Eine Voraussetzung für das direkte Gradieren ist, dass die Maße der unterschiedlichen Kleidergrößen proportional sind, d. h. die Entwicklungskoeffizienten bei zwei aufeinanderfolgenden Größen gleich sind (Gilewska, 2014, S. 26). Ist dies nicht der Fall, so müssen Differenzbeträge berechnet und bei der Gradierung berücksichtigt werden (Eberle et al., 2013, S. 151). Beim rechnergestützten Gradieren mit hinterlegten Körpermaßtabellen oder individuellen Tabellenmaßen erfolgt jeweils eine neue Konstruktion des Grundschnittes eines Modells mit den hinterlegten Konstruktionsvorschriften. (Eberle et al., 2013, S. 151f)

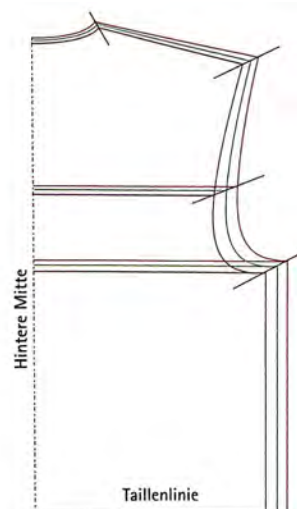


Abb. 2.2: Gradierung eines Oberteilschnittmusters zur Ableitung unterschiedlicher Kleidergrößen (entnommen aus:Gilewska 2014, S. 26)

### 2.2.2 CAD-Unterstützung im Textilentwurf

Für die Schnittkonstruktion ist der Einsatz von Software etabliert, da hiermit gegenüber der manuellen Konstruktion Zeit eingespart wird, Schnitte einfach angepasst werden können und die Versionen sich digital verwalten lassen. Hierfür können Zeichenprogramme für Vektorgrafiken wie Adobe Illustrator (Adobe, San José, USA), Inkscape (freie Software entwickelt von der Inkscape-Community), CorelDraw (Corel, Ottawa, Kanada) genutzt werden. Darüber hinaus gibt es folgende professionelle Software speziell für die Schnittkonstruktion:

- GRAFIS CAD Bekleidungskonstruktion (GRAFIS Software Dr. K. Friedrich GbR, Viersen, Deutschland)
- Pattern DESIGNER (Gemini CAD Systems SA, Iasi, Rumänien)
- AccuMark (Gerber Technology GmbH, Ismaning, Deutschland)

Diese drei Softwares bieten alle die grafische Schnittkonstruktion, jedoch unterstützt GRAFIS als einzige Software die auf Grundlage von Körpermaßen parametrisierte Konstruktion und somit die Erstellung von interaktiven Schnitten.

Darüber hinaus gibt es umfangreiche Softwares für die Textiltechnik und das Modedesign, die viele Schritte des Produktentwicklungsprozesses abdecken:

- Assyst (Assyst GmbH, Aschheim-Dornach, Deutschland)
- Optitex (Optitex, New York, USA)
- Lectra (Lectra Systems SA, Paris, Frankreich)

In dieser Software können teilweise auch Schnittkonstruktionen durchgeführt werden, jedoch nicht im parametrisierten konstruktiven Verfahren, wie es im Schnittsystem M. Müller und Sohn vorgesehen ist. Dafür umfassen diese Softwares jeweils in eigenen Tools Aufgaben wie beispielsweise das Legen von Schnittbildern und die Animation von Kleidung. Eine Besonderheit von Optitex ist die Fähigkeit, auch den Weg von 3D zu 2D anhand der Abrollung zu unterstützen. Dies wird in der Möbel- und Automobilindustrie eingesetzt.

Darüber hinaus gibt es Software, die primär für die 3D-Animation genutzt werden kann:

- VStitcher (Browzwear Solutions Pte Ltd, Singapur): verfügt über eine direkte Schnittstelle zur Konstruktionssoftware GRAFIS
- CLO 3D (CLO Virtual Fashion LLC, NY, USA): Animation speziell für Bekleidungsindustrie, beruht auf dem MarvelousDesigner für Animationen von Spielen und Filmen
- Darüber hinaus können auch klassische Softwares für die computergestützte 3D-Modellierung wie die kommerzielle Software Rhinoceros 3D (Robert McNeel & Associates, Seattle, USA) und die frei lizenzierte Software Blender (Blender Foundation) eingesetzt werden.

Neben der bereits vorgestellten professionellen Software gibt es auch Software, die primär im Heimbedarf Anwendung findet:

- PatternMaster (Wild Ginger Software, Konstron Springs, USA): Hier können Sammelpakete von fertigen Schnittmustern in Form von "Boutiquen" gekauft werden, die dann je nach gewünschtem Stil und Körpermaßen angepasst werden können.

- PatternMaker (Pattern Made 4 You, Woerden, Niederlande): Zeichnen von Schnitten oder gemeinsam mit MacroGen anhand von Makros programmieren

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass viele CAD-Programme für den Textilentwurf verfügbar sind, jedoch in Form von unterschiedlichsten Tools spezialisiert auf einzelne Aufgaben. Die Benutzung der Programme zur Erstellung eigener Kleidungsstücke setzt Vorwissen im Bereich Schnittmusterkonstruktion sowie grundlegende Kenntnisse im Umgang mit der jeweiligen Software voraus <sup>2</sup>.

### 2.2.3 Bekleidungsherstellung: Zuschnitt und Verbinden der textilen Flächen

In der Fertigung muss als erster Schritt das entworfene Produktionsmuster aus Stoff, der als Rollenware vorliegt, zugeschnitten werden. Vor dem Zuschnitt werden häufig mehrere Stoffbahnen übereinander gelegt. Dies kann rein manuell, mit Legewagen oder Legeautomaten erfolgen (Eberle et al., 2013, S. 157).

Für den Feinausschnitt der einzelnen Schnittteile werden folgende Maschinen eingesetzt (Eberle et al., 2013, S. 158):

- Manueller Zuschnitt mit Kreismessermaschinen, Stoßmessermaschinen oder Bandmessermaschinen
- Stanzmaschinen mit vorgefertigten Schneidwerkzeugen vor allem für Leder und beschichtete Materialien
- Zuschneideautomaten (Cutter) für den vollautomatischen Zuschnitt mittels Vertikalmesser, Laserstrahlen, Plasmastrahlen und Wasserstrahl

Zum Verbinden von textilen Flächen wird das Nähen und das Schweißen eingesetzt. Hierfür stehen jeweils spezielle Näh- und Schweißmaschinen zur Verfügung.

**Serienfertigung** In der Serienproduktion werden zum Nähen für unterschiedliche Nahttypen jeweils eigene Maschinen eingesetzt (Eberle et al., 2013, S. 175ff). Zum Beispiel gibt es

- Einfachkettenstichmaschinen für gerade Nähte oder Zickzacknähte,
- Blindstichmaschinen für (unsichtbare) Säume,
- Überwendlichmaschinen für Versäuberungsnähte oder kombinierte Schließ- und Versäuberungsnähte sowie
- Knopflochautomat und Knopfannähautomat.

Darüber hinaus gibt es CNC-gesteuerte Nähanlagen, die z. B. Aufgaben wie das Nähen von Kragen oder Taschen übernehmen.

---

<sup>2</sup>Siehe Experteninterview mit Prof. Dr. Katerina Rose im Anhang.

**Kleinserien** Für die Anfertigung von kleinen Stückzahlen oder auch für den Heimbedarf gibt es Maschinen, die mithilfe von unterschiedlichem Zubehör eine Vielzahl an Aufgaben übernehmen können (Maynard, 2012, S. 12f). Hierfür werden folgende Maschinen angeboten:

- Nähmaschine für alle Nähte im Stoff, u.a. für Säume, Reißverschlüsse oder aufgenähte Taschen
- Overlock (Überwendlichmaschine) für Nähte an der Stoffkante
- Coverlock (optional, Ergebnis aber der Nähmaschine überlegen) für Säume

**Textiles Schweißen** Das Schweißen wird wie das Nähen zum Fügen verwendet (Nahtverschweißen), aber auch für die Nahtabdichtung von Funktionskleidung. Es bezeichnet die Verbindung thermoplastischer Textilien aus Polyester. Hierzu werden das Heizkeil- und Heißluftverfahren sowie das Ultraschallschweißen eingesetzt (Eberle et al., 2013, S. 193).

#### 2.2.4 Stricktechnologie für nahtlose Textilien

Mithilfe der Stricktechnologie werden elastische Wirkwaren hergestellt. Je nach Anordnung der Nadelträger kann entweder Schlauchware im Rundstrickverfahren oder Bahnware im Flachstrickverfahren hergestellt werden (Trümper, 2011, S. 240f).

Beim nahtlosen (seamless) Stricken wird ein komplettes Kleidungsstück durch mehrere verschiedene Zuführungen mit minimalen oder keinen Schneide- und Nähvorgängen erstellt (Nawaz u. Nayak, 2015, S. 374). Es wird also direkt das Kleidungsstück gestrickt, anstatt den Stoff zu stricken, aus dem die Musterteile zugeschnitten und zu einem Kleidungsstück gefügt werden. Die Techniken in der Produktion solcher Kleidungsstücke umfassen die Variation der Anzahl von Maschen in jeder Reihe durch ein Auf- oder Abnehmen von Maschen am Reihenende oder in der Mitte sowie das Rundstricken von Schläuchen (Nawaz u. Nayak, 2015, S. 375f).

Beispiele für nahtlose Produkte sind Socken, Handschuhe, Unterwäsche, Sportkleidung und medizinische Textilien. Aus dem Bereich der medizinischen Textilien stellt der Kompressionsstrumpf ein Beispiel dar, bei dem patientenindividuelle Maße als Grundlage genommen werden. Die Kompressionsstrümpfe können nahtlos mithilfe der Rundstricktechnik hergestellt werden. In jeder Reihe sind hierbei die gleiche Anzahl von Maschen, jedoch wird deren Größe variiert. Bei großen Unterschieden im Durchmesser innerhalb eines Strumpfes wird auch hier die Flachstricktechnik angewendet und das zweidimensionale Gestrick anschließend mit einer Naht zu einem Schlauch geschlossen.

Aufgrund der umfangreichen Möglichkeiten zur Formgebung gemeinsam mit der einstellbaren Maschenlänge ergeben sich somit Möglichkeiten für eine faltenfreie



Abbildung von komplexen Geometrien, die gestrickte Halbzeuge auch für den Einsatz in Faserverbundbauteilen qualifizieren (Trümper, 2011, S. 225).

Durch Erweiterungen der nahtlosen Flachstricktechnik um das Einbringen von Füllfäden für Polsterungen, die Kombination aus verschiedenen Strickmustern sowie die Kombination aus Strick- und Webtechnik lassen sich dreidimensionale Strukturen herstellen. Solche 3D-Strickmaschinen werden von der Firma Stoll (Obertshausen, Deutschland) und Shima Seiki (Sakata Wakayama, Japan) hergestellt. Mithilfe dieser Technologie können beispielsweise Teile von Sportschuhen oder Sitzpolsterungen hergestellt werden.

## 2.3 Anthropometrie - Maße des menschlichen Körpers

Der Begriff Anthropometrie setzt sich aus den griechischen Begriffen *anthropos* für ‚menschlich‘ und *metron* für ‚Maß‘ zusammen. Die Anthropometrie beschreibt die Untersuchung und Messung der physischen Maße und der Masse des menschlichen Körpers (DIN EN ISO 15535, 2012) und ist somit die Lehre der Ermittlung und Anwendung der Maße des menschlichen Körpers. Bekannte Anwendungsfelder anthropometrischer Daten sind die Bekleidungsindustrie und die Ergonomie, insbesondere der Arbeitsschutz (Gebhardt et al., 2009).

Übliche Messmittel sind Anthropometer (große Messschieber), Gleitzirkel (Messschieber), Tasterzirkel (Auflagefläche punktförmig), Waage und flexibles Maßband (DIN EN ISO 7250-1, 2017). Gemessen wird zwischen eindeutigen Orientierungspunkten wie beispielsweise spürbaren Knochenpunkten.

Eine Charakterisierung von Körpermaßen für technische Gestaltungsaufgaben ist in DIN EN ISO 7250-1 beinhaltet, während Durchschnittswerte in Perzentilen in DIN 33402-2 (2005) angegeben sind. Die entsprechenden Maße sind in weiten Teilen deckungsgleich (siehe Tabelle 2.1). Jedoch gibt es in zweitgenannter Norm mehr Maße für einzelne Körperabschnitte, was großteils darauf zurückzuführen ist, dass hier alle Finger, in DIN EN ISO 7250-1 (2017) dagegen nur Daumen und Zeigefinger, vermessen werden.

Die anthropometrischen Definitionen für Körpermaße zur Herstellung von Kleidung werden in ISO 5889-1 (2017) vorgestellt. Hierfür werden zunächst Punkte und Ebenen am menschlichen Körper definiert, die für die Beschreibung der Längen und Umfänge genutzt werden. Einige der in den beiden DIN-Normen für die technische Gestaltung genannten Maße werden auch in der Schneiderei benutzt. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass unter gleichen Namen unterschiedliche Maße verstanden werden können. Beispielsweise wird die Sitzhöhe in DIN EN ISO 7250-1 (2017) von der Sitzfläche bis zum höchsten Punkt des Kopfes gemessen, während die Sitzhöhe in der Schneiderei nur von der Sitzfläche bis zur Taillenhöhe gemessen wird (Hofenbitzer, 2009).

Tab. 2.1: Einteilung der Körpermaße: Die in ISO 5889-1 (2017) beschriebenen Maße für die Schneiderei finden sich teilweise in DIN EN ISO 7250-1 (2017) für die technische Gestaltung wieder und werden um weitere ergänzt. In der Schneiderei genügt häufig eine reduzierte Anzahl an Maßen, wie sie beispielsweise Hofenbitzer (2009) nutzt.

	Maße in der Schneiderei nach ISO 5889-1 (2017)	Maße für die technische Gestaltung nach DIN EN ISO 7250-1 (2017)	Gängige Maße in der Schneiderei nach Hofenbitzer (2009)
Vertikale Maße	18	15	6
Breiten und Weiten	7	12	1
Umfangsmasse	28	9	13
Längen entlang der Körperoberfläche	23	0	6
Hand- und Fußmaße	7	12	0

Die letzte große deutsche Reihenmessung (SizeGERMANY) wurde 2007/2008 als Gemeinschaftsprojekt der Human Solutions GmbH (Kaiserslautern, Deutschland) und der Hohensteiner Institute (Bönnigheim, Deutschland) unter Beteiligung von über 80 Unternehmen aus Textil- und Automobilindustrie durchgeführt. Hierbei wurden mittels 3D-Bodyscannern an 13.362 Männern, Frauen und Kindern in vier Haltungen (3 Steh- und 1 Sitzhaltung) Maße abgenommen. Die Ergebnisse stehen nur den beteiligten Partnern zur Verfügung. (SizeGermany, 2009)

## 3 Stand der Forschung: Automatische Schnittmusterkonstruktion

Während die parametrische Beschreibung von Schnittmustern bereits im Stand der Technik erläutert wurde, wird im Bereich der Forschung der Schwerpunkt auf die automatisierte und rechnergestützte Erstellung der Schnittmuster gelegt. Eine große Zahl an Forschungsarbeiten beschäftigt sich mit der Nutzung von 3D-Oberflächenmodellen zum Extrahieren von 2D-Körpermaßen.

### 3.1 Parametrisierte Schnittmuster und Gradierung

Ein gängiges Vorgehen beim rechnergestützten Kleidungsentwurf und der Simulation ist die Anpassung des 2D-Modells und die anschließende Simulation an einem virtuellen Menschmodell. Jedoch sind die manuelle Anpassung des Schnittmusters und die Simulation zeitintensive Tätigkeiten. Jiang et al. (2020) variieren daher 2D-Schnittmuster auf Grundlage von individuellen Körpermaßen mit dem Ziel, die Iterationsschritte zwischen den Änderungen im 2D-Schnittmuster und der Passformkontrolle der 3D-Simulation gering zu halten. Hierfür definieren die Autoren Anpassungsfunktionen in Bezug auf Weitenzugaben, Designpunkte und -linien des Kleidungsstückes.

Han et al. (2014) kombinieren die beiden Methoden der parametrisierten Schnittmuster und der Gradierung in einem Computersystem. Dieses erfordert die Eingabe von Körperabmessungen, des Ausgangsschnittmusters, der Gradierungswerte des Musters und der Änderungsregeln. Das Schnittmuster wird zuerst gradiert und anschließend mithilfe der Änderungsregeln den Körpermaßen weiter angepasst. Die genauen Regeln der Gradierung und Änderung sowie die verwendeten Programme sind nicht Bestandteil der Veröffentlichung.

### 3.2 2D-Schnittmuster aus 3D-Oberflächenscan

Mit der zunehmenden Verfügbarkeit von 3D-Oberflächenscannern rückt die Ableitung von 2D-Schnittmustern aus dreidimensionalen virtuellen Modellen stärker in den Fokus. Eine Einordnung unterschiedlicher Ansätze hierzu wird im Folgenden vorgestellt.

### 3.2.1 Extraktion von Körpermaßen

Eine häufig eingesetzte Methode ist, aus einem 3D-Oberflächenscan 2D-Maße zu extrahieren (in der Regel aus Querschnitten, evtl. Mittelung zwischen mehreren Querschnitten) und dann das Schnittmuster formelbasiert (parametrisiert) zu beschreiben. Hao et al. (2010) stellen eine Fuzzy-Logik vor, um aus den aus 3D-Scandaten extrahierten Körpermaßen Figurbesonderheiten abzuleiten. Dies ist die Grundlage, um die passenden Methoden für die Anpassung des Schnittmusters an die Figurbesonderheit auszuwählen.

### 3.2.2 Skizzenbasiertes Design

Das skizzenbasierte Design soll vor allem Designer unterstützen, ihre Ideen auszudrücken. Ein Ansatz hierbei ist das Zeichnen des Kleidungsstückes direkt auf das 3D-Modell (siehe Abbildung 3.1). Dieses Vorgehen bietet sich vor allem für eng sitzende Kleidung wie Badekleidung an (Zhong, 2011). Die Skizze wird auf das 3D-Modell projiziert und diese Kontur mit einer Bézierkurve angenähert. Anschließend wird die Fläche mithilfe der Delaunay-Triangulation vernetzt.



Abb. 3.1: Skizze des Grundschnittes auf dem Modell und anschließende Vernetzung zu einer Fläche (entnommen aus: Zhong 2011)

### 3.2.3 Oberflächenabflachung

Eine weitere Methode ist das Abwickeln der 3D-Fläche auf eine 2D-Fläche (siehe Abbildung 3.2). Da der menschliche Körper aus konkaven und konvexen Bereichen besteht, ist es nicht trivial, direkt 2D-Schnittmuster aus 3D-Daten abzuleiten. Die Oberflächenabwicklung (surface flattening) wurde bereits in einer Vielzahl an Forschungsarbeiten untersucht (Su et al., 2015). Der Vorteil ist, dass Figurbesonderheiten beibehalten und im Schnittmuster berücksichtigt werden.

Für die Abwicklung werden folgende Methoden benutzt (Zhong, 2011):

- Least squares conformal maps (LSCM method): Die Methode stammt aus dem Bereich der Computergrafik für die Texturierung von Flächen. Die Anforderung ist hierbei, dass die Tangentenvektoren orthogonal bleiben und die gleichen Längen besitzen (Lévy et al., 2002).
- Physikalische Prinzipien mit Masse-Feder-Systemen und Straffunktionen: Hier wird versucht, die Verformung der einzelnen triangulierten Flächen gering bzw. gleichmäßig zu halten.

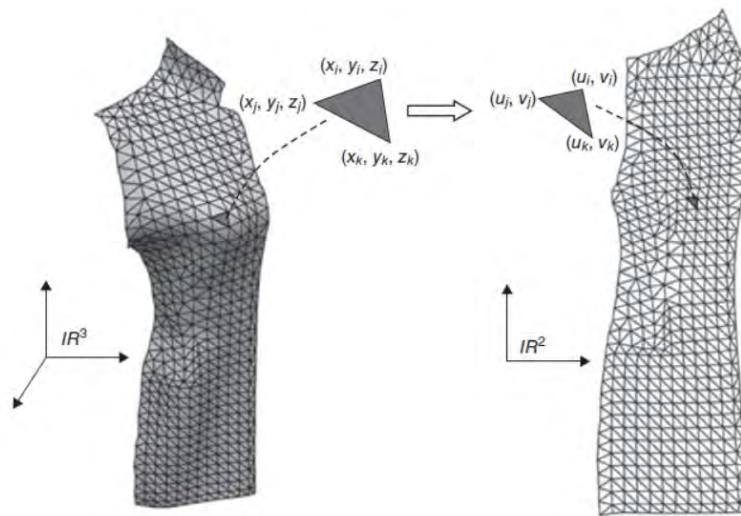


Abb. 3.2: Die 3D-Oberfläche wird zu einem 2D-Schnittmuster abgeflacht. Hierbei handelt es sich um die Optimierungsaufgabe, die Verzerrung der Dreiecke gering zu halten (entnommen aus: Zhong 2011).

Eine Herausforderung bei dieser Herangehensweise ist es, als Ausgangsmodell stets ein gleichmäßig vernetztes Oberflächenmodell ohne Artefakte zur Verfügung zu haben. Kim et al. (2010) nehmen den Körper daher dreidimensional mithilfe eines taktilen Messsystems auf. Da hierfür zuvor auf dem Körper gekennzeichnete Linien abgefahren werden, wird die Oberfläche mit vorhersagbaren Linien und Vernetzungen beschrieben. Diese erlauben ein anschließendes Abwickeln zu einem zweidimensionalen Schnittmuster.

Park et al. (2011) kombinieren die beiden Methoden (Extraktion von Körpermaßen und Abwicklung von Flächen), indem sie im 3D-Scan mehrere Umfänge messen, dazwischen mitteln und auf Grundlage davon ein gleichmäßig vernetztes Standardmodell anpassen. Dieses wird dann mit der Methode von Choi et al. (2007) zu einem 2D-Schnittmuster abgewickelt.

### **3.3 Entwurf von nahtlos gestrickter individualisierter Kleidung**

Für einen automatisierten Herstellungsprozess von Kleidung eignet sich das nahtlose Flachstricken in besonderem Maße, da sehr wenig manuelle Arbeit zum Fügen zu einem Kleidungsstück notwendig ist. Surc et al. (2020) stellen einen Prozess vom 3D-Körperscan bis zum gestrickten Kleidungsstück vor. Aus dem 3D-Oberflächenscan werden die Körpermaße ermittelt. In der CAD-Software Assyst (Assyst GmbH, Aschheim-Dornach, Deutschland) wird ein individualisiertes Schnittmuster entworfen, indem zuerst die best geeignete Standardgröße gewählt wird und das Schnittmuster anschließend mithilfe von Abweichungswerten variiert wird. Anschließend wird in einer in Python programmierten Software der Maschinencode für den Strickprozess generiert. Weitere Anwendungen für die automatisierte Generierung von Strickmustern für Strickmaschinen werden von Popescu et al. (2018) und Liu et al. (2020) aus dem Bereich Design vorgestellt.

### **3.4 Schnitt- und Webmuster generierung für technische Anwendungen**

Neben dem Abformen des menschlichen Körpers mittels Kleidung wurde auch die Prototypenentwicklung dreidimensionaler Hüllen für technische Anwendungen untersucht. Die Verstärkungsfasern für Verbundwerkstoffe können prinzipiell zu einem dreidimensionalen Gewebe (gewebt) oder einem dreidimensionalen Gewirke (gestrickt) sein. Dreidimensionale Gewebe können grundsätzlich auf zwei Arten hergestellt werden (Chen et al., 2011). Bis zu einer gewissen Dicke des Materials kann die konventionelle Webtechnik genutzt werden. Durch den Einsatz speziell entwickelter 3D-Webvorrichtungen können größere Geometrien erzeugt werden. Liu et al. (2020) zeigen, dass für die Herstellung gestrickter Faserstrukturen sowohl professionelle Strickmaschinen als auch eingeschränkt Haushaltsstrickmaschinen eingesetzt werden können.

Schindler et al. (2019) stellen die Entwicklung von dreidimensionalen, netzartigen Gewebestrukturen für carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) vor. Diese geformten CFK-Verstärkungsstrukturen können flexibel gestaltet und auf den Lastenverlauf ausgelegt werden. Bei der Produktion fallen kaum Abfälle von Fasermaterial an, und in Experimenten konnte eine höhere Leistungsfähigkeit gezeigt werden als bei konventionellen Bauteilen mit gleichem Faser- und Matrixgewicht.

## 4 Defizite am Stand der Technik

Jedem Kleidungsstück liegt eine Reihe von Maßen zugrunde, die für dessen Passform ausschlaggebend sind. Bei **Konfektionsware** wird in der Regel nur ein Kompromiss bezüglich der Passform erzielt, da kaum eine Person alle Ausgangsmaße exakt erfüllt (Stephens, 2014). Diese Tatsache zeigt auch eine beispielhafte Untersuchung anhand der Hosengrößen der dänischen Armee (Daanen u. Reffeltrath, 2007, S. 208). Zur Auswahl der passenden Hosengröße werden zwei Körpermaße, die innere Beinlänge und der Taillenumfang, genutzt. Insgesamt 12,4 % der Probanden hatten eine Kombination der Maße, die nicht durch eine Standardgröße des NATO-Größensystems abgedeckt wurden. **Maßanfertigungen** bieten zwar eine optimale Passform, erfordern aber eine handwerkliche Fertigung. Diese bedingt lange Herstellungszeiten und erfordert Wissen sowie handwerkliches Geschick (Eberle et al., 2013, S. 208).

Einige Studien zeigen, dass Kunden mit der Passform von Konfektionsware nicht zufrieden sind (LaBat, 2007). Somit steigt die Kundennachfrage nach besser sitzender Kleidung und damit auch das Interesse, individualisierte Kleidung kostengünstig zu fertigen (siehe Abbildung 4.1). Da die individuelle Anpassung eines Schnittmusters eine aufwendige, manuelle Tätigkeit von ausgebildetem Personal ist, geht eine Automatisierung der Schnittmustererstellung mit einer Kosteneinsparung einher (Han et al., 2014).

Zur Erstellung von Schnittmustern kann CAD-Software genutzt werden (z. B. GRAFIS CAD Bekleidungskonstruktion von GRAFIS Software Dr. K. Friedrich GbR, Pattern DESIGNER von Gemini CAD Systems SA oder AccuMark von Gerber Technology GmbH). Jedoch setzt deren Anwendung voraus, dass man in die jeweilige Software eingelernt ist und ein grundlegendes Wissen aus dem Bereich der Schnittkonstruktion besitzt <sup>1</sup>.

Ein Ansatz Richtung industrieller Maßanfertigung ist die Maßkonfektion. Während sich diese jedoch auf Kleidung für formelle Anlässe (Anzüge, Hemden, Blusen etc.) spezialisiert hat, ist für viele Anwendungen von Ingenieuren eher eng anliegende elastische Kleidung von Interesse. Mögliche technische Anwendungen wären:

- Die Kleidung, welche unterhalb von Exoskeletten und Orthesen getragen wird, ist maßgeblich für den Komfort und das Vermeiden von Druckstellen verantwortlich. Da die Zielgruppe von Exoskeletten häufig Menschen mit neurologischen Einschränkungen sind (Aach et al., 2015; Iandolo et al., 2019), können Falten in der Kleidung, die aus einer ungenügenden Passform resultieren, unterhalb von Befestigungselementen zu Druckstellen bis hin zu Druckgeschwüren führen. Neben der Vermeidung von Falten ist auch die gezielte Integration von Polsterungen und Protektoren in die individualisierte Kleidung denkbar.

---

<sup>1</sup>Siehe Experteninterview mit Prof. Dr. Katerina Rose im Anhang.

- Textile Sensoren in der Kleidung (Nusser u. Senner, 2010; Shi et al., 2020) müssen optimal auf die Haut des Trägers aufgedrückt werden und an der passenden Auflagefläche liegen. Denkbare Anwendungen sind die Integration von EKG-Sensoren, EMG-Sensoren und Dehnungssensoren (zur Messung von Atemfrequenz oder Gelenkwinkeln).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Konfektionsware einfach und günstig erhältlich ist, jedoch bietet sie nicht immer eine optimale Passform. Diese wird durch handwerkliche Maßanpassung des Schnittmusters erzielt, welche Zeit und Wissen erfordert (siehe Abbildung 4.1). Darüber hinaus hat sich die Maßschneiderei und die Maßkonfektion auf Kleidung für formelle Anlässe spezialisiert, welche für einige technische Aufgaben (siehe oben) weniger geeignet ist. Für Ingenieure mangelt es daher an der Verfügbarkeit und dem Handwerkszeug, um einfach, schnell und kostengünstig passgenaue Kleidung z. B. zum Tragen unter Exoskeletten oder für Smarte Sensorik zu erhalten.

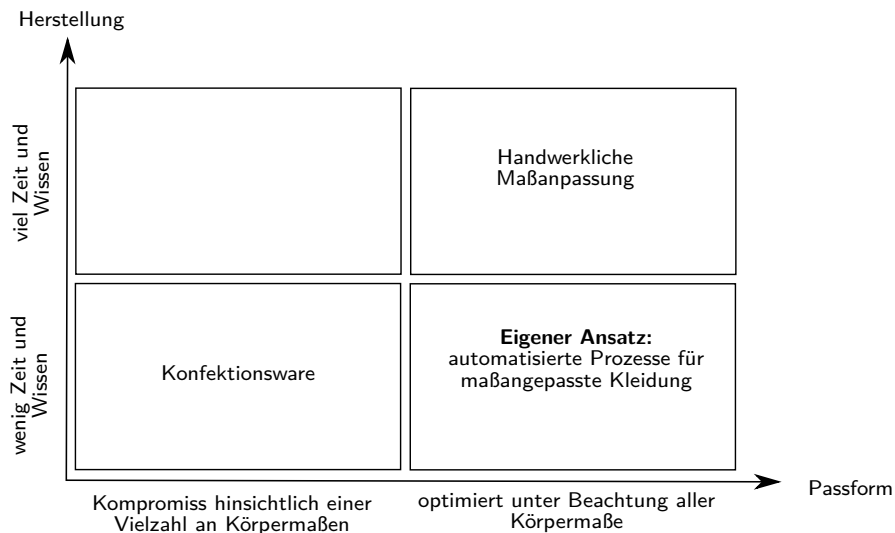


Abb. 4.1: Matrix bezüglich der Anforderungen an die Herstellung und die erreichbare Passform von Kleidung: Für Konfektionsware wird wenig Zeit und Wissen in der Herstellung benötigt, jedoch bezüglich der Passform hinsichtlich aller Körpermaße nur ein Kompromiss erzeugt. Bei der handwerklichen Maßanfertigung kann mithilfe des Einsatzes von Fachwissen und Zeit eine optimierte Passform erzeugt werden. Der Ansatz dieser Arbeit zielt darauf ab, eine optimierte Passform durch automatisierte Prozesse und somit eine vereinfachte Fertigung zu erreichen.



## 5 Konzept und eigener Ansatz

Im Sinne eines Knowledge Engineering (KE, dt. Wissensmodellierung) soll der individualisierte Schnittmusterentwurf automatisiert werden. Dazu wird notwendiges Fachwissen aus Lehr- und Konstruktionshandbüchern gemeinsam mit Expertenwissen und Fertigungsparametern in einem Konstruktionsalgorithmus implementiert, um den Entwurfsprozess zu vereinfachen und zu beschleunigen. Diese Arbeit soll daher dazu dienen, auch ungeübten Personen - wie beispielsweise Ingenieuren, welche die in Absatz 4 genannten technischen Anwendungen anstreben - ohne jegliches Wissen im Bereich des Schnittmusterentwurfs und des Nähens - Routinen und Handreichungen zur Verfügung zu stellen, die sie befähigt, maßgeschneiderte, enganliegende elastische Kleidung herzustellen.

Mithilfe der Routinen wird es einem Nutzer mit technischem Grundverständnis ermöglicht, anhand von wenigen Parametern am Rechner einfache Grundschnitte in kurzer Zeit zu entwerfen sowie schnell und einfach als Funktionsmuster umzusetzen. Es wird eine auf der Schneide- und Nähetechnik beruhende Herstellungsmethode genutzt, da für andere Verfahren, wie das nahtlose Stricken, deutlich mehr maschinelle Ausrüstung und Fachwissen vom Anwender vorausgesetzt werden. Bei der Realisierung des Konzeptes fokussiert diese Arbeit auf die Erstellung von Oberteilgrundsnitten für Herren und Damen. Die Konstruktionsalgorithmen sind in Matlab R2019b (The Mathworks Inc., Naticks, MA, USA) implementiert und stehen im Zusammenhang mit der Matlab-Toolbox SG-Library für das automatisierte Konstruieren, die von Lüth am Lehrstuhl MIMED (TUM, München, Deutschland) entwickelt wurde (Lueth u. Irlinger, 2013).

### 5.1 Statische Konzeptbeschreibung

Ausgangspunkt ist ein Benutzer mit technischem Grundverständnis, aber ohne spezielle Kenntnisse in der Herstellung von Kleidung, der ein maßgeschneidertes Kleidungsstück herstellen möchte (siehe Abbildung 5.1). Anhand weniger, leicht verständlicher Parameter definiert er die Eigenschaften des Kleidungsstückes. Diese Eigenschaften werden von einem Konstruktionsalgorithmus verarbeitet. Als Berechnungsergebnis erhält der Benutzer die Kontur der maßangepassten Schnittmusterteile in einer SVG- oder DXF-Datei. Diese sind für die gewünschte Fertigungsmethode, das gewählte Material und die erwünschte Passform optimiert. Die Schnittmusterteile können auf Grundlage der erstellten Dateien maschinell (z. B. mittels Laserschneider) zugeschnitten und anschließend mittels Nähen zusammengefügt werden. Auch für diese Schritte der Produktion wird dem Nutzer entsprechende Hilfestellung in Form von Tutorials gegeben.

Für die rechnergestützte Schnittmusterkonstruktion werden folgende Berechnungen in Konstruktionsalgorithmen umgesetzt:

- Mathematisch formalisierte Beschreibung der Kontur: Gerade und gekrümmte Abschnitte
- Berechnung von Faltungen (für Brustabnäher oder Saumumschläge)
- Erzeugung von Parallelkonturen zum Hinzufügen von Naht- und Saumzugaben (unter Berücksichtigung der Fertigungsmodalitäten)
- Ausführung eines anhand von Körpermaßen parametrisierten Grundschnittes
- Kalkulation von faktorisierten Zugaben in Abhängigkeit von Passform und Elastizität des Textils

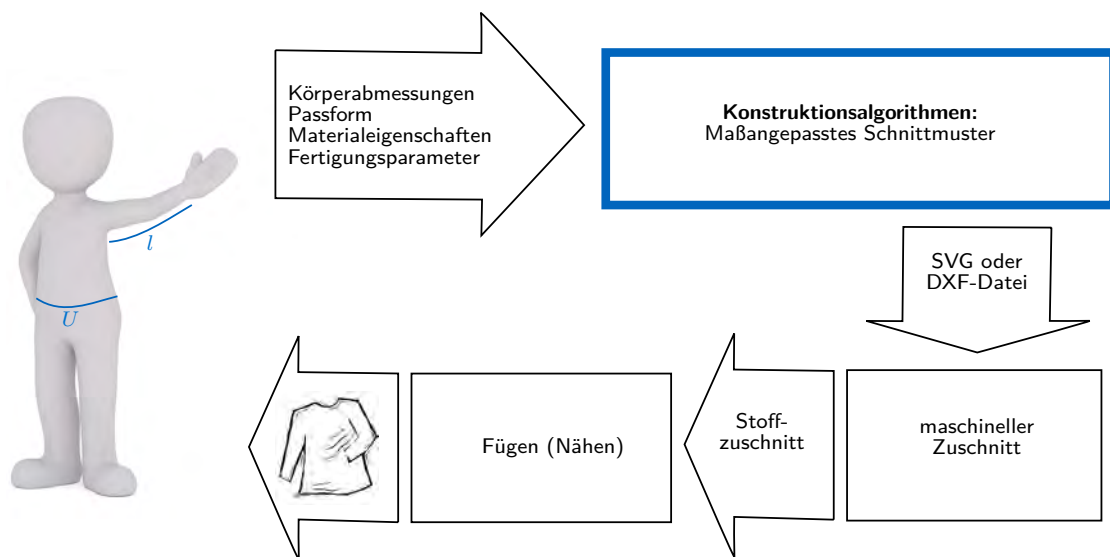


Abb. 5.1: Konzept der automatisierten Herstellung von individualisierter Kleidung: Ein Nutzer ohne spezielle Vorkenntnisse gibt gewisse Eigenschaften vor, auf Grundlage derer mittels der hier vorgestellten Konstruktionsalgorithmen das maßangepasste Schnittmuster erstellt wird. Dieses kann maschinell zugeschnitten und mittels Nähen gefügt werden.

## 5.2 Dynamische Konzeptbeschreibung

Zentraler Bestandteil der Arbeit sind die Konstruktionsalgorithmen, mit denen die Schnittmuster verschiedener Kleidungsstücke beschrieben werden. Dies wird im Rahmen dieser Arbeit am Beispiel eines Oberteilgrundschnittes für elastische Materialien beschrieben, da diese die Anforderungen aus der Problemstellung besser erfüllen als unelastische Materialien.

Für die Konstruktion des Grundschnittes werden zunächst Stützpunkte berechnet, welche anschließend mit einem Polygonzug verbunden werden. Für den Produktionsschnitt wird der Grundschnitt um die entsprechenden Naht- und Saumzugaben ergänzt. Dieser Produktionsschnitt wird anschließend für den maschinellen Zuschnitt in eine SVG- oder DXF-Datei geschrieben (siehe Abbildung 5.2).

Die Herstellbarkeit wird sichergestellt, indem nur Körpermaße innerhalb eines getesteten Größenbereichs zulässig sind. Der Größenbereich für jedes einzelne Körpermaß wird aufgespannt durch Standardgrößen (Damen 32-46; Herren 42-60), die jeweils um 10% unter- bzw. überschritten werden dürfen. Durch die Prüfung der Körpermaße wird zum einen sichergestellt, dass der Bauraum des Laserschneiders in jedem Fall ausreichend groß ist, als auch dass eine fehlerhafte Eingabe oder Messung der Körpermaße innerhalb eines gewissen Rahmens erkannt wird und der Nutzer zur Überprüfung aufgefordert werden kann.

In die Konstruktionsalgorithmen sind dementsprechend

- Lehrbuchwissen zur maßangepassten Schnittkonstruktion,
- Experten- bzw. Erfahrungswissen, um eine robuste und plausible Schnittführung zu gewährleisten (z. B. durch Auswahl robuster Körpermaße), sowie
- Wissen über den anschließenden Zuschnitt und die Nähweise, um den entsprechend passenden Produktionsschnitt zu erstellen

integriert.

Folgende Größen werden als Eingangsparameter für den Konstruktionsalgorithmus genutzt:

- Körpermaße (drei Längenmaße am Rücken, drei Umfänge am Oberkörper, drei Maße am Arm)
- Produkteigenschaften des Shirts (enge, normale oder weite Passform, Ärmellänge, Ausschnittform)
- Eigenschaften der Fertigung (Elastizität des Stoffes, Art des Zuschnittes, Methode des Säumens)

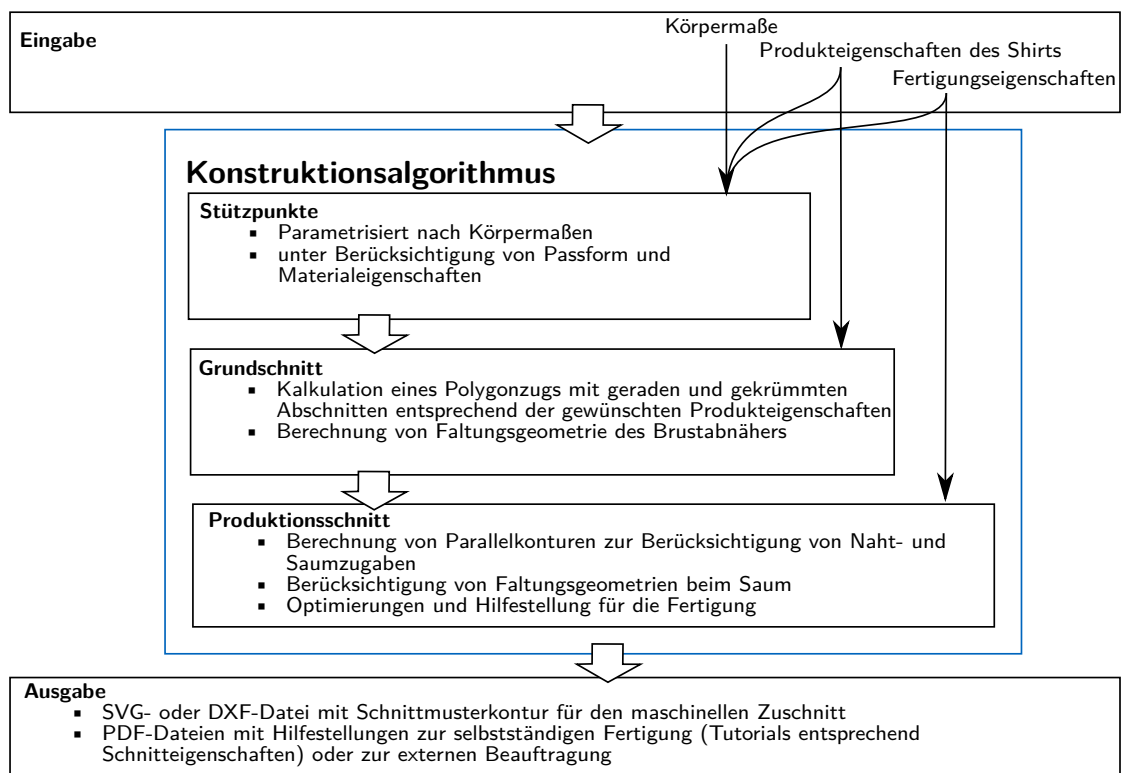


Abb. 5.2: Dynamische Prozessbeschreibung: Die Maße werden in den Algorithmus eingelesen, dieser erzeugt das Schnittmuster als Polygonzug und schreibt dieses in eine für den Zuschnitt direkt nutzbare Datei.

