

Manal Seif

**Bereitstellung von Materialkennwerten für
die Simulation von Bekleidungsprodukten**

Im Namen Allahs,
des Allerbarmers, des Barmherzigen

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

Koran, [17-85]

In Dankbarkeit meinen Eltern und meinem Brüder gewidmet

Bereitstellung von Materialkennwerten für die Simulation von Bekleidungsprodukten

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

von

M.Sc. Seif, Manal Abdel-Aziz Mohamed
geb. am 01.12.1973 in Kairo, Ägypten

Tag der Einreichung: 28.03.2007

Tag der Verteidigung: 30.07.2007

Gutachter: Herr Prof.Dr.-Ing.habil. H. Rödel
Herr Prof.Dr.phil.habil. H.-D. Reumann
Herr Prof.Dr.rer.nat. M. Wacker

Vorsitzender der Promotionskommission:
Herr Prof.Dr.-Ing.habil. H. Balke

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als Promotionsstudentin und als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Textil- und Bekleidungstechnik der Technischen Universität Dresden.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Hartmut Rödel für seine Unterstützung und Motivation. Seine zahlreichen Hinweise und Diskussionen waren mir eine bedeutende Hilfe bei der Erstellung der Promotion. Vor allem möchte ich ihm danken für die gute Arbeitsatmosphäre unter die Konfektionsgruppe, die durch seine herzlichen, menschlichen, verständnisvollen Gefühle verbreitet wird.

Ganz herzlich bedanke ich mich bei Frau Dr.-Ing. Andrea Schenk für die fachliche Unterstützung und vielen langen Diskussionen bei der Arbeit. Ihre Hilfsbereitschaft und gute Zusammenarbeit waren für mich von großer Bedeutung.

Danken möchte ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Institutes für Textil- und Bekleidungstechnik für ihre Unterstützung und gute Zusammenarbeit. Mein besonderer Dank geht an Frau Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. Sybille Krzywinski und Frau Iris Kunath für ihre herzliche Unterstützung aller wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen des Institutes, sowie an meine ehemalige Kollegin Frau M.Sc. Nuoping Zhao für das angenehme kollegiale Arbeitsklima und freundliche Unterstützung während meines Aufenthaltes in Deutschland.

Weiterhin danke ich ganz herzlich meinem Heimatland Ägypten für die Zulassung zum Promotionsstudium in Deutschland und für die finanzielle Unterstützung meines Aufenthaltes, sowie die Finanzierung der Materialien für die experimentellen Untersuchungen.

Meine Freundinnen, Freunde und Bekannte in Dresden möchte ich danken für ihre moralische Unterstützung während meines Aufenthaltes. Mein besonderer Dank gehört Herrn Dipl.-Ing. (FH) Sherif Hassan für seine herzliche und freundliche Unterstützung während meines Aufenthalts in Deutschland.

Abschließend gilt mein Dank auch meiner Familie, die trotz der langen Stricke zwischen Ägypten und Deutschland mir immer das Gefühl gegeben haben, dass sie alle hinter mir stehen und mich unterstützen.

Abstract

Bending stiffness and Drapeability are essential material parameters for simulating textile and clothing products. Due to assembling processes garments are showing different appearances through modelling than textile fabrics. This is based on stiffening, which is caused by assembling process and local variations within material's mass throughout the fabric. Since decades the manual bending stiffness testing device, which is based on Cantilever method, has been known. This device is insufficient because of irregular feed speed of bending sample, the visual determination of reaching and reading the bending length, the little reading precision of the measurable slide (half Millimetre) and the form of the front edge of the sample does not stay linear. Obtaining an exact evaluation of this sample edge is not possible with this device. Extensive experiments have confirmed that these deficits influence the accuracy and the reproduction of the results in a high degree. To remedy these deficits and to obtain an exact description of the material's behaviour in order to achieve an optimal modelling of the clothing products is the new bending stiffness testing device (ACPM 200) at the ITB of TU Dresden developed. Within the investigations a new method for determining the influence of the seam on the bending stiffness of the adjacent textile fabric will be introduced. The Influence of seams on the drapability of textile fabric is investigated. A static model of Fabric with and without vertical seams is analysed with using the finite element method (FEM).

Inhaltsverzeichnis	I
Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
2 Stand der Bestimmung notwendiger Materialeigenschaften für die Bekleidungs- simulation	5
2.1 Allgemeines.....	5
2.2 Bestimmung notwendiger Materialeigenschaften für die Beklei- dungs- simulation.....	5
2.2.1 Bestimmung der Biegesteifigkeit.....	6
2.2.2 Bestimmung der Drapierbarkeit.....	9
3 Auswahl der Nähte für die eigenen Untersuchungen	14
3.1 Bestimmung der Nähstichtypen.....	14
3.2 Bestimmung der Nähnahtarten.....	18
3.3 Berücksichtigung von Nähten bei der Simulation.....	21
4 Biegesteifigkeitsmessung mit dem manuellen Cantilever- Prüfgerät und deren kritische Analyse	26
4.1 Funktionsweise des manuellen Cantilever-Prüfgerätes.....	26
4.2 Einfluss der Mängel des manuellen Cantilever-Gerätes auf die Bie- gesteifigkeit.....	27
4.2.1 Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit.....	27
4.2.2 Einfluss der subjektiven Bestimmung und des visuellen Ablesens der Überhanglänge (ergonomisches Problem).....	28
4.2.3 Einfluss der geringen Ablesegenauigkeit des Messschiebers.....	29
4.2.4 Einfluss der Probenvorderkante.....	31
4.3 Abschließende Wertung.....	31
5 Vorhandene automatische Biegesteifigkeitsprüfgeräte	32
5.1 Automatisches Cantilever-Gerät nach dem Fast-System.....	32
5.2 Automatisches Biegesteifigkeitsprüfgerät (SITRA Stiffness Meter)...	32
5.3 Motorisiertes Biegesteifigkeitsprüfgerät nach ASTM (D 1388).....	33
5.4 Biegesteifigkeitsprüfgerät der Firma Thwing-Albert (Bending Stiff- ness Tester).....	34
5.5 Textilmesssystem TEX-PROOF der Firma Naiss GmbH.....	34
5.6 Biegesteifigkeitsprüfgerät Hohensteiner Institute.....	36

5.7	Defizite der vorhandenen automatischen Biegesteifigkeitsprüfgeräte.....	36
6	Entwicklung eines neuen automatischen Biegesteifigkeitsprüfgerätes	38
6.1	Problemstellung.....	38
6.2	Aufbau des ACPM 200.....	38
6.2.1	Ideen zur Entwicklung eines automatischen Cantilever-Gerätes.....	38
6.2.1.1	Vorschub.....	38
6.2.1.2	Lichtschraken.....	40
6.2.2	Technische Daten.....	41
6.2.3	Messung.....	42
6.2.3.1	Messprinzip des Gerätes.....	42
6.2.3.2	Funktionsbeschreibung.....	43
6.3	Bestimmung der Genauigkeit des ACPM 200.....	45
6.3.1	Reproduzierbarkeit der Messergebnisse.....	45
6.3.2	Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit auf die Biegesteifigkeit.....	46
6.4	Vergleich der Ergebnisse der Biegesteifigkeit bei unterschiedlichen Prüfgeräten.....	48
6.4.1	Vergleich zwischen dem manuellen Cantilever-Gerät und dem ACPM 200.....	49
6.4.2	Vergleich zwischen dem TEX-PROOF und dem ACPM 200.....	49
6.5	Eigenschaften und Vorteile des ACPM 200.....	50
7	Experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung des Nahteinflusses auf die Biegesteifigkeit	52
7.1	Einfluss der vertikalen Naht auf die Biegesteifigkeit.....	52
7.1.1	Einfluss des Abstandes der Naht auf die Biegesteifigkeit.....	52
7.1.2	Einfluss der Nähstichtypen auf die Biegesteifigkeit.....	57
7.1.3	Einfluss der Nähnahtarten auf die Biegesteifigkeit.....	58
7.1.4	Einfluss der Nahtwinkellagen auf die Biegesteifigkeit.....	61
7.1.4.1	Biegesteifigkeit textiler Fläche ohne Naht in verschiedenen Winkellagen zum Fadensystem.....	61
7.1.4.2	Variationen der Nahtwinkellagen in der Bekleidungsindustrie.....	61
7.2	Einfluss der horizontalen Naht auf die Biegesteifigkeit.....	65
7.2.1	Einfluss der horizontalen Naht bei unterschiedlichen Nahtabständen von der Biegekante.....	65
7.2.2	Einfluss der horizontalen Naht bei unterschiedlichen Nahtzugaben auf die Biegesteifigkeit.....	68

7.3	Bestimmung der optimalen Breiten für die Messproben beim ACPM 200.....	70
7.4	Zusammenfassung.....	72
8	Experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung des Nahteinflusses auf die Drapierbarkeit.....	74
8.1	Einfluss einer Naht auf die Drapierbarkeit.....	74
8.1.1	Einfluss der Nahtposition.....	75
8.1.2	Einfluss der Nahtwinkellagen.....	77
8.1.3	Einfluss der Nähstichtypen.....	79
8.2	Einfluss von zwei Nähten auf die Drapierbarkeit.....	81
9	Simulation des Biegeverhaltens mit Hilfe der FEM.....	84
9.1	Einleitung zur FEM-Rechnung.....	84
9.1.1	Allgemeines.....	84
9.1.2	Anwendung der FEM-Rechnung in der Textil- und Bekleidungs- simulation.....	84
9.2	Simulation des Biegeverhaltens.....	85
9.2.1	Geometriemodell und Materialparameter.....	85
9.2.2	Randbedingungen.....	86
9.2.3	Berechnung der Verschiebungen.....	87
9.3	Vergleich der Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen mit den Ergebnissen der FEM-Berechnung.....	89
9.4	Schlussfolgerung.....	91
10	Zusammenfassung und Ausblick.....	92
	Literaturverzeichnis.....	96
	Anhang.....	101
	Anhang zu Kapitel 4.....	103
	Anhang zu Kapitel 6.....	108
	Anhang zu Kapitel 7.....	112
	Anhang zu Kapitel 8.....	132
	Anhang zu Kapitel 9.....	143
	Normentwurf:.....	151
	Bestimmung der Biegesteifigkeit von textilen Flächen mit lokalen Flächenmasseschwankungen, Verfahren nach Cantilever	

Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis

Formelzeichen und Einheiten

A_D	[m ²]	- Fläche der undeformierten Stoffprobe (Durchmesser D)
A_d	[m ²]	- Fläche der Trägerplatte (Durchmesser d)
A_s	[m ²]	- Projizierte Fläche der verformten Fläche
B	[mN.cm ²]	- Biegesteifigkeit
b	[cm]	- Probenbreite
β	-	- Konstante, bezogen auf den E-Modul
E-Modul	[N/mm ²]	- Elastizitätsmodul
F	-	- Fallkoeffizient
F_l	[mN/cm]	- Längengewichtskraft
F_{NI}	-	- Faktor des Nahtinflusses
F_{NI-K}	-	- Faktor des Nahtinflusses für Körperbindung
F_{NI-L}	-	- Faktor des Nahtinflusses für Leinwandbindung
G	[mN.cm]	- Biegesteifigkeit auf die Breite bezogen
g_n	[m/s ²]	- Fallbeschleunigung
G_N	[mN.cm]	- breitenbezogene Biegesteifigkeit der textilen Flächen mit Naht
G_S	[mN.cm]	- breitenbezogene Biegesteifigkeit der textilen Flächen ohne Naht
I	[cm ⁴]	- Flächenträgheitsmoment
I_{Naht}	[cm ⁴]	- Flächenträgheitsmoment des Stoffes mit Naht
l	[cm]	- Probenlänge
$l_{\bar{u}}$	[cm]	- Überhanglänge
m	[g]	- Masse
N.A.	-	- Nulllinie
R^2		- Bestimmtheitsmaß
s	[cm]	- Nahtzugabe
t	[mm]	- Dicke des Stoffes mit Naht
t_0	[mm]	- Dicke des Stoffes ohne Naht
m_A	[g/m ²]	- Flächengewicht
ν	-	- Querkontraktionszahl
x	[mm]	- Abstand der Naht
y	-	- Abstand zwischen der Nulllinie und der Gewebeoberfläche

Abkürzungen

2D	- zweidimensional	Proz.	- Prozentuale
		Abweich	- Abweichung
3D	- dreidimensional	SN	- Safety-Naht
Abb.	- Abbildung	St-1	- Naht seitlich, Stufe 1
bzw.	- beziehungsweise	St-2	- Naht seitlich, Stufe 2
CAD	- Computer Aided Design	St-3	- Naht seitlich, Stufe 3
CAM	- Computer Aided Manufacture	Tab.	- Tabelle
CV	- Viskose	Trev	- Trevera
d. h.	- das heißt	u. a.	- unter anderem
DIN	- Deutsches Institut für Normung	u. ä.	- und ähnliche
DKST	- Doppelkettenstich	ÜKST	- Überwendlichkettenstich
DOB	- Damenoberbekleidung	vgl.	- vergleiche
DST	- Doppelsteppstich	WO	- Wolle
EI	- Elasthan	WV	- Schurwolle
EKST	- Einfachkettenstich	z. B.	- zum Beispiel
E-Modul	- Elastizitätsmodul		
EST	- Einfachsteppstich		
FAST	- Fabric Assurance by Simple Testing		
FEM	- Finite Elemente Methode		
Gl.	- Gleichung		
HAKA	- Herren- und Knaben-Ober- bekleidungs-Industrie		
IR-Strahl	- Infrarotstrahl		
K 2/1	- Körperbindung 2/1		
K 2/2	- Körperbindung 2/2		
K 3/1	- Körperbindung 3/1		
KES-F	- Kawabata Evaluation System for Fabrics		
KN	- Doppelkappnaht		
L 1/1	- Leinwandbindung 1/1		
lt.	- laut		
Ly	- Lycra		
N_m	- Naht mittig		
N_s2	- Naht seitlich 2		
N-s1	- Naht seitlich 1		
NZ	- Nahtzugabe		
PES	- Polyester		

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Prinzipien der Versuchsdurchführung nach KAWABATA.....	7
Abb. 2.2	Prinzip des Peirce's-Cantilever-Gerätes.....	8
Abb. 2.3	Manuelles Cantilever-Prüfgerät nach dem Freitragerverfahren...	9
Abb. 2.4	Versuchsaufbau der Falluntersuchung.....	11
Abb. 2.5	Auswertung der Falluntersuchung.....	12
Abb. 2.6	Fallbilder unterschiedlicher Materialien.....	12
Abb. 3.1	Nahtbildungsvorgang.....	14
Abb. 3.2	Varianten der Verbindung der Flächen in einem Nähstich.....	15
Abb. 3.3	Beispiel für angewendete Stichtypen an einem Kleid.....	17
Abb. 3.4	Lage der Naht in einem Bekleidungsprodukt.....	22
Abb. 3.5	Systemmodell und Querschnittbereiche eines Gewebes, mit vertikaler Naht und ohne Naht.....	23
Abb. 4.1	Manuelles Cantilever-Gerät mit Kennzeichnung der mangelbehafteten Bereiche.....	26
Abb. 4.2	Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit auf die Biegesteifigkeit....	28
Abb. 4.3	Gemessene Überhanglängen bei unterschiedlichen Prüfern (ergonomisches Problem).....	29
Abb. 4.4	Einfluss der geringen Ablesegenauigkeit des Schiebers auf die Biegesteifigkeit.....	30
Abb. 4.5	Unterschiede der Ausbildung der Vorderkante der Probe zur Bestimmung der Überhanglänge.....	31
Abb. 5.1	Messprinzip der Biegeprüfung mit dem FAST-System.....	32
Abb. 5.2	Elektronisches Biegesteifigkeitsprüfungsgerät von SITRA.....	33
Abb. 5.3	Motorisiertes Cantilever-Gerät nach ASTM (D 1388).....	33
Abb. 5.4	Automatisches Biegesteifigkeitsprüfgerät der Firma Thwing-Albert (Bending Stiffness Tester).....	34
Abb. 5.5	Messsystem TEX-PROOF.....	35
Abb. 5.6	Biegesteifigkeitsprüfgerät des Messsystems TEX-PROOF.....	35
Abb. 5.7	Biegesteifigkeitsprüfgerät Hohensteiner Institute.....	36
Abb. 6.1	Automatisches Cantilever-Gerät mit Transportband.....	39
Abb. 6.2	Automatisches Cantilever-Gerät mit Gewindespindel.....	39
Abb. 6.3	Schiebervarianten des ACPM 200.....	42
Abb. 6.4	Konstruktionszeichnung des neuen Cantilever-Gerätes (ACPM 200).....	43
Abb. 6.5	Eingabe der Daten.....	43
Abb. 6.6	Wirkung der Lichtschranken während der Prüfung.....	44
Abb. 6.7	Ausgabe der Daten auf dem Bildschirm.....	44
Abb. 6.8	Ausgabe der Daten als Excel-Tabelle.....	45
Abb. 6.9	Reproduzierbarkeit der Messergebnisse des ACPM 200.....	46
Abb. 6.10	Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit auf die Biegesteifigkeit für die Proben ohne Naht.....	47
Abb. 6.11	Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit auf die Biegesteifigkeit	

	des Materials 6 mit Safety-Naht.....	48
Abb. 6.12	Vergleich der Ergebnisse der Biegesteifigkeit des manuellen Cantilever-Gerätes mit den Ergebnissen von ACPM 200.....	49
Abb. 6.13	Vergleich der Ergebnisse der Biegesteifigkeit des Messsystems TEX-PROOF mit den Ergebnissen von ACPM 200.....	50
Abb. 7.1	Untersuchte Nähte.....	53
Abb. 7.2	Variation der Nahtposition für die Untersuchung.....	53
Abb. 7.3	Neues Biegesteifigkeitsprüfgerät ACPM 200.....	53
Abb. 7.4	Biegesteifigkeit unterschiedlicher Nahtarten in Kettrichtung (Material 6).....	54
Abb. 7.5	Zusammenhang zwischen der Nahtdicke und der Biegesteifigkeit.....	55
Abb. 7.6	Einfluss der Nahtposition auf den Biegeverlauf des Materials 6 in Kettrichtung.....	55
Abb. 7.7	Einflussfaktoren unterschiedlicher Nähte auf die Biegesteifigkeit verschiedener Gewebebindungen.....	56
Abb. 7.8	Lage der Naht bei unterschiedlichen Gewebebindungen.....	57
Abb. 7.9	Einfluss unterschiedlicher Stichtypen auf die Biegesteifigkeit (Material 3).....	58
Abb. 7.10	Einfluss unterschiedlicher Nähte auf die Biegesteifigkeit (Voruntersuchung), Material V 2.....	59
Abb. 7.11	Einfluss unterschiedlicher Nähnahtarten auf die Biegesteifigkeit in Kettrichtung.....	60
Abb. 7.12	Einfluss unterschiedlicher Nahtarten auf den Biegeverlauf der Vorderkante des Materials 6 in Kettrichtung (Naht mittig).....	60
Abb. 7.13	Biegesteifigkeit textiler Flächen ohne Naht in verschiedenen Winkellagen zur Schussrichtung (Material 4).....	61
Abb. 7.14	Variation der Nahtwinkellagen in einem Bekleidungsprodukt.....	62
Abb. 7.15	Biegesteifigkeit bei zwei Variationen der Nahtwinkellagen (Voruntersuchung).....	62
Abb. 7.16	Vergleich der Position der Nähte zum Bereich der Überhanglänge.....	63
Abb. 7.17	Neue Nahtwinkellagen.....	63
Abb. 7.18	Einfluss der Nahtwinkellagen auf die Biegesteifigkeit des Materials M 4 (Fall 2).....	64
Abb. 7.19	Einfluss der Nahtwinkellagen auf die Biegesteifigkeit des Materials M 4 (Fall 3).....	64
Abb. 7.20	Untersuchte Nahtpositionen der horizontalen Naht.....	65
Abb. 7.21	Einfluss der horizontalen Naht bei zwei unterschiedlichen Probenbreiten (Material 6).....	66
Abb. 7.22	Einfluss der horizontalen Naht auf den Biegeverlauf des Materials 6.....	67
Abb. 7.23	Einfluss unterschiedlicher Nähte (horizontal) auf die Biegesteifigkeit des Materials 5.....	68

Abb. 7.24	Einfluss unterschiedlicher Nahtzugaben der horizontalen Naht auf die Biegesteifigkeit der biegeweichen Materialien (Material 5).....	69
Abb. 7.25	Einfluss unterschiedlicher Nahtzugaben der horizontalen Naht auf die Biegesteifigkeit der biegesteifen Materialien (Material 6).	69
Abb. 7.26	Problem der Dioden an den Rändern der Probe.....	70
Abb. 7.27	Untersuchte Probenbreiten.....	71
Abb. 7.28	Vergleich der Biegesteifigkeit unterschiedlicher Probenbreiten mit Saftey-Naht (Naht seitlich), Material 6.....	71
Abb. 8.1	Verwendete Nahtpositionen für das Fallverhalten.....	75
Abb. 8.2	Einfluss des Doppelsteppstichs (301) auf den Fallkoeffizient (Naht mittig in Kettrichtung).....	76
Abb. 8.3	Einfluss der Naht auf die Bildung der Falten (Naht mittig), Material 4.....	76
Abb. 8.4	Einfluss der Nahtposition auf den Fallkoeffizient (Material 4).....	77
Abb. 8.5	Fallbilder der seitlich positionierten Nähte in Kettrichtung (Material 4).....	77
Abb. 8.6	Naht in verschiedenen Winkellagen zur Bestimmung des Fallverhaltens.....	77
Abb. 8.7	Einfluss der Nahtwinkellage auf unterschiedliche Gewebebin- dungen.....	78
Abb. 8.8	Einfluss der Nahtwinkellage auf den Fallkoeffizient (Material 4)..	79
Abb. 8.9	Fallbilder unterschiedlicher Nahtwinkellagen bezogen auf die Schussrichtung (Material 4).....	79
Abb. 8.10	Einfluss unterschiedlicher Nähstichtypen auf den Fallkoeffizient unterschiedlicher Materialien.....	80
Abb. 8.11	Einfluss unterschiedlicher Nähstichtypen auf den Fallkoeffizient des Materials 4 in verschiedenen Winkellagen.....	81
Abb. 8.12	Zwei Nähte in verschiedenen Winkellagen.....	81
Abb. 8.13	Einfluss der Anzahl der Nähte auf den Fallkoeffizient (Material 4).....	82
Abb. 8.14	Fallbilder von zwei Nähten in verschiedenen Winkellagen (Ma- terial 4).....	82
Abb. 9.1	Geometriemodell der FEM-Rechnung des Stoffes ohne Naht.....	85
Abb. 9.2	Randbedingungen an der Probe mit Doppelkappnaht (Naht mit- tig).....	87
Abb. 9.3	Darstellung der Verschiebungen in z-Richtung der Ansys- Rechnung (Material 6).....	88
Abb. 9.4	Einfluss unterschiedlicher Nähte auf die Überhanglänge des Materials 6 (Naht seitlich), Experiment.....	89
Abb. 9.5	Einfluss unterschiedlicher Nähte auf die Verschiebung in z- Richtung des Materials 6 (Naht seitlich), FEM-Berechnung.....	90
Abb. 9.6	Einfluss unterschiedlicher Nähte auf die Verschiebung in z- Richtung (Naht seitlich) über die Probenlänge des Materials 6, FEM-Berechnung.....	91

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1	Stichtypenklassen.....	15
Tabelle 3.2	Häufig verwendete Nähstichtypen in der Bekleidungsindustrie für DOB.....	17
Tabelle 3.3	Einteilung von Nähnahtarten.....	19
Tabelle 3.4	Ausgewählte Nähte für die Untersuchung.....	20
Tabelle 4.1	Übersicht der untersuchten Materialien.....	27
Tabelle 4.2	Übersicht der ausgewählten Materialien für die Voruntersuchung.....	28
Tabelle 6.1	Mögliche Vorschubgeschwindigkeiten beim ACPM 200.....	41
Tabelle 6.2	Schiebervarianten des ACPM 200.....	42
Tabelle 6.3	Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, gemessen mit dem ACPM 200.....	45
Tabelle 6.4	Konstruktionsmerkmale der untersuchten Materialien.....	46
Tabelle 6.5	Messergebnisse beim manuellen Cantilever-Gerät und beim ACPM 200.....	49
Tabelle 6.6	Messergebnisse beim Messsystem TEX-PROOF und beim ACPM 200.....	50
Tabelle 7.1	Auswahl der Nahtabstände von der Biegekante der untersuchten Materialien.....	65
Tabelle 8.1	Fallkoeffizienten der untersuchten Materialien ohne Naht.....	74
Tabelle 9.1	Materialkennwerten und berechneter E-Modul des Materials 6 ohne und mit verschiedenen Nähten.....	86

1 Einleitung

In der heutigen Zeit wird von der Textil- und Bekleidungsindustrie die schnelle und flexible Reaktion auf neue Modetrends erwartet. Dazu muss der Produktentwicklungsprozess effektiver gestaltet werden. Deshalb sind innerhalb des letzten Jahrzehnts mehr CAD- und CAM-Systeme in der Bekleidungsindustrie im Einsatz [SCHE 96].

Die räumliche Darstellung einer 2D-Schnittkonstruktion auf einer Figurine oder umgekehrt eine Abwicklung des in 3D konstruierten Modells in die 2D-Ebene wären die optimalen Möglichkeiten zur Kontrolle der Passgenauigkeit und der Form eines Modells, wenn dabei die realen Materialeigenschaften mit berücksichtigt werden. Hierzu ist es notwendig, Simulationsmodelle zu erarbeiten [KRZ 00/1].

Gegenwärtig ebenfalls nicht mit einbezogen wird die Komplexität der konfektionierten Produkte, d. h. es wird jeweils nur mit einem Parametersatz an Materialeigenschaften für die Simulation eines gesamten Produktes gearbeitet.

Konfektionierte Flächen zeigen im Vergleich zu unkonfektionierten Flächen aufgrund der Fügeprozesse und den daraus folgenden Versteifungen und den lokalen Flächengewichtsschwankungen des Materials ein anderes Erscheinungsbild. Nähte, Einlage- und Futterstoffe sowie mehrlagig verarbeitete Material beeinflussen das Fallverhalten der textilen Fläche wesentlich [RÖD 04].

Kenngrößen, wie die Biegesteifigkeit, eine veränderte Flächenmasse und die Dicke der Naht haben einen großen Einfluss auf die Modellierung eines Bekleidungsproduktes und den Tragekomfort der Kleidung.

Insbesondere aus Forschungssicht ist es außerdem interessant, für die richtige und reale Modellierung des Materialverhaltens die Veränderung des Biegeverhaltens infolge von unterschiedlicher Materialverteilung über einer größeren Materialfläche quantifizieren zu können. Dies betrifft z. B. den Einfluss der Naht auf die Biegesteifigkeit.

Seit Jahrzehnten ist das manuell zu bedienende Biegesteifigkeitsprüfgerät nach dem Cantilever-Verfahren bekannt. Während eigener Untersuchungen wird herausgefunden, dass dieses Prüfgerät mangelhaft ist. Diese Mängel haben einen erheblichen Einfluss auf die Bestimmung der Biegesteifigkeit und die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse.

Wesentliche Ziele dieser Dissertation bestehen deshalb darin:

1. Entwicklung eines neuen Biegesteifigkeitsprüfgerätes zur Erfassung der Messergebnissen mit optimaler Genauigkeit und hoher Reproduzierbarkeit textiler Flächengebilde,
2. Entwicklung einer neuen Methode zur Ermittlung von Nahtsteifigkeiten sowie deren Einfluss auf die angrenzende textile Fläche. Dazu wird der Einfluss der Naht in zwei Lagen (horizontal, vertikal) bei verschiedenen Winkellagen, Nahtarten und Stichtypen bestimmt.
3. Untersuchung des Nahteinflusses auf die Drapierbarkeit,
4. Modellierung des Biegeverhaltens der konfektionierten Flächen mit Hilfe der FEM.

Das Kapitel 2 beinhaltet allgemein den Stand der Technik zur Bestimmung notwendiger Materialeigenschaften für die Modellierung eines Bekleidungsproduktes. Nach einer Darstellung der Messsysteme zur Bestimmung der Materialkenngrößen wird speziell die Berechnung der Biegesteifigkeit nach dem Cantilever-Verfahren betrachtet. Neben der Biegesteifigkeit ist die Drapierbarkeit für die Simulation notwendig. Der Versuchsaufbau der Falluntersuchung und die Berechnungsmethoden zur Auswertung der Messergebnisse werden in diesem Kapitel zusammengefasst.

Aus einer Recherche bezüglich der in der Bekleidungsindustrie häufig verwendeten Nähstichtypen und Nähnahtarten sind im Kapitel 3 die für eigene Untersuchungen benötigten Kennwerte festgelegt. Drei Stichtypen (Doppelsteppstich 301, Überwendlichkettenstich 504 und Safety-Stich 515) und drei Nähnahtarten (Schließnaht, Safety-Naht und Kappnaht) werden für die Untersuchungen verwendet. Die bisher durchgeführten Studien über den Einfluss der Naht auf die Materialeigenschaften und die Notwendigkeit der Berücksichtigung der Nähte bei der Simulation werden abschließend in diesem Kapitel erläutert.

Es handelt sich im Kapitel 4 um die Bestimmung der Biegesteifigkeit mit dem manuellen Cantilever-Gerät. Die Durchführung einer Prüfung und die Funktionsweise des Gerätes werden beschrieben. Die Untersuchungen bestätigen, dass das Gerät mangelhaft ist. Die ungleichmäßige Vorschubgeschwindigkeit des Probekörpers, die subjektive Bestimmung des Erreichens der Überhanglänge, das visuelle Ablesen der Überhanglänge, die geringe Ablesegenauigkeit des Messschiebers und die unterschiedliche Ausbildung der Vorderkante des Probekörpers (ebene Vorderkante, nicht ebene Vorderkante) beeinflussen die Genauigkeit und die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse erheblich.

Im Kapitel 5 geht es um den Stand der Technik bezüglich vorhandener automatischer Biegesteifigkeitsprüfgeräte. Die Modifikationen und die Verbesserungen an diesen Geräten werden beschrieben. Es wird deutlich, dass die Geräte teilweise die Mängel des manuellen Cantilever-Gerätes beseitigen können. Die dennoch vorhandenen Defizite dieser Geräte werden abschließend zusammengefasst.

Nach der kritischen Analyse der Funktionsweise des manuellen Cantilever-Gerätes und der Darstellung der Defizite der vorhandenen automatischen Biegesteifigkeitsprüfgeräte ist deshalb ein Entwicklungsbedarf für eine neue Gerätetechnik festzustellen, um das Cantilver-Verfahren zur Bestimmung der Biegesteifigkeit auf ein neues Niveau mit reproduzierbaren genaueren Messwerten sowie mit erweitertem Datenumfang zu heben. Der Aufbau des neuen Biegesteifigkeitsprüfgerätes (ACPM 200), die technischen Daten, das Messprinzip und die Funktionsbeschreibung sind innerhalb des Kapitels 6 dargestellt. Untersuchungen zur Bestimmung der Genauigkeit und der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse werden durchgeführt. Dazu kommt ein Vergleich der Messergebnisse des ACPM 200 mit den Ergebnissen des manuellen Cantilever-Gerätes und des TEX-PROOF-Messsystems, um die Vorteile des neu entwickelten ACPM 200 nachzuweisen.

Im Kapitel 7 sind die experimentellen Untersuchungen zur Bestimmung des Nahteinflusses auf die Biegesteifigkeit in zwei möglichen Lagen (vertikale Naht und horizontale Naht) dargestellt. Für die vertikale Naht werden die Einflüsse des Abstandes der Naht, der Nähstichtypen, der Nähnahtarten, und der Nahtwinkellagen untersucht. Für die horizontale Naht sind die Einflüsse des Nahtabstandes von der Vorderkante der Probe und der unterschiedlichen Nahtzugaben von wesentlicher Bedeutung. Ein funktioneller Zusammenhang zwischen dem Abstand der Naht und der Biegesteifigkeit wird für unterschiedliche Nähte und Gewebearbeiten bestimmt. Um eine reale Simulation eines Bekleidungsproduktes zu gewährleisten, sind die Ergebnisse von wesentlicher Bedeutung.

Der Schwerpunkt des Kapitels 8 ist die Ermittlung des Nahteinflusses auf die Drapierbarkeit. Die Untersuchungen lassen sich auf den Einfluss von einer und von zwei Nähten beschränken. Das Fallverhalten wird durch die Ermittlung des Fallkoeffizienten und die Beschreibung der Fallbilder ausgewertet.

Mit Hilfe der FEM wird im Kapitel 9 das Biegeverhalten textiler Flächen ohne und mit Naht simuliert. Die Verschiebungen werden für das statische Biegeverhalten berechnet. Die Ergebnisse der FEM-Berechnung sind mit den Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen im Sinne des Biegeverlaufes der Probevorderkante vergleichbar. Die untersuchten Nähte zeigen ähnliche Tendenz in der numerischen Berechnung und im Experiment.

Aus den durchgeführten Untersuchungen mit dem entwickelten Biegesteifigkeitsprüfgerätes ACPM 200 wird abschließend der Entwurf einer neuen Prüfnorm zur Bestimmung der Biegesteifigkeit von textilen Flächen mit lokalen Flächenmassaschwankungen vorgestellt.

Im Anhang befinden sich die statistischen Auswertungen zu den Kapiteln 4, 6 und 7, die Fallbilder und die Darstellung der Ergebnisse zum Einfluss der Naht auf den Fallkoeffizient des Kapitels 8, sowie die Randbedingungen, Darstellungen der Verschiebungen unterschiedlicher Nähte der FEM-Berechnung des Kapitels 9.

2 Stand der Bestimmung notwendiger Materialeigenschaften für die Bekleidungssimulation

2.1 Allgemeines

Von der Textil- und Bekleidungsindustrie wird in der heutigen Zeit gefordert, auf neue Modetrends schnell und flexibel zu reagieren und den Produktionsprozess effektiver zu gestalten. Für diese Zwecke wurden innerhalb des letzten Jahrzehnts mehr CAD- und CAM-Systeme in der Bekleidungsindustrie eingesetzt [SCHE 96].

Der rechnergestützte Entwurf im 2D-Bereich ist durch CAD-Systeme sehr komfortabel möglich. Die räumliche Darstellung einer 2D-Schnittkonstruktion auf einer Figurine oder umgekehrt eine Abwicklung des in 3D konstruierten Modells in die 2D-Ebene wären die optimalen Möglichkeiten zur Kontrolle der Passgenauigkeit und der Form eines Modells, wenn dabei die realen Materialeigenschaften mit berücksichtigt werden. Hierzu ist es notwendig, Simulationsmodelle zu erarbeiten [KRZ 00/1].

Bei der mechanischen Betrachtung der Verformung von textilen Flächen sind grundsätzlich zwei Richtungen zu unterscheiden:

1. das Umformverhalten,
2. das Fallverhalten der textilen Fläche.

Das Umformverhalten von textilen Flächen ist in der Bekleidungsindustrie besonders für das Arbeiten im körpernahen Bereich relevant. In diesem Bereich ist eine möglichst faltenfreie Drapierung des Stoffes erforderlich, wobei das Kraft-Dehnungsverhalten des Materials von maßgeblicher Bedeutung ist.

Im körperfernen Bereich (DOB und HAKA) hingegen sind vor allem das Fallverhalten und das Biegeverhalten der textilen Fläche ausschlaggebend. Das biegegewiche Verhalten textiler Flächen führt ohne äußere Krafteinwirkung, nur unter Wirkung des Eigengewichts, zu einer dreidimensionalen Verformung [KRZ 98].

2.2 Bestimmung notwendiger Materialeigenschaften für die Bekleidungssimulation

Die Beurteilung und Charakterisierung eines textilen Flächengebildes kann nach verschiedenen Kriterien erfolgen, so z. B. nach:

- Aussehen/Optik,
- Strapazierfähigkeit (physikalische Eigenschaften),
- Trageverhalten,

- Pflegeverhalten und
- Haltbarkeit.

Das Fallverhalten gehört zu den Kriterien *Aussehen* und *Trageverhalten* [HOF 04], [GAN 95].

Es ist bekannt, dass die Biegesteifigkeit und die Scherfestigkeit das Fallverhalten (Drapierbarkeit) eines Stoffes direkt beeinflussen [DZI 05], [ZHO 98/1], [RÖD 98].

Beide Materialkenngrößen, Biegesteifigkeit und Drapierbarkeit, sind für die Simulation eines Bekleidungserzeugnisses notwendig.

2.2.1 Bestimmung der Biegesteifigkeit

Die Biegeeigenschaften bestimmen in erheblichem Maße das Gebrauchsverhalten einer textilen Fläche und damit ihre Einsatzgebiete. Durch die Biegesteifigkeit eines Flächengebildes werden dessen textiler Fall, sein Griff, seine Schmiegsamkeit, seine Konfektionierbarkeit sowie sein Knitterverhalten maßgeblich beeinflusst [REU 00].

Die für die messtechnische Untersuchung der mechanischen Kenngrößen textiler Flächen international gebräuchlichsten Systeme sind das KES-F-System von KAWABATA und das FAST-System [GAN 95].

Das Kawabata-Meßgerätesystem

Ende der 60ziger Jahre wurden von Professor KAWABATA und seiner Expertengruppe vier Geräte zur Messung der Materialeigenschaften entwickelt (Kawabata's Evaluation System of Fabric = KES-F). Das Nachfolgesystem (KES-FB) ermöglichte es fortan, dass alle Prüfungen an denselben Prüflingen von 20 x 20 cm durchgeführt werden können.

Die KES-FB-Meßgerätesysteme sind:

- KES-FB-1: Zug- und scherelastische Eigenschaften,
- KES-FB-2: Biegeeigenschaften,
- KES-FB-3: Kompressionseigenschaften,
- KES-FB-4: Oberflächeneigenschaften (Reibung und Profil).

Die verschiedenen Prinzipien der Versuchsdurchführung nach KAWABATA werden in Abbildung 2.1 dargestellt.

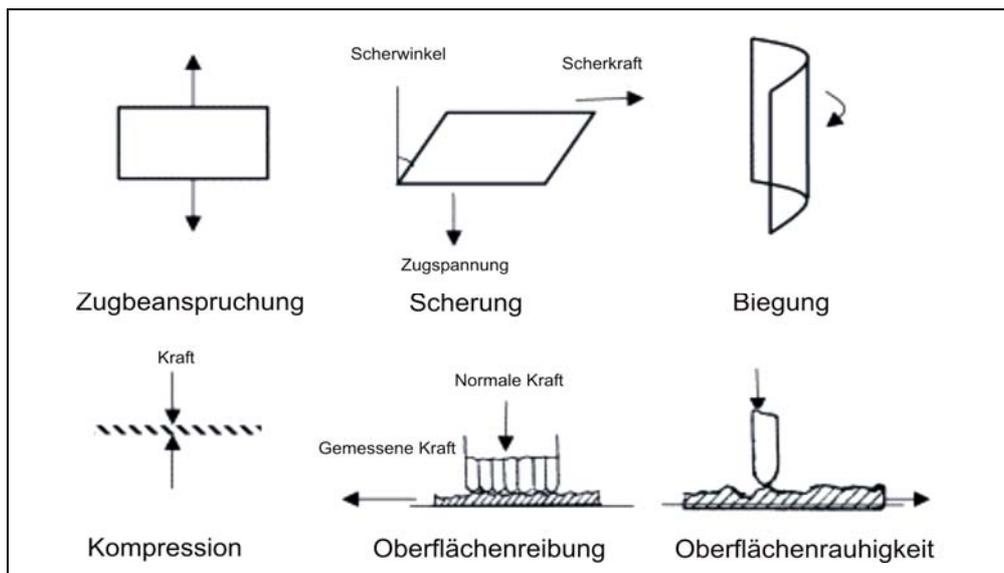


Abb. 2.1: Prinzipien der Versuchsdurchführung nach KAWABATA [SHI 89]

Hinzu kommt das System der Griffnoten. Es besteht darin, dass alle Materialeigenschaften mit Hilfe spezieller Transformationsgleichungen unter Einbeziehung von Regressionskonstanten in Noten (von 0 bis 10) für definierte, sogenannte primäre Griffausdrücke zusammenfasst werden.

Das FAST-Meßgerätesystem

Das FAST-System (Fabric Assurance by Simple Testing) wurde in Australien von CSIRO entwickelt und dient zur Bestimmung der Eigenschaften von Wollegeweben.

Das komplette FAST-System besteht aus:

- FAST-1: Kompressionseigenschaften,
- FAST-2: Biegesteifigkeitseigenschaften (Cantilever-Verfahren),
- FAST-3: Dehnungseigenschaften.

In dieser Arbeit wird die Biegesteifigkeit nach dem Cantilever-Verfahren, welches Bestandteil des FAST-Systems und Inhalt der DIN 53362 ist, bestimmt.

Peirce beschreibt (1930) [ZHO 98/2], [PEI 30] ein Gerät für die Messung des Winkels, durch den ein Probekörper sich biegt, wenn eine definitive Länge über einen geraden Rand gehalten wird. Ausgehend von diesem Winkel hat er den Begriff Überhanglänge des Materials geprägt. Das Peirce's-Cantilever-Gerät-Prinzip wird in Abbildung 2.2 gezeigt [KAL 83], [KAL 84].

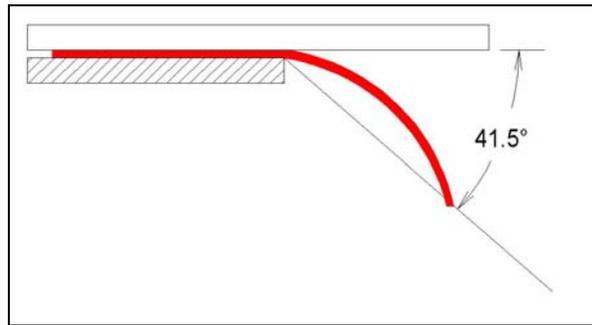


Abb. 2.2: Prinzip des Peirce's-Cantilever-Gerätes

Berechnung der Biegesteifigkeit

Das einfachste Verfahren zur Ermittlung der Biegesteifigkeit eines Flächengebildes ist das Freitragerverfahren, auch als Cantilever-Verfahren bezeichnet.

Die Biegesteifigkeit B ist ein Maß für den Widerstand, den das textile Flächengebilde dem Biegemoment bei einer bestimmten Krümmungsänderung entgegensetzt [FIS 97].

Aus den Beziehungen der technischen Mechanik für einen einseitig eingespannten Biegebalken erfolgt die Biegesteifigkeitsberechnung. Da Textilien keine starren Körper sind, können diese Beziehungen nur zur näherungsweise Berechnung der Biegesteifigkeit von textilen Flächen eingesetzt werden.

Die Überhanglänge ist eine Funktion der Biegesteifigkeit. Für die Biegesteifigkeit gilt:

$$B = F_l * \left(\frac{l_u}{2}\right)^3. \quad (2.1)$$

Dabei ist:

B Biegesteifigkeit in $\text{mN} \cdot \text{cm}^2$,

F_l Längengewichtskraft ($F_l = g_n * \frac{m}{l}$) in mN/cm ,

l_u Überhanglänge in cm ,

m Masse des Probekörpers in g ,

l Länge des Probekörpers in cm ,

g_n Fallbeschleunigung in m/s^2 .

Anstelle der Biegesteifigkeit B kann auch oder zusätzlich die breitenbezogene Biegesteifigkeit G angegeben werden:

$$G = \frac{F_l}{b} * \left(\frac{l_{\ddot{u}}}{2}\right)^3. \quad (2.2)$$

Die Bestimmung der Biegesteifigkeit nach diesem Verfahren (DIN 53362) erfolgt mittels eines einfachen Gerätes (Abb. 2.3). Auf der waagerechten Auflagefläche ist ein verschiebbarer starrer Metallmaßstab (Schieber) angebracht, dessen Oberseite mit einer Skale versehen ist. Deren Einteilung ermöglicht es, dass die Überhanglänge des Probekörpers in Einheiten je 0,5 mm direkt abgelesen werden kann.

Auf den beiden durchsichtigen Seitenflächen des Gerätes sind zwei, um 41,5 ° zur Waagerechten geneigte Linien, welche die obere Vorderkante der Auflagerfläche schneiden, eingeprägt [DIN 00], [REU 00].

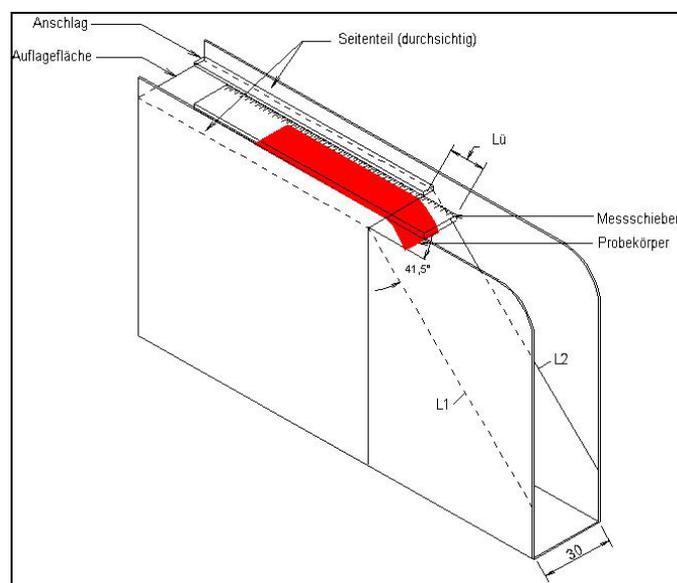


Abb. 2.3: Manuelles Cantilever-Prüfgerät nach dem Freitragerverfahren [lt. DIN 53362]

2.2.2 Bestimmung der Drapierbarkeit

Bei der Herstellung von Bekleidung sollen aus nahezu zweidimensionalen Stoffen dreidimensionale Bekleidungsartikel mit glatter Oberfläche, faltenlosen Rundungen (z. B. im Schulterbereich) und ungekräuselten Nähten entstehen. Hierbei sind die Scher-, Biege- und Zugdehnungseigenschaften des Materials entscheidend [KRZ 00/2]. Hu [HU 98/1] definiert, dass die signifikanten Materialparameter für das Fallverhalten nicht nur die Biegesteifigkeit, die Schersteifigkeit und die Flächenmasse sind, sondern auch die mittlere Abweichung des Reibungskoeffizientes (MMD) sowie die Linearität der Belastungskurve (LT) sind. Sie versucht einen Zusammenhang zwischen dem Fallkoeffizient und allen mechanischen Eigenschaften, die mit dem KES-F-System gemessen werden können, zu ermitteln.

Der Stofffall (textiler Fall, engl.: „Drape“) ist die Verformung eines textilen Flächengebilde, die durch das Eigengewicht des Stoffes und ohne äußere Kräfte hervorgerufen wird. Das Flächengebilde verformt sich dabei mehrdimensional in Form einer doppelt gekrümmten Fläche. Durch die Fähigkeit, sich durch Deformation wiederholt in verschiedenartige, gerundete Formen zu legen, unterscheiden sich Textilien deutlich von anderen Flächengebilden wie z. B. Papier.

Das Verhalten eines Stoffes gegenüber dreidimensionaler Verformung wird zusammenfassend als Drapierverhalten, die Summe der haptischen Sinneseindrücke üblicherweise als Warengriff, kurz Griff, bezeichnet [KRZ 00/2].

Um die materialspezifischen Eigenschaften für die Simulation eines Bekleidungsproduktes zu berücksichtigen, muss das Umformverhalten (Fallverhalten) der textilen Flächen modelliert werden. In der Bekleidungsindustrie hat der textile Fall eine besondere Bedeutung, da hier ein textiles Material traditionell nach ästhetischen Gesichtspunkten, die durch das Fallverhalten des Stoffes wesentlich bestimmt werden, beurteilt wird. Es ist deshalb wichtig, ihn quantitativ bewerten und darstellen zu können [KRZ 00/1], [DZI 05].

Bei heutigen, aus der Literatur bekannten Lösungen, wird das Fallverhalten der Stoffe häufig mit der Methode der Finite Elemente (FEM) beschrieben. Diese Vorgehensweise führt bei der Lösung zu numerischen Problemen, da die Dehnsteifigkeitswerte der Gewebe sehr viel größer als die Biegesteifigkeitswerte sind [KRZ 98]. BREEN [BRE 94] und HOUSE [HOU 96] entwickelten ein Partikel-Modell für die Simulation der Drapierbarkeit textiler Flächengebilde. Unter Nutzung der FEM-Methode hat sich SCHENK [SCHE 96] mit der Berechnung des Faltenwurfes textiler Flächengebilde beschäftigt. Die Fallkenngrößen zur umfassenden Charakterisierung des Fallbildes wurden von FISCHER [FIS 97] ermittelt.

CHEN [CHE 96] hat die wichtigsten mechanischen Materialparameter, welche die Simulation des Fallverhaltens beeinflussen können, untersucht. Er hat festgestellt, dass der E-Modul, der Scher-Modul und die Dicke die Modellierung des Drapierverhaltens von Stoffen in unterschiedlichem Ausmaß beeinflussen, auch wenn die Fallkoeffizienten dieser Stoffe gleich sind.

Es wird herausgefunden, dass ein hoher Fallkoeffizient eine kleine Deformation anzeigt, während ein kleiner Fallkoeffizient große Deformationen und mehr Falten [RÖD 98] markiert. Wesentlich für die Charakterisierung des Fallverhaltens sind weiterhin die Anzahl, die Lage und die Form der Falten. Für die objektive Bewertung des Fallverhaltens ist die Ermittlung des Fallkoeffizienten durch die Falluntersuchung möglich [SCHE 96], [KRZ 00/2].

Beschreibung des Fallverhaltens

Das Fallverhalten einer textilen Fläche kann durch den standardisierten Fallversuch nach DIN 54 306 bestimmt werden. Zur Untersuchung des Fallverhaltens wurden in den vergangenen Jahrzehnten verschiedene Verfahren und Geräte entwickelt. Als Prüfgerät dient das von CHU und CUSICK entwickelte Drapemeter [CHU 60], [CUS 65], [CUS 68]. Der prinzipielle Versuchsaufbau ist in Abbildung 2.4 dargestellt.

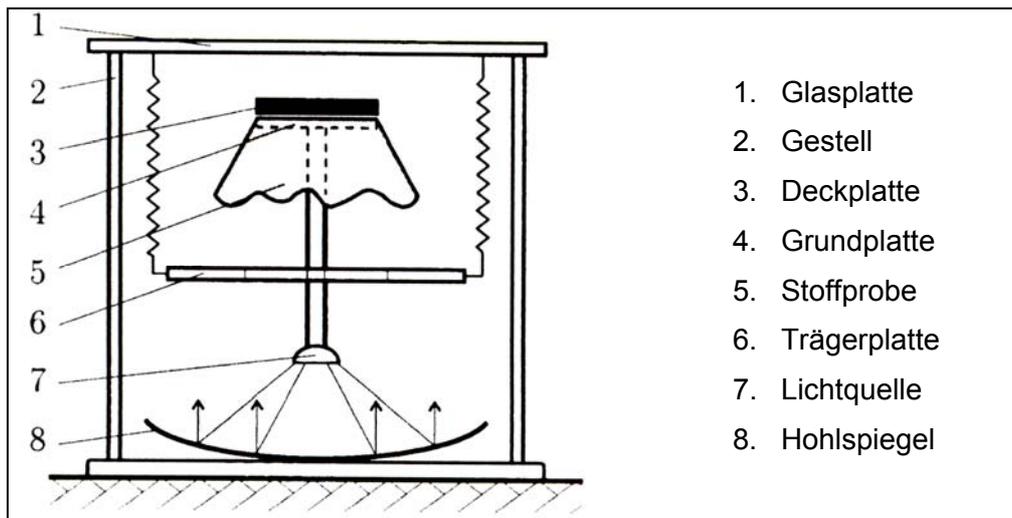


Abb. 2.4: Versuchsaufbau der Falluntersuchung [KRZ 00/2]

Das Prüfgerät besteht aus zwei runden, horizontal positionierten Platten (3, 4), zwischen denen die runde Messprobe auf die Trägerplatte gelegt wird. Durch das Absenken der Trägerplatte kann der überhängende Stoff herunterfallen und sich in Falten legen. Als Ergebnis kann die Projektion der Draufsicht des Fallbilds abgenommen werden, welches die Grundlage für die Berechnung des Fallkoeffizienten ist [SCHE 96], [FIS 97], [KRZ 00/2].

Die Durchführung des Fallversuchs ist mit drei verschiedenen Probendurchmessern zu je 24 cm, 30 cm und 36 cm möglich. Für Prüfungen an Oberbekleidungsstoffen hat sich eine Probegröße von 30 cm als geeignet erwiesen, da ausreichend differenzierbare Fallbilder entstehen und die zur Prüfung notwendigen Materialmengen noch vertretbar sind. Für Vliesstoffe wird eine Probegröße mit einem Durchmesser von 36 cm empfohlen [DIN 98].

Auswertungsverfahren

Die Fläche des projizierten Fallbildes ist charakteristisch für das Fallvermögen der Messprobe und bildet die Grundlage zur Berechnung des Fallkoeffizienten. Zur Ermittlung des Fallkoeffizienten F nach CUSICK [CUS 65], [CUS 68] werden die Fläche der deformierten Stoffprobe A_s und der undeformierten Stoffprobe A_D sowie die Flä-

che der Trägerplatte A_d nach folgender Formel ins Verhältnis gesetzt (Abb. 2.5) [VAN 93]:

$$F = \frac{(A_s - A_d)}{(A_D - A_d)}, \quad (2.3)$$

wobei:

F - Fallkoeffizient,

A_D - Fläche der Probe
(Durchmesser D),

A_d - Fläche der Trägerplatte
(Durchmesser d),

A_s - projizierte Fläche der verformten
Fläche

sind.

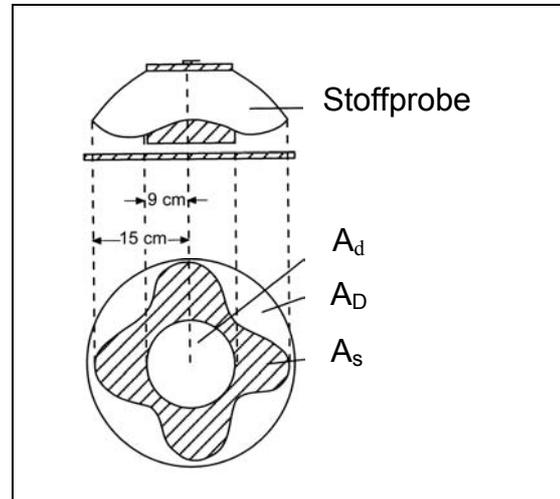


Abb. 2.5: Auswertung der Falluntersuchung [VAN 93]

Der Fallkoeffizient liegt zwischen 0 und 1. Ein Wert nahe 1 bedeutet eine kleine Verformung der Stoffprobe und somit ein steifes Material. Umgekehrt zeigt ein weicher Stoff immer einen kleinen Fallkoeffizienten und größere Anzahl von Wellenbergen und -tälern. Gleichzeitig können Aussagen über die Faltenbildung nach der Form, der Anzahl und der Lage der Wellen bezüglich Kett- und Schussrichtung getroffen werden. Die Information von der Faltenbildung ist notwendig, um verschiedene Materialien zu unterscheiden, die trotz ihres unterschiedlichen Fallverhaltens den gleichen Wert des Fallkoeffizienten haben. Das verdeutlicht, dass der Fallkoeffizient allein zur Beschreibung des Fallverhaltens nicht ausreichend ist (Abb. 2.6) [SCHE 96].

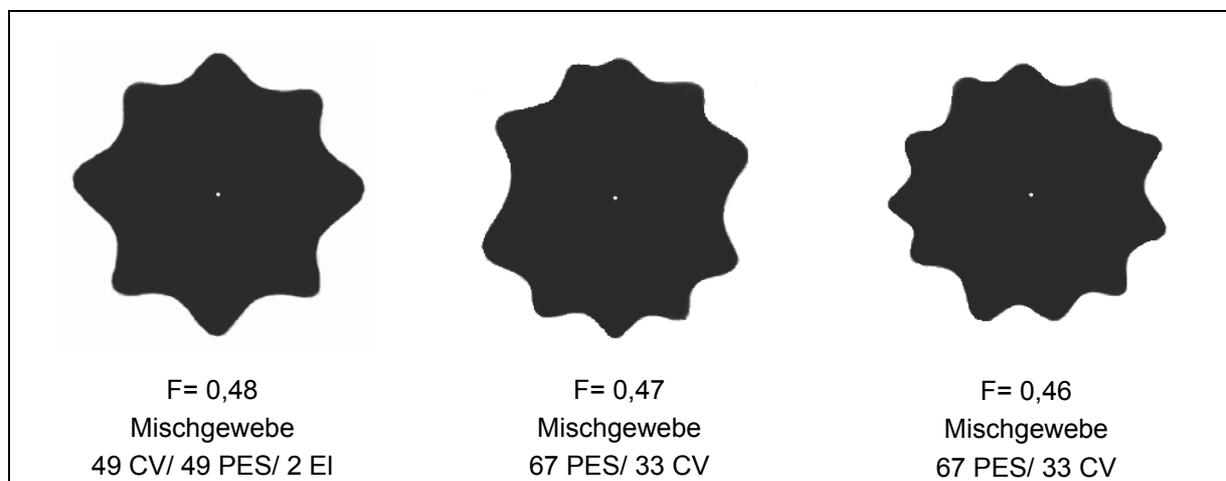


Abb. 2.6: Fallbilder unterschiedlicher Materialien

Die Ermittlung, der zur Berechnung des Fallkoeffizienten benötigten Flächen, ist nach folgenden Methoden möglich:

- 1- Ausschneidemethode,
- 2- Planimetriermethode,
- 3- Auswertung über Bildpixelanzahl und
- 4- Auswertung durch Fourieranalyse.

Der Vorteil der Methode der Fourieranalyse liegt im Erhalten von zusätzlichen Kenngrößen zur Charakterisierung der Fallkonfiguration der textilen Fläche, wie die Anzahl der Falten und die Faltenform [SCHE 96], [FIS 97], [KRZ 00/2].

3 Auswahl der Nähte für eigene Untersuchungen

Zum Verbinden der zugeschnittenen Stoffteile eignet sich vorzugsweise das Nähen als das textiltypische Verbindungsverfahren, welches durch die Schweißtechnik und die Klebetechnik partiell ergänzt werden kann [RÖD 95].

Die Ziele des Nähprozesses können in folgenden Punkten zusammengefasst werden:

- Verbinden mehrerer Stoffteile miteinander,
- Verbinden eines Stoffteiles mit sich selbst,
- Befestigung der Stoffteilkanten durch Umstechen und
- Verzieren des Stoffteiles mit einer Naht.

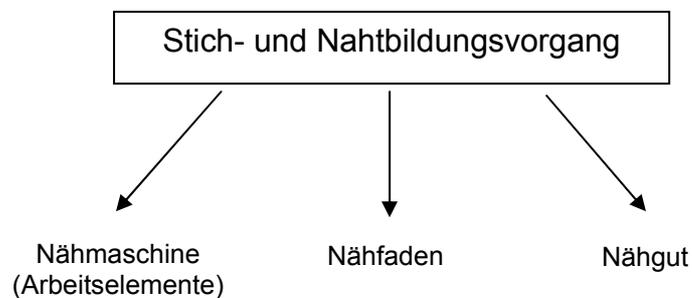


Abb. 3.1: Nahtbildungsvorgang [ARNO]

Für die Bildung eines Stiches/einer Naht sind die drei Komponenten (Abb. 3.1) notwendig.

3.1 Bestimmung der Nähstichtypen

Nach DIN 61 400 und ISO 4915 ist der Nähstich das Element einer Fadenlegung, gebildet aus einem Faden oder mehreren Fäden oder Fadenschleifen, welche mit sich selbst oder miteinander verkettet, verschlungen oder durch das Nähgut geführt sind. Ein Nähstich kann gebildet werden:

- ohne Nähgut,
- innerhalb des Nähgutes,
- durch das Nähgut hindurch oder
- auf dem Nähgut.

Varianten der Verbindung der Flächen in einem Stich werden in Abbildung 3.2 gezeigt.

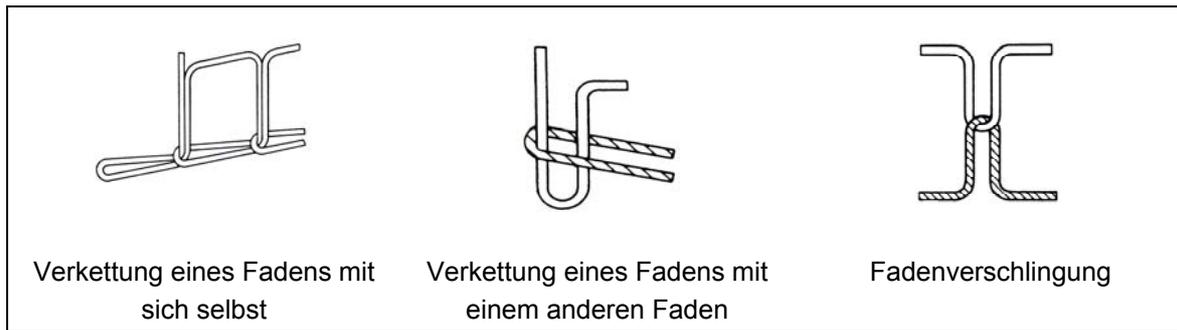


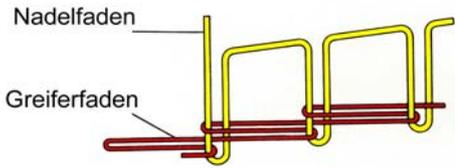
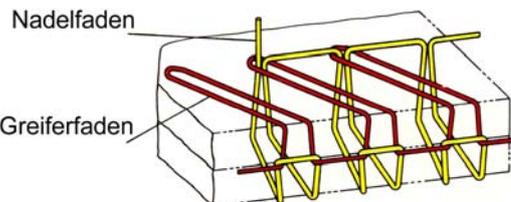
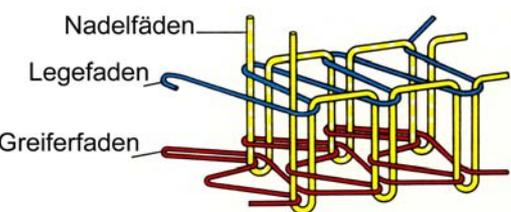
Abb. 3.2: Varianten der Verbindung der Flächen in einem Nähstich [DIN 88/1]

Stichtypen

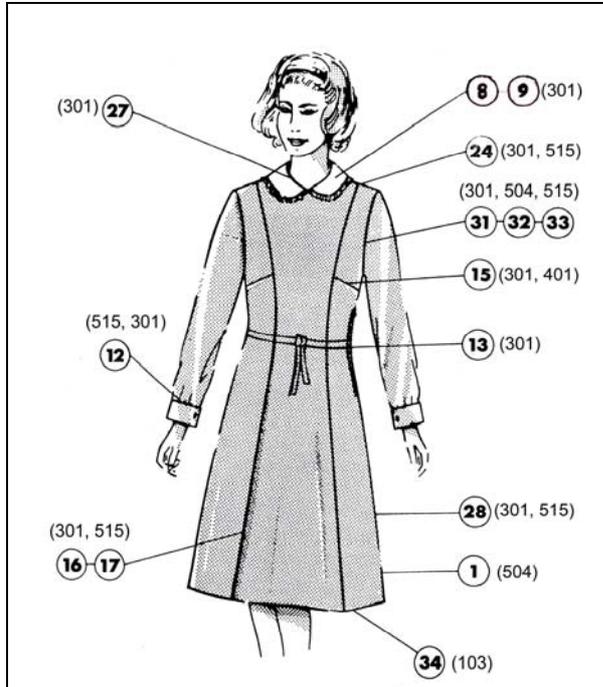
In der Nähmaschinenteknik werden nach einem internationalen Katalog sechs Stichtypenklassen unterschieden, die in der DIN 61400 aufgeführt sind. Die verschiedenen Stichtypenklassen sind in Tabelle 3.1 dargestellt [DIN 88/1], [ELB 91].

Tabelle 3.1: Stichtypenklassen

Bezeichnung	Merkmale und Einsatz
<p>Klasse 100 Einfachkettenstichtypen (EKST)</p> <p>Stichtyp 101</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Jede Fadenschlinge wird von der nachfolgenden Fadenschlinge desselben Fadens verkettet. - Ober- und Unterseite der Naht haben unterschiedliches Aussehen. - Die Stichtart lässt sich leicht vom letzten zum ersten Stich der Naht lösen. - Die Naht ist im Allgemeinen elastisch. - Reih- und Hefnähte sind besondere Einsatzgebiete.
<p>Klasse 200 Einfachsteppstichtypen (EST)</p> <p>Stichtyp 209</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Der gesamte Fadenvorrat muss durch das Nähgut hindurchgeführt werden. - Der Faden wird durch das Nähgut gehalten. - Die Bewegung der Nadel kann von Hand oder von Maschine ausgeführt werden. - Dieser Stichtyp ist besonders zum Kantendurchnähen geeignet.
<p>Klasse 300 Doppelsteppstichtypen (DST)</p> <p>Stichtyp 301</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Diese Stichtypen werden aus zwei Fadensystemen hergestellt. - Die von der Nadel in das Nähgut eingebrachte Fadenschlinge wird mit einem zweiten Faden verbunden. - Ober- und Unterseite der Naht haben gleiches Aussehen. - Die Naht ist schwer lösbar und hat im Allgemeinen geringere Elastizität als Kettenstichnähte. - Sie ist die universellste Nahtart.

Bezeichnung	Merkmale und Einsatz
<p>Klasse 400 Doppelkettenstichtypen (DKST)</p>  <p>Stichtyp 401</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Diese Stichtypen werden aus zwei Fadensystemen hergestellt. - Schlingen des ersten Fadensystems werden mit Hilfe der Nadel durch das Nähgut geführt und durch einen Greifer mit den Schlingen eines zweiten Fadensystems verkettet. - Ober- und Unterseite der Naht haben unterschiedliches Aussehen. - Naht ist leicht lösbar und im Allgemeinen elastisch. - Einsatzgebiete sind elastische Verbindungsnahte, Nähte in Maschenwaren, Gesäßnähte und glatt zu verarbeitende Nähte (Seitennähte).
<p>Klasse 500 Überwendlichkettenstichtypen (ÜKST)</p>  <p>Stichtyp 503</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Diese Stichtypen werden aus einem oder mehreren Fadensystemen hergestellt. - Schlingen eines Fadensystems werden durch das Nähgut geführt und durch Verkettung mit sich selbst oder einem anderen Fadensystem befestigt. - Mindestens ein Fadensystem wird dabei um die Kante des Nähgutes geführt. - Je nach Stichtyp haben die Überwendlichstiche die Aufgabe, offene Schnittkanten von Web- und Maschenwaren durch Umlegen zu versäubern und/oder zu verbinden.
<p>Klasse 600 Überdeckkettenstichtypen</p>  <p>Stichtyp 602</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Diese Stichtypen werden aus drei Fadensystemen hergestellt. - Mehrere Schlingen des ersten Systems werden durch Schlingen des dritten Systems, das bereits über das Nähgut gelegt ist, geführt. - Die Schlingen des ersten Systems werden dann durch das Nähgut geführt und mit den Schlingen des zweiten Systems an der Unterseite des Nähgutes verkettet. - Spezielle Flachnähte vor allem an Maschenwaren sind besondere Einsatzgebiete.

Häufige Nähstiche für DOB in der Bekleidungsindustrie sind in Abbildung 3.3 dargestellt. Die Zahlen in der Abbildung sprechen die Nähmaschinennummern in diesem Katalog [PFAFF].



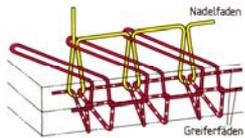
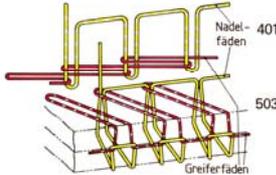
- Doppelstepstich (301)
- Doppelkettenstich (401)
- Überwendlichkettenstich (504)
- Sicherheitsstich (Safety-Naht) (515)

Abb. 3.3: Beispiel für angewendete Stichtypen an einem Kleid [PFAFF]

Die Darstellungen des Nahtbildes und des Nahtsymbols sowie die Berechnung des Fadenverbrauches für diese Nähstiche werden in Tab. 3.2 gezeigt.

Tabelle 3.2: Häufig verwendete Nähstichtypen in der Bekleidungsindustrie für DOB [DIN 88/1], [ELB 91], [SCH 93], [AMANN].

Stichtyp	Bezeichnung, Stichbild	Nahtsymbol	Nahtbild	Fadenverbrauch
301		Fadenverschlingung Nähgutmitte Nähgutoberseite Nähgutunterseite		$\frac{2 * \text{Stichlänge} + 2 * \text{Nähgutstärke}}{\text{Summe} * \text{Stichzahl (pro m)}}$
401				$\frac{4 * \text{Stichlänge} + 2 * \text{Nähgutstärke}}{\text{Summe} * \text{Stichzahl (pro m)}}$

Stichtyp	Bezeichnung, Stichbild	Nahtsymbol	Nahtbild	Fadenverbrauch
504				$3 \cdot \text{Stichlänge}$ $2 \cdot \text{Nahtbreite}$ $6 \cdot \text{Nähgutstärke}$ $+ 2 \cdot \text{Überdecklänge}^1$ $\text{Summe} \cdot \text{Stichzahl (pro m)}$
515 (401.503)				$2 \cdot \text{Stichlänge}$ $2 \cdot \text{Nahtbreite}$ $4 \cdot \text{Nähgutstärke}$ $+ 2 \cdot \text{Überdecklänge}^1$ $401 + \text{Summe} \cdot \text{Stichzahl (pro m)}$

3.2 Bestimmung der Nähnahtarten

Nähnahtart

Nach der Herstellung lassen sich Nähnähte anhand bestimmter Parameter unterscheiden und in Nähnahtarten zusammenfassen, so beispielsweise nach:

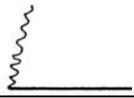
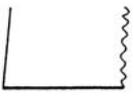
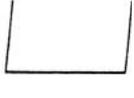
- der Funktion (Verbindungs-, Versäuberungs-, Befestigungs- oder Verzierungsnaht),
- der Art ihrer Herstellung
 - Nähfadenverschlingung oder Nähfadenverkettung (Nähstichart) im Nähgut (Doppellsteppstich- oder Doppellkettenstich),
 - spezieller Nähfadenlegung im Nähgut (Überwindlich- oder Blindnähnaht),
- der Anordnung der Nähstiche im Stichtyp (Linien- oder Zickzacknaht),
- der Anzahl der Nähnähte (Einfach-, Doppel-, Dreifach- oder Mehrfachnähnaht),
- der Lage der Nähnaht im Kleidungsstück (Rückenmittel-, Seiten-, Schritt-, Ärmel-, Gesäß-, oder Spiegelnaht) sowie
- nach der Nähgutlegung im Nähnahtbereich (Kapp-, Überlapp- oder Stumpfnaht) [MOS 91].

Die Nähnahtart nach DIN ISO 4916 ist eine Aneinanderreihung von Nähstichtypen in einer oder mehreren Nähgutlagen. Sie sind in acht Klassen eingeteilt, bezogen auf

¹ Überdecklänge = $\sqrt{\text{Stichlänge}^2 + \text{Nadelabstand}^2}$

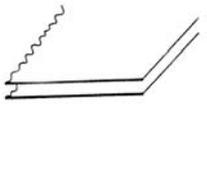
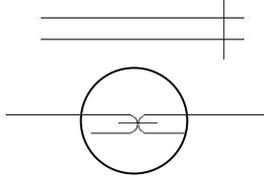
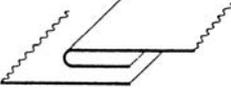
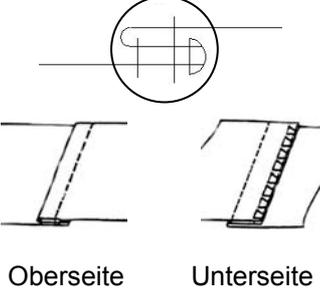
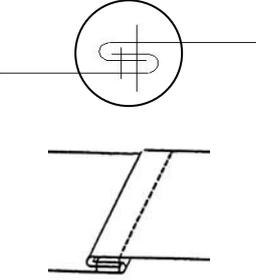
die Arten von Nähgutteilen und deren Mindestanzahl in der Nähnaht. Die Merkmale jeder Klasse sind in Tabelle 3.3 dargestellt [DIN 88/2].

Tabelle 3.3: Einteilung von Nähnahtarten [DIN 88/2]

Bestandteil	Klasse							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	2 oder mehr	1 oder mehr	1 oder mehr	1 oder + mehr	1 oder mehr			-
	-	1 oder mehr	-	In der selben horizontalen Ebene	0 oder mehr	1	1	-
	-	-	-	-	1 oder mehr	-	-	-
	0 oder mehr	0 oder mehr	1 oder mehr	0 oder mehr	0 oder mehr	-	1 oder mehr	1 oder mehr
Mindestanzahl der Bestandteile	2 oder mehr	2 oder mehr	2 oder mehr	2 oder mehr	1 oder mehr	1	2 oder mehr	1 oder mehr
Grundlegende Nähgutanord- nung								

Für die Modellierung eines Bekleidungsproduktes sind die Untersuchungen der angewendeten Nähte sehr wichtig. Da die Dicke des Nahtbereiches bei der Modellierung eine sehr wichtige Rolle spielt besonders in Abhängigkeit von der Anzahl der Lagen im Nahtbereich, werden die in Tabelle 3.4 dargestellten Nähte für die Untersuchungen ausgewählt.

Tabelle 3.4: Ausgewählte Nähte für die Untersuchung

Nähgutanordnung	Lage der Nadeleinstiche oder/der Nadeldurchstiche	Anzahl der Lagen im Nahtbereich	Verwendete Stichtypen	Numerische Bezeichnung und Handelsname
		2	DST (301) oder DKST (401)	1.01.01 Verbindungsnaht oder Schließnaht
		3	Safety-Naht (503+401) und Stich 301	2.02.04 Sicherheitsnaht oder Safety-Naht
		4	Stich 301	2.04.05 Doppelkappnaht

Einsatzgebiete der untersuchten Nähte

a) Verbindungsnaht

Alternativ wird diese Nahtart auch Schließnaht genannt. Der Ausdruck Schließnaht ist vornehmlich in Gebrauch für Verbindungsnahte, welche die Hauptnähgutteile eines Kleidungsstückes verbinden, so z. B.:

- Seitennaht,
- Schrittnaht,
- Schulternaht,
- Rückenmittelnah,
- Abnähernaht und

- Ärmelnaht.

b) Sicherheitsnaht/Safety-Stich-Naht

Diese Nahtart findet ihre Anwendung z. B. für:

- Kleider,
- Blusen,
- Oberhemden,
- Taschenbeutel,
- Strand- und Badekleidung,
- Arbeitskleidung,
- Kleidung aus gestrickter oder gewirkter Ware und
- allgemein bei Materialien, die leicht zum Kräuseln neigen.

c) Kappnaht

Der Begriff Kappnaht bezeichnet eine Naht mit einer Nähgutlegung, bei der die jeweils gleichmäßig umgelegten Nahtzugaben symmetrisch ineinander gesteckt sind. Offene Nähgutkanten sind dadurch gegen Lösen gesichert. Die Kappnaht zeichnet sich durch eine höhere Belastbarkeit gegenüber Gebrauchsbeanspruchungen aus. Einsatzgebiete sind beispielsweise:

- Berufsbekleidung und
- sportliche Kleidung [MOS 91].

3.3 Berücksichtigung von Nähten bei der Simulation

Aussehen und Komfort eines Kleidungsstückes sind nicht nur abhängig von den verschiedenen mechanischen Eigenschaften des Stoffes, sondern auch von den Nähten. Es ist unrealistisch, das Aussehen eines Kleidungsstückes vorauszusagen, ohne den Einfluss der Nähte und der Montagethoden des Gewebes in die Simulation einzubeziehen [HU 97]. Kenngrößen wie Biegesteifigkeit und Dicke der Naht sind sehr wichtig und haben einen großen Einfluss auf den Tragekomfort der Kleidung.

In den letzten Jahren hat sich im Zusammenhang mit dem Bestreben, CAD-Systeme in der Bekleidungsindustrie einzuführen, die Untersuchung der Drapierbarkeit von Stoffen als Forschungsschwerpunkt herauskristallisiert. Studien über den Einfluss der Nähte auf die Materialeigenschaften sind bisher nur in begrenzter Anzahl vorhanden. Erste Versuche, den Einfluss der Nähte auf die Drapierbarkeit und Biegesteifigkeit eines Stoffes zu ermitteln, sind von HU, CHUNG und LO [HU 97] unternommen

worden. Der jeweilige Zusammenhang zwischen der Drapierbarkeit des Gewebes und der Nahtzugabe, Nahtposition und Nahtrichtung ist anhand der Begriffe Fallkoeffizient, Überhanglänge und Drapeprofil untersucht worden.

Zur Bestimmung der Biegesteifigkeit werden zwei Probestellen mit unterschiedlichen Nahtzugaben untersucht. Eine parallel zur Biegeachse verlaufende Naht wird als *horizontale Naht*, eine senkrecht zur Biegeachse verlaufende Naht als *vertikale Naht* (Abb. 3.4) bezeichnet.

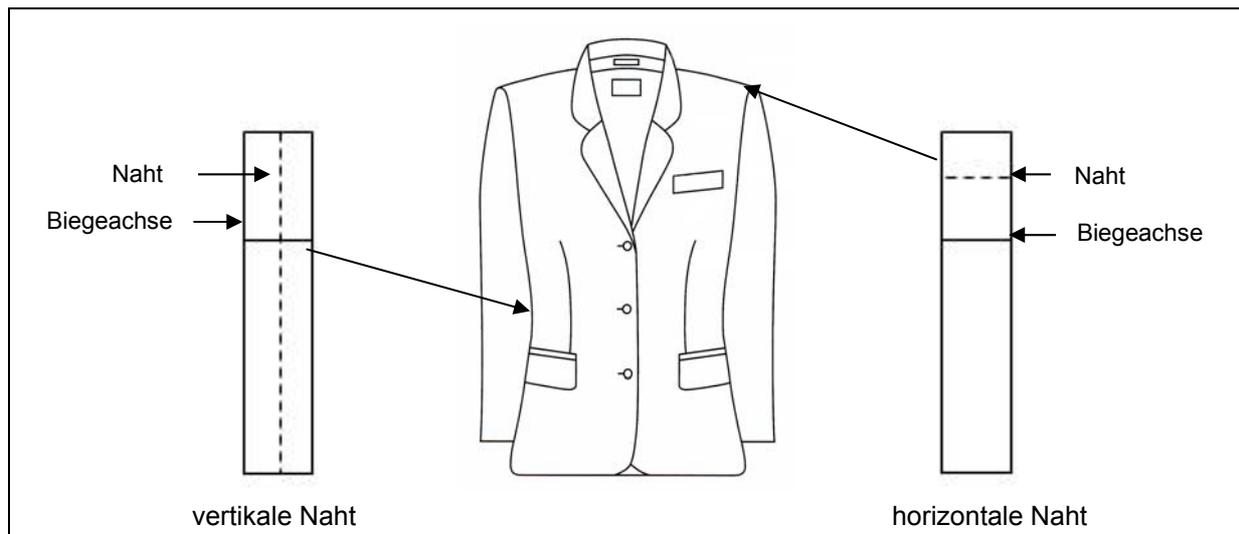


Abb. 3.4: Lage der Naht in einem Bekleidungsprodukt [ADLER]

HU und CHUNG stellten fest, dass die Biegesteifigkeit des Stoffes ohne Naht immer niedriger als die Biegesteifigkeit der vertikalen Naht ist. Bei der horizontalen Naht stimmt das Ergebnis nicht immer. Die Überhanglänge eines Stoffes mit vertikaler Naht ist immer höher als die Überhanglänge eines Stoffes mit horizontaler Naht. Ein Mangel der Untersuchung besteht u.a. in der Uniformierung der Proben durch die Beschränkung auf nur eine Naht (Doppelsteppstich) bzw. eine Nahtposition (mittig).

Zur Bestimmung des Fallkoeffizienten und des Fallbildes von genähten Proben werden einzel- und doppeltgekreuzte Nähte (Doppelsteppstich) mit verschiedenen Nahtzugaben untersucht. Dabei wird festgestellt, dass der Fallkoeffizient zunächst im Verhältnis zur Nahtzugabe zunimmt, dann jedoch mit Zunahme der Nahtzugabe wieder abnimmt. Von den Versuchsergebnissen kann auch abgeleitet werden, dass die Bildung der Wellenorientierung des Fallbildes mit der Nahtrichtung abzustimmen ist.

Weiterführende Untersuchungen mit Radialnähten, eine Naht in Kett- oder Schussrichtung, zwei Nähte in Kett- und Schussrichtung und vier Nähte in Kettrichtung, Schussrichtung, 45° und 135° mit verschiedenen Nahtzugaben, mit kreisförmigen Nähten mit unterschiedlichen Radien und einer konstanten Nahtzugabe werden von HU [HU 98/2] durchgeführt.

Im Allgemeinen erhöht sich der Fallkoeffizienten mit der Addition einer Naht. Der Einfluss von einzelnen und doppelten Radialnähten auf das Gewebe, welches ein leichtes Flächengewicht hat, ist gering. Die Zunahme des Fallkoeffizienten im Fall von vier Radialnähten ist verhältnismäßig und stabil im Vergleich zum Fallkoeffizient bei nur einer oder zwei Nähten. Generell hat die Anzahl der Radialnähte einen großen Einfluss auf den Fallkoeffizienten und auf das Fallbild von den Materialien, die höhere Flächengewichte haben, jedoch nur einen geringen Effekt auf selbige bei Materialien, die ein leichtes Flächengewicht haben.

Bei kreisförmigen Nähten ist der Fallkoeffizient am höchsten, wenn sich die Naht außerhalb des Bereichs der Grundplatte befindet. Der niedrigste Fallkoeffizient bei kreisförmigen Nähten wird ermittelt für den Fall, dass die Naht direkt an der Kante der Probe liegt.

Eine andere Studie hat CHU [CHU 98] durchgeführt, um den Effekt der vertikalen Naht auf den Biegemoment des Probekörpers zu erklären.

Es wird festgestellt, dass die Zunahme der Biegesteifigkeit, die eine vertikale Naht verursacht, mit der Zunahme der Dicke (t) und der Zunahme der Nahtzugabe (s) zusammen hängt. Die Erhöhung des Biegemomentes hängt direkt mit dem erhöhten Flächenträgheitsmoment (I) zusammen.

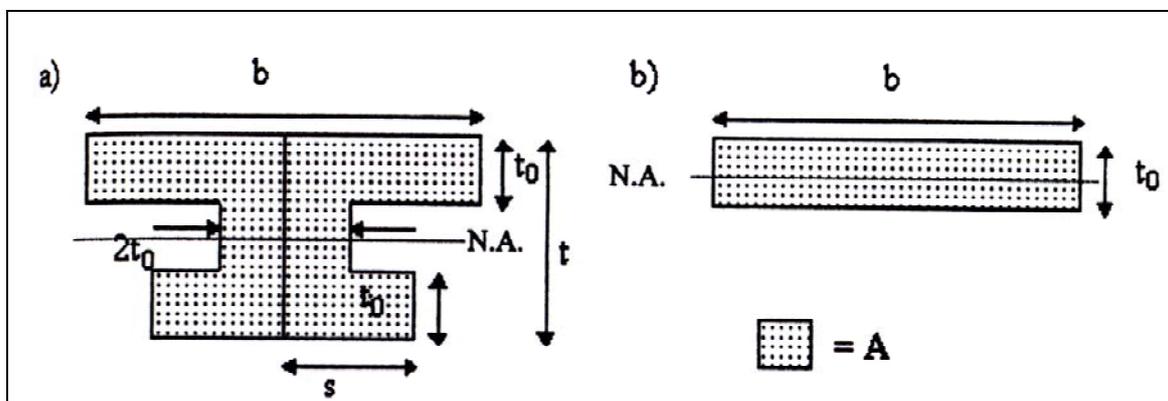


Abb. 3.5: Systemmodell und Querschnittsbereiche eines Gewebes mit vertikaler Naht, b) ohne Naht [HU 00]

HU hat diesen Schwerpunkt weiter erforscht [HU 00] und die folgenden Annahmen (Abb. 3.5) werden in der Studie definiert und in den Gleichungen (3.1) bis (3.5) zusammengefasst:

- b - Probenbreite,
- s - Nahtzugabe,
- t_0 - Dicke des Stoffs ohne Naht,
- t - Dicke des Stoffs mit Naht,

A - Querschnittsbereich und

N.A. - Nulllinie.

Der Effekt des Flächenträgheitsmomentes (Flächenmoment 2. Grades) auf die Biegesteifigkeit des Stoffes mit Naht kann wie folgt definiert werden:

$$I_{\text{Naht}} = 1/3 [b (t - y)^3 - (b - 2t_0) (t - t_0 - y)^3 + 2sy^3 - 2(s - t_0) (y - t_0)^3], \quad (3.1)$$

wobei y der Abstand zwischen der Nulllinie und der Gewebeoberfläche ist und nach folgender Gleichung berechnet werden kann:

$$y = \frac{t_0 (2s - 4t - b) + 2t (t + b)}{2 (2s + 2t - 4t_0 + b)}. \quad (3.2)$$

Aus den Ergebnissen der Studie kann der Zusammenhang zwischen der Biegesteifigkeit und dem Flächenträgheitsmoment nach dem folgenden Verhältnis

$$B = \beta \sqrt{I_{\text{Naht}}} \quad (3.3)$$

festgestellt werden, wobei:

B - Biegesteifigkeit des Stoffes mit Naht,

β - Konstante, bezogen auf den E-Modul und

I_{Naht} - Flächenträgheitsmoment des Stoffes mit vertikaler Naht

sind. Es ist bekannt, dass die Biegesteifigkeit eine Funktion der Überhanglänge ist und nach folgender Gleichung berechnet werden kann:

$$B = m_A \cdot (l_{\bar{u}})^3, \quad (3.4)$$

wobei:

B - Biegesteifigkeit,

m_A - Flächengewicht und

$l_{\bar{u}}$ - Überhanglänge.

Mit Gl. (3.3) und Gl. (3.4) lässt sich die Überhanglänge des Stoffes mit Naht nach folgender Gleichung berechnen:

$$l_{\bar{u}} = (\beta / m_A)^{1/3} \times I_{\text{Naht}}^{1/6}. \quad (3.5)$$

Diese Berechnungen werden im Kapitel 7 zur Bewertung eigener Versuche genutzt.

Eine sehr wichtige Studie zur Auswertung der Nahtsteifigkeiten ist von MASTEIKALTE [MAS 97] durchgeführt worden. Im Rahmen dieser Studie werden der

Doppelstepstich und der Doppelkettenstich mit verschiedenen Nahtarten untersucht. Die Ergebnisse dieser Studie sind mit den Ergebnissen der Studien von HU übereinstimmend. Dazu kommt die Erkenntnis, dass je steifer der Stoff ist, desto mehr steigert sich die Nahtsteifigkeit, insbesondere wenn mehr als zwei Lagen im Nahtbereich vorhanden sind. Mehr Nähte verursachen auch eine Erhöhung der Nahtsteifigkeit.

Weitere Studien stammen von UCAR [UCA 04] und SHARMA [SHA 05]. UCAR untersuchte das Fallverhalten von Maschenwaren mit Nähten, während sich SHARMA der Untersuchung des Einflusses widmete, den das Nähen und Fixieren des Einlagestoffes auf das Fallverhalten von HAKA-Geweben hat.

4 Biegesteifigkeitsmessungen mit dem manuellen Cantilever-Gerät und deren kritische Analyse

Zur Bestimmung der Biegesteifigkeit nach DIN 53362 (Verfahren nach Cantilever) dient das manuelle Cantilever-Prüfgerät (vgl. Abschnitt 2.3.1). Während der eigenen Untersuchungen wird festgestellt, dass das herkömmliche Gerät nach dem Cantilever-Verfahren mangelhaft ist. Im Folgenden wird die Durchführung einer Prüfung an diesem Gerät beschrieben, um seine Mängel zu verdeutlichen.

4.1 Funktionsweise des manuellen Cantilever-Prüfgerätes

Ein Probestreifen der Länge l wird nach der Bestimmung seiner Masse m so auf die Auflagefläche des Gerätes aufgelegt, dass seine schmale Vorderkante und ein darauf gelegtes Schiebelineal, welches eine Messeinteilung besitzt, bündig mit der Kante des Biegeprüfgeräts abschließen. Durch das manuelle Verschieben des Lineals wird die Probe innerhalb von 10 Sekunden soweit über die Kante geschoben, bis die Kante des Probestreifens die $41,5^\circ$ -Markierung erreicht. Die an der Messeinteilung des Schiebers abgelesene Länge ist dann die Überhanglänge l_u , welche auf 0,05 cm abzulesen ist. Nach Gl. 2.1 wird die Biegesteifigkeit B berechnet [REU 00].

Die aufgezeigten Mängel werden in den folgenden Ausführungen erläutert (Abb. 4.1):

1. ungleichmäßige Vorschubgeschwindigkeit,
2. subjektive Bestimmung der Überhanglänge (Winkelposition),
3. visuelles Ablesen der Überhanglänge,
4. geringe Ablesegenauigkeit (Halbmillimetermaßstab) und
5. nicht lineare Vorderkante der Probe.

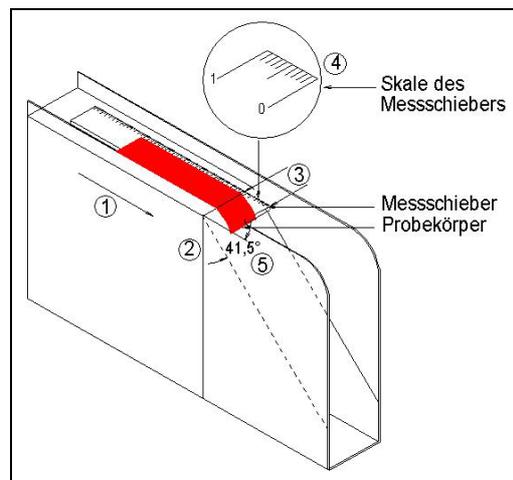


Abb. 4 1: Manuelles Cantilever-Gerät und Kennzeichnung der mangelbehafteten Bereiche

4.2 Einfluss der Mängel des manuellen Cantilever-Gerätes auf die Bestimmung der Biegesteifigkeit

4.2.1 Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit

Von acht Materialien, die für ein vorheriges Projekt verwendet worden [RÖD 04], werden für diese Untersuchung sieben HAKA-Gewebe der Firma Sprengler & Fürst Co. KG angewendet, welche hinsichtlich ihrer Bindung, Materialzusammensetzung und Flächenmasse variieren (Tab. 4.1).