## 6 Konstruktionsalgorithmen für individualisierte Oberteilgrundschnitte

Die Konstruktion eines Grundschnittes für ein Damenoberteil auf Grundlage von Körpermaßen wird in der Literatur beschrieben (Hofenbitzer, 2009; Stiegler, 2017). Dieses wurde in Algorithmen umgesetzt, sodass das Schnittmuster nach Eingabe der Körpermaße automatisiert erzeugt wird. Durch Variationen hieran (siehe Abschnitt 7.1.3) kann ein Herrengrundschnitt abgeleitet werden.

Nach Hofenbitzer (2009, S. 129ff) unterscheidet man bei der Grundkonstruktion von Damenoberteilen zwischen dem Grundschnitt für legere Oberteile, dem taillierten Grundschnitt mit Abnäher und dem Grundschnitt für enge Oberteile aus elastischem Material. Diese Grundschnitte können dann durch Modifikation zu Blusen, Kleidern, Westen, Jacken und Mänteln weiterentwickelt werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Grundschnitt für elastische Materialien verwendet, da sich dieser als eng anliegendes Shirt für die genannten Anwendungen, wie zum Tragen unter Exoskeletten oder zur Integration von Sensoren, eignet. Dieser Oberteilgrundschnitt (siehe Abbildung 6.1) besteht aus einem Rückteil (1), Vorderteil (2) und Ärmel (3). Rück- und Vorderteil sind spiegelsymmetrisch entlang der vorderen bzw. hinteren Mitte und werden daher nur auf einer Seite konstruiert. Der Schnitt kann so auch direkt für den Zuschnitt auf gefaltetem Stoff genutzt werden. Der Ärmel hingegen ist im Bereich des Armkegels unsymmetrisch aufgebaut, da er auf der an dem Vorderteil angrenzenden Seite eine größere Steigung aufweist als auf der zum Rückteil weisenden Seite. Der Ärmel wird später zweimal gegengleich zugeschnitten.

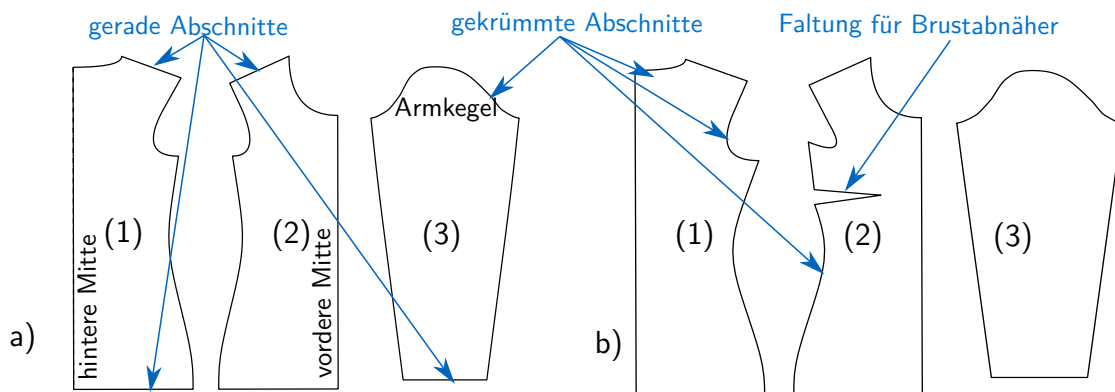


Abb. 6.1: Grundschnitt von einem Damenoberteil ohne (a) und mit (b) Brustabnäher: Rückteil (1), Vorderteil (2) und Ärmel (3).

Wie in Abbildung 6.1 zu sehen ist, besteht die geometrische Beschreibung des Grundschnittes aus einfachen geraden Abschnitten sowie aus gekrümmten Bereichen. Je nach Körperproportionen werden darüber hinaus Brustabnäher integriert, die einer keilförmigen Faltung des Stoffes im Bereich der seitlichen Brust entsprechen. Auf die Beschreibung und Berechnung dieser Abschnitte wird in den folgenden Kapiteln detailliert eingegangen.

## 6.1 Grundlagen

Das Ziel der Algorithmen ist die Erzeugung von Dateien für den automatisierten Zuschnitt. Hierfür werden das SVG- und DXF-Format genutzt, in denen beliebige Konturen in Form von Polygonzügen dargestellt werden. Diese Dateiformate unterstützen auch Geometrielemente wie Kreise oder Splines. In dieser Arbeit wird jedoch das Geometrielement Polygonzug genutzt, da die Matlab-Toolbox SG-Library verwendet wird, welche polygonbasiert programmiert ist.

### 6.1.1 SG-Library

Die Matlab-Toolbox SG-Library (Lueth u. Irlinger, 2017, 2013, 2019) umfasst eine Reihe von Funktionen zur Generierung, Optimierung und Simulation von Festkörpergeometrien (Solid Geometry, SG). Sie wurde von Tim Lüth an der Technische Universität München (TUM, München, Deutschland) mit dem Ziel einer automatisierten und optimierten Konstruktion für die additive Fertigung entwickelt und ist unter der MIT-Lizenz veröffentlicht. Mithilfe dieser Bibliothek können parametrisierte und wissensbasierte Konstruktionen zur Anpassung von Geometrien an individuelle Anatomien erzeugt werden (Hein et al., 2018).

Die Beschreibung einer zweidimensionalen Kontur - wie sie Schnittmuster darstellen - erfolgt innerhalb dieser Toolbox als Punkteliste (point list, PL). Eine PL ist ein  $n \times 2$  Array, wobei  $n$  die Anzahl an beschreibenden 2D-Koordinatenpunkten  $[x \ y]$  ist.

$$PL_{SG-Library} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ \vdots & \vdots \\ x_n & y_n \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

Mehrere voneinander getrennte Polygonzüge lassen sich in eine PL schreiben, indem diese mit einer Leerzeile ( $[NaN \ NaN]$ ) getrennt werden.

Matlab (The Mathworks Inc., Naticks, MA, USA) hat seit der Version R2017b Funktionen zur Handhabung von 2D-Polygonen im Rahmen der Polyshape-Objekte integriert. Während in der SG-Library die Punkte zeilenweise in die Matrizen geschrieben werden, sind diese innerhalb der Polyshape-Objekte spaltenweise in  $2 \times n$  Matrizen notiert.

$$PGON_{PolyshapeObject} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_n \\ y_1 & y_2 & \cdots & y_n \end{bmatrix} = PL_{SG-Library}^T \quad (6.2)$$

Diese beiden Beschreibungen sind durch Transponieren einfach ineinander umzuwandeln. Im Rahmen dieser Arbeit wird mit der Definition von PL gearbeitet, um die Funktionen der SG-Library für 2D-Konturen einfach aufrufen zu können. An einzelnen Stellen erfolgt jedoch die Umwandlung zu Polyshape-Objekten, um deren Funktionalität zu nutzen.

### 6.1.2 SVG-Dateien und DXF-Dateien

Für den Zuschnitt werden die Konturen in standardisierte Dateiformate geschrieben. Für das Laserschneiden wird das SVG-Format gewählt, während für den externen maschinellen Zuschnitt sich das DXF-Format als Austauschformat anbietet.

Die Abkürzung SVG steht für *Scalable Vector Graphic* und ist ein freies, quelloffenes und standardisiertes Dateiformat für Vektorgrafiken. Es basiert auf XML und wird vom W3C (World Wide Web Consortium) entwickelt und gepflegt. Polygone werden innerhalb dieses Dateityps mit dem *polyline*-Element definiert.

---

```
<polyline
  fill="none"
  stroke-width="0.010mm"
  stroke="rgb(255,0,0)"
  points="
    0.020, 10.020
    10.020, 10.020
    10.020, 0.020
    0.020, 0.020
    0.020, 10.020" />
```

---

Definition eines Polygons innerhalb der SVG-Datei am Beispiel eines Quadrates.

Das DXF-Format (*Drawing Exchange Format*) ist der Industriestandard für den Datenaustausch zwischen gängigen CAD- und CNC-Systemen. Hier werden innerhalb einer großen Anzahl an Flag-Elementen ebenfalls die Koordinaten (blau hervorgehoben) der einzelnen Punkte eines *polyline*-Elements gespeichert.

---

```
POLYLINE
  8 0 62 255 66 1 10 0 20 0 30 0 70 8 0
VERTEX
  8 0 62 255 10 -5 20 -5 30 0 70 32 0
VERTEX
  8 0 62 255 10 5 20 -5 30 0 70 32 0
VERTEX
  8 0 62 255 10 5 20 5 30 0 70 32 0
VERTEX
  8 0 62 255 10 -5 20 5 30 0 70 32 0
VERTEX
  8 0 62 255 10 -5 20 -5 30 0 70 32 0
SEQEND
  8 0
```

---

Definition eines Polygons innerhalb der DXF-Datei am Beispiel eines Quadrates. Die Eckpunkte des Polygons sind blau hervorgehoben.

## 6.2 Modellierung von geraden Abschnitten

Eine Strecke lässt sich mathematisch durch zwei Punkte  $A$  und  $B$  mit den zugehörigen Koordinaten  $\mathbf{a} = [x_a, y_a]$  und  $\mathbf{b} = [x_b, y_b]$  exakt beschreiben (siehe auch Abbildung 6.2).

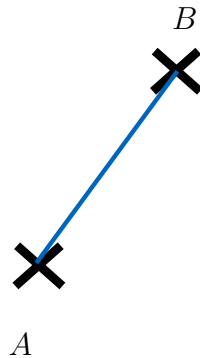


Abb. 6.2: Eine Strecke kann durch die Angabe der beiden Punkte  $A$  und  $B$  mit den zugehörigen Koordinaten  $\mathbf{a} = [x_a, y_a]$  und  $\mathbf{b} = [x_b, y_b]$  definiert werden.

Für die Beschreibung eines geraden Abschnittes können diese beiden Punkte einfach in den Polygonzug geschrieben werden. Weitere Punkte auf dieser Strecke, wie sie beispielsweise zur Berechnung von Schnittpunkten benötigt werden, lassen sich mithilfe der Gleichung

$$\mathbf{x}(r) = \mathbf{a} + r \cdot (\mathbf{b} - \mathbf{a}), \quad r = 0 \dots 1 \quad (6.3)$$

bestimmen. Die in Abbildung 6.3 blau gekennzeichneten Linien im Bereich der Schulter und Saumabschlüsse lassen sich so durch die Angabe der Eckpunkte innerhalb des Polygonzugs definieren.

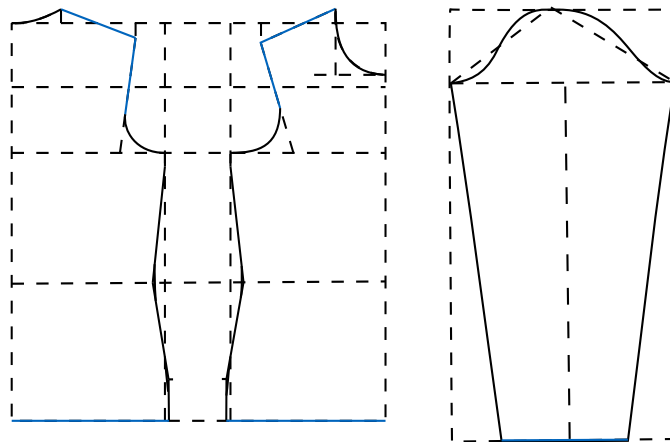


Abb. 6.3: Die blau gekennzeichneten Abschnitte im Schnittmuster lassen sich durch gerade Linien beschreiben: Schulternaht, Teil des Armausschnitts, Saumabschlüsse.



## 6.3 Modellierung von gekrümmten Abschnitten

In der Literatur wird der Entwurf von Schnittmustern für die händische Konstruktion beschrieben (z. B. Gilewska, 2014; Hofenbitzer, 2009). Hierbei werden Konstruktionspunkte freihändig oder unter Zuhilfenahme von einem Kurvenlineal gekrümmt verbunden. Im Folgenden wird die mathematische Modellierung der gekrümmten Schnittmusterabschnitte anhand von Bézierkurven erläutert. Diese sind im Bereich des computergestützten Entwerfens und Konstruierens sowie von Computeranimationen verbreitet, da sie sich sehr effizient berechnen lassen und die Grunddaten anschaulich aus den vorgegebenen geometrischen Eigenschaften bestimmbar sind (Schwarz, 1997, S. 161). Die Kurve lässt sich über eine variable Anzahl an Punkten, sogenannte *Bézierpunkte*, beschreiben (siehe Abbildung 6.4). Die Anzahl der Bézierpunkte bestimmt den Grad, wobei eine Kurve  $n$ -ten Grades durch  $n + 1$  Punkte beschrieben wird.

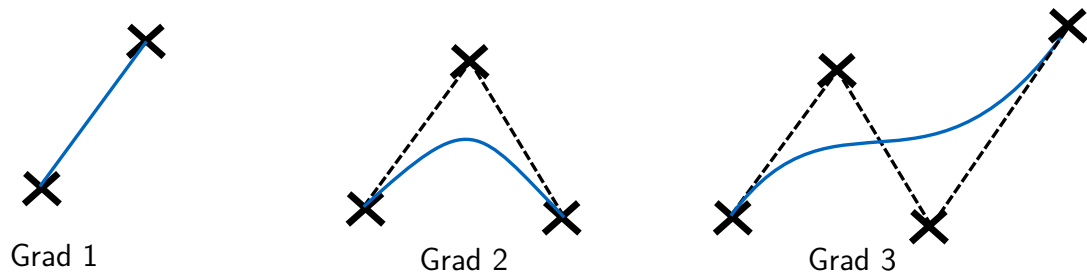


Abb. 6.4: Bézierkurven Grad 1 bis 3: Eine Bézierkurve 1. Grades wird durch zwei Punkte beschrieben und entspricht einer Geraden. Eine Kurve 2. Grades wird durch drei Punkte definiert und entspricht einer Parabel. Eine Kurve 3. Grades wird durch vier Punkte angegeben und besitzt einen Wendepunkt.

Für die geometrische Beschreibung von Bézierkurven sind folgende Eigenschaften von Bedeutung (Farin, 1994, S. 28ff):

- Endpunkt-Interpolation - Die Kurve verläuft stets durch den ersten und letzten Punkt.
- Konvexe-Hüllen-Eigenschaft - Die Kurve liegt innerhalb der konvexen Hülle des Kontrollpolygons, das von den Bézierpunkten aufgespannt wird.
- Designeigenschaft - Die Kurve imitiert das Bézierpolygon (Verbindung zwischen den Bézierpunkten).

Zur Berechnung der Kurvenpunkte existiert der effiziente und numerisch stabile *Algorithmus von Casteljau* (Schwarz, 1997, S. 167f). Dieser beruht auf wiederholter linearer Interpolation und lässt sich geometrisch anschaulich darstellen. Die Beschreibung der Kurven anhand von diesem Algorithmus sowie deren Anwendung im Schnittmuster werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

### 6.3.1 Bézierkurven 2. Grades für parabelförmige Abschnitte

Anschaulich wird die Konstruktion eines Kurvenpunktes  $X$  einer Bézierkurve von Grad 2 in Abbildung 6.5 gezeigt. Auf der Verbindungslinie zwischen den Bézierpunkten  $A$  und  $B$  wird der gleiche Anteil  $t$  vorgerückt wie auf der Verbindungslinie zwischen  $B$  und  $C$ . Hierdurch ergeben sich die Konstruktionspunkte  $T_1$  und  $T_2$ . Anschließend wird wieder ein Anteil  $t$  auf der Verbindungslinie zwischen  $T_1$  und  $T_2$  vorgerückt, um den Kurvenpunkt  $X$  zu erhalten. Der Kurvenpunkt  $X$  ist somit durch die Proportionen

$$\frac{\overline{AT_1}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{BT_2}}{\overline{BC}} = \frac{\overline{T_1X}}{\overline{T_1T_2}} = t \quad (6.4)$$

definiert. Für jedes  $t \in [0; 1]$  ergibt sich ein Kurvenpunkt.

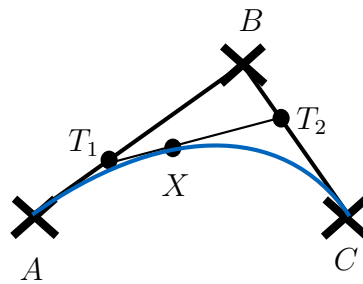


Abb. 6.5: Bézierkurven 2. Grades: Die Bézierpunkte  $A$ ,  $B$  und  $C$  spannen das Kontrollpolygon auf, der Punkt  $X$  ist ein Punkt auf der Bézierkurve,  $T_1$  und  $T_2$  sind Teilungspunkte.

In Abbildung 6.5 wird ersichtlich, dass die Verbindungslinien  $[AB]$  und  $[BC]$  jeweils die Tangente im Start- und Endpunkt ergeben. Diese Eigenschaft wird genutzt, um einzelne Abschnitte im Schnittmuster ohne Knickstelle, das bedeutet stetig differenzierbar, zu verbinden.

Mathematisch lassen sich die Punkte  $T_1$  und  $T_2$  mit den Koordinaten  $\mathbf{t}_1$  und  $\mathbf{t}_2$  bestimmen durch die Gleichungen:

$$\mathbf{t}_1 = \mathbf{a} + t \cdot (\mathbf{b} - \mathbf{a}), \quad t = 0 \dots 1 \quad (6.5)$$

$$\mathbf{t}_2 = \mathbf{b} + t \cdot (\mathbf{c} - \mathbf{b}), \quad t = 0 \dots 1 \quad (6.6)$$

Analog lässt sich der Kurvenpunkt  $X(t)$  mit den Koordinaten  $\mathbf{x}(t)$  mithilfe der Teilungspunkte  $T_1$  und  $T_2$  berechnen:

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{t}_1 + t \cdot (\mathbf{t}_2 - \mathbf{t}_1) \quad (6.7)$$

Setzt man die Formeln 6.5 und 6.6 in Gleichung 6.7 ein, so erhält man die Koordinaten des Kurvenpunktes  $x(t)$  beschrieben durch die Koordinaten der Bézierpunkte  $a$ ,  $b$  und  $c$ .

$$\mathbf{x}(t) = (1 - t)^2 \cdot \mathbf{a} + 2 \cdot (1 - t)t \cdot \mathbf{b} + t^2 \cdot \mathbf{c} \quad (6.8)$$

Für  $t \in [0; 1]$  lassen sich anhand dieser Funktionsgleichung beliebig viele Punkte zwischen dem Start- und Endpunkt auf der Kurve bestimmen und somit die Punkte im Polygonzug des Schnittmusters berechnen. Kurven 2. Grades werden im Bereich des Hals- und Armausschnitts genutzt (siehe Abbildung 6.6). Hierbei werden die mittleren Bézierpunkte so gewählt, dass sich in der Mitte des Halsausschnitts und auf dem Armausschnitt keine Knicke im Schnittmuster ergeben. Man sieht dies sehr anschaulich im Bereich des Armausschnitts. Hier liegt der mittlere Bézierpunkt auf der Verlängerung der darüber liegenden Geraden. Somit gehen die Gerade und die Kurve stetig differenzierbar, also ohne Knickstelle, ineinander über. Beim Halsausschnitt liegen jeweils der Punkt auf der Spiegelgeraden und der mittlere Bézierpunkt auf einer Horizontalen, damit auch hier im gespiegelten Zuschnitt keine Knickstelle entsteht.

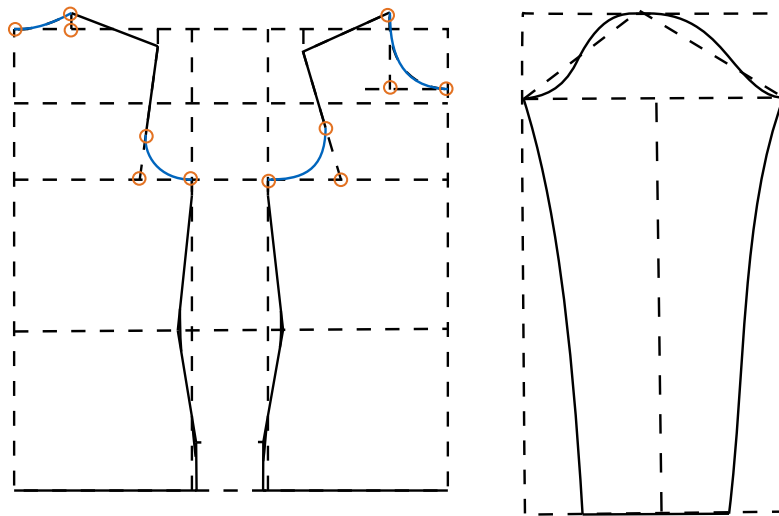


Abb. 6.6: Bézierkurven 2. Grades (blau) im Grundriss und die zugehörigen Bézierpunkte (orange) im Bereich des Halsausschnittes und der Armlöcher.

### 6.3.2 Bézierkurven 3. Grades für die stückweise Beschreibung von mehrfach gekrümmten Abschnitten

Die grafische Konstruktion eines Kurvenpunktes  $X$  einer Bézierkurve 3. Grades wird in Abbildung 6.7 gezeigt. Durch wiederholte lineare Interpolation wird nach dem gleichen Prinzip wie bei den Kurven 2. Grades (siehe Abschnitt 6.3.1) der Kurvenpunkt bestimmt.

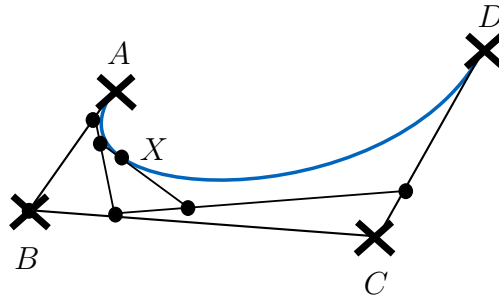


Abb. 6.7: Bézierkurven 3. Grades: Die Bézierpunkte  $A$ ,  $B$ ,  $C$  und  $D$  spannen das Kontrollpolygon auf, der Punkt  $X$  ist ein Punkt auf der Bézierkurve.

Für  $t \in [0; 1]$  lassen sich die Kurvenpunkte zwischen dem Startpunkt  $A$  und Endpunkt  $D$  anhand der Koordinaten der Bézierpunkte  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{c}$  und  $\mathbf{d}$  anhand der Gleichung

$$\mathbf{x}(t) = (1 - t)^3 \cdot \mathbf{a} + 3(1 - t)^2 t \cdot \mathbf{b} + 3(1 - t)t^2 \cdot \mathbf{c} + t^3 \cdot \mathbf{d} \quad (6.9)$$

bestimmen.

In Abbildung 6.7 wird bereits ersichtlich, dass die Verbindungslinie  $[AB]$  der Tangente im Anfangspunkt und die Verbindungslinie  $[CD]$  der Tangente im Endpunkt entsprechen. Dies lässt sich auch durch die Ableitung der Funktion zeigen.

$$\mathbf{x}'(t) = -3(1 - t)^2 \cdot \mathbf{a} + 3(1 - 4t + 3t^2)t \cdot \mathbf{b} + 3(2t - 3t^2) \cdot \mathbf{c} + 3t^2 \cdot \mathbf{d} \quad (6.10)$$

Wertet man diese Funktion für  $t = 0$  (Startpunkt  $A$ ) und  $t = 1$  (Endpunkt  $D$ ) aus, so ergibt sich für die Ableitung an diesen Stellen:

$$\mathbf{x}'(0) = 3(\mathbf{b} - \mathbf{a}) \quad (6.11)$$

$$\mathbf{x}'(1) = 3(\mathbf{d} - \mathbf{c}) \quad (6.12)$$

Die Tangente entspricht also jeweils der Verbindungslinie von Start- bzw. Endpunkt mit den benachbarten Bézierpunkten. Mit dieser Erkenntnis können mehrere Kurven 3. Grades stetig und mit gewünschten Glattheitseigenschaften - also ohne Knickstellen - verbunden werden. Hierzu müssen Anfangs- und Endpunkt der zu verbindenden Bézierkurven identisch sein und auf einer Geraden mit den jeweils benachbarten Bézierpunkten liegen (siehe Abbildung 6.8).

Auf diese Weise wird der Armkegel im Grundriss durch acht aufeinanderfolgende Bézierkurven 3. Grades gebildet (siehe Abbildung 6.9). Die Konstruktionspunkte (Bézierpunkte an Start und Ende der Kurven, orange) liegen nach vorgegebener

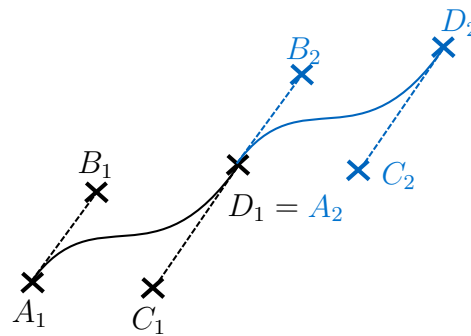


Abb. 6.8: Zwei stetig differenzierbar verbundene Bézierkurven 3. Grades: Der Endpunkt  $D_1$  der ersten Kurve entspricht dem Startpunkt  $A_2$  der zweiten Kurve und liegt auf der Geraden aufgespannt durch  $C_1$  und  $B_2$ .

Teilung direkt auf dem Armkegeldreieck oder haben einen festen, größenunabhängigen orthogonalen Abstand von diesem. Die benachbarten Bézierpunkte (schwarz) bilden jeweils mit den Start- und Endpunkten Geraden. Somit entstehen keine Knickstellen. Die Abstände dieser Punkte (schwarz) von den Konstruktionspunkten (orange) wurde relativ zu den Abständen zwischen den Konstruktionspunkten (orange) definiert, sodass sich der gewünschte Verlauf des Armkegels ergibt.

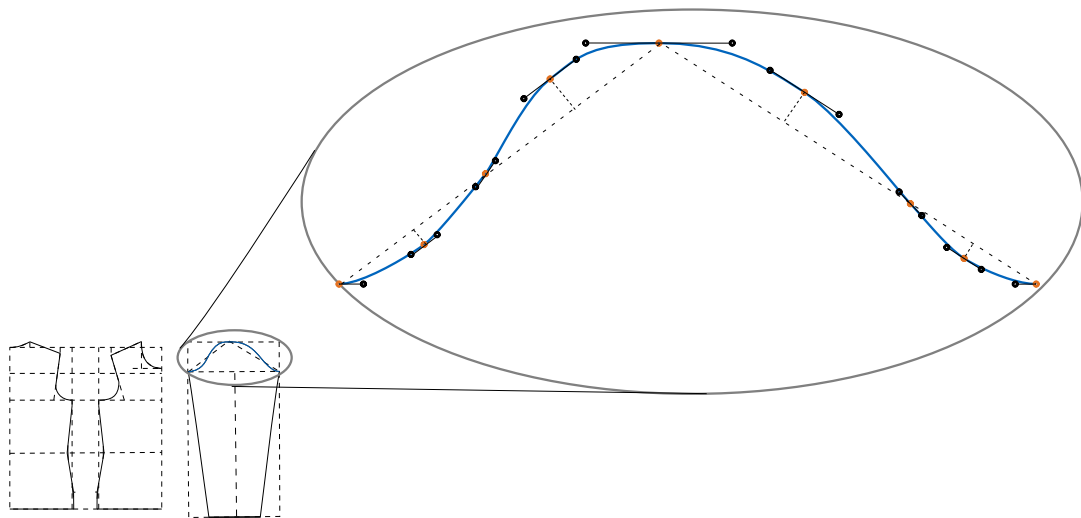


Abb. 6.9: Bézierkurven 3. Grades im Grundschnitt (blau) im Bereich des Armkegels. Die Anfangs- und Endpunkte der Kurven (orange) liegen jeweils auf einer Geraden mit den benachbarten Bézierpunkten (schwarz), um glatte Übergänge ohne Knickstellen zu erhalten.

### 6.3.3 Bézierkurven höheren Grades zur Abrundung von Ecken

Mit dem *Algorithmus von Casteljau* kann die oben beschriebene Berechnung von Parabeln (Grad 2) und kubischen Kurven (Grad 3) verallgemeinert werden bis

zum Grad  $n$  (Farin, 1994, S. 25f). Gegeben seien hierzu die Koordinaten der Bézierpunkte  $\mathbf{b}_0, \mathbf{b}_1, \dots, \mathbf{b}_n$  und der Parameter  $t \in [0; 1]$ . Es gilt:

$$\mathbf{b}_i^r(t) = (1 - t) \cdot \mathbf{b}_i^{r-1}(t) + t \cdot \mathbf{b}_{i+1}^{r-1}(t) \quad \begin{cases} r = 1, \dots, n \\ i = 0, \dots, n - r \end{cases} \quad (6.13)$$

Hierbei entsprechen  $\mathbf{b}_i^0(t)$  den vorgegebenen Bézierpunkten  $\mathbf{b}_i$  und  $\mathbf{b}_0^n(t)$  dem Punkt auf der Bézierkurve. Nach dem *de-Casteljau-Schema* können die Zwischenkoeffizienten in einer Dreiecksmatrix angeordnet werden. Als Beispiel (siehe Abbildung 6.10) sei dies hier anhand einer kubischen Kurve gezeigt:

$$\begin{array}{cccc} \mathbf{b}_0 & & & \\ \mathbf{b}_1 & \mathbf{b}_0^1 & & \\ \mathbf{b}_2 & \mathbf{b}_1^1 & \mathbf{b}_0^2 & \\ \mathbf{b}_3 & \mathbf{b}_2^1 & \mathbf{b}_1^2 & \mathbf{b}_0^3 \end{array} \quad (6.14)$$

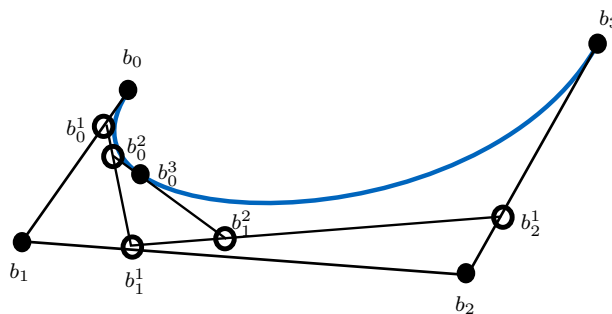


Abb. 6.10: Der de-Casteljau-Algorithmus am Beispiel einer Bézierkurve 3. Grades: Der Kurvenpunkt  $\mathbf{b}_0^3$  wird durch wiederholte lineare Interpolation berechnet.

Analog können Bézierkurven höheren Grades berechnet werden. Diese höhergradigen Kurven werden bei der Erstellung des Grundrisses zur Abrundung von Ecken genutzt. Hierzu wird zunächst eine große Anzahl an Punkten auf den abzurundenden Abschnitt gesetzt. Nutzt man diese wie in Abbildung 6.11 als Bézierpunkte, so ergibt sich anhand der Designeigenschaft (siehe Abschnitt 6.3; Kurve imitiert die Bézierpunkte) der gewünschte Verlauf:

- Liegen die Punkte auf längeren Strecken auf einer Geraden, so folgt die Kurve exakt den Punkten.
- In der Nähe einer Knickstelle entsteht eine Abrundung.

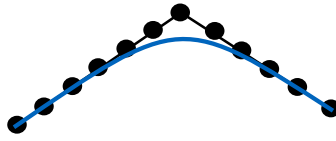


Abb. 6.11: Abrundung von Ecken anhand von Bézierkurven höheren Grades: Zunächst wird eine Vielzahl an Punkten auf den abzurundenden Abschnitt gesetzt, welche anschließend als Bézierpunkte für die Konstruktion der Kurve genutzt werden.

Dieses Vorgehen wird für die Erstellung des Grundrisse im Bereich der Seitennähte zur Abrundung der Taille und des Übergangs zur Hüfte sowie an der Ärmelnaht genutzt (siehe Abbildung 6.12).

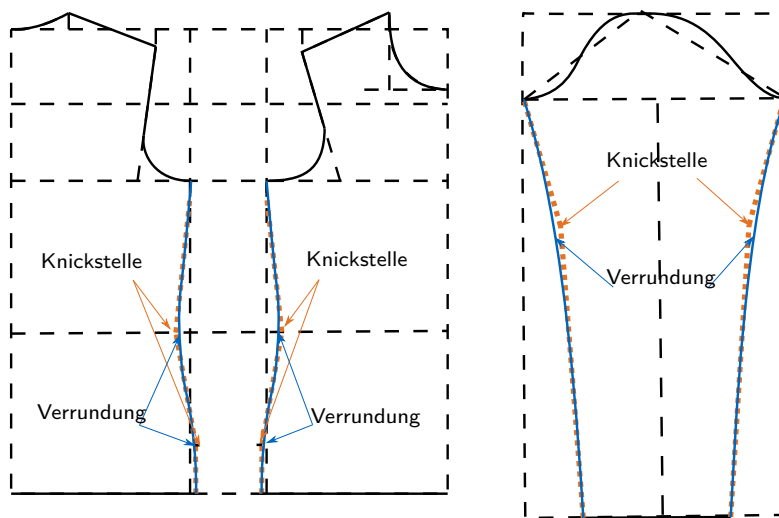


Abb. 6.12: Abrundung der Knickstellen in der Seitennaht und am Ärmel: Auf den Abschnitten werden in gleichmäßigen Abständen viele Punkte gelegt (orange), die als Bézierpunkte für eine höhergradige Kurve (blau) genutzt werden.

### 6.3.4 Vergleich mit weiteren Methoden zur Erzeugung von gekrümmten Segmenten

Wie bereits in den vorherigen Abschnitten beschrieben, werden für den Grundriss zunächst Konstruktionspunkte gelegt und anschließend mit Abrundungen versehen. Neben der bereits erläuterten Möglichkeit von Bézierkurven stehen unterschiedliche Methoden zur Abrundung von Kanten zur Verfügung, die hier vergleichend vorgestellt werden.

**Bézierkurven** Die mathematische Beschreibung von Bézierkurven wurde bereits in den Abschnitten 6.3.1 bis 6.3.3 vorgestellt. Die gewünschte Geometrie des Grundrisse wird erzeugt, indem beim Hals- und Armausschnitt jeweils die drei Eckpunkte und indem auf der Seitennaht eine große Anzahl an Punkten als Bézierpunkte genutzt werden (siehe Abbildung 6.14b).

**Fast Fourier Transformation (FFT)** Die diskrete Fourier-Transformation findet gewöhnlich Anwendung in der Signalverarbeitung, der Mess- und Regelungstechnik und bei Verfahren der Ton-, Bild- und Videoübertragung (Arens et al., 2018, S. 1157). Wie auch bei Bézierkurven handelt es sich bei der Fourier-Transformation um eine Interpolation, jedoch mit trigonometrischen Polynomen. Das Fourierpolynom  $p_n$  vom Grad  $n$  zu einer Funktion  $f$  ist definiert als (Arens et al., 2018, S. 1165)

$$p_n(x) = \sum_{k=-n}^n c_k e^{ikx}, \quad x \in \mathbb{R} \quad (6.15)$$

mit den Fourierkoeffizienten  $c_k$

$$c_k = \frac{1}{2\pi} \int_{-n}^n f(c) e^{-ikx} dx \quad (6.16)$$

Gemäß dem *Fourier'schen Entwicklungssatz* gilt, dass das Fourierpolynom  $p_n$  gegen die Funktion  $f$  konvergiert für  $n \rightarrow \infty$ . Da die Konvergenz nur für hohe Grade  $n$  erzielt wird, kann anders herum betrachtet die Fourier-Transformation niedrigen Grades zur Erzeugung von Krümmungen genutzt werden. Wird die Transformation separat für die  $x$ - und  $y$ -Werte durchgeführt, so kann dies auch für den zweidimensionalen Raum genutzt werden.

Die Fourier-Transformation kann nicht nur auf kontinuierliche Funktionen, sondern auch für aufgezeichnete Signale, also auf eine Reihe von Messpunkten, angewandt werden. Hierbei muss jedoch das *Nyquist-Shannon-Abtasttheorem* berücksichtigt werden, nach dessen Aussage die Funktion nur bis zu Frequenzen der halben Sampling-Frequenz rekonstruiert werden kann. Daher werden bei der Anwendung auf die Schnittmuster auf die geraden Stücke des Polygonzugs vor der Fourier-Transformation in gleichmäßigen Abständen Punkte hinzugefügt.

Durch eine geschickte Wahl vom Grad des Fourier-Polynoms kann die Kurve optimiert werden. Das Ergebnis ist in Abbildung 6.14c gezeigt. Hierbei wurde für den Halsausschnitt  $n = 4$ , für den Armausschnitt  $n = 3$  und für die Seitennaht  $n = 30$  gewählt. Da hierbei weder die Tangente an Start- und Endpunkten der Kurve vorgegeben als auch Ausbeulungen nicht verhindert werden können, ist das entstandene Schnittmuster nicht optimal. Beispielsweise ergibt das gespiegelte Schnittmuster im Halsausschnitt in der vorderen Mitte eine Knickstelle. Abschließend lässt sich festhalten, dass die Kurvenerzeugung mittels Fourier Transformation eine Alternative darstellt, jedoch geometrisch schwer steuerbar ist.

**Tangentiale Kreissegmente** Eine naheliegende Methode ist die Abrundung mittels Kreissegmenten. Diese sollen tangential an die Seitenschenkel der abzurundenden Ecke anschließen. Die geometrische Aufgabenstellung (siehe Abbildung 6.13) ist hierbei, für eine vorgegebene Ecke, definiert durch die drei Punkte  $P_1$ ,  $P_2$  und



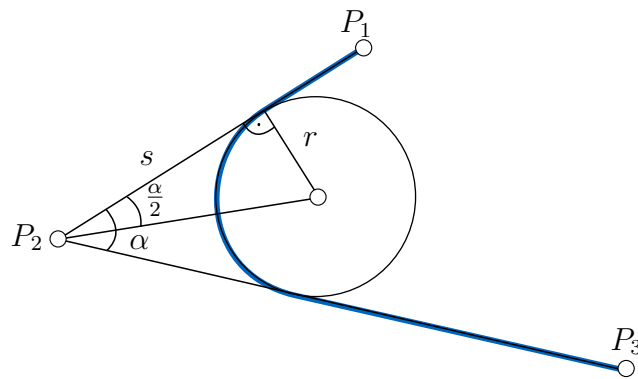


Abb. 6.13: Geometrische Bedingung zur tangentialen Abrundung von Ecken: Die Punkte  $P_1$ ,  $P_2$  und  $P_3$  sowie der Radius  $r$  sind gegeben. Somit kann die Schenkellänge  $s$  bestimmt werden.

$P_3$  in der Ebene und einen gewünschten Radius  $r$  den Beginn des Kreisbogens, also die Schenkellänge  $s$ , zu bestimmen.

Aus der Position der Punkte  $P_1$ ,  $P_2$  und  $P_3$  lässt sich der Winkel  $\alpha$  bestimmen und es gilt:

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{r}{s} \quad \Leftrightarrow \quad s = \frac{r}{\tan(\alpha/2)} \quad (6.17)$$

Soll der größtmögliche Radius  $r_{max}$  genutzt werden, so wie dies beispielsweise an Hals- und Armausschnitt gefordert wird, so müssen die Bedingungen  $\overline{P_1P_2} \geq s$  und  $\overline{P_2P_3} \geq s$  erfüllt sein. Somit ist die maximale Schenkellänge  $s_{max}$  das Minimum der Punktabstände.

$$s_{max} = \min(\overline{P_1P_2}, \overline{P_2P_3}) \quad (6.18)$$

Damit gilt für den maximalen Radius  $r_{max}$

$$r_{max} = s_{max} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (6.19)$$

In vielen verwandten Anwendungen soll nicht nur eine Ecke, sondern mehrere aneinander grenzende Ecken des Polygons abgerundet werden. Dann genügt es nicht, zur Bestimmung des maximalen Radius  $r_{max}$  nur die vorliegenden Seitenlängen zu analysieren, sondern es müssen auch die angrenzenden Seitenlängen berücksichtigt werden, um sicherzustellen, dass jeweils maximal die halbe Seitenlänge für die Abrundung genutzt wird. Zwei aneinander grenzende abzurundende Ecken sind bei der vorliegenden Aufgabe des Schnittmusters im Bereich der Seitennaht vorzufinden.