Tabelle 4.1: Übersicht der untersuchten Materialien [RÖD 04]

Material	Gewebebindung	Materialzusammensetzung [%]	Flächenmasse [g/m ²]
Ma 1	L 1/1	100% Wolle	230
Ma 2	Köper	98 WV / 2 Ly.	350
Ma 3	Köper 2/2	44 WV/ 54 Trev./ 2Ly.	350
Ma 5	Köper 2/2	100% Wolle	450
Ma 6	Köper 2/2	55Trev./45WV	310
Ma 7	Leinwand (Tuchbindung)	98WV/2Ly.	250
Ma 8	Köper 2/2	85WV/15CV	280

Die Änderung der Vorschubgeschwindigkeit erfolgt durch die Variierung der Vorschubzeit, da bei dem manuellen Cantilever-Gerät keine Vorschubgeschwindigkeit direkt einstellbar ist. Der Laborant beeinflusst die Vorschubgeschwindigkeit durch Veränderung der Vorschubzeit. Die einzelnen Proben werden jeweils innerhalb von 2, 5, 10, 15, 20, 25 und 30 Sekunden manuell vorgeschoben und die Überhanglängen bei jedem Versuch gemessen.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass der Wert der Überhanglänge im Bereich der Vorschubzeit von 2 s bis 20 s zunächst deutlich ansteigt, während er sich in der Folge (von 20 s zu 30 s) konstant verhält (Abb. 4.2). Der ermittelte Wert der Biegesteifigkeit ist somit umso niedriger, desto schneller der Vorschub erfolgt, wobei er sich ab einer gewissen Mindestgeschwindigkeit, die durch 20 s Vorschubzeit charakterisiert ist, stabilisiert.

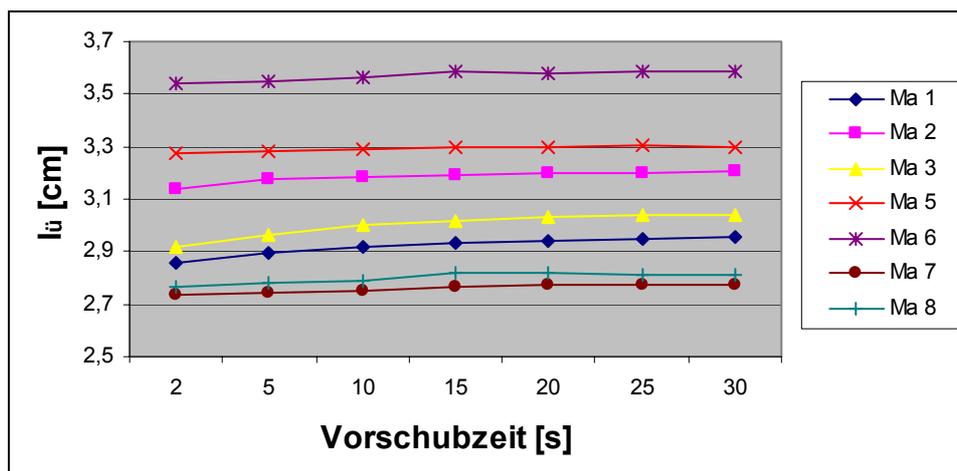


Abb. 4.2: Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit auf die Überhanglänge

Die Ergebnisse dieser Untersuchung weisen eindeutig darauf hin, dass zwischen der adaptierten Vorschubgeschwindigkeit und dem erzielten Wert der Überhanglänge ein unmittelbarer Zusammenhang besteht. Daraus ergibt sich zum einen ein Mangel an Genauigkeit und Verlässlichkeit bezüglich der ermittelten Werte, zum anderen die Unmöglichkeit, die Ergebnisse eindeutig zu reproduzieren.

4.2.2 Einfluss der subjektiven Bestimmung und des visuellen Ablesens der Überhanglänge (ergonomisches Problem)

Ein weiterer Mangel des manuellen Cantilever-Gerätes besteht darin, dass die Bestimmung und das Ablesen der Überhanglänge visuell erfolgen und somit vom einzelnen Prüfer abhängig sind.

Für diese Untersuchung wird die Überhanglänge des Materials (V 3) (Tab. 4.2) mit verschiedenen Vorschubgeschwindigkeiten, charakterisiert durch die Vorschubzeit von 2 s bis 40 s, von zwei Prüfern unterschiedlicher Körpergröße (Prüfer 1: 155 cm, Prüfer 2: 168 cm) gemessen.

Tabelle 4.2: Übersicht der ausgewählten Materialien für die Voruntersuchungen

Material	Gewebebindung	Materialzusammensetzung [%]	Flächenmasse [g/m ²]	Dicke [mm]	Fadendichte [Anzahl/cm]	
					Kette	Schuss
V 1	Köper 2/1	WO / PES	227	0,44	44,0	25,0
V 2	Köper 2/2	WO / PES	306	0,58	28,0	25,0
V 3	Köper 2/2	WO / PES	272	0,55	28,5	24,0
V 4	Leinwand	WO	152	0,28	24,0	23,0
V 5	Leinwand	WO / PES	222	0,41	30,0	20,0
V 6	Leinwand	WO / PES	224	0,45	20,5	18,0
V 7	Köper 2/1	-	319	-	31,5	21,0
V 8	Leinwand	PES / CV	193	0,46	19,0	19,0

Zur Bestimmung der Überhanglänge sitzt der Prüfer vor dem Gerät und schiebt den Probekörper nach vorne. Gleichzeitig beobachtet er die Probe, bis sie sich biegt, um die Überhanglänge subjektiv zu bestimmen.

Die Analyse der Messergebnisse ergab, dass für identische Proben und Vorschubgeschwindigkeiten zum Teil erheblich voneinander abweichende Werte ermittelt werden, obwohl beide Prüfer nach derselben DIN geprüft haben (Abb. 4.3).

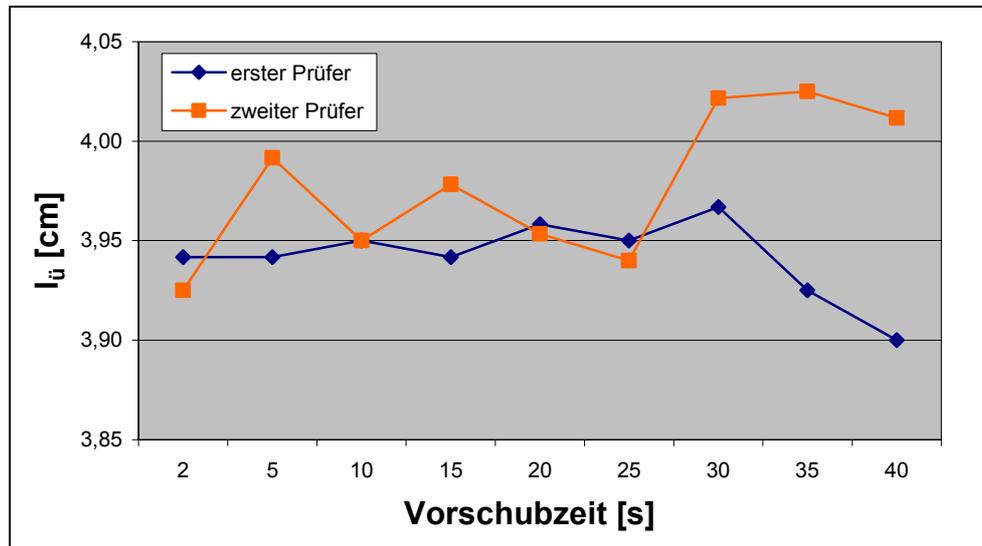


Abb. 4.3: Gemessene Überhanglängen bei unterschiedlichen Prüfern (ergonomisches Problem)

Da diese Abweichung nicht auf Unterschiede bezüglich der verwendeten Proben bzw. Verfahren zurückgeführt werden können, sind sie nur durch die unterschiedlichen ergonomischen Eigenschaften, die die verschiedenen Prüfer haben können, erklärbar. Es ist somit deutlich geworden, dass beim Verfahren nach dem manuellen Cantilever-Gerät subjektive Faktoren des Prüfers, wie etwa die Körpergröße und der daraus resultierende Blickwinkel auf die Skala des Messschiebers bzw. auf die Probe, den ermittelten Wert der Überhanglänge stark beeinflussen. Somit ist es nahezu ausgeschlossen, objektiv richtige Ergebnisse zu ermitteln.

4.2.3 Einfluss der geringen Ablesegenauigkeit des Messschiebers

Im nächsten Schritt soll es darum gehen, den Einfluss der Genauigkeit des Messschiebers auf den Wert der Biegesteifigkeit zu untersuchen.

Wie in Abschnitt 4.2.2. dargelegt, ist die Fehleranfälligkeit des manuellen Cantilever-Prüfgerätes sehr hoch. Da die Skala des Messschiebers nur eine Einteilung von 0,05 cm bietet, beträgt folglich der mögliche Fehler eine Abweichung von mindestens 0,05 cm. Dies soll durch die folgenden Berechnungen verdeutlicht bzw. bewiesen werden.

In Abschnitt 2.3.1. wird erklärt, dass die Biegesteifigkeit eine Funktion der Überhanglänge ist und somit erfolgt die Berechnung der Biegesteifigkeit nach Gl. 2.1.

In einer theoretischen Betrachtung (Anhang Tabelle A4.1) wurde mit der Software Excel der Einfluss der Ablesegenauigkeit der Überhanglänge auf die Biegesteifigkeit berechnet. Insbesondere bei kleinen Überhanglängen treten hohe Abweichungen der Biegesteifigkeit bei Ablesetoleranzen von 0,05 cm auf:

$$\Delta l_{\bar{u}} = l_{\bar{u}2} - l_{\bar{u}1}, \quad (4.1)$$

$$\Delta B = B_2 - B_1, \quad (4.2)$$

dann wird die prozentuale Abweichung der Biegesteifigkeit nach folgender Formel berechnet:

$$\Delta\% = \frac{B_2 - B_1}{B_1}. \quad (4.3)$$

Abbildung 4.4. zeigt, dass die prozentuale Abweichung der Biegesteifigkeit infolge eines Fehlers für die biegeweichen Materialien, deren Überhanglängen im Bereich von 1 cm bis 4 cm liegen und für DOB & HAKA häufig verwendet werden, sehr groß ist. Für biegesteife Materialien ist der Einfluss des Fehlers durch das Ablesen sehr gering. Je steifer der Stoff ist, desto geringer ist die prozentuale Abweichung der Biegesteifigkeit, welche infolge einer Ablesetoleranz von 0,05 cm verursacht wird.

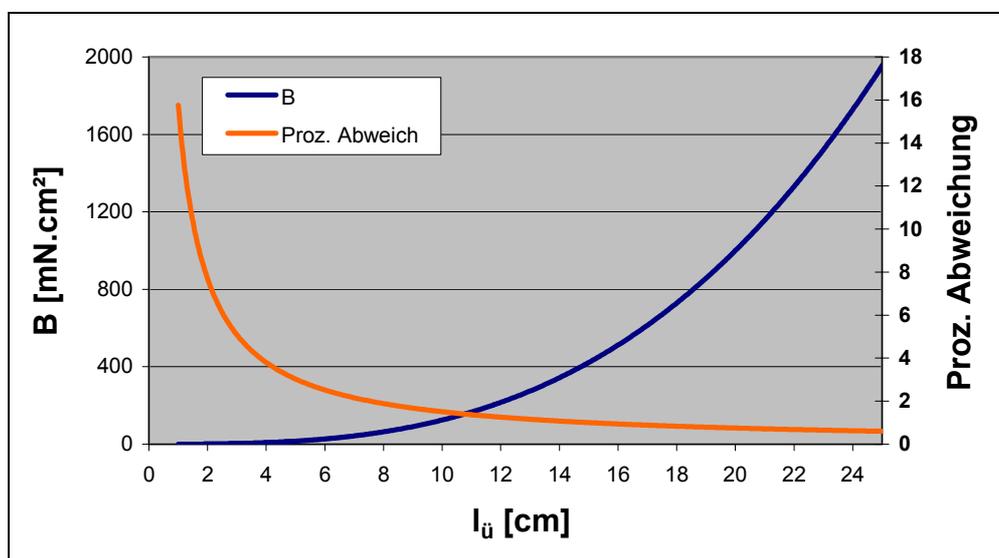


Abb. 4.4: Einfluss der geringen Ablesegenauigkeit des Schiebers auf die Biegesteifigkeit

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Auflösung des Wertes (Ablesegenauigkeit) sehr gering und somit nicht geeignet für die Bestimmung der Biegesteifigkeit ist, da die Skala des Messschiebers nur eine Einteilung von 0,05 cm bietet.

4.2.4 Einfluss der Probenvorderkante

Es ist bekannt, dass der textile Stoff ein verformbares Material ist, welches sich unter verschiedenen Bedingungen unterschiedlich verhält. Bei der Bestimmung der Überhanglänge wird herausgefunden, dass die Vorderkante der Probe nicht immer linear bleibt. Nach DIN 53362 ist bei Probenkörpern, deren Vorderkante sich etwas verdreht oder wölbt, das mittlere Ende der Probekante als Vorderkante des Probenkörpers anzusehen. Diese Verfahrensmethode ist nicht optimal, da der Mittelpunkt der Probekante vom Prüfer abgeschätzt werden muss.

In Abbildung 4.5 ist das Biegeverhalten von zwei unterschiedlichen Vorderkanten des Materials 4 dargestellt.

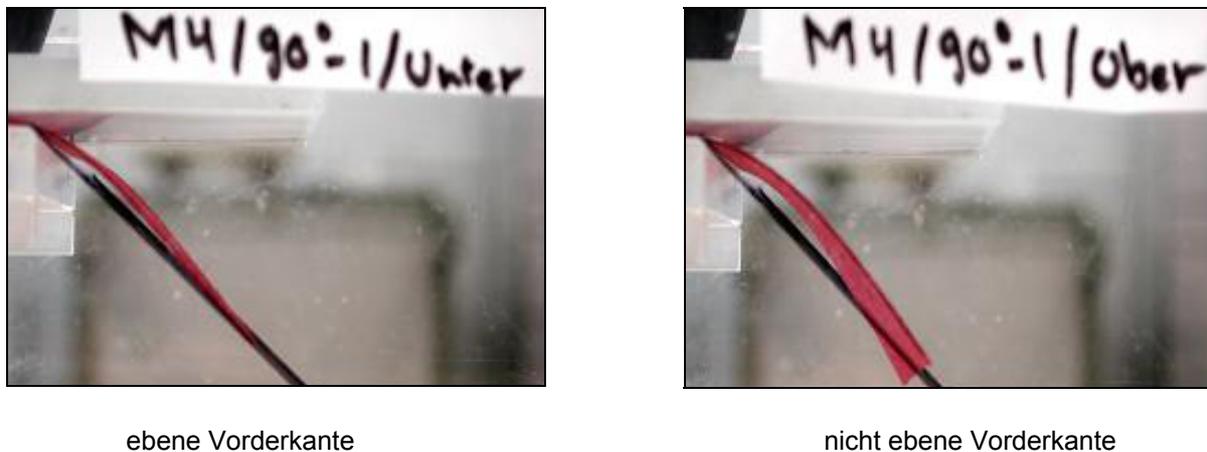


Abb. 4.5: Unterschiede der Ausbildung der Vorderkante der Probe zur Bestimmung der Überhanglänge

Hinzu kommt das Problem, dass das Cantilever-Gerät nur die Möglichkeit bietet, einen einzigen Wert der Überhanglänge in der Mitte der Probe zu bestimmen, deswegen ist es unmöglich, den Biegeverlauf der Probenvorderkante darzustellen.

4.3 Abschließende Wertung

Zusammenfassend ist deshalb ein Entwicklungsbedarf für Gerätetechnik festzustellen, um das Cantilver-Verfahren zur Bestimmung der Biegesteifigkeit auf ein neues Niveau mit reproduzierbaren, genaueren Messwerten sowie mit erweitertem Datenumfang zu heben.

5 Vorhandene automatische Biegesteifigkeitsprüfgeräte

Wie im Kapitel 4 erklärt wurde, hat das Messverfahren des manuellen Cantilever-Gerätes viele Mängel, welche die Bestimmung der Biegesteifigkeit wesentlich beeinflussen.

In der Vergangenheit sind bereits einige Versuche unternommen worden, das Cantilever-Verfahren zu modifizieren bzw. die Messmethode zu verbessern. Im Zusammenhang damit wurden verschiedene automatische Biegesteifigkeitsprüfgeräte entwickelt, deren Modifikationen in diesem Kapitel beschrieben werden. Dabei wird auch auf Nachteile hingewiesen, welche den Neuentwicklungen zu eigen sind.

5.1 Automatisches Cantilever-Gerät nach dem Fast-System

Bei diesem Gerät wird ein Probekörper von 5 x 20 cm so lange über eine Kante geschoben, bis der herabhängende Schenkel von einer Photozelle erfasst wird. (Abb. 5.1). Das Prinzip ist bis auf die automatische Erkennung identisch mit der klassischen Cantilever-Biegemethode. Erfasst wird die Überhanglänge l_0 . Daraus wird zusammen mit dem Flächengewicht der Probe die Biegesteifigkeit B berechnet [GAN 95].

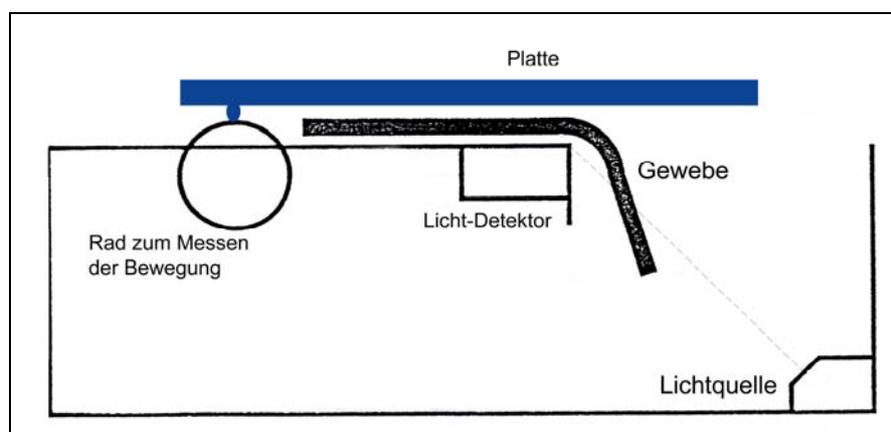


Abb. 5.1: Messprinzip der Biegeprüfung mit dem FAST-System [GAN 95].

5.2 Automatisches Biegesteifigkeitsprüfgerät (SITRA Stiffness Meter)

Das SITRA Stiffness Meter ist ein elektronisches Biegesteifigkeitsprüfgerät, welches nach dem Peirce-Prinzip von der South India Textile Research Association (SITRA) entwickelt worden ist. Seine Funktionsweise basiert auf dem opto-elektronischen Prinzip [KAL 83], [KAL 84].

Die Messprobe hat einer Breite von 2,5 cm und einer Länge von 20 cm. Durch Vorschub der Probe über die Kante der Plattenform erhebt die dann eindeutig freie Probe die Möglichkeit, sich durch Schwerkraftwirkung zu biegen. Ein fokussierter Lichtstrahl ersetzt die mechanische schiefe Ebene des klassischen Cantilever-Gerätes

(Abb. 5.2). Die zum Zeitpunkt des Schaltens der Fotodiode aktuelle Überhanglänge der Probe ist zur Berechnung der Biegesteifigkeit nach bekannter Formel (2.1) zu benutzen.

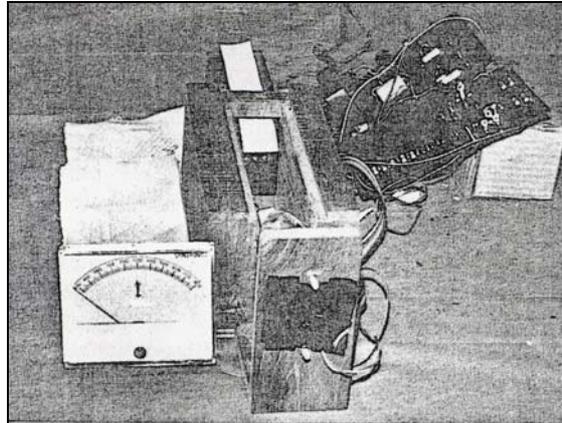


Abb. 5.2: Elektronisches Biegesteifigkeitsprüfgerät von SITRA [KAL 83]

Anhand von experimentellen Untersuchungen an verschiedene Materialien konnte festgestellt werden, dass mit dem SITRA-Gerät stets höhere Werte für die Überhanglänge ermittelt werden, als mit dem klassischen manuellen Cantilever-Gerät. Der Korrelationskoeffizient zwischen den zwei Geräten beträgt 0,77 [KAL 84].

5.3 Motorisiertes Biegesteifigkeitsprüfgerät nach ASTM (D 1388)

Nach dem ASTM (American Society of Testing and Material) *D 1388* zur Bestimmung der Biegesteifigkeit kann die Probe manuell oder mit Hilfe eines motorgeführten Schiebers vorwärts bewegt werden. Ein neues motorisiertes Biegesteifigkeitsprüfgerät wurde entwickelt, welches es ermöglicht, eine Probe von 2,5 cm Breite und 20 cm Länge mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit von 120 mm/min automatisch vorzuschieben. Die Überhanglänge wird genau wie beim manuellen Cantilever-Gerät visuell bestimmt und abgelesen [ASTM 96]. Ein Beispiel des motorisierten Biegesteifigkeitsprüfgerätes ist in Abbildung 5.3 dargestellt.

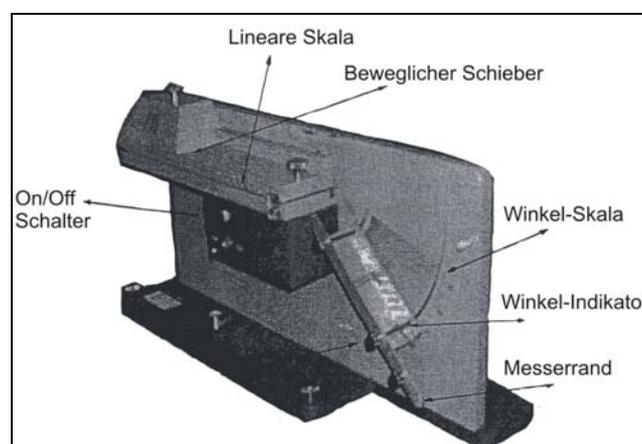


Abb. 5.3: Motorisiertes Cantilever-Gerät nach ASTM (D 1388)

5.4 Biegesteifigkeitsprüfgerät der Firma Thwing-Albert (Bending Stiffness Tester)

Die von der Firma Thwing-Albert im Jahr 2003 entwickelten Prüfgeräte BSG 6/70 und BSG 6/75 dienen dazu, die Biegesteifigkeit und die Biegefestigkeit von Papier und Karton sowie Kunststofffolien, textilen Materialien u. ä. festzustellen [THW 03]. Die Bestimmung der Biegesteifigkeit erfolgt dabei nach der Lichtstrahlmethode. Eine Probe von 1,5 cm bis 5 cm Breite und maximal 10 mm Dicke wird in den Griff gelegt, der mit einer konstanten Geschwindigkeit (justierbar von 0° bis 6° per Sekunde) zu einem spezifizierten Winkel (einstellbar von 0° bis 90°) gedreht wird. Die Biegesteifigkeit wird in Nm zur Verfügung gestellt (Abb. 5.4).

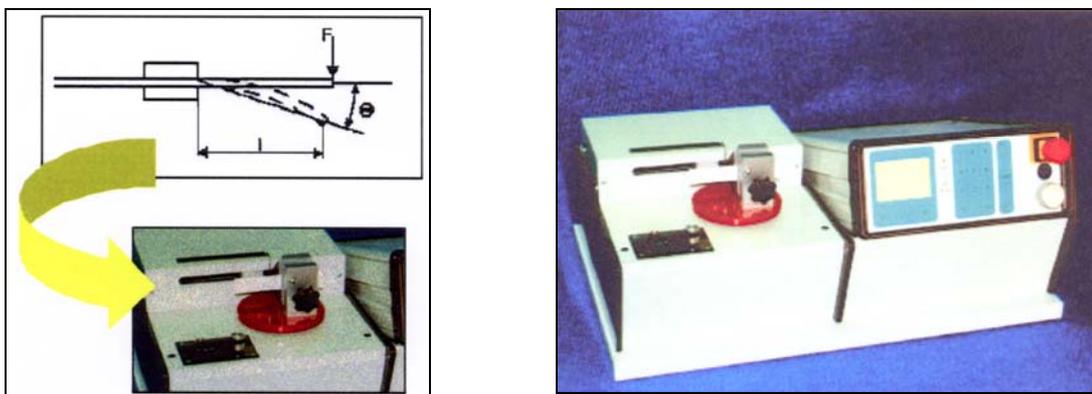


Abb. 5.4: Automatisches Biegesteifigkeitsprüfgerät der Firma Thwing-Albert (Bending Stiffness Tester) [THW 03]

5.5 Textilmesssystem TEX-PROOF der Firma Naiss GmbH

Die Firma Naiss GmbH entwickelte ebenfalls ein neues Messgerät (TEXPROOF) zur Erfassung der Materialeigenschaften von textilen Flächen.

Dieses ist ein kompaktes, automatisiertes Tisch-Messsystem für wichtige Textilkennwerte. Seine menügeführte Bedienung ist einfach zu handhaben und es ermöglicht eine ausreichend genaue Bestimmung der benötigten Kennwerte.

Folgende Messverfahren sind bei diesem Gerät möglich:

- Biegesteifigkeit nach Cantilever-Verfahren (DIN 53362),
- Schrägverzug (Scherung) nach Rausch,
- Kraft-Scherwinkel-Diagramm,
- Statische Dehnmessung (DIN 53857) und
- Kraft-Weg-Diagramm (Zugversuch).

Die ermittelten Materialeigenschaften können mit einer PC-basierten Softwareumgebung als Datenbank gesichert werden. Abbildung 5.5 zeigt eine Darstellung des kompletten Messsystems.



Abb. 5.5: Messsystem TEX-PROOF

Messung der Biegesteifigkeit

Die Bestimmung der Biegesteifigkeit erfolgt nach DIN 53362. Hierzu wurde eine Lichtschranke mit Lichtleitern verwendet. Der Sender ist so angeordnet, dass das gesendete Licht die erforderliche Ebene von $41,5^\circ$ zu dem, im Messmodul integrierten, Empfänger aufspannt. Die Vorschubgeschwindigkeit beträgt 300 mm/min. Das Gerät bietet die Möglichkeit, Proben mit unterschiedlicher Breite (25 mm, 50 mm) zu prüfen. Die Durchführung einer Biegesteifigkeitsmessung am Messsystem TEX-PROOF ist in Abbildung 5.6 dargestellt [NAI 04].

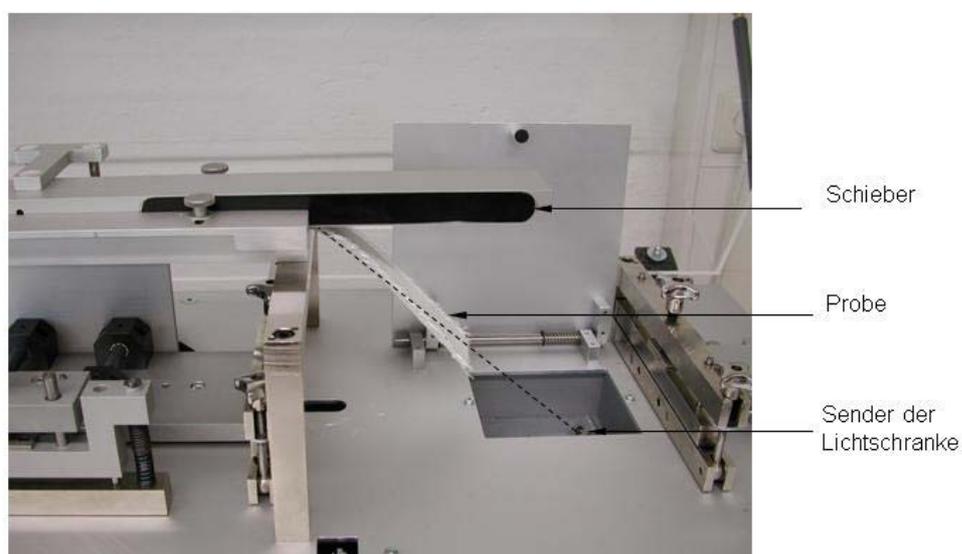


Abb. 5.6: Biegesteifigkeitsprüfgerät des Messsystems TEX-PROOF

5.6 Biegesteifigkeitsprüfgerät Hohensteiner Institute

In einer Presseinformation im Jahr 2005 berichten die Hohensteiner Institute, dass die Messung der Biegesteifigkeit eines textilen Materials, die bereits etablierte Messung anderer Größen im Bereich der Hautsensorik ergänzt.

Zur Bestimmung der Biegesteifigkeit eines Stoffes wird ein Stoffstreifen auf einen dünnen Stab aufgelegt und dessen Biegewinkel durch einen Laserstrahl ermittelt [HOH 05].

Über die Konstruktion des Gerätes, das Messverfahren, die Probenabmessung und die technischen Daten wurden keine Informationen bekannt gegeben (Abb. 5.7).



Auflegung des Stoffstreifens



Messung des Biegewinkels

Abb. 5.7: Biegesteifigkeitsprüfgerät Hohensteiner Institute [HOH 05]

5.7 Defizite der vorhandenen automatischen Biegesteifigkeitsprüfgeräte

Die Analyse der Prüfverfahren der verschiedenen Geräte verdeutlicht, dass einige Mängel des manuellen Cantilever-Gerätes durch die vorgenommenen Modifikationen bereits behoben wurden. So bieten einige Geräte, wie z. B. das Cantilever-Gerät nach FAST-System, das SITRA Stiffness Meter, das BSG 6/70, das Gerät der Hohensteiner Institute und das TEX-PROOF Messsystem, die automatische Erkennung der Überhanglänge. Dadurch reduziert sich die Wahrscheinlichkeit von Ablesefehlern erheblich. Andere Geräte, wie z. B. das motorisierte Cantilever-Gerät nach ASTM, das BSG 6/75 und das TEX-PROOF Messsystem, wurden dahingehend modifiziert, dass das Problem der ungleichmäßigen Vorschubgeschwindigkeit vermieden wird.

Trotz all dieser Verbesserungen sind die bisher entwickelten Geräte dennoch nicht frei von Mängeln.

Defizite bestehen immer noch in folgenden Bereichen:

1. Die mögliche Breite für die Messprobe ist begrenzt (maximal 50 mm beim TEX-PROOF Messsystem).
2. Bestimmung von mehr als einem Wert für die Biegesteifigkeit einer Probe gleichzeitig ist unmöglich.
3. Eine Darstellung des Biegeverlaufs der Vorderkante der Probe ist nicht verfügbar, da die Kontur der Probe nicht erfassbar ist.
4. Es ist bisher unmöglich, eine Aussage über die Wirkung einer Naht auf den Biegeverlauf einer Probe, die das gesamte Biegeverhalten wesentlich ändert, zu treffen.
5. Die Funktionsweise und die Messmethode bei einigen Geräten sind unklar.

Zur Beseitigung der Mängel des manuellen Cantilever-Gerätes und der Defizite der vorhandenen automatischen Biegesteifigkeitsprüfgeräte wurde das neue Biegesteifigkeitsprüfgerät ACPM 200 entwickelt. Das Gerät ermöglicht gleichzeitig, die neu entwickelte Messmethode zur Bestimmung des Einflusses der Naht auf den Biegeverlauf einer Probe quantifizieren zu können.

6 Entwicklung eines neuen automatischen Biegesteifigkeitsprüfgerätes

6.1 Problemstellung

In Kapitel 4 und 5 werden die Mängel des manuellen Cantilever-Gerätes und die vorhandenen automatischen Biegesteifigkeitsprüfgeräte dargestellt. Es ist deutlich geworden, dass die bisher eingesetzten Geräte aufgrund ihrer Mangelhaftigkeit nur eine ungenaue Bestimmung der Biegesteifigkeit ermöglichen.

Die Aufgabe bestand deshalb darin, ein neues Gerät zur Bestimmung der Biegesteifigkeit nach dem Cantilever-Verfahren (DIN 53362) zu entwickeln, um die vorhandenen Defizite auszugleichen.

Das neue Gerät sollte zum einen eine Aussage über die Veränderung des Biegeverhaltens des Materials infolge von unterschiedlicher Materialverteilung über die Prüffläche und zum anderen eine Aussage über den Biegeverlauf der Vorderkante der Probe ermöglichen. Die Entwicklung des Gerätes diene somit dem eigentlichen Anliegen der Arbeit, welches bekanntlich darin bestand, den Einfluss der Naht auf die Biegesteifigkeit einer größeren Fläche zu bestimmen.

Die grundlegenden Anforderungen an das Gerät werden folgendermaßen formuliert:

- konstante Vorschubgeschwindigkeit nach DIN 53362 (möglichst auch justierbar),
- reproduzierbare Messergebnisse,
- Messung verschiedener Probenbreiten (bisher mehrere Prüfgeräte erforderlich),
- Erfassung der Kontur der Probenvorderkante, um eine exakte Darstellung des Biegeverhaltens zu ermitteln.

Ein weiteres Problem ist, dass der Biegewinkel von $41,5^\circ$, der in der DIN 53362 für die Bestimmung der Überhanglänge festgelegt ist, inzwischen durch verschiedene Wissenschaftler widerlegt wird. Deshalb gehört zu den grundlegenden Anforderungen des neuen Gerätes auch die Möglichkeit, den Biegewinkel einstellbar zu gestalten.

6.2 Aufbau des ACPM 200

6.2.1 Ideen zur Entwicklung eines automatischen Cantilever-Gerätes

6.2.1.1 Vorschub

Eine wichtige Anforderung an das neue Gerät ACPM 200 (**A**utomatisches **C**antilever-Biegesteifigkeitsprüfgerät mit **p**aralleler **M**esswerterfassung maximale Probenbreite

200 mm) ist, eine gleichmäßige Vorschubgeschwindigkeit zu gewährleisten, welche 120 mm/min betragen soll. Die Rückfahrgeschwindigkeit des Schiebers soll höher als die Vorschubgeschwindigkeit sein, um die Wartezeit zwischen mehreren Messungen reduzieren zu können. Um die geeignete Methode für eine gleichmäßige Vorschubgeschwindigkeit des Schiebers zu finden, werden verschiedene Varianten diskutiert und bewertet.

Die zwei vorgeschlagenen Grundideen für die Erzielung einer gleichmäßigen Geschwindigkeit waren:

- Automatisches Cantilever-Gerät mit Transportband (Laufband) (Abb. 6.1),
- Automatisches Cantilever-Gerät mit Gewindespindel (Abb. 6.2).

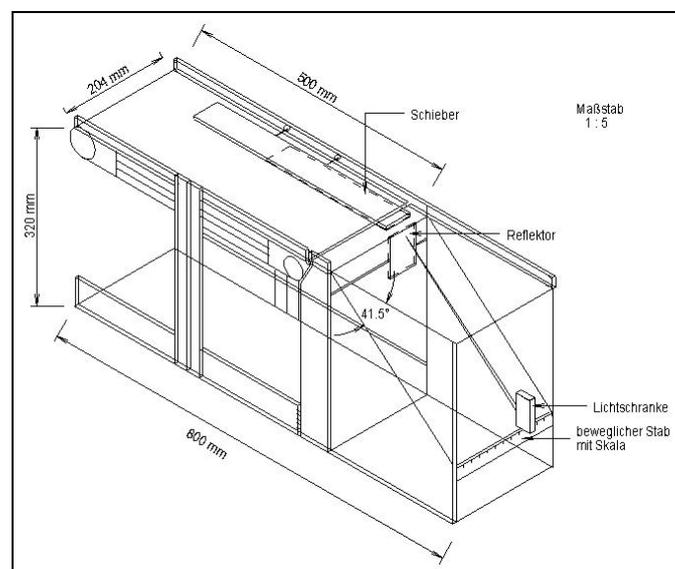


Abb. 6.1: Automatisches Cantilever-Gerät mit Transportband

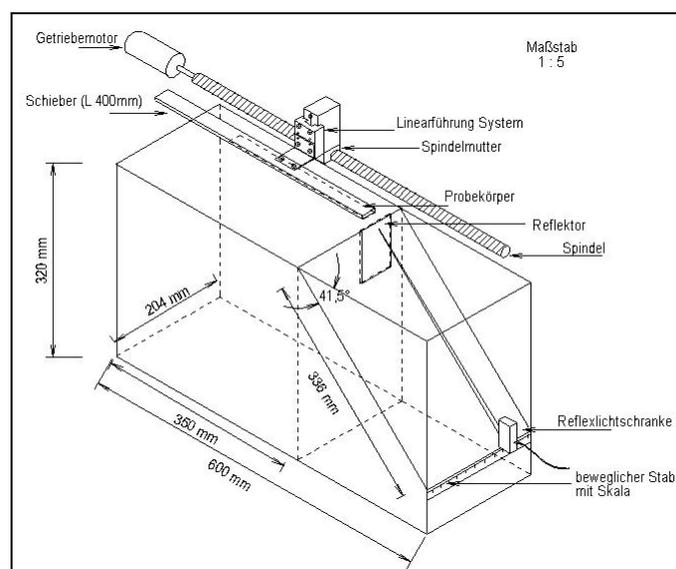


Abb. 6.2: Automatisches Cantilever-Gerät mit Gewindespindel

Weitere Lösungsvarianten für die gleichmäßige Vorschubgeschwindigkeit werden von MILDNER [MIL 06] vorgeschlagen. Diese Varianten werden infolge der folgenden Bewertungskriterien:

- konstante Vorschubgeschwindigkeit,
- Messwertgenauigkeit,
- Funktionalität,
- Kosten (Konstruktion/Material),
- Ausfallsicherheit (Prüfgerät),
- Bedienbarkeit,
- Wartungsausfall,
- Konstruktionsausfall,
- Justierzeit (Positionierung der Messprobe),
- Gewicht,
- Abmaße,
- Lärmentwicklung,
- Design,
- Recycling,

beurteilt, um die sinnvollste Variante für das neue Gerät auszuwählen. Infolge der Variantenbewertung wird die Idee der Gewindespindel ausgewählt [MIL 06].

6.2.1.2 Lichtschranken

Die Idee der Nutzung einer Lichtschranke mit einer beweglichen Skala wird diskutiert. Statt einer einzigen Lichtschranke sollten nunmehr mehrere Lichtschranken zum Einsatz kommen, da sie effektiver zur Erfassung der vollständigen Kontur der Messprobe sind.

Anstelle einer Flächenlichtschranke, welche zunächst vorgeschlagen worden war, werden mehrere Laserpointer eingesetzt, da diese im Vergleich zur Flächenlichtschranke wesentlich kostengünstiger sind.

Nach DIN 53362 beträgt die Probenbreite beim manuellen Cantilever-Gerät 25 mm, welches es ermöglicht, einen einzigen Wert der Biegesteifigkeit in der Mitte der Probe zu bestimmen. Für dieselbe Probenbreite werden beim neuen Cantilever-Gerät drei Messpunkte vorgeschlagen, d. h. der Abstand zwischen je zwei Messpunkten soll 12,5 mm betragen. Da die vorgeschlagene maximale Probenbreite des neuen

Gerätes 200 mm beträgt, kommen demnach insgesamt 17 Lichtschranken zum Einsatz.

Die Erarbeitung des geeigneten Antriebes für die Vorschubbewegung der Probe, die automatische Erfassung der Messwerte zur Berechnung der Biegesteifigkeit sowie die Ansteuerung des PC zur automatischen Messwertaufzeichnung und -verarbeitung sind von LESKE durchgeführt worden. Ein Windows-Programm mit der Programmiersprache Microsoft Visual C++ wird entwickelt [LES 06].

6.2.2 Technische Daten

Die Antriebseinheit besteht aus dem Getriebemotor, der Gewindespindel, der Lagerung und dem Inkrementalgeber.

Getriebemotor: Gleichstrommotor mit Getriebe der Serie RPT5 der Firma Grouzet.

- max. Spannung: 24 V
- Drehzahl: 120 U/min
- max. zulässiges Drehmoment: 3 Nm

Gewindespindel: Präzisions-Gewindestab M16

- Gewindesteigung: 2 mm/ Umdrehung
- max. Drehmoment der Gewindespindel: 0,03 Nm

Vorschubgeschwindigkeit: Durch die Drehzahl des Motors und die Steigung der Gewindespindel lässt sich die Vorschubgeschwindigkeit berechnen.

Tabelle 6.1: Mögliche Vorschubgeschwindigkeiten beim ACPM 200 [LES 06]

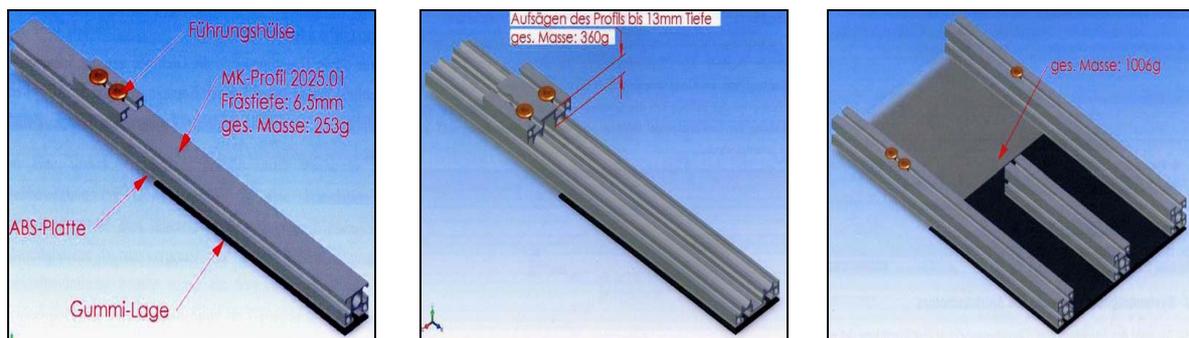
Variante	Drehzahl des Motors U/min	Vorschubgeschwindigkeit mm/min	Spannungsbereich V
1 (optimal)	60	120	12
2 (maximal)	120	240	24
3 (manuell)	0-120	0-240	0-24

Lichtschranken: 17 Laserpointer mit IR-Strahlen

Schiebervarianten: Bestandteile sind MK-Profile vom Typ 2025.01, Führungshülsen ABS-Platten und Gummilagen. Die verschiedenen Schieber sind in Abbildung 6.3 dargestellt.

Tabelle 6.2: Schiebervarianten des ACPM 200

Variante	Breite der Messprobe [mm]	Masse des Schiebers [g]	max. Anzahl der Messpunkten
Schiebertyp 25	25	253	3
Schiebertyp 50	50	360	5
Schiebertyp 200	200	1006	17



Schiebertyp 25

Schiebertyp 50

Schiebertyp 200

Abb. 6.3: Schiebervarianten des ACPM 200 [MIL 06]

6.2.3 Messung

6.2.3.1 Messprinzip des Gerätes

Das Grundgestell und die Konstruktionszeichnung des Gerätes sind in Abbildung 6.4 dargestellt [MILD 06]. Das Prinzip der Messung beim ACPM 200 zur Bestimmung der Biegesteifigkeit textiler Fläche ist wie folgt festgelegt:

- Die Messprobe wird auf die Auflagefläche des Gerätes gelegt und durch den motorgeführten Schieber geführt.
- Die Messebene wird durch 17 parallele Lichtschranken, die IR-Strahlen unter dem genormten Winkel $41,5^\circ$ senden, definiert (Variation des Biegewinkels möglich).
- Die Messwerte werden durch Unterbrechung der IR-Strahlen aufgenommen.
- Es werden 17 Einzelwerte der Überhanglänge bestimmt und damit 17 Einzelwerte der Biegesteifigkeit entlang der Probenbreite berechnet.

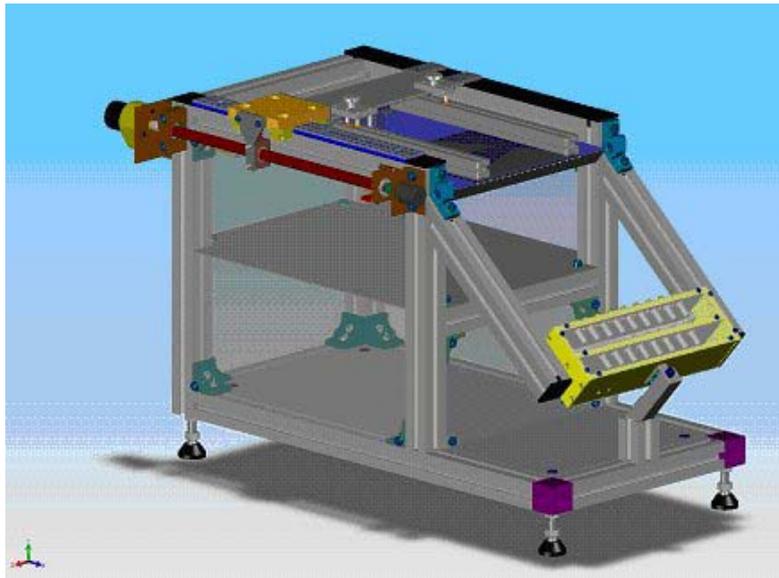


Abb. 6.4: Konstruktionszeichnung des neuen Cantilever-Gerätes (ACPM 200)
[MIL 06]

6.2.3.2 Funktionsbeschreibung

Im Folgenden wird die Durchführung einer Prüfung beim ACPM 200 erklärt, um die Funktionsweise des Gerätes zu beschreiben.

1) Eingabe der Daten

Als erstes werden die Breite der Messprobe und die Vorschubgeschwindigkeit ausgewählt. Weiterhin ist es nötig, die Probenlänge, die Probenmasse, die Probenbreite (für den Fall, dass sie von den drei festgelegten Breiten abweicht), den maximalen Weg des Schiebers sowie den Dateinamen einzugeben (Abb. 6.5).

Probenbreite		Start Messung
<input type="radio"/> manuell		Zurück
<input type="radio"/> 25 mm		Speichern
<input type="radio"/> 50 mm		Ende
<input checked="" type="radio"/> 200 mm		
Geschwindigkeit		
<input checked="" type="radio"/> 120 mm/min		
<input type="radio"/> 240 mm/min		
<input type="radio"/> manuell		
Bitte "Punkt" statt "Komma" eingeben		
Probenlänge:	[250]	mm
Probenmasse:	[17.021]	g
Probenbreite:	[]	mm
Weg:	[50]	mm
Dateiname:	[e/M6_301_m_1.txt]	

Abb. 6.5: Eingabe der Daten

2) Wirkung der Lichtschranken

Während der Prüfung werden 17 Lichtschranken aktiviert, um die Überhanglänge an jedem Messpunkt zu bestimmen. Die Reihenfolge der abgedeckten Dioden ist von der Steifigkeit der textilen Fläche an diesem Punkt abhängig. In Abbildung 6.6 ist das Biegeverhalten einer Probe mit mittiger Naht dargestellt.



Abb. 6.6: Wirkung der Lichtschranken während der Prüfung

3) Ausgabe der Daten auf dem Bildschirm

Für jede der 17 Dioden wird ein einzelner Wert der Überhanglänge bestimmt. Somit werden zugleich 17 einzelne Werte der Biegesteifigkeit berechnet. Die 17 Werte der Überhanglänge und 17 Werte der Biegesteifigkeit entlang der Probenbreite werden auf dem Bildschirm ausgegeben. Die Überganglänge an den verschiedenen Punkten der Probe wird zusätzlich grafisch dargestellt. Somit kann ein schneller Überblick über das Biegeverhalten der Probenvorderkante gewonnen werden, ohne dass zuvor die Daten in ein Auswertungsprogramm wie z. B. Microsoft Excel übertragen werden müssen (Abb. 6.7).

Cantilever				
Probenbreite	Biegesteifigkeit	Überhanglänge	0 mm	50 mm
0 mm	2.8845 mN ² /cm	41.04 mm	[Bar chart]	
12.5 mm	2.8845 mN ² /cm	41.04 mm	[Bar chart]	
25 mm	3.1629 mN ² /cm	42.32 mm	[Bar chart]	
37.5 mm	3.3830 mN ² /cm	43.28 mm	[Bar chart]	
50 mm	3.7521 mN ² /cm	44.80 mm	[Bar chart]	
62.5 mm	4.0830 mN ² /cm	46.08 mm	[Bar chart]	
75 mm	4.2994 mN ² /cm	46.88 mm	[Bar chart]	
82.5 mm	4.8258 mN ² /cm	48.72 mm	[Bar chart]	
100 mm	5.1415 mN ² /cm	49.76 mm	[Bar chart]	
112.5 mm	4.7784 mN ² /cm	48.56 mm	[Bar chart]	
125 mm	4.3881 mN ² /cm	47.20 mm	[Bar chart]	
132.5 mm	3.9986 mN ² /cm	45.76 mm	[Bar chart]	
150 mm	3.7723 mN ² /cm	44.88 mm	[Bar chart]	
162.5 mm	3.4586 mN ² /cm	43.60 mm	[Bar chart]	
175 mm	3.2170 mN ² /cm	42.56 mm	[Bar chart]	
182.5 mm	2.9525 mN ² /cm	41.36 mm	[Bar chart]	
200 mm	2.7516 mN ² /cm	40.40 mm	[Bar chart]	

Abb. 6.7: Ausgabe der Daten auf dem Bildschirm

4) Übertragung der Messwerte in eine Excel-Tabelle

Die gespeicherten Daten können im Abschluss in ein Auswertungsprogramm eingelesen und genauer ausgewertet werden. In Abbildung 6.8 ist ein Beispiel für die Ausgabe der Daten in eine Excel-Tabelle dargestellt.

Position des Messpunktes über der Probenbreite [mm]	$l_{\bar{u}}$ [mm]	G [mN.cm]	Zeit [s]	Wirkung der Lichtschranken
0	41,04	2,8844	24	011111111111111110000
12,5	41,04	2,8844	24	001111111111111110000
25	42,32	3,1628	25	000111111111111110000
37,5	43,28	3,383	25	000011111111111110000
50	44,8	3,7521	26	000001111111111110000
62,5	46,08	4,083	27	000000111111111110000
75	46,88	4,2994	27	000000011111111110000
87,5	48,72	4,8257	28	0000000010000000000
100	49,76	5,1414	29	0000000000000000000
112,5	48,56	4,7783	28	0000000110000000000
125	47,2	4,388	27	0000000111000000000
137,5	45,76	3,9985	27	0000011111110000000
150	44,88	3,7722	26	0000011111111000000
162,5	43,6	3,4586	25	0000111111111100000
175	42,56	3,2169	25	0001111111111110000
187,5	41,36	2,9524	24	0011111111111111000
200	40,4	2,7516	23	11111111111111111000

Abb. 6.8: Ausgabe der Daten als Excel-Tabelle

6.3 Bestimmung der Genauigkeit des ACPM 200

6.3.1 Reproduzierbarkeit der Messergebnisse

Um die Genauigkeit des ACPM 200 zu bestimmen, wird die Reproduzierbarkeit der gemessenen Ergebnisse ermittelt. Die Messproben werden mehrmals nach bestimmter Erholungszeit gemessen.

Für diese Untersuchung werden nahtlose Proben der Materialien Ma 1 und Ma 6 (vgl. Tab. 4.1 in Abschnitt 4.2.1) mit einer Breite von 25 mm verwendet.

Die Berechnung der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse beim ACPM 200 ist in Tabelle 6.3 gezeigt.

Tabelle 6.3: Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, gemessen mit dem ACPM 200

Position des Messpunktes über der Probenbreite [mm]	G [mN.cm]					MW \bar{x}	STD $\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n - 1)}}$	Reproduzierbarkeit [%]
	1.Messung	2.Messung	3.Messung	4.Messung	5.Messung			
0	0,6417	0,6655	0,6899	0,6655	0,6752	0,6585	0,0237	96,40
12,5	0,6138	0,6417	0,6655	0,6417	0,6323	0,6231	0,0131	97,90
25	0,5606	0,5824	0,5957	0,5649	0,5693	0,565	0,0062	98,91

Die Ergebnisse zeigen, dass die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse der Biegesteifigkeit nach fünfmaliger Wiederholung der Messung nach bestimmter Erholungszeit hö-

her als 95 % ist. Das Ergebnis weist auf die hohe Genauigkeit des Gerätes hin (siehe Anhang Tabelle A6.1).

In Abbildung 6.9 sind die Ergebnisse der Biegesteifigkeit nach fünfmaliger Messungen des Materials Ma 1 in Schussrichtung dargestellt.

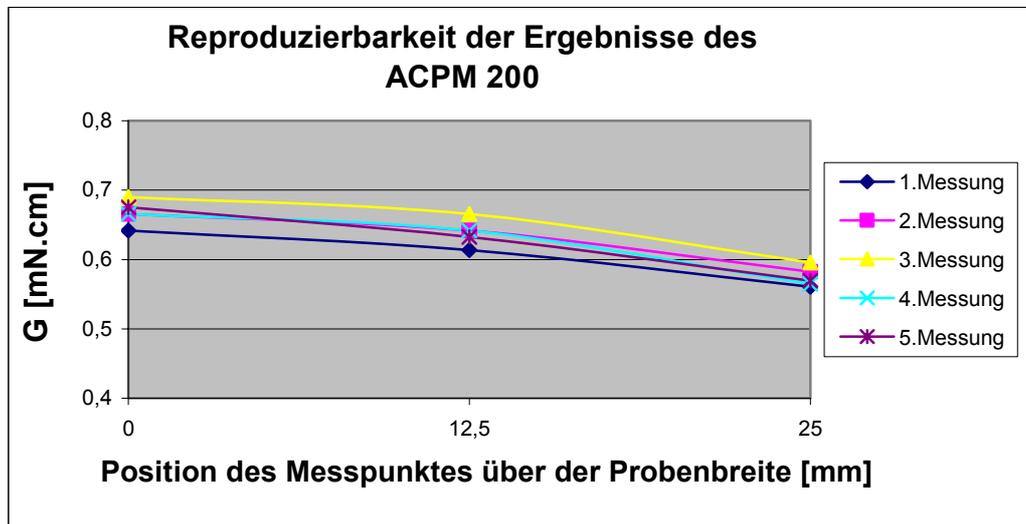


Abb. 6.9: Reproduzierbarkeit der Messergebnisse des ACPM 200

6.3.2 Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit auf die Biegesteifigkeit

Beim ACPM 200 besteht die Möglichkeit, verschiedene Vorschubgeschwindigkeiten einzustellen. Während der Prüfung ist die Geschwindigkeit konstant. Die Vorschubgeschwindigkeit ist nach DIN 53362 120 mm/min, die doppelte Geschwindigkeit ist 240 mm/min und manuelle Einstellung ist von 0 bis 240 mm/min möglich.

Tabelle 6.4: Konstruktionsmerkmale der untersuchten Materialien

Material	Gewebebindung	Materialzusammensetzung [%]	Flächenmasse [g/m ²]	Dicke [mm]	Fadendichte [Anzahl/cm]	
					Kette	Schuss
M 1	Leinwand	98 WO / 2 EI	154,0	0,29	30,0	22,0
M 2	Leinwand, K 2/1, Atlas 4	100 WO	152,0	0,26	42,0	28,0
M 3	Köper 2/2	49 CV / 49 PES / 2 EI	235,0	0,45	30,0	22,0
M 4	Köper 2/2	65 PES / 33 CV / 2 EI	249,6	0,50	48,5	23,0
M 5	Leinwand	67 PES / 33 CV	196,4	0,47	31,0	22,0
M 6	Köper 3/1	55 PES / 45 CV	305,5	0,62	34,0	26,0
M 7	Köper 2/1	55 PES / 45 WV	198,5	0,53	36,5	25,5
M 8	Leinwand	60 WV / 40 PES	142,0	0,35	24,0	22,0

Für die Untersuchung werden drei verschiedene Materialien (5, 6, 7) (siehe Tabelle 6.4) mit der Probenbreite von 200 mm und mit verschiedenen Nahtarten (301, Safety-Naht, Doppelkappnaht) in unterschiedlichen Nahtpositionen (mittig, seitlich 1, seit-

lich 2) verwendet. Dieselben Materialien werden auch ohne Naht geprüft (Probenbreite 50 mm und 200 mm).

Die Prüfung wird mit verschiedenen Geschwindigkeiten durchgeführt (120 mm/min, 240 mm/min (ausgewählt) und 60 mm/min, 180 mm/min (manuell eingestellt)).

Die Ergebnisse zeigen, dass der Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit auf die Biegesteifigkeit unterschiedlich ist. Für die Proben ohne Naht wird der Einfluss deutlich geprägt. In diesem Fall stimmte der Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit mit den Ergebnissen des manuellen Cantilever-Gerätes überein. Je schneller der Vorschub ist, desto kleiner ist die Biegesteifigkeit (Abb. 6.10).

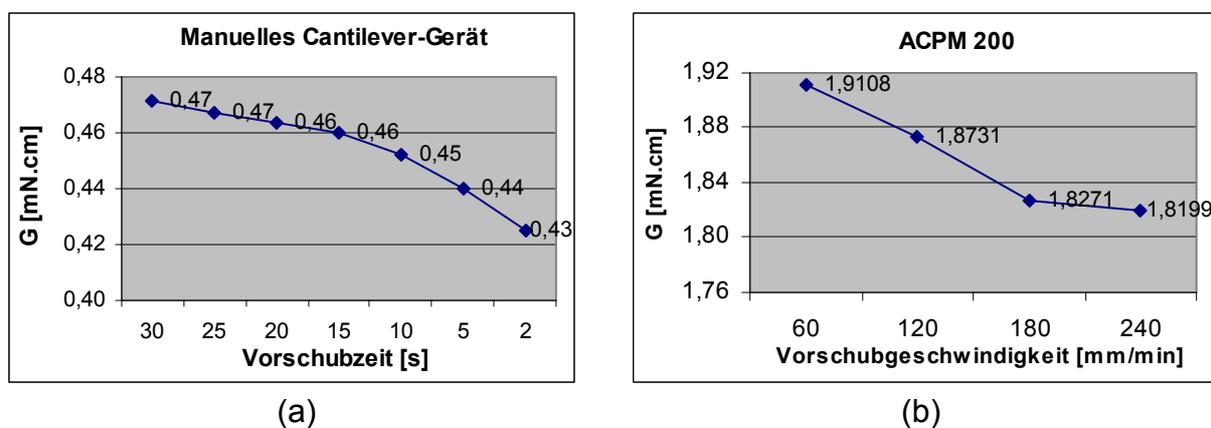


Abb. 6.10: Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit auf die Biegesteifigkeit für die Proben ohne Naht

a) Material Ma 1 in Kettrichtung
(Tab. 4.1)

b) Material 7 in Kettrichtung
(Tab. 6.4)

Für die Proben mit Naht ist der Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit unwesentlich. Die prozentuale Abweichung der Ergebnisse beträgt 5 % und liegt im Bereich der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Dieses Ergebnis konnte nicht auf den Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit bezogen werden, da die Ergebnisse keine stabile Tendenz gezeigt haben (Abb. 6.11).

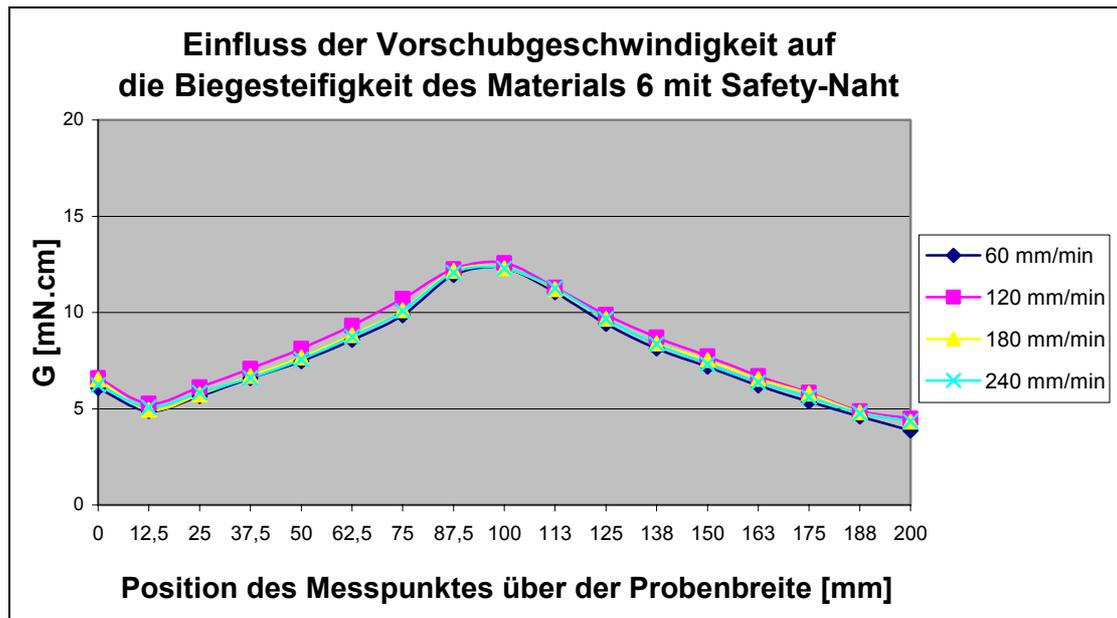


Abb. 6.11: Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit auf die Biegesteifigkeit des Materials 6 mit Safety-Naht

Es ist kein grundsätzlicher Zusammenhang zwischen dem Wert der Vorschubgeschwindigkeit und der Biegesteifigkeit festzustellen. Die Vermutung, dass die eingestellte Vorschubgeschwindigkeit beim Gerät den Wert der Biegesteifigkeit beeinflussen kann, wird durch die Ergebnisse nicht bestätigt.

Es wird festgestellt, dass die gleichmäßige Vorschubgeschwindigkeit während der Prüfung einen wesentlichen Einfluss auf die Biegesteifigkeit hat. Der Wert der Vorschubgeschwindigkeit hat keine Auswirkung auf die Biegesteifigkeit.

6.4 Vergleich der Ergebnisse der Biegesteifigkeit bei unterschiedlichen Prüfgeräten

Für die Untersuchung werden drei Materialien (5, 6, 7) mit drei Biegesteifigkeitsprüfgeräten (manuelles Cantilever-Gerät, TEX-PRROF Messsystem, ACPM 200) geprüft, um die Biegesteifigkeit zu bestimmen.

4 Proben von 50 mm Breite und 250 mm Länge in Kett- und Schussrichtung je Material werden für die Untersuchung vorbereitet.

Da es beim manuellen Cantilever-Gerät und dem TEX-PROOF nur die Möglichkeit gibt, einen einzigen Wert der Biegesteifigkeit in der Mitte der Vorderkante der Probe zu bestimmen, wird der gleiche Wert von den 5 gemessenen Werten der Biegesteifigkeit beim ACPM 200 für den Vergleich benutzt.

6.4.1 Vergleich zwischen dem manuellen Cantilever-Gerät und dem ACPM 200

Die Prüfung mit dem manuellen Cantilever-Gerät wird nach DIN 53362 durchgeführt. Die Messergebnisse der zwei Geräte und die prozentuale Abweichung der Ergebnisse sind in Tabelle 6.5 dargestellt.

Tabelle 6.5: Messergebnisse beim manuellen Cantilever-Gerät und beim ACPM 200

Prüfgerät	G [mN.cm]					
	M 5		M 6		M 7	
	K	Sch	K	Sch	K	Sch
Manuelles Cantilever-Gerät	0,3718	0,5119	1,7123	0,6244	1,3803	0,4904
ACPM 200	0,5623	0,6561	2,422	0,9067	1,8974	0,8232
MW	0,4671	0,5840	2,0923	0,7655	1,6388	0,6568
STD	0,1347	0,1019	0,5373	0,1997	0,3656	0,2353
Proz. Abweichung [%]	28,83	17,46	26,68	26,08	22,31	35,83

Die Ergebnisse zeigen einen großen Unterschied zwischen den zwei Geräten, welcher zwischen 17 % und 36 % liegt (Abb. 6. 12). Eine Ursache dafür kann die unterschiedliche Funktionsweise der zwei Geräte sein. Die Ergebnisse beim ACPM 200 sind deutlich höher als die Ergebnisse des manuellen Cantilever-Gerätes. Das kann mit der genauen Bestimmung der Überhanglänge beim ACPM 200 zusammenhängen, welcher die geringe Ablesegenauigkeit des manuellen Cantilever-Gerätes beseitigt.

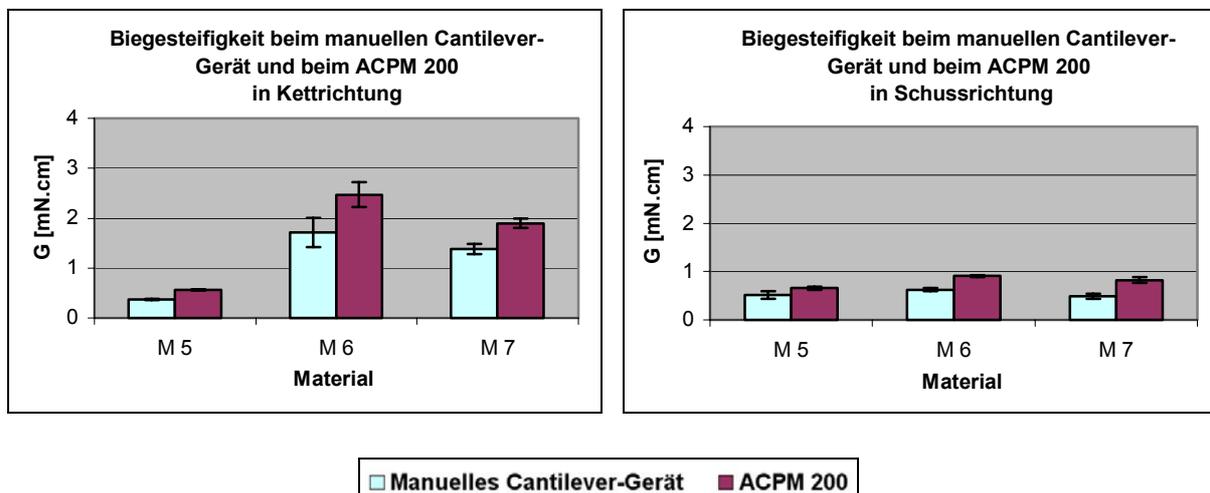


Abb. 6.12: Vergleich der Ergebnisse der Biegesteifigkeit des manuellen Cantilever-Gerätes mit den Ergebnissen von ACPM 200

6.4.2 Vergleich zwischen dem TEX-PROOF und dem ACPM 200

Wie bereits in Kapitel 5 geklärt, gibt es schon einige vorhandene automatische Biegesteifigkeitsprüfgeräte. Um die Genauigkeit des ACPM 200 zu testen, werden die Messergebnisse mit den Ergebnissen von einem anderen automatischen Gerät ver-

glichen. Da das Messsystem TEX-PROOF am ITB der TU Dresden verfügbar ist, wird es für den Vergleich genutzt. Die Tabelle 6.5 zeigt die Ergebnisse der zwei Geräte und die prozentuale Abweichung zwischen beiden Geräten.

Tabelle 6.6: Messergebnisse beim Messsystem TEX-PROOF und beim ACPM 200

Prüfgerät	G [mN.cm]					
	M 5		M 6		M 7	
	K	Sch	K	Sch	K	Sch
TEX-PROOF	0,5282	0,7173	2,4897	0,9601	1,8628	0,7297
ACPM 200	0,5623	0,6561	2,4722	0,9067	1,8974	0,8232
MW	0,5452	0,6867	2,4809	0,9334	1,8801	0,7765
STD	0,0241	0,0433	0,0123	0,0378	0,0244	0,0061
Proz. Abweichung [%]	4,42	6,30	0,50	4,05	1,30	8,52

Die gemessene Biegesteifigkeit bei den zwei Geräten verdeutlicht, dass die automatische Messmethode zur Bestimmung der Biegesteifigkeit der zwei Geräte zu ähnlichen Messergebnissen führt. Der Unterschied zwischen den beiden automatischen Geräten ist sehr gering und bleibt im Bereich der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse des ACPM 200 (Abb. 6.13).

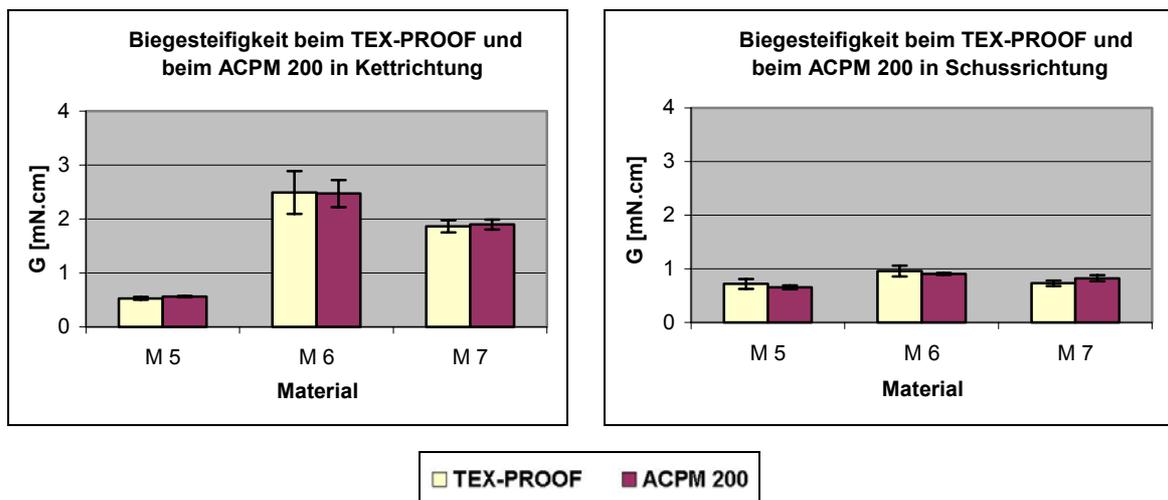


Abb. 6.13: Vergleich der Ergebnisse der Biegesteifigkeit des Messsystems TEX-PROOF mit den Ergebnissen von ACPM 200

6.5 Eigenschaften und Vorteile des ACPM 200

Die Eigenschaften und die Vorteile des neuen Biegesteifigkeitsprüfgerätes (ACPM 200) lassen sich im Folgenden zusammenfassen:

- Probenbreiten von 25 mm, 50 mm und 200 mm möglich,
- Vorschubgeschwindigkeit variabel wählbar,
- konstante Vorschubgeschwindigkeit während der Prüfung,
- Erfassung von maximal 17 parallelen Messwerten entlang der Probenbreite,

- grafische Darstellung des Biegeverhaltens über die Probenbreite auf dem Bildschirm,
- Möglichkeit der Änderung des genormten Winkels,
- hoher Automatisierungsgrad,
- einfache und komfortable Bedienung,
- hohe Reproduzierbarkeit der Ergebnisse > 95 %.

7 Experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung des Nahteinflusses auf die Biegesteifigkeit

In Kapitel 3 werden die für die Untersuchungen verwendeten Nähte festgelegt. In Bekleidungsprodukten gibt es viele mögliche Lagen für eine Naht. Im Rahmen dieser Arbeit werden zwei Möglichkeiten: vertikale Lage (bezeichnet als vertikale Naht) und horizontale Lage (bezeichnet als horizontale Naht) (Abb. 3.4 in Abschnitt 3.3) behandelt.

7.1 Einfluss der vertikalen Naht auf die Biegesteifigkeit

Die experimentellen Untersuchungen zum Einfluss der vertikalen Naht auf die Biegesteifigkeit textiler Flächen sowie die Definition eines funktionellen Zusammenhanges für den Übergangsbereich (Naht - unkonfektionierte textile Fläche) werden auf die folgenden Aspekte beschränkt:

- Einfluss des Abstandes der Naht,
- Einfluss der Nähstichtypen,
- Einfluss der Nähnahtarten,
- Einfluss der Nahtwinkellagen.

7.1.1 Einfluss des Abstands der Naht auf die Biegesteifigkeit

Das Ziel der Untersuchung besteht darin, ein neues Verfahren zur Ermittlung des Einflusses der Naht auf die Biegesteifigkeit einer größeren Fläche zu entwickeln, um die optimale Beschreibung des realen Verhaltens von textilen Bekleidungsprodukten sowie deren Einbindung in CAD-Systeme zur virtuellen Bekleidungssimulation ermöglichen zu können.

Für die Untersuchung werden sechs Gewebe benutzt, welche unterschiedliche Bindungen, Materialzusammensetzungen und Flächenmassen haben (Tab. 6.4).

Drei verschiedene Nähte (Schließnaht, Safety-Naht, Doppelkappnaht) sind aus einer Recherche bezüglich der häufigen Verwendung an Bekleidungsprodukten für die Untersuchung ausgewählt worden (Abb. 7.1).

Für die Schließnaht und die Doppelkappnaht wird die Doppelstepstichnähmaschine (PFAFF 1183) mit maximaler Stichanzahl 5500 Stich/min verwendet. Dabei werden folgende Nähparameter benutzt: Nähfaden Saba^c 120, 100 % PES (AMANN), Nähnadelsystem 134 (R), Nm: 80/12 (SCHMETZ) und Stichlänge 2,9 mm. Für die Safety-Naht ist die Vier-Fäden-Nähmaschine (Mauser Spezial 3846-1/01) mit maximaler Stichanzahl 6800/7500 Stiche/min mit den Nähparametern Nähfaden (Saba^c 120), Nähnadel Nm: 80 (GROZ-BECKERT) und Stichlänge 2,4 mm eingesetzt worden.



Abb. 7.1: Untersuchte Nähte

Die Proben haben eine Breite von 200 mm und eine Länge von 250 mm. Sie sind jeweils mit einer vertikalen Naht in variierender Position (Naht mittig und Naht seitlich an zwei unterschiedlicher Positionen) versehen. Eine Darstellung der untersuchten Nahtpositionen zeigt Abbildung 7.2.

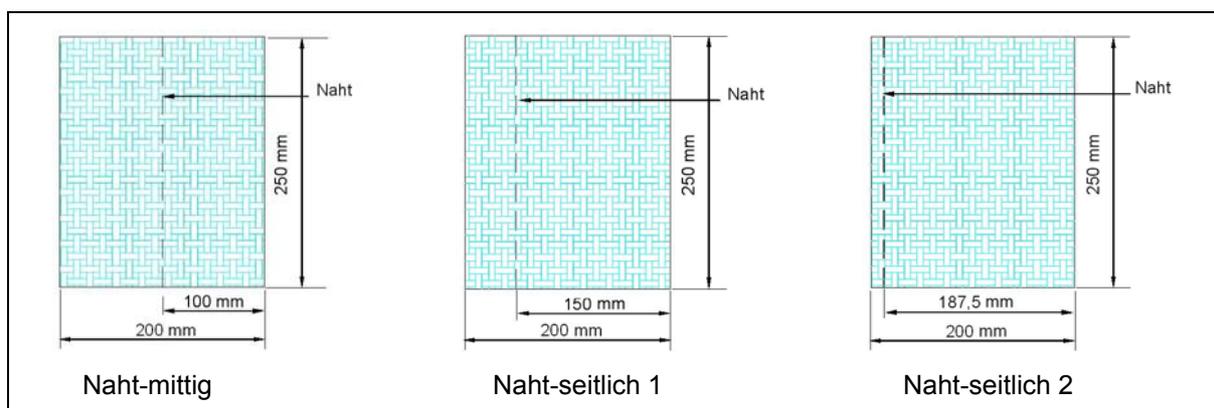


Abb. 7.2: Variation der Nahtposition für die Untersuchung

Für die Durchführung sämtlicher Untersuchungen wird das, am ITB der TU Dresden entwickelte, neue Biegesteifigkeitsprüfgerät ACPM 200 (Abb. 7.3) verwendet. Das Messgerät beruht auf dem Cantilever-Verfahren und ermöglicht die Bestimmung der Biegesteifigkeit entlang der Probenkante. Somit kann unter anderem der Einfluss der Naht auf die Biegesteifigkeit ermittelt werden [SCHE 06]. Die Berechnung der Biegesteifigkeit erfolgt nach DIN 53362. Ein funktioneller Zusammenhang ermöglicht die Bestimmung des Einflusses der Flächenmasseschwankungen auf das unkonfektionierte textile Material. Damit lassen sich textile Produkte in Bezug auf ihr Biegeverhalten exakter beschreiben.

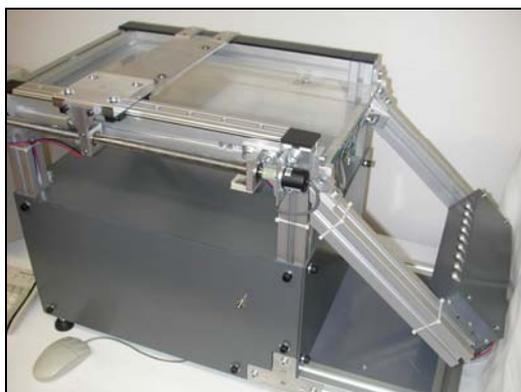


Abb. 7.3: Biegesteifigkeitsprüfgerät ACPM 200

Ergebnisse und Auswertung

Wie bereits erwähnt, werden die experimentellen Untersuchungen anhand von drei unterschiedlichen Nahtpositionen durchgeführt. Bei der Verwendung von drei Nahtarten ergeben sich somit neun verschiedene Biegeverläufe pro Material.

Einfluss unterschiedlicher Nahtarten auf die Biegesteifigkeit

Das Ziel dieser Untersuchung besteht darin, den Einfluss unterschiedlicher Nahtarten auf das Biegeverhalten zu bestimmen. Abbildung 7.4 zeigt den Einfluss unterschiedlicher Nahtarten auf den Biegeverlauf der Vorderkante des Materials 6 in Kettrichtung bei mittlerer Nahtposition. Es ist erkennbar, dass die Naht zu einer Versteifung des Materials führt, welches ebenfalls die übrige textile Fläche deutlich beeinflusst [SEIF 06].

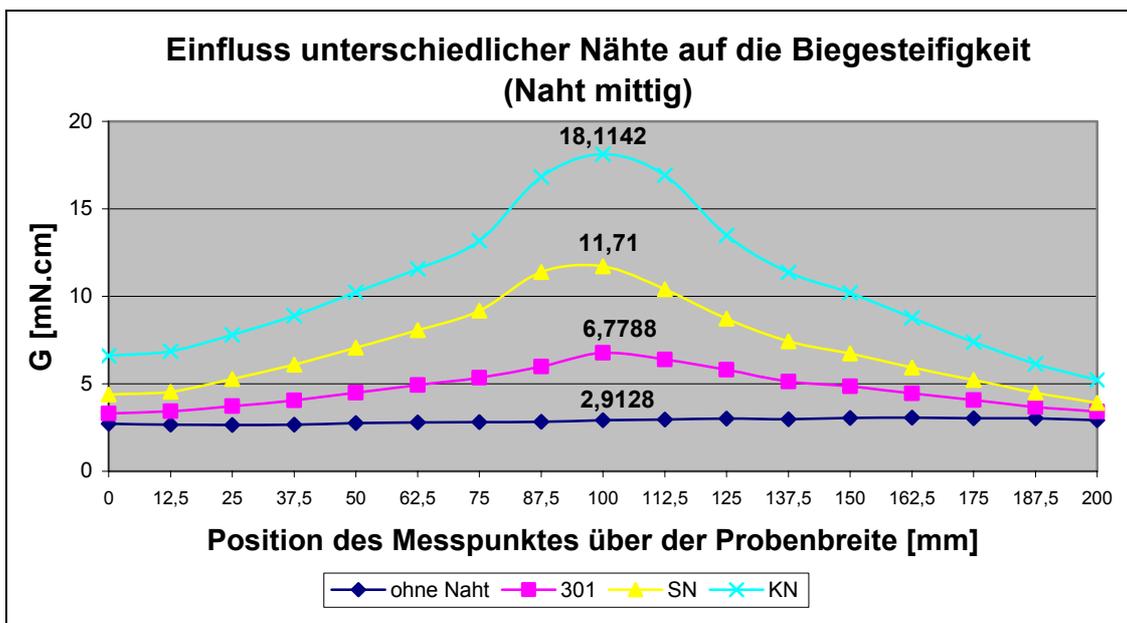


Abb. 7.4: Biegesteifigkeit unterschiedlicher Nahtarten in Kettrichtung (Material 6)

Aus der Analyse der Ergebnisse geht zudem hervor, dass die Nähte sich in Abhängigkeit vom Nähfadenverbrauch und der Anzahl der Lagen im Nahtbereich unterschiedlich verhalten. Mehr Fadenverbrauch und höhere Anzahl der Lagen führen zu einer Zunahme der Dicke der Naht und des Flächengewichtes, wodurch wiederum die Biegesteifigkeit derselben beeinflusst wird. Die Abbildung 7.5 zeigt den Zusammenhang zwischen der Nahtdicke und der Biegesteifigkeit des Materials 6. Je dicker die Naht ist, desto höher ist die Biegesteifigkeit. Der höchste Wert bezüglich des Einflusses der Naht auf die Biegesteifigkeit wird dementsprechend für die Doppelkappnaht mit vier Lagen im Nahtbereich ermittelt (siehe Abb. 7.1). Die Ergebnisse der FEM-Berechnung stimmen mit diesen Ergebnissen überein (siehe Kapitel 9).

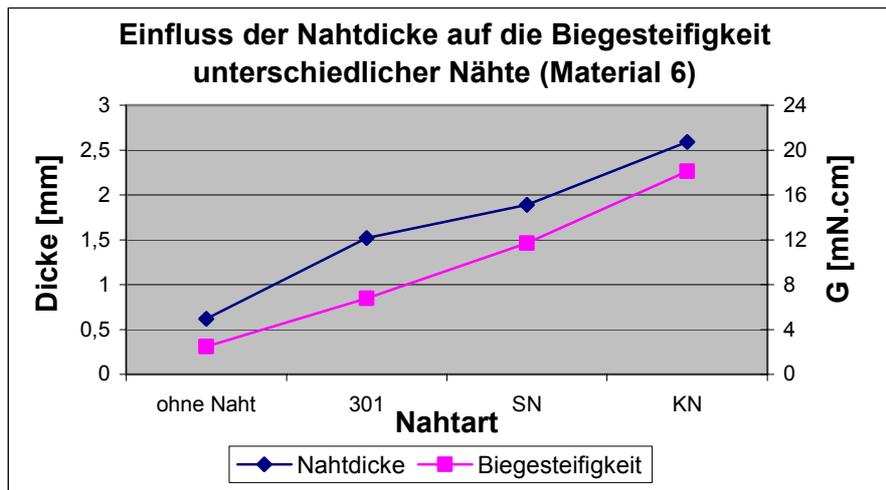


Abb. 7.5: Zusammenhang zwischen der Nahtdicke und der Biegesteifigkeit (Material 6)

Einfluss unterschiedlicher Nahtpositionen auf die Biegesteifigkeit

In Abbildung 7.6 ist der Biegeverlauf des Materials 6 bei unterschiedlichen Nahtpositionen der Schließnaht dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die seitlich positionierte Naht eine höhere Steifigkeit als die mittige Naht aufweist. Dies ist damit zu begründen, dass bei der mittigen Naht ein Gleichgewicht in der Materialverteilung bezogen auf die Probenbreite vorliegt, bei den seitlichen Nahtpositionen jedoch nicht. Die Probe wird hier zwangsläufig in eine größere und eine kleinere Fläche unterteilt. Aufgrund der Nahtzugabe wirkt eine kleinere Fläche verstärkend auf die Naht. Je kleiner die Fläche, desto höher ist ihr Einfluss auf die Nahtsteifigkeit. Dies erklärt ebenfalls, weshalb die Nahtsteifigkeit bei der Nahtposition *seitlich 2* größer ist als bei der Nahtposition *seitlich 1*.

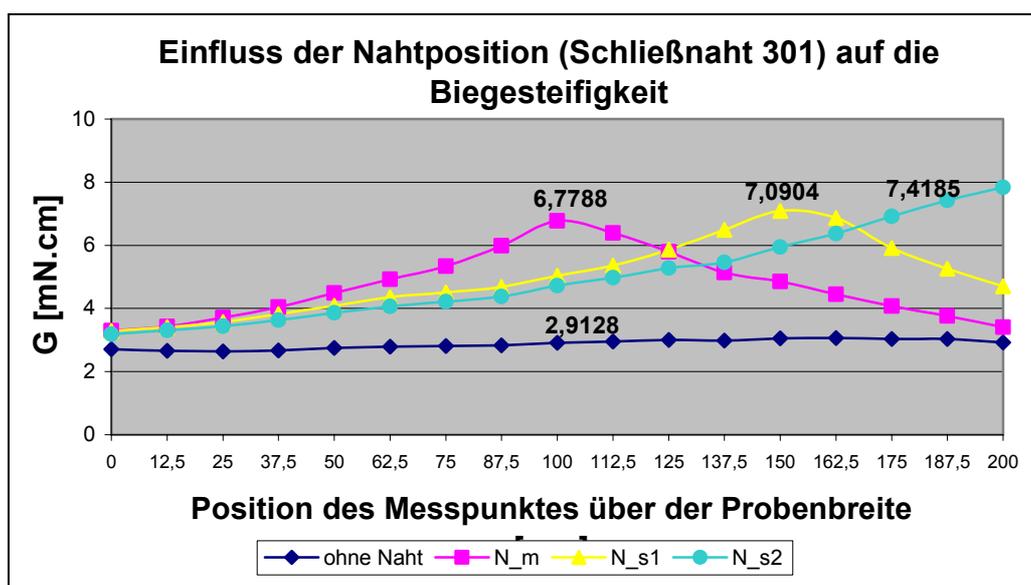


Abb. 7.6: Einfluss der Nahtposition auf den Biegeverlauf des Materials 6 in Kettrichtung

Ermittlung des Einflussfaktors der Naht auf die Biegesteifigkeit

Auf der Basis der Untersuchungsergebnisse wird eine Funktion zwischen dem Abstand der Naht und der Biegesteifigkeit bestimmt. Der Einflussfaktor der Nähte lässt sich nach folgender Formel:

$$F_{NI} = \frac{G_N}{G_S} \quad (7.1)$$

mit:

- F_{NI} - Faktor des Nahteinflusses,
- G_N - Biegesteifigkeit der textilen Flächen mit Naht und
- G_S - Biegesteifigkeit der textilen Flächen ohne Naht berechnen.

In Abbildung 7.7 wird die grafische Darstellung der Einflussfaktoren der untersuchten Nähte (Nahtposition ist seitlich 2) für Leinwand- und Köperbindung gezeigt. Im Diagramm liegt die Naht im 0-Punkt der X-Achse.

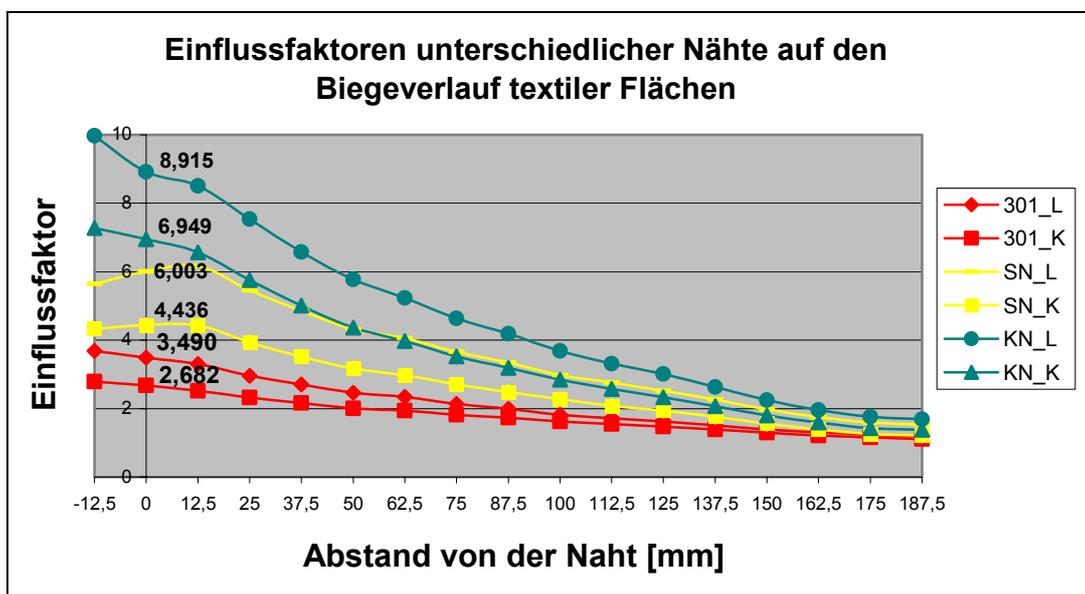


Abb. 7.7: Einflussfaktoren unterschiedlicher Nähte auf die Biegesteifigkeit verschiedener Gewebearbeiten

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass verschiedene Gewebearbeiten zu unterschiedlichen Einflussfaktoren führen. Der Einfluss der Naht auf die Biegesteifigkeit des Leinwandgewebes ist deutlich größer als ihr Einfluss auf Gewebe mit Köperbindung. Die Ursache dafür liegt darin, dass die Naht bei einer Leinwandbindung auf wesentlich mehr Bindepunkte trifft als bei der Köperbindung. Dadurch ergibt sich eine stärkere Versteifung der Naht (siehe Abb. 7.8).