Wie in Abbildung 6.14d dargestellt, lassen sich mit der Methode der tangentialen Kreissegmente die gekrümmten Elemente des Schnittmusters erzeugen. Allerdings kann aufgrund der oben beschriebenen Bedingungen für den maximalen

Abrundungsradius nicht jede Schenkellänge vollständig zur Abrundung eingesetzt werden. Dies hat vor allem Auswirkungen auf das Armloch, da hier eigentlich der Beginn der Kurve bereits ab dem markierten Punkt auf der Verbindungslinie zwischen Schulternaht und tiefliegendem Konstruktionspunkt des Armausschnitts erwartet wird.

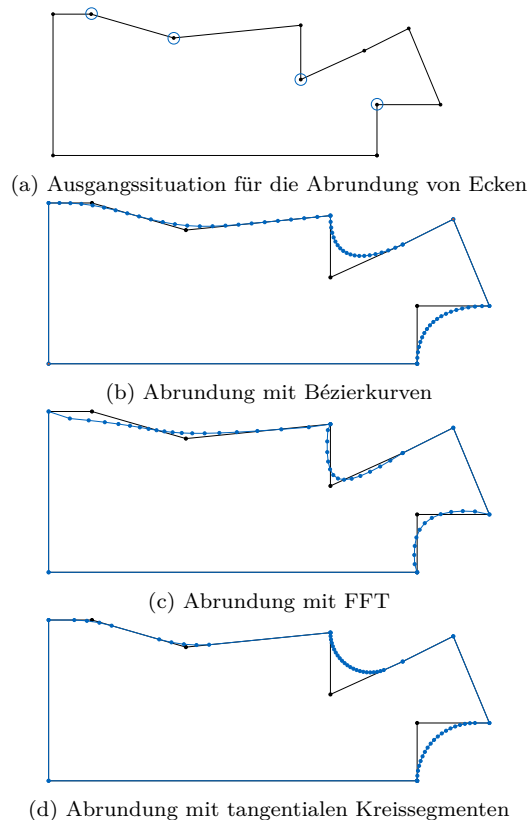


Abb. 6.14: Vergleich der Methoden zur Erzeugung von gekrümmten Segmenten: Die mit blauen Kreisen markierten Ecken sollen abgerundet werden (a). Mit den Bézierkurven lässt sich der gewünschte Verlauf erzeugen (b). Bei der Fast Fourier Transformation können Ausbeulungen nicht verhindert werden (c). Mit tangentialen Kreissegmenten kann vor allem im Armausschnitt nicht der gesamte zur Verfügung stehende Bereich für die Kurve genutzt werden (d).

**Fazit** Abschließend lässt sich festhalten, dass Bézierkurven geometrisch anschaulich und numerisch stabil sind (Farin, 1994, S. 323). Darüber hinaus wurde gezeigt, dass diese sich für jeden Abschnitt im Grundrissmuster eignen und somit mit einer einzigen Methode alle notwendigen Kurven erzeugt werden können.

## 6.4 Keilförmige Faltung als Brustabnäher

Ein Abnäher ermöglicht es, dass eine flache Stoffbahn an eine Rundung des Körpers angepasst wird, indem ein keilförmiges Stück Stoff gefaltet und zugenäht wird. Dies ist teilweise notwendig bei Damenoberteilen, um die Brust ohne Faltenwurf auszuformen.

### 6.4.1 Notwendigkeit des Abnähers in Abhängigkeit der Körpermaße

In der Literatur konnte kein quantitatives Kriterium gefunden werden, wann ein solcher Abnäher notwendig ist. Grundlegend kommt die Schnittführung bei wohlproportionierten Figuren mit kleiner Brustgröße ohne Abnäher aus (Hofenbitzer, 2009, S. 160). Hier genügt die Elastizität des Stoffes, um sich an den Körper anzuschmiegen. Ein quantitatives Maß für die abzuformende Kurve ergibt die Differenz aus Brustumfang und Taillenumfang. Im Rahmen dieser Arbeit wurde das folgende Kriterium definiert:

*Die Differenz zwischen Taillenumfang und Brustumfang darf ohne Abnäher weniger als 15 cm betragen. Andernfalls ist die Rundung zu groß, sodass diese nicht alleine durch die Elastizität des Stoffes faltenfrei erzeugt werden kann. In einer Formel ausgedrückt bedeutet dies, dass der Schnitt ohne Brustabnäher auskommt, sofern gilt:*

$$U_{Brust}[\text{cm}] - U_{Taille}[\text{cm}] < 15 \text{ cm} \quad (6.20)$$

Betrachtet man die zugrundeliegenden Maße der Konfektionsgrößen, erkennt man, dass ab der Kleidergröße 36 ein Abnäher konstruiert wird. Da bei kleineren Brustumfängen auch ein schmalerer Abnäher genäht wird, wurde das Kriterium hier bewusst niedrigschwellig gewählt. Die Differenz zwischen Taillenumfang und Brustumfang ist lediglich ein Indikator für die Notwendigkeit eines Abnähers. Abbildung 6.15 zeigt, dass eigentlich der kontinuierliche Verlauf des Umfangs zwischen Brusthöhe und Taillenhöhe entscheidend ist. Der Verlauf am weiblichen Körper entspricht einer Kurvenlinie (blau gestrichelt), während im Schnittmuster ohne Abnäher eine lineare Umfangsänderung angenommen wird. Betrachtet wird hier ein eng anliegender Schnitt, d. h. den gemessenen Umfängen an Brust und Taille wird jeweils ein Untermaß abgezogen, um den Stoff unter leichter Dehnung am Körper anliegen zu lassen. Da die Höhe dieses Untermaßes abhängig ist von der Elastizität des Stoffes, wird die Elastizität für die Entscheidung, ob ein Abnäher nötig ist, nicht explizit in das Kriterium eingeschlossen. Tatsächlich unterliegt der Stoff keiner konstanten Dehnung, da der lineare Verlauf des Schnittmusters nicht der natürlichen Körperform entspricht. Stattdessen gibt es Bereiche mit erhöhter Dehnung (blau) und mit geringerer Dehnung (grün). Liegt jedoch der Verlauf der Umfänge der natürlichen Körperform unterhalb des Schnittmusters abzüglich Untermaß, so entstehen durch den überschüssigen Stoff Falten (orange). Es wird also deutlich, dass je größer die Differenz zwischen Umfang und Taille ist, desto steiler wird der Verlauf des Schnittmusters und desto leichter können Bereiche mit überschüssigem Stoff (orange) entstehen. Dies wird durch die Realisierung eines Brustabnähers verhindert.

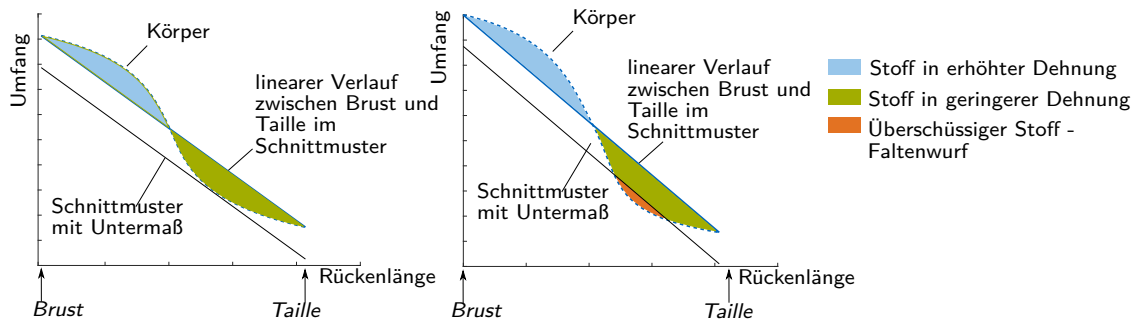


Abb. 6.15: Der Grundschnitt ohne Abnäher besitzt eine lineare Abnahme des Umfangs zwischen Brust und Taille. Der natürliche Verlauf der Umfangmaße des Körpers ist gekrümmt (gestrichelt). Bei einer großen Differenz zwischen Brust- und Taillenumfang liegt die Kurve des Körpers leicht unterhalb des Schnittmusters mit Untermaß (orange). Dieser überschüssige Stoff wirkt Falten.

### 6.4.2 Integration des Abnehmers in den Grundschnitt durch Rotation um Brustpunkt

Um den keilförmigen Abnäher in das Schnittmuster zu integrieren, wird der Teil der Seitennaht oberhalb des Abnäherbeginns um den Brustpunkt in den Bereich des Armausschnitts rotiert (siehe Abbildung 6.16). Der mittlere Bézierpunkt bleibt wie in Abbildung 6.6 gezeigt erhalten, jedoch verändert sich die Kurve des Armausschnitts deutlich durch die Verschiebung des Bézierpunktes an der Seitennaht.

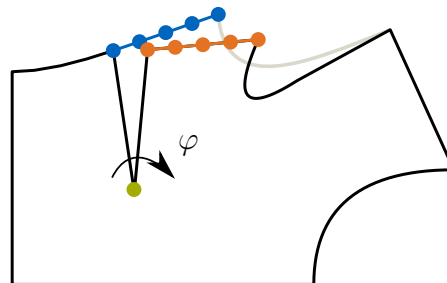


Abb. 6.16: Die Seitennaht oberhalb des Abnehmers (blau) wird um den Öffnungswinkel  $\varphi$  des Abnehmers um den Brustpunkt (grün) rotiert.

Eine Rotation um einen Winkel  $\varphi$  um einen beliebigen Punkt  $P$  mit der Position  $\mathbf{p} = (x_p, y_p)^T$  in der Ebene (siehe Abbildung 6.17) wird erreicht, indem man

- zunächst eine Translation  $\mathbf{t}(-x_p, -y_p)$  durchführt, die den Punkt  $P$  auf den Ursprung abbildet,
- gefolgt von einer Rotation  $\mathbf{R}(\varphi)$  um den Winkel  $\varphi$
- und anschließender Rücktranslation  $\mathbf{t}(x_p, y_p)$ .

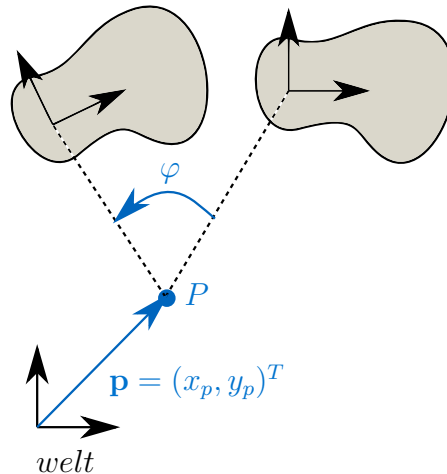


Abb. 6.17: Rotation um den Winkel  $\varphi$  um einen beliebigen Punkt  $P$ , beschrieben durch die Position  $\mathbf{p} = (x_p, y_p)^T$  im Weltkoordinatensystem.

In Form von homogenen Transformationsmatrizen lässt sich die Rotation um den Winkel  $\varphi$  um den Punkt  $P$  demnach folgendermaßen berechnen:

$$\mathbf{T}(x_p, y_p, \varphi) = \mathbf{T}_{\mathbf{t}(x_p, y_p)} \cdot \mathbf{T}_{\mathbf{R}(\varphi)} \cdot \mathbf{T}_{\mathbf{t}(-x_p, -y_p)} \quad (6.21)$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 & x_p \\ 0 & 1 & y_p \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos(\varphi) & -\sin(\varphi) & 0 \\ \sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & -x_p \\ 0 & 1 & -y_p \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6.22)$$

$$= \begin{pmatrix} \cos(\varphi) & -\sin(\varphi) & -\cos(\varphi) \cdot x_p + \sin(\varphi) \cdot y_p + x_p \\ \sin(\varphi) & \cos(\varphi) & -\sin(\varphi) \cdot x_p - \cos(\varphi) \cdot y_p + y_p \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6.23)$$

Anhand dieser Transformationsvorschrift lässt sich die Rotation der oberen Seitennaht um den Brustpunkt in den Bereich des Armausschnitts berechnen.

### 6.4.3 Geometrie des Faltungsdreiecks

Für den Abnäher wird ein keilförmiges Stück Stoff gefaltet und abgenäht. Dieses Prinzip wird in Abbildung 6.18 anhand einer Origamifaltung veranschaulicht. Hierbei wird das rote Stück Papier mittig gefaltet (siehe Abbildung 6.18b) und seitlich umgeklappt (siehe Abbildung 6.18d). In Abbildung 6.18c ist die hierdurch entstandene Wölbung des Papiers zu erkennen.

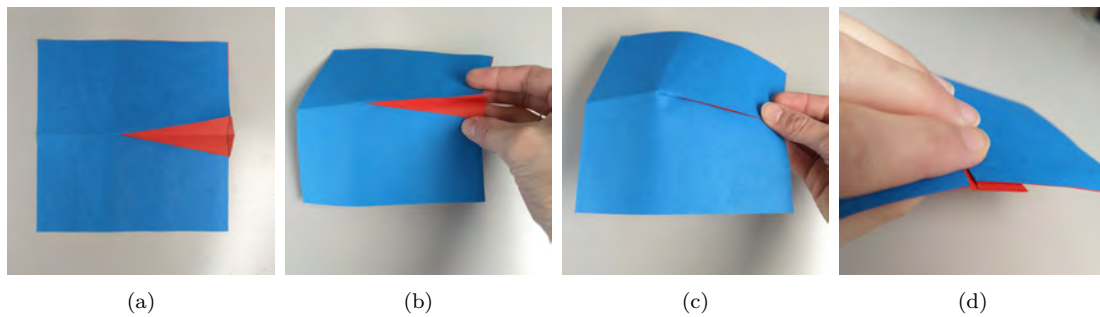


Abb. 6.18: Faltung des Brustabnehmers veranschaulicht anhand einer Origamifaltung. Der rote Papierbereich (a) wird mittig gefaltet (b), wodurch eine Wölbung entsteht (c). Der rote Papierfalz wird seitlich umgelegt (d). Damit dies im gefalteten Zustand eine glatte Linie mit den Außenkanten des blauen Papiers bildet, muss die auf dem roten Papier schraffierte Dreiecksfläche (a) hinzugefügt werden.

Damit der Abnäher in der Seitennaht des Shirts befestigt werden kann, muss er im gefalteten Zustand eine glatte Linie mit den Außenkanten bilden. Hierzu muss das in Abbildung 6.18a schraffierte Dreieck hinzugefügt werden. Dessen Abmessungen lassen sich bei bekannter Geometrie des Einschnitts berechnen. Es sind also die Abmessungen des weißen Dreiecks in Abbildung 6.19a bekannt, während diejenigen des schwarzen Dreiecks berechnet werden.

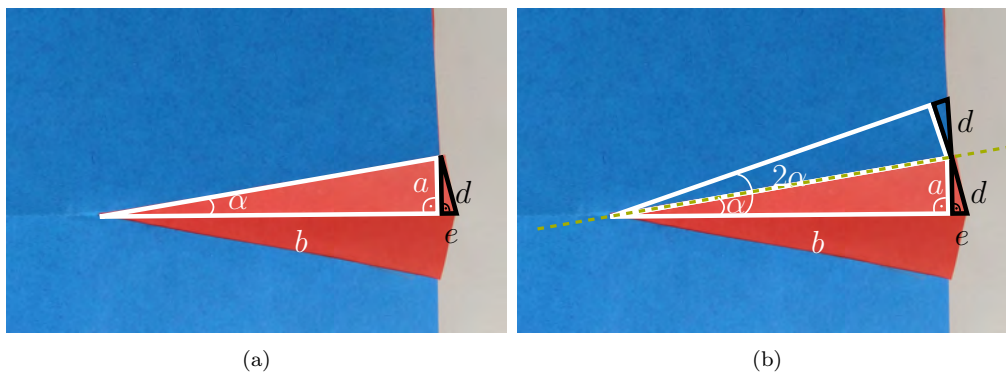


Abb. 6.19: Die Geometrie des Abnehmers (weißes Dreieck) ist bekannt (a). Die Geometrie des schwarzen Dreiecks lässt sich berechnen, indem die Dreiecke entlang der Faltungslinie (grün gestrichelt) gespiegelt betrachtet werden. Dies entspricht exakt der Position, in der das rote Papier im gefalteten Zustand liegt.

Entsprechend der Faltung werden die beiden Dreiecke aus Abbildung 6.19a entlang der grün gestrichelten Linie wie in Abbildung 6.19b gezeigt gespiegelt. Die beiden weißen und schwarzen Dreiecke sind demnach kongruent. Die unbekannt Abmessungen des schwarzen Dreiecks lassen sich nun berechnen, indem zunächst das große rechtwinklige Dreieck, aufgespannt durch den doppelten Öffnungswinkel ( $2\alpha$ ), betrachtet wird.

$$\tan(2\alpha) = \frac{a+d}{b} \quad \Leftrightarrow \quad d = b \cdot \tan(2\alpha) - a \quad (6.24)$$

Wendet man nun den Satz des Pythagoras auf das schwarze Dreieck an und setzt die Formel 6.24 ein, so ergibt sich die Kantenlänge  $e$ .

$$e = \sqrt{d^2 - a^2} = \sqrt{(b \cdot \tan(2\alpha) - a)^2 - a^2} \quad (6.25)$$

Die beiden Abmessungen  $a$  und  $b$  werden hierbei in Abhängigkeit des Brustumfangs gewählt. Hierbei entspricht die Länge des Abnehmers  $b$  einem Zwölftel des Brustumfangs. Somit liegt die Spitze bei dem Winkel  $\alpha$  des Dreiecks in etwa auf dem Brustpunkt, welcher der erhabensten Stelle der Brust entspricht. Die Höhe  $a$  des Dreiecks entspricht dem 0,015-fachen Brustumfang, also die gesamte Höhe des Abnehmers dem 0,03-fachen Brustumfang.

## 7 Rechnergestützter Entwurf von maßangepassten Produktionsschnitten

Der Grundschnitt des Oberteils wird anhand der Körpermaße parametrisierter und unter Berücksichtigung der gewünschten Passform und der elastischen Dehnbarkeit des verwendeten Stoffes rechnergestützt erzeugt. Darauf aufbauend wird ein Produktionsschnitt abgeleitet. Hierbei werden je nach gewählter Verarbeitungsart die entsprechenden Naht- und Saumzugaben hinzugefügt sowie ein passendes Schnittmuster eines Bündchenstreifens für den Halsausschnitt erzeugt.

### 7.1 Parametrisierter Grundschnitt

Um das individualisierte Schnittmuster zu entwerfen, werden zunächst Konstruktionspunkte in Abhängigkeit von Körpermaßen definiert. Hierbei werden die gewünschte Passform und die Stoffeigenschaften berücksichtigt. Darauf basierend kann mit den Methoden aus Kapitel 6 der Grundschnitt als Polygonzug erstellt werden.

#### 7.1.1 Körpermaße und Konstruktionsmaße

Das exakte Ermitteln der Körpermaße ist die Grundlage zur Erzeugung eines gut sitzenden Kleidungsstückes. Neben einem einfachen Maßband können auch Körperscansysteme die entsprechenden Abmessungen berechnen. Das Ermitteln der Körpermaße ist nicht der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit. Daher werden die Maße hier mit einem einfachen Maßband genommen, was eine kostengünstige und leicht verfügbare Methode ist. Im Anhang wird dennoch ein exemplarischer Vergleich von unterschiedlichen Methoden zur Ermittlung der Körpermaße gezeigt.

Mithilfe von einfachen Anleitungen soll es auch ungeübten Personen ermöglicht werden, die Maße ausreichend genau zu ermitteln. In Optimierungsiterationen wurde außerdem die Anzahl der erforderlichen Körpermaße reduziert auf neun robust zu messende Maße (siehe auch Maßblatt im Anhang). In der Praxis wurde gezeigt, dass Maße, die schwer zu ermitteln sind (z. B. die Armlochtiefe oder Schultertiefe) durch Näherung auf Grundlage anderer Körpermaße geschätzt werden können. Solche Berechnungen von Maßen auf Grundlage von gemessenen Maßen findet sich auch in der Literatur (Hofenbitzer, 2009).

Abbildung 7.1 zeigt die Maße zur Ableitung des Oberteilgrundschnittes. Der Oberkörper wird mit drei Längenmaßen und drei Umfangmaßen vermessen. Am Arm werden eine Länge und zwei Umfänge bestimmt. Für die Messung sollte die zu vermessende Person nur leichte, eng anliegende Kleidung tragen und eine aufrechte, aber lockere Haltung einnehmen. Vor Beginn der Messung wird als Referenz an der schmalsten Stelle des Oberkörpers ein Taillenband angelegt (z. B. Kordel



oder Gummiband). Es sollte immer als Referenz die untere Kante des Bandes beim Maßnehmen genutzt werden.

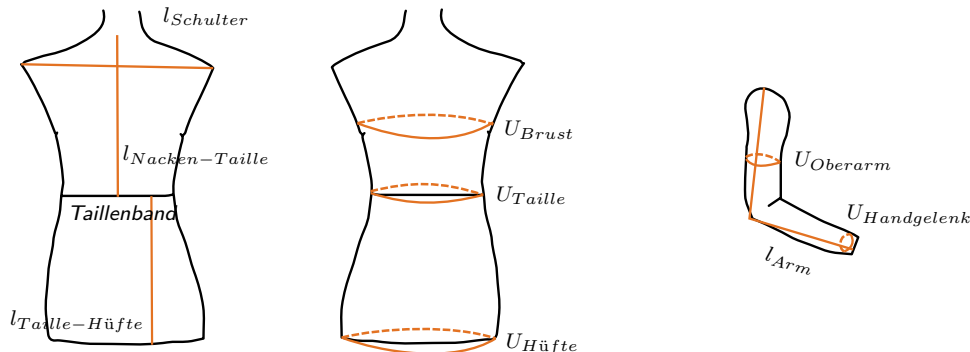


Abb. 7.1: Körpermaße, die zur Erzeugung des maßangepassten Shirts benötigt werden: Die drei Längenmaße werden am Rücken gemessen, drei Umfangmaße werden am Oberkörper ermittelt und der Arm wird mit zwei Umfängen und einer Länge vermessen.

Folgende **Körpermaße** werden für die Konstruktion des Grundschnittmusters benötigt (siehe auch Abbildung 7.1):

- *Rückwärtige Schulterbreite* ( $l_{Schulter}$ ): Die Länge zwischen den Schulterpunkten wird gemessen, was dem Abstand zwischen den Ärmelansätzen entspricht. Als Referenz kann hier der seitliche Rand des Acromions als anatomischer Bezugspunkt ertastet werden. Dies ist der obere Knochen der Schulter, der direkt unter der Haut liegt und daher gut ertastet werden kann.
- *Rückenlänge* ( $l_{Nacken-Taille}$ ): Der Abstand zwischen dem 7. Halswirbel und dem Taillenband wird entlang der Wirbelsäule gemessen. Der hervorstechende 7. Halswirbel kann besonders bei einer Beugung des Kopfes nach vorne ertastet werden. Er entspricht genau dem Punkt, an dem der Halsausschnitt des Shirts später verlaufen soll.
- *Sitztiefe* ( $l_{Taile-Hüfte}$ ): Der Abstand zwischen dem Taillenband und der stärksten Stelle des Gesäßes wird gemessen. Um hierbei die Gesäßrundung nicht zu vernachlässigen, wird das Maßband nicht mittig entlang der Wirbelsäule, sondern seitlich über das Gesäß angelegt.
- *Brustumfang* ( $U_{Brust}$ ): Der Umfang über die stärkste Stelle der Brust wird gemessen.
- *Taillenumfang* ( $U_{Taile}$ ): Der Umfang an der schmalsten Stelle des Oberkörpers, dort wo das Taillenband liegt, wird gemessen.
- *Hüftumfang* ( $U_{Hüfte}$ ): Der Umfang über die stärkste Stelle des Gesäßes wird gemessen.
- *Oberarmumfang* ( $U_{Oberarm}$ ): Der Umfang an der stärksten Stelle des Oberarmes wird gemessen.

- *Armlänge* ( $l_{Arm}$ ): Der Arm wird leicht angewinkelt. Anschließend wird die Länge vom Schulterpunkt über die Ellenbogenspitze bis zum äußeren Handknöchel gemessen.
- *Handgelenkumfang* ( $U_{Handgelenk}$ ): Der Umfang über die Handgelenk-Knöchel wird gemessen.

Auf Grundlage von diesen Körpermaßen werden folgende **Konstruktionsmaße** berechnet:

- *Ärmellänge* ( $l_{Ärmel}$ ): Je nach gewünschter Ärmellänge wird auf das gemessene Maß ein Faktor  $c$  multipliziert.

$$l_{Ärmel} = c \cdot l_{Arm} \quad (7.1)$$

Wobei für den Faktor  $c$  gilt:  $c = 1$  für lange Ärmel,  $c = 0.7$  für 3/4-Ärmel,  $c = 0.3$  für kurze Damenärmel und  $c = 0.4$  für kurze Herrenärmel.

- *Armlochbreite* ( $l_{Armloch}$ ): Die Armlochbreite wird auf Grundlage des Brustumfangs ermittelt (Hofenbitzer, 2009, S. 11). Sie entspricht dem Durchmesser des Oberarmes.

$$l_{Armloch} = \begin{cases} U_{Brust}/8 - 1,5 \text{ cm} & 80 \text{ cm} \leq U_{Brust} < 90 \text{ cm} \\ U_{Brust}/8 - 1,0 \text{ cm} & 90 \text{ cm} \leq U_{Brust} < 100 \text{ cm} \\ U_{Brust}/8 - 0,5 \text{ cm} & 100 \text{ cm} \leq U_{Brust} < 110 \text{ cm} \\ U_{Brust}/8 & 110 \text{ cm} \leq U_{Brust} < 120 \text{ cm} \\ U_{Brust}/8 + 0,5 \text{ cm} & 120 \text{ cm} \leq U_{Brust} < 150 \text{ cm} \end{cases} \quad (7.2)$$

Zusätzlich hierzu werden **Festmaße** für die Konstruktion definiert. Diese sind unabhängig von den Körpermaßen und erzeugen eine Neigung der Schulternaht.

- *Erstes Festmaß*  $l_{Festmass1} = 2 \text{ cm}$  wird für die Erhöhung der Schulternaht am Halsausschnitt sowie für die Absenkung der Schulternaht am Schulterpunkt des Rückteils genutzt.
- *Zweites Festmaß*  $l_{Festmass21} = 3 \text{ cm}$  wird für die Absenkung der Schulternaht am Schulterpunkt des Vorderteils genutzt.

### 7.1.2 Zugaben in Abhängigkeit der Elastizität des Stoffes

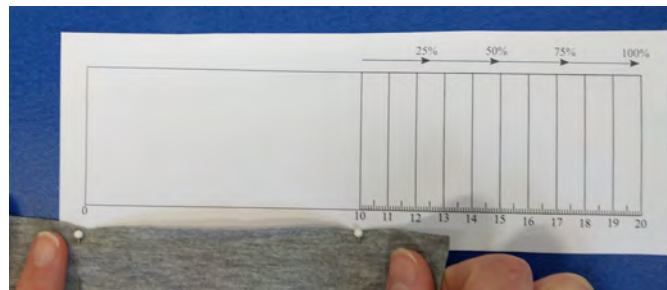
**Elastizität von unterschiedlichen Stoffarten** Die Elastizität eines Stoffes sagt aus, wie stark sich dieser vom Ausgangsmaß dehnen kann, ohne dabei eine bleibende Streckung zu hinterlassen. Sie wird zum einen durch den Anteil dehnbarer Fasern (höchste Dehnbarkeit hat Elastan) und zum anderen durch die Art des Flächenaufbaus (gestrickte Stoffe sind dehnbarer als gewebte Stoffe) beeinflusst.

Die Dehnbarkeit bzw. Elastizität eines Stoffes ist maßgeblich für dessen Tragekomfort, Formbarkeit, Formbeständigkeit und Knittererholungsfähigkeit verantwortlich (Eberle et al., 2013, S. 43).

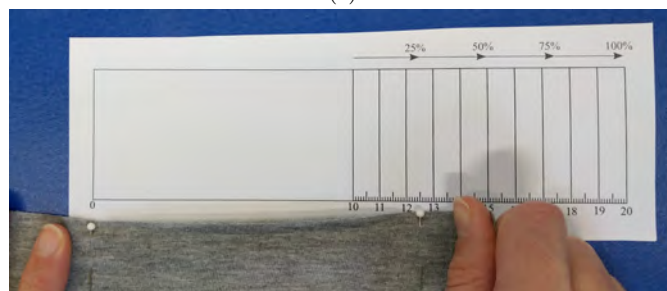
Die elastische Dehnung  $\varepsilon_{el}$  ist die auf die Ausgangslänge  $l_0$  des Prüfkörpers bezogene elastische Längenänderung  $\Delta l_{el}$ .

$$\varepsilon_{el} = \frac{\Delta l_{el}}{l_0} \quad (7.3)$$

Prinzipiell kann die Zug-, Druck-, Biege-, Scher- und Torsionselastizität bestimmt werden, wobei für die meisten Anwendungen Kenntnisse über die Zugelastizität ausreichen (Reumann, 2000, S. 98). Dies trifft auch für den Schnittmusterentwurf zu. Selten wird die Elastizität eines Stoffes beim Kauf ausgewiesen. Für die genaue Ermittlung sollte auf Methoden der technischen Textilprüfung zurückgegriffen werden (DIN 53835-14, 1992; Reumann, 2000, S. 99-122). Da bei der Schnittmusterkonstruktion von eng anliegenden Modellen berücksichtigt wird, dass der Stoff im mittleren Bereich seiner elastischen Dehnung genutzt wird, genügt eine ungefähre Abschätzung ohne aufwendige Apparaturen wie diese in Abbildung 7.2 gezeigt wird. Ein Baumwoll-Misch-Jersey besitzt in etwa eine elastische Dehnbarkeit von 0,25. Ein besonders dehnbare Sportstoff kann eine elastische Dehnbarkeit bis hin zu 0,7 aufweisen.



(a)



(b)

Abb. 7.2: Abschätzung der Elastizität eines Stoffes: Zunächst wird ein Bereich von 10 cm mithilfe von Stecknadeln markiert (a). Anschließend wird dieser vorsichtig schrittweise nur so weit gedehnt, dass er in seine Ausgangslänge zurückkehrt. Die maximale Länge wird abgelesen (b). Mithilfe von Formel 7.3 kann die Elastizität berechnet werden. Die obere Skala zeigt die Elastizität in % an.

**Passformklassen und Zugaben** Grundschnitte werden mit unterschiedlichen Weitenzugaben konstruiert. Die Passformklasse ist ein Indikator für die verwendete Weite. Die Passformklassen sind nicht einheitlich oder genormt. Hofenbitzer (2009, S. 132) gibt die Passformklasse mit Zahlen an, die der Zugabe für den halben Brustumfang entsprechen.

Bei eng anliegender Bekleidung aus elastischen Materialien wird mit geringeren Konstruktionsmaßen als den Körpermaßen konstruiert. In diesem Fall ist die sogenannte Weitenzugabe demnach ein negativer Wert. Diese Abzüge können je nach Schnittsystem als feststehendes Maß oder als Anteil des Körpermaßes angegeben werden (Küpper, 2019). Da eine am Körpermaß anteilige Berechnung der Zugabe vergleichbare Dehnungen für sehr kleine als auch große Körperabmessungen erzeugt, wird dieses Vorgehen in vorliegender Arbeit genutzt. Die Weitenzugabe  $l_{Zugabe}$  berechnet sich demnach aus einem Weitenzugabefaktor  $f$  und dem entsprechenden Körpermaß, hier mit dem Platzhalter  $l_{Körper}$  bezeichnet.

$$l_{Zugabe} = f \cdot l_{Körper} \quad (7.4)$$

Gewöhnlich wird ein Schnitt mit einer bestimmten Weitenzugabe passend für eine Stoffklasse, also Stoffe mit ähnlicher Elastizität, konstruiert. Bei der rechnergestützten Schnittmusterkonstruktion in vorliegender Arbeit wird die Elastizität des Stoffes zur Anpassung der Weitenzugabe genutzt. Es wurden die vier Passformklassen 'extra tight', 'tight', 'regular' und 'loose' definiert (siehe Tabelle 7.1). Der sich hieraus ergebende Schnitt wurde sowohl für einen Stoff mit der soeben genannten häufigen Elastizität  $\varepsilon_{el} = 0.25$  als auch für einen Stoff mit einer sehr hohen Elastizität  $\varepsilon_{el} = 0.5$  getestet.

Tab. 7.1: Passformklassen und Weitenzugaben: Die Weitenzugaben werden in Relation zur Elastizität des Stoffes berechnet.

Passformklasse	Berechnung Weitenzugabefaktor $f$ in Abhängigkeit der elastischen Dehnbarkeit $\varepsilon_{el}$
'extra tight'	$f = -0.4 \cdot \varepsilon_{el}$
'tight'	$f = -0.1 \cdot \varepsilon_{el}$
'regular'	$f = 0.05 \cdot \varepsilon_{el}$
'loose'	$f = 0.15 \cdot \varepsilon_{el}$

Somit ergeben sich die Werte für die Weitenzugabe  $l_{Zugabe}$  für Jersey mit  $\varepsilon_{el} = 0.25$  und einen Brustumfang  $U_{Brust} = 84$  cm gemäß Formel 7.4 und Tabelle 7.1 zu

- $l_{Zugabe} = -8,4$  cm für die Passformklasse 'extra tight',
- $l_{Zugabe} = -2,1$  cm für die Passformklasse 'tight',
- $l_{Zugabe} = 1,05$  cm für die Passformklasse 'regular' sowie

- $l_{Zugabe} = 3,15$  cm für die Passformklasse 'loose'.

Die Weitenzugaben werden bei der Konstruktion des Grundschnittes auf die Umfangmaße angewendet, um engere oder weitere Passformen zu erzielen. Ein Vergleich des Grundschnittes unterschiedlicher Passformen ist in Abbildung 7.3 gezeigt. Die Konturen im Bereich der Seitennaht verlaufen hierbei nicht exakt parallel zueinander, da die Weitenzugaben in Abhängigkeit des entsprechenden Körpermaßes, also des Brust-, Taillen- und Hüftumfangs, berechnet werden.

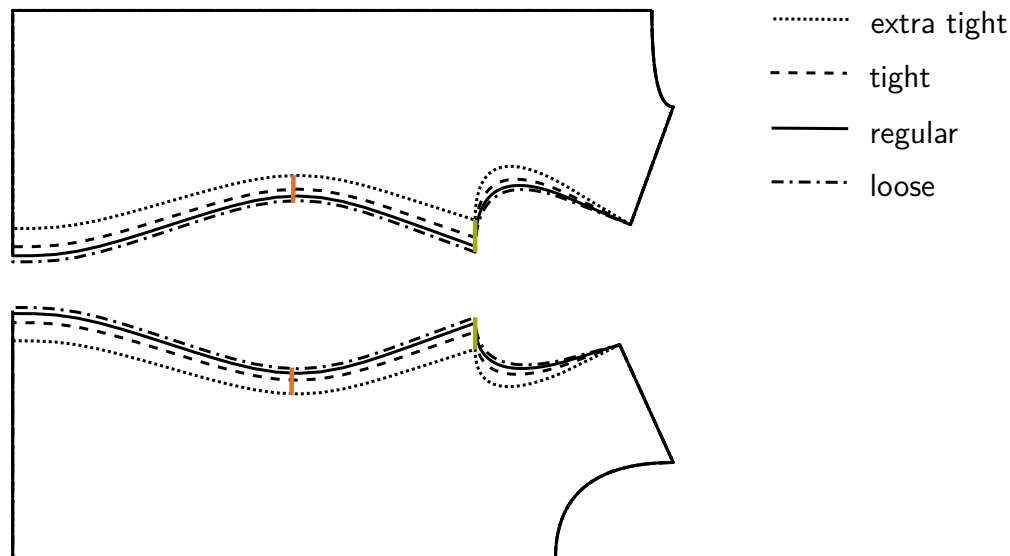


Abb. 7.3: Grundschnitt eines Damenoberteils für verschiedene Passformklassen. Da die Weitenzugabe anteilig am entsprechenden Körpermaß berechnet wird, ist diese an der Brust geringfügig größer (grüne Linie) als im Bereich der Taille (orange Linie).

### 7.1.3 Berechnung von Konstruktionspunkten

**Vorder- und Rückteil eines Damenoberteils** Die Konstruktionspunkte des Vorder- und Rückteils lassen sich anhand der gemessenen Körpermaße, der berechneten Konstruktionsmaße sowie der konstanten Festmaße beschreiben (siehe Abbildung 7.4). Bei den Umfangmaßen werden gemäß Abschnitt 7.1.2 Zugaben berücksichtigt, um die gewünschte Passform zu erzeugen. Es sei darauf hingewiesen, dass ein Schnittmusterteil jeweils nur ein Viertel des Oberkörpers abdeckt und daher auch nur ein Viertel der Zugabe addiert wird.

Der V-Ausschnitt wird erzeugt, indem der Ausschnitt im Vorderteil 12 cm tiefer gelegt und die Schulternaht um 2 cm verschmälert wird (siehe Abbildung 7.5). Um einen leicht geschwungenen Verlauf des V-Ausschnittes im Vorderteil zu erzeugen, wird mittig auf der Verbindungslinie von dem tiefsten Ausschnittspunkt zum Beginn des Ausschnitts an der Schulternaht ein Punkt mit 3 cm Entfernung gelegt. Dieser wird als Stützpunkt für die Bézierkurve des vorderen Ausschnitts genutzt. Auch am Rückteil wird die Schulternaht um 2 cm verkürzt. Ansonsten werden

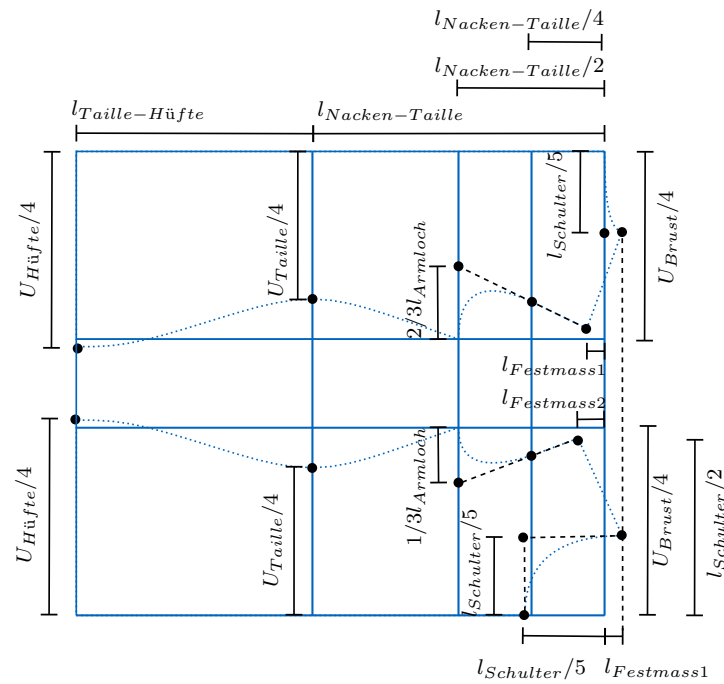


Abb. 7.4: Parametrisierter Grundschnitt mit Rundhalsausschnitt des Damenoberteils anhand von Körpermaßen, Konstruktionsmaßen und Festmaßen.

die gleichen Stützpunkte für die Bézierkurve des hinteren Ausschnitts genutzt wie beim Rundhalsausschnitt.

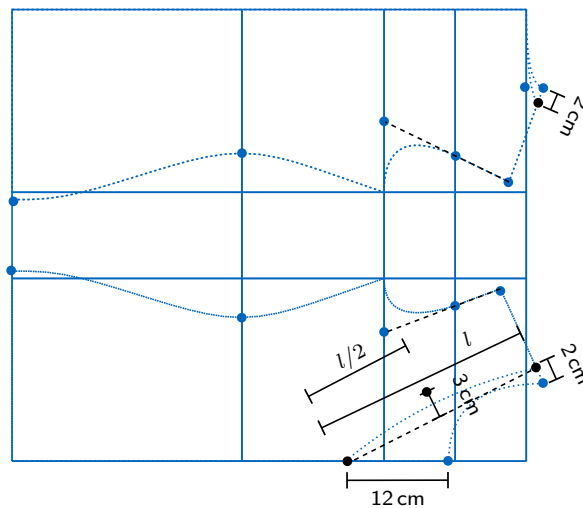


Abb. 7.5: Definition der Konstruktionspunkte (schwarz) für den V-Ausschnitt eines Damenoberteils: weiterer Halsausschnitt am Rückteil (oben) sowie Vertiefung des Ausschnittes und Ausformung des V-Ausschnittes am Vorderteil (unten).

Je nach Differenz zwischen Taillenumfang und Brustumfang wird beim Damen-grundschnitt ein Brustabnäher integriert. Dessen Konstruktion inklusive der Ab-messungen wird in Kapitel 6.4 erläutert.

**Ärmel für ein Damenoberteil** Die Konstruktionspunkte für den Ärmel (siehe Abbildung 7.6) werden anhand der Maße des Arms (Armlänge  $l_{Arm}$ , Oberarmumfang  $U_{Oberarm}$  und Handgelenkumfang  $U_{Handgelenk}$ ) sowie den aus dem Schnittmuster von Vorder- und Rückteil abgeleiteten Maßen für das vordere Armloch  $l_{vArmloch}$  und hintere Armloch  $l_{hArmloch}$  festgelegt. Für die beiden Armlochlängen wird jeweils die Kurvenlänge des Armlochs von der Seitennaht bis zur Schulternaht ausgemessen. Die Summe der beiden Werte ergibt den Armlochumfang  $U_{Armloch}$ .

$$U_{Armloch} = l_{vArmloch} + l_{hArmloch} \quad (7.5)$$

Darüber hinaus werden noch Festmaße, wie in Abbildung 7.6 in Zahlenwerten angegeben, für die Konstruktion genutzt.

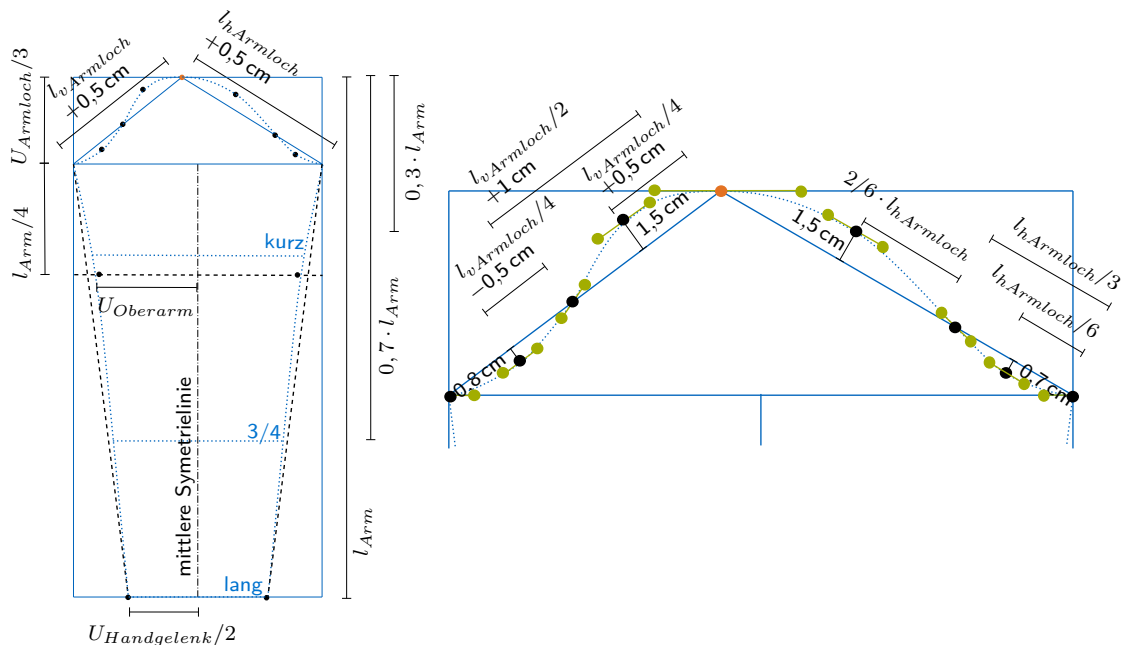


Abb. 7.6: Parametrisierter Grundriss des Ärmels für ein Damenoberteil anhand von Körpermaßen, Konstruktionsmaßen und Festmaßen: Gerüst der Konstruktionspunkte (links) sowie Konstruktionspunkte des Armkegels (rechts)

Zur Ausformung des Armkegels werden acht Bézierkurven 3. Grades genutzt. Diese werden gemäß Abschnitt 6.3.2 knickfrei verbunden, indem Start- und Endpunkt der zu verbindenden Kurven identisch sind und auf einer Geraden mit den jeweils benachbarten Bézierpunkten liegen. Somit werden, wie auch in Abbildung 7.6 rechts veranschaulicht, 25 Konstruktionspunkte für den Armkegel benötigt. Die Start- und Endpunkte sind schwarz markiert und werden anhand der eingetragenen Maße definiert. Die mittleren Bézierpunkte sind grün gekennzeichnet. Sie sind so gewählt, dass die Tangenten am Ende und am Anfang des Armkegels sowie am Schulterpunkt (orange) jeweils der Horizontalen entsprechen. Die Tangenten der Kurve in den schwarzen Konstruktionspunkten abseits des Konstruktionsdreiecks (blau) entsprechen jeweils Parallelen zu den Schenkeln des Konstruktionsdreiecks. Die Tangenten in den Konstruktionspunkten auf dem Konstruktionsdreieck sind

parallel zu den Verbindungslinien der beiden benachbarten schwarzen Konstruktionspunkte. Die Abstände der mittleren Bézierpunkte (grün) zu den Start- und Endpunkten (schwarz) sind relativ zu den Armlochumfängen definiert.

Durch dieses Vorgehen wird ein Armkegel konstruiert, dessen Kurvenlänge  $l_{\text{Armkegel}}$  näherungsweise dem Armlochumfang  $U_{\text{Armloch}}$  entspricht. Um diese weiter aneinander anzunähern, wird in einem iterativen Prozess der Schulterpunkt (orange) um die Differenz der beiden Werte vertikal verschoben, d. h. die Höhe des Konstruktionsdreiecks angepasst.

Wie bei Vorder- und Rückteil werden auch beim Ärmel Weitenzugaben je nach Passformklasse berücksichtigt. Diese werden an Handgelenks- und Oberarmumfang addiert. Hierbei handelt es sich stets um positive Werte, da aufgrund der Muskelbewegung am Oberarm zum Erhalt des Komforts eine gewisse Mehrweite erforderlich ist und durch den Saum am Handgelenk die Hand hindurchgeführt werden muss. Dennoch wird bei einer engen Passform ('extra tight' oder 'tight') ein so enger Sitz des Ärmels gewährleistet, dass Sensoren oder passive Schutzelemente befestigt werden können (siehe Kapitel 8).

**Abwandlungen für einen Herrengrundschnitt** Die Schnittführung für Herren unterscheidet sich in einigen Bereichen von der Schnittführung bei Damen. In den Herrengrundschnitt wird kein Brustabnäher integriert, da dies aufgrund der männlichen Körperform mit schwächer ausgeprägter Brust nicht notwendig ist. Der V-Ausschnitt wird weniger weit ausgeschnitten (siehe Abbildung 7.7b). Er wird gegenüber dem Rundhalsausschnitt lediglich 4 cm tiefer gelegt und an der Schulternaht nur 1 cm verkürzt. Die Führung der Seitennaht ist abhängig von der Passformklasse (siehe Abbildung 7.7a):

- In den Passformen 'extra tight' und 'tight' wird er analog zum Damenschnitt tailliert ausgeführt. Dies entspricht keinem klassischen Herrenschnitt, erzeugt jedoch ein faltenfreies eng anliegendes Shirt, wie es für einige Applikationen, wie zum Tragen unter Exoskeletten oder zur Integration körpernaher Sensorik, benötigt wird.
- Bei den Passformen 'regular' und 'loose' wird kein taillierter, sondern eine näherungsweise gerade Schnittführung realisiert, wie sie in der Herrenmode üblich ist. Hierzu wird nicht das Tailllenmaß an der Taille angesetzt, sondern das Brustmaß verwendet. Die Brust wird etwas weiter ausgestellt, indem hier die Weitenzugabe zweifach hinzugefügt wird.



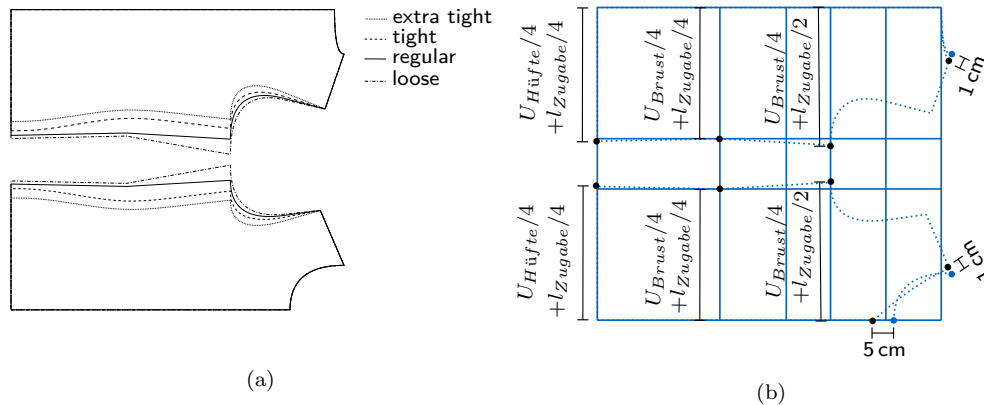


Abb. 7.7: Grundschnitt eines Herrenoberteils für verschiedene Passformklassen (a). Die Schnittführung der Seitennaht ist für die Passformklassen 'extra tight' und 'tight' analog zum Damengrundschnitt tailliert ausgeführt. Bei den Passformklassen 'regular' und 'loose' werden die Konstruktionspunkte für die Seitennaht abweichend vom Damenschnitt gelegt (b). Die Konstruktionspunkte für den V-Ausschnitt des Herrenoberteils werden durch die gekennzeichneten Festmaße definiert.

Die Ärmel werden analog zu den Damenärmeln mit folgenden Abweichungen konstruiert:

- Der kurze Ärmel wird etwas länger ausgeführt als in der Variante für Damen. Seine Länge entspricht der 0,4-fachen Armlänge.
- Die Zugaben für die Umfangmaße sind größer als bei Damen. Aufgrund des häufig ausgeprägteren Bizeps wird am Oberarm auch bei engen Passformklassen eine leicht höhere Zugabe verwendet, um auch bei Bewegung des Oberarms (Verformung des Muskels) einen ausreichenden Komfort sicherzustellen. Bei den weiteren Passformklassen werden doppelt so große Weitenzugaben wie beim Damenärmel hinzugefügt.

## 7.2 Produktionsschnitt

Der Grundschnitt, dessen Konstruktion im vorherigen Abschnitt erläutert wurde, beschreibt die Abmessungen des späteren Kleidungsstückes. Um dieses zu fertigen, wird ausgehend vom Grundschnitt ein Produktionsschnitt abgeleitet. Zum Erstellen eines solchen bedarf es Wissen über die spätere Verarbeitungsweise, um die entsprechenden Zugaben für Nähte und Säume hinzuzufügen sowie ggf. weitere Schnittmuster Teile wie Bündchenstreifen abzuleiten.

### 7.2.1 Verarbeitung mit Nähten, Säumen und Bündchen

Um aus dem Grundschnitt ein Oberteil zu fertigen, sind in verschiedenen Abschnitten unterschiedliche Verarbeitungstechniken notwendig. Abbildung 7.9 zeigt eine Einteilung in die drei Bereiche

- einfache Nähte zum Fügen von Schnittmusterteilen (blau gestrichelt),
- Säume zum Herstellen eines Abschlusses einer offenen Kante (orange durchgezogen) und
- Einfassungen mittels Bündchen zum Abschluss am stark gerundeten Halsausschnitt (schwarz gepunktet).

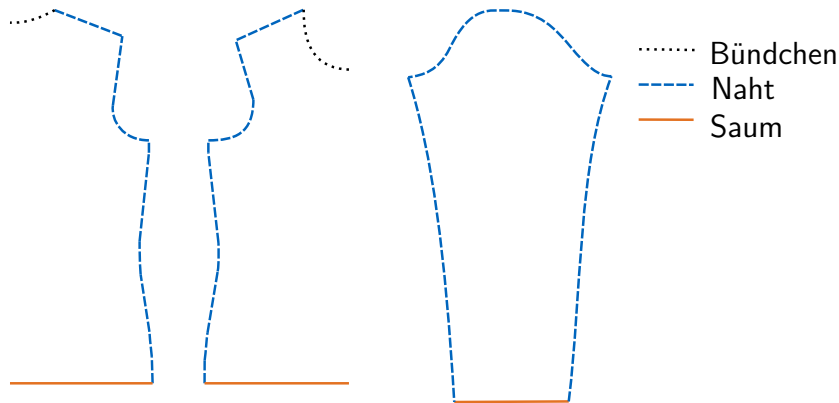


Abb. 7.8: Kennzeichnung der Abschnitte im Schnittmuster für die Verarbeitung: Nähte (blau gestrichelt), Säume (orange durchgezogen) und Bündchen (schwarz gepunktet).

**Naht** An jeder Kante, die später mit einer Naht geschlossen wird (blau gestrichelt in Abbildung 7.8), wird die Kontur um das Maß der Nahtzugabe nach außen verlegt. Dieser zusätzliche Stoff landet später im Kleidungsstück, während die Naht genau auf der konstruierten Außenlinie (schwarz) zum Liegen kommt. Ein gängiger Wert für die Nahtzugabe ist 1 cm. Bei der Verarbeitung mit einer Overlocknaht, wie es sich für die hier vorgestellten elastischen Shirts anbietet, bedeutet dies, dass während des Nähens beispielsweise ein schmaler Streifen von 3 mm abgeschnitten und eine 7 mm breite Naht inklusive Versäuberung erzeugt werden kann.

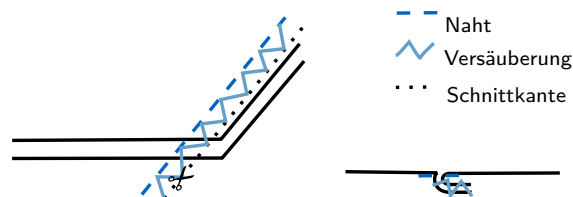


Abb. 7.9: Schematische Darstellung einer Overlocknaht: Die Kante des Stoffes wird abgeschnitten, die Naht gesteppt und die Kante des Stoffes versäubert (links). All diese Schritte können mithilfe einer Overlockmaschine in einem einzigen Arbeitsgang durchgeführt werden. Die Naht wird anschließend im Kleidungsstück zur Seite flach gefaltet (rechts).

**Saum** Der Saum des elastischen Shirts kann auf vielzählige Arten verarbeitet werden. Im Folgenden werden drei unterschiedliche Varianten vorgestellt (siehe Abbildung 7.10). Wie Abbildung 7.10a zeigt, wird ein gesteppter Saum erzeugt,

indem der Stoff nach innen umgeschlagen wird und dort mit einem elastischen Stich abgesteppt wird. Hierfür verwendet man optimalerweise eine breite Stichtart, sodass die Stoffkante gefasst und festgenäht wird. Dies kann mit speziellen Maschinen, sogenannten Coverlocks, oder auch mit einer herkömmlichen Nähmaschine mit Zwillingsnadel oder entsprechender Stichauswahl erreicht werden. Die Zugabe für den Saum ist so hoch wie die Breite des gewünschten Umschlags. Ein gängiger Wert sind hierfür 2 cm. Bei einem Rollsaum wird die Kante des Stoffes von schmalen Fadenschlingen umschlungen und dabei leicht eingerollt. Wird dieser mithilfe einer Overlockmaschine erzeugt, so wird wie in Abbildung 7.10b ein schmaler Streifen des Stoffes abgeschnitten und die Stoffkante mithilfe der Fadenschlingen leicht eingerollt. Hierfür genügt eine geringe Saumzugabe von ungefähr 0,5 cm. Der Abschluss eines Kleidungsstückes kann auch in Form eines Bündchens erfolgen. Üblicherweise wird dieses als zusätzliches Schnittteil an den Saum angenäht. Wie in Abbildung 7.10c dargestellt, können einfache Bündchen auch durch ein zweifaches Einschlagen des Stoffes und anschließendes Nähen einer Ovelocknaht erzeugt werden. Das Bündchen wird anschließend ausgeklappt und mit einer weiteren Steppnaht die Nahtzugabe fixiert. Die Zugabe entspricht hier der Summe aus doppelter Bündchenbreite und dreifacher Nahtzugabe.

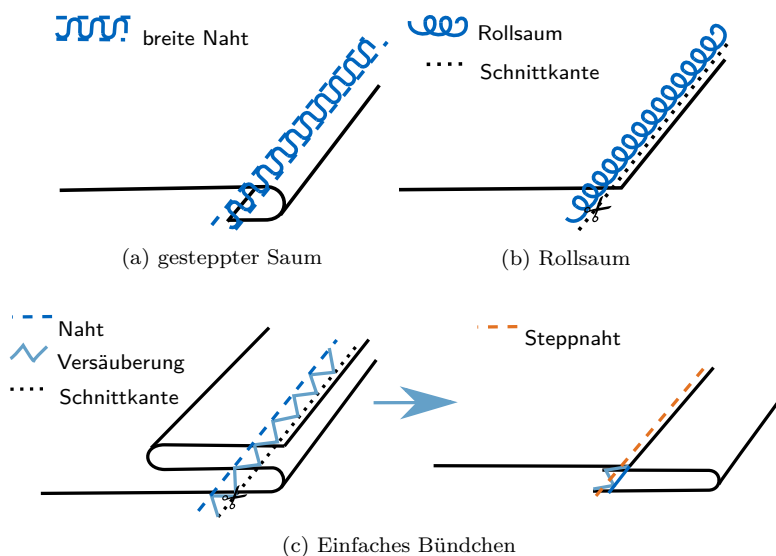


Abb. 7.10: Drei Varianten zur Erzeugung eines Saums: Ein gesteppter Saum mittels einfachem Umschlag des Stoffes (a), ein Rollsaum durch Umnähen der Stoffkante (b) und die Herstellung eines einfachen Bündchens (c). Alle Varianten eignen sich für dehbare Stoffe, erzeugen jedoch unterschiedliche Stilrichtungen.

**Einfassung mit Bündchen** An stark gerundeten Abschlüssen kann der Stoff nicht mit den oben vorgestellten Saumtechniken faltenfrei umgeschlagen werden. Stattdessen wird an diesen Bereichen, hier am Halsausschnitt, mit einem zusätzlichen Bündchen eingefasst. Die Breite des Bündchens wird bereits im Grundschnitt berücksichtigt, indem diese beim Halsausschnitt abgezogen wird. Abbildung 7.11 zeigt schematisch, wie ein solches Bündchen angenäht wird. Das Bündchen wird mit der 0,8-fachen Halsausschnittweite zugeschnitten und leicht gedehnt angenäht.

Beim Umschlagen legt es sich somit flach in die Rundung ein. Das Band muss doppelt so breit wie die fertige Bündchenbreite plus der zweifachen Nahtzugabe zugeschnitten werden (Fallon, 2017, S. 215).

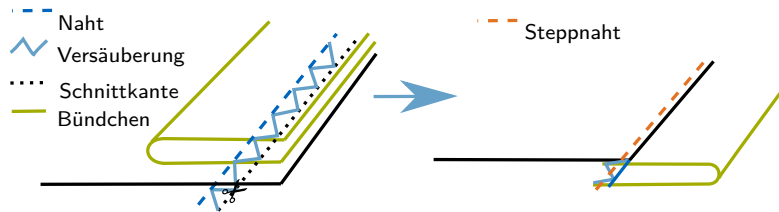


Abb. 7.11: Einfassung der offenen Stoffkante mit einem Bündchen. Wird das Bündchen etwas kürzer als die Saumkante zugeschnitten und leicht gedehnt angenäht, so legt es sich in starke Rundungen flach hinein.

## 7.2.2 Parallelkonturen mit Naht- und Saumzugaben

Zur Erzeugung des Konstruktionsschnittes müssen die im vorherigen Kapitel erläuterten Zugaben in den entsprechenden Abschnitten durch das Berechnen einer Parallelkontur hinzugefügt werden. Eine Parallelkurve ist mathematisch die Verallgemeinerung des Konzeptes einer Parallelen zu einer Geraden in der zweidimensionalen Ebene.

Bei einer Geraden kann die Parallelkurve durch eine Verschiebung der Ausgangskurve erzeugt werden. Bei einem Kreis entsteht die Parallelkurve durch eine Streckung am Mittelpunkt. Solche einfachen Beziehungen zwischen der Ausgangskurve und der Parallelkurve lassen sich jedoch nicht im Allgemeinen ableiten. Eine Parallelkurve mit dem Abstand  $d$  von der Ausgangskurve kann jedoch auf zwei Arten definiert werden.

**Einhüllende Kreisschar** Entlang der ursprünglichen Kurve wird ein Kreis mit dem Radius  $r = d$  und dem Mittelpunkt auf der Ausgangskurve verschoben (siehe Abbildung 7.12a). Die Parallelkurve ergibt sich dann als die Einhüllende der Kreisschar. Ein solches Vorgehen kann händisch mithilfe eines Zirkels und einem Kurvenlineal durchgeführt werden. Auch innerhalb der Software Matlab (MathWorks, Natick, MA, USA) wird laut Dokumentation bei den Polyshape-Objekten diese Definition zur Berechnung von parallelen Konturen genutzt.

**Normale Distanz** Eine Parallelkurve kann auch anhand der Normalen der Ausgangskurve berechnet werden (siehe Abbildung 7.12b). Gegeben sei hierzu die reguläre Kurve  $\mathbf{C}(t) = (x(t), y(t))$  mit dem Einheitsnormalenvektor  $\mathbf{n}(t)$ . Die Parallelkurve  $\mathbf{C}_d(t)$  im Abstand  $d$  von der Ausgangskurve folgt dem Pfad der Kurve

$$\mathbf{C}_d(t) = \mathbf{C}(t) + d \cdot \mathbf{n}(t) \quad (7.6)$$

Das Vorzeichen des Abstandes  $d$  definiert hierbei, auf welcher Seite der Kurve die Parallelkurve erzeugt wird. Diese Berechnungsweise anhand der Normalenvektoren wird vorzugsweise in CAD-Programmen genutzt (Marsh, 2005, S. 107ff).

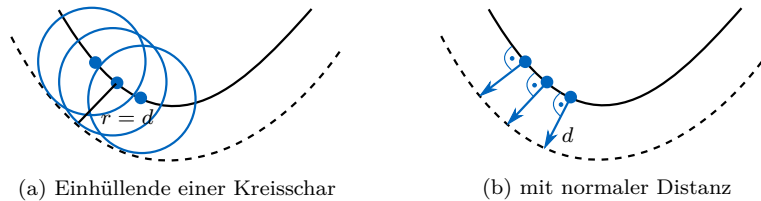


Abb. 7.12: Möglichkeiten zur Berechnung einer parallelen Kontur (gestrichelt) zur Ausgangskurve (durchgezogene Linie): als Einhüllende der Kreise mit dem Radius  $d$  und dem Mittelpunkt auf der Ausgangskurve (a) oder durch die Berechnung von Punkten auf Normalen der Ausgangskurve (b).

Eine Parallelkurve ist nur in einfachen Fällen eine Kurve vom gleichen Typ. Dies trifft beispielsweise bei Gerade oder Kreis zu. Im Allgemeinen hat eine Parallelkurve eine kompliziertere analytische Beschreibung als die Ausgangskurve. Die oben beschriebenen Vorgehensweisen zur Berechnung erläutern nur das grundlegende Vorgehen. Für die vollständige Bestimmung von allgemeinen Parallelkurven müssen zahlreiche weitere Spezialfälle berücksichtigt werden. Beispielsweise entstehen Singularitäten (Spitzen), wenn der Abstand  $d$  bei innen liegender Parallelkurve gleich dem Krümmungskreisradius eines Kurvenpunktes ist.

Die Schnittmuster können nur abschnittsweise als reguläre Kurven aufgefasst werden, da hier Ecken, also Punkte ohne stetige Ableitung, existieren. Für diese Ecken muss gesondert festgelegt werden, auf welche Art und Weise die Parallelkurve definiert sei. In Abbildung 7.13 wird der so aus dem Grundschnitt abgeleitete Produktionsschnitt dargestellt. Für den Produktionsschnitt werden die Kanten der Spiegelung von Vorder- und Rückteil (vordere und hintere Mitte) ausgespart, da so der Zuschnitt im Bruch, das heißt in doppelter Stofflage mit der Faltung entlang der Spiegelkante, erfolgen kann.

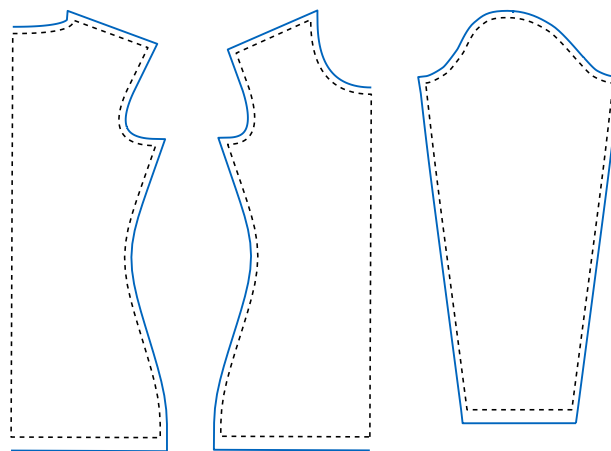


Abb. 7.13: Zugefügte Naht- und Saumzugaben durch Parallelkurven: Grundschnitt (schwarz gestrichelt) und Produktionsschnitt (blau durchgezogen) mit entsprechenden Zugaben.

### 7.2.3 Saumfaltung und weitere Optimierungen

Am Produktionsschnitt werden kleinere Optimierungen vorgenommen, um diesen für die spätere ordentliche und handliche Verarbeitung vorzubereiten. Abbildung 7.14 gibt hierüber eine Übersicht. Es wird die Saumzugabe ausgestellt (grüne Markierung), Markierungen als kleine Einschnitte in der Saumzugabe am Ärmel und Armausschnitt eingefügt (orange-farbene Markierung) und die Nahtzugabe am Halsausschnitt in Relation zum Rückteil zugeschnitten.

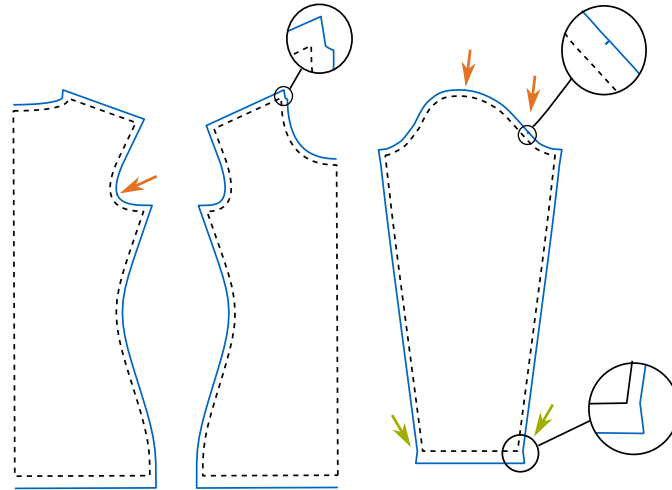


Abb. 7.14: Grundschnitt (schwarz gestrichelt) und Produktionsschnitt (blau durchgezogen) mit Optimierungen: Subtraktion am Halsausschnitt, Markierungen (orange) und Faltungen am Ärmelsaum (grün).

**Saumfaltung am Ärmel** Da für einen gesteppten Saum die Saumzugabe gemäß Abbildung 7.10a gefaltet wird, muss an dieser Stelle der schräge Verlauf der Ärmelnaht vom Oberarm zum Handknöchel berücksichtigt werden. Tatsächlich verläuft die Seitennaht nicht gerade, da diese je nach Oberarmumfang leicht gekrümmt ausgeführt wird (siehe Abschnitt 7.1.3). Diese Krümmung ist jedoch schwach ausgeprägt und läuft im Bereich des Ärmelsaums in eine Gerade über. Daher ist die in Abbildung 7.15a dargestellte Berechnung anhand einfachen trigonometrischen Beziehungen zulässig. Die Saumzugabe muss demnach um die Strecke  $x$  beidseitig gegenüber der Breite des Grundschnitts am Handknöchel ausgestellt werden.

$$x = l_{\text{Saum}} \cdot \tan(\alpha) \quad (7.7)$$

Für das einfache Bündchen wird die Saumzugabe gemäß Abbildung 7.10c doppelt eingeschlagen. Daher wird in diesem Fall die Saumzugabe entsprechend Abbildung 7.15b konstruiert. Die Strecke  $x$ , um die der Saum auf halber Höhe ausgestellt wird, berechnet sich analog zum gesteppten Saum, jedoch mit der halben Saumzugabe.

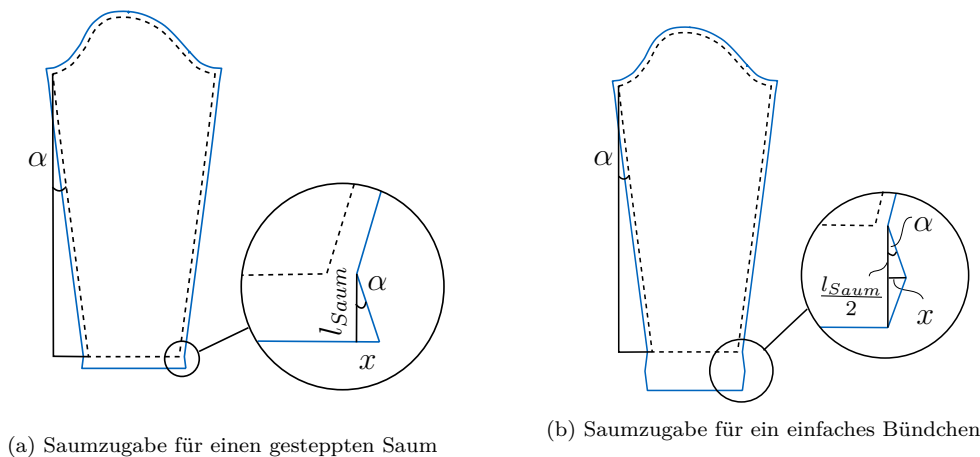


Abb. 7.15: Für die Konstruktion der Saumzugaben am Ärmelbund wird die Faltung bei der Verarbeitung berücksichtigt. Für einen gesteppten Saum (a) wird der Saum einfach nach innen geschlagen und dafür der Saum um den Betrag  $x$  ausgestellt. Für ein einfaches Bündchen (b) wird der Saum zweifach gefaltet und daher die Saumzugabe zunächst um den Betrag  $x$  verbreitert und anschließend wieder verschmälert.

**Markierungen zum Einsetzen des Ärmels in den Armausschnitt** Damit der Ärmel beim Einnähen korrekt (vorne/hinten) und ohne Dehnung eingenäht werden kann, werden an der Armkugel und im Armausschnitt des Rückteils Markierungen hinzugefügt (siehe Abbildung 7.14). Diese sind kleine Einschnitte in die Nahtzugabe. Am Rückteil wird beginnend an der Seitennaht entlang des Armausschnittes eine Kurvenlänge von 6 cm abgemessen und dort eine Markierung in die Saumzugabe gesetzt. Der Armkegel ist nicht symmetrisch geformt, sondern wird mit der flacher abfallenden Seite (rechts) an das Rückteil angenäht. Entsprechend wird hier ebenfalls in 6 cm Entfernung vom Beginn des Armkegels von rechts aus betrachtet eine Markierung gesetzt. Diese beiden Markierungen werden vor dem Nähen später zusammengesteckt. Mit diesem einfachen Hilfsmittel zur Fehlervermeidung wird sichergestellt, dass der Ärmel stets richtig herum eingesetzt wird.

Beim Annähen des Ärmels werden zwei Kurven (Armausschnittskurven an Vorder- und Rückteil und Armkegel des Ärmels) in Deckung gebracht, die zwar die gleiche Länge haben, jedoch nicht flach aufeinander gelegt werden können. Daher muss hier sorgfältig gearbeitet werden, um in keines der Schnittteile eine Dehnung zu bringen. Dies würde in späteren Kleidungsstücken Wellen oder Falten erzeugen. Für eine einfachere Verarbeitung wird als Unterstützung im Armkegel eine Markierung auf Höhe der Schulternaht eingefügt, um ein gleichmäßiges Anheften des Ärmels zu erleichtern.

**Zuschneiden der Nahtzugabe am Halsausschnitt** Während die Schulternahte des Grundschnittes exakt in der gleichen Länge konstruiert sind und somit aufeinander zum Liegen kommen können, gilt dies für die Außenkante des Produktionsschnitts mit Nahtzugabe nicht. Dies erschwert ein exaktes Zusammennähen der beiden Teile, da auf dem Zuschnitt der Verlauf der Naht nicht mehr direkt

erkannt werden kann<sup>1</sup>. Daher wird die Nahtzugabe des Vorderteils so zugeschnitten, dass das Vorder- und Rückteil anhand des Produktionsschnittes zueinander eindeutig ausgerichtet werden können. Hierfür werden die in Abbildung 7.16 illustrierten Berechnungsschritte durchgeführt:

- a) Zunächst werden die Schnittmusterteile von Vorder- und Rückteil anhand von Transformation, Rotation und Spiegelung aneinander ausgerichtet, sodass die Schulternähte aufeinander zum Liegen kommen. Die Menge aller Punkte innerhalb des Produktionsschnittes (also des Schnittteils mit Naht- und Saumzugaben) des Vorderteils werden mit  $A$  und innerhalb des Rückteils mit  $B$  bezeichnet.
- b) Anschließend wird ein Rechteck um den Bereich der Zuschnittstelle gelegt. Die Definition erfolgt anhand der Konstruktionspunkte. Die Menge aller Punkte innerhalb des Rechteckes wird  $C$  genannt.
- c) Nun werden die Schnittmusterteile von Vorder- und Rückteil anhand des Rechtecks jeweils separiert. Hierfür werden die Booleschen Operationen 'Überschneidung' ( $A \cap C$  und  $B \cap C$ ) und 'Differenz' ( $A \setminus C$  und  $B \setminus C$ ) der Schnittmusterteile und des Rechtecks verwendet.
- d) Dann wird die Boolesche Operation 'Überschneidung' auf die Zuschnitte von Vorder- und Rückteil angewandt ( $(A \cap C) \cap (B \cap C)$ ), um die Nahtzugabe des Vorderteils zuzuschneiden. Die Menge aller Punkte innerhalb dieser Fläche wird mit  $D$  bezeichnet.
- e) Schließlich werden die Zuschnitte von Vorder- und Rückteil wieder zusammengesetzt mithilfe der Booleschen Operation 'Vereinigung' ( $(A \setminus C) \cup D$  und  $(B \setminus C) \cup D$ ).
- f) Zuletzt werden die Schnittmusterteile anhand von Transformation, Rotation und Spiegelung wieder in ihre Ausgangsposition nebeneinander gebracht.

---

<sup>1</sup>Prinzipiell ist ein Gravieren mit dem Lasercutter möglich. Daher wäre eine Gravur des Grundschnittes denkbar. Allerdings reißt ein dünner Stoff an der Gravur sehr leicht ein. Aus Gründen der Langlebigkeit wird demnach auf eine Gravur verzichtet.



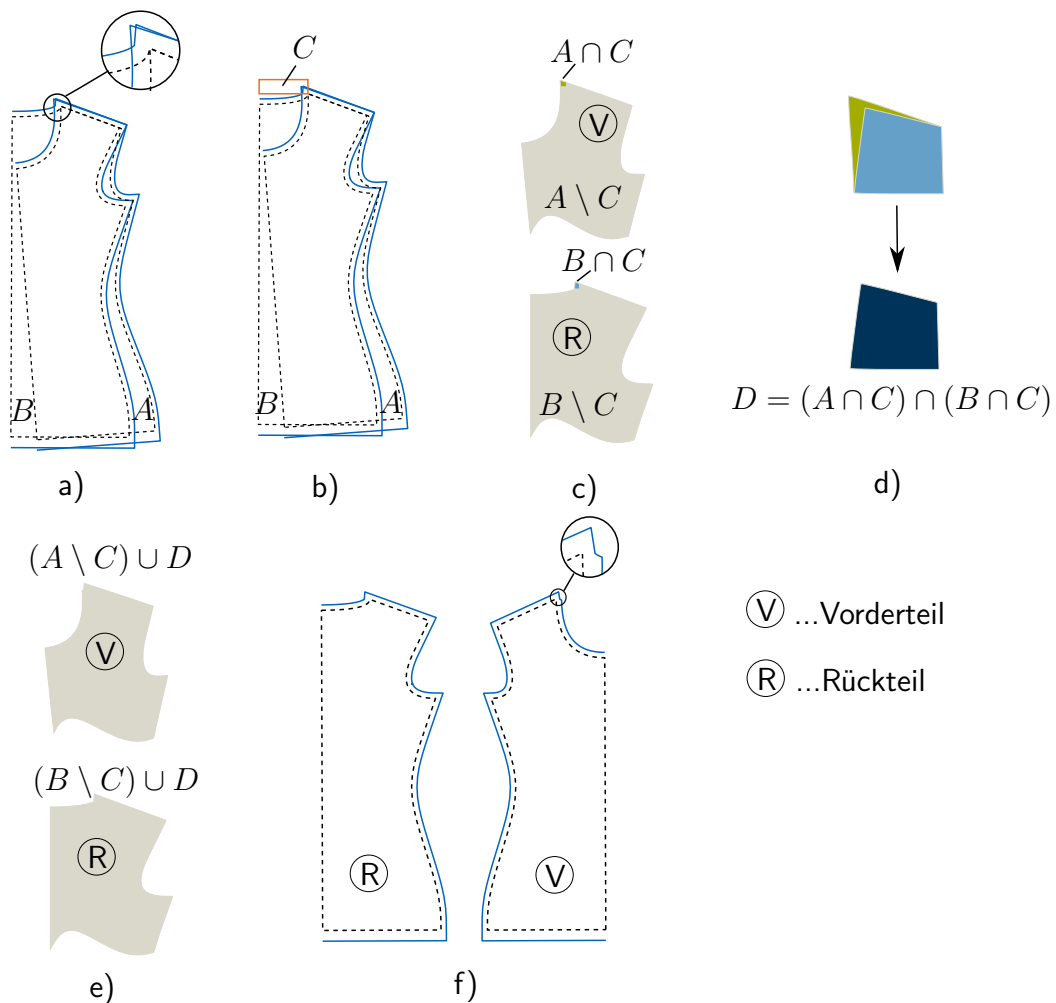


Abb. 7.16: Rechenschritte für den Zuschnitt der Saumzugabe am Halsausschnitt: Die Schulternähte von Vorder- und Rückteil werden deckungsgleich gebracht (a), mithilfe des Rechtecks C (b) werden Ausschnitte der Schnittmuster Teile separiert (c), anhand der Booleschen Operation 'Überschneidung' wird die Nahtzugabe am Hals zugeschnitten (d), wieder mit dem Vorder- und Rückteil vereint (e) und anschließend die Schnittmuster Teile in die Ausgangslage rücktransformiert (f).

### 7.3 Anwendungsbeispiele in Matlab

Die Algorithmen zur Erzeugung des Schnittmusters sowie der Produktionsdateien wurden in Matlab implementiert. Ein Überblick über deren einfache Nutzung wird in diesem Kapitel gegeben. Während im ersten Abschnitt (7.3.2) der Fokus auf der direkten Nutzung von Funktionen zur Erstellung von Grundschnitt, Produktionsschnitt und der Dateien für den Zuschnitt liegt, werden im zweiten Absatz (7.3.3) Funktionen vorgestellt, die unter Vorgabe der Körpermaße und Produktionskennwerte die passenden Schnittmuster und Produktionshilfsmittel erzeugen.

### 7.3.1 Datenstrukturen

Für die handliche Benutzung der Funktionen wurden zwei Datenstrukturen definiert. Zum einen der Datentyp `human`, in dem alle personenbezogenen Daten gespeichert werden, zum anderen der Datentyp `pattern`, in dem alle das Schnittmuster betreffenden Informationen abgelegt werden. Die beiden Strukturen werden im Folgenden erläutert.

**human** Für jede Person, für die ein maßangepasstes Shirt erstellt wird, werden alle personenbezogenen Daten in der eigens definierten Struktur `human` gespeichert. Hierfür wird der in Matlab zur Verfügung stehende Datentyp Struct (*structure array*) verwendet. Innerhalb solch einer Struktur können zusammengehörige Daten in Datencontainern, sogenannten Feldern (*fields*), gespeichert werden. In jedem dieser Felder können wiederum verschiedene Datentypen abgelegt werden. Die Datenstruktur `human` beinhaltet ein Feld mit dem Namen, ein Feld mit dem Typ ('female', 'male', 'child') sowie neun Felder mit Körpermaßen (Einheit: cm). Im Folgenden ist ein Beispiel mit Einträgen gezeigt:

```
human_example.name           = 'SamSample'  
human_example.type           = 'female'  
human_example.back_length    = 33  
human_example.seat_length    = 23  
human_example.rear_shoulder_width = 40  
human_example.chest_circumference = 87  
human_example.waist_circumference = 63.0  
human_example.hip_circumference = 90.5  
human_example.arm_length     = 58  
human_example.circumference_upper_arm = 24.5  
human_example.wrist_circumference = 15
```

**pattern** Alle das Schnittmuster betreffenden Daten werden in der eigens definierten Struktur `pattern` gespeichert. Hier wird ebenfalls die Datenstruktur `Struct` genutzt. In erster Ebene besitzt der `Struct` die folgenden Felder:

<b>field</b>	<b>data type</b>
<code>pattern.property</code>	<code>struct</code>
<code>pattern.construction_dimensions</code>	<code>struct</code>
<code>pattern.construction_points</code>	<code>struct</code>
<code>pattern.part_names</code>	<code>string array</code>
<code>pattern.basic_pattern</code>	<code>point list - nx2 array</code>
<code>pattern.production_pattern</code>	<code>point list - nx2 array</code>

In dem `Struct` `pattern.property` werden die Eigenschaften des Shirts, also der Typ ('female', 'male', 'child'), die Passform, Ärmellänge, Ausschnittform und Saumtyp, abgelegt. Im Folgenden ist ein Beispiel mit Einträgen gezeigt:

```

pattern.property.type      = 'female'
pattern.property.fit       = 'tight'
pattern.property.sleeve_length = 'long'
pattern.property.neckline  = 'v'
pattern.property.hemtype   = 'plain_hem'

```

In den beiden `Structs` `pattern.construction_dimensions` und `pattern.construction_points` werden die berechneten Konstruktionsmaße sowie Konstruktionspunkte abgelegt. Die Bezeichnungen entsprechen hierbei den im Anhang gekennzeichneten. Im Feld `part_names` werden in einem `String Array` vergleichbar mit einer Aufzählung die Bezeichnungen der Schnittmusterteile entsprechend der Reihenfolge der Polygone im Schnittmuster eingetragen. Somit ist eine Zuordnung der Polygone innerhalb der Punktelisten im Grundschnitt und im Produktionsschnitt zu den einzelnen Schnittmusterteilen (Rückteil, Vorderteil, Ärmel, Bündchen) möglich. In den beiden Feldern `pattern.basic_pattern` und `pattern.production_pattern` werden gemäß der Beschreibung in Abschnitt 6.1.1 Punktelisten der Polygonzüge (x- und y-Koordinaten der Stützpunkte) der Schnittmusterteile abgelegt.