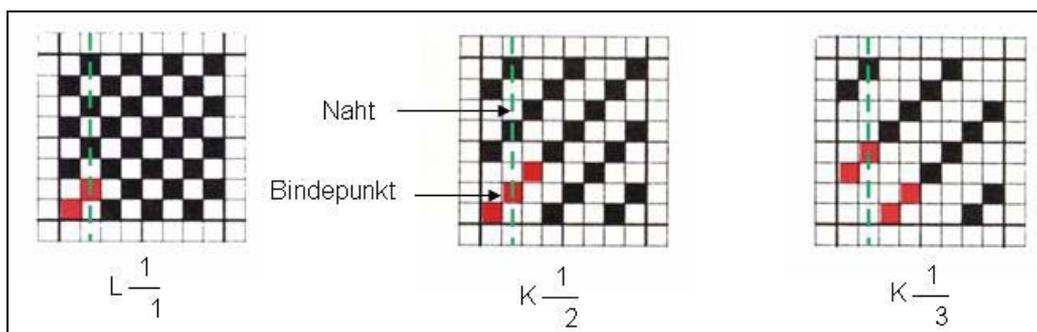


Abb. 7.8: Lage der Naht bei unterschiedlichen Gewebearbeiten

Die Biegesteifigkeit als Funktion des Abstandes der Naht wird für jede Nahtart und Gewebearbeitung wie folgt berechnet:

Schließnaht (301):

$$F_{301.N-L} = 0,00005x^2 - 0,0211x + 3,46 \quad R^2 = 0,998, \quad (7.2)$$

$$F_{301.N-K} = 0,00002x^2 - 0,0127x + 2,64 \quad R^2 = 0,997, \quad (7.3)$$

Safety-Naht (SN):

$$F_{SN-L} = 0,00004x^2 - 0,0322x + 5,92 \quad R^2 = 0,974, \quad (7.4)$$

$$F_{SN-K} = 0,00004x^2 - 0,0287x + 4,37 \quad R^2 = 0,995, \quad (7.5)$$

Doppelkappnaht (KN):

$$F_{KN-L} = 0,0002x^2 - 0,0702x + 9,07 \quad R^2 = 0,998, \quad (7.6)$$

$$F_{KN-K} = 0,0001x^2 - 0,0524x + 6,86 \quad R^2 = 0,997, \quad (7.7)$$

mit:

F_{NI-L} - Faktor des Nahtinflusses auf die Biegesteifigkeit für Leinwandbindungen,

F_{NI-K} - Faktor des Nahtinflusses auf die Biegesteifigkeit für Körperbindungen,

x - Abstand der Naht in mm und

R^2 - Bestimmtheitsmaß.

Die Kenntnis der Nahtfaktoren ermöglicht die analytische Bestimmung der Nahtsteifigkeiten direkt aus der Biegesteifigkeit der textilen Fläche. Damit entfallen zusätzliche, zeit- und kostenintensive Materialprüfungen zur Bereitstellung der benötigten Biegesteifigkeitswerte der Nähte [SEIF 06].

7.1.2 Einfluss der Nähstichtypen auf die Biegesteifigkeit

Zum Einfluss des Stichtyps auf die Biegesteifigkeit werden sieben Gewebe (siehe Tab. 6.4) mit drei verschiedenen Stichtypen Doppelstepstich (301), Überwendlichkettenstich (504) und Safety-Stich (515), der eine Kombination von Doppelkettenstich (401) und Überwendlichkettenstich (503) ist, genäht.

Die Festlegung der Nähmaschinen und der Nähparameter von Doppelsteppstich und Safety-Stich werden bereits in Abschnitt 7.1.1 gegeben. Für den Überwendlichkettenstich (504) wird die Vier-Fäden-Überwendlichstichnähmaschine der Firma VEB Nähmaschinenwerk Altenburg (Kombinat Textima) mit maximaler Stichanzahl 7500 Stiche/min und mit den Nähparameter Nähfaden (Saba^c 120), Nähadel B27 und Stichlänge 2,985 mm verwendet.

Die Messproben haben eine Breite von 50 mm und eine Länge von 250 mm mit mittig positionierten Nähten.

Ergebnisse und Auswertung

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass der Safety-Stich (Stich 515) infolge des hohen Nähfadenverbrauchs und der größeren Dicke den höchsten Wert der Biegesteifigkeit zeigt, da der Stich die Biegung der Probe verhindert. Die Berechnung des Fadenverbrauchs jedes Stiches wird in Tabelle 3.2 dargestellt. Der Doppelsteppstich (301) zeigt den niedrigsten Wert der Biegesteifigkeit, da er ein flacher Stich ist (niedrige Dicke) und den geringsten Nähfaden verbraucht. In Abbildung 7.9 ist der Einfluss unterschiedlicher Nähstichtypen auf die Biegesteifigkeit des Materials 3 in Kett- und Schussrichtung dargestellt.

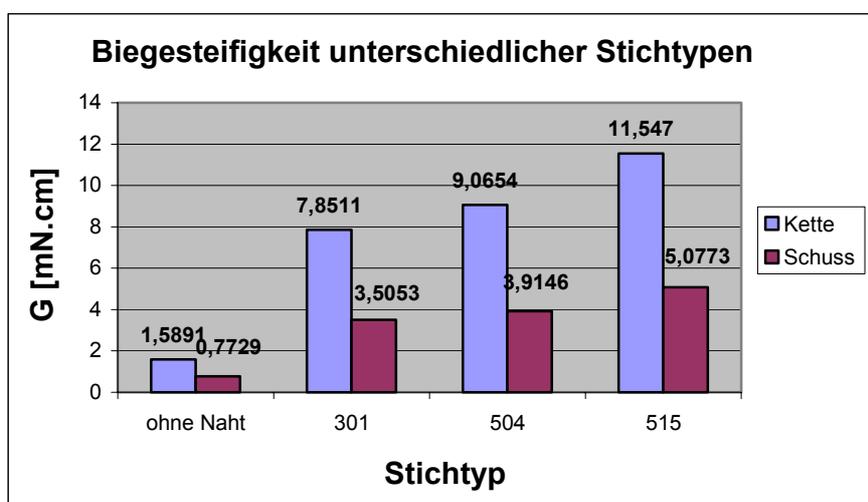


Abb. 7.9: Einfluss unterschiedlicher Stichtypen auf die Biegesteifigkeit (Material 3)

7.1.3 Einfluss der Nähnahtarten auf die Biegesteifigkeit

Die Aneinanderreihung von Nähstichen oder Nähstichtypen in einer oder mehreren Nähgutlagen während des Nähprozesses bestimmt die Nähnahtart. Ziel dieser Untersuchung ist, den Einfluss der im Kapitel 3 festgelegten Nähnahtarten auf die Biegesteifigkeit zu ermitteln. Vier unterschiedliche Nahtarten nach DIN ISO 4916 werden für die Voruntersuchung ausgewählt. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Schließnaht 301 (1.01.01) und die Nahtart (4.03.03), welche eine Schließnaht mit befestigter Nahtzugabe ist, ähnliche Werte aufweisen. Obwohl die Nahtart (4.03.03)

mehr Nähfaden verbraucht als die Schließnaht (301) und folglich ein höheres Flächengewicht aufweisen sollte, verhält sie sich aufgrund der Befestigung der Nahtzugabe, welche die Überhanglänge des Stoffes beeinflusst, ähnlich. In Abbildung 7.10 ist der Einfluss der untersuchten Nähte auf die Biegesteifigkeit des Materials V 2 (siehe Tab. 4.2) in Kettrichtung dargestellt.

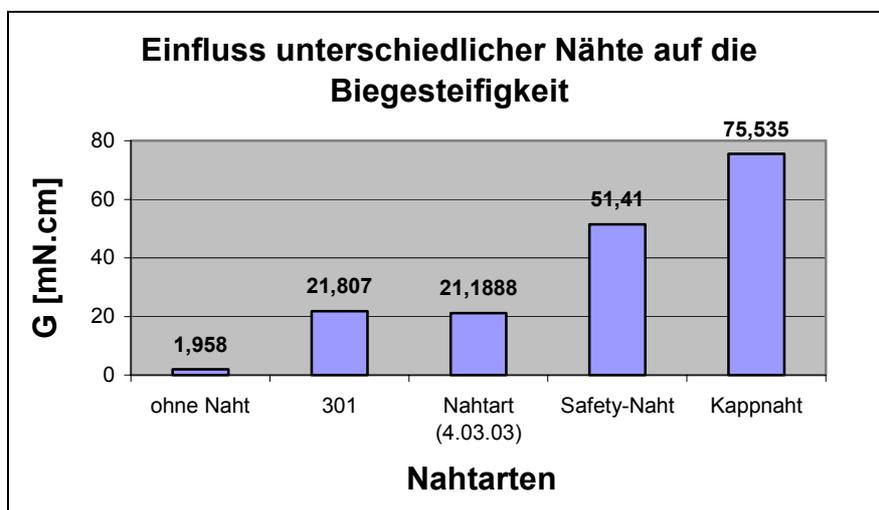


Abb. 7.10: Einfluss unterschiedlicher Nähte auf die Biegesteifigkeit (Voruntersuchung), Material V 2

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse und im Hinblick auf die häufige Verwendung der Schließnaht wird festgelegt, die Untersuchung auf die folgenden drei Nahtarten zu beschränken: Schließnaht (301), Safety-Naht und Doppelkappnaht.

Sechs Materialien (Tab. 6.4) werden für die Untersuchung verwendet. Die Messproben haben eine Breite von 50 mm und eine Länge von 250 mm und die Position der Naht ist mittig.

Ergebnisse und Auswertung

Die drei untersuchten Nähte weisen eine unterschiedliche Lagenanzahl im Nahtbereich auf. Wie bereits in Abschnitt 7.1.1 erklärt wird, verursacht die Doppelkappnaht die höchste Versteifung des Stoffes. Die Ergebnisse dieser Untersuchung stimmen mit den dargestellten Ergebnissen von Einfluss des Nahtabstandes in Abschnitt 7.1.1 überein.

In Abbildung 7.11 wird die Biegesteifigkeit unterschiedlicher Nähnahtarten für verschiedene Materialien dargestellt.

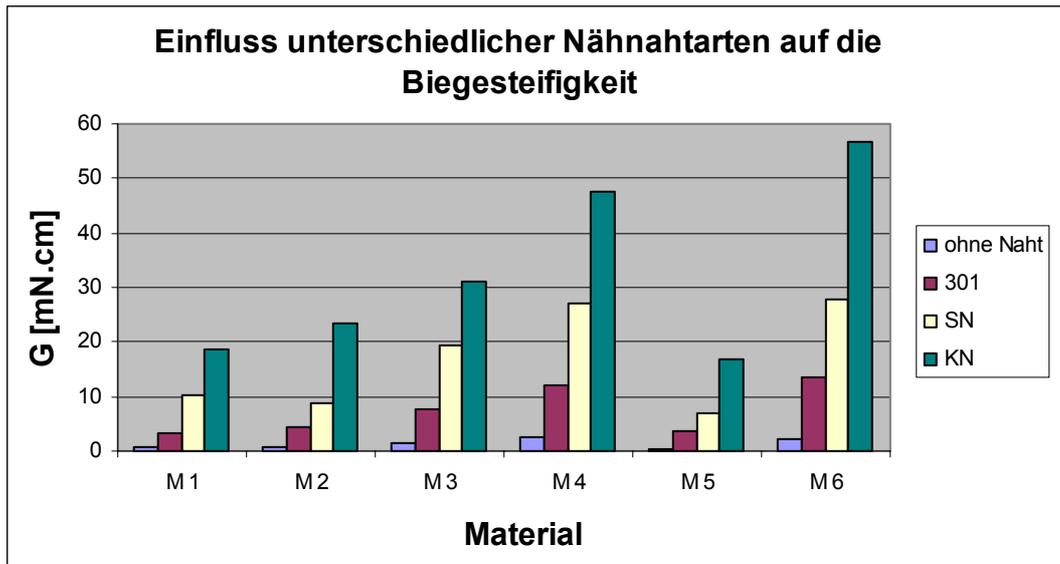


Abb. 7.11: Einfluss unterschiedlicher Nähnahtarten auf die Biegesteifigkeit in Kettrichtung

Aus der Darstellung des Biegeverlaufs der Vorderkante der Proben (Abb. 7.12) wird ersichtlich, dass die Nahtstelle nicht immer den höchsten Wert der Biegesteifigkeit hat. Die Naht beeinflusst den gesamten Biegeverlauf. Bei einer schmalen Probenbreite spielt die Art der Befestigung der Nahtzugabe eine große Rolle, um die höchste Versteifung in die gesamte Fläche z. B. bei der Safety-Naht und bei der Doppelkappnaht zu bestimmen. Die Schließnaht (301) wird nicht befestigt, deswegen hat sie ein Gleichgewicht in der Materialverteilung, welches das symmetrische Biegeverhalten der Vorderkante verursacht.

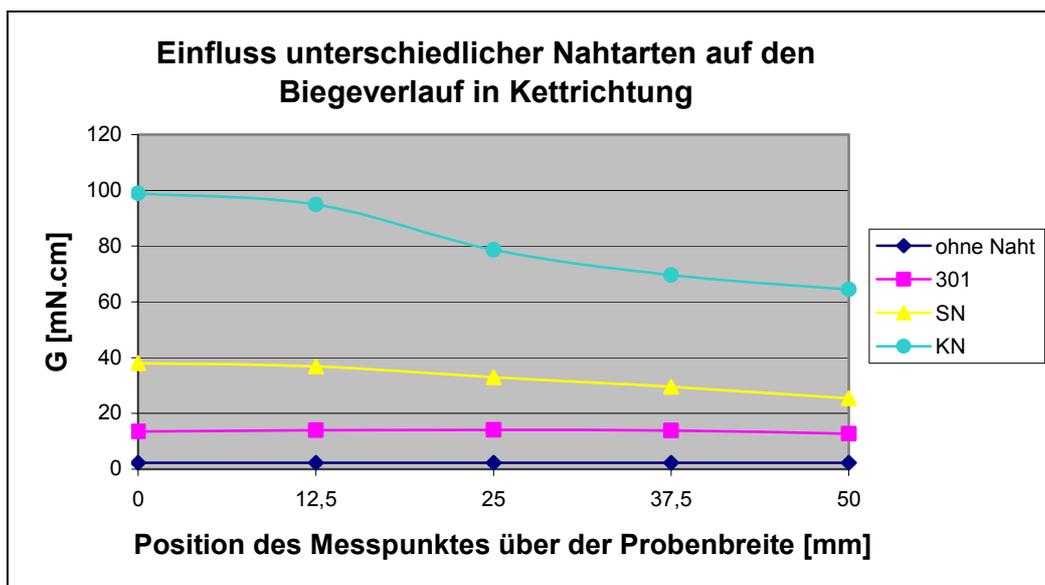


Abb. 7.12: Einfluss unterschiedlicher Nahtarten auf den Biegeverlauf des Materials 6 in Kettrichtung (Naht mittig)

7.1.4 Einfluss der Nahtwinkellagen auf die Biegesteifigkeit

Die Lage der Naht in einem Bekleidungsprodukt variiert in Abhängigkeit von dessen Design und der Schnittkonstruktion. Die textilen Flächen können in verschiedenen Winkellagen zum Fadensystem vorbereitet werden. Die Bestimmung des Einflusses der Nahtwinkellagen auf die Biegesteifigkeit ist das Ziel dieser Untersuchung.

7.1.4.1 Biegesteifigkeit textiler Fläche ohne Naht in verschiedenen Winkellagen zum Fadensystem

Die untersuchten Materialien in Tabelle 6.4 werden in verschiedenen Winkellagen (in 15° Schritten) von 0° bis 90° zur Schussrichtung zugeschnitten. Die Messproben haben eine Breite von 50 mm und Länge von 250 mm.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Stoff in Kettrichtung (90°) biegesteifer als in Schussrichtung (0°) ist. Die Ursache dafür ist einerseits, dass die Spannung der Kettfäden aufgrund des Webprozesses größer als die Spannung der Schussfäden ist. Andererseits verursacht die größere Anzahl der Kettfäden höhere Dichte, bzw. höhere Steifigkeit in Kettrichtung. Die Werte der Biegesteifigkeit steigen in Kettrichtung an. Abbildung 7.13 zeigt die Biegesteifigkeit in verschiedenen Winkellagen zur Schussrichtung des Materials 4.

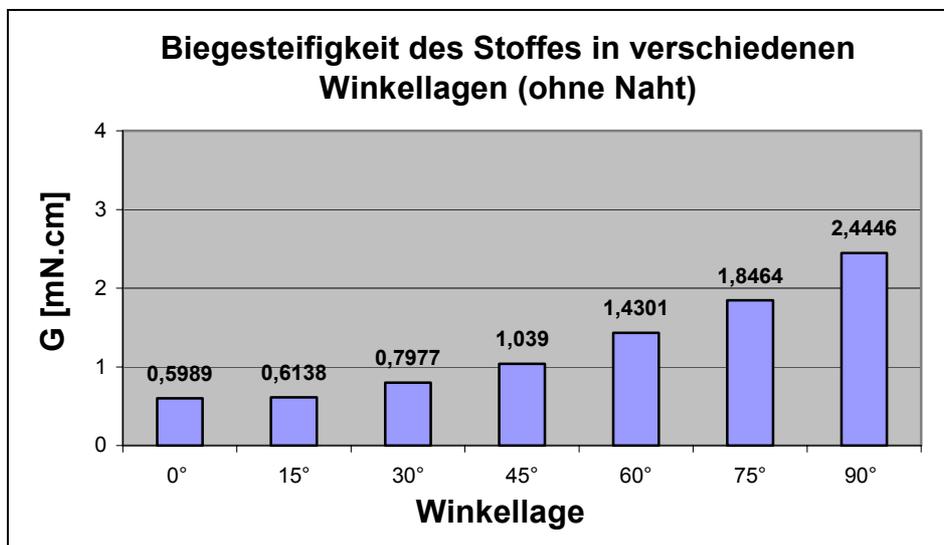


Abb. 7.13: Biegesteifigkeit textiler Flächen ohne Naht in verschiedenen Winkellagen zur Schussrichtung (Material 4)

7.1.4.2 Variation der Nahtwinkellagen in der Bekleidungsindustrie

Eine mögliche Variation der Winkellagen der Naht ist wie folgende zusammengefasst:

Fall 1: Stoff (Probe) in verschiedenen Winkellagen,

Fall 2: Naht in verschiedenen Winkellagen,

Fall 3: Stoff (Probe) und Naht in verschiedenen Winkellagen.

In Abbildung 7.14 ist die Variation der drei möglichen Winkellagen der Naht dargestellt.

Für die Vorbereitung der Messproben werden die Stoffe mit der Schließnaht (301) und einer Nahtzugabe von 10 mm nach der Art der Variation der Winkellagen genäht und zugeschnitten.

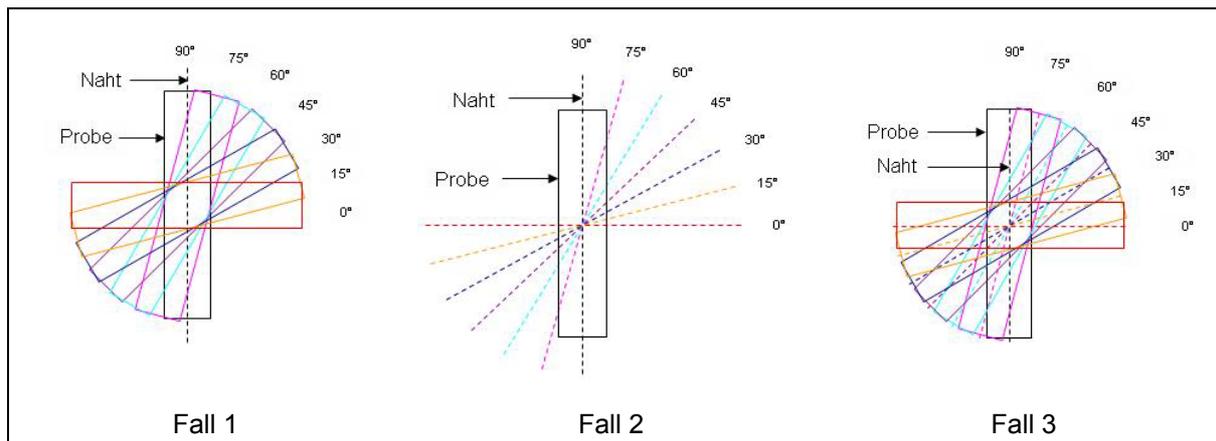


Abb. 7.14: Variation der Nahtwinkellagen in einem Bekleidungsprodukt

Ergebnisse und Auswertung

Die Ergebnisse der Voruntersuchung zeigen, dass die Form der Winkellagen in Fall 1 und Fall 2 zu ähnlichem Verhalten führen. In Abbildung 7.15 sind die Ergebnisse unterschiedlicher Materialien (siehe Tab. 4.2) dargestellt.

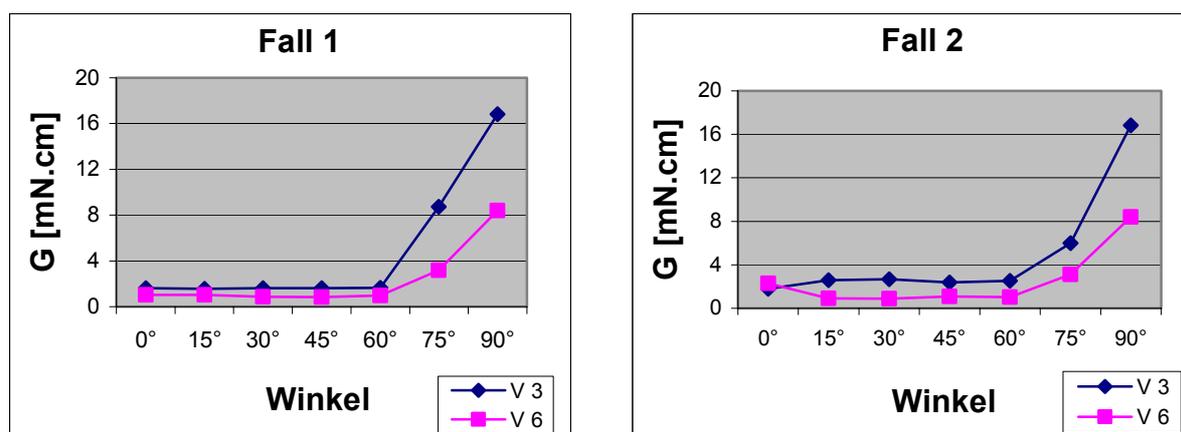


Abb. 7.15: Biegesteifigkeit bei zwei Variationen der Nahtwinkellagen (Voruntersuchung)

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass die Naht von 0° bis 60° in beiden Fällen kaum eine Änderung der Werte der Biegesteifigkeit verursacht, da die Nähte außer-

halb des Bereichs der Überhanglänge der untersuchten Materialien liegen (Abb. 7.16).

Auf der Basis dieser Ergebnisse erfolgt die weitere Untersuchung an nur einer der zwei Formen. In diesem Zusammenhang wird der Fall 2 für die weitere Untersuchung ausgewählt, da er in der Bekleidungsindustrie häufig Verwendung findet. Die Winkellagen im Bereich von 0° bis 60° werden reduziert. Im Bereich von 60° bis 90° wird in 10° Schritten intensiver untersucht. Die neue Form der vorbereiteten Proben des Falls 2 ist in Abbildung 7.17 dargestellt.

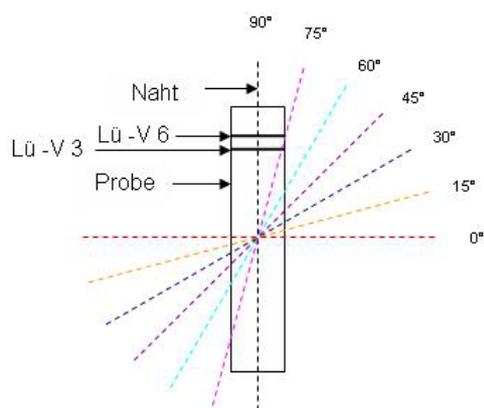


Abb. 7.16: Vergleich der Position der Nähte zum Bereich der Überhanglänge

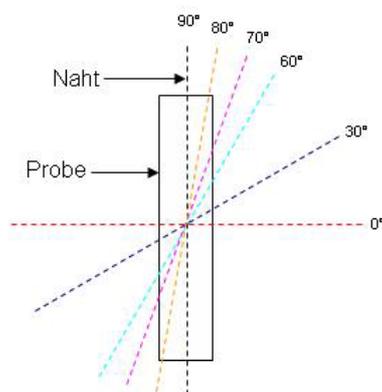


Abb. 7.17: Neue Nahtwinkelungen

Abbildung 7.18 zeigt die Darstellung der Ergebnisse des Einflusses der Naht in verschiedenen Winkelagen (Fall 2) auf die Biegesteifigkeit des Materials 4. Die Ergebnisse stimmen mit den Ergebnissen der Voruntersuchung überein. In den Winkelagen von 0° bis 60° ist kaum eine Änderung festzustellen. Ab einer Winkelage von 60° zeigen die Nähte jedoch einen deutlichen Einfluss auf die Werte der Biegesteifigkeit. Je größer der Winkel, desto stärker beeinflusst die Naht die Biegesteifigkeit des Stoffes. Am deutlichsten ist der Einfluss der Naht demnach bei einer Winkelage von 90° , in welcher die Naht senkrecht zur Biegeachse verläuft und somit den größten Einfluss auf die Biegesteifigkeit der textilen Fläche hat.

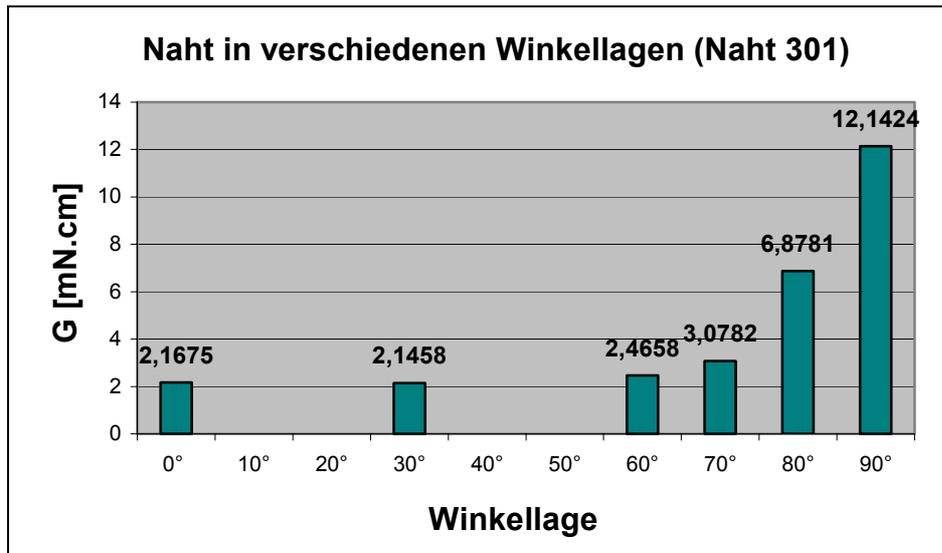


Abb. 7.18: Einfluss der Nahtwinkellagen auf die Biegesteifigkeit des Materials 4 (Fall 2)

Der Fall 3, wobei die Naht und die Probe in verschiedenen Winkellagen von 0° bis 90° in 15° Schritten variiert, d. h. die Naht immer senkrecht zur Biegeachse liegt, verursacht eine erhebliche Versteifung des Stoffes. Die höchsten Werte der Biegesteifigkeit sind für die Winkellagen 90° und 0° zu verzeichnen, wobei der maximale Wert der Biegesteifigkeit bei einer Winkellage von 90° erreicht wird. Die Naht bei 45° hat den niedrigsten Einfluss auf die Biegesteifigkeit, da die Naht auf weniger Bindepunkte trifft. Die Darstellung der Ergebnisse des Falls 3 für das Material M 4 ist in Abbildung 7.19 gezeigt.

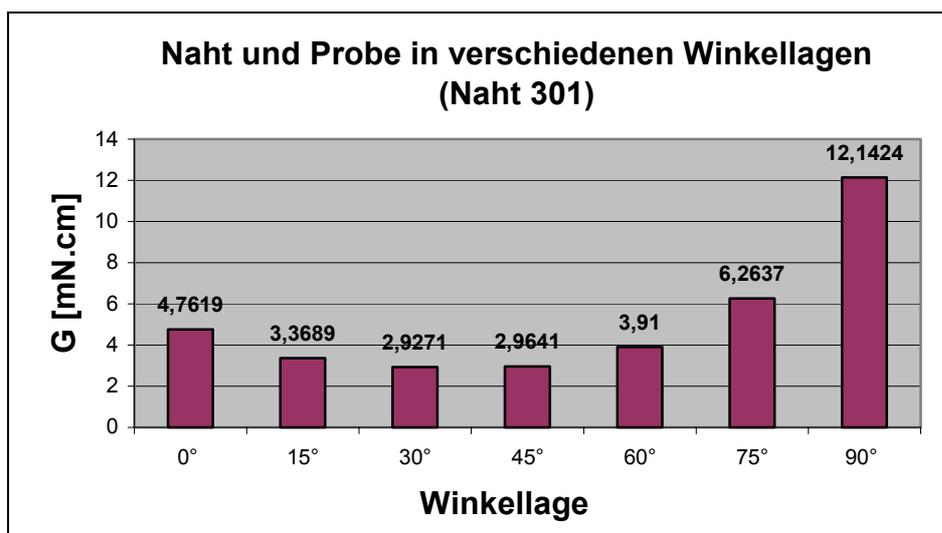


Abb. 7.19: Einfluss der Nahtwinkellagen auf die Biegesteifigkeit des Materials 4 (Fall 3)

7.2 Einfluss der horizontalen Naht auf die Biegesteifigkeit

Im Folgenden wird der Einfluss der horizontalen Naht auf die Biegesteifigkeit textiler Flächen bestimmt. Drei Materialien (M 5, M 6, M 7) (siehe Tab. 6.4) werden mit den drei Nähten Schließnaht (301), Safety-Naht und Doppelkappnaht für die Untersuchung verwendet.

Die experimentellen Untersuchungen werden unter folgenden Versuchsvarianten durchgeführt:

- zwei mögliche Probenbreiten 60 mm und 210 mm,
- drei unterschiedliche Nahtabstände von der Vorderkante der Probe,
- zwei verschiedene Nahtzugaben 5 mm und 10 mm (nur mit der Schließnaht 301).

7.2.1 Einfluss der horizontalen Naht bei unterschiedlichen Nahtabständen von der Biegekante

Um die passenden Nahtabstände von der Biegekante der Probe zu bestimmen, werden die Überhanglängen der untersuchten Materialien ohne Naht bestimmt, damit beschränken sich die Nahtpositionen auf den Bereich der Überhanglängen (Tab. 7.1). In Abbildung 7.20 ist die Probenvorbereitung für die Untersuchung gezeigt.

Tabelle 7.1: Auswahl der Nahtabstände von der Biegekante der untersuchten Materialien

Material	Überhanglänge (ohne Naht) [cm]	Nahtabstand von der Biegekante der Probe [cm]		
M 5	2,8	1	2	2,5
M 6	4,1	1	2	3
M 7	4,4	1	2	3

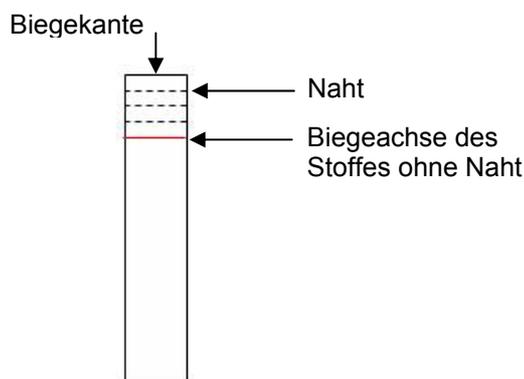


Abb. 7.20: Untersuchte Nahtpositionen der horizontalen Nähte

Ergebnisse und Auswertung

Die experimentellen Untersuchungen bestätigen, dass es im Fall der horizontalen Naht keine wesentlichen Unterschiede zwischen den zwei untersuchten Probenbreiten gibt, da die Naht parallel zur Biegeachse verläuft und im Gegensatz zu einer vertikalen Naht keine Änderung in der Materialverteilung verursacht. Der Unterschied der Ergebnisse liegt im Bereich der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

In Abbildung 7.21 ist der Vergleich des Einflusses der horizontalen Naht auf die Biegesteifigkeit des Materials 6 bei den zwei untersuchten Probenbreiten dargestellt.

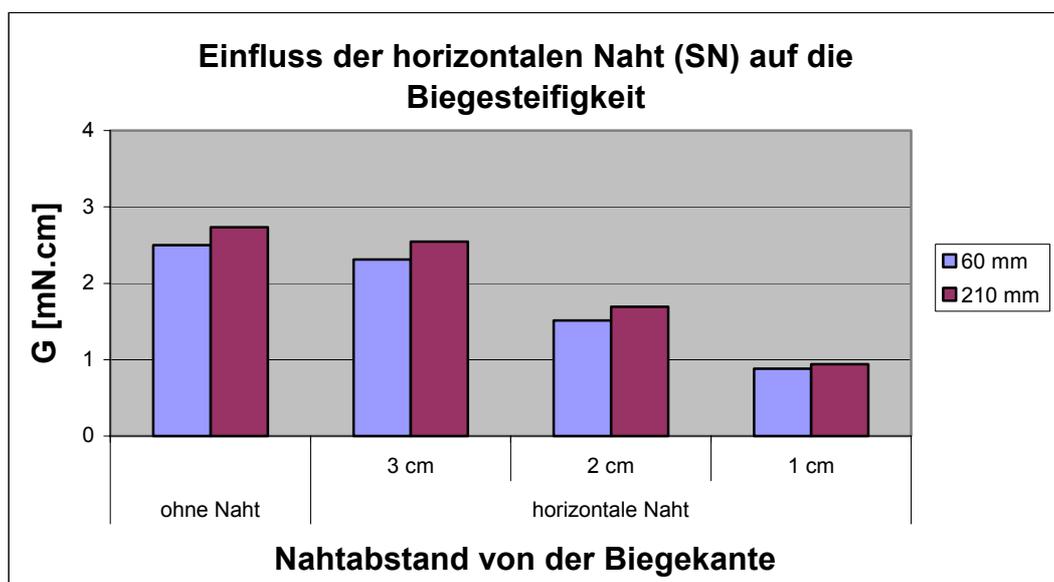


Abb. 7.21: Einfluss der horizontalen Naht bei zwei unterschiedlichen Probenbreiten (Material 6)

Die Ergebnisse in Abbildung 7.21 verdeutlichen, dass der Stoff ohne Naht nicht immer den niedrigsten Wert der Biegesteifigkeit hat. Die horizontale Naht verursacht im Vergleich zur vertikalen Naht eine Senkung der Biegesteifigkeit textiler Flächen. Das Ergebnis stimmt mit den Ergebnissen von HU [HU 97] überein. Je näher die Naht an der Biegekante ist, desto niedriger ist die Biegesteifigkeit. Dies liegt darin begründet, dass die Naht ein schnelles Biegen der Probe veranlasst, wenn sie parallel zur Biegeachse verläuft.

In Abbildung 7.22 sind die Biegeverläufe der Safety-Naht in drei Positionen für das Material 6 in Kettrichtung dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die horizontale Naht keinen Einfluss auf den Biegeverlauf der Vorderkante der Probe hat, da sie die gesamte Fläche gleichmäßig beeinflusst.

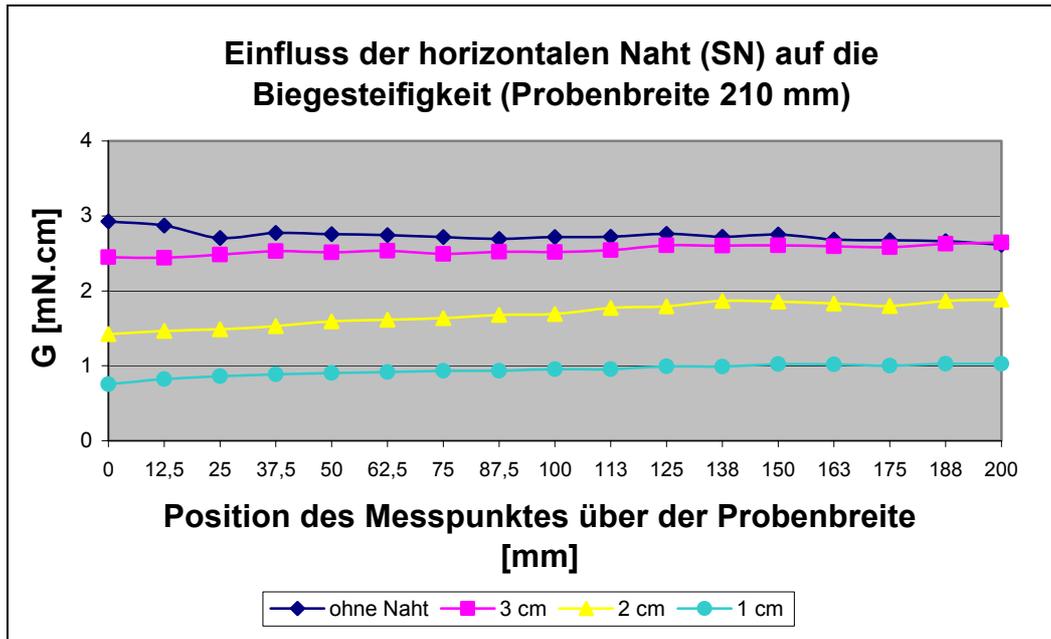


Abb. 7.22: Einfluss der horizontalen Naht auf den Biegeverlauf des Materials 6

In Abbildung 7.23 wird der Einfluss unterschiedlicher Nähte (horizontale Naht) auf die Biegesteifigkeit dargestellt. Aus den Untersuchungsergebnissen kann abgeleitet werden, dass das Verhalten der horizontalen Nähte dem der vertikalen Nähte entgegengesetzt ist. Die höhere Lagenanzahl im Nahtbereich und die hohe Nahtdicke verursachen eine stärkere Senkung der Überhanglänge sowie der Biegesteifigkeit. Aus diesem Grund hat die Doppelkappnaht den niedrigsten Wert der Biegesteifigkeit. Die Art der Befestigung der Nahtzugabe bei der Safety-Naht und bei der Doppelkappnaht beeinflusst die Ergebnisse wesentlich.

Für das Material 5 zeigen die Ergebnisse ein anderes Verhalten der horizontalen Naht als die bereits dargestellten Ergebnisse in Abbildung 7.21. Da das Material 5 sehr weich ist, wird der Untersuchungsbereich sehr gering. Deswegen werden die drei Nahtpositionen einerseits sehr dicht und andererseits nah an der Biegeachse des Materials ohne Naht ausgewählt (siehe Tab. 7.1). Damit verursachen die Nähte eine geringe Verstärkung des Stoffes bei den drei Nähten im Allgemeinen und eine stärkere Versteifung desselben bei der Schließnaht (301) im Besonderen (Abb. 7.23).

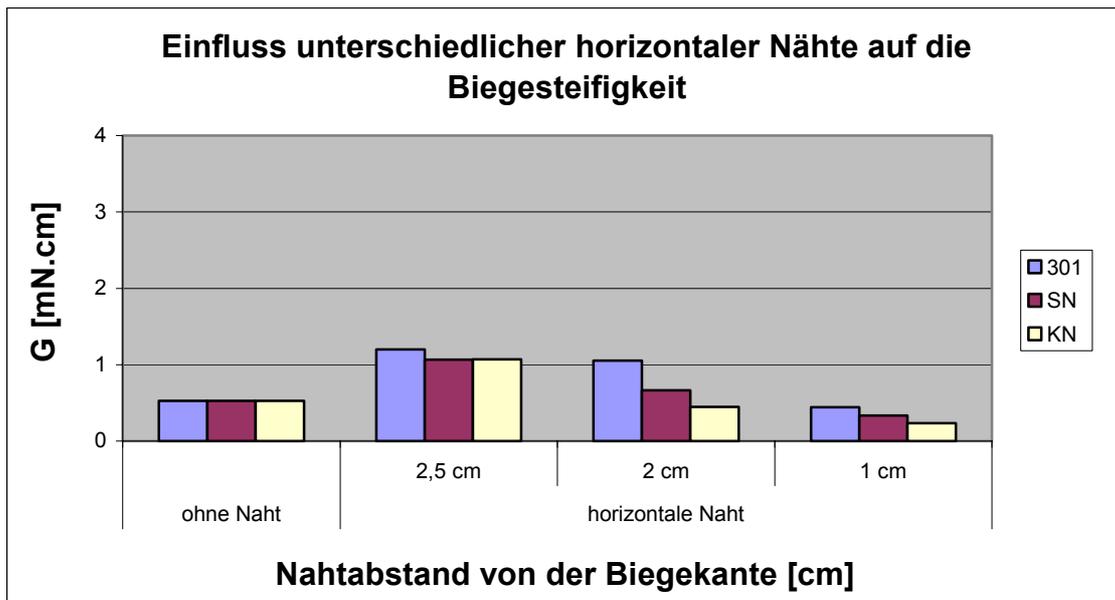


Abb. 7.23: Einfluss unterschiedlicher Nähte (horizontal) auf die Biegesteifigkeit des Materials 5

7.2.2 Einfluss der horizontalen Naht bei unterschiedlichen Nahtzugaben auf die Biegesteifigkeit

Das Ziel dieser Untersuchung besteht darin, den Einfluss der Nahtzugaben auf die Biegesteifigkeit zu ermitteln. Die Prüfung beschränkt sich auf die Schließnaht 301, da die anderen zwei Nähte nicht ermöglichen, die Nahtzugabe zu variieren. Die Proben werden mit zwei verschiedenen Nahtzugaben von 5 mm und 10 mm in denselben Nahtpositionen wie zuvor genäht.

Die Analyse der Ergebnisse verdeutlicht, dass die Biegesteifigkeit bei weichen Materialien oder bei Materialien mit niedrigem Flächengewicht bei einer Nahtzugabe von 10 mm höher als bei einer Nahtzugabe von 5 mm ist, da das Flächengewicht in diesem Fall höher ist und solches in die Berechnung der Biegesteifigkeit eingeht. Abbildung 7.24 beschreibt das Verhalten der horizontalen Naht für das Material 5.

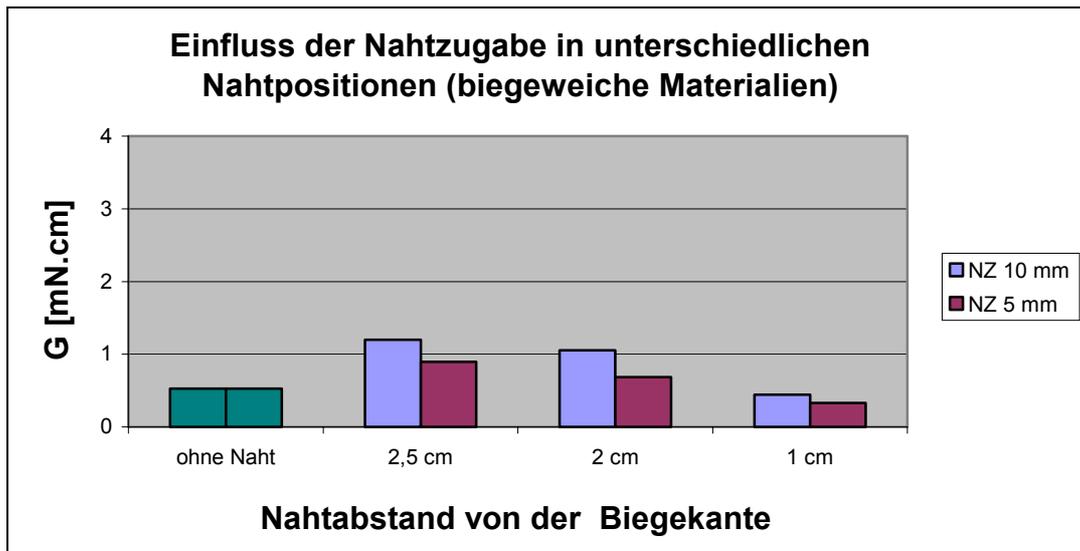


Abb. 7.24: Einfluss unterschiedlicher Nahtzugaben der horizontalen Naht auf die Biegesteifigkeit der biegeweichen Materialien (Material 5)

Für steife Materialien bzw. Materialien mit hohem Flächengewicht z. B. Material 6 und Material 7 zeigen die Ergebnisse dasselbe Verhalten wie bei weichen Materialien, wenn die Naht weiter von der Biegekante bzw. näher an der Biegeachse liegt. Ist die Naht näher an der Biegekante, dann verhält sich der Stoff anderes. Bei einem Nahtabstand von 2 cm sind die Ergebnisse im Hinblick auf die zwei Nahtzugaben nahezu identisch. Ein höheres Gewicht bewirkt andererseits ein schnelleres Biegen der Probe, weshalb die Biegesteifigkeit bei einem Nahtabstand 1 cm und bei einer Nahtzugabe von 10 mm geringer ist als bei einer Nahtzugabe vom 5 mm. Die Ergebnisse der horizontalen Naht für die zwei untersuchten Nahtzugaben für Material 6 sind in Abbildung 7.25 dargestellt.

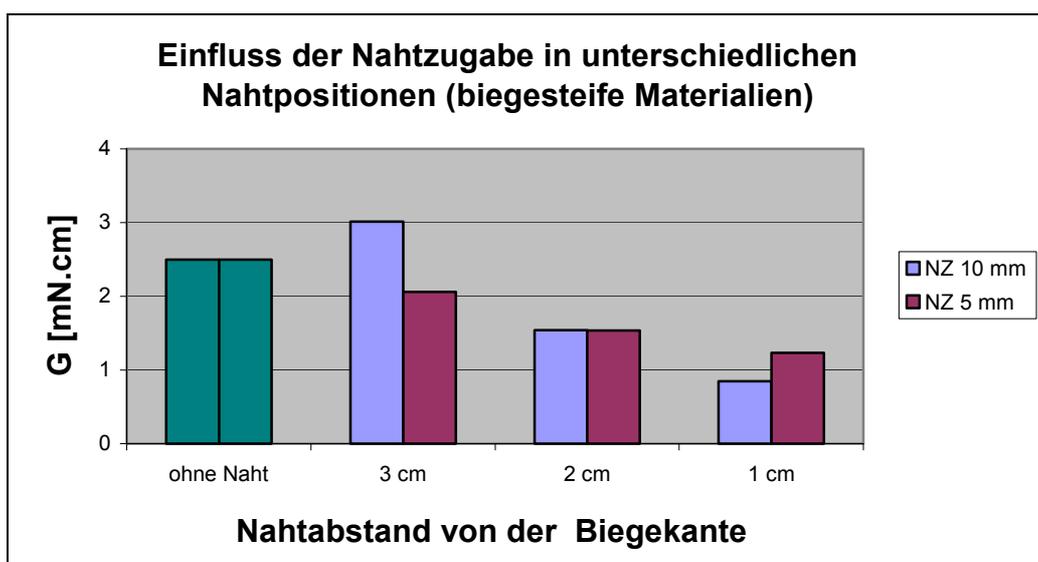


Abb. 7.25: Einfluss unterschiedlicher Nahtzugaben der horizontalen Naht auf die Biegesteifigkeit der biegesteifen Materialien (Material 6)

7.3 Bestimmung der optimalen Breiten für die Messproben beim ACPM 200

Während der Untersuchung mit dem ACPM 200 wird ermittelt, dass die Werte der ersten und der letzten Dioden nicht durchgängig genau bestimmt werden. Dies hat folgende Ursachen:

- Die zugeschnittenen Probenbreiten stimmen mit der Breite des Wirkungsbereiches der Lichtschranken überein. Ist die Breite der Probe geringer als erforderlich, z. B. durch Ausfransen einiger Fäden an den Rändern der Probe, dann ist nicht ausreichend Stoff vorhanden, um die beiden Dioden an den Rändern abzudecken. Somit können die Werte für eine bzw. für beide Dioden nicht bestimmt werden.
- Die Probe kippt am Anfang der Prüfung nach innen, dann verhält sie sich wieder gerade. In diesem Fall werden eine oder beide Dioden am Rand später abgedeckt und es kommt zu unerwarteten Ergebnissen. Abbildung 7.26 zeigt das Problem bei unterschiedlichen Nähten (mittig) auf den Biegeverlauf (Krümmung der Probe) des Materials 7 in Kettrichtung.

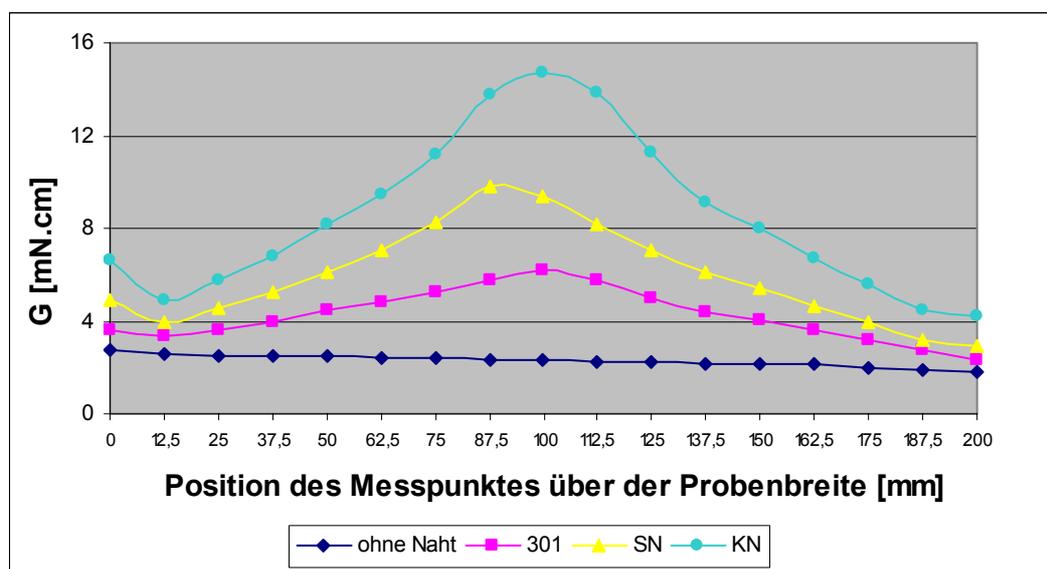


Abb. 7.26: Problem der Dioden an den Rändern der Probe

Ziel der Untersuchung ist, eine Lösung für das Problem der zwei Dioden an den Rändern der Probe zu finden.

Für diese Untersuchung werden die Materialien 5 und 6 mit der Schließnaht (301), der Safety-Naht und der Kappnaht in zwei Nahtpositionen (Naht mittig, Naht seitlich 2) ausgewählt. Die Positionierung der Nähte erfolgt nach der Probenbreite 200 mm. Für die mittig positionierte Naht werden drei Probenbreiten 200 mm, 210 mm und 220 mm geprüft. Für die seitlich positionierte Naht werden vier Probenbreiten 200

mm, 210 mm, 220 mm und 240 mm untersucht. Die Probenvorbereitung für diese Untersuchung ist in Abbildung 7.27 dargestellt.

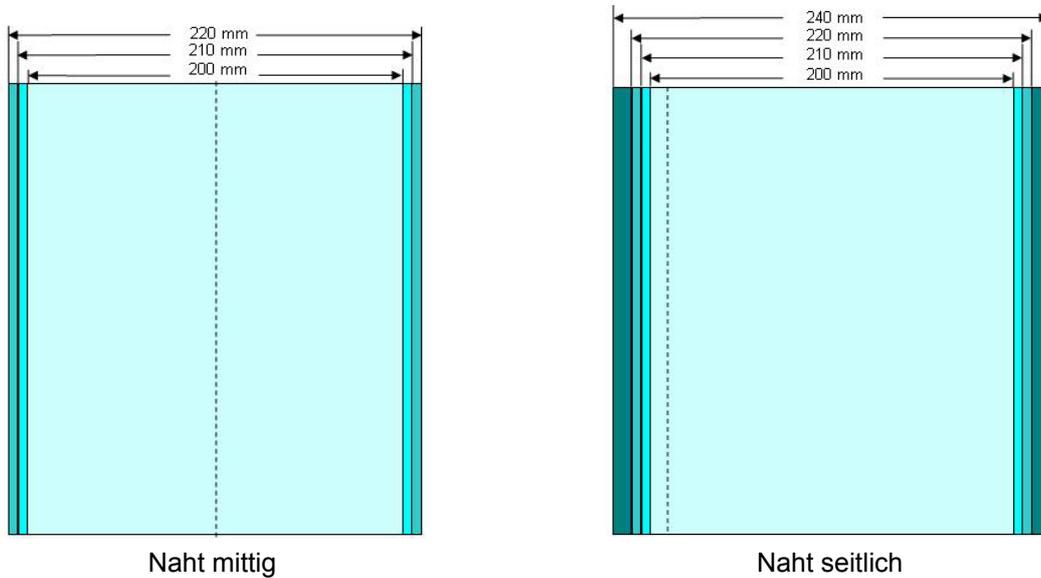


Abb. 7.27: Untersuchte Probenbreiten

Von den Untersuchungsergebnissen kann abgeleitet werden, dass in der Nutzung einer breiteren Probe die Lösung für das Problem mit den peripher angeordneten Dioden liegt. Die unterschiedlichen Probenbreiten haben einen niedrigen Einfluss auf die Biegesteifigkeit. Die prozentuale Abweichung der Ergebnisse beträgt 5% bis 10%. Je breiter die Probe, desto geringer ist der Wert der Biegesteifigkeit. Wenn die Probenbreite größer als 210 mm ist, gibt es keine relevanten Veränderungen im Ergebnisverlauf. Abbildung 7.28 zeigt den Biegeverlauf der seitlich positionierten Schließnaht (301) bei unterschiedlichen Probenbreiten für das Material 6.

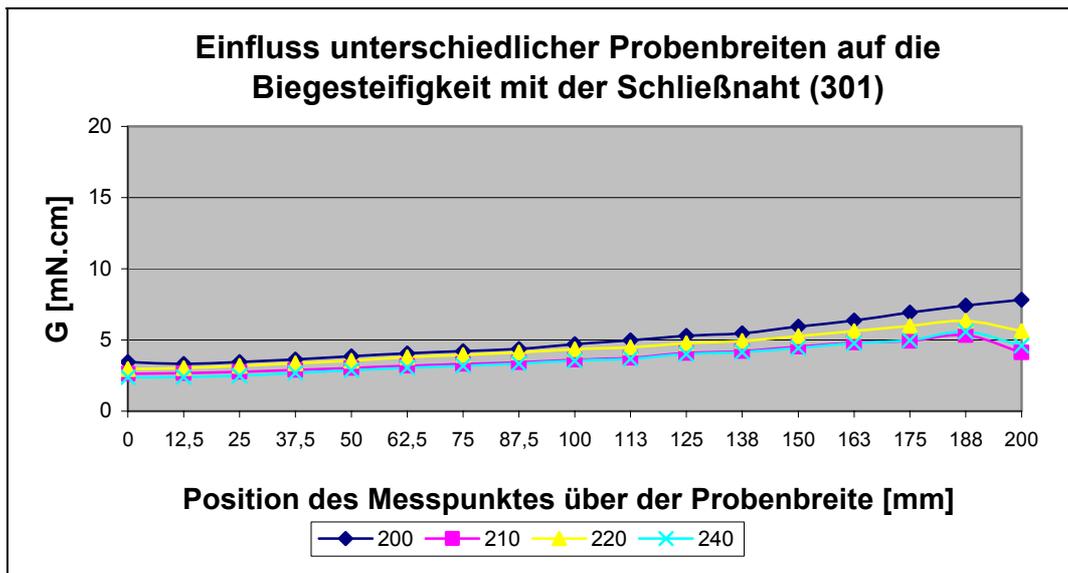


Abb. 7.28: Vergleich der Biegesteifigkeit unterschiedlicher Probenbreiten mit Schließnaht 301 (Naht seitlich), Material 6

Aus den Untersuchungsergebnissen geht hervor, dass es sich für die Ermittlung der gesamten Probenkontur empfiehlt, eine Probe zu verwenden, die breiter als der Wirkungsbereich der Lichtschranken ist. Die prozentuelle Abweichung liegt im Bereich der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse des ACPM 200. Die Verwendung einer Probenbreite von mehr als 210 mm ist nicht sinnvoll, da der Ergebnisverlauf in der Folge keine bemerkenswerten Änderungen aufweist. Die Verwendung einer größeren Probenbreite wäre demnach unnützer Stoffverbrauch.

Es wird vorgeschlagen, die folgenden Probenbreiten für weitere Untersuchungen mit dem ACPM 200 zu verwenden:

- 210 mm statt 200 mm,
- 60 mm statt 50 mm,
- 35 mm statt 25 mm.

7.4 Zusammenfassung

Für die Simulation eines Bekleidungsproduktes ist die Ermittlung des Nahteinflusses auf das Biegeverhalten der textilen Flächen notwendig. Die Lage der Naht ist in einem Bekleidungsstück in zwei Formen (vertikale Naht und horizontale Naht) vorhanden.

Um eine genaue Beschreibung des Biegeverhaltens einer vertikalen Naht zu ermöglichen, werden die Einflüsse der folgenden Aspekte: Abstand der Naht, Nähstichtyp, Nähnahtart und Nahtwinkellagen untersucht.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass

- die Naht zu einer Versteifung der textilen Flächen führt,
- verschiedene Nähte infolge der Lagenanzahl im Nahtbereich und des Fadenverbrauches sich unterschiedlich verhalten,
- die Nahtposition den Biegeverlauf beeinflusst,
- die seitlich positionierten Nähte eine höhere Steifigkeit als die mittige Naht aufweist,
- ein funktioneller Zusammenhang zwischen der Biegesteifigkeit und dem Abstand der Naht für unterschiedliche Nähte bestimmt werden kann,
- verschiedene Gewebearbeiten zu unterschiedlichen Einflussfaktoren führen,

- eine Variation der Nahtwinkellagen die Biegesteifigkeit textiler Flächen beeinflusst.

Für die horizontale Naht werden die Einflüsse der verschiedenen Nähte, der Nahtzugaben, der Probenbreiten und der Nahtpositionen untersucht. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass je näher die Naht der Biegekante (Vorderkante der Probe) ist, desto geringer ist die Biegesteifigkeit. Für die untersuchten Nahtarten zeigen die Ergebnisse, dass das Verhalten der horizontalen Nähte dem der vertikalen Nähte entgegengesetzt ist. Die höhere Anzahl der Lagen im Nahtbereich und gesteigertes Fadenverbrauch führen zu einer schnellen Senkung der Probe und geringer Biegesteifigkeit.

Die durchgeführten Untersuchungen haben eine hohe Reproduzierbarkeit der Messergebnisse und die Vorteile des neu entwickelten Biegesteifigkeitsmessgerätes ACPM 200 bestätigt.

8 Experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung des Nahteinflusses auf die Drapierbarkeit

Neben der Biegesteifigkeit ist die Drapierbarkeit wesentlich für die Simulation eines Bekleidungsproduktes. In Kapitel 3 wird dargelegt, dass die Betrachtung des Nahteinflusses für die Modellierung notwendig ist. Die Bestimmung der Wirkung unterschiedlicher Nähte auf die Biegesteifigkeit ist der Schwerpunkt des Kapitels 7. In diesem Kapitel geht es um die Ermittlung des Einflusses der Naht auf die Drapierbarkeit.

Die Bestimmung des Fallverhaltens (nach DIN 54 306), die Beschreibung des Messverfahrens mit dem Drapemeter-Messgerät und die möglichen Auswertungsmethoden zur Berechnung des Fallkoeffizienten sind bereits in Kapitel 2 geklärt.

Die experimentellen Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit sind auf die Ermittlung des Einflusses von einer Naht und von zwei Nähten auf die Drapierbarkeit beschränkt. Der Einfluss der Naht auf das Fallverhalten wird durch die Ermittlung des Fallkoeffizienten und die Beschreibung der Fallbilder ausgewertet.

8.1 Einfluss einer Naht auf die Drapierbarkeit

Zum Einfluss einer Naht auf die Drapierbarkeit werden die Nahtpositionen, die Nahtwinkellagen und die Nähstichtypen untersucht:

Für diese Untersuchungen werden die sieben Materialien in Tabelle 6.4 angewendet. Der Fallkoeffizient lässt sich nach der Gleichung 2.3 in Abschnitt 2.2.2 berechnen. In Tabelle 8.1 sind die berechneten Fallkoeffizienten der untersuchten Materialien ohne Naht gezeigt.

Tabelle 8.1: Fallkoeffizient der untersuchten Materialien ohne Naht aus Einzelversuchen

Material	F (Fallkoeffizient)
M 1	0,534
M 2	0,459
M 3	0,481
M 4	0,469
M 5	0,458
M 6	0,515
M 7	0,581

8.1.1 Einfluss der Nahtpositionen

Für diese Versuchsdurchführung wird der Doppelsteppstich 301 in verschiedenen Positionen (Naht mittig, Naht seitlich in drei Stufen) mit einer Nahtzugabe von 10 mm in Kett- und Schussrichtung angewendet. Die verwendete Nähmaschine und die Nähfaktoren werden bereits in Kapitel 7 zur Bestimmung der Biegesteifigkeit beschrieben. Die Proben haben einen Durchmesser von 30 cm. Der Abstand zwischen den Nähten beträgt 3,75 cm. In Abbildung 8.1 ist die Probenvorbereitung für diese Untersuchung dargestellt.

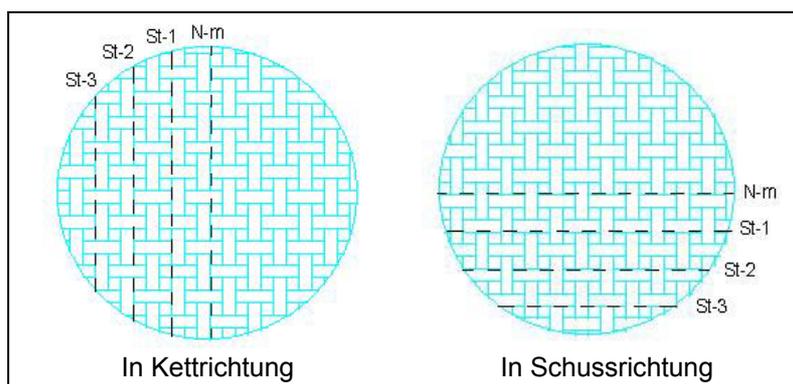


Abb. 8.1: Verwendete Nahtpositionen für das Fallverhalten

Ergebnisse und Auswertung

HU [HU 98/2] und SHARMA [SHA 05] erforschten den Einfluss der Naht auf den Fallkoeffizienten. Sie haben herausgefunden, dass die Naht allgemein eine Erhöhung des Fallkoeffizienten verursacht. Trotzdem bestimmte HU, dass der Einfluss von einer und zwei Nähten auf den Fallkoeffizienten nicht stabil ist.

Die Analyse eigener Untersuchungsergebnisse ergibt, dass die Naht allgemein das Fallverhalten beeinflusst. Die Fallkoeffizienten der Proben mit mittig positionierten Nähten zeigen im Vergleich zu den Ergebnissen von HU und SHARMA keine stabile Tendenz (siehe Abb. 8.2). Die Naht verursacht nur teilweise eine Erhöhung des Fallkoeffizienten.

In Bezug auf den Einfluss der Naht auf die Bildung der Falten stimmen die Ergebnisse dieser Untersuchung mit den Ergebnissen von HU und SHARMA überein. Die Falten bilden sich in Richtung der Naht, da die Naht eine Verstärkung des Stoffes verursacht. Die Fallbilder der Proben ohne Naht und mit mittig positionierten Nähten (301) in Kett- und Schussrichtung des Materials 4 sind in Abbildung 8.3 dargestellt.

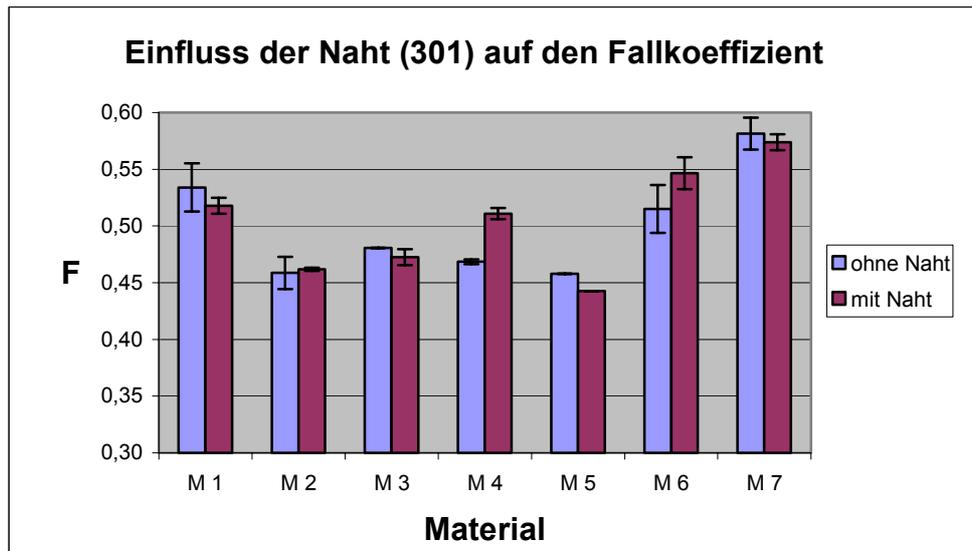


Abb. 8.2: Einfluss des Doppelsteppstichs (301) auf den Fallkoeffizient (Naht mittig in Ketttrichtung)

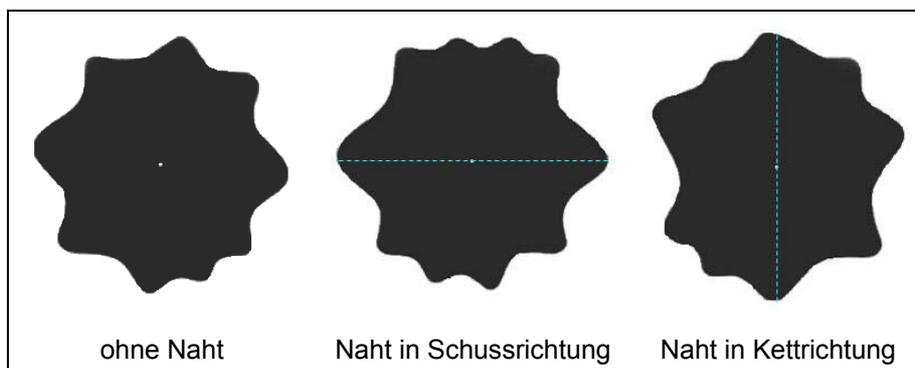


Abb. 8.3: Einfluss der Naht auf die Bildung der Falten (Naht mittig), Material 4

Die Ergebnisse in Abbildung 8.4 zeigen, dass die Nahtposition einen deutlichen Einfluss auf das Fallverhalten hat. Im Fall der seitlich positionierten Nähte ist der Unterschied zwischen dem ermittelten Fallkoeffizient der seitlichen Naht (Stufe 1) und der mittigen Naht nicht groß, da der Abstand der Naht vom Zentrum der Probe sehr gering ist. Die Nahtposition (Stufe 2) zeigt den höchsten Wert des Fallkoeffizienten. Die Ursache dafür ist, dass die Naht fast am Rand der Deckplatte liegt. Aufgrund der Nahtzugabe wirkt die Naht dem Fall der Probe entgegen und beeinflusst den Fallkoeffizient und das Fallbild erheblich. Die seitliche Naht (Stufe 3) liegt außerhalb der Deckplatte und verursacht wieder eine Senkung des Fallkoeffizienten. Eine mögliche Ursache dafür ist, dass die Naht nah am Rand der Probe liegt, d. h. ein höheres Gewicht liegt am Ende der Probe. Deswegen wird die Probe tiefer fallen. Diese Tendenz wird bei allen untersuchten Materialien in Kett- und Schussrichtung festgestellt. Die Lage der verschiedenen Nahtpositionen sowie die Fallbilder der untersuchten Nahtabstände des Materials 4 sind in Abbildung 8.5 dargestellt. Die Fallbilder zeigen ebenfalls die Wirkung der Naht auf die Bildung der Falten deutlich.

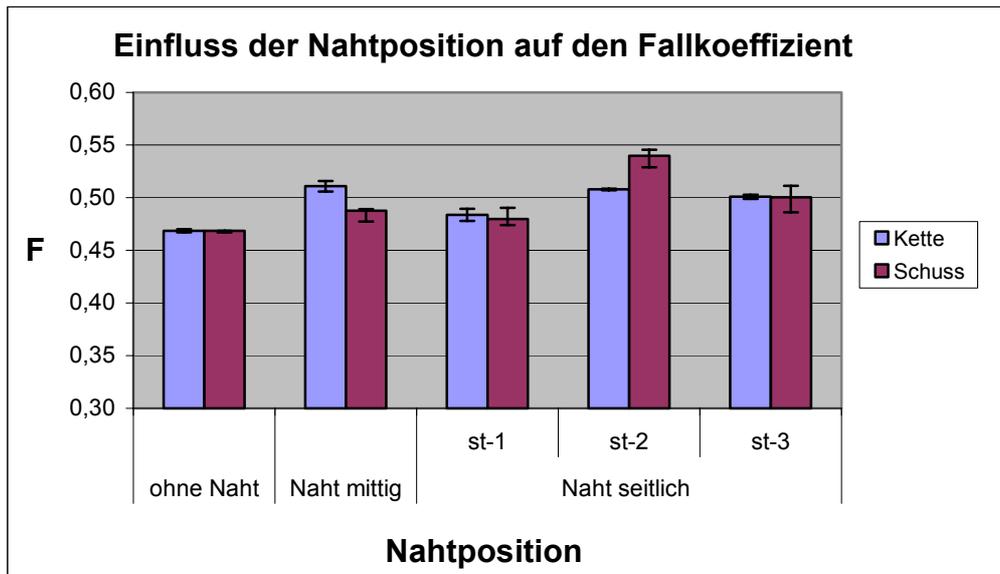


Abb. 8.4: Einfluss der Nahtposition auf den Fallkoeffizient (Material 4)

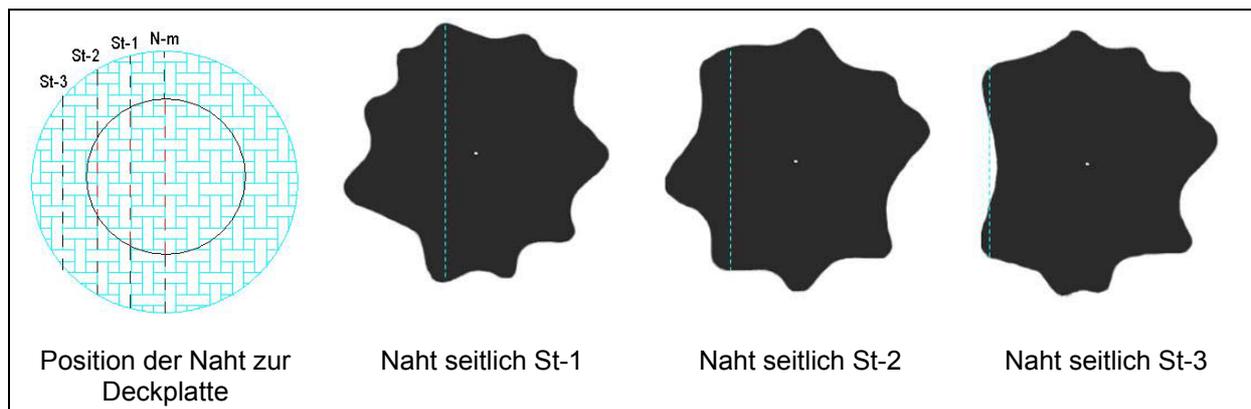


Abb. 8.5: Fallbilder der seitlich positionierten Nähte in Kettrichtung (Material 4)

8.1.2 Einfluss der Nahtwinkellagen

Um den Einfluss der Nahtwinkellage auf die Drapierbarkeit zu ermitteln, werden die Stoffproben mit dem Doppelsteppstich 301 in verschiedenen Winkellagen in 15°-Schritten von 0° bis 90° zur Schussrichtung mit einer Nahtzugabe von 10 mm genäht. Die Darstellung der Nahtlagen ist in Abbildung 8.6 gezeigt.

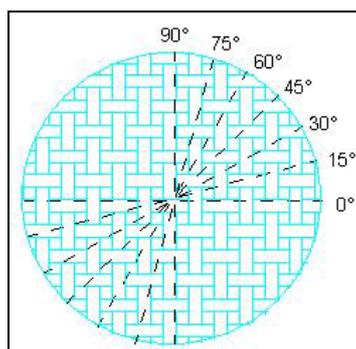


Abb. 8.6: Naht in verschiedenen Winkellagen zur Bestimmung des Fallverhaltens

Ergebnisse und Auswertung

Die Untersuchungsergebnisse zum Einfluss der Nahtwinkellage auf das Fallverhalten verdeutlichen, dass die Änderung der Nahtwinkellage keinen wesentlichen Einfluss auf den Fallkoeffizienten zeigt. Die prozentuale Abweichung beträgt von 1 % bis 4 %. Allgemein erhöhen sich die Werte teilweise, wenn die Naht in der Kettrichtung (90°) liegt, da der Stoff normalerweise aufgrund des Webprozesses biegesteifer ist und die Naht eine große Anzahl an Bindepunkten trifft. Die Winkellage von 45° zeigt den niedrigsten Wert des Fallkoeffizienten, da der Stoff in diese Richtung biegeweicher als in der Kett- und Schussrichtung ist und die Naht ebenfalls weniger Bindepunkte trifft. Unterschiedliche Gewebebindungen zeigen ähnliche Tendenzen für die untersuchten Winkellagen. Allgemein ist der Fallkoeffizient beim Leinwandgewebe größer als beim Körperbindung, da die Leinwandbindung allgemein die höchste Anzahl an Bindepunkten hat. In Abbildung 8.7 ist die Wirkung der unterschiedlichen Nahtwinkellagen auf die verschiedenen Gewebebindungen dargestellt.

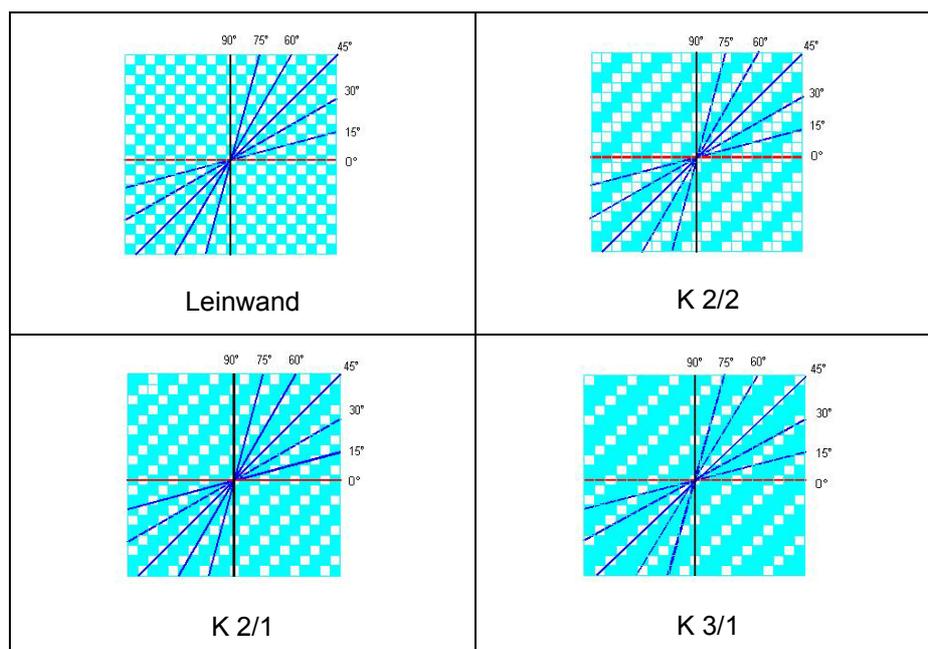


Abb. 8.7: Einfluss der Nahtwinkellage auf unterschiedliche Gewebebindungen

Abbildung 8.8 zeigt die Darstellung der Ergebnisse des Materials 4. Einen deutlichen Einfluss hat die Naht auf die Fallbilder. Die Winkellage der Naht ist in den Fallbildern erkennbar (Abb. 8.9), da die Falten in Richtung der Winkellage gebildet werden.

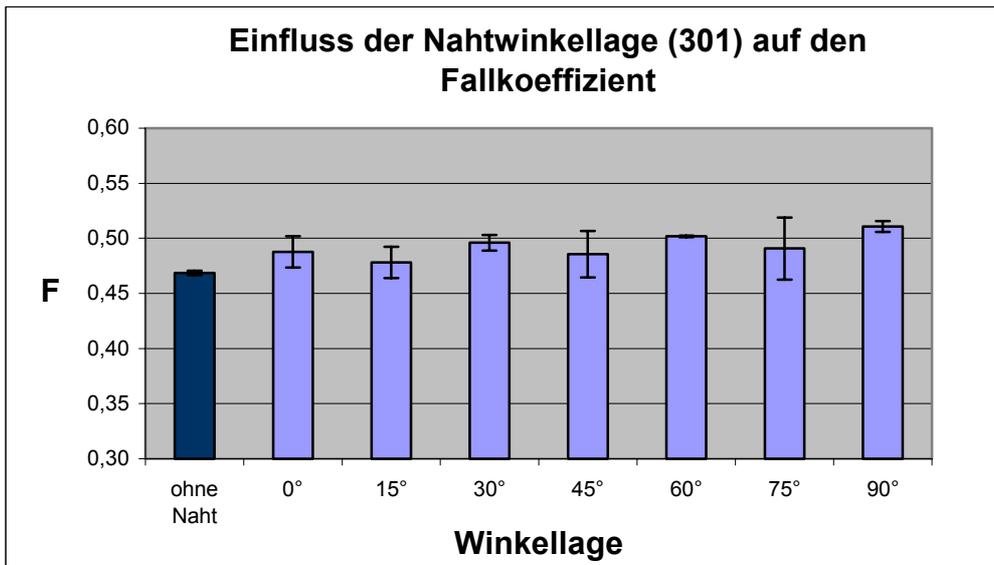


Abb. 8.8: Einfluss der Nahtwinkellage auf den Fallkoeffizient (Material 4)

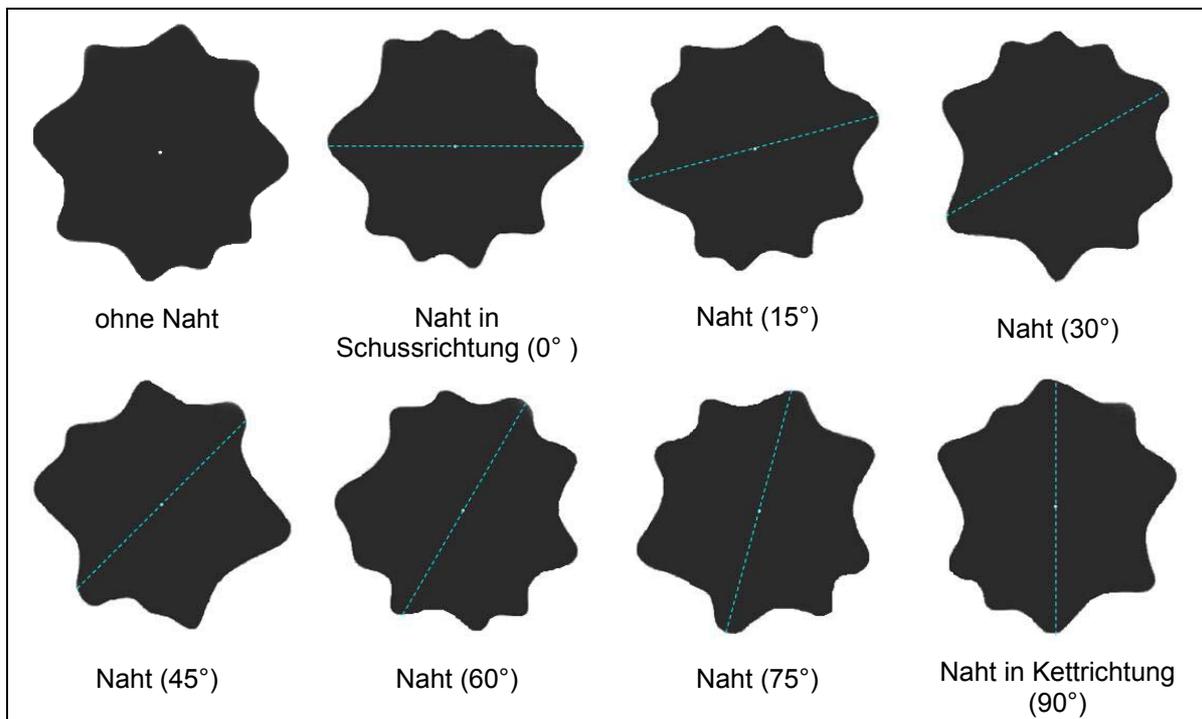


Abb. 8.9: Fallbilder unterschiedlicher Nahtwinkellagen bezogen auf die Schussrichtung (Material 4)

8.1.3 Einfluss der Nähstichtypen

Das Ziel dieser Untersuchung besteht darin, den Einfluss der unterschiedlichen Nähstichtypen auf das Fallverhalten der textilen Flächen zu bestimmen. Drei Stichtypen (Doppelsteppstich 301, Überwendlichkettenstich 504 und Safety-Stich 515) werden für die Untersuchung ausgewählt. Die Variation der Winkellagen des Doppelsteppstiches (301) ist im vorherigen Abschnitt untersucht. Da die Ergebnisse keinen großen Einfluss der Änderung der Winkellagen zeigen, lassen sich die Untersuchungen für

den Stich 504 und den Stich 515 auf drei mögliche Winkellagen (Ketttrichtung (90°), Schussrichtung (0°) und 45°) beschränken.

Ergebnisse und Auswertung

Die Ergebnisse zeigen, dass die Naht generell eine Versteifung des Stoffes verursacht. Der Fallkoeffizient beim Stichtyp 301 ist in einigen Fällen höher als bei den Stichtypen 505 und 515, da die beiden Stiche höhere Gewichte im Nahtbereich haben, welche zu einem großen Fall der Probe führen, bzw. den Fallkoeffizient reduzieren. In einigen Fällen verhalten sich die Stiche aber anders. Je höher das Gewicht und je dicker die Naht ist, desto steifer ist die Naht bzw. höher ist der Fallkoeffizient. Folglich zeigt der Safety-Stich 515 den höchsten Wert des Fallkoeffizienten. Die Analyse der Ergebnisse ergibt, dass verschiedene Stichtypen den Fallkoeffizient allgemein beeinflussen. Aber es wird nicht festgestellt, welcher Stichtyp den höchsten Wert des Fallkoeffizienten verursacht. In Abbildung 8.10 werden die unterschiedlichen Einflüsse der Stichtypen auf den Fallkoeffizient der untersuchten Materialien in Ketttrichtung (90°) dargestellt.

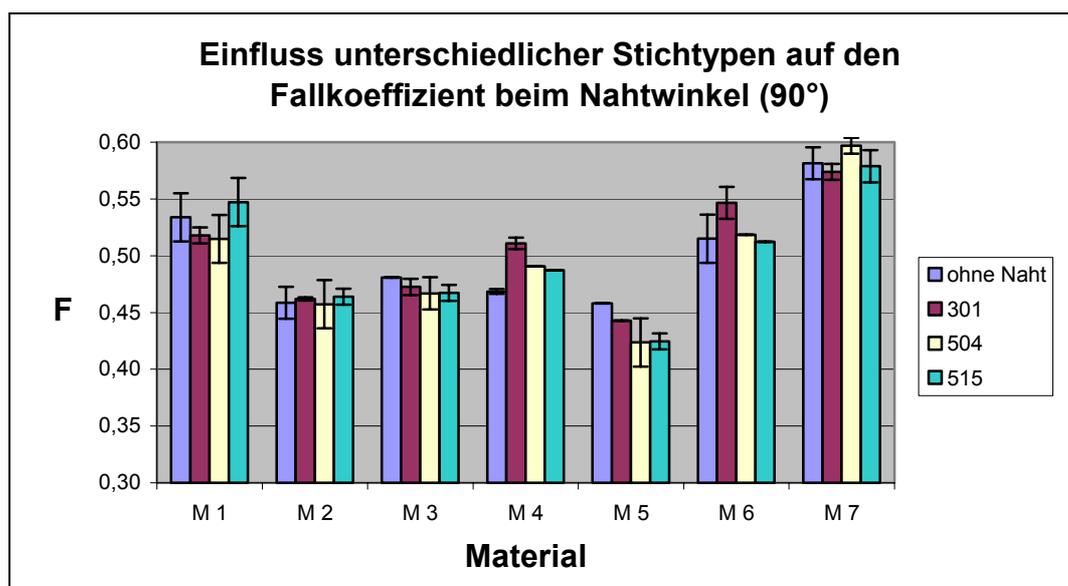


Abb. 8.10: Einfluss unterschiedlicher Nähstichtypen auf den Fallkoeffizient unterschiedlicher Materialien

Die Abbildung 8.11 zeigt den Einfluss unterschiedlicher Stichtypen auf den Fallkoeffizient des Materials 4 in verschiedenen Winkellagen, wobei hier der Doppelstepstich 301 den größten Einfluss auf den Fallkoeffizient zeigt.

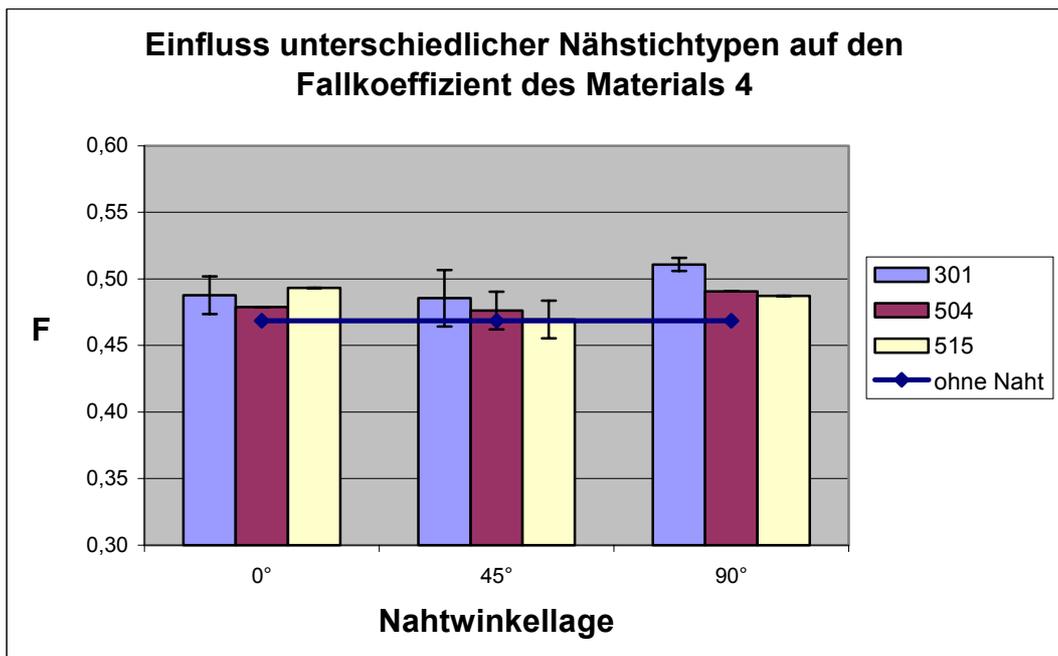


Abb. 8.11: Einfluss unterschiedlicher Nähstichtypen auf den Fallkoeffizient des Materials 4 in verschiedenen Winkellagen

8.2 Einfluss von zwei Nähten auf die Drapierbarkeit

Je nach Design und Schnittkonstruktion ist es möglich und notwendig, dass zwei Nähte in einem Bereich des Bekleidungsproduktes zusammentreffen. Zur möglichst realistischen Modellierung eines Bekleidungsproduktes ist es erforderlich, das Fallverhalten für diese Möglichkeiten zu untersuchen.

Für die weiterführenden Untersuchungen wird die Schließnaht 301 mit einer Nahtzugeabe von 10 mm in den folgenden Varianten:

- Nähte in 90°-Richtung und 0°-Richtung,
- Nähte in 90°-Richtung und 45°-Richtung,
- Nähte in 0°-Richtung und 45°-Richtung

verwendet (siehe Abb. 8.12).

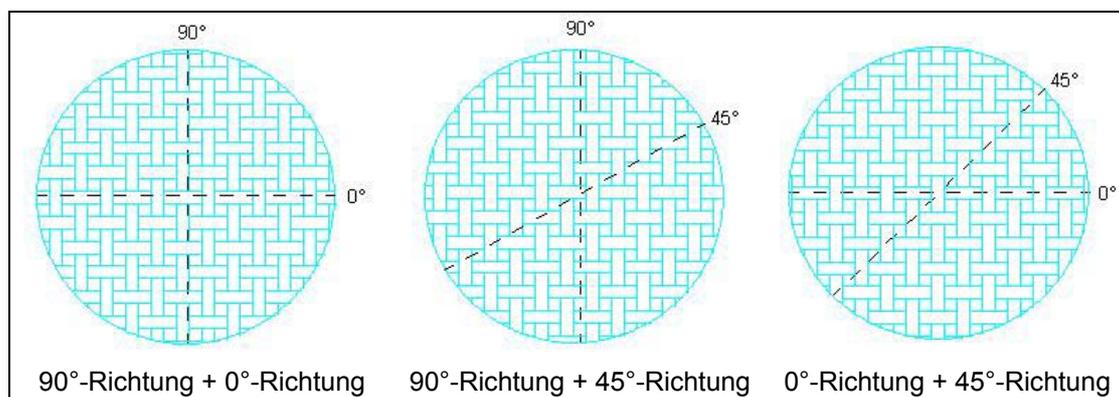


Abb. 8.12: Zwei Nähte in verschiedenen Winkellagen

Ergebnisse und Auswertung

Den Einfluss von zwei Nähten auf den Fallkoeffizient zeigen die Ergebnisse in Abbildung 8.13. Zwei Nähte verursachen teilweise im Vergleich zu einer Naht eine Steigerung des Fallkoeffizienten. Allgemein erhöht sich der Fallkoeffizient bei Addition einer Naht.

Weiterhin verdeutlichen die Ergebnisse, dass der Fallkoeffizient einer Probe mit einer Kombination von zwei Nähten in Kett- und Schussrichtungen von dem Einfluss der einzelnen Nähte abhängig ist. Wenn der Fallkoeffizient in Kett- und/oder Schussrichtung hoch ist, dann resultiert bei einer Kombination von den Nähten auch ein hoher Fallkoeffizient.