### 7.3.2 Nutzung der Grundfunktionen zum Erstellen eines Schnittmusters

**Struct vom Typ `human` erstellen** Zur Speicherung der Körpermaße wird eine Datenstruktur des eigens definierten Typs `human` erzeugt. Dieser enthält den Namen, das Geschlecht sowie die Körpermaße. Hierzu kann eine der gelisteten Möglichkeiten genutzt werden:

- Um die Maße einer Standardgröße zu nutzen, werden der Funktion `create_human_from_size` das Geschlecht, die Konfektionsgröße sowie der Name der Person übergeben.

```
human_example = create_human_from_size('female', 36, ...  
    'Sam Sample');
```

---

- Um individuell gemessene Maße zur Erzeugung des entsprechenden Structs zu nutzen, steht die Funktion `create_human_from_measurement` zur Verfügung.
  - Der Funktion können die gemessenen Werte (Einheit: cm) direkt übergeben werden.

```
human_example = ...  
    create_human_from_measurement('Sam Sample', ...  
    'female', 33, 23, 40, 87, 63.5, 90.5, 58, ...  
    24.5, 15);
```

---

- Wird die Funktion ohne Eingabeparameter aufgerufen, so fordert sie den Benutzer im Command Window zur Eingabe der einzelnen Werte auf. In diesem Fall bietet es sich an, den erzeugten Struct anschließend zu speichern, um ihn auch später einfach wieder laden zu können.

```
human_example = create_human_from_measurement;  
save('human_example2', 'human_example');
```

---

**Schnittmuster erzeugen** Alle Informationen bezüglich des Schnittmusters werden in dem eigens definierten Struct `pattern` gespeichert. Dieser beinhaltet

- Eigenschaften des Schnittes als `property` (z. B. Passformklasse und Saumtyp)
- die Konstruktionspunkte als `construction_points`,
- weitere Konstruktionsmaße (z. B. Festmaße) als `construction_dimensions`,
- den Grundschnitt als Point List (siehe Abschnitt 6.1.1) in `'basic_pattern`,
- den Produktionsschnitt als Point List in `production_pattern` und
- die Bezeichnungen der Schnittmusterteile als `part_names`, um die Reihenfolge innerhalb der Schnittmusterteile im Grundschnitt und Produktionsschnitt zu dokumentieren.

Um ein Schnittmuster zu erzeugen, steht die Funktion 'create\_pattern\_shirt' zur Verfügung. Ihr wird stets der Struct 'human' und optional Eigenschaften des Schnittmusters wie die Passformklasse ('extra\_tight', 'tight', 'regular' oder 'loose'; Default ist 'regular'), die Ärmellänge ('sleeveless', 'short', '3/4sleeves' oder 'long'; Default ist 'long'), die Halsausschnittsform ('round' oder 'v', Default ist 'round'), der Saumtyp ('plain\_hem', 'simple\_cuff' oder 'rolled\_hem'; Default ist 'plain\_hem') sowie die Stoffelastizität in Prozent (Default ist 25) übergeben. Die grafische Darstellung von Grundschnitt und Produktionsschnitt ist in Abbildung 7.17 gezeigt.

---

```
pattern = create_pattern_shirt(human_example, 'tight', ...
    'long', 'round', 'plain_hem');
plot_basic_pattern(pattern);
plot_production_pattern(pattern)
```

---

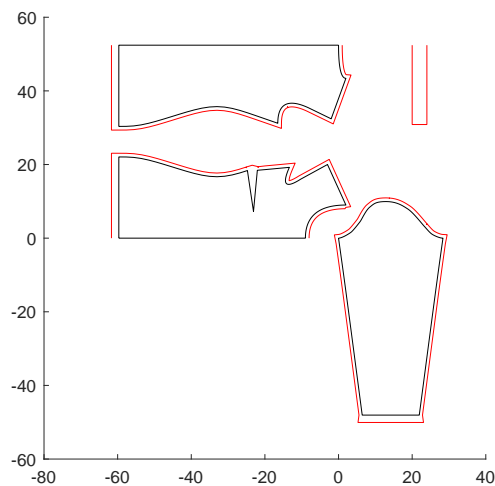


Abb. 7.17: Visualisierung der Schnittmusterteile von Rückteil (oben), Vorderteil (Mitte) und Ärmel (unten) sowie Bündchen für den Halsausschnitt (rechts). Die schwarzen Linien zeigen den Grundschnitt, die roten den Produktionsschnitt.

**Optional: Visuelle Prüfung des Schnittmusters** Das Schnittmuster kann zur visuellen Prüfung gemeinsam mit dem Gitter aus den Konstruktionspunkten dargestellt werden (siehe Abbildung 7.18).

---

```
plot_construction_points(pattern);
plot_construction_points_sleeve(pattern);
```

---

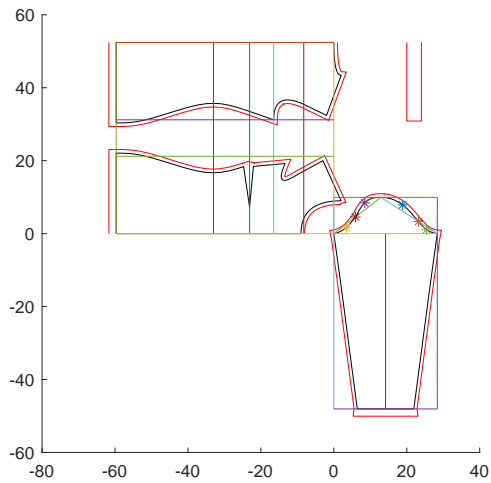


Abb. 7.18: Veranschaulichung des Schnittmusters innerhalb des Gitters aus Konstruktionspunkten.

Um die Plausibilität der gemessenen Körpermaße zu überprüfen, bietet es sich an, das individuell erstellte Schnittmuster gemeinsam mit den Schnittmustern der Konfektionsgrößen darzustellen (siehe Abbildung 7.19). Somit wird erkannt, wo sich Figurbesonderheiten befinden und ob eventuell gewisse Körpermaße nachkontrolliert werden sollten.

---

```
plot_all_sizes(pattern);
```

---

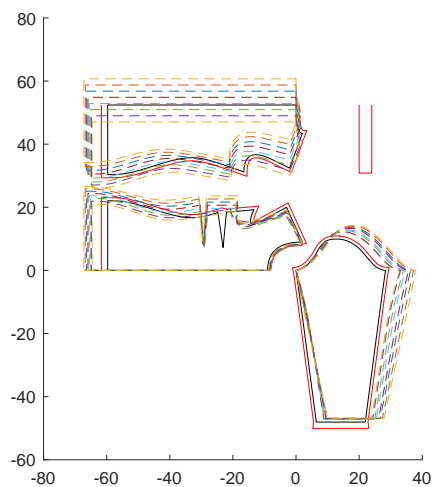


Abb. 7.19: Vergleichende Darstellung des individuellen Schnittmusters (durchgezogene Linien) mit den Schnittmustern nach Standardgrößen (gestrichelt).

**Produktionsdateien erstellen** Für den Zuschnitt werden die Schnittmuster in einer für die entsprechende Schneidmethode geeigneten Datei gespeichert. Um die Schnittteile mithilfe eines Lasercutters zuzuschneiden, werden SVG-Dateien erzeugt (siehe Abschnitt 6.1.2). Hierzu wird die Funktion 'create\_production\_files\_lc' aufgerufen und ihr sowohl der Struct des Typs 'human' als auch der Struct 'pattern' übergeben. Sie erzeugt einen Ordner, in den zur Dokumentation sowohl die zugrundeliegenden Körpermaße als auch die SVG-Dateien von Vorderteil, Rückteil, Ärmel und Bündchenstreifen für den Halsausschnitt gespeichert werden.

---

```
create_production_files_lc(human_example , pattern);
```

---

Analog kann für eine Weitergabe der Dateien an einen externen Textilverarbeiter das Schnittmuster im Austauschformat von DXF-Dateien (siehe Abschnitt 6.1.2) gespeichert werden. Hierzu kann die Funktion 'create\_production\_files\_ep' genutzt werden. Diese greift auf Funktionen der DXFLib (getestet mit Version 1.2.0.0) von Grzegorz Kwiatek zurück, die über MATLAB Central heruntergeladen werden kann. Hierbei werden alle Schnittmusterteile in einer Datei gemeinsam mit einem Kontrollquadrat für die Skalierung gespeichert.

---

```
create_production_files_ep(human_example , pattern);
```

---

### 7.3.3 Nutzung von Funktionen zur direkten Erzeugung aller Produktionshilfsmittel

Das hier vorgestellte Beispiel erläutert den Aufruf von Funktionen, die so gestaltet sind, dass sie vom Nutzer möglichst wenig Wissen aus den Bereichen Maßnahmen, Schnittmusterkonstruktion und Nähen voraussetzen.

**Maßnahmen** Im Maßblatt (siehe Anhang) werden die benötigten Materialien zum Maßnehmen genannt und das schrittweise Vorgehen erläutert sowie die Möglichkeit zur Dokumentation der Messwerte gegeben. Das PDF-Dokument kann direkt aus Matlab heraus aufgerufen werden.

---

```
open('Dimensionsheet.pdf');
```

---

### Struct vom Typ `human` erstellen und Eigenschaften des Shirts definieren

Wie bereits in vorherigem Absatz (7.3.2) gezeigt, wird zunächst der eigens definierte Struct des Typs `human` erstellt. Hierzu gibt es wie vorgestellt unterschiedliche Möglichkeiten. In diesem Beispiel wird die direkte Übergabe der Körpermaße an die Funktion `create_human_from_measurement` genutzt.

---

```
human_example = ...
    create_human_from_measurement('Sam Sample', 'female', ...
    33, 23, 40, 87, 63.5, 90.5, 58, 24.4, 15);
```

---

Außerdem werden die Eigenschaften des Shirts, also die Passform (`fit`) und die Ärmellänge (`sleeve`) definiert. Da andere Eigenschaften, wie etwa die Saumart, direkt mit den zur Verfügung stehenden Fertigungsmethoden zusammenhängen, werden diese hier nicht vorgegeben.

---

```
fit = 'tight';
sleeve = 'long';
```

---

Anschließend stehen verschiedene Fabrikationswege zur Verfügung, für die jeweils unterschiedliche Funktionen aufgerufen werden. Diese werden in den folgenden Abschnitten einzeln erläutert.

**Interne Fabrikation** Als interne Produktion wird in diesem Zusammenhang die selbstständige Umsetzung aller zur Fertigung notwendigen Schritte bezeichnet. Hierbei wird davon ausgegangen, dass ein Laserschneider für den Zuschnitt und eine Nähmaschine sowie optional eine Overlockmaschine zur Verfügung stehen. Sollte kein Laserschneider für den Zuschnitt vorhanden sein, kann die Zuschnittdatei auch auf Papier gedruckt und als Schablone genutzt werden. Um die zur Verfügung stehenden Mittel effektiv zu nutzen, erzeugt die Funktion `shirt_intern_production` die entsprechenden Produktionsdateien. Innerhalb von Matlab kann man sich das Schnittmuster (`pattern`) zurückgeben lassen und dieses auch plotten.

---

```
% a) prepare internal fabrication
pattern = shirt_intern_production (human_example, fit, ...
    sleeve);
```

---

Die Funktion `shirt_intern_production` erzeugt einen Ordner im Arbeitsverzeichnis mit folgendem Inhalt:

- SVG-Dateien für den Zuschnitt von Rückteil, Vorderteil, Ärmel und Bündchenstreifen für den Halsausschnitt



- SVG-Datei für den Zuschnitt und die Gravur eines Labels aus dickerem Material (z. B. Filz) mit Namen und Datum
- Struct des Typs `human` zur Dokumentation der für die Schnittkonstruktion genutzten Körpermaße
- Falls ein Brustabnäher vorgesehen ist: Variable mit der Länge dieses Abnehmers, die beim Heften des Abnehmers berücksichtigt werden muss
- Ordner mit Tutorials mit schrittweiser Anleitung zum Zuschneiden und Nähen: Aus einzelnen Modulanleitungen werden in korrekter Reihenfolge diejenigen im Ordner abgelegt, die je nach Eigenschaften des Shirts (Saumart, Vorhandensein Brustabnäher, Ärmel oder Ärmellos) benötigt werden.

**Interner Zuschnitt und externes Nähen** Eine weitere Möglichkeit ist es, nur den Zuschnitt selbstständig durchzuführen und das Nähen des Shirts durch einen externen Anbieter, z. B. einen Schneider/eine Schneiderin, durchführen zu lassen. Die Vorteile dieses Vorgehens sind, dass keine Nähkenntnisse des Nutzers gefordert werden, ein Schneider vielerorts verfügbar ist und die Kosten für die Fertigung so in einem gewissen Rahmen gehalten werden können. Um alle für die Fertigung benötigten Dateien zu erhalten, kann die Funktion `shirt_intern_cutting_extern_sewing` aufgerufen werden. Ihr wird der Struct des Typs `human` mit den Körpermaßen sowie die Eigenschaften des Shirts (Passform und Ärmellänge) übergeben.

---

```
% b) prepare internal cutting and external sewing
shirt_intern_cutting_extern_sewing(human_example, fit,...
    sleeve);
```

---

Im Matlab Command Window werden anschließend in einer knappen Anleitung die konkreten nächsten notwendigen Schritte ausgegeben. Die Funktion `shirt_intern_cutting_extern_sewing` erzeugt einen Ordner im Arbeitsverzeichnis mit folgendem Inhalt:

- SVG-Dateien für den Zuschnitt von Rückteil, Vorderteil, Ärmel und Bündchenstreifen für den Halsausschnitt
- SVG-Datei für den Zuschnitt und die Gravur eines Labels aus dickerem Material (z. B. Filz) mit Namen und Datum
- ein Ordner mit Tutorials mit schrittweiser Anleitung für den Zuschnitt: Je nach Eigenschaften des Shirts werden die passenden Modulanleitungen in korrekter Reihenfolge im Ordner abgelegt.
- Struct des Typs `human` zur Dokumentation der für die Schnittkonstruktion genutzten Körpermaße

- Falls ein Brustabnäher vorgesehen ist: Variable mit der Länge dieses Abnehmers, die beim Heften des Abnehmers berücksichtigt werden muss.
- Text-Datei mit dem Auftrag an den Schneider

**Zuschnitt und Nähen durch unterschiedliche externe Anbieter** Sollen sowohl Zuschnitt als auch das Nähen durch externe Anbieter erfolgen, so bietet sich das Öffnen eine Trennung der beiden Aufträge an. Dies kann zum einen in den Kompetenzen der Anbieter liegen, da diese jeweils nur Zuschnitt oder nur das Nähen anbieten können. Zum anderen aber kann dies auch aus finanziellen Aspekten sinnvoll sein, da ein Textilverarbeiter, der den automatisierten Zuschnitt anbietet, höhere Kosten für das Nähen veranschlagt als ein Schneider. Um alle für die Fertigung benötigten und unterstützenden Dateien zu erzeugen, kann die Funktion `shirt_extern_production_two` aufgerufen werden. Ihr wird der Struct des Typs `human` mit den Körpermaßen sowie die Eigenschaften des Shirts (Passform und Ärmellänge) übergeben.

---

```
% c) prepare external cutting and sewing at TWO suppliers
shirt_extern_production_two(human_example, fit, sleeve);
```

---

Im Matlab Command Window werden anschließend in einer knappen Anleitung die konkreten nächsten notwendigen Schritte ausgegeben. Die Funktion `shirt_extern_production_two` erzeugt einen Ordner im Arbeitsverzeichnis mit folgendem Inhalt:

- DXF-Datei für den Zuschnitt mit allen Schnittmusterteilen sowie einem Kontrollquadrat für die Skalierung
- Struct des Typs `human` zur Dokumentation der für die Schnittkonstruktion genutzten Körpermaße
- Falls ein Brustabnäher vorgesehen ist: Variable mit der Länge dieses Abnehmers, die beim Heften des Abnehmers berücksichtigt werden muss
- Text-Datei mit dem Auftrag für den Zuschnitt an einen Textilverarbeiter sowie eine Text-Datei mit dem Auftrag zum Nähen an einen Schneider

**Zuschnitt und Nähen durch einen externen Anbieter** Es ist auch möglich, alle Fertigungsarbeiten durch einen Textilverarbeiter durchführen zu lassen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde hierfür mit der Firma `waldmann-textech` (Durach, Deutschland) kooperiert. Um alle für die Fertigung benötigten und unterstützenden Dateien zu erzeugen, kann die Funktion `shirt_extern_production_one` aufgerufen werden. Ihr wird der Struct des Typs `human` mit den Körpermaßen sowie die Eigenschaften des Shirts (Passform und Ärmellänge) übergeben.

```
% d) prepare external cutting and sewing at ONE supplier  
shirt_extern_production_one(human_example, fit, sleeve);
```

---

Im Matlab Command Window werden anschließend in einer knappen Anleitung die konkreten nächsten notwendigen Schritte ausgegeben. Die Funktion `shirt_extern_production_one` erzeugt einen Ordner im Arbeitsverzeichnis mit folgendem Inhalt:

- DXF-Datei für den Zuschnitt mit allen Schnittmusterteilen sowie einem Kontrollquadrat für die Skalierung
- Struct des Typs `human` zur Dokumentation der für die Schnittkonstruktion genutzten Körpermaße
- Falls ein Brustabnäher vorgesehen ist: Variable mit der Länge dieses Abnehmers, die beim Heften des Abnehmers berücksichtigt werden muss
- Text-Datei mit dem Auftrag für den Zuschnitt an einen Textilverarbeiter

## 8 Realisierung von Anwendungsbeispielen

Wie bereits in der Problemstellung (Abschnitt 1.1) vorgestellt, ist das Hauptanwendungsgebiet der im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten maßangepassten Kleidung das Tragen unter *Exoskeletons und Orthesen*. Hier ist ein faltenfreier Sitz erforderlich, um Druckstellen zu vermeiden. Unterstützend können hier Polsterungen in die Kleidung integriert werden. Verwandt hiermit ist auch die Anbringung von Protektoren. Realisierungsbeispiele eines *Schutzpolsters* und eines *Protektors* werden im Folgenden vorgestellt. Darüber hinaus kann mithilfe der maßangepassten Shirts ein guter Sitz von integrierter Sensorik gesichert werden. Aus diesem Anwendungsgebiet werden im Folgenden Realisierungsbeispiele zur *Bewegungsaufzeichnung*, der Integration von *textilen Leiterbahnen* und der *EKG-Messung* vorgestellt.

## 8.1 Exoskelett und Orthese

Exoskelette und Orthesen müssen flächig und eng anliegen, da diese Kräfte auf die Gliedmaßen übertragen. Für Orthesen geben die Hersteller an, dass diese direkt auf der Haut getragen werden sollen. In der Praxis setzen dies nicht alle Patienten um. Hier ist dann ein enganliegendes Kleidungsstück vorteilhaft, um ein Rutschen zu verhindern. Außerdem dürfen keine Falten unterhalb der Orthese vorhanden sein, da diese zu Druckwunden führen können. Dieselben Anforderungen gelten auch für Exoskelette, denn bei diesen ist ein Tragen unterhalb der Kleidung aufgrund deren Größe in der Regel nicht möglich. Da hier durchaus hohe Kräfte übertragen werden und die Patienten teilweise neurologische Einschränkungen haben und Druckstellen daher erschwert fühlen, ist passende Kleidung darunter in besonderem Maß notwendig.

Abbildung 8.1 zeigt, wie oberhalb eines maßgeschneiderten, enganliegenden Shirts (Passform 'tight') steife Strukturen zur Kraftübertragung getragen werden. In Abbildung 8.1a ist die Ellenbogenorthese Eipco Rom<sup>®</sup>S (medi, Bayreuth, Deutschland) abgebildet, welche am Ober- und Unterarm flächig aufliegt und mit je zwei breiten Klettverschlüssen befestigt wird. Das additiv gefertigte Handexoskelett in Abbildung 8.1b bewegt Daumen, Zeige- und Mittelfinger über Bowden-Züge, die mittels der Steuerbasis am Unterarm aktuiert werden (Hein et al., 2019).

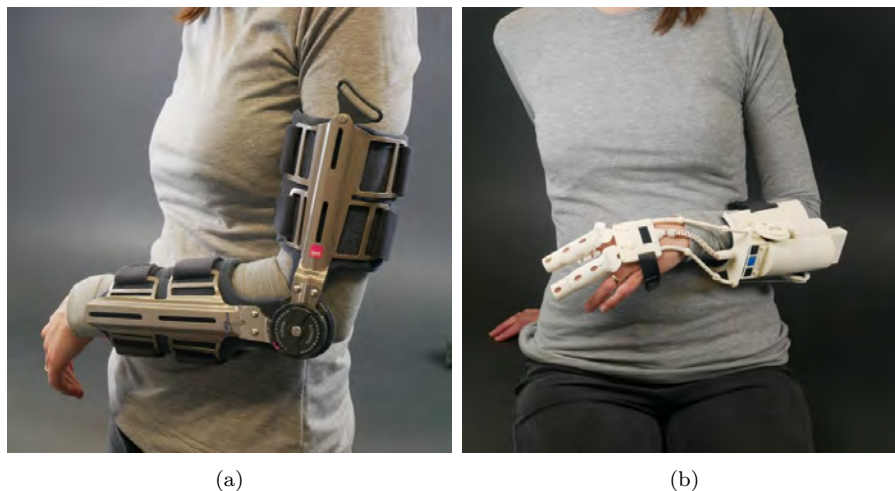


Abb. 8.1: Tragen von steifen Strukturen oberhalb der Kleidung: Ellenbogenorthese zur schrittweisen Mobilisierung (a) und Handexoskelett mit Steuerbasis am Unterarm (b).

## 8.2 Schutzpolster

Wie in Abbildung 8.2 gezeigt, wurde am Ellenbogengelenk ein Schutzpolster integriert. Ellenbogenschutzpolster finden Anwendung zur Verletzungsprävention im Sport, z. B. Basketball, und in Ellenbogen-Polster-Bandagen, die bei Weichteilreizzuständen eingesetzt werden. Während diese in sogenannte 'Sleeves', also kurze Schlauchüberzüge für den Arm, eingenäht sind, muss bei der Integration in die Kleidung der korrekte Sitz sichergestellt werden. Hier bietet sich die vorgestellte Methode der maßangepassten Oberteile an, da die Armlänge des Probanden direkt für den Entwurf des Schnittmusters eingesetzt wird. Als Material für die Polsterung wurde ein elastisches 3D-Netzgewebe eingesetzt. Bei einem solchen werden zwei Netzstoffe durch feine Polyesterfäden auf Abstand gehalten. Es ermöglicht eine Luftzirkulation und ist somit atmungsaktiv. Der Zuschnitt des Netzgewebes kann wie der Zuschnitt der Schnittmusterteile ebenfalls mithilfe eines Laserschneiders erfolgen. Um ein Ausfransen der Schnittkanten zu vermeiden, wurde das Netzgewebe vor dem Aufnähen auf den Ärmel mithilfe der Overlock an den Schnittkanten versäubert. Vor dem Schließen der Ärmelnaht kann dieses knappkantig mit einer einfachen Steppnaht aufgenäht werden. Das Design eines solchen Polsters muss so gestaltet sein, dass es die Körperkontur abformt und die Bewegung nicht einschränkt. Für das Ellenbogengelenk wurde wie in Abbildung 8.2 gezeigt ein vierteiliger Aufbau realisiert.



Abb. 8.2: Ellenbogenschutzpolster aus einem 3D-Netzgewebe: Positionierung auf Höhe des Ellenbogengelenks (a) und vierteiliges Design (b), um keine Bewegungseinschränkungen hervorzurufen.

### 8.3 Protektoren

Abbildung 8.3 zeigt das Design eines Ellenbogenprotektors aus Kunststoff. Dieser ist aus mehreren Schalenelementen aufgebaut, die beim Strecken des Arms ineinander gleiten und sich beim Beugen des Gelenks auffächern. Hierfür sind auf den Oberflächen der Schalenelemente Anschläge vorhanden. Bisher wurden keine Untersuchungen hinsichtlich der Belastbarkeit des Protektors angestellt. Das vorliegende Beispiel zeigt jedoch, wie Kunststoffkomponenten und Textilien miteinander kombiniert werden können. Der Protektor wurde additiv mittels dem Selektiven Lasersintern (SLS) aus Polyamid (PA 2200) hergestellt. In der Literatur werden zwar 3D-gedruckte Textilien vorgestellt, jedoch kaum die Kombination von gedruckten Komponenten und herkömmlichen Textilien. Daher gibt es keinen Standard zu deren Fügetechnik (Valtas u. Sun, 2016). Valtas u. Sun (2016) versäuberten die Stoffkanten und verschmolzen das additiv gefertigte Teil mit dem Stoff. Im vorliegenden Beispiel wurde stattdessen an der äußersten und innersten Schale jeweils eine dünne Platte mit netzartigen Aussparungen angebracht. Diese kann direkt auf den Stoff aufgenäht werden. Hierfür wird eine Jersey-Nadel verwendet, da diese eine abgerundete Spitze hat. Sie gleitet somit vom Plattenmaterial ab und sticht in die Löcher ein. Zusätzlich wird der Stichabstand an der Nähmaschine entsprechend dem Lochabstand der Platte eingestellt. Auf diese Art und Weise können additiv gefertigte Kunststoffbauteile einfach mit Textilien verbunden werden.

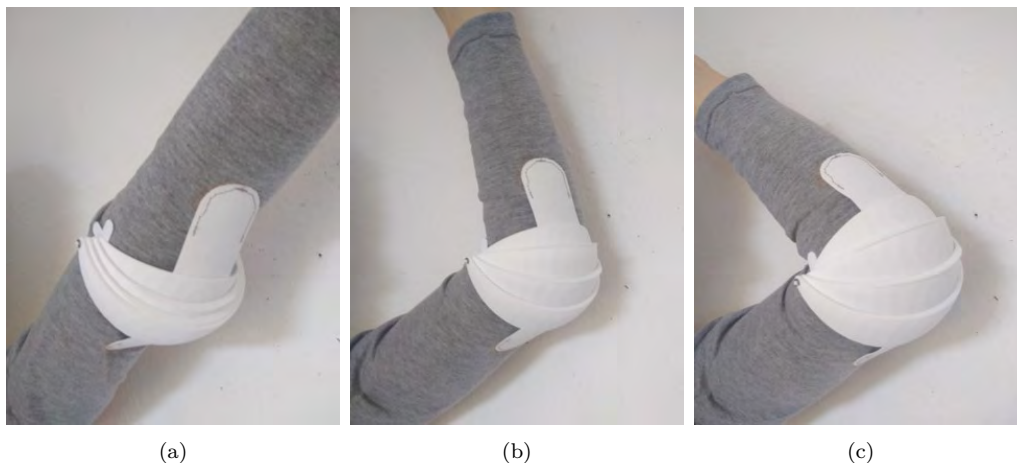


Abb. 8.3: Ellenbogenprotektor bei gestrecktem (a), leicht angewinkeltem (b) und gebeugtem (c) Gelenk. Die Kunststoffschalen wurden mittels SLS von Polyamid hergestellt. Mithilfe von dünnen Lochplatten können die Kunststoffteile auf den Stoff aufgenäht werden.

## 8.4 Bewegungsaufzeichnung

Die Bewegungsaufzeichnung wurde exemplarisch am Ellenbogengelenk realisiert. Hierfür wurde über dem äußeren Gelenk ein resistiver Dehnungssensor (AMOHR Technische Textilien GmbH, Wuppertal, Deutschland) aufgenäht (siehe Abbildung 8.4a). Somit wird der Sensor bei einer Beugung gedehnt und verkürzt sich bei anschließender Streckung wieder in die Ausgangslänge. Ein Vergleich von resistiven mit kapazitiven Dehnungssensoren zur Messung der Kniegelenksstellung findet sich in der Arbeit von Hermann et al. (2020). Der hier verwendete resistive Dehnungssensor besteht aus einem breiten Gummiband, an dessen beiden Außenseiten jeweils ein mit Leitruß gefüllter Gummifaden eingewebt ist. Um die Widerstandsänderungen beider Fäden gleichzeitig zu erfassen, wurden diese an der Ober- und Unterseite mit einem leitfähigen Faden verbunden. Die Aufzeichnung der Widerstandsänderung erfolgte mit dem elektrophysiologischen Messmodul NeXus-10 (Mind Media, Roermond-Herten, Niederlande; hergestellt von und technischer Support durch TMSi, Oldenzaal, Niederlande) und dem Hautleitwertsensor (oder GSR Sensor für *Galvanic Skin Response*). Dieser ist dazu ausgelegt, relative Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit im Bereich von 0.1 bis 1000  $\mu S$  mit einer Auflösung von 0.001  $\mu S$  zu erfassen. Der GSR-Sensor kann anstatt zur Aufzeichnung des Hautleitwertes also direkt dafür verwendet werden, die Widerstandsänderung des resistiven Dehnungssensors aufzuzeichnen. Ein solches Signal ist in Abbildung 8.4b für ein zweifaches Beugen und anschließendes Strecken des Gelenks dargestellt. Für die Messung wird ein kleiner Strom durch den Sensor geleitet und die Spannungsänderung aufgezeichnet. Diese ist bei konstantem Strom direkt proportional zur Widerstandsänderung. Da der absolute Wert des Widerstands keine Mehrinformation gegenüber der relativen Spannungsänderung für die Auswertung des Signals ergibt, kann die Umrechnung vernachlässigt werden.

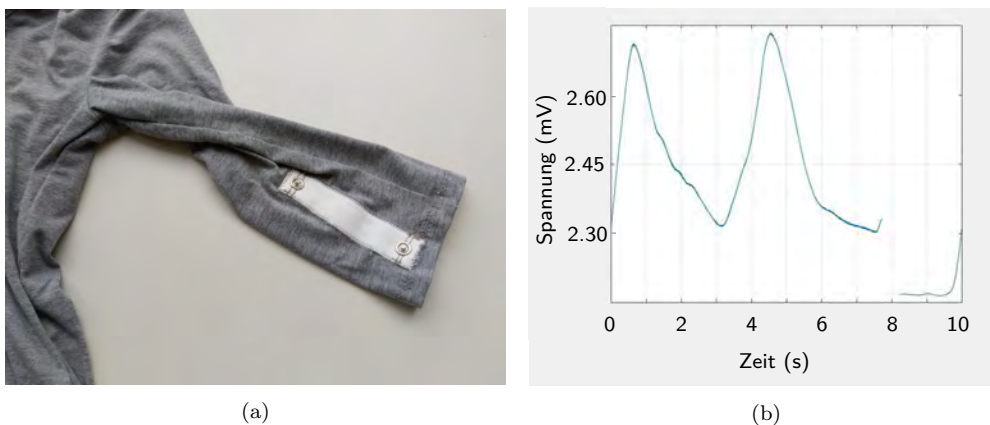


Abb. 8.4: Bewegungsaufzeichnung am Ellenbogengelenk: Integration eines resistiven Dehnungssensors in einen Ärmel auf Höhe des Gelenks bei einem 3/4-Arm (a) und die Aufzeichnung der Spannungsänderung über die Zeit während zweifacher Extension und Flexion (b).



## 8.5 Textile Leiterbahnen

Textile Leiterbahnen stellen ein grundlegendes Konzept dar, das für diverse Applikationen, bei denen Elektronik in Kleidung integriert wird, anwendbar ist. Im vorliegenden Beispiel werden zur Visualisierung der Funktionsfähigkeit über die textilen Leiterbahnen LEDs versorgt (siehe Abbildung 8.5). Hier wurde das leitfähige Stickgarn HC 12 von Madeira (Freiburg, Deutschland) genutzt. Dieses ist ein Polyamidgarn mit einer Silberbeschichtung, das bei 30 Grad in der Waschmaschine gewaschen werden kann. Es ist auf Schadstoffe geprüft gemäß dem Öko-Tex Standard 100 und wurde nach DIN EN ISO 10993-5 bezüglich der Zytotoxizität getestet. Somit ist es unbedenklich für den Einsatz in körpernaher Kleidung. Der elektrische Widerstand beträgt laut Herstellerangaben unter  $100 \Omega/\text{m}$ . Insgesamt wird der Widerstand einer textilen Leiterbahn bezüglich ihrer Länge jedoch stark durch die gewählte Stich- bzw. Stickart beeinflusst. Beispielsweise ist der Widerstand bei einem einfachen Geradstich deutlich kleiner als bei einem elastischen Zick-Zack-Stich, da hier die notwendige Garnlänge zunimmt. Bei dem in Abbildung 8.5 gezeigten Beispiel wurden die Leiterbahnen und LEDs in einen blauen Trägerstoff eingebracht, um einen direkten Hautkontakt mit der Elektronik zu verhindern. Prinzipiell ist jedoch auch direktes Sticken auf dem Shirt möglich.



(a)



(b)

Abb. 8.5: Textile Leiterbahnen: Mithilfe eines leitenden Stickgarns ist ein Schriftzug aufgenäht (a), über den LEDs mit Strom versorgt werden (b).

## 8.6 EKG-Sensoren

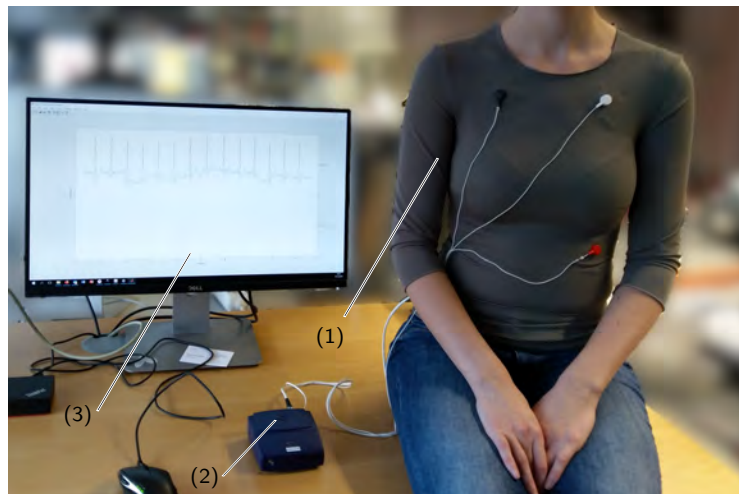
Zur Aufzeichnung eines Elektrokardiogramms (EKG) wurden drei Elektroden in ein Shirt integriert (siehe Abbildung 8.7). Da hierbei gefordert wird, dass diese in gutem kontinuierlichen Kontakt zur Hautoberfläche stehen, wurde hier die Passform 'extra tight' in Kombination mit einem hochelastischen Stoff (Dehnbarkeit von 50%) gewählt. Bei allen anderen Anwendungsbeispielen war die Passform 'tight' mit einem herkömmlichen Jersey-Stoff (Dehnbarkeit von 25%) ausreichend.

Für die Aufzeichnung des EKG-Signals wurden gewirkte Flächeneinzelelektroden (imbut, Greiz, Deutschland) in das Shirt eingenäht. Diese haben eine Fläche von  $40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$  und besitzen einen Druckknopfanschluss auf der Rückseite für den Anschluss an handelsübliche EKG-Geräte. Da die Elektroden eine Hinterpolsterung mittels Abstandsgewirke haben, passen sie sich der Hautoberfläche an. Die Elektroden sind mehrfach wiederverwendbar, jedoch kein zugelassenes Medizinprodukt. Als Elektrodenoberfläche dient die versilberte Maschenware Shiel-dex®MedTex 180 (statex, Bremen, Deutschland). Dieses Material besteht aus 94% Polyamid und 6% Elastan, das mit 99% reinem Silber beschichtet wurde und nach dem Öko-Text Standard 100 geprüft ist.

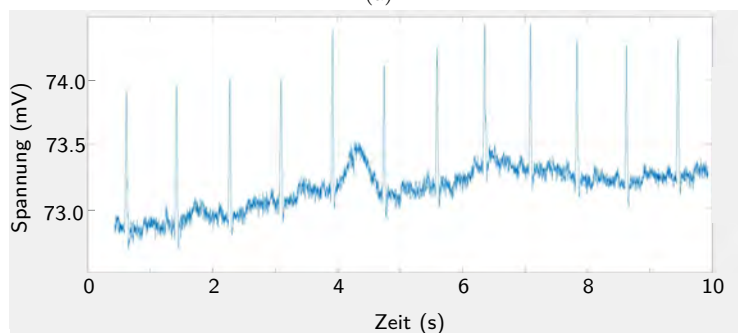


Abb. 8.6: Eine Flächeneinzelelektrode aus versilberter Maschenware ist auf der Innenseite des Shirts angenäht (a). Auf der Außenseite ist der Druckknopf zum Anschluss des Ableitungskabels zugänglich (b).

Für die dreiadrige Ableitung wurden wie in Abbildung 8.7a zu erkennen die negative Elektrode (schwarz) auf der rechten Körperseite des Patienten oberhalb des Brustkorbs, die Erdung (weiß) links oberhalb des Brustkorbs und die positive Elektrode (rot) links unterhalb des Brustkorbs platziert. Anschließend erfolgte die Signalableitung II nach Einthoven, also von der positiven Elektrode unterhalb des Brustkorbs zur negativen Elektrode rechts oben am Brustkorb. Eine solche Platzierung ist bei Langzeitüberwachungen üblich. Das Signal wurde mit dem elektrophysiologischen Messmodul NeXus-10 (Mind Media, Roermond-Herten, Niederlande; hergestellt von und technischer Support durch TMSi, Oldenzaal, Niederlande) aufgezeichnet. Die Aufnahme eines auf diese Weise gemessenen Signals ist in Abbildung 8.7b) dargestellt. Die Qualität entspricht nicht einem medizinischen EKG, aber beispielsweise für den Bereich des Fitness-Trackings ist eine solche Umsetzung denkbar.



(a)



(b)

Abb. 8.7: (a) Integration von EKG-Sensoren in ein Shirt: Die Elektroden sind ober- und unterhalb der Brust in das Shirt eingenäht (1) und werden mit dem elektrophysiologischen Messmodul NeXus-10 (2) verbunden. Die Messwerte werden mittel Bluetooth übertragen und können direkt in Matlab angezeigt werden (3). (b) Das EKG-Signal wird als gemessene Spannung über die Zeit angezeigt.

## 9 Experiment zur Passformkontrolle

In der Schneiderei ist es üblich, ein Kleidungsstück in einem iterativen Prozess an das Modell anzupassen. Hierzu wird oftmals zunächst ein Probestück aus günstigem Stoff (Nesselstück) hergestellt, um das Schnittmuster anzupassen. Dieses wird in mehreren Anproben getestet, wobei empfohlen wird, jeweils nur einige wenige Änderungen je Sitzung anzupassen, um anschließend klarer zu erkennen, welche weitere Anpassungen zu machen sind (Veblen, 2013). Ziel dieser Arbeit ist die Herstellung eines passenden Kleidungsstücks ohne die Notwendigkeit einer mehrmaligen Anprobe. Dies soll aufgrund des einfachen Schnittes, der Wahl robuster Körpermaße und des elastischen Stoffes realisierbar sein. Diese Hypothese soll im vorliegenden Experiment untersucht werden.

### 9.1 Beschreibung des Messverfahrens

**Passform** Im Rahmen einer Kleinserie ( $n=7$ ) soll die Passform der automatisiert maßgeschneiderten Oberteile untersucht werden. Die Passform lässt sich anhand folgender Kriterien beurteilen:

- Die Seitennähte sollten gerade und lotrecht sein (Veblen, 2013).
- Die Stelle, an der die Schulternaht auf den Ärmel trifft, sollte beinahe am äußersten Punkt der Schulter, auf dem spürbaren Knochenende sitzen. Es sollte keine Mehrweite an Brust, Taille und Hüfte vorhanden sein.
- Es ist ausreichend Stoff vorhanden: Zugfalten zeigen an, dass ein Kleidungsstück zu eng ist oder dass es für eine Körperrundung zu wenig dreidimensionalen Raum gibt. Sie liegen diagonal oder waagrecht und gehen in der Regel von dem Punkt aus, an dem das Problem liegt. (Veblen, 2013)
- Es ist nicht zu viel Stoff vorhanden: Überschüssiger Stoff fächert sich in der Regel zu Falten auf. Falten bilden sich jedoch nicht immer genau an der Stelle, an der die Ursache liegt. Senkrechte Falten deuten darauf hin, dass das Kleidungsstück zu weit ist, während waagrechte Falten auf zu viel Länge hinweisen. (Veblen, 2013).
- Das Shirt bietet einen guten Tragekomfort: Bequemlichkeit ist ein zuverlässiger Indikator für die Passform (Veblen, 2013). Beispielsweise kann ein unangenehmes Spannen bei zu engem Hüftumfang entstehen oder zu weiten Armausschnitten bei Bewegung stören.