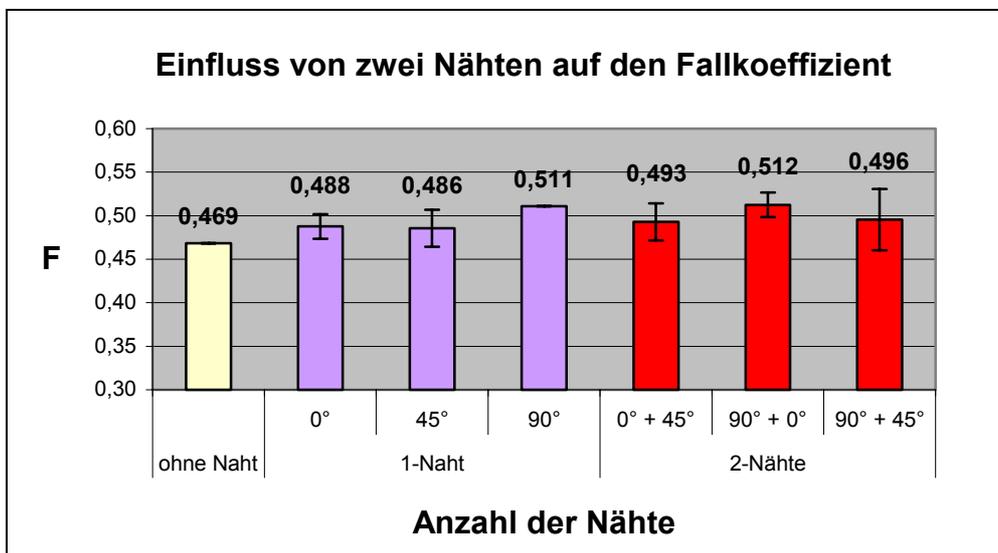


Abb. 8.13: Einfluss der Anzahl der Nähte auf den Fallkoeffizient (Material 4)

Es wird wiederholt verdeutlicht, dass der Einfluss der Naht auf die Bildung der Falten wesentlich ist. Im Fall der zwei Nähte werden 4 großen Falten in den Richtungen der Nähte gebildet. Die Fallbilder des Materials 4 mit zwei Nähten in den drei Varianten sind in Abbildung 8.14 dargestellt.

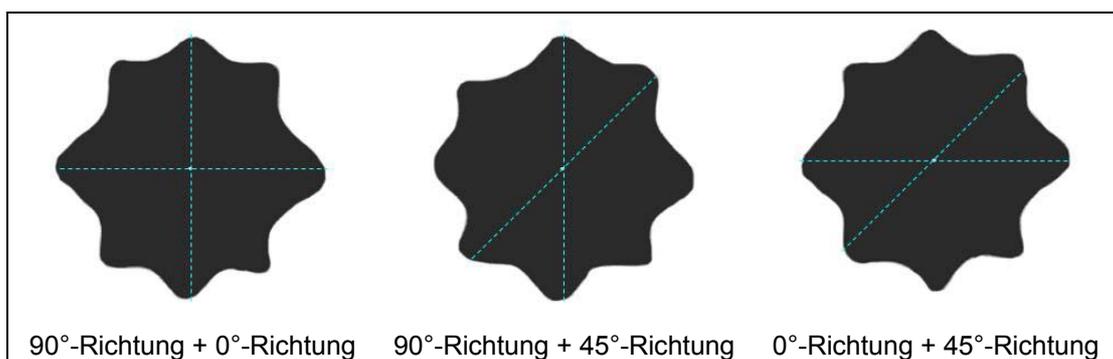


Abb. 8.14: Fallbilder von zwei Nähten in verschiedenen Winkellagen (Material 4)

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Einfluss von einer und von zwei Nähten auf den Fallkoeffizient nicht groß ist. Eine deutliche Auswirkung hat die Naht auf die Bildung der Falten in die Richtung der Nähte. Unterschiedliche Stichtypen zeigen verschiedene Fallverhalten, aber keine stabile Tendenz. Einen wesentlichen Einfluss hat die Nahtposition auf das Fallverhalten (Fallkoeffizient und Bildung der Falten).

Da sich die konfektionierten Flächen anders als die unkonfektionierten Flächen verhalten, zeigt der Stoff mit Naht ein anderes Erscheinungsbild als der Stoff ohne Naht. Während der Modellierung eines Bekleidungsproduktes beeinflussen das Fallverhalten und das Biegeverhalten das Erscheinungsbild, deswegen ist die Bestimmung des Einflusses der Naht auf beide Materialeigenschaften von erheblicher Bedeutung, damit die reale Beschreibung des Produktes gewährleistet werden kann.

9 Simulation des Biegeverhaltens mit Hilfe der FEM

9.1 Einleitung zur FEM-Rechnung

9.1.1 Allgemeines

Durch die rasante Entwicklung der Rechentechnik in den letzten Jahrzehnten sind für den Ingenieur völlig neue Möglichkeiten verfügbar, um die Bearbeitung seiner Aufgaben zu schaffen. Dabei gehört seit den 60er Jahren die Methode der Finiten Elemente oder FEM (Finite Element Methode) zu den wichtigsten und am häufigsten genutzten numerischen Verfahren zur näherungsweise Lösung von Feldproblemen. Sie wird heute in zahlreichen Ingenieurwissenschaften mit großem Erfolg angewendet.

Die Grundlage dieser Methode besteht darin, das zu untersuchende Gebiet in eine beliebige Anzahl einfacher Teilbereiche, die sogenannten finiten (endlich) Elemente, aufzuteilen. In jedem Element werden Näherungsansätze für die gesuchten Feldgrößen zuerst in Abhängigkeit bestimmter freier Parameter so gewählt, dass ein weitestgehend sinnvoller Kontakt zu den Nachbarelementen ausführt werden kann. Diesem typischen ersten Schritt (vom Ganzen zum Teil) folgt der typische zweite Schritt (vom Teil zum Ganzen), indem die finiten Elemente wieder zum Gesamtsystem zusammengefügt und die freien Parameter berechnet werden. Diese Vorgehensweise gestattet eine Berücksichtigung beliebiger Randbedingungen [KÄM 90].

9.1.2 Anwendung der FEM-Rechnung in der Textil- und Bekleidungssimulation

Für die Simulation eines Bekleidungsproduktes ist die Biegesteifigkeit neben der Drapierbarkeit notwendig. Viele Untersuchungen werden bereits durchgeführt, um den Fallversuch mit Hilfe der FEM zu simulieren und den Fallkoeffizient zu berechnen [SCHE 96], [FIS 97], [STY 99]. Auf dem Gebiet der Biegesteifigkeit gibt es bis jetzt wenige Versuche, um das Biegeverhalten zu modellieren. Eine wichtige Studie stammt von MCWATERS [MCW 94]. Ein Rechenmodell wurde entwickelt, welches das Biegeverhalten des Materials während der Konfektionierung simuliert. Die Motivation der Studie war der Entwurf einer automatischen Maschine, welche die Flexibilität hat, verschiedene Materialtypen zu behandeln, ist es notwendig, eine Aussage über das Materialverhalten zu erhalten, wenn das Material Kontakt zur Maschine hat. Bei Nutzung des Modells kann nur das Biegeverhalten von einer einfachen einzelnen begrenzten Stofflage simuliert werden.

Diese Versuche behandeln die Simulation des Materialverhaltens von unkonfektionierten Flächen. Der Schwerpunkt dieses Kapitels ist die Berücksichtigung des Nahtinflusses auf das Materialverhalten, um eine reale Beschreibung des Biegeverhaltens von konfektionierten Flächen quantifizieren zu können.

9.2 Simulation des Biegeverhaltens

9.2.1 Geometriemodell und Materialparameter

Für die Durchführung der FEM-Berechnung wird das Programmsystem ANSYS genutzt und isotropes Materialverhalten vorausgesetzt.

Im Rahmen des Kapitels wird das Biegeverhalten des Stoffes ohne Naht und mit verschiedenen Nähten (Schließnaht 301, Safety-Naht, Doppelkappnaht) in zwei Nahtpositionen (Naht mittig, Naht seitlich) simuliert. In Abbildung 9.1 ist das Geometriemodell der FEM-Rechnung ohne Naht dargestellt.

Da sich die Dicke der Nähte von der Dicke des Stoffes unterscheiden bzw. infolge der unterschiedlichen Nahtarten variiert, wird ein dreidimensionales (3D) Geometriemodell benutzt. Für die Berechnung werden zwei Elementtypen verwendet. Für die Grundfläche des Geometriemodells wird das 4-Knoten Schalenelement mit Elementnummer 42 (PLANE42) benutzt. Das 8-Knoten Volumenelement mit Elementtyp 45 (Solides45) wird für die dritte Dimension (Volumen) ausgewählt.

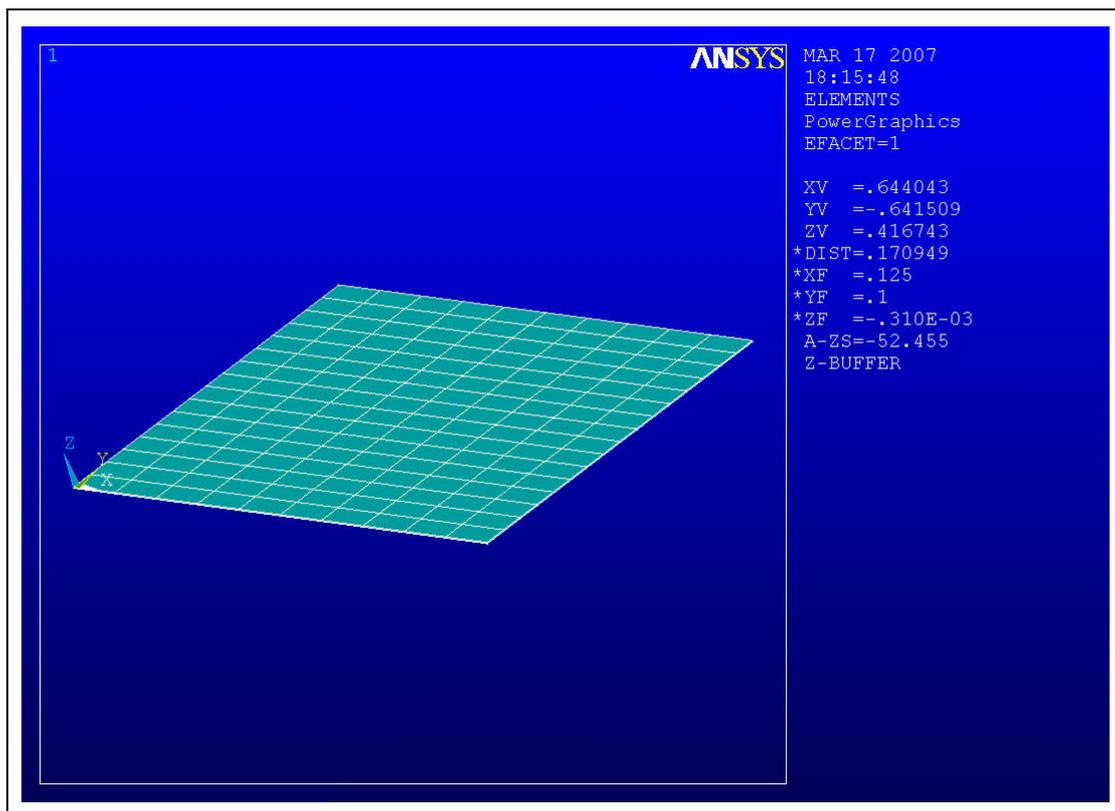


Abb. 9.1: Geometriemodell der FEM-Rechnung des Stoffes ohne Naht

Für die Berechnung sind die Materialparameter Elastizitätsmodul (E-Modul) und Querkontraktionszahl (ν) nötig.

Mit der bekannten Biegesteifigkeit B und einer gemessenen Dicke des Stoffes mit und ohne Nähte d wird der E-Modul über den Zusammenhang:

$$B = \frac{E \cdot d^3}{12(1-\nu^2)} \quad (9.1)$$

berechnet [SCHE 96].

Die Modellierung des Biegeverhaltens ist am Beispiel für das Material 6 (Tabelle 6.4) ohne und mit Naht vorgenommen worden. In Tabelle 9.1 sind die Materialkennwerten, die aus eigenem Experiment gemessen werden, sowie der nach (Gl. 9.1) berechnete E-Modul mit der Annahme: $\nu = 0.3$ für das Material 6 ohne und mit unterschiedlichen Nähten dargestellt.

Tabelle 9.1: Materialkennwerten und berechneter E-Modul des Materials 6 ohne und mit verschiedenen Nähten

Material 6	Breitenbezogene Biegesteifigkeit B [Nm]	Dicke d [m]	E-Modul [N/m ²]
ohne Naht	$2,44 \cdot 10^{-5}$	$0,62 \cdot 10^{-3}$	$1,1191 \cdot 10^6$
301	$6,78 \cdot 10^{-5}$	$1,52 \cdot 10^{-3}$	$0,2114 \cdot 10^6$
SN	$11,71 \cdot 10^{-5}$	$1,89 \cdot 10^{-3}$	$0,1894 \cdot 10^6$
KN	$18,11 \cdot 10^{-5}$	$2,59 \cdot 10^{-3}$	$0,1136 \cdot 10^6$

9.2.2 Randbedingungen

Die Berechnung beschränkt sich auf die Beschreibung des statischen Biegeverhaltens eines Modells.

Zur Bestimmung der Position der Festhaltung der Probe wird der höchste Wert der Überhanglänge des Materials 6 mit Doppelkappnaht (7,5 cm) als maximale Verschiebung der Vorderkante der Probe für die Proben ohne und mit Nähten angenommen.

Als äußere Belastung auf die Elemente wirkt nur das Eigengewicht des Stoffes. Da das Gewicht des Nähfadens im Vergleich zu dem Gewicht des Stoffes sehr klein ist, wird es in der Berechnung nicht betrachtet. Im Nahtbereich wird die Drucklast infolge der Anzahl der Lagen jeder Nahtart als zwei-, drei- oder vierfach berechnet. Mit der Annahme, dass die Flächenmasse (m_A) des Materials 6 ($0,305 \text{ kg/m}^2$) beträgt, resultiert eine Drucklast F für den Stoff ohne Naht von 3 N/m^2 . Folglich beträgt F für die 2-lagige-Schließnaht (301) 6 N/m^2 , für die 3-lagige-Safety-Naht 9 N/m^2 und für die 4-lagige-Doppelkappnaht 12 N/m^2 .

Die Darstellung der Randbedingungen an der Probe mit mittig positionierter Doppelkappnaht wird in Abbildung 9.2 gezeigt.

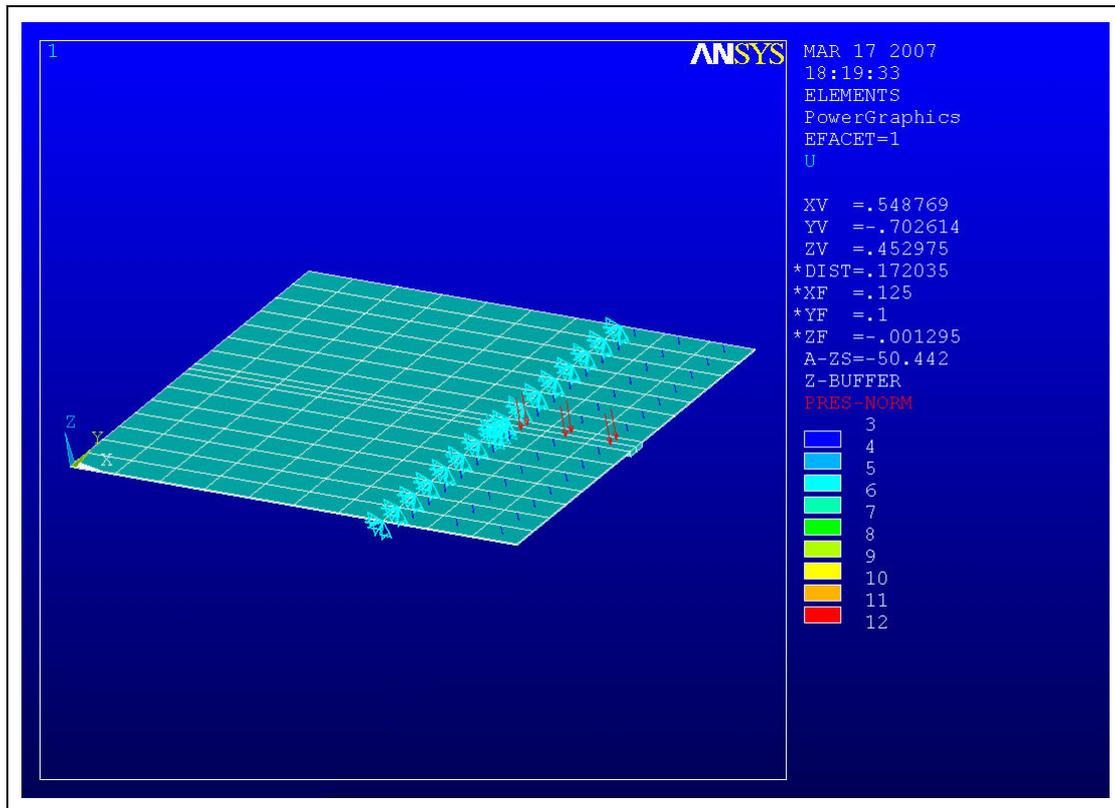


Abb. 9.2: Randbedingungen an der Probe mit Doppellkappnaht (Naht mittig)

9.2.3 Berechnung der Verschiebungen

Als Ergebnis der Berechnung können die Koordinaten der verformten Geometrie erhalten werden.

Für die Beschreibung des Biegeverhaltens der Probenvorderkante ist die Verschiebung in z-Richtung (Dicke) von größerer Bedeutung.

In Abbildung 9.3 sind die Verschiebungen in z-Richtung für das Material 6 ohne Naht und mit der Doppelkappnaht (KN) in zwei Positionen (mittig, seitlich) dargestellt.

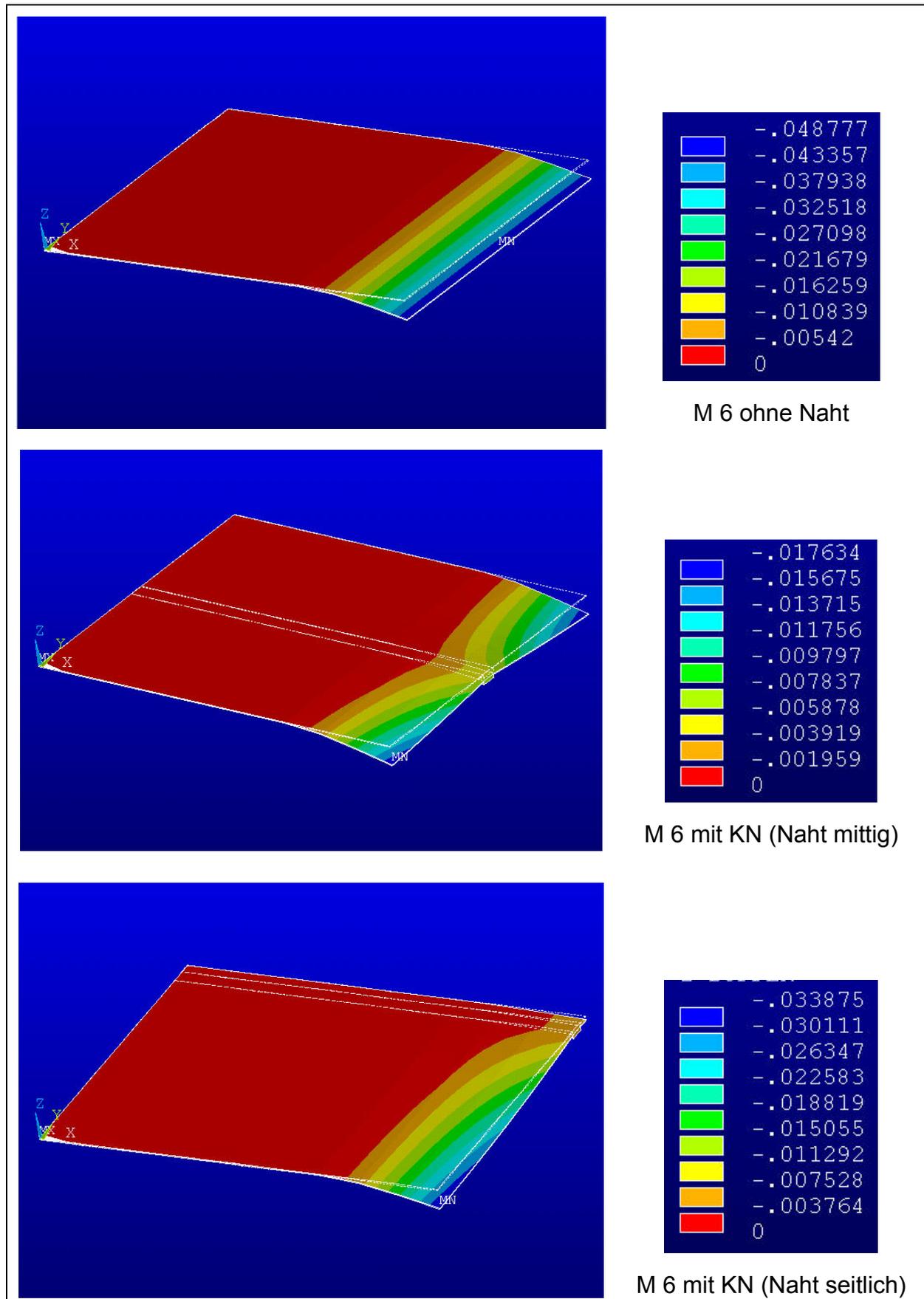


Abb. 9.3: Darstellung der Verschiebungen in z-Richtung der ANSYS-Rechnung (Materials 6)

Die Ergebnisse der FEM-Berechnung zeigen, dass die Verschiebung des Stoffes ohne Naht größer ist als die Verschiebung des Stoffes mit Naht in beiden Nahtpositionen (mittig und seitlich), da der Stoff biegeweicher ist. Der Nahtbereich zeigt die niedrigste Verschiebung (im Berechnungsbereich), da die Naht die höchste Steifigkeit aufweist. Die Ergebnisse der Verschiebungen der Schließnaht (301) und der Safety-Naht (SN) stimmen mit diesem Ergebnis überein (siehe Anhang A9).

9.3 Vergleich der Ergebnisse der experimentellen Untersuchung mit den Ergebnissen der FEM-Berechnung

Da die Ergebnisse der Berechnung als Verschiebungen in z-Richtung (Dicke) dargestellt wird, bzw. die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen als die Überhanglänge (Biegewinkel $41,5^\circ$ nach DIN 53362) bestimmt werden, können die Werte nicht zusammen verglichen werden. Ein Vergleich ist möglich anhand des Biegeverlaufes der Vorderkante der Probe, um eine näherungsweise Beschreibung des Biegeverhaltens zu gewährleisten.

Der Einfluss unterschiedlicher Nähte (Naht seitlich) auf das Biegeverhalten der Probevorderkante wird durch die Ergebnisse der Überhanglängen des Materials 6 für die experimentellen Untersuchungen dargestellt (Abb. 9.4). Für die FEM-Berechnung ist der Einfluss der verschiedenen Nähte durch die berechneten Verschiebungen in Z-Richtung gezeigt (Abb. 9.5).

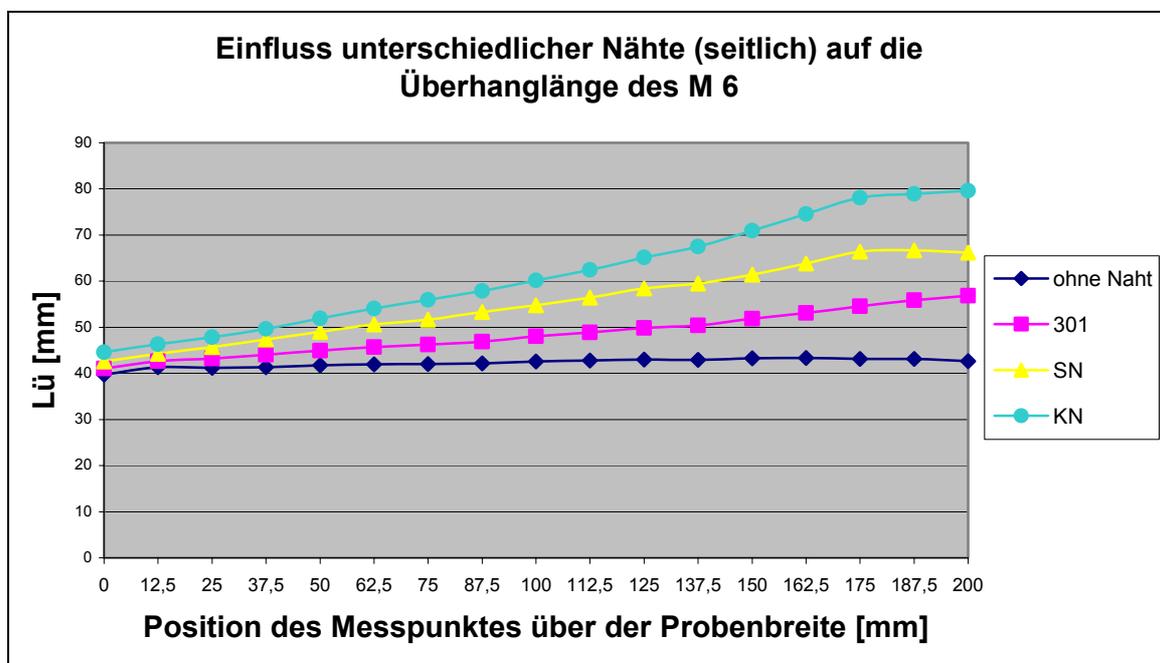


Abb. 9.4: Einfluss unterschiedlicher Nähte auf die Überhanglänge des Materials 6 (Naht seitlich), Experiment

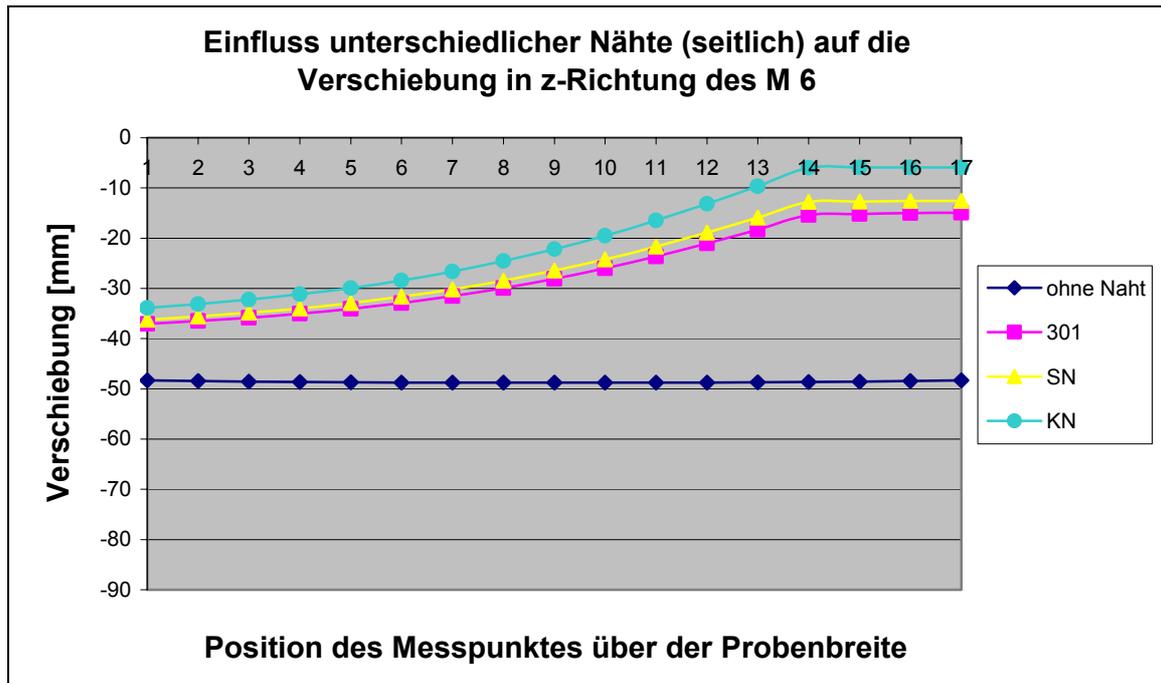


Abb. 9.5: Einfluss unterschiedlicher Nähte auf die Verschiebung in z-Richtung des Materials 6 (Naht seitlich), FEM-Berechnung

Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass über die Probenbreite (Probenvorderkante) der Biegeverlauf der FEM-Berechnung mit dem Biegeverlauf des Experiments übereinstimmt. Der Nahtbereich hat die höchste Steifigkeit der textilen Fläche, dann klingt der Verlauf über die Prüffläche ab.

Die Ergebnisse der FEM-Berechnung verdeutlichen, dass der Einfluss der untersuchten Nähte auf das Biegeverhalten der ganzen textilen Fläche, trotz der gleichen Tendenz, höher als beim Experiment ist, da der Nahtbereich bei der Berechnung steifer als der Nahtbereich beim Experiment ist. Eine Ursache dafür kann der niedrige Biegewinkel sein (die Verschiebungen sind nicht nach dem 41.5° berechnet werden).

Abbildung 9.6 stellt die Ergebnisse der FEM-Berechnung zum Einfluss verschiedener Nähte (Naht seitlich) auf das Biegeverhalten über der Probenlänge dar. Der Biegeverlauf ist durch die Ergebnisse der Nahtlinie über die Probenlänge gezeigt. Es wird verdeutlicht, dass die Doppelkappnaht, wie in der experimentellen Untersuchung, die höchste Steifigkeit verursacht.

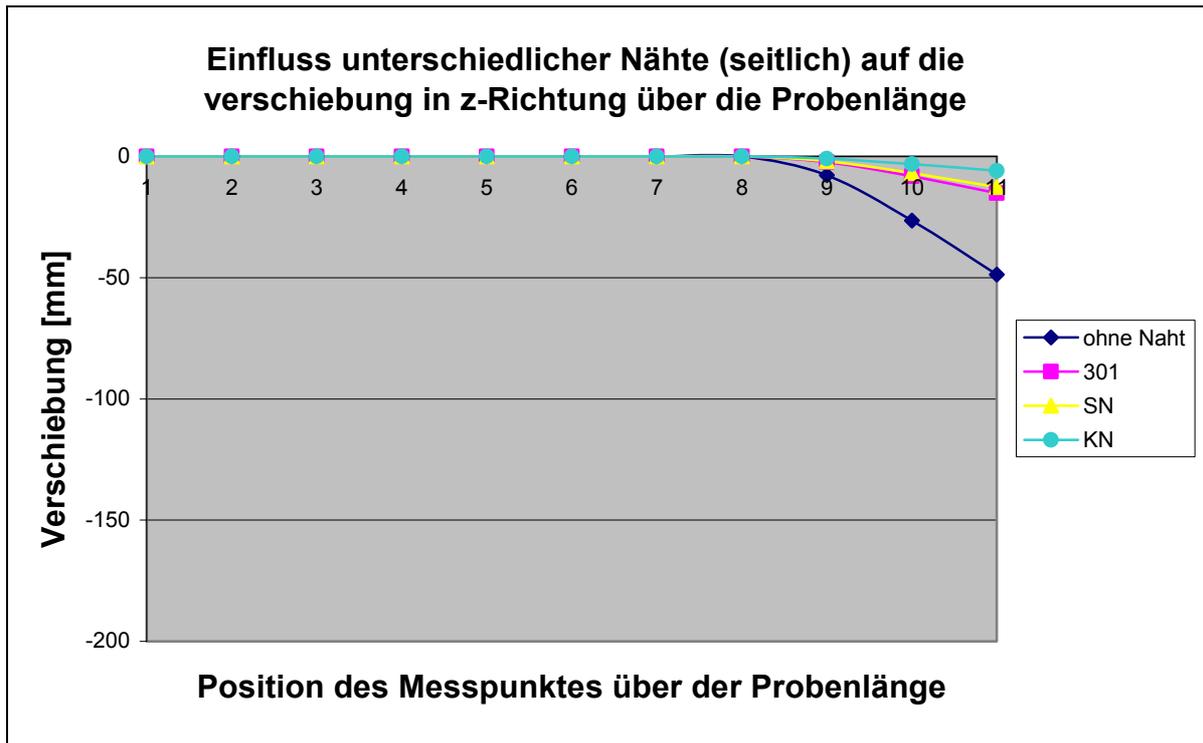


Abb. 9.6: Einfluss unterschiedlicher Nähte (Naht seitlich) auf die Verschiebung in z-Richtung über die Probenlänge des Materials 6, FEM-Berechnung

9.4 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der FEM-Berechnung zeigen, dass die Simulation des Biegeverhaltens der textilen Flächen ohne und mit Naht möglich ist. Durch die Betrachtung des Einflusses der unterschiedlichen Dicken des Stoffes ohne und mit Nähten wird für die Simulation ein 3D-Modell verwendet. Ein statisches Biegeverhalten wird modelliert.

Durch die Simulation werden die Verschiebungen berechnet. Aus den Ergebnissen der Simulationsberechnungen und den Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen kann ein Vergleich des Biegeverlaufes der Vorderkante der Probe durchgeführt werden. Das Biegeverhalten nach der Berechnung stimmt mit dem Biegeverhalten des Experiments überein. Untersuchte Nähte zeigen ähnliche Tendenz. Die Vier-Lagen-Doppelkappnaht zeigt den höchsten Wert bezüglich der Steifigkeit.

Mit Hilfe der FEM kann eine näherungsweise Beschreibung des Biegeverhaltens textiler Flächen ohne und mit Naht erlangt werden. Damit kann eine genaue reale Modellierung eines Bekleidungsproduktes quantifiziert werden.

10 Zusammenfassung und Ausblick

Die exakte Kenntnis vom Materialverhalten und speziell von lokalen Flächenmasseschwankungen der textilen Flächen ist Voraussetzung für eine Verbesserung der Produktentwicklung und für eine hohe Qualitätsverarbeitung in der Konfektionsindustrie. Dieser Fakt ist ebenfalls für die zunehmende Anwendung im Bereich der Simulationsberechnungen von erheblicher Bedeutung. Der Wandel von 2D-CAD- zu 3D-CAD-Systemen führt in der Bekleidungsindustrie zur zwingenden Berücksichtigung der Materialeigenschaften.

Für die Simulation eines Bekleidungsproduktes im körperfernen Bereich (DOB und HAKA) sind die Biegesteifigkeit, die Drapierbarkeit und die Flächenmasse die notwendigen Materialeigenschaften.

Aufgrund des Montageprozesses verhalten sich die konfektionierten textilen Flächen anders als die unkonfektionierten textilen Flächen. Sie zeigen ein anderes Erscheinungsbild. Mehrlagige Gewebe (infolge einer Naht, einer Einlage oder eines Futterstoffes) beeinflussen das Biegeverhalten und das Fallverhalten der textilen Flächen erheblich.

Die Untersuchungen beschränken sich im Rahmen dieser Arbeit auf die Ermittlung des Einflusses der Naht auf die Materialeigenschaften (Biegesteifigkeit und Drapierbarkeit).

Zur Bestimmung der Biegesteifigkeit ist seit Jahrzehnten das manuell zu bedienende Prüfgerät nach dem Cantilever-Verfahren das Bekannteste. Die eigenen Untersuchungen bestätigen, dass das Prüfgerät viele Mängel hat, welche die Genauigkeit und die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse wesentlich beeinflussen.

Um eine exakte Modellierung des Materialverhaltens zu gewährleisten, ist es notwendig, das Biegeverhalten textiler Flächen mit unterschiedlichen Flächenmasseschwankungen infolge von unterschiedlicher Materialverteilung über die textile Prüffläche quantifizieren zu können.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein neues Biegesteifigkeitsprüfgerät (ACPM 200) entwickelt, um eine optimale Genauigkeit und hohe Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu erfassen. Eine neue Methode zur Ermittlung des Einflusses der Naht auf die Biegesteifigkeit einer größeren Fläche ist in der Arbeit vorhanden, um die exakte Beschreibung des realen Verhaltens von textilen Bekleidungsprodukten zu ermitteln.

Die Genauigkeit und die hohe Reproduzierbarkeit des ACPM 200 werden durch die Untersuchungsergebnisse bestätigt. Die Vorteile und die Eigenschaften des ACPM 200 werden im Folgenden zusammengefasst:

- gleichmäßige Vorschubgeschwindigkeit während der Prüfung,
- Vorschubgeschwindigkeit variable justierbar bzw. auswählbar (drei Möglichkeiten: 120 mm/min, 240 mm/min und manuell zwischen 0 und 240 mm/min einzustellen),
- verschiedene Probenbreiten (25 mm, 50 mm und 200 mm),
- Erfassung von mehreren parallelen Messwerten (maximal 17) entlang der Probenkante,
- grafische Darstellung des Biegeverhaltens über der Vorderkante der Messprobe,
- Möglichkeit der Änderung des genormten Winkels,
- hoher Automatisierungsgrad,
- einfache und komfortable Bedienung,
- hohe Reproduzierbarkeit der Messergebnisse > 95 %.

Für sämtliche Untersuchungen werden 23 Gewebe benutzt. Zur Bestimmung des Nahtinflusses auf die Biegesteifigkeit werden zwei Nahtlagen (vertikale Naht, horizontale Naht) untersucht. Die Ermittlung der Einflüsse der Nähstichtypen und der Nähnahtarten in verschiedenen Nahtpositionen (Naht mittig, Naht seitlich) und Nahtwinkellagen (Naht in Winkellagen, Naht und Stoff in Winkellagen) ist für die vertikale Naht von wesentlicher Bedeutung. Die Ergebnisse werden in folgenden Punkten zusammengefasst:

- Biegesteifigkeit der Naht ist größer als die Biegesteifigkeit der textilen Flächen,
- es gibt einen funktionellen Zusammenhang zwischen der Dicke im Nahtbereich und der Biegesteifigkeit. Die Dicke variiert durch die Anzahl der Lagen im Nahtbereich und den Fadenverbrauch. Folglich verhalten sich verschiedene Nähte unterschiedlich,
- die Nahtposition beeinflusst das Biegeverhalten wesentlich,
- die seitlich positionierte Naht weist eine höhere Steifigkeit als die mittige Naht auf,
- für unterschiedliche Nähte kann ein funktioneller Zusammenhang zwischen der Biegesteifigkeit und dem Abstand der Naht bestimmt werden,
- die Einflussfaktoren der Naht werden für verschiedene Nähte und Gewebearbeiten berechnet. Mit diesen Einflussfaktoren ist es komfortabel möglich, eine analytische Bestimmung der Nahtsteifigkeit direkt aus der Biegesteifigkeit der textilen Fläche zu ermitteln. Damit entfallen zusätzliche

zeit- und kostenintensive Materialprüfungen zur Vorbereitung der benötigten Biegesteifigkeitswerte der Nähte,

- Mit der Variation der Nahtwinkellagen verändert sich die Biegesteifigkeit textiler Flächen.

Für die horizontale Naht werden unterschiedliche Nähte mit verschiedenen Nahtzugaben und Nahtabständen von der Vorderkante der Probe bei zwei möglichen Probenbreiten untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass je näher die Naht an der Biegekante (Vorderkante der Probe) positioniert ist, desto geringer ist die Biegesteifigkeit. Für die verwendeten Nahtarten wird deutlich, dass das Verhalten der horizontalen Nähte dem der vertikalen Nähte entgegengesetzt ist, d. h. höhere Anzahl der Lagen im Nahtbereich und damit ein gesteigerter Fadenverbrauch führen zu einer geringen Biegesteifigkeit.

Zur Bestimmung des Nahteinflusses auf die Drapierbarkeit werden eine Naht und die Kombinationen von zwei Nähten untersucht. Unterschiedliche Nähte werden in verschiedenen Positionen und Winkellagen verwendet. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Naht teilweise eine Erhöhung des Fallkoeffizienten verursacht. Da die Ergebnisse der verschiedenen Stichtypen keine stabile Tendenz zeigen, ist nicht feststellbar, welcher Stichtyp den höchsten Einfluss auf den Fallkoeffizient hat. Einen deutlichen Einfluss zeigt die Naht auf die Bildung der Falten. Sie werden in der Richtung der Naht gebildet, da die Naht eine Versteifung des Stoffes verursacht.

Die Berücksichtigung des Nahteinflusses für die beiden Materialkenngrößen Biegesteifigkeit und Drapierbarkeit ermöglicht, konkrete Materialkenngrößen für eine realitätsnahe Simulationsrechnung eines Bekleidungsproduktes bereitzustellen.

Die Simulation des Biegeverhaltens textiler Flächen ohne und mit Naht wird mit Hilfe der FEM durchgeführt. Es handelt sich um ein statisches Verhalten. Der Biegeverlauf der Probevorderkante kann durch die Verschiebungen in z-Richtung (Dicke) bei der FEM-Berechnung und durch die Bestimmung der Überhanglängen bei den experimentellen Untersuchungen verglichen werden. Unterschiedliche Nähte weisen ähnliches Verhalten bei beiden Methoden (Experiment und FEM-Berechnung) auf.

Abschließend wird eine neue Prüfnorm vorgestellt, welche die Biegesteifigkeit von textilen Flächen mit lokalen Flächenmasseschwankungen mittels des neuen Biegesteifigkeitsprüfgerätes ACPM 200 beinhaltet.

Die vorliegende Arbeit im Zusammenhang mit der Arbeit von LESKE [LES 06] und von MILDNER [MIL 06] bildet die Voraussetzungen zur Entwicklung des Biegesteifigkeitsprüfgerätes. Das neue Gerät ACPM 200 ist am ITB vorhanden.

Auf die Simulation eines Bekleidungsproduktes hat die Schersteifigkeit ebenfalls einen wesentlichen Einfluss. Eine ähnliche Vorgehensweise, wie in dieser Arbeit konzipiert, kann für zukünftige Untersuchung des Einflusses der Naht auf die Schersteifigkeit textiler Flächen angewendet werden.

Der Einfluss anderer Fügeverfahren wie Kleben und Schweißen auf die Materialeigenschaften der textilen Flächen muss untersucht werden

Für eine richtige Modellierung des Biegeverhaltens nach dem Cantilever-Verfahren soll ein dynamisches Verhalten nach dem genormten Winkel $41,5^\circ$ durchgeführt werden. Dazu können die Ergebnisse der Biegesteifigkeit für den Vergleich zwischen dem Experiment und der numerischen Berechnung direkt angewendet werden. Das kann ein interessanter Schwerpunkt für zukünftige Arbeiten sein.

Literaturverzeichnis

- [AMANN] Amann Nähgarn:
Qualitätsnähgarne aus Polyester Polyamid Baumwolle Seide.
- [ADLER] Dürkopp Adler AG:
www.duerkopp-adler.com.
- [ARNO] Arnold, J.:
Stich- und Nahtbildungsvorgang, Praktikumunterlagen, ITB, TU Dresden.
- [ASTM 96] ASTM (D 1388):
Standard Test Method for Stiffness of Fabrics, ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States, 1996.
- [BRE 94] Breen, D. E.; House, D H.; Wozny, M J.:
A Particle-Based Model for Simulating the Draping Behaviour of Woven Cloth, Textile Res. Journal, November 1994.
- [CHE 96] Chen, B.; Govindaraj, M.:
A Parametric Study of Fabric Drape, Textile Res. J. 66(1), S. 17-24, 1996.
- [CHU 60] Chu, C. C.; Platt, M. M.; Hamburger, W. J.:
Investigation of the Factors Affecting the Drapeability of Fabrics, Textile Res. J, 1960, S. 66-67.
- [CHU 98] Chung, S.P.; Hu, J. L.; Lo, M.T.:
The Drape and bending of woven Fabrics with a plain seam, International Conference Textile Science TEXSCI'98, Liberec Band 2, 1998, S. 202-205.
- [CUS 65] Cusick, G. E.:
The Dependence of Fabric Drape on Bending and Shear Stiffness, Textile Res. J, 56, 1965, S. T596-606.
- [CUS 68] Cusick, G. E.:
The Measurement of Fabric Drape, Textile Res. J., 59, 1968, S. 253-260.
- [DIN 88/1] DIN 61 400:
Nähstichtypen, Einteilung und Begriffe, Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin 1988.
- [DIN 88/2] DIN ISO 4916:
Nähnahttypen, Einteilung und Begriffe, Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, 1988.
- [DIN 98] DIN EN ISO 9073-9:
Prüfung für Vliesstoffe, Bestimmung der Fallkoeffizienten, Beuth Ver-

lag GmbH, 10772 Berlin, 1998.

- [DIN 00] DIN 53362:
Prüfung von Kunststoff-Folien und von textilen Flächengebilden (außer Vliesstoffe), mit oder ohne Deckschicht aus Kunststoff, Bestimmung der Biegesteifigkeit, Verfahren nach Cantilever, Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin 2000.
- [DZI 05] Dziworske, G.; Yamashita, Y.; Filipowska, B.:
Bending rigidity of fabrics in relation to fabric structure and finishing, 5th World Textile Conference AUTEX 2005.
- [ELB 91] Elberle, H.:
Fachwissen Bekleidung, Vorlag Europa-Lehrmittel 1991.
- [FIS 97] Fischer, P.:
Ermittlung mechanischer Kenngrößen textiler Flächen zur Modellierung des Fallverhaltens unter Berücksichtigung konstruktiver, faserstoffbedingter und technologischer Abhängigkeiten, Dissertation, TU Dresden, 1997.
- [GAN 95] Ganssaug, D.; Klein, A.; Lehmann, K.-H.; Moll, P.:
Messergebnisse des Kawabata- und des FAST-Systems bei der Konfektionierung von textilen Flächengebilden als relevante Einstellparameter für die Nähmaschine; Bekleidungstechnische Schriftenreihe, Band 111, Forschungsgemeinschaft Bekleidungsindustrie e. V, Köln, 1995.
- [HOF 04] Hofer, A.:
Stoff 2, Gewebe, Bindung, Maschenstoffe, Deutscher Fachverlag, 2004.
- [HOH 05] Hohensteiner Institute, Internationales Textilforschungszentrum:
Prüfangebot im Bereich Hautsensorik ausgebaut, www.hohenstein.de, 2005.
- [HOU 96] House, D. H.; DeVaul, W. R.; Breen, D. E.:
Towards simulating cloth dynamics using interacting particles, International J. of Clothing Science and Technology, Vol. 8 No. 3, 1996, S. 75-94.
- [HU 97] Hu, J.L.; Chung, S.P.; Lo, M.T.:
Effect of seams on Fabric drape, International J. of Clothing Science and Technology Vol. 9, N. 3, 1997, S. 220-227.
- [HU 98/1] Hu J.; Chan, Y.-F.:
Effect of Fabric Mechanical Properties on Drape, Textile Res. J. 86(1), S. 57-64, 1998.
- [HU 98/2] Hu, J. L; Chung, S.P.; Lo, M.T.:
Drape Behaviour of Woven Fabrics with seams, Textile Res. J.