**Hypothese** Mit diesem Experiment soll die Hypothese untersucht werden, dass es ohne Iterationsschritte (also durch einmaliges Maßnehmen und rechnergestütztes Erstellen des individuellen Schnittmusters) ein Shirt mit einer Passform mit folgenden Charakteristiken erzielt werden kann:

- Maße: Die Abweichung des Schulterpunktes ist kleiner 10 mm und die Mehrweiten geringer als 15 mm. (Begründung: Messung der Körpermaße erfolgt auf 5 mm genau, Nähen je Naht mit einer geschätzten Ungenauigkeit von bis zu 2,5 mm. Das ergibt eine Abweichung bis zu 10 mm im Umfang und 7,5 mm an der Schulter)
- Falten: Die Ausbildung von Falten wird als 'nicht störend' (d. h. > 50% auf Analogskala) bewertet.
- Seitennaht: Die Seitennaht verläuft gerade und lotrecht (d. h. > 50% auf Analogskala).
- Komfort: Die subjektive Bewertung des Komforts ist positiv (d. h. > 50% auf Analogskala).

**Messmittel** Gemessen werden die Mehrweiten und die Abweichung am Schulterpunkt mit einem Handmaß (flexibles Lineal aus dem Schneidereibedarf). Die Beurteilung von Falten (also Mehrweite oder zu enge Passform) erfolgt durch visuelle Prüfung und wird auf einer visuellen Analogskala von 0% bis 100% festgehalten, wobei jeweils 0% einer Behinderung (z. B. Faltenbildung) und 100% einem Nutzen (gute Passform) entsprechen (siehe auch Hein u. Lueth, 2018). Der Komfort wird von dem Probanden selbst eingeschätzt und ebenfalls auf einer visuellen Analogskala von 0% bis 100% notiert. Die Angaben wurden in 5%-Schritten ausgewertet.

**Parameter** Alle Shirts wurden in der Passformklasse 'tight' hergestellt, da bei dieser ein eng anliegender Schnitt erzielt wird, der keine Mehrweiten aufweisen sollte. Es wurde für alle Shirts der gleiche Baumwoll-Jersey (95% Baumwolle, 5% Elastan) sowie die gleichen Fertigungsverfahren gewählt. Lediglich die Schnitteneigenschaften Ärmellänge und Ausschnittform wurden variiert, da diese keine Auswirkung auf die gemessenen Parameter bezüglich der Passform haben dürfen. Gemessen wurden

- die Mehrweiten an Brust, Taille und Hüfte mit einem Handmaß,
- die Abweichung des Schulterpunktes mit einem Handmaß,
- der gerade und lotrechte Verlauf der Seitennaht durch eine visuelle Beurteilung (Eintragung auf visueller Analogskala),
- die Faltenbildung durch zu viel oder zu wenige Stoff durch eine visuelle Prüfung (Eintragung auf visueller Analogskala) sowie
- der Komfort durch eine subjektive Einschätzung des Probanden (Eintragung auf visueller Analogskala).

**Methoden für die Auswertung** Da keine Normalverteilung und nur kleine Stichprobenumfänge vorliegen, wird die Auswertung anhand von Kennwerten wie Median, Median der Abweichungsbeträge (Median Absolute Deviation, MAD) und Spannweite (Range) vorgenommen. Diese Kennzahlen werden aus der Anordnung der Beobachtung  $x_i$ , sogenannten Ranglisten, abgeleitet (Hedderich u. Sachs, 2016, S. 78ff):

$$x_1 \leq x_2 \leq x_3 \dots \leq x_{n-1} \leq x_n \quad (9.1)$$

Hierbei entspricht  $x_1$  dem Minimum und  $x_n$  dem Maximum. Der Medianwert  $\tilde{x}$  teilt die Anzahl der Beobachtungen in zwei gleich große Hälften. Umfasst die Stichprobe eine ungerade Anzahl von Werten, so wird der Median aus den beiden mittleren Werten  $\tilde{x}_1$  und  $\tilde{x}_2$  bestimmt.

$$\tilde{x} = \frac{1}{2}(\tilde{x}_1 + \tilde{x}_2) \quad (9.2)$$

Der Median der Abweichungsbeträge  $MAD$  ist ein Maß für die Streuung der Beobachtungen und berechnet sich zu:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \tilde{x}| \quad (9.3)$$

Die Spannweite (Range)  $R$  wird aus der Differenz von Maximum und Minimum bestimmt und umfasst alle Beobachtungen.

$$R = x_n - x_1 \quad (9.4)$$

## 9.2 Versuchsdurchführung

**Herstellung der Shirts und Versuchsaufbau** Die Körpermaße wurden von allen Probanden gemäß dem Maßblatt im Anhang mithilfe von einem einfachen Schneidermaßband genommen. Anschließend wurde das Schnittmuster mittels der Matlab-Routinen erstellt und in eine SVG-Datei gespeichert. Der Zuschnitt aus dem Jersey-Stoff erfolgte mit einem Laserschneider. Mithilfe einer konventionellen Overlock- und Nähmaschine wurden die Schnittmusterteile gefügt. Anschließend konnte der Proband sein individuelles Shirt anziehen. Dieses wird am Träger in Form gezogen (siehe Abbildung 9.1) und dieser nimmt für die Bewertung einen lockeren, aufrechten Stand ein. Jeder dieser Schritte (Maßnehmen, Zuschnitt, Nähen, Bewertung) wurden von einer jeweils gleichen geübten Person durchgeführt, um keine variierenden Ergebnisse aufgrund unterschiedlicher handwerklicher Fähigkeiten oder Bewertungsmaßstäbe zu erhalten.



Abb. 9.1: Messaufbau: Das Shirt ist angezogen und in Form gebracht. Der Träger nimmt eine aufrechte, lockere Haltung ein.

**Durchführung der Messung** Die Messung am Probanden wird wie folgt vorgenommen:

- Die Abweichung des Schulterpunktes wird mit einem Handmaß gemessen (Distanz Acromion-Punkt und Schulternaht).
- Der Stoff seitlich der Brustlinie wird zwischen zwei Fingern erfaßt, ohne dabei den Stoff über der Brust zu spannen. Die Breite des zwischen den Fingern gegriffenen Stoffes wird mit einem Handmaß gemessen. Stoff wird in doppelter Lage gemessen, daher entspricht die Mehrweite im Umfang dem doppelten Messwert.
- Das gleiche Vorgehen wird an Taille und Hüfte wiederholt.
- Die Fragen zum Faltenfall und Verlauf der Seitennaht werden vom Versuchsleiter visuell geprüft und das Ergebnis auf dem Fragebogen auf den Analogskalen festgehalten.
- Der Komfort wird beim Probanden erfragt und auf der visuellen Analogskala notiert.

**Ableitung der Ergebnisse aus den Messwerten** Die gemessenen Kennwerte Median, Median der Abweichungsbeträge (MAD) und Spannweite (Range) sind in Tabelle 9.1 gelistet.

In Abbildung 9.3 sind die Ergebnisse der Messungen mit dem Handmaß und in Abbildung 9.4 die Ergebnisse der Beurteilung mittels visueller Analogskalen anhand von Boxplots veranschaulicht. In jedem Kästchen gibt die zentrale Markierung (fett markiert) den Median an. Der untere und obere Rand des Kästchens zeigt das 25. bzw. 75. Perzentil. Die Antennen ('Whiskers', gestrichelt) erstrecken sich

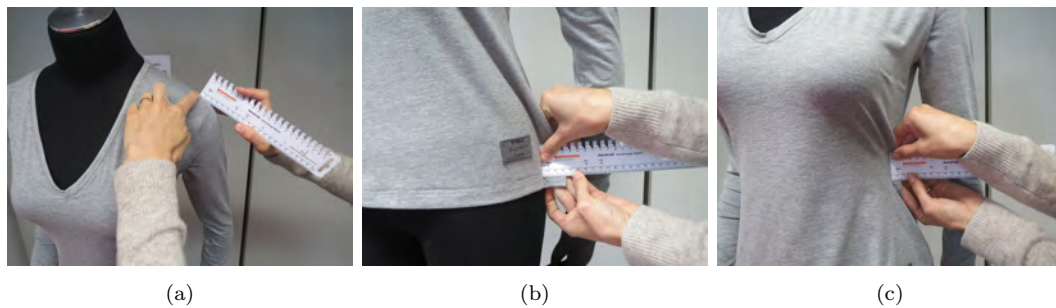


Abb. 9.2: Durchführung der Messung: die Abweichung des Schulterpunktes und der Schulternaht wird gemessen (a) sowie die Mehrweiten an Hüfte (b), Taille (c) und analog an der Brust.

Tab. 9.1: Kennwerte Median, Median der Abweichungsbeträge (MAD) und Spannweite (Range) der Messungen: Der erste Teil der Tabelle bezieht sich auf die mit dem Handmaß gemessenen Größen, welche in mm angegeben sind. Der zweite Teil der Tabelle auf die Antworten mithilfe der visuellen Analogskalen von 0 bis 100%.

Messung	Median	MAD	Range
Verschiebung Schulterpunkt	0	4	10
Mehrweite Brust	0	2	10
Mehrweite Taille	10	9	30
Mehrweite Hüfte	0	7	20
Gerade und lotrechte Seitennaht	100	6	25
Ausreichend Stoff (keine Zugfalten)	100	20	75
Kein überschüssiger Stoff (keine Auffächerungsfalten)	80	18	75
Tragekomfort	100	12	50

bis zu den extremsten Datenpunkten, die nicht als Ausreißer betrachtet werden. Ausreißer werden einzeln mit dem '+'-Symbol aufgetragen. Die Strichpunktlinie zeigt den jeweiligen angestrebten Grenzwert (siehe Hypothese) an.

Wie in der Grafik 9.3 zu sehen, liegen die Mediane stets unterhalb der angestrebten Grenzwerte. Die Verschiebung des Schulterpunktes und die Mehrweite an der Brust liegen sogar in ihrer gesamten Spannweite unterhalb der Grenzwerte. Lediglich die Mehrweite an der Taille liegt zwar im Median unterhalb des Grenzwerts, jedoch das obere Quartil oberhalb des Grenzwerts.

Grafik 9.4 veranschaulicht, dass außer einzelner Ausreißer alle Beobachtungen, welche anhand der visuellen Analogskalen bewertet wurden, oberhalb des angestrebten Grenzwerts von 50% liegen.

**Zusammenfassung der Ergebnisse** Gemäß der in der Hypothese definierten Kriterien für eine gute Passform indiziert die vorliegende kleine Messreihe, dass mithilfe der rechnergestützten Schnittmusterkonstruktion eine ausreichend gute



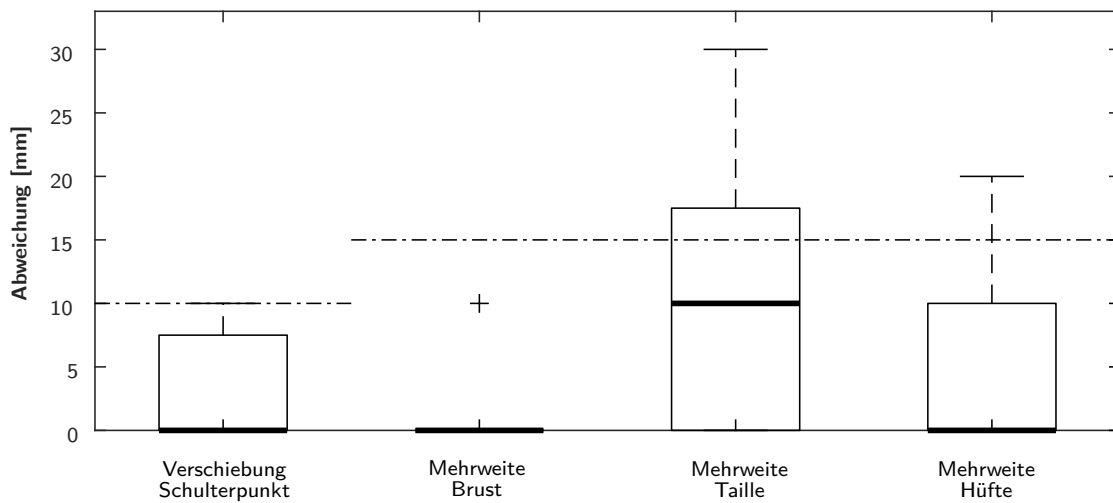


Abb. 9.3: Boxplot zur Veranschaulichung der Messergebnisse: Der dicke Balken markiert den Median, die Box umfasst das 25. bis 75. Perzentil, die Antennen (gestrichelt) zeigen die Spannweite an, Ausreißer sind mit einem '+' gekennzeichnet und die Strichpunktlinie markiert die in der Hypothese definierten Grenzwerte.

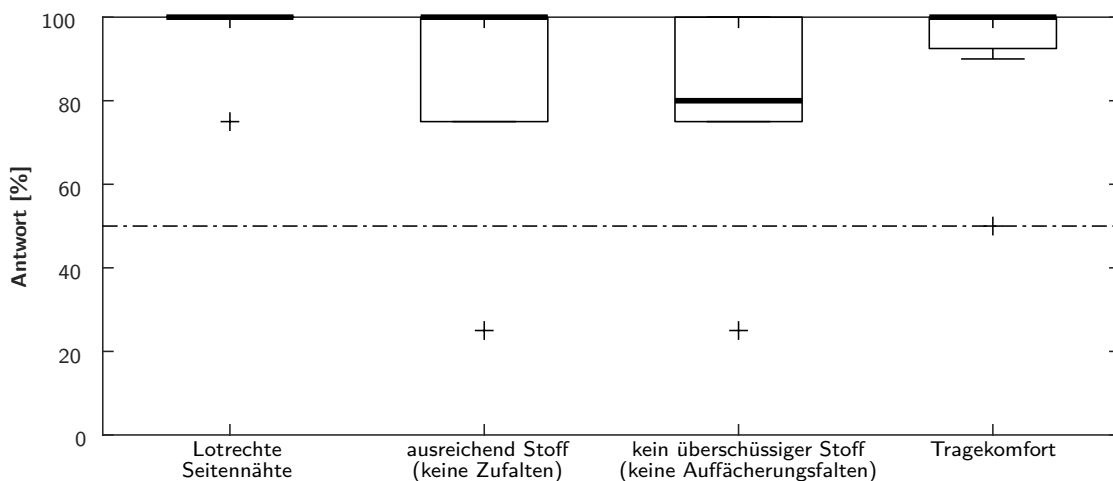


Abb. 9.4: Boxplot zur Veranschaulichung der Antworten auf den visuellen Analogskalen: Der dicke Balken markiert den Median, die Box umfasst das 25. bis 75. Perzentil, die Antennen (gestrichelt) zeigen die Spannweite an, Ausreißer sind mit einem '+' gekennzeichnet und die Strichpunktlinie markiert die in der Hypothese definierten Grenzwerte

Passform erzielt werden kann. Bis auf einzelne Messwerte lagen die gemessenen Werte für die Verschiebung des Schulterpunktes (Median 0 mm), die Mehrweite an Brust (Median 0 mm) und die Mehrweite an der Hüfte (Median 0 mm) alle unterhalb der Grenzwerte von 10 mm (Verschiebung Schulterpunkt) und 15 mm (Mehrweiten der Umfangsmaße). Lediglich eine etwas erhöhte Mehrweite an der Taille wurde beobachtet. Hier reicht die Spannweite der Messergebnisse bis zu 30 mm. Jedoch lag auch diese mit einem Median von 10 mm unterhalb des angestrebten Grenzwerts von 15 mm. Bis auf einzelne Ausreißer lagen alle Messwerte der visuellen Prüfung sowie die subjektiven Bewertungen des Tragekomforts im positiven Bereich (oberhalb der 50%-Marke).

### 9.3 Diskussion der Ergebnisse und Methodik

Die Messergebnisse für die Mehrweiten und Verschiebungen lagen im Median größtenteils bei 0 mm. Lediglich an der Taille wurde eine Mehrweite von 10 mm im Median gemessen. Diese Mehrweite könnte damit erklärt werden, dass die Dehnung des Stoffes an Hüfte und Brust zu gedehntem Stoff an der Taille führt. In jedem Fall sei darauf hingewiesen, dass ein bis zwei cm Toleranz bei der Verarbeitung von Textilien üblich sind, da wie bereits bei der Begründung der Grenzwerte erläutert, beim händischen Nähen gewisse Ungenauigkeiten sich schnell zu solchen Abweichungen im Umfang summieren.

Im vorliegenden Experiment wurden die Messungen am unbewegten Probanden durchgeführt. Selbstverständlich führen Bewegungen zu Veränderungen der Körperform. Wie in Absatz 7.1.3 bereits erwähnt, wird daher bei der Konstruktion der Ärmel ein leicht weiterer Sitz gewählt, da hier Verformungen der Armmuskulatur zu hohen Dehnungen und somit zu unangenehmen Spannungen führen kann. Eine Evaluierung der Passform bei Bewegung würde sicherlich weitere Erkenntnisse bringen. Durch das elastische Material können jedoch einige Formveränderungen des Körpers kompensiert werden. Beispielsweise beträgt die Änderung der Rückenlänge bei einer Rumpfbeuge bis zu 13 cm (Imamura et al., 2011). Bei einer Rückenlänge von 61,4 cm bei der Damengröße 32 und 69,8 cm bei der Herrengröße 60 und einer Dehnbarkeit von 0,25, wie sie ein gewöhnlicher Jersey-Stoff aufweist, ergibt sich somit eine mögliche Längenänderung des Stoffes von 15,4 cm bis 17,4 cm.

Im Rahmen der Messung wurde der subjektive Komfort als Indikator für die Passform bewertet. Im Bereich des Sitzkomforts wird von Hertzberg (1958) der Komfort als Abwesenheit von Diskomfort erklärt. Zhang et al. (1996) stellen dagegen die These auf, dass Komfort und Diskomfort zwei unabhängige Empfindungen seien. Während Komfort stark mit der Ästhetik zusammenhängt, lässt sich Diskomfort mit biomechanischen und physiologischen Faktoren in Verbindung bringen. Daher wird häufig der Diskomfort als objektiv bewertbarer Faktor untersucht. Die hier durchgeführte Messung des Komforts hat daher nur eingeschränkte Aussagekraft. Jedoch ist bei dem im Rahmen dieser Arbeit gemessenen sehr hohen Komfort von geringem Diskomfort auszugehen, da Diskomfort stets das Empfinden von Komfort beeinträchtigt (Zhang et al., 1996).

## 10 Zusammenfassung und Ausblick

Kleidung wird heutzutage fast ausschließlich in Standardgrößen verkauft. Hinter jeder Standardgröße verbirgt sich eine Vielzahl an Körpermaßen, die auf Reihenmessungen beruhen. Diese Kleidungsstücke können wirtschaftlich in größeren Stückzahlen gefertigt werden, stellen jedoch in Bezug auf die Passform einen Kompromiss dar, da in der Regel der Träger der Kleidung nicht allen der Konstruktion des Schnittes zugrundeliegenden Körpermaßen entspricht. Eine gute Passform ist jedoch über den ästhetischen Aspekt hinaus auch bei diversen technischen Anwendungen gefordert. Beispielsweise führt ein Faltenwurf der Kleidung, die unterhalb von Exoskeletten oder Orthesen getragen wird, zu unerwünschten Druck- und Wundstellen. Aber auch im Bereich der intelligenten Textilien, also beispielsweise bei der Integration von Sensorik, wird häufig vorausgesetzt, dass diese an der korrekten Position mit passendem Anpressdruck anliegt.

Die vorliegende Arbeit stellt die rechnergestützte Schnittmusterkonstruktion vor. Durch deren Implementierung soll auch ein Nutzer ohne Vorkenntnisse im Bereich des Schnittmusterentwurfs und der Schneiderei befähigt werden, ein maßangepasstes Kleidungsstück zu erzeugen. Die Routinen wurden am Beispiel eines Oberteilgrundschnitts in Matlab unter Nutzung der SG-Library<sup>1</sup> realisiert, indem das Schnittmuster als Polygonzug in Punktlisten (PL) unter Zuhilfenahme der individuellen Körperabmessungen konstruiert wird. Hierbei wird auch Wissen über die spätere Fertigung und das Material berücksichtigt. Der Fertigungsschnitt wird im SVG- oder DXF-Format ausgegeben und kann somit direkt für den Zuschnitt mit Lasercutter oder anderen maschinellen Schneidemaschinen genutzt werden.

In den Algorithmen für die Berechnung des Schnittmustersverlaufs werden für die Erzeugung von Stützpunkten in gekrümmten Bereichen Bézierkurven genutzt. Eine solche Kurve lässt sich durch eine variable Anzahl an sogenannten Bézierpunkten beschreiben. Der Verlauf der Kurve kann geometrisch anschaulich gesteuert werden und die Berechnung einer solchen Kurve erfolgt numerisch stabil. Die Integration eines Brustabnehmers als keilförmige Faltung eines Stoffstückes ist je nach Figurtyp erforderlich. Dieser dient dem Abformen von ausgeprägten Rundungen. Für die Berechnung des Abnehmers ist eine Rotation von Abschnitten des Schnittmusters um den Brustmittelpunkt sowie die anschließende Kalkulation des Faltungsdreiecks für ein bündiges Anliegen des Stoffes in der Seitennaht notwendig.

Um das Grundschnittmuster zu individualisieren, ist dieses anhand von Körpermaßen parametrisiert. Die Körpermaße werden direkt am Körper ermittelt. Darauf aufbauend werden weitere Konstruktionsmaße berechnet. Darüber hinaus fließen in die Konstruktion Festmaße, also konstante Werte unabhängig vom Körperbau, ein. Zusätzlich werden bei der Konstruktion Zugaben berücksichtigt, die abhängig sind von der Elastizität des Stoffes und der gewünschten Passformklasse. Für die Ableitung des Produktionsschnittes aus dem Grundschnitt ist Wissen über

---

<sup>1</sup>Matlab Toolbox von Tim Lüth zur Generierung, Optimierung und Simulation von Festkörpergeometrien (Lueth u. Irlinger, 2013, 2019)

die spätere Verarbeitung notwendig. Es werden einfache Nähte zum Verbinden der Schnittmusterteile, unterschiedliche Saumarten für den Abschluss von offenen Kanten und Einfassungen mittels Bündchen zum Abschluss am stark gerundeten Halsausschnitt genutzt. Je nach Verarbeitungsparametern werden Parallelkonturen mit Naht- und Saumzugaben zum Grundschnitt berechnet. An diesem Produktionsschnitt werden weitere Optimierungen für die spätere Verarbeitung vorgenommen. Es wird der Saum am Ärmel ausgestellt, da dieser konisch zuläuft, es werden Markierungen für das korrekte Einsetzen des Ärmels gesetzt und die Saumzugabe am Halsausschnitt des Vorderteils in Relation des Rückteils zugeschnitten. Die Verwendung der in Matlab implementierten Funktionen wird demonstriert, indem deren Nutzung zur Erstellung eines Damenoberteils beispielhaft gezeigt wird.

In einem Experiment wurden für  $n=7$  Probanden individuelle Shirts in eng anliegender Passform gefertigt und deren Sitz anhand von objektiven Kriterien (z. B. Mehrweite, korrekter Sitz Schulterpunkt) sowie des subjektiven Kriteriums 'Tragekomfort' bewertet. Es wurde gezeigt, dass die Schulter exakt abgeformt werden konnte (Verschiebung Schulterpunkt: Median 0 mm; Maximum 10 mm), kaum Mehrweiten an Brust und Schulter auftraten (Median 0 mm; Maximum 10 mm), jedoch geringe Mehrweiten an der Taille (Median 10 mm, Maximum 30 mm). Der Tragekomfort wurde von dem Probanden überwiegend positiv bewertet (Median 100 %, Minimum 50 %). Die durchgeführte Messung indiziert, dass die Kleidungsstücke einen ausreichend guten Sitz für das Tragen unter steifen Strukturen wie Exoskeletonen oder Orthesen bieten und auch zur Integration von körpernaher Sensorik geeignet sind. Dies wird auch durch die Vorstellung von Funktionsmustern mit integrierten Schutzpolstern, Protektoren, Dehnungssensoren zur Bewegungsaufzeichnung, textilen Leiterbahnen und EKG-Sensoren untermauert.



Abb. 10.1: Funktionsmuster maßangepasster Shirts für sieben Probanden.

Die vorgestellte wissenschaftliche Beschreibung eines individualisierten Schnittmusterentwurfs soll in der Praxis jedoch über die Realisierungsbeispiele hinaus beim Tragen unterhalb von Exoskeletonen Einsatz finden. Aufbauend auf die in dieser Arbeit vorgestellten Grundlagen - wie Datenstrukturen und Kurvenbeschreibungen - können Routinen für beliebige weitere Kleidungsstücke wie beispiels-

weise Hosen erzeugt werden. Weiterführende Experimente mit unterschiedlichsten Stoffen und eine darauf basierende Stoffdatenbank, in die deren Eigenschaften eingetragen sind, könnten dazu genutzt werden, den Schnittmusterentwurf weiter intelligent zu optimieren.

Diese Arbeit stellt vor, wie durch die Bereitstellung von Berechnungsfunktionen in Kombination mit ausführlichen Anleitungen auch einem unerfahrenen Nutzer ohne Kenntnisse aus den Bereichen Schnittmusterkonstruktion und Nähen ermöglicht wird, ein maßangepasstes Kleidungsstück herzustellen, um dieses anschließend für seine technische Applikation entsprechend zu nutzen.

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Konstruktion eines Grundschnittes für ein Damenoberteil anhand von Körpermaßen (entnommen aus: Gilewska 2015, S. 14) . . . . .	6
2.2	Gradierung eines Oberteilschnittmusters zur Ableitung unterschiedlicher Kleidergrößen (entnommen aus: Gilewska 2014, S. 26) . . . . .	7
3.1	Skizze des Grundschnittes auf dem Modell und anschließende Vernetzung zu einer Fläche (entnommen aus: Zhong 2011) . . . . .	14
3.2	Die 3D-Oberfläche wird zu einem 2D-Schnittmuster abgeflacht. Hierbei handelt es sich um die Optimierungsaufgabe, die Verzerrung der Dreiecke gering zu halten (entnommen aus: Zhong 2011). . . . .	15
4.1	Matrix bezüglich der Anforderungen an die Herstellung und die erreichbare Passform von Kleidung: Für Konfektionsware wird wenig Zeit und Wissen in der Herstellung benötigt, jedoch bezüglich der Passform hinsichtlich aller Körpermaße nur ein Kompromiss erzeugt. Bei der handwerklichen Maßanfertigung kann mithilfe des Einsatzes von Fachwissen und Zeit eine optimierte Passform erzeugt werden. Der Ansatz dieser Arbeit zielt darauf ab, eine optimierte Passform durch automatisierte Prozesse und somit eine vereinfachte Fertigung zu erreichen. . . . .	18
5.1	Konzept der automatisierten Herstellung von individualisierter Kleidung: Ein Nutzer ohne spezielle Vorkenntnisse gibt gewisse Eigenschaften vor, auf Grundlage derer mittels der hier vorgestellten Konstruktionsalgorithmen das maßangepasste Schnittmuster erstellt wird. Dieses kann maschinell zugeschnitten und mittels Nähen gefügt werden. . . . .	20
5.2	Dynamische Prozessbeschreibung: Die Maße werden in den Algorithmus eingelesen, dieser erzeugt das Schnittmuster als Polygonzug und schreibt dieses in eine für den Zuschnitt direkt nutzbare Datei. . . . .	22
6.1	Grundschnitt von einem Damenoberteil ohne (a) und mit (b) Brustabnäher: Rückteil (1), Vorderteil (2) und Ärmel (3). . . . .	23
6.2	Eine Strecke kann durch die Angabe der beiden Punkte $A$ und $B$ mit den zugehörigen Koordinaten $\mathbf{a} = [x_a, y_a]$ und $\mathbf{b} = [x_b, y_b]$ definiert werden. . . . .	26
6.3	Die blau gekennzeichneten Abschnitte im Schnittmuster lassen sich durch gerade Linien beschreiben: Schulternaht, Teil des Armausschnitts, Saumabschlüsse. . . . .	26

6.4	Bézierkurven Grad 1 bis 3: Eine Bézierkurve 1. Grades wird durch zwei Punkte beschrieben und entspricht einer Geraden. Eine Kurve 2. Grades wird durch drei Punkte definiert und entspricht einer Parabel. Eine Kurve 3. Grades wird durch vier Punkte angegeben und besitzt einen Wendepunkt. . . . .	27
6.5	Bézierkurven 2. Grades: Die Bézierpunkte $A$ , $B$ und $C$ spannen das Kontrollpolygon auf, der Punkt $X$ ist ein Punkt auf der Bézierkurve, $T_1$ und $T_2$ sind Teilungspunkte. . . . .	28
6.6	Bézierkurven 2. Grades (blau) im Grundriss und die zugehörigen Bézierpunkte (orange) im Bereich des Halsausschnittes und der Armlöcher. . . . .	29
6.7	Bézierkurven 3. Grades: Die Bézierpunkte $A$ , $B$ , $C$ und $D$ spannen das Kontrollpolygon auf, der Punkt $X$ ist ein Punkt auf der Bézierkurve. . . . .	30
6.8	Zwei stetig differenzierbar verbundene Bézierkurven 3. Grades: Der Endpunkt $D_1$ der ersten Kurve entspricht dem Startpunkt $A_2$ der zweiten Kurve und liegt auf der Geraden aufgespannt durch $C_1$ und $B_2$ . . . . .	31
6.9	Bézierkurven 3. Grades im Grundriss (blau) im Bereich des Armkegels. Die Anfangs- und Endpunkte der Kurven (orange) liegen jeweils auf einer Geraden mit den benachbarten Bézierpunkten (schwarz), um glatte Übergänge ohne Knickstellen zu erhalten. . . . .	31
6.10	Der de-Casteljau-Algorithmus am Beispiel einer Bézierkurve 3. Grades: Der Kurvenpunkt $\mathbf{b}_0^3$ wird durch wiederholte lineare Interpolation berechnet. . . . .	32
6.11	Abrundung von Ecken anhand von Bézierkurven höheren Grades: Zunächst wird eine Vielzahl an Punkten auf den abzurundenden Abschnitt gesetzt, welche anschließend als Bézierpunkte für die Konstruktion der Kurve genutzt werden. . . . .	33
6.12	Abrundung der Knickstellen in der Seitennaht und am Ärmel: Auf den Abschnitten werden in gleichmäßigen Abständen viele Punkte gelegt (orange), die als Bézierpunkte für eine höhergradige Kurve (blau) genutzt werden. . . . .	33
6.13	Geometrische Bedingung zur tangentialen Abrundung von Ecken: Die Punkte $P_1$ , $P_2$ und $P_3$ sowie der Radius $r$ sind gegeben. Somit kann die Schenkellänge $s$ bestimmt werden. . . . .	35

6.14	Vergleich der Methoden zur Erzeugung von gekrümmten Segmenten: Die mit blauen Kreisen markierten Ecken sollen abgerundet werden (a). Mit den Bézierkurven lässt sich der gewünschte Verlauf erzeugen (b). Bei der Fast Fourier Transformation können Ausbeulungen nicht verhindert werden (c). Mit tangentialen Kreissegmenten kann vor allem im Armausschnitt nicht der gesamte zur Verfügung stehende Bereich für die Kurve genutzt werden (d). . . . .	36
6.15	Der Querschnitt ohne Abnäher besitzt eine lineare Abnahme des Umfangs zwischen Brust und Taille. Der natürliche Verlauf der Umfangsmaße des Körpers ist gekrümmt (gestrichelt). Bei einer großen Differenz zwischen Brust- und Taillenumfang liegt die Kurve des Körpers leicht unterhalb des Schnittmusters mit Untermaß (orange). Dieser überschüssige Stoff wirft Falten. . . . .	38
6.16	Die Seitennaht oberhalb des Abnehmers (blau) wird um den Öffnungswinkel $\varphi$ des Abnehmers um den Brustpunkt (grün) rotiert. . .	38
6.17	Rotation um den Winkel $\varphi$ um einen beliebigen Punkt $P$ , beschrieben durch die Position $\mathbf{p} = (x_p, y_p)^T$ im Weltkoordinatensystem. . .	39
6.18	Faltung des Brustabnehmers veranschaulicht anhand einer Origamifaltung. Der rote Papierbereich (a) wird mittig gefaltet (b), wodurch eine Wölbung entsteht (c). Der rote Papierfalz wird seitlich umgelegt (d). Damit dies im gefalteten Zustand eine glatte Linie mit den Außenkanten des blauen Papiers bildet, muss die auf dem roten Papier schraffierte Dreiecksfläche (a) hinzugefügt werden. . . . .	40
6.19	Die Geometrie des Abnehmers (weißes Dreieck) ist bekannt (a). Die Geometrie des schwarzen Dreiecks lässt sich berechnen, indem die Dreiecke entlang der Faltungslinie (grün gestrichelt) gespiegelt betrachtet werden. Dies entspricht exakt der Position, in der das rote Papier im gefalteten Zustand liegt. . . . .	40
7.1	Körpermaße, die zur Erzeugung des maßangepassten Shirts benötigt werden: Die drei Längenmaße werden am Rücken gemessen, drei Umfangsmaße werden am Oberkörper ermittelt und der Arm wird mit zwei Umfängen und einer Länge vermessen. . . . .	43
7.2	Abschätzung der Elastizität eines Stoffes: Zunächst wird ein Bereich von 10 cm mithilfe von Stecknadeln markiert (a). Anschließend wird dieser vorsichtig schrittweise nur so weit gedehnt, dass er in seine Ausgangslänge zurückkehrt. Die maximale Länge wird abgelesen (b). Mithilfe von Formel 7.3 kann die Elastizität berechnet werden. Die obere Skala zeigt die Elastizität in % an. . . . .	45
7.3	Querschnitt eines Damenoberteils für verschiedene Passformklassen. Da die Weitenzugabe anteilig am entsprechenden Körpermaß berechnet wird, ist diese an der Brust geringfügig größer (grüne Linie) als im Bereich der Taille (orange Linie). . . . .	47



7.4	Parametrisierter Grundschnitt mit Rundhalsausschnitt des Damenoberteils anhand von Körpermaßen, Konstruktionsmaßen und Festmaßen. . . . .	48
7.5	Definition der Konstruktionspunkte (schwarz) für den V-Ausschnitt eines Damenoberteils: weiterer Halsausschnitt am Rückteil (oben) sowie Vertiefung des Ausschnittes und Ausformung des V-Ausschnittes am Vorderteil (unten). . . . .	48
7.6	Parametrisierter Grundschnitt des Ärmels für ein Damenoberteil anhand von Körpermaßen, Konstruktionsmaßen und Festmaßen: Gerüst der Konstruktionspunkte (links) sowie Konstruktionspunkte des Armkegels (rechts) . . . . .	49
7.7	Grundschnitt eines Herrenoberteils für verschiedene Passformklassen (a). Die Schnittführung der Seitennaht ist für die Passformklassen 'extra tight' und 'tight' analog zum Damengrundschnitt tailliert ausgeführt. Bei den Passformklassen 'regular' und 'loose' werden die Konstruktionspunkte für die Seitennaht abweichend vom Damenschnitt gelegt (b). Die Konstruktionspunkte für den V-Ausschnitt des Herrenoberteils werden durch die gekennzeichneten Festmaße definiert. . . . .	51
7.8	Kennzeichnung der Abschnitte im Schnittmuster für die Verarbeitung: Nähte (blau gestrichelt), Säume (orange durchgezogen) und Bündchen (schwarz gepunktet). . . . .	52
7.9	Schematische Darstellung einer Overlocknaht: Die Kante des Stoffes wird abgeschnitten, die Naht gesteppt und die Kante des Stoffes versäubert (links). All diese Schritte können mithilfe einer Overlockmaschine in einem einzigen Arbeitsgang durchgeführt werden. Die Naht wird anschließend im Kleidungsstück zur Seite flach gefaltet (rechts). . . . .	52
7.10	Drei Varianten zur Erzeugung eines Saums: Ein gesteppter Saum mittels einfachem Umschlag des Stoffes (a), ein Rollsaum durch Umnähen der Stoffkante (b) und die Herstellung eines einfachen Bündchens (c). Alle Varianten eignen sich für dehnbare Stoffe, erzeugen jedoch unterschiedliche Stilrichtungen. . . . .	53
7.11	Einfassung der offenen Stoffkante mit einem Bündchen. Wird das Bündchen etwas kürzer als die Saumkante zugeschnitten und leicht gedehnt angenäht, so legt es sich in starke Rundungen flach hinein. . . . .	54
7.12	Möglichkeiten zur Berechnung einer parallelen Kontur (gestrichelt) zur Ausgangskurve (durchgezogene Linie): als Einhüllende der Kreise mit dem Radius $d$ und dem Mittelpunkt auf der Ausgangskurve (a) oder durch die Berechnung von Punkten auf Normalen der Ausgangskurve (b). . . . .	55

---

7.13	Zugefügte Naht- und Saumzugaben durch Parallelkurven: Grundschnitt (schwarz gestrichelt) und Produktionsschnitt (blau durchgezogen) mit entsprechenden Zugaben. . . . .	55
7.14	Grundschnitt (schwarz gestrichelt) und Produktionsschnitt (blau durchgezogen) mit Optimierungen: Subtraktion am Halsausschnitt, Markierungen (orange) und Faltungen am Ärmelsaum (grün). . . .	56
7.15	Für die Konstruktion der Saumzugaben am Ärmelbund wird die Faltung bei der Verarbeitung berücksichtigt. Für einen gesteppten Saum (a) wird der Saum einfach nach innen geschlagen und dafür der Saum um den Betrag $x$ ausgestellt. Für ein einfaches Bündchen (b) wird der Saum zweifach gefaltet und daher die Saumzugabe zunächst um den Betrag $x$ verbreitert und anschließend wieder verschmälert. . . . .	57
7.16	Rechenschritte für den Zuschnitt der Saumzugabe am Halsausschnitt: Die Schulternähte von Vorder- und Rückteil werden deckungsgleich gebracht (a), mithilfe des Rechtecks C (b) werden Ausschnitte der Schnittmusterteile separiert (c), anhand der Booleschen Operation 'Überschneidung' wird die Nahtzugabe am Hals zugeschnitten (d), wieder mit dem Vorder- und Rückteil vereint (e) und anschließend die Schnittmusterteile in die Ausgangslage rücktransformiert (f). . .	59
7.17	Visualisierung der Schnittmusterteile von Rückteil (oben), Vorder- teil (Mitte) und Ärmel (unten) sowie Bündchen für den Halsaus- schnitt (rechts). Die schwarzen Linien zeigen den Grundschnitt, die roten den Produktionsschnitt. . . . .	63
7.18	Veranschaulichung des Schnittmusters innerhalb des Gitters aus Konstruktionspunkten. . . . .	64
7.19	Vergleichende Darstellung des individuellen Schnittmusters (durch- gezogene Linien) mit den Schnittmustern nach Standardgrößen (ge- strichelt). . . . .	64
8.1	Tragen von steifen Strukturen oberhalb der Kleidung: Ellenbogen- orthese zur schrittweisen Mobilisierung (a) und Handexoskelett mit Steuerbasis am Unterarm (b). . . . .	71
8.2	Ellenbogenschutzpolster aus einem 3D-Netzgewebe: Positionierung auf Höhe des Ellenbogengelenks (a) und viergliedriges Design (b), um keine Bewegungseinschränkungen hervorzurufen. . . . .	72
8.3	Ellenbogenprotektor bei gestreckten (a), leicht angewinkeltem (b) und gebeugtem (c) Gelenk. Die Kunststoffschalen wurden mittels SLS von Polyamid hergestellt. Mithilfe von dünnen Lochplatten können die Kunststoffteile auf den Stoff aufgenäht werden. . . . .	73

8.4	Bewegungsaufzeichnung am Ellenbogengelenk: Integration eines resistiven Dehnungssensors in einen Ärmel auf Höhe des Gelenks bei einem 3/4-Arm (a) und die Aufzeichnung der Spannungsänderung über die Zeit während zweifacher Extension und Flexion (b). . . . .	74
8.5	Textile Leiterbahnen: Mithilfe eines leitenden Stickgarns ist ein Schriftzug aufgenäht (a), über den LEDs mit Strom versorgt werden (b). . . . .	75
8.6	Eine Flächeneinzelektrode aus versilberter Maschenware ist auf der Innenseite des Shirts angenäht (a). Auf der Außenseite ist der Druckknopf zum Anschluss des Ableitungskabels zugänglich (b). . . . .	76
8.7	(a) Integration von EKG-Sensoren in ein Shirt: Die Elektroden sind ober- und unterhalb der Brust in das Shirt eingenäht (1) und werden mit dem elektrophysiologischen Messmodul NeXus-10 (2) verbunden. Die Messwerte werden mittel Bluetooth übertragen und können direkt in Matlab angezeigt werden (3). (b) Das EKG-Signal wird als gemessene Spannung über die Zeit angezeigt. . . . .	77
9.1	Messaufbau: Das Shirt ist angezogen und in Form gebracht. Der Träger nimmt eine aufrechte, lockere Haltung ein. . . . .	81
9.2	Durchführung der Messung: die Abweichung des Schulterpunktes und der Schulternaht wird gemessen (a) sowie die Mehrweiten an Hüfte (b), Taille (c) und analog an der Brust. . . . .	82
9.3	Boxplot zur Veranschaulichung der Messergebnisse: Der dicke Balken markiert den Median, die Box umfasst das 25. bis 75. Perzentil, die Antennen (gestrichelt) zeigen die Spannweite an, Ausreißer sind mit einem '+' gekennzeichnet und die Strichpunktlinie markiert die in der Hypothese definierten Grenzwerte. . . . .	83
9.4	Boxplot zur Veranschaulichung der Antworten auf den visuellen Analogskalen: Der dicke Balken markiert den Median, die Box umfasst das 25. bis 75. Perzentil, die Antennen (gestrichelt) zeigen die Spannweite an, Ausreißer sind mit einem '+' gekennzeichnet und die Strichpunktlinie markiert die in der Hypothese definierten Grenzwerte . . . . .	83
10.1	Funktionsmuster maßangepasster Shirts für sieben Probanden. . . . .	86
2	Messanzug (a) und Anzeige der Körpermaße in der App (b) von ZOZO (ZOZO Germany GmbH, Berlin, Deutschland - japanischer Mutterkonzern). . . . .	102
3	Aufnahme des Bodyscanners und Kennzeichnung der Positionen, an welchen die Gliedmaße für die Berechnung der Maße separiert werden.	103

# Tabellenverzeichnis

2.1	Einteilung der Körpermaße: Die in ISO 5889-1 (2017) beschriebenen Maße für die Schneiderei finden sich teilweise in DIN EN ISO 7250-1 (2017) für die technische Gestaltung wieder und werden um weitere ergänzt. In der Schneiderei genügt häufig eine reduzierte Anzahl an Maßen, wie sie beispielsweise Hofenbitzer (2009) nutzt. . . . .	12
7.1	Passformklassen und Weitenzugaben: Die Weitenzugaben werden in Relation zur Elastizität des Stoffes berechnet. . . . .	46
9.1	Kennwerte Median, Median der Abweichungsbeträge (MAD) und Spannweite (Range) der Messungen: Der erste Teil der Tabelle bezieht sich auf die mit dem Handmaß gemessenen Größen, welche in mm angegeben sind. Der zweite Teil der Tabelle auf die Antworten mithilfe der visuellen Analogskalen von 0 bis 100%. . . . .	82

## Literaturverzeichnis

- [Aach et al. 2015] AACH, M. ; MEINDL, R. C. ; GESSMANN, J. ; SCHILDHAUER, T. A. ; CITAK, M. ; CRUCIGER, O.: Exoskelette in der Rehabilitation Querschnittgelähmter. Möglichkeiten und Grenzen. In: *Der Unfallchirurg* 118 (2015), Nr. 2, S. 130–137. <http://dx.doi.org/10.1007/s00113-014-2616-1>. – DOI 10.1007/s00113-014-2616-1. – ISSN 1433-044X
- [Arens et al. 2018] ARENS, Tilo ; HETTLICH, Frank ; KARPFFINGER, Christian ; KOCKELKORN, Ulrich ; LICHTENEGGER, Klaus ; STACHEL, Hellmuth: *Mathematik*. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer, 2018. – ISBN 978-3-662-56741-8
- [Cabrera u. Antoine 2015] CABRERA, Roberto ; ANTOINE, Denis: *Classic Tailoring Techniques for Menswear: A Construction Guide*. 2. Auflage. New York : Fairchild Books, 2015 (F.I.T. collection). – ISBN 978-1-62892-170-0
- [Chen et al. 2011] CHEN, Xiaogang ; TAYLOR, Lindsay W. ; TSAI, Li-Ju: An overview on fabrication of three-dimensional woven textile preforms for composites. In: *Textile Research Journal* 81 (2011), Nr. 9, S. 932–944. <http://dx.doi.org/10.1177/0040517510392471>. – DOI 10.1177/0040517510392471. – ISSN 0040-5175
- [Choi et al. 2007] CHOI, Young L. ; NAM, Yunja ; CHOI, Kueng M. ; CUI, Ming H.: A Method for Garment Pattern Generation by Flattening 3D Body Scan Data. Version: 2007. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-73321-8\\_{ }91](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-73321-8_{ }91). In: DUFFY, Vincent G. (Hrsg.): *Digital human modeling* Bd. 4561. Berlin, Heidelberg : Springer, 2007. – DOI 10.1007/978-3-540-73321-8\_91. – ISBN 978-3-540-73318-8, S. 803–812
- [Daanen u. Reffeltrath 2007] DAANEN, H. A. M. ; REFFELTRATH, P. A.: Function fit and sizing. In: ASHDOWN, S. P. (Hrsg.): *Sizing in clothing*. Cambridge : Woodhead Pub. in association with the Textile Institute, 2007 (Woodhead Publishing in textiles). – ISBN 9781845692582, S. 202–219
- [DIN 33402-2 2005] *Ergonomie – Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte: DIN 33402-2*. Beuth Verlag, Berlin, 2005-12
- [DIN 53835-14 1992] *Prüfung des zugelastischen Verhaltens - Maschenwaren, einmalige Zugbeanspruchung zwischen zwei Kraftgrenzen: DIN 53835-14*. Beuth Verlag, Berlin, 1992-11
- [DIN EN ISO 15535 2012] *Allgemeine Anforderungen an die Einrichtung anthropometrischer Datenbanken: DIN EN ISO 15535*. Beuth Verlag, Berlin, 2012
- [DIN EN ISO 7250-1 2017] *Wesentliche Maße des menschlichen Körpers für die technische Gestaltung - Teil 1: Körpermaßdefinitionen und -messpunkte: DIN EN ISO 7250-1*. Beuth Verlag, Berlin, 2017-12

- [Eberle et al. 2013] EBERLE, Hannelore ; GONSER, Elke ; HERMELING, Hermann ; HORNBERGER, Marianne ; KILGUS, Roland ; KUPKE, Renate ; MENZER, Dieter ; MOLL, Andrea ; RING, Werner: *Fachwissen Bekleidung*. 10. Auflage. Haan-Gruiten : Verlag Europa-Lehrmittel, 2013. – ISBN 9783808562109
- [Fallon 2017] FALLON, Jules: *Kleidung: Das umfassende Handbuch für Nähen & Schneidern*. Grünwald : Stiebner, 2017. – ISBN 978-3-8307-0978-7
- [Farin 1994] FARIN, Gerald: *Kurven und Flächen im Computer Aided Geometric Design: Eine praktische Einführung*. 2. Auflage. Wiesbaden : Springer, 1994. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-663-10602-9>. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-663-10602-9>. – ISBN 978-3-663-10602-9
- [Gebhardt et al. 2009] GEBHARDT, Hansjürgen ; SCHÄFER, Andreas ; LANG, Karl-Heinz ; SCHULTETUS, Wolfgang: *KAN-Bericht. Bd. 44: Anthropometrische Daten in Normen: Bestandsaufnahme und Bedarfsanalyse unter besonderer Berücksichtigung des Arbeitsschutzes*. Bonn : mignon Verlag, 2009. – ISBN 978-3-88383-796-3
- [Gilewska 2014] GILEWSKA, Teresa: *Schnittkonstruktion in der Mode: Herrenkleidung: Zuschneiden und Zusammennähen*. München : Stiebner, 2014. – ISBN 978-3-8307-0917-6
- [Gilewska 2015] GILEWSKA, Teresa: *Schnittkonstruktion in der Mode: Grundschnitte*. 4. Auflage. München : Stiebner, 2015. – ISBN 978-3-8307-0870-4
- [Han et al. 2014] HAN, Hyun S. ; KIM, Ji Y. ; KIM, Sung M. ; LIM, Ho S. ; PARK, Chang K.: The Development of an Automatic Pattern-Making System for Made-to-Measure Clothing. In: *Fibers and Polymers* 15 (2014), Nr. 2, S. 422–425. <http://dx.doi.org/10.1007/s12221-014-0422-6>. – DOI 10.1007/s12221-014-0422-6
- [Hao et al. 2010] HAO, Kuang-rong ; DONG, Miao ; CHEN, Bin ; DING, Yongsheng: An Expert System for Special Body Shapes Recognition in Apparel Made-to-Measure. In: *2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA 2010)*, 2010, S. 475–478
- [Hedderich u. Sachs 2016] HEDDERICH, Jürgen ; SACHS, Lothar: *Angewandte Statistik: Methodensammlung mit R*. 15. Auflage. Berlin and Heidelberg : Springer Spektrum, 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-45691-0>. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-45691-0>. – ISBN 9783662456903
- [Hein et al. 2019] HEIN, Christina M. ; KRIEGER, Yannick S. ; DIETZ, Christian ; LUETH, Tim C.: Automated design of a custom-made hand rehabilitation robot. In: BUZUG, Thorsten M. (Hrsg.) ; SEITZ, Hermann (Hrsg.): *Transactions on Additive Manufacturing Meets Medicine*, Infinite Science Publishing, 2019
- [Hein u. Lueth 2018] HEIN, Christina M. ; LUETH, Tim C.: User acceptance evaluation of wearable aids. In: KARAFILLIDIS, Athanasios (Hrsg.) ; WEIDNER,

- Robert (Hrsg.): *Developing Support Technologies*. Cham : Springer International Publishing, 2018. – ISBN 978-3-030-01835-1, S. 247–255
- [Hein et al. 2018] HEIN, Christina M. ; MAROLDT, Paul A. ; BRECHT, Sandra V. ; OZGOECEN, Handan ; LUETH, Tim C.: Towards an Ergonomic Exoskeleton Structure: Automated Design of Individual Elbow Joints. In: *2018 7th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics (Biorob)*, 2018, S. 646–652
- [Hermann et al. 2020] HERMANN, Aljoscha ; OSTARHILD, Julius ; MIRABITO, Yakira ; BAUER, Nicole ; SENNER, Veit: Stretchable piezoresistive vs. capacitive silicon sensors integrated into ski base layer pants for measuring the knee flexion angle. In: *Sports Engineering* 23 (2020), Nr. 1, S. 75. <http://dx.doi.org/10.1007/s12283-020-00336-9>. – DOI 10.1007/s12283-020-00336-9
- [Hertzberg 1958] HERTZBERG, H. T. E. (Hrsg.): *Annotated Bibliography of Applied Physical Anthropology in Human Engineering*. WADC Technical Report, 1958
- [Hofenbitzer 2009] HOFENBITZER, Guido: *Bekleidung: Schnittkonstruktion für Damenmode*. 1. Auflage. Haan-Gruiten : Verlag Europa-Lehrmittel, 2009. – ISBN 978-3-8085-6236-9
- [Hofenbitzer 2013] HOFENBITZER, Guido: *Maßschnitte und Passform: Schnittkonstruktion für Damenmode*. 1. Auflage. Haan-Gruiten : Verlag Europa-Lehrmittel, 2013. – ISBN 978-3-8085-6238-3
- [Iandolo et al. 2019] IANDOLO, Riccardo ; MARINI, Francesca ; SEMPRINI, Marianna ; LAFFRANCHI, Matteo ; MUGNOSSO, Maddalena ; CHERIF, Amel ; MICIELI, Lorenzo de ; CHIAPPALONE, Michela ; ZENZERI, Jacopo: Perspectives and Challenges in Robotic Neurorehabilitation. In: *Applied Sciences* 9 (2019), Nr. 3183, S. 1–29. <http://dx.doi.org/10.3390/app9153183>. – DOI 10.3390/app9153183
- [Imamura et al. 2011] IMAMURA, Yumeko ; TANAKA, Takayuki ; SUZUKI, Yoshihito ; TAKIZAWA, Kazuki ; YAMANAKA, Masanori: Motion-Based-Design of Elastic Material for Passive Assistive Device Using Musculoskeletal Model. In: *Journal of Robotics and Mechatronics* 23 (2011), Nr. 6, S. 978–990
- [ISO 5889-1 2017] *Size designation of clothes - Part 1: Anthropometric definitions for body measurements: ISO 5889-1*. ISO copyright office, Vernier, 2017-03
- [Jiang et al. 2020] JIANG, Zhenbin ; GUO, Juan ; ZHANG, Xinyu: Fast custom apparel design and simulation for future demand-driven manufacturing. In: *International Journal of Clothing Science and Technology* 32 (2020), Nr. 2, S. 255–270. <http://dx.doi.org/10.1108/IJCST-03-2019-0040>. – DOI 10.1108/IJCST-03-2019-0040
- [Kim et al. 2010] KIM, Choong H. ; SUL, In H. ; PARK, Chang K. ; KIM, Sungmin: Automatic basic garment pattern generation using three-dimensional measurements. In: *International Journal of Clothing Science and Technology* 22 (2010),

- Nr. 2/3, S. 101–113. <http://dx.doi.org/10.1108/09556221011018595>. – DOI 10.1108/09556221011018595
- [Kim et al. 2020] KIM, Siyeon ; LEE, Sojung ; JEONG, Wonyoung: EMG Measurement with Textile-Based Electrodes in Different Electrode Sizes and Clothing Pressures for Smart Clothing Design Optimization. In: *Polymers* 12 (2020), Nr. 10. <http://dx.doi.org/10.3390/polym12102406>. – DOI 10.3390/polym12102406
- [Küpper 2019] KÜPPER, Eva ; M. MÜLLER & SOHN (Hrsg.): *Schnitt-Technik Body-Fashion für Tag & Nacht*. <https://www.muellerundsohn.com/allgemein/schnitt-technik-body-fashion-fuer-tag-und-nacht/>. Version: 2019
- [LaBat 2007] LABAT, K. L.: Sizing standardization. In: ASHDOWN, S. P. (Hrsg.): *Sizing in clothing*. Cambridge : Woodhead Pub. in association with the Textile Institute, 2007 (Woodhead Publishing in textiles). – ISBN 9781845692582
- [Lévy et al. 2002] LÉVY, Bruno ; PETITJEAN, Sylvain ; RAY, Nicolas ; MAILLOT, Jérôme: Least Squares Conformal Maps for Automatic Texture Atlas Generation. In: ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY (Hrsg.): *SIGGRAPH '02: Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY : ACM, 2002. – ISBN 1581135211, S. 362–371
- [Liu et al. 2020] LIU, Yige ; LI, Li ; YUAN, Philip F.: A Computational Approach for Knitting 3D Composites Preforms. Version: 2020. [http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-8153-9\\_{\\_}21](http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-8153-9_{_}21). In: YUAN, Philip F. (Hrsg.) ; XIE, Yi M. (Hrsg.) ; YAO, Jiawei (Hrsg.) ; YAN, Chao (Hrsg.): *Proceedings of the 2019 DigitalFUTURES* Bd. 14. Singapore : Springer, 2020. – DOI 10.1007/978-981-13-8153-9\_{\_}21. – ISBN 978-981-13-8152-2, S. 232–246
- [Lueth u. Irlinger 2017] LUETH, Tim ; IRLINGER, Franz: Automatische Generierung von Simscape Multibody Modellen auf der Grundlage von Gelenkgetrieben mit der Matlab-Toolbox SG-Library. In: *12. Kolloquium Getriebetechnik*, 2017, S. 179–192
- [Lueth u. Irlinger 2013] LUETH, Tim C. ; IRLINGER, Franz: Berechnete Erzeugung von dreidimensionalen Oberflächenmodellen im STL-Format aus der Beschreibung planarer Mechanismen für die Generative Fertigung durch Selektives-Lasersintern. In: *10. Kolloquium Getriebetechnik*, 2013, S. 267–284
- [Lueth u. Irlinger 2019] LUETH, Tim C. ; IRLINGER, Franz: Eine Sammlung von Matlab-Funktionen für die konstruktionsnahe Beschreibung und automatisierte Lösung. In: *13. Kolloquium Getriebetechnik*, 2019, S. 157–167
- [Marsh 2005] MARSH, Duncan: *Applied Geometry for Computer Graphics and CAD*. 2. Auflage. London : Springer, 2005 (Springer Undergraduate Mathematics Series). – ISBN 978-1-84628-109-9



- [Maynard 2012] MAYNARD, Lynda: *Professionell schneidern: Die Verarbeitungstechniken Schritt für Schritt*. Bern : Haupt, 2012 (Haupt gestalten). – ISBN 978-3-258-60048-2
- [Nawaz u. Nayak 2015] NAWAZ, N. ; NAYAK, R.: Seamless garments. Version: 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78242-232-7.00014-X>. In: NAYAK, Rajkishore (Hrsg.) ; PADHYE, Rajiv (Hrsg.): *Garment manufacturing technology*. Amsterdam : Woodhead Publishing, 2015 (Woodhead Publishing series in textiles). – DOI 10.1016/B978-1-78242-232-7.00014-X. – ISBN 978-1-78242-232-7, 373–383
- [Nusser u. Senner 2010] NUSSER, Michaela ; SENNER, Veit: High - Tech - Textiles in Competition Sports. In: *Procedia Engineering* 2 (2010), S. 2845–2850. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2010.04.076>. – DOI 10.1016/j.proeng.2010.04.076. – ISSN 18777058
- [Park et al. 2011] PARK, Sun M. ; CHOI, Kueng M. ; NAM, Yun J. ; LEE, Young-A: Multi-purpose three-dimensional body form. In: *International Journal of Clothing Science and Technology* 23 (2011), Nr. 1, S. 8–24. <http://dx.doi.org/10.1108/09556221111096705>. – DOI 10.1108/09556221111096705
- [Popescu et al. 2018] POPESCU, Mariana ; RIPPMMANN, Matthias ; VAN MELE, Tom ; BLOCK, Philippe: Automated Generation of Knit Patterns for Non-developable Surfaces. Version: 2018. [http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-6611-5\\_{\\_}24](http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-6611-5_{_}24). In: RYCKE, Klaas de (Hrsg.) ; GENGNAGEL, Christoph (Hrsg.) ; BAVEREL, Olivier (Hrsg.) ; BURRY, Jane (Hrsg.) ; MUELLER, Caitlin (Hrsg.) ; NGUYEN, Minh M. (Hrsg.) ; RAHM, Philippe (Hrsg.) ; THOMSEN, Mette R. (Hrsg.): *Humanizing Digital Reality* Bd. 79. Singapore : Springer, 2018. – DOI 10.1007/978-981-10-6611-5\_24. – ISBN 978-981-10-6610-8, S. 271–284
- [Reumann 2000] REUMANN, Ralf-Dieter: Mechanisches Formänderungsverhalten textiler Materialien. In: REUMANN, Ralf-Dieter (Hrsg.): *Prüfverfahren in der Textil- und Bekleidungstechnik*. Berlin : Springer, 2000. – ISBN 9783642570735, S. 57–126
- [Ruiz et al. 2021] RUIZ, Luis Javier L. ; RIDDER, Matthew ; FAN, Dawei ; GONG, Jiaqi ; LI, Braden M. ; MILLS, Amanda C. ; COBARRUBIAS, Elizabeth ; STROHMAIER, Jason ; JUR, Jesse S. ; LACH, John: Self-Powered Cardiac Monitoring: Maintaining Vigilance With Multi-Modal Harvesting and E-Textiles. In: *IEEE Sensors Journal* 21 (2021), Nr. 2, S. 2263–2276. <http://dx.doi.org/10.1109/JSEN.2020.3017706>. – DOI 10.1109/JSEN.2020.3017706
- [Schindler et al. 2019] SCHINDLER, Stefan ; BAUDER, Hans-Jürgen ; WOLFRUM, Jürgen ; SEIBOLD, Jürgen ; STIPIC, Nemanja ; WASCINSKI, Larissa von ; TILBEIN, Meike ; GRESSER, Götz T.: Engineering of three-dimensional near-net-shape weave structures for high technical performance in carbon fibre-reinforced plastics. In: *Journal of Engineered Fibers and Fabrics* 14 (2019), Nr. 77, S.

155892501986123. <http://dx.doi.org/10.1177/1558925019861239>. – DOI 10.1177/1558925019861239. – ISSN 1558–9250
- [Schwarz 1997] SCHWARZ, Hans R.: *Numerische Mathematik*. 4. Auflage. Wiesbaden : Teubner, 1997. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-663-01227-6>. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-663-01227-6>. – ISBN 9783519329602
- [Shi et al. 2020] SHI, Jidong ; LIU, Su ; ZHANG, Lisha ; YANG, Bao ; SHU, Lin ; YANG, Ying ; REN, Ming ; WANG, Yang ; CHEN, Jiewei ; CHEN, Wei ; CHAI, Yang ; TAO, Xiaoming: Smart Textile-Integrated Microelectronic Systems for Wearable Applications. In: *Advanced materials* 32 (2020), Nr. 5, S. 1–37. <http://dx.doi.org/10.1002/adma.201901958>. – DOI 10.1002/adma.201901958
- [SizeGermany 2009] SIZEGERMANY: *Die deutsche Reihennmessung*. <https://portal.sizegermany.de>. Version: 2009
- [Stephens 2014] STEPHENS, Elisabeth: The Object of Normality: The “Search for Norma” Competition. In: *Queer Objects Symposium* (2014), S. 1–15
- [Stiegler 2017] STIEGLER, Magarete: *Schnittkonstruktionen für Kleider und Blusen: System M. Müller & Sohn*. 27. Auflage. München : Rundschau-Verlag Otto G. Königer, 2017. – ISBN 978–3–929305–89–0
- [Su et al. 2015] SU, Junqiang ; LIU, Guolian ; XU, Bugao: Development of individualized pattern prototype based on classification of body features. In: *International Journal of Clothing Science and Technology* 27 (2015), Nr. 6, S. 895–907. <http://dx.doi.org/10.1108/IJCST-11-2014-0136>. – DOI 10.1108/IJCST-11-2014-0136
- [Surc et al. 2020] SURC, Dominik ; MICHEL, Dominik ; MIROSNICENKO, Alexander ; ARTWSCHWAGER, Alexander ; ROEDER, Uwe: Scan to Knit - From Body Scan Directly to the Knitting Machine. In: D’APUZZO, Nicola (Hrsg.): *Proceedings of 3DBODY.TECH 2020 - 11th International Conference and Exhibition on 3D Body Scanning and Processing Technologies*. Ascona, Switzerland : Hometrica Consulting - Dr. Nicola D’Apuzzo, 2020. – ISBN 9783033082090
- [Trümper 2011] TRÜMPER, Wolfgang: *Gestrickte Halbzeuge und Stricktechniken*. Version: 2011. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-17992-1\\_{\\_}6](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-17992-1_{_}6). In: CHERIF, Chokri (Hrsg.): *Textile Werkstoffe für den Leichtbau*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – DOI 10.1007/978-3-642-17992-1\_6. – ISBN 978-3-642-17992-1, 225–263
- [Valtas u. Sun 2016] VALTAS, Agita ; SUN, Danmei: 3D Printing for Garments Production: An Exploratory Study. In: *Journal of Fashion Technology & Textile Engineering* 4 (2016), Nr. 03. <http://dx.doi.org/10.4172/2329-9568.1000139>. – DOI 10.4172/2329-9568.1000139
- [Veblen 2013] VEBLEN, Sarah: *Der große Fotoguide für die perfekte Passform*. München : Stiebner, 2013. – ISBN 978-3-8307-0915-2

- [Zhang et al. 1996] ZHANG, Luian ; HELANDER, Martin G. ; DRURY, Colin G.: Identifying Factors of Comfort and Discomfort in Sitting. In: *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 38 (1996), Nr. 3, S. 377–389
- [Zhong 2011] ZHONG, Y.: Key techniques for 3D garment design. In: HU, Jinlian (Hrsg.): *Computer technology for textiles and apparel*. Oxford, Philadelphia : Woodhead Pub, 2011 (Woodhead Publishing series in textiles). – ISBN 9781845697297, S. 69–92

## Anhang

### Vergleich der Methoden zum Maßnehmen

**Maßband** Das Maßband ist ein in der Schneiderei verbreitetes Hilfsmittel zum Maße nehmen. Regeln hierbei sind, dass dieses immer locker angelegt wird und nicht zu stark gedehnt oder eingerollt wird. Zusätzliches Hilfsmittel ist ein Tailenband (einfaches Gummiband oder Kordel als Referenz an der Taille).

**ZoZo Suit - Bildbasierte Vermessung** Das Unternehmen ZOZO (ZOZO Germany GmbH, Berlin, Deutschland - japanischer Mutterkonzern) verkauft Kleidung in deutlich mehr Größen als den bekannten Standardgrößen. Für die Auswahl eines geeigneten Kleidungsstückes wird der Körper mithilfe einer Handyapp und einem Spezialanzug vermessen. Hierbei werden 12 Bildaufnahmen gemacht. Die Messdaten werden dem Nutzer angezeigt.

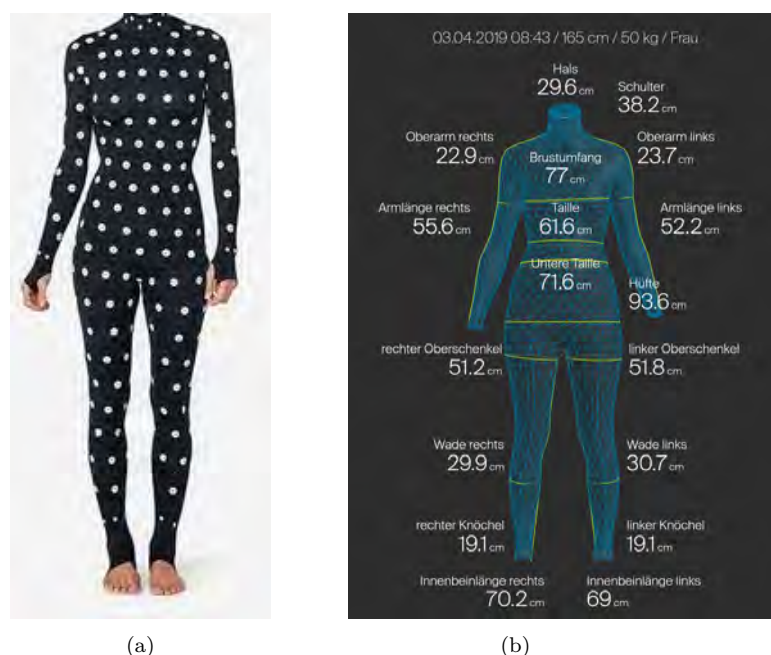


Abb. 2: Messanzug (a) und Anzeige der Körpermaße in der App (b) von ZOZO (ZOZO Germany GmbH, Berlin, Deutschland - japanischer Mutterkonzern).

**3D-Bodyscanner** Mithilfe eines 3D-Bodyscanners (Vitronic, Wiesbaden, Deutschland) kann die Oberfläche des Körpers erfasst werden. Hierzu wird der Körper mit 4 Scannern vermessen. In der mitgelieferten Software werden aus den Daten automatisiert die Körpermaße abgeleitet.

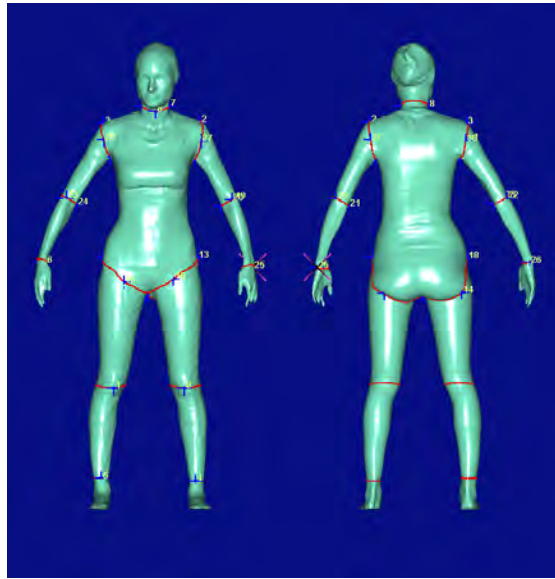


Abb. 3: Aufnahme des Bodyscanners und Kennzeichnung der Positionen, an welchen die Gliedmaße für die Berechnung der Maße separiert werden.

Vergleich der gemessenen Werte und der jeweiligen Vor- und Nachteile der Messmethode:

	<b>Maßband</b>	<b>ZOZO Suit</b>	<b>Bodyscanner</b>
Brustumfang	79 cm	77 cm	79 cm
Taillenumfang	71 cm	72 cm	71 cm
Hüftumfang	89 cm	94 cm	95 cm
Armlänge	58 cm	54 cm	-
Vorteile	einfach, günstig	einfach, günstig	schnell
Nachteile	Genauigkeit von Fähigkeiten des Maßnehmenden abhängig	Berechnungsalgorithmen unbekannt, nicht ganz stabil bei der Aufnahme	teures und kompliziertes Gerät

Anmerkung: Es ist unklar, welches die genauesten Maße sind. Abweichungen von bis zu 6 cm wurden in der Tabelle ersichtlich.

# Maßblatt

CHRISTINA HEIN, M.SC.  
17.10.2019 16:18 UHR

1/1

## Dimension Sheet Tailor-made Shirt

*The measurements are taken over a tight shirt or thin clothes. Ideally, you should have someone who can take your measurements. You should have an upright but loose posture. The tape measure should not be too tight or too loose.*

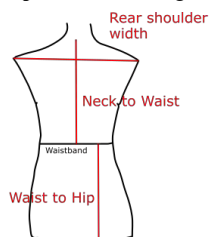
You need:

- Tape measurement
- Waistband (rubber band, cord, fabric stripe)

<b>Name</b>		<b>Gender</b>	
-------------	--	---------------	--

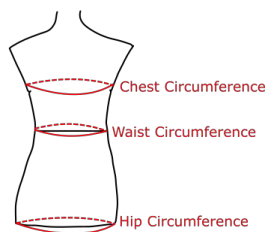
**Step 1:** Put on the waistband.

**Step 2:** Measure lengths at your back.



<b>Neck to Waist</b>	
<b>Waist to Hip</b>	
<b>Rear shoulder width</b>	

**Step 4:** Measure some circumferences.



<b>Chest circumference</b>	
<b>Waist circumference</b>	
<b>Hip circumference</b>	

**Step 5:** Take some dimensions of your arm.



<b>Sleeve length</b>	
<b>Upper arm circumference</b>	
<b>Wrist circumference</b>	

<b>Measurements taken by</b>		<b>Date</b>	
------------------------------	--	-------------	--

## Transkript: Experteninterview zu CAD-Programmen im Textilentwurf

*Frau Prof. Dr. Katerina Rose ist Professorin für Bekleidungstechnik und Schnittkonstruktion an der Hochschule Reutlingen. Sie studierte Bekleidungstechnik an der TU Liberec (Tschechische Republik) und promovierte anschließend an der TU Dresden im Bereich Bekleidung und Textilien. Seit 2016 ist sie Professorin in Reutlingen und lehrt dort Bekleidungstechnologie, Schnittkonstruktion, CAD und Konfektion technischer Textilien.*

26.05.2021, 10:00 -10:45 Uhr, Zoom

**Ich freue mich ganz wahnsinnig, dass Sie sich bei mir gemeldet haben. Ich habe nämlich kurz versucht, Ihren Hintergrund im Internet zu finden und ich glaube, Sie kennen sich genau damit aus, wozu ich Fragen habe. Ich habe nämlich versucht, mich darin einzulesen, was es so an CAD-Programmen und Unterstützungen für das Thema Mode und Kleiderentwurf gibt. Und ich konnte nicht so richtig herausfinden, wie breit das denn tatsächlich zum Einsatz kommt und welche Software häufig verwendet wird. Und darüber möchte ich mich heute mit Ihnen unterhalten. Daher würde ich gerne einfach einmal mit der Frage starten: Welche Software nutzen Sie selbst bzw. lehren Sie auch den Studenten?**

Frau Prof. Dr. Rose: Wir haben an der Hochschule mehrere Softwares, denn es sind nicht alle Softwares für alle Gruppen geeignet. Die Technologen, die eigentlich Textiltechnik studieren - die sich mit Textil eher von der technischen Seite beschäftigen - denen unterrichten wir, bzw. ich selbst, Assyst und Vidya. Im Modebereich unterrichten wir GRAFIS mit VStitcher zusammen. Denn GRAFIS ist ausschließlich für die 2D-Darstellung von Schnitten und ist technisch angebunden an VStitcher. Das heißt, ich muss nicht permanent die Software wechseln. Ich kann von einer 2D-Software direkt in eine 3D-Software gehen. GRAFIS und VStitcher sind eigentlich zwei unabhängige Anbieter, zwei eigenständige Softwares. Aber die Anbindung von GRAFIS zu VStitcher existiert.

**Das zweite - ich tue mich gerade akustisch schwer das zu verstehen.**

V-Stitcher. Ich kann Ihnen das aufschreiben. *Chat: VStitcher.* Das ist von der Firma Browzwear. Es ist eine israelische Firma und sie sind eigentlich ziemlich gut in der Entwicklung von 3D-Software. Aber das ist keine Software, in der man konstruieren kann. Das ist wirklich zur 3D-Darstellung.

Dann haben wir an der Hochschule noch Optitex, was wirklich oft genutzt wird. Optitex ist eine Software, die in der Bekleidungstechnik genutzt wird. Aber öfter und intensiver in der Möbel- oder Automobilindustrie. Denn diese Software war eine der ersten, die die Möglichkeit hatte, von 3D zu 2D eine Abrollung zu machen. Das heißt, wenn ich z. B. ein Möbelstück habe - also in 3D schon modelliert, ein Sofa oder irgendetwas, was nur als Pixel existiert - dann kann ich die Oberfläche abrollen und dann kann ich den Abschnitt benutzen. In Optitex existieren beide Wege: Von

2D zu 3D und von 3D zu 2D. Den ganzen Ablauf kann ich nutzen. Ein Nachteil von Optitex, gerade für mich als Bekleidungstechniker, ist das Konstruieren. Das könnte man vergleichen mit einer abtragenden Methode. Das heißt, wenn ich da konstruiere, dann mache ich ein Viereck. Und dann nehme ich an diesem Viereck ein Stück weg oder mache ich eine Seite enger. Und so kann ich ein Schnittmuster machen. Das ist aber für mich, als Schnittkonstrukteur, nicht die Lösung, denn ich brauche eine aufbauende Methode. Ich muss eine Linie machen und auf diese Linie eine definierte andere Linie. Dann irgendwelche Punkte setzen, und diese mit einer Kurve verbinden. Und das geht in Optitex nicht. Also in Optitex habe ich die Möglichkeit, den Schnitt anzupassen oder von einer anderen Software zu importieren. Und dazu brauche ich wieder eine andere Software. Das heißt, ich kann nicht in einer Software alles herstellen. Das funktioniert nicht.

### **Welche Funktionalität von Optitex nutzen Sie dann gerne?**

Eben die Abrollung. Denn das gibt es in VStitcher und Vidya (*Anmerkung: Tool von Assyst*) nicht. Deswegen brauchen wir dazu eine dritte Software.

So, was haben wir noch? Wir haben noch Lectra. Die benutzen wir aber so gut wie gar nicht, weil Lectra extrem kompliziert zu lernen ist. Und da bräuchten wir Kurse. Aber Lectra bietet nichts, das die anderen Softwares nicht haben. Und deswegen haben wir entschieden: Wir haben die Lizenzen hier, falls das irgendjemand braucht. Aber wir können viel einfacher mit anderen Softwares arbeiten.

Dann haben wir einige Softwares für die 3D-Bearbeitung. Aber die haben mit der Bekleidungsherstellung weniger zu tun. Das ist Rhinoceros und z. B. auch Blender. Aber Rhinoceros muss man kaufen. Blender ist eine ganz normale 3D-Software, die man kostenlos herunterladen kann und die wir für unsere Zwecke auch nutzen. Also selbst in Blender kann ich einen Avatar hochladen. Ich kann da Bekleidung hochladen. Ich kann diese animieren, ich kann sie laufen lassen. Das geht in Blender viel einfacher als z. B. in Vidya, obwohl Vidya dafür extra gemacht ist. Aber die Daten sind so riesig, dass die Animationen extrem lange dauern. Deswegen bietet es sich an, in Blender Animationen zu machen. Aber - es gibt ja immer irgendein „aber“ - wenn ich irgendetwas animiere in Blender, dann sehe ich nicht die Eigenschaften vom Stoff. Wie sich der Stoff dehnt oder den Körper zusammenquetscht. Das sehe ich wiederum nur in Vidya.

Was wir noch nutzen, aber noch keine Lizenzen haben, ist CLO 3D. Davon haben Sie bestimmt schon gehört. Das ist eine Software, die basiert auf Marvelous. Und dieses Marvelous kommt aus dem Grafik Design, also aus dem Gaming, wo die Designer etwas Wunderschönes - Personen oder irgendetwas, das kämpft - in den Games animiert haben. Am Anfang hat man nicht viel gebraucht. Erst einmal ein Viereck an Stoff, und damit hat man irgendein Monster umhüllt. Und das hat gereicht. Heutzutage hat man die Möglichkeit, ähnlich wie in VStichter, die Schnitte hochzuladen oder zu importieren, anziehen und bewegen zu lassen. Da hat man in CLO ganz viele Möglichkeiten. Allerdings im Moment - und da spreche ich wirklich zu diesem Zeitpunkt - sind die technischen Eigenschaften von dem Stoff noch nicht ausgereift. Ich kann alles ganz wunderbar animieren. Es sieht alles extrem gut aus und extrem realistisch. Aber ich kann nicht die Eigenschaften des



Stoffes auf wissenschaftlicher Basis beurteilen. Das ist alles aber optisch sehr schön. Für Marketing-Zwecke wunderbar.

**Es lässt sich quasi nicht auf die Realität übertragen? Also, man kann nicht sagen, so wie man diesen Stoff da sieht, genau so sieht das aus, wenn ich es in echt produziere?**

Genau. Und wenn ich einen Badeanzug oder eine Badehose konstruiere – die müssen den Körper tatsächlich quetschen – dann kann ich das nicht überprüfen. Ich erfahre keine realistischen Werte von CLO, um wie viel der Körper gequetscht wird. Oder um wie viel ich den Stoff anpassen muss, dass der weniger oder mehr quetscht. Das sind immer noch solche Werte, die eher Erfahrungs- oder Abschätzungswerte sind. Aber wie gesagt: Ich spreche zu diesem Zeitpunkt. CLO entwickelt sich unheimlich schnell. Und ich vermute, in einem oder in zwei Jahren wird diese Software alle anderen Softwares überholen. Möglich. Ob das realistisch ist, kann ich schwer sagen. Aber ich kann mir gut vorstellen, dass die Entwicklung wirklich sehr schnell geht.

**Wenn wir jetzt über den 2D-Schnittmusterentwurf sprechen. Da haben Sie schon die Software GRAFIS angesprochen, die Sie dafür sehr gerne nutzen. Wie sieht es aus mit normalen Vektorgrafik Zeichenprogrammen? Werden die auch genutzt im Bereich des Schnittmusterentwurfs?**

Es ist möglich. Sogar sehr gut. Ich selber habe angefangen in Illustrator Schnitte zu machen. Und das ist absolut kein Problem. Denn man kann die Vektorgrafiken als DXF-Dateien speichern. Und eine DXF-Datei ist eine übertragbare Datei auf alles Mögliche. Das einzige Problem, das man kennen muss: Man zeichnet in Illustrator 1 cm. Und Illustrator weiß nicht, ob das 1 cm ist oder 1 mm. Das ist für ihn eine Einheit. Und diese Einheit wird in eine andere Software übertragen. Aber die Einheiten können unterschiedlich lang sein. Deswegen ist die Maßhaltung nicht gegeben. Ich habe besonders in Assyst gemerkt, dass wir total seltsame Zahlen haben für ein Maß. Da spreche ich jetzt aus dem Blauen - 0,2946 oder so etwas ähnliches. Wenn man diese Nummer herausfiltert, dann funktioniert das. Aber man muss das wissen, dass die Einheiten unterschiedlich sein können. Daher muss man am Anfang immer vermessen: Ist tatsächlich 1 m 1 m oder 1 cm 1 cm? Das ist heutzutage ein kleines Problem, aber möglich ist es. Es ist sogar möglich, einen Schnitt in PowerPoint zu machen und als DXF zu speichern. Das ist auch kein Problem. Nur diese Software ist natürlich nicht für Konstruktionen geeignet. Aber nochmal: In Illustrator kann man Linien, Kurven, alles Mögliche machen. Sogar auch Nahtzugaben kann man machen, wenn man weiß wie. Wenn man konstruiert hat und fertig ist, kann man auch das Schnittbild legen und ausschneiden lassen. Das funktioniert alles auch. Aber zu wissen, wie es funktioniert, ist manchmal sehr mühsam und Nerven raubend. Weil da Funktionen sind, die man nicht unbedingt kennt. Ich kann allerdings nicht abschätzen, ob das von den Herstellern der Software Absicht ist oder nicht. Manchmal sagt man sich ja: „Oh Gott, wenn ich das gewusst hätte, hätte man ja 3h sparen können!“ Wie gesagt, ich kann nicht abschätzen, ob das von den Herstellern so Absicht ist.

**Wie sieht das denn Ihrer Einschätzung nach aus? Was ist verbreitet in der Industrie? Wird da tatsächlich viel 3D-Simulation gemacht? Oder ist es etwas, von dem Sie sagen: „Na, da arbeite ich dran, damit es sich durchsetzt!“? Wie ist da Ihre Einschätzung?**

Ich muss sagen: Ich arbeite in diesem Gebiet schon seit 2015. Und schon damals wurde darüber gesprochen, dass der große Boom kommt in der Anwendung. Aber ich muss ganz ehrlich sagen: Bis heute kam der Boom nicht. Was aber schon tatsächlich benutzt wird, sind die 3D-Simulationen für Online Shops. Für Konfiguratoren und schnelles Wechseln von Oberflächen und Farben. Das existiert tatsächlich. Nur, wenn man diese Online Shops anschaut oder die Konfiguratoren, dann ist es ja extrem sichtbar, dass das nur Simulationen sind. Also das sieht zu perfekt aus. Das ist zu 90% würde ich sagen okay, kann man nutzen, kann man akzeptieren. Die übrigen 10% haben noch Verbesserungsbedarf, wenn man möchte, dass es tatsächlich realistisch aussieht. Es kann aber sein, dass diese Online Shops die 3D-Simulationen mit Absicht etwas künstlich aussehen lassen. Damit man das erkennt und sieht, dass es immer noch eine Simulation ist. „Hier hast du 50 andere Farben. Aber die existieren nicht.“ Aber ich muss ehrlich sagen, diese Aussage: „Man spare Geld mit der Erstmusterung“ Hier würde ich sagen, es ist noch nicht so weit. Die ganz großen Firmen nutzen das. Aber man muss ja auch betrachten, dass die Preise für die Software nicht ganz billig sind. Und eine kleine Firma, eine Einmannfirma, Haute Couture oder irgendwelche Maßschneidereien - ich kann mir nicht vorstellen, dass die so reich sind, dass sie sich solche Software erlauben können.

**Und wie sieht das im Bereich vom Schnittmusterentwurf aus? Was ist da verbreitet im Einsatz?**

Da muss ich sagen: In dem Bereich sind große Fortschritte gemacht. Es gibt die Softwares GRAFIS und Gemini. Gemini ist eine Software, die relativ günstig ist von einer rumänischen Firma. Und die haben ihre Software nicht schlecht gemacht. Die macht alles, was sie machen soll. Assyst: das sind 3 Programme. Und von Gerber weiß ich noch, dass es genutzt wird.

Ich würde sagen, auch kleine Firmen arbeiten mit solcher Software. Da findet man eher weniger Firmen, die so etwas nicht haben. Denn da kann man tatsächlich Geld sparen. Erstens geht die Entwicklung von den Schnitten wahnsinnig schnell. Zweitens spart man unheimliche Mengen von Papier und Platz für Schnittteile. Und wenn man irgendwelche Änderungen macht, geht das ruckzuck. Da spart man wirklich unheimlich viel Zeit. Und die Softwares nur für 2D bewegen sich im bezahlbaren Bereich. Bei Assyst bin ich mir nicht ganz sicher. Aber bei Gemini und bei GRAFIS sind das unter 5000 Euro. Das ist ein Preis, den man auch als kleine Firma zahlen kann, wenn man bedenkt, wie viel Zeit man tatsächlich spart. Also bei diesen drei Softwares bin ich mir sicher, dass sie wirklich verbreitet sind.

In der Automobilindustrie werden eher Lectra und Assyst häufig genutzt. Warum Lectra? Ich würde sagen, das war einfach eine der ersten Firmen, die überhaupt CAD mit 3D-Simulation eingeführt hat. Und die haben ja auch die Möglichkeit abzurollen. Einen Schnitt zu konstruieren, zu simulieren oder von 3D- zu 2D gehen

und dann anpassen: Das bietet Lectra alles an. Nur der Preis war - soweit ich mich erinnere - unheimlich hoch. Und auch die Jahreslizenzen haben sehr viel Geld gekostet. Daher kann ich mir nicht vorstellen, dass sich das bei kleinen Firmen lohnt. Aber die Automobilindustrie hat das tatsächlich viel benutzt.

**Und wie sieht das im Bereich des Vorwissens aus? Also wie anwenderfreundlich ist denn diese Software? Lectra lassen wir jetzt einmal außen vor, weil Sie sagen, dass das in der Bekleidungsindustrie eh nicht so zum Einsatz kommt. Und hierzu haben Sie auch schon gesagt, dass das ein bisschen kompliziert ist. Aber GRAFIS zum Beispiel. Das lehren Sie. Sagen Sie: „Ja, wir machen da wirklich Kurse, damit die Studenten trainiert sind und damit umgehen können.“ Oder setzt man die davor und die legen los?**

Nein, so funktioniert das leider nicht. Wäre ein Traum, wenn das so wäre. GRAFIS ist schon sehr bedienungsfreundlich. Man lernt GRAFIS relativ schnell, muss ich sagen. Das hat die Funktionen, die man tatsächlich für die Schnittkonstruktion braucht und nicht mehr. Und was bei GRAFIS eine Spezialität ist: Es gibt schon vorkonstruierte Grundschnitte. Und von den Grundschnitten nimmt man die Modellschnitte heraus. Und diesen Vorgang muss man erst einmal analog kennen. Wenn man das nicht kennt - also keine Schnitte auf dem Papier machen kann oder nicht weiß, wie der Vorgang ist - hat man keine Chance, das zu verstehen. Das Bearbeiten von dem Grundschnitt und das Ausarbeiten des Modellschnitts muss man einmal gezeigt bekommen. Dann weiß man schon, worum es geht. Und dann kann man selbst alles machen. Ich würde sogar behaupten: Leute, die ein bisschen Feeling für Computertechnik haben, die brauchen nicht einmal 20 Beispiele. Da würde wirklich ein Beispiel reichen, wie man diesen Weg geht und dann ist man in der Lage, alles zu machen. Um in GRAFIS selber zu konstruieren, braucht man am Anfang immer einen Coach oder Tutorien. Das ist wirklich nicht so, wie junge Menschen sich heute zu Instagram setzen und sofort wissen, wo sie klicken sollen, wie sie Videos hochladen oder wo sie irgendwelche Filter auf die Videos setzen sollen. So funktioniert das nicht. Da braucht man tatsächlich noch Schulungen und einen Tutor oder Tutorien im Internet. Aber ich muss sagen: Es ist machbar und wenn man tatsächlich gute Videos hat, dann kann man auch auf einen echten Menschen verzichten. Worauf man nicht verzichten soll, ist zumindest eine Einführung und Erklärung, wie die Software funktioniert und wie sie nachdenkt. Für mich war das am Anfang relativ schwer, wie ich mit GRAFIS angefangen habe. Ich habe gedacht: „Wie kann das sein? Was meinen sie jetzt damit? Die haben ja Grundschnitte schon fertig. Warum muss ich jetzt in dem Mutterteil speichern und warum muss ich die Tochterteile raus nehmen?“ Diese Dinge müssen erst einmal erklärt werden. Aber dann funktioniert das.

**Und man braucht eben auf jeden Fall - das haben Sie erwähnt - Vorwissen im Bereich Schnittmusterentwurf. Also, ich muss mich damit schon einmal gut auskennen.**

Genau. Selbst wir an der Hochschule fangen an, Schnittkonstruktion auf dem Papier zu unterrichten. Wir fangen tatsächlich mit Grundschnitten an und mit der

Analyse von Grundschnitten. So, dass ich weiß welcher Punkt wird mit welchen Maßen gebildet. Warum ist ein Punkt entfernt von einer Linie? Was hat das zu bedeuten? Wie kann ich diese Entfernungen verändern? Bzw. in der Maßschneiderei oder für die Konfektionierung nutzen? Sodass man auch weiß, was man überhaupt macht. Ich habe, als ich mein erstes Jahr unterrichtet habe, einen Fehler gemacht: Ich habe den Studenten gesagt: „Hier ist der Ablauf von der Konstruktion und ihr fangt jetzt an zu konstruieren.“ Und die Studenten haben angefangen, eine Linie zu malen, eine zweite Linie, daraus hat sich der Punkt ergeben, und von diesem Punkt war ein anderer Punkt entfernt. Aber sie wussten überhaupt nicht, was sie machen, was die Entfernungen sind, wo sich die einzelnen Punkte auf dem Körper befinden. Es sind die einzelnen Punkte als Parameter eingestellt oder sie sind interaktiv. Jetzt weiß ich, wo ich meinen Fehler gemacht habe. Ich habe das nun geändert und es ist viel einfacher für den Studenten zu wissen, wie man sich am menschlichen Körper orientiert und wie die einzelnen Punkte und Linien zusammenhängen. Und das ist wichtig erst einmal zu wissen. Und dann ist es extrem einfach, in die Computerunterstützung zu gehen. Denn der Computer macht ja auch nichts anderes, als was ich ihm sage. Aber wenn ich selbst nicht weiß, was ich ihm sagen soll, was er zu tun hat, dann habe ich Pech. Deswegen: Man muss nicht unbedingt ein Maßschneider sein oder eine Ausbildung hinter sich haben, es reicht, wenn man die Schnittkonstruktion versteht.

**Sie sehen schon, so spannend ich diese 3D-Simulation finde, stelle ich viele Fragen zur 2D-Schnittkonstruktion. Deshalb noch so eine Frage, die sich auch dem Ende von dem, was ich alles erfahren wollte, nähert: Sehen Sie da noch irgendwelche Limitationen oder Verbesserungsbedarf, was die Computerunterstützung für den Schnittmusterentwurf betrifft?**

Im 2D-Bereich?

**Ja.**

*Kurze Pause.* Da muss man tatsächlich einzelne Softwares betrachten. Zum Beispiel GRAFIS. Also da würde ich sagen, dass die Software gut ausgereift ist. Da würde ich eher sagen, dass der Vorgang Vorher-Nachher fehlt. GRAFIS kann man super gut für die Schnittkonstruktion benutzen. Man kann auch Schnittbilder legen. Man kann auch ausschneiden. Allerdings sind die Vorgänge in unterschiedlichen Tools. Wenn ich einen Schnitt konstruiere und in die Produktion überführen möchte, muss ich immer in ein anderes Tool gehen. Also erst einmal die Schnittteile irgendwo speichern. Und dann ein anderes Tool öffnen. Und dann legen. Genauso bei Assyst. Ich habe dort ein Tool CAD. Ich habe dort ein Tool Vidya. Und wenn ich in einem arbeite, kann ich nichts im anderen machen. Da würde ich mir wünschen, dass das irgendwie kompakter ist. GRAFIS ist ja eine relativ neue Software. Deswegen hat sie keine alten Funktionen, die mich stören würden. Das ist der Fall bei Assyst. Ich habe da viele Funktionen, die ich nie und nimmer benutzt habe. Die stören mich. Falsche Benennungen. Ich weiß nicht, wie weit Sie sich damit auskennen. Aber zum Beispiel ein Fadenlauf heißt hier „Streifenlinie“. Ich weiß nicht, welcher

Bekleidungstechniker das Wort „Streifenlinie“ benutzt. Das ist einfach schlicht falsch.

### **Ist das ein Übersetzungsfehler?**

Assyst ist eigentlich von einer deutschen Firma.

### **Stimmt.**

Deswegen würde ich das nicht für einen Übersetzungsfehler halten. Selbst auf Englisch ist der Fadenlauf „grainline“. Das hat mit Streifen eigentlich gar nichts zu tun. Ich vermute eher, als das programmiert wurde, hat das irgendein Informatiker gemacht, der nicht gefragt hat. Und diese Linie hat er dann so benannt und es ist so geblieben. Ich würde eher denken, dass das ein Anfängerfehler ist. Und diese alten Funktionen oder eben die Funktionen, die man nicht braucht, sollte man einfach aus der Software herauslösen. Denn die sind einfach störend, die sind zu viel und die machen das System sichtlich zu kompliziert. Und das ist es ja nicht. Oder wenn man z. B. in Assyst Knöpfe konstruiert: Es ist wunderbar, dass man in einem Schritt Knöpfe an einer Linie irgendwo in der Mitte in bestimmter Entfernung von Anfang und Ende konstruieren kann. Aber wenn man die Klicks zählt: Das ist Wahnsinn. Und das muss man sich ja auch alles merken! Und Computertechnik ist für mich brauchbar oder hilfreich, wenn ich mir möglichst wenig merken muss und ich intuitiv vorgehe. Und das ist bei diesen Softwares - und da spreche ich wieder für alle - sehr oft nicht der Fall. Bei Assyst ist es z. B. genial, dass bei der 2D-Konstruktion unten immer eine Hilfe ist. Die führen mich. Aber genauso wie mit der Streifenlinie ist es so, dass man die Hilfe manchmal nicht versteht. Ich bin Ausländerin, aber ich lebe ja schon seit 20 Jahren in Deutschland. Ich verstehe von dieser Hilfe die einzelnen Worte. Aber sehr oft verstehe ich nicht, was die damit überhaupt sagen möchten. Aber genauso geht es meinen Kollegen, die in Deutschland geboren sind. Die sagen mir das Gleiche, dass es manchmal sehr schwer zu verstehen ist oder dass man nicht wirklich weiß, was man machen soll. Also dieses Verständnis - woher auch immer das kommt, schwer zu sagen, das müsste man Assyst direkt fragen, wie die Geschichte dazu ist. Aber dieses Verständnis wäre tatsächlich hilfreich.

Bei Optitex habe ich ja schon gesagt, dass die Schnittkonstruktion dort als abtragende Methode funktioniert. Da würde ich mir wünschen, dass ich selbst richtig konstruieren kann. Hier kann ich mir allerdings gut vorstellen, weil das ja aus Israel kommt, dass die nicht diese systematische, parametrische Schnittentwicklung haben wie wir. Also dieses Müller & Sohn System. Man könnte vermuten, dass die das gar nicht kennen, weil sie andere Schnittmethoden nutzen. Die Amerikaner kennen dieses System nicht. Die arbeiten mit dieser abtragenden Methode. Immer ein Stück enger und länger, kürzer - und irgendwann kommt der Schnitt schon raus.

**Ja, wir haben die gleiche Thematik im Maschinenbau. Das ist ja mein Hintergrund. Da sind die CAD-Programme auch so aufgebaut: abtragend. Weil das früher die Herstellungstechnik war. Man hatte einen Klotz und hat von dem was abgefräst. Und jetzt sind wir auf einmal im Bereich 3D-Druck. Das heißt, es wird aufbauend generiert. Und da ist**

**genauso die Diskussion: Warum sind diese Programme so aufgebaut? Weil es das Denken in der Konstruktion verändert.**

Genau. Da muss man wie gesagt auch ein bisschen die Geschichte von der Firma kennen und dann akzeptiert man das. Aber gerade bei Assyst - hiermit kenne ich mich persönlich am besten aus - stört mich sehr oft, dass da Schritte sind, die absolut unnötig sind. Oder die in anderer Software nicht sind. Und da wäre ich hundertmal schneller, wenn diese Schritte übersprungen wären. Was bei Assyst der Fall ist - aber das ist tatsächlich Absicht - ist, dass die Speichersysteme ungewöhnlich sind. Die speichern jeden Vorgang in einzelne Schubladen. Wenn Sie sich einen normalen Computer vorstellen, dann haben Sie irgendein Laufwerk. Auf dem Laufwerk haben Sie einzelne Ordner. Und von diesen Ordnern können Sie unendlich viele machen. Je nach Person, je nach Versuch, oder, oder, oder ... In Assyst hat man keine Ordner. Man hat diese Abteilungen. Wir nennen das eben die Schubladen. Ich habe die Schublade „2D“, die Schublade „2D plus 3D“ oder eben „vernähen“. Dann habe ich die Schublade „3D Design“. Und dann habe ich die Schublade „Simulation“. Ich habe da schätzungsweise 30 Schubladen, wo ich irgendwas speichern kann. Und ich kann nur dort Dateien speichern. Ich kann nicht in meinen Ordner speichern. Wenn ich in irgendeiner Firma wäre, dann hätte jeder, der mit diesem System arbeitet, Zugriff auf die Daten, die ich gemacht habe. Das macht Sinn. In einer Firma muss ja jeder auf jeden Schnitt Zugriff haben. Nur das macht es in dem Sinne schwierig, dass die Dateien präzise benannt sein müssen. Damit man weiß, welche Datei aus welcher Schublade zu welcher Datei aus einer anderen Schublade gehört. Am besten immer den gleichen Namen benutzen. Nur wenn ich irgendwann drei Versionen habe, dann habe ich auch ein kleines Problem. Und deswegen muss man erst einmal wissen, wie die Programme funktionieren, wo ich Fehler machen kann, wie ich einzelne Schnittteile aus den Schubladen kombinieren kann. Das ist alles Gewöhnungssache. Ich muss sagen, ich habe nie in der Industrie mit solchen Programmen gearbeitet. Aber für mich in der Lehre an der Hochschule ist es wahnsinnig schwierig, mit diesen Speichersystemen zu arbeiten. Denn ich muss den Studenten immer sagen: „Sie machen jetzt Ihren eigenen Avatar. Aber Sie müssen daran denken, diesen Avatar kann jeder von euch, jeder Kommilitone, sehen.“ Und das mit dem Datenschutz: Möchte man das, dass den eigenen Körper - auch wenn das nur ein Avatar mit den eigenen Maßen ist - die anderen sehen? Deswegen muss ich die Studenten darauf hinweisen: „Benennen Sie die Avatare als Mickey Mouse oder Donald Duck!“ Sodass man nicht erkennt, wer das ist. Aber andersherum: Diese Speicherung ist für die Industrie wiederum geeignet. Aber in der Lehre ist es etwas schwer, damit umzugehen.

Mehr fällt mir im Moment nicht ein, was ich mir wünschen würde. Ich würde mir tatsächlich wünschen, solch einen Illustrator, der selbstlernend ist, mit den Funktionen von Assyst zu haben. Das wäre vermutlich ein optimaler Mix. *lacht*

**Okay. Schön. Da haben Sie mir schon einmal ganz viel verraten. Denn es ist so: Wenn man auf den Seiten der Hersteller schaut, dann wird gezeigt, welche Funktionen die Software hat. Aber so schön, wie Sie mir gerade erklärt haben, wie das vernetzt und aufgebaut ist - das hat mir**

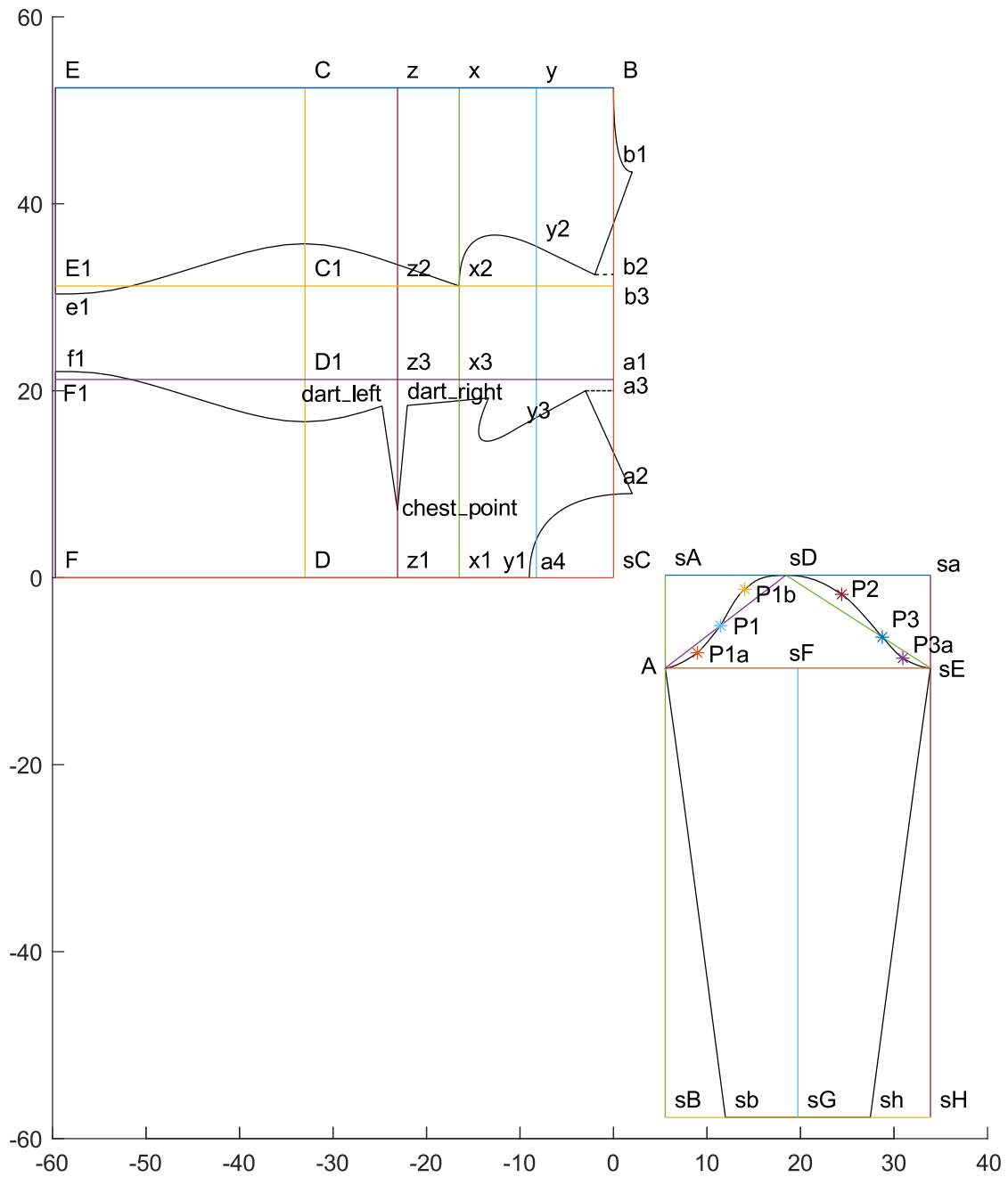
**jetzt noch einmal ganz viel Input gegeben. Also ganz vielen Dank dafür und für die Zeit, die Sie sich genommen haben.**

Sehr gerne.

*Anmerkung: Im darauffolgenden informellen Gespräch folgte noch die Information, dass GRAFIS als einzige Software interaktive (d. h. parametrisierte) Schnitte unterstützt.*

# Dokumentation Matlab: Variablennamen

## Namen der Konstruktionspunkte

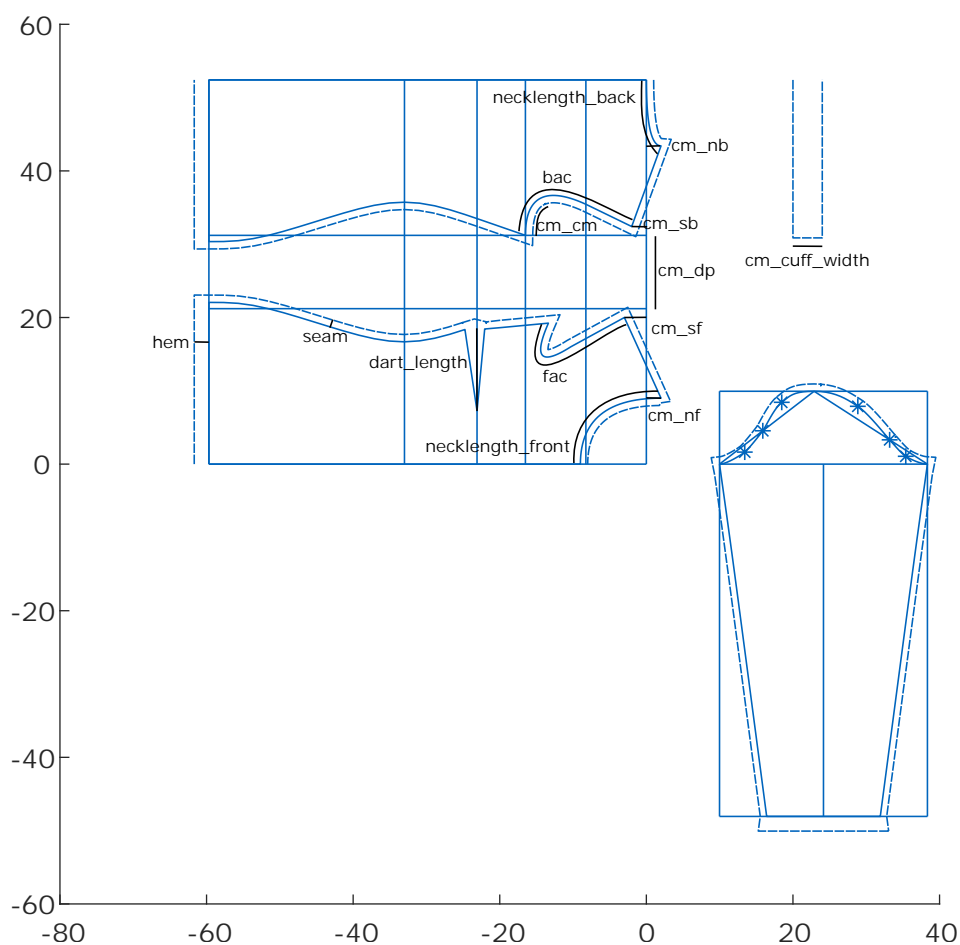




## Namen der Konstruktionsdimensionen

Variablenname	Bezeichnung
seam	Nahtzugabe
hem	Saumzugabe
fit_allowance	Passformzugabe
sl	Faktor Ärmellänge
neckline	Verschiebung des Halsausschnitts - 0 für Rundhals - [a b c] für V-Ausschnitt mit Faktoren <i>a, b, c</i> für Verschiebung der Stützpunkte
cm_dp	Abstand zwischen Vorder- und Rückteil ( <i>constant measurement distance parts</i> )
cm_nf	Verschiebung Schulternaht Hals Vorderteil ( <i>constant measurement neck front</i> )
cm_sf	Verschiebung Schulternaht Schulter Vorderteil ( <i>constant measurement shoulder front</i> )
cm_nb	Verschiebung Schulternaht Hals Rückteil ( <i>constant measurement neck back</i> )
cm_sb	Verschiebung Schulternaht Schulter Rückteil ( <i>constant measurement shoulder back</i> )
f	Faktor Korrektur Querkontraktion
cm_cm	Markierung rückwärtiger Ärmel ( <i>constant measurement clip mark</i> )
cm_cc	Länge des Markierungseinschnitts ( <i>constant measurement clip cut length</i> )
cm_cuff	Breite Bündchen Halsausschnitt fertig genähtes Shirt
cm_cuff_width	Breite Bündchen im Produktionsschnitt
necklength_back	Länge des Halsausschnitts am Rückteil
bac	Länge des Armausschnitts am Rückteil ( <i>back armhole circumference</i> )
necklength_front	Länge des Halsausschnitts am Vorderteil

fac	Länge des Armausschnitts am Vorderteil ( <i>front armhole circumference</i> )
dart_length	Länge Abnäher
ac	Armlochdurchmesser $ac = fac + bac$ <i>armhole circumference</i>
cm_ss	Passformzugabe Ärmel Schulter <i>constant measurement sleeve shoulder</i>
cm_sP1	Verschiebung Punkt P1 <i>constant measurement shift P1</i>
cm_sw	Passformzugabe Ärmel Saum Handgelenk <i>constant measurement seam wrist</i>
cm_ua	Passformzugabe Ärmel Oberarm <i>constant measurement upper arm</i>
sac	



## Matlab Beispiele

All Matlab functions can be downloaded from:

<https://github.com/ChristinaHein/shirt>

## How to use functions to create patten of made-to-measure shirt

### Example 1: How to use functions to create patten of made-to-measure shirt

#### Table of Contents

inital state .....	1
create struct of type 'human' .....	1
create pattern .....	2
optional: visual check of pattern .....	2
create production files .....	3

written by Christina Hein, 09/2019

#### inital state

```
close all; clc; clear all;
warning('off','all');
```

#### create struct of type 'human'

```
% a) for a standard size
% human_example = create_human_from_size('female',36, 'Sam Sample');

% b) for individual measurements
% option 1: direct function input
human_example = create_human_from_measurement('Sam Sample','female',
    33, 23, 40, 87, 63.5, 90.5, 58, 24.4, 15)
%
% option 2: input help
% warning('on','all');
% human_example = create_human_from_measurement;
% save('human_example2', 'human_example');

% c) load existing struct
% load('human_example.mat');

human_example =

    struct with fields:

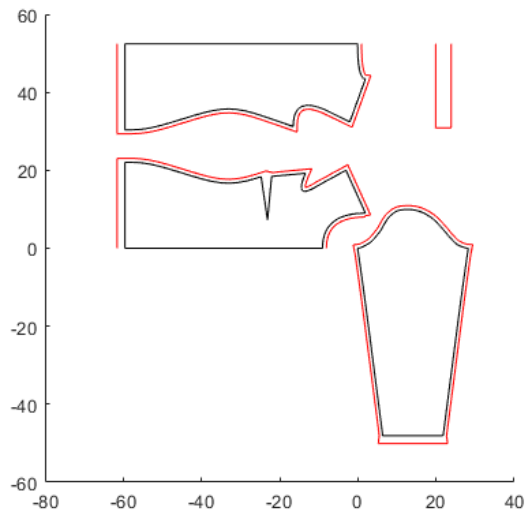
                name: 'SamSample'
                 type: 'female'
        back_length: 33
         seat_length: 23
    rear_shoulder_width: 40
    chest_circumference: 87
```

Example 1: How to use functions to  
create patten of made-to-measure shirt

```
waist_circumference: 63.5000  
hip_circumference: 90.5000  
arm_length: 58  
circumference_upper_arm: 24.4000  
wrist_circumference: 15
```

## create pattern

```
pattern =  
    create_pattern_shirt(human_example, 'tight', 'long', 'round', 'plain_hem');  
  
plot_basic_pattern(pattern);  
plot_production_pattern(pattern)
```



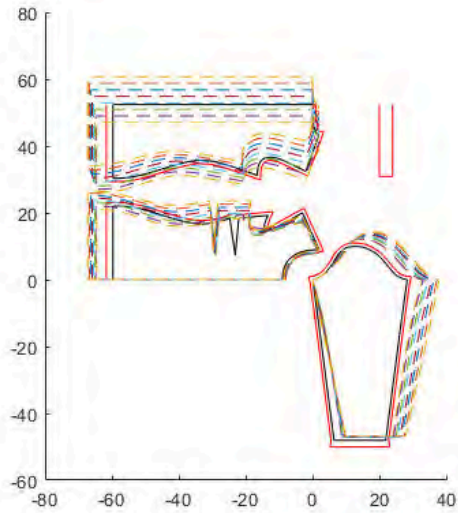
## optional: visual check of pattern

```
% plot_construction_points(pattern); hold on;  
% plot_construction_points_sleeve(pattern);  
  
plot_all_sizes(pattern);
```

---

Example 1: How to use functions to  
create patten of made-to-measure shirt

---



## create production files

```
create_production_files_lc(human_example, pattern); % laser cutter  
% create_production_files_ep(human_example, pattern); % external  
production
```

*Published with MATLAB® R2020b*

## How to use functions to create all files for a made-to-measure shirt

### Example 2: How to use functions to create all files for a made-to-measure shirt

#### Table of Contents

initial state .....	1
take measurements .....	1
create struct of type 'human' for individual measurements .....	1
define shirt properties .....	2
a) prepare internal fabrication .....	2
b) prepare internal cutting and external sewing .....	3
c) prepare external cutting and sewing at TWO suppliers .....	4
d) prepare external cutting and sewing at ONE supplier .....	5

written by Christina Hein, 11/2019

#### initial state

```
close all; clc; clear all;
warning('off','all');
```

#### take measurements

Open dimensionsheet for measurement description and note

```
open('Dimensionsheet.pdf');
```

#### create struct of type 'human' for individual measurements

```
% option 1: direct function input
human_example = create_human_from_measurement('Sam Sample','female',
33, 23, 40, 87, 63.5, 90.5, 58, 24.4, 15)

% option 2: input help
% human_example = create_human_from_measurement;

human_example =
    struct with fields:
```

Example 2: How to use functions to create all files for a made-to-measure shirt

---

```

name: 'SamSample'
type: 'female'
back_length: 33
seat_length: 23
rear_shoulder_width: 40
chest_circumference: 87
waist_circumference: 63.5000
hip_circumference: 90.5000
arm_length: 58
circumference_upper_arm: 24.4000
wrist_circumference: 15

```

## define shirt properties

```

fit = 'tight';
sleeve = 'long';

```

## a) prepare internal fabrication

approx. 3 hours personnel costs for student assistants ~ 45 Euro material costs for 1.5 m fabric ~ 15 Euro estimated costs: 60 Euro (without machine costs)

```

pattern = shirt_intern_production (human_example, fit, sleeve);

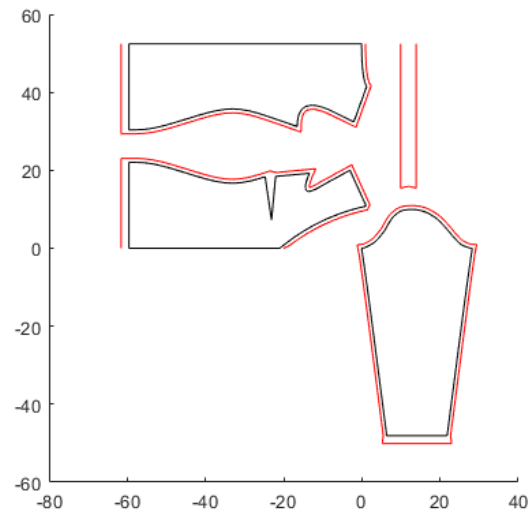
plot_basic_pattern(pattern);
plot_production_pattern(pattern);
% plot_all_sizes(pattern); % optional: visual check of pattern

```

-----  
A folder with the name 19-Jun-2021\_Production\_Files\_ip\_SamSample was created with all files for your chosen fabrication type.  
-----



Example 2: How to use functions to create all files for a made-to-measure shirt



## b) prepare internal cutting and external sewing

cutting: approx. 1/2 hour personnel costs for student assistants ~ 8 Euro sewing: Tailor ~ 40 Euro material costs for 1.5 m fabric ~ 15 Euro estimated costs: 63 Euro (without machine costs)

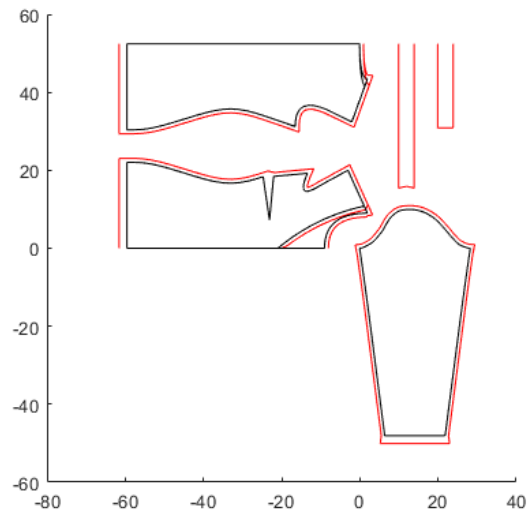
```
shirt_intern_cutting_extern_sewing(human_example, fit, sleeve);
```

*A folder with the name 19-Jun-2021\_Production\_Files\_ices\_SamSample was created with all files for your chosen fabrication type.*

*Please send the cut parts to the tailor (including return postage) or hand them in personally.*

*A label with the adress and a order letter was created. The opening hours are Thu-Fri 9:00am - 17:00pm.*

Example 2: How to use functions to create all files for a made-to-measure shirt



### c) prepare external cutting and sewing at TWO suppliers

cutting: Waldman Textech ~ 120 Euro sewing: Tailor ~ 40 Euro material costs for 2 m fabric ~ 20 Euro estimated costs: 180 Euro

% Note: please install the DXFLib (Grzegorz Kwiatek, 2020) from MATLAB Central File Exchange:  
% <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/33884-dxflib>

```
shirt_extern_production_two(human_example, fit, sleeve);
```

A folder with the name *19-Jun-2021\_Production\_Files\_ep\_two\_SamSample* was created with all files for your chosen fabrication type.

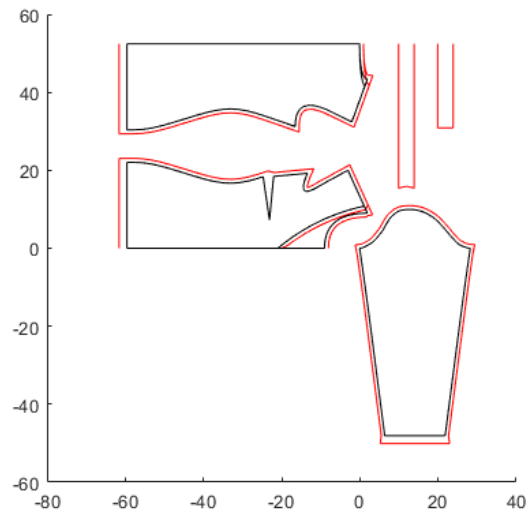
-----  
Step 1: Please send the dxf-files to [info@waldmann-textech.de](mailto:info@waldmann-textech.de). The pattern as dxf-file, an order E-Mail and a label with the adress (if you need to send fabric) were created.

Step 2: As soon as you receive the cutted parts please send the cut parts to the tailor (including return postage) or hand them in personally.

A label with the adress and a order letter was created. The opening hours are Thu-Fri 9:00am - 17:00pm.

-----  
-----

Example 2: How to use functions to create all files for a made-to-measure shirt



## d) prepare external cutting and sewing at ONE supplier

cutting and sewing: Waldmann Textech ~ 300 Euro material costs for 2 m fabric ~ 20 Euro estimated costs: 320 Euro

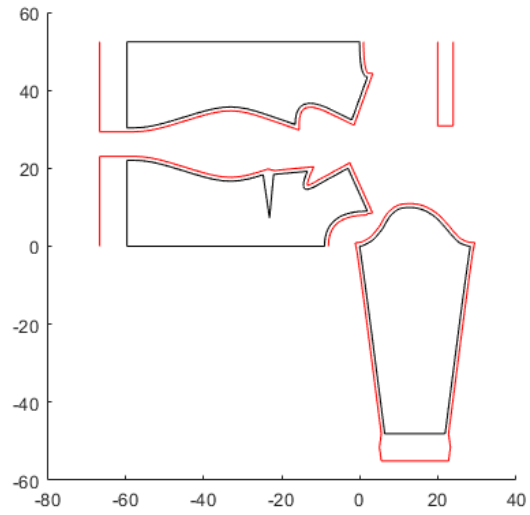
*% Note: please install the DXFLib (Grzegorz Kwiatek, 2020) from MATLAB Central File Exchange:*  
*% <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/33884-dxflib>*

```
shirt_extern_production_one(human_example, fit, sleeve);
```

*A folder with the name 19-Jun-2021\_Production\_Files\_ep\_one\_SamSample was created with all files for your chosen fabrication type.*

*Please send the dxf-files to [info@waldmann-textech.de](mailto:info@waldmann-textech.de).  
 The pattern as dxf-file, an order E-Mail and a label with the adress (if you need to send fabric) were created.*

Example 2: How to use functions to create all files for a made-to-measure shirt



*Published with MATLAB® R2020b*

## Materialauswahl

**Baumwoll-Jersey** Öko-TEX zertifizierter (auf Schadstoffe geprüfter) Baumwoll-Jersey

- 95% Baumwolle, 5% Elastan
- dünner, leichter Stoff
- blickdicht, atmungsaktiv, elastisch
- Breite: 150 cm
- Gewicht: 220 g/qm (340 gr/lfm)

Bezug: [aktivstoffe.de](http://aktivstoffe.de); 11,99 Euro/Meter

Schneidparameter für doppellagigen Stoff:

- Leistung 50,4 Watt
- Geschwindigkeit 17,75 cm/s
- Frequenz: 2000 Hz
- 1 Durchgang
- Linse Gold

**Funktionsjersey, hochelastisch** Hochelastischer Funktionsjersey mit hohem Elastananteil

- aus Elastan und Polyamid
- dünner, leichter Stoff, schnell trocknend
- blickdicht, atmungsaktiv, hochelastisch, bi-elastisch
- Breite: 145 cm
- Gewicht: 180 g/qm

Bezug: [extremtextil.de](http://extremtextil.de); 6,90 Euro/Meter

Schneidparameter für doppellagigen Stoff:

- Leistung 45,6 Watt
- Geschwindigkeit 17,75 cm/s
- Frequenz: 2000 Hz
- 2 Durchgänge
- Linse Gold

**Polsterung** 3D-Netzgewebe 8 mm, elastisch

- Polyester (PES)
- atmungsaktiv, UV-Stabil, schnell trocknend, leicht elastisch
- Gewicht: 570 g/qm
- Breite: 100 cm
- Maschengröße: 5x9 mm

Bezug: [extremtextil.de](http://extremtextil.de), 27,90 Euro/Meter

Schneidparameter:

- Leistung 120 Watt
- Geschwindigkeit 1,75 cm/s
- Frequenz: 1000 Hz
- 1 Durchgang
- Linse Blau