- 68(12), 1998, S. 913-919.
- [HU 00] Hu, J.; Chung, S.:
Bending Behaviour of Woven fabrics with Vertical Seams, Textile Res. J. 70(2), 2000, S. 148-153.
- [KAL 83] Kalyanaraman, A. R.; Sivaramakrishnan, A.:
An Electronic Instrument to measure Stiffness of the Fabrics, Textile Res. Journal, 1983.
- [KAL 84] Kalyanaraman, A. R.; Sivaramakrishnan, A.:
An Electronic Fabric Stiffness Meter-Performance Evaluation with the Known Instrument, Textile Res. Journal, 1984.
- [KÄM 90] Kämmel, G.; Franek, H.:
Einführung in die Methode der finiten Elemente, VEB Fachbuchverlag Leipzig, 2. Auflage, 1990.
- [KRZ 98] Krzywinski, S.:
Design und Materialverhalten, 10. Hochschultag, Berufliche Bildung, Dresden, September 1998.
- [KRZ 00/1] Krzywinski, S.:
Design und Materialverhalten, Bekleidung und Wear, (2000) 3, S. 12-17.
- [KRZ 00/2] Krzywinski, S.:
Drapierbarkeit.
in
Reumann, R.-D.: Prüfverfahren in der textil- und Bekleidungstechnik, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York 2000, S. 605-614.
- [LES 06] Leske, J.:
Entwicklung eines Messgerät zur Bestimmung der Biegesteifigkeit nach DIN 53362, Projektarbeit, TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen, ITB, Abschluss 06/2006.
- [MAS 97] Masteikaite, V.:
Seam Stiffness Evaluation, 2nd International Conference IMCEP '97, October 8-10, Maribor, Slovenia 1997.
- [MCW 94] Mcwaters, S. D.; Clapp, T. G.:
Automated Apparel Processing, Computer Simulation of fabric deformation for the design of equipment, International J. of Clothing Science and Technology Vol. 6, N. 5, 1997, S. 30-38, 1994.
- [MIL 06] Mildner, L.:
Entwicklung eines Biegesteifigkeitsmessgerätes zur Bestimmung der Biegesteifigkeit textiler Flächengebilde, Interdisziplinäre Projektarbeit, TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen, ITB, Abschluss 06/2006.

- [MOS 91] Mosinski, E.:
Alles über Nähnähte, Systematische Ordnung und Begriffsbestimmungen mit besonderer Berücksichtigung des Kleidungsgebietes, Zeitschriftenverlag RBDV Düsseldorf, Leipzig, 1991.
- [NAI 04] Naiss GmbH:
Testilmesssystem TEX-PROOF, www.naiss.de, 2004.
- [PEI 30] Peirce, F. T.: The Handle of Cloth as a Measurable Quantity, J. Textile Inst. 21, T377-T416, 1930.
- [PFAFF] PFAFF Innovative Kompetenz:
Maschinen für die rationelle Kleiderfertigung, Special Service, 250-04.
- [REU 00] Reumann, R.-D.:
Prüfverfahren in der Textil- und Bekleidungstechnik, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 2000.
- [RÖD 95] Rödel, H.:
Analyse des Standes der Konfektionstechnik in Praxis und Forschung sowie Beiträge zur Prozessmodellierung, Habilitationsschrift, Fakultät Maschinenwesen, TU Dresden, 1995.
- [RÖD 98] Rödel, H.; Ulbricht, V.; Krzywinsky, S.; Schenk, A.; Fischer, P.:
Simulation of drape behaviour of fabrics, International J. of Clothing Science and Technology, Vol. 10 No. 3/4, 1998, S. 201-208.
- [RÖD 04] Rödel, H.; Ulbricht, V.; Schenk, A.:
Identifikation der für die Simulation textiler Umformvorgänge benötigten Gewebesteifigkeit, Abschlussbericht 2004. DFG-Nr. Ro 1303/7-1 +/7-2, Institut für Textil- und Bekleidungstechnik, TU Dresden.
- [SCH 93] Schierbaum, W.:
Bekleidungslexikon, Schiele & Schön, 1993.
- [SCHE 96] Schenk, A.:
Berechnung des Faltenwurfs textiler Flächengebilde, Dissertation, TU Dresden, 1996.
- [SCHE 06] Schenk, A.; Rödel, H.; Seif, M.; Martin, J.:
Identifikation von Nahtsteifigkeiten, Melliand Textilberichte, 5 . 2006, S. 380-382.
- [SEIF 06] Seif, M.; Schenk, A.; Rödel, H.:
Einfluss der Naht auf die Biegesteifigkeit textiler Flächengebilde, Melliand Textilberichte, 11-12 . 2006, S. 844-846.
- [SHA 05] Sharma, K. R.; Behera, B. K.; Roedel, H.; Schenk, A.:
Effect of the sewing and fusing of interlining on drape behaviour of suiting fabrics, International J. of Clothing Science and Technology Vol. 17, N. 2, 2005, S. 75-90.

- [SHI 89] Shishoo, R. L.:
Gegenseitige Beeinflussung von Gewebeeigenschaften und Konfektionsprozessen, *Bekleidung + Wäsche*, 7, 1989, S. 11-24.
- [STY 99] Stylios, G. K.; Wan, T. R.:
The concept of virtual measurement, 3D fabric drapeability, *International J. of Clothing Science and Technology*, Vol. 11 No. 1, 1999, S. 10-18.
- [THW 03] Thwing-Albert Instrument Company:
Bending Stiffness Tester, www.thwingalbert.com, 2003.
- [UCA 04] Ucar, N.; Kalaogiu, F.; Bahtiyar, D.; Bilac, O.E.:
Investigating the Drape Behaviour of Seamed Knit Fabrics with Image Analysis, *Textile Res. J.*, 74, (2), S. 166-171, 2004.
- [VAN 93] Vangheluwe, L.; Kiekens, P.:
Time Dependence of the Drape Coefficient of Fabrics, *International J. of Clothing Science and Technology*, Vol. 5 No. 5, 1993, S. 5-8.
- [ZHO 98/1] Zhou, N.; Ghosh, T. K.:
Communication: On-line Measurement of Fabric Bending Behaviour: behaviour, Background, need and potential solutions, *International J. of Clothing Science and Technology*, Vol. 10 No. 2, 1998, S. 143-156.
- [ZHO 98/2] Zhou, N.; Ghosh, T. K.:
On-line Measurement of Fabric Bending Behaviour, Part II: Effects of Fabric Nonlinear Bending Behaviour *Textile Res. J.* 68(7), July 1998, S. 533-542.

Anhang

Tabelle A.1	Übersicht sämtlicher Untersuchungsmaterialien
Anhang zu Kapitel 4:	Bestimmung der Ablesegenauigkeit der Überhanglänge beim manuellen Cantilever-Gerät
Anhang zu Kapitel 6:	Bestimmung der Genauigkeit des ACPM 200
Anhang zu Kapitel 7:	Bestimmung des Nahteinflusses auf die Biegesteifigkeit
Anhang zu Kapitel 8:	Bestimmung des Nahteinflusses auf die Drapierbarkeit
Anhang zu Kapitel 9:	Simulation des Biegeverhalten mit Hilfe der FEM
Normentwurf:	Bestimmung der Biegesteifigkeit von textilen Flächen mit Flächenmasseschwankungen; Verfahren nach Cantilever

Tabelle A.1: Übersicht der sämtlichen Untersuchungsmaterialien

Material	Gewebebindung	Materialzusammensetzung [%]	Flächenmasse [g/m ²]
Ma 1	Leinwand	100 Wolle	230,0
Ma 2	Köper	98 WV /2 Ly	350,0
Ma 3	Köper 2/2	44 WV /54 Trev. /2 Ly	350,0
Ma 5	Köper 2/2	100 Wolle	450,0
Ma 6	Köper 2/2	55 Trev. /45 WV	310,0
Ma 7	Leinwand (Tuchbindung)	98 WV / 2 Ly	250,0
Ma 8	Köper 2/2	85 WV /15 CV	280,0
V 1	Köper 2/1	WO / PES	227,0
V 2	Köper 2/2	WO / PES	306,0
V 3	Köper 2/2	WO / PES	272,0
V 4	Leinwand	WO	152,0
V 5	Leinwand	WO / PES	222,0
V 6	Leinwand	WO / PES	224,0
V 7	Köper 2/1	-	319,0
V 8	Leinwand	PRS/CV	193,0
M 1	Leinwand	98 WO /2 EI	154,0
M 2	Leinwand, K 2/1, Atlas 4	100 WO	152,0
M 3	Köper 2/2	49 CV /49 PES / 2 EI	235,0
M 4	Köper 2/2	65 PES / 33 CV / 2 EI	249,6
M 5	Leinwand	67 PES / 33 CV	196,4
M 6	Köper 3/1	55 PES / 45 CV	305,5
M 7	Köper 2/1	55 PES / 45 WV	198,5
M 8	Leinwand	60 WV / 40 PES	142,0

**A4 Bestimmung der Ablesegenauigkeit der Überhanglänge beim manuellen
Cantilever-Gerät**

Tabelle A4.1: Einfluss der Ablesegenauigkeit der Überhanglänge auf die
Biegesteifigkeit

Lü [cm]	B	Proz. Abweich
1,00	0,1250	15,7625
1,05	0,1447	14,9768
1,10	0,1664	14,2656
1,15	0,1901	13,6188
1,20	0,2160	13,0281
1,25	0,2441	12,4864
1,30	0,2746	11,9879
1,35	0,3075	11,5277
1,40	0,3430	11,1015
1,45	0,3811	10,7056
1,50	0,4219	10,3370
1,55	0,4655	9,9930
1,60	0,5120	9,6710
1,65	0,5615	9,3692
1,70	0,6141	9,0856
1,75	0,6699	8,8187
1,80	0,7290	8,5670
1,85	0,7915	8,3292
1,90	0,8574	8,1043
1,95	0,9269	7,8912
2,00	1,0000	7,6891
2,05	1,0769	7,4970
2,10	1,1576	7,3143
2,15	1,2423	7,1403
2,20	1,3310	6,9743
2,25	1,4238	6,8159
2,30	1,5209	6,6645
2,35	1,6222	6,5197
2,40	1,7280	6,3811
2,45	1,8383	6,2482
2,50	1,9531	6,1208
2,55	2,0727	5,9984
2,60	2,1970	5,8809
2,65	2,3262	5,7678
2,70	2,4604	5,6591
2,75	2,5996	5,5543
2,80	2,7440	5,4534
2,85	2,8936	5,3560
2,90	3,0486	5,2621
2,95	3,2090	5,1714
3,00	3,3750	5,0838
3,05	3,5466	4,9991
3,10	3,7239	4,9172

Lü [cm]	B	Proz. Abweich
3,15	3,9070	4,8379
3,20	4,0960	4,7611
3,25	4,2910	4,6868
3,30	4,4921	4,6147
3,35	4,6994	4,5448
3,40	4,9130	4,4770
3,45	5,1330	4,4111
3,50	5,3594	4,3472
3,55	5,5924	4,2851
3,60	5,8320	4,2248
3,65	6,0784	4,1661
3,70	6,3316	4,1091
3,75	6,5918	4,0536
3,80	6,8590	3,9995
3,85	7,1333	3,9469
3,90	7,4149	3,8957
3,95	7,7037	3,8457
4,00	8,0000	3,7971
4,05	8,3038	3,7496
4,10	8,6151	3,7033
4,15	8,9342	3,6582
4,20	9,2610	3,6141
4,25	9,5957	3,5711
4,30	9,9384	3,5291
4,35	10,2891	3,4881
4,40	10,6480	3,4480
4,45	11,0151	3,4088
4,50	11,3906	3,3705
4,55	11,7745	3,3331
4,60	12,1670	3,2964
4,65	12,5681	3,2606
4,70	12,9779	3,2256
4,75	13,3965	3,1913
4,80	13,8240	3,1577
4,85	14,2605	3,1248
4,90	14,7061	3,0926
4,95	15,1609	3,0610
5,00	15,6250	3,0301
5,05	16,0985	2,9998
5,10	16,5814	2,9701
5,15	17,0739	2,9410
5,20	17,5760	2,9124
5,25	18,0879	2,8844

Lü [cm]	B	Proz. Abweich
5,30	18,6096	2,8570
5,35	19,1413	2,8300
5,40	19,6830	2,8036
5,45	20,2348	2,7776
5,50	20,7969	2,7521
5,55	21,3692	2,7271
5,60	21,9520	2,7026
5,65	22,5453	2,6784
5,70	23,1491	2,6547
5,75	23,7637	2,6314
5,80	24,3890	2,6086
5,85	25,0252	2,5861
5,90	25,6724	2,5640
5,95	26,3306	2,5423
6,00	27,0000	2,5209
6,05	27,6806	2,4999
6,10	28,3726	2,4792
6,15	29,0760	2,4589
6,20	29,7910	2,4389
6,25	30,5176	2,4193
6,30	31,2559	2,3999
6,35	32,0060	2,3809
6,40	32,7680	2,3621
6,45	33,5420	2,3437
6,50	34,3281	2,3255
6,55	35,1264	2,3076
6,60	35,9370	2,2900
6,65	36,7600	2,2726
6,70	37,5954	2,2556
6,75	38,4434	2,2387
6,80	39,3040	2,2221
6,85	40,1774	2,2058
6,90	41,0636	2,1897
6,95	41,9628	2,1738
7,00	42,8750	2,1582
7,05	43,8003	2,1428
7,10	44,7389	2,1276
7,15	45,6907	2,1126
7,20	46,6560	2,0978
7,25	47,6348	2,0833
7,30	48,6271	2,0689
7,35	49,6332	2,0547
7,40	50,6530	2,0408
7,45	51,6867	2,0270
7,50	52,7344	2,0134
7,55	53,7961	1,9999
7,60	54,8720	1,9867
7,65	55,9621	1,9736
7,70	57,0666	1,9607
7,75	58,1855	1,9480
7,80	59,3190	1,9354
7,85	60,4671	1,9230

Lü [cm]	B	Proz. Abweich
7,90	61,6299	1,9108
7,95	62,8075	1,8987
8,00	64,0000	1,8867
8,05	65,2075	1,8750
8,10	66,4301	1,8633
8,15	67,6679	1,8518
8,20	68,9210	1,8404
8,25	70,1895	1,8292
8,30	71,4734	1,8181
8,35	72,7729	1,8072
8,40	74,0880	1,7964
8,45	75,4189	1,7857
8,50	76,7656	1,7751
8,55	78,1283	1,7647
8,60	79,5070	1,7543
8,65	80,9018	1,7441
8,70	82,3129	1,7341
8,75	83,7402	1,7241
8,80	85,1840	1,7142
8,85	86,6443	1,7045
8,90	88,1211	1,6949
8,95	89,6147	1,6854
9,00	91,1250	1,6759
9,05	92,6522	1,6666
9,10	94,1964	1,6574
9,15	95,7576	1,6483
9,20	97,3360	1,6393
9,25	98,9316	1,6304
9,30	100,5446	1,6216
9,35	102,1750	1,6129
9,40	103,8230	1,6042
9,45	105,4886	1,5957
9,50	107,1719	1,5873
9,55	108,8730	1,5789
9,60	110,5920	1,5707
9,65	112,3290	1,5625
9,70	114,0841	1,5544
9,75	115,8574	1,5464
9,80	117,6490	1,5384
9,85	119,4590	1,5306
9,90	121,2874	1,5228
9,95	123,1344	1,5151
10,00	125,0000	1,5075
10,05	126,8844	1,5000
10,10	128,7876	1,4925
10,15	130,7098	1,4851
10,20	132,6510	1,4778
10,25	134,6113	1,4706
10,30	136,5909	1,4634
10,35	138,5897	1,4563
10,40	140,6080	1,4493
10,45	142,6458	1,4423

Lü [cm]	B	Proz. Abweich
10,50	144,7031	1,4354
10,55	146,7802	1,4285
10,60	148,8770	1,4218
10,65	150,9937	1,4151
10,70	153,1304	1,4084
10,75	155,2871	1,4018
10,80	157,4640	1,3953
10,85	159,6611	1,3889
10,90	161,8786	1,3825
10,95	164,1165	1,3761
11,00	166,3750	1,3698
11,05	168,6541	1,3636
11,10	170,9539	1,3574
11,15	173,2745	1,3513
11,20	175,6160	1,3453
11,25	177,9785	1,3393
11,30	180,3621	1,3333
11,35	182,7669	1,3274
11,40	185,1930	1,3216
11,45	187,6405	1,3158
11,50	190,1094	1,3100
11,55	192,5999	1,3043
11,60	195,1120	1,2987
11,65	197,6459	1,2931
11,70	200,2016	1,2875
11,75	202,7793	1,2820
11,80	205,3790	1,2766
11,85	208,0008	1,2712
11,90	210,6449	1,2658
11,95	213,3112	1,2605
12,00	216,0000	1,2552
12,05	218,7113	1,2500
12,10	221,4451	1,2448
12,15	224,2017	1,2397
12,20	226,9810	1,2346
12,25	229,7832	1,2295
12,30	232,6084	1,2245
12,35	235,4566	1,2195
12,40	238,3280	1,2146
12,45	241,2226	1,2097
12,50	244,1406	1,2048
12,55	247,0820	1,2000
12,60	250,0470	1,1952
12,65	253,0356	1,1905
12,70	256,0479	1,1858
12,75	259,0840	1,1811
12,80	262,1440	1,1765
12,85	265,2280	1,1719
12,90	268,3361	1,1673
12,95	271,4684	1,1628
13,00	274,6250	1,1583
13,05	277,8060	1,1538

Lü [cm]	B	Proz. Abweich
13,10	281,0114	1,1494
13,15	284,2414	1,1450
13,20	287,4960	1,1407
13,25	290,7754	1,1364
13,30	294,0796	1,1321
13,35	297,4088	1,1278
13,40	300,7630	1,1236
13,45	304,1423	1,1194
13,50	307,5469	1,1152
13,55	310,9767	1,1111
13,60	314,4320	1,1070
13,65	317,9128	1,1029
13,70	321,4191	1,0989
13,75	324,9512	1,0949
13,80	328,5090	1,0909
13,85	332,0927	1,0869
13,90	335,7024	1,0830
13,95	339,3381	1,0791
14,00	343,0000	1,0753
14,05	346,6881	1,0714
14,10	350,4026	1,0676
14,15	354,1435	1,0638
14,20	357,9110	1,0601
14,25	361,7051	1,0563
14,30	365,5259	1,0526
14,35	369,3735	1,0489
14,40	373,2480	1,0453
14,45	377,1495	1,0417
14,50	381,0781	1,0381
14,55	385,0339	1,0345
14,60	389,0170	1,0309
14,65	393,0275	1,0274
14,70	397,0654	1,0239
14,75	401,1309	1,0204
14,80	405,2240	1,0169
14,85	409,3449	1,0135
14,90	413,4936	1,0101
14,95	417,6703	1,0067
15,00	421,8750	1,0033
15,05	426,1078	1,0000
15,10	430,3689	0,9967
15,15	434,6582	0,9934
15,20	438,9760	0,9901
15,25	443,3223	0,9868
15,30	447,6971	0,9836
15,35	452,1007	0,9804
15,40	456,5330	0,9772
15,45	460,9942	0,9740
15,50	465,4844	0,9709
15,55	470,0036	0,9677
15,60	474,5520	0,9646
15,65	479,1296	0,9615

Lü [cm]	B	Proz. Abweich
15,70	483,7366	0,9585
15,75	488,3730	0,9554
15,80	493,0390	0,9524
15,85	497,7346	0,9494
15,90	502,4599	0,9464
15,95	507,2150	0,9434
16,00	512,0000	0,9404
16,05	516,8150	0,9375
16,10	521,6601	0,9346
16,15	526,5354	0,9317
16,20	531,4410	0,9288
16,25	536,3770	0,9259
16,30	541,3434	0,9231
16,35	546,3404	0,9202
16,40	551,3680	0,9174
16,45	556,4264	0,9146
16,50	561,5156	0,9118
16,55	566,6358	0,9091
16,60	571,7870	0,9063
16,65	576,9693	0,9036
16,70	582,1829	0,9009
16,75	587,4277	0,8982
16,80	592,7040	0,8955
16,85	598,0118	0,8929
16,90	603,3511	0,8902
16,95	608,7222	0,8876
17,00	614,1250	0,8850
17,05	619,5597	0,8823
17,10	625,0264	0,8798
17,15	630,5251	0,8772
17,20	636,0560	0,8746
17,25	641,6191	0,8721
17,30	647,2146	0,8696
17,35	652,8425	0,8670
17,40	658,5030	0,8645
17,45	664,1961	0,8621
17,50	669,9219	0,8596
17,55	675,6805	0,8571
17,60	681,4720	0,8547
17,65	687,2965	0,8523
17,70	693,1541	0,8499
17,75	699,0449	0,8475
17,80	704,9690	0,8451
17,85	710,9265	0,8427
17,90	716,9174	0,8403
17,95	722,9419	0,8380
18,00	729,0000	0,8357
18,05	735,0919	0,8333
18,10	741,2176	0,8310
18,15	747,3773	0,8287
18,20	753,5710	0,8264
18,25	759,7988	0,8242

Lü [cm]	B	Proz. Abweich
18,30	766,0609	0,8219
18,35	772,3572	0,8197
18,40	778,6880	0,8174
18,45	785,0533	0,8152
18,50	791,4531	0,8130
18,55	797,8877	0,8108
18,60	804,3570	0,8086
18,65	810,8612	0,8064
18,70	817,4004	0,8043
18,75	823,9746	0,8021
18,80	830,5840	0,8000
18,85	837,2286	0,7979
18,90	843,9086	0,7958
18,95	850,6240	0,7936
19,00	857,3750	0,7916
19,05	864,1616	0,7895
19,10	870,9839	0,7874
19,15	877,8420	0,7853
19,20	884,7360	0,7833
19,25	891,6660	0,7812
19,30	898,6321	0,7792
19,35	905,6344	0,7772
19,40	912,6730	0,7752
19,45	919,7480	0,7732
19,50	926,8594	0,7712
19,55	934,0074	0,7692
19,60	941,1920	0,7673
19,65	948,4134	0,7653
19,70	955,6716	0,7634
19,75	962,9668	0,7614
19,80	970,2990	0,7595
19,85	977,6683	0,7576
19,90	985,0749	0,7557
19,95	992,5187	0,7538
20,00	1000,0000	0,7519
20,05	1007,5188	0,7500
20,10	1015,0751	0,7481
20,15	1022,6692	0,7463
20,20	1030,3010	0,7444
20,25	1037,9707	0,7426
20,30	1045,6784	0,7407
20,35	1053,4241	0,7389
20,40	1061,2080	0,7371
20,45	1069,0301	0,7353
20,50	1076,8906	0,7335
20,55	1084,7895	0,7317
20,60	1092,7270	0,7299
20,65	1100,7031	0,7282
20,70	1108,7179	0,7264
20,75	1116,7715	0,7246
20,80	1124,8640	0,7229
20,85	1132,9955	0,7212

Lü [cm]	B	Proz. Abweich
20,90	1141,1661	0,7194
20,95	1149,3759	0,7177
21,00	1157,6250	0,7160
21,05	1165,9135	0,7143
21,10	1174,2414	0,7126
21,15	1182,6089	0,7109
21,20	1191,0160	0,7092
21,25	1199,4629	0,7075
21,30	1207,9496	0,7059
21,35	1216,4763	0,7042
21,40	1225,0430	0,7026
21,45	1233,6498	0,7009
21,50	1242,2969	0,6993
21,55	1250,9842	0,6977
21,60	1259,7120	0,6961
21,65	1268,4803	0,6944
21,70	1277,2891	0,6928
21,75	1286,1387	0,6912
21,80	1295,0290	0,6897
21,85	1303,9602	0,6881
21,90	1312,9324	0,6865
21,95	1321,9456	0,6849
22,00	1331,0000	0,6834
22,05	1340,0956	0,6818
22,10	1349,2326	0,6803
22,15	1358,4110	0,6787
22,20	1367,6310	0,6772
22,25	1376,8926	0,6757
22,30	1386,1959	0,6742
22,35	1395,5410	0,6726
22,40	1404,9280	0,6711
22,45	1414,3570	0,6696
22,50	1423,8281	0,6681
22,55	1433,3414	0,6667
22,60	1442,8970	0,6652
22,65	1452,4950	0,6637
22,70	1462,1354	0,6622
22,75	1471,8184	0,6608
22,80	1481,5440	0,6593
22,85	1491,3124	0,6579
22,90	1501,1236	0,6565
22,95	1510,9778	0,6550
23,00	1520,8750	0,6536
23,05	1530,8153	0,6522
23,10	1540,7989	0,6508
23,15	1550,8257	0,6493
23,20	1560,8960	0,6479
23,25	1571,0098	0,6465
23,30	1581,1671	0,6452
23,35	1591,3682	0,6438
23,40	1601,6130	0,6424
23,45	1611,9017	0,6410

Lü [cm]	B	Proz. Abweich
23,50	1622,2344	0,6397
23,55	1632,6111	0,6383
23,60	1643,0320	0,6369
23,65	1653,4971	0,6356
23,70	1664,0066	0,6342
23,75	1674,5605	0,6329
23,80	1685,1590	0,6316
23,85	1695,8021	0,6303
23,90	1706,4899	0,6289
23,95	1717,2225	0,6276
24,00	1728,0000	0,6263
24,05	1738,8225	0,6250
24,10	1749,6901	0,6237
24,15	1760,6029	0,6224
24,20	1771,5610	0,6211
24,25	1782,5645	0,6198
24,30	1793,6134	0,6186
24,35	1804,7079	0,6173
24,40	1815,8480	0,6160
24,45	1827,0339	0,6148
24,50	1838,2656	0,6135
24,55	1849,5433	0,6122
24,60	1860,8670	0,6110
24,65	1872,2368	0,6098
24,70	1883,6529	0,6085
24,75	1895,1152	0,6073
24,80	1906,6240	0,6061
24,85	1918,1793	0,6048
24,90	1929,7811	0,6036
24,95	1941,4297	0,6024
25,00	1953,1250	0,6012
25,05	1964,8672	

A6.2 Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit auf die Messergebnisse des ACPM 200

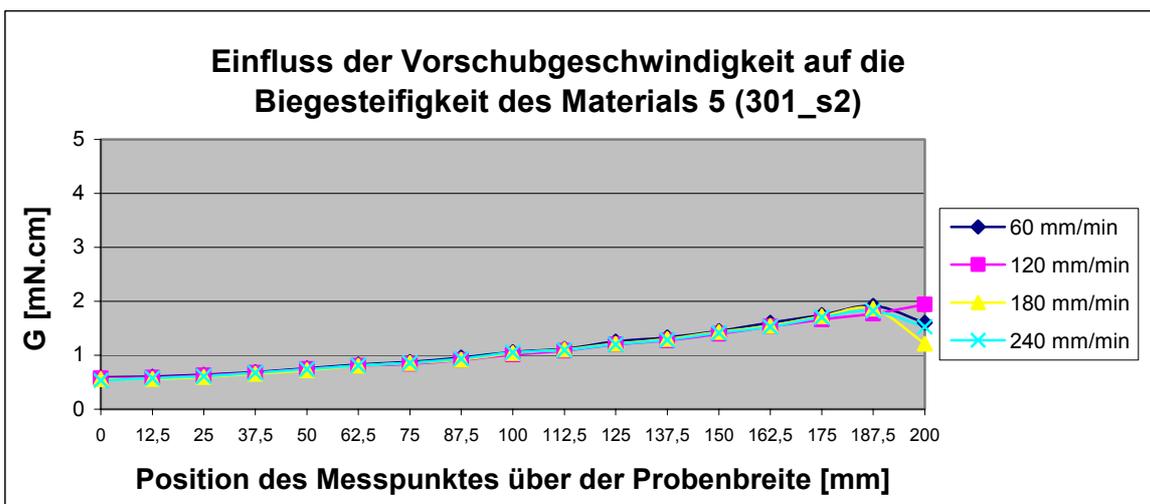
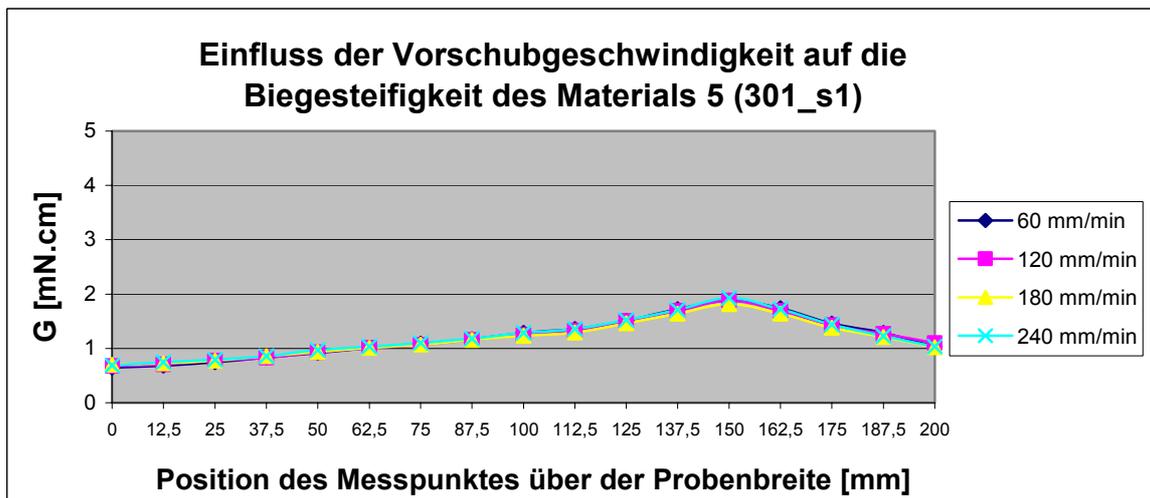
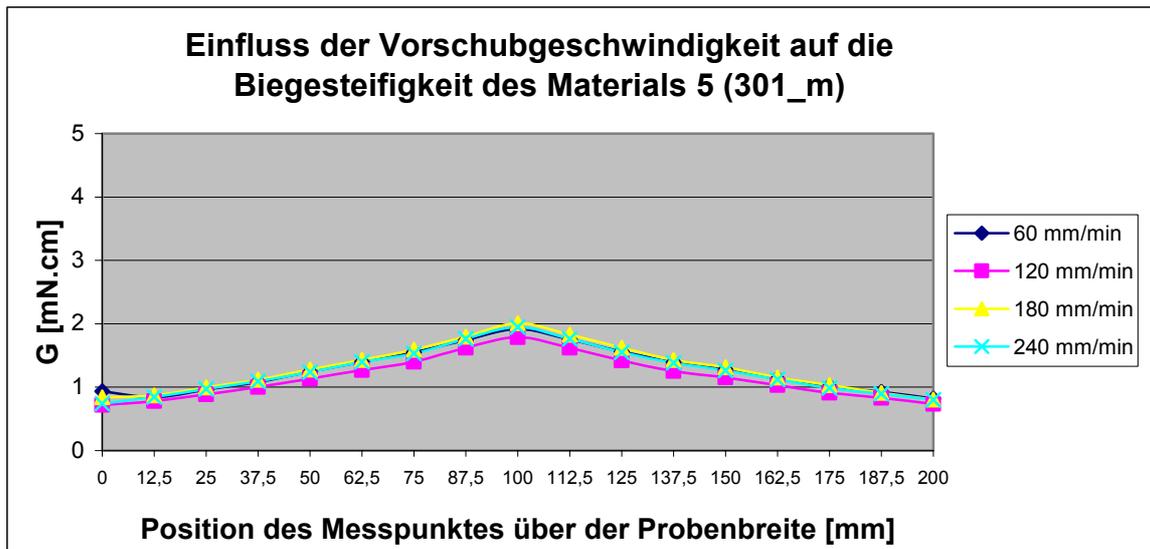


Abb. A6. 1: Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit auf die Biegesteifigkeit des Materials 5 in unterschiedlicher Nahtpositionen (301)

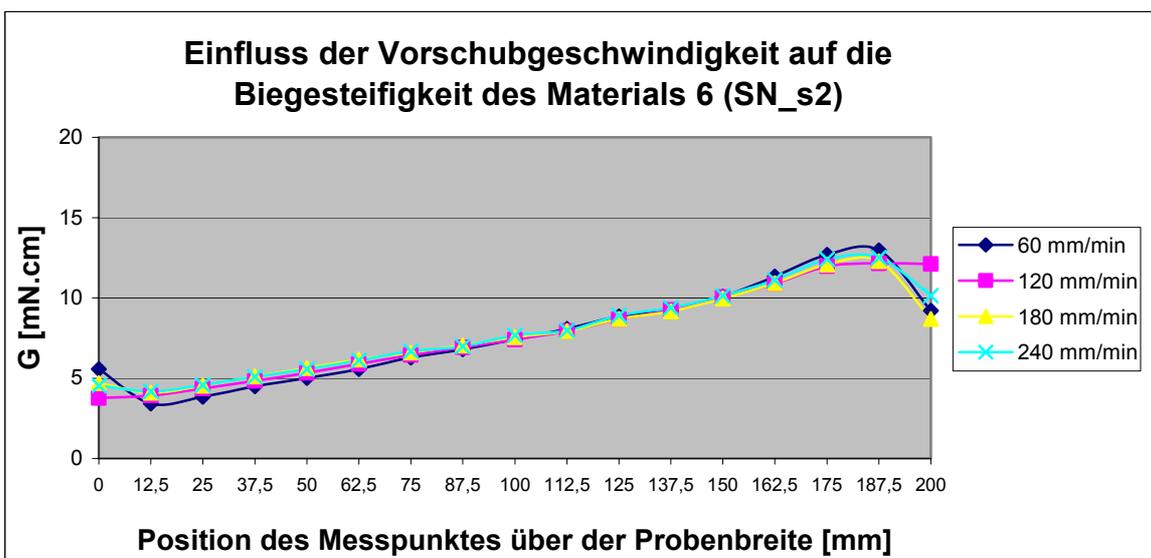
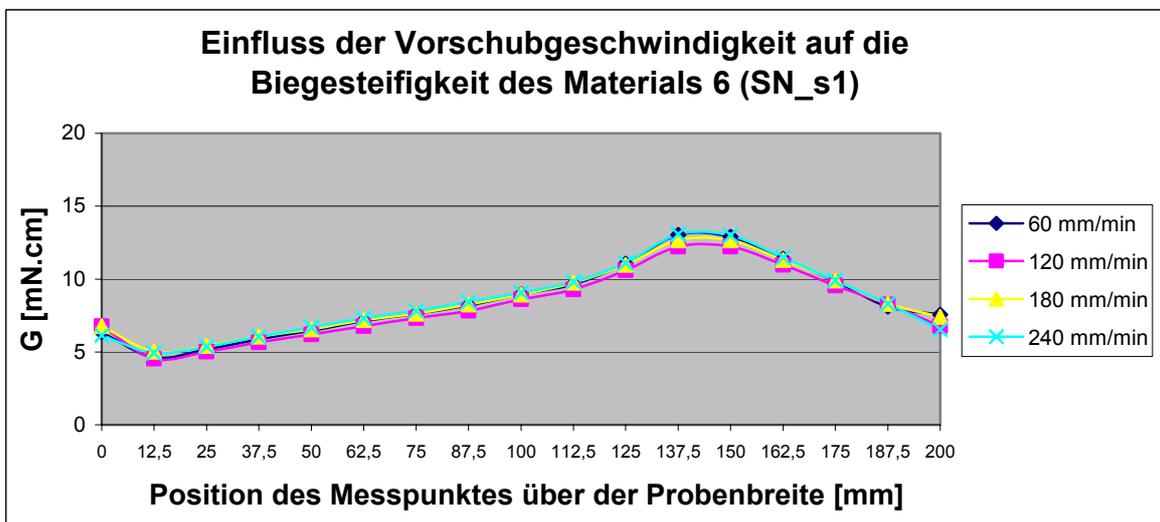
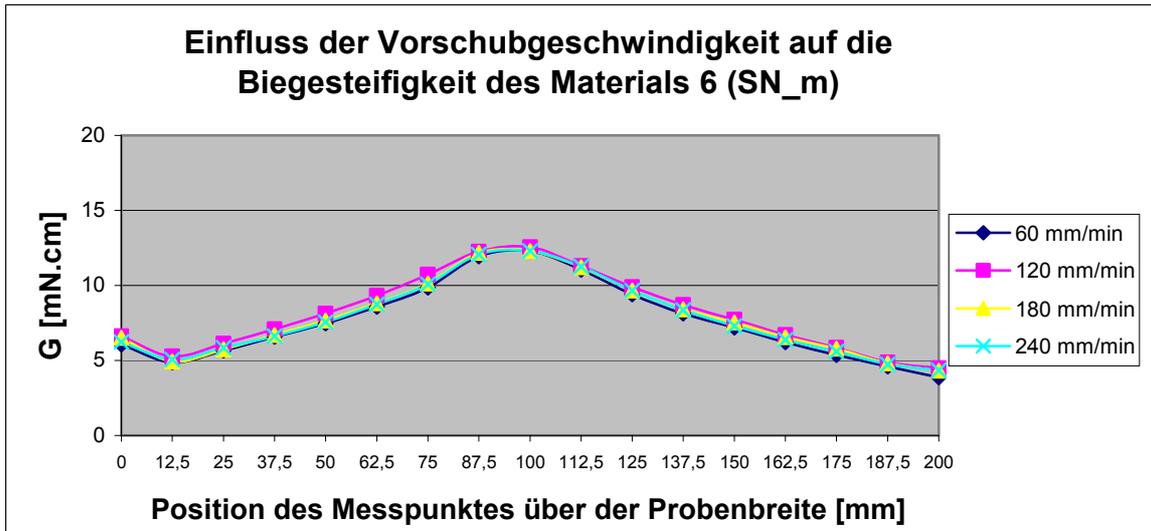


Abb. A6. 2: Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit auf die Biegesteifigkeit des Materials 6 in unterschiedlicher Nahtpositionen (SN)

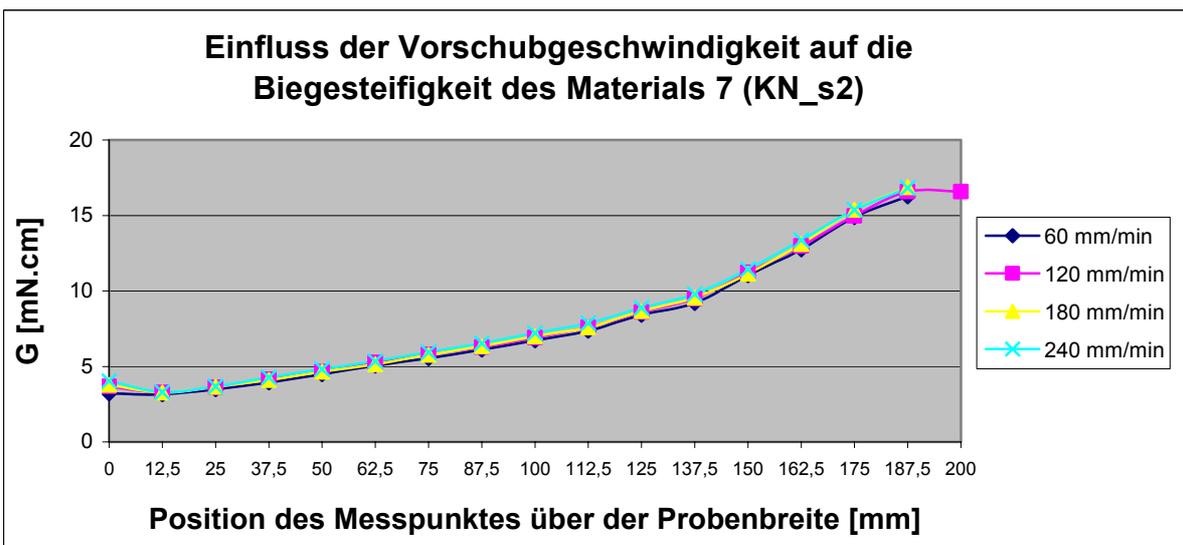
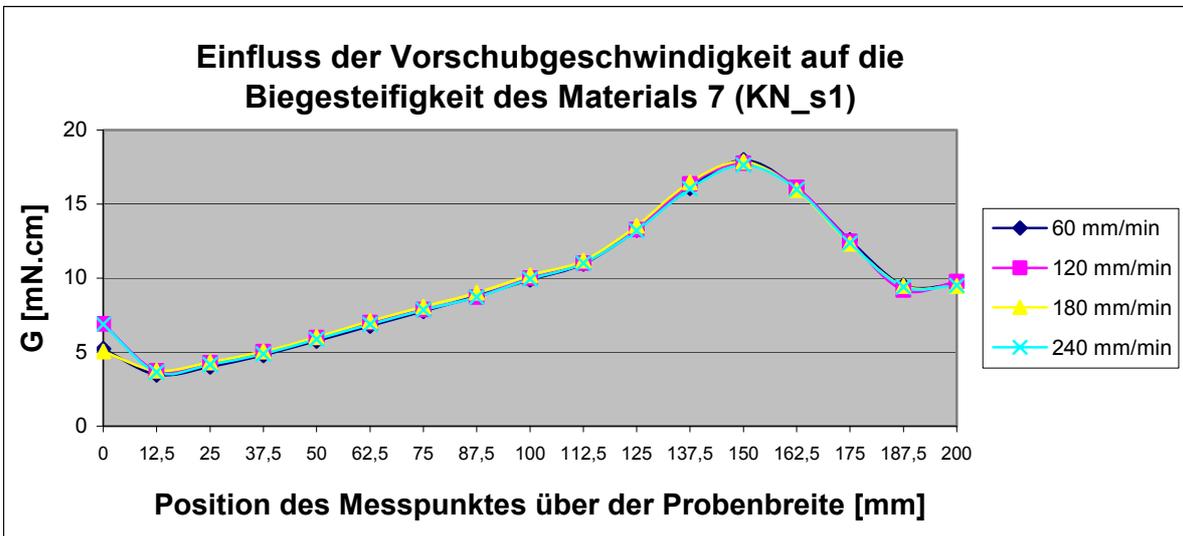
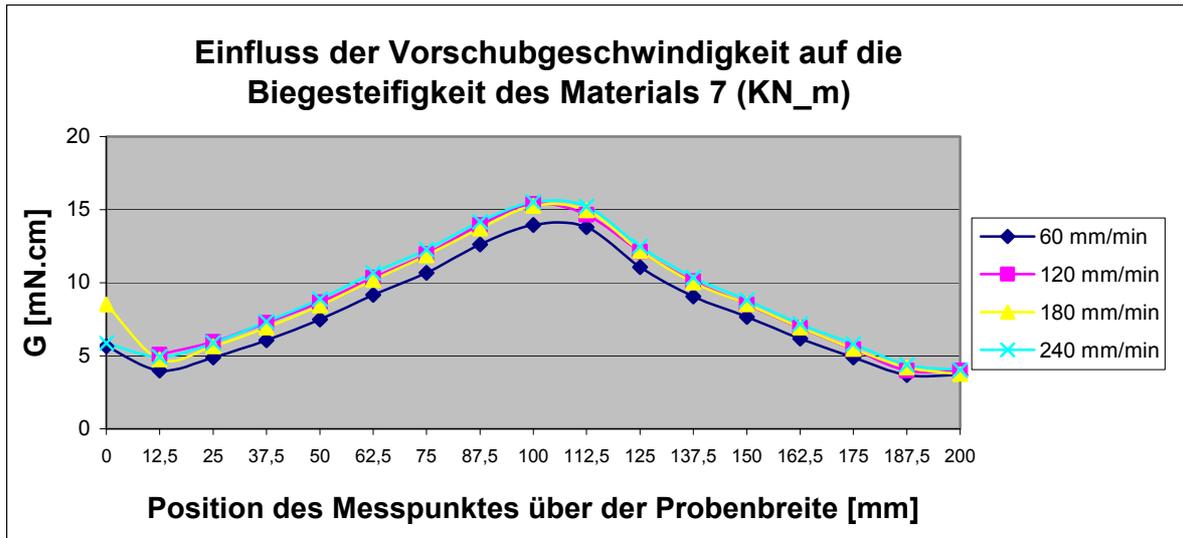


Abb. A6. 3: Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit auf die Biegesteifigkeit des Materials 7 in unterschiedlicher Nahtpositionen (KN)

A7 Bestimmung des Nahteinflusses auf die Biegesteifigkeit

A7.1 Einfluss unterschiedlicher Nahtarten auf die Biegesteifigkeit (Naht mittig)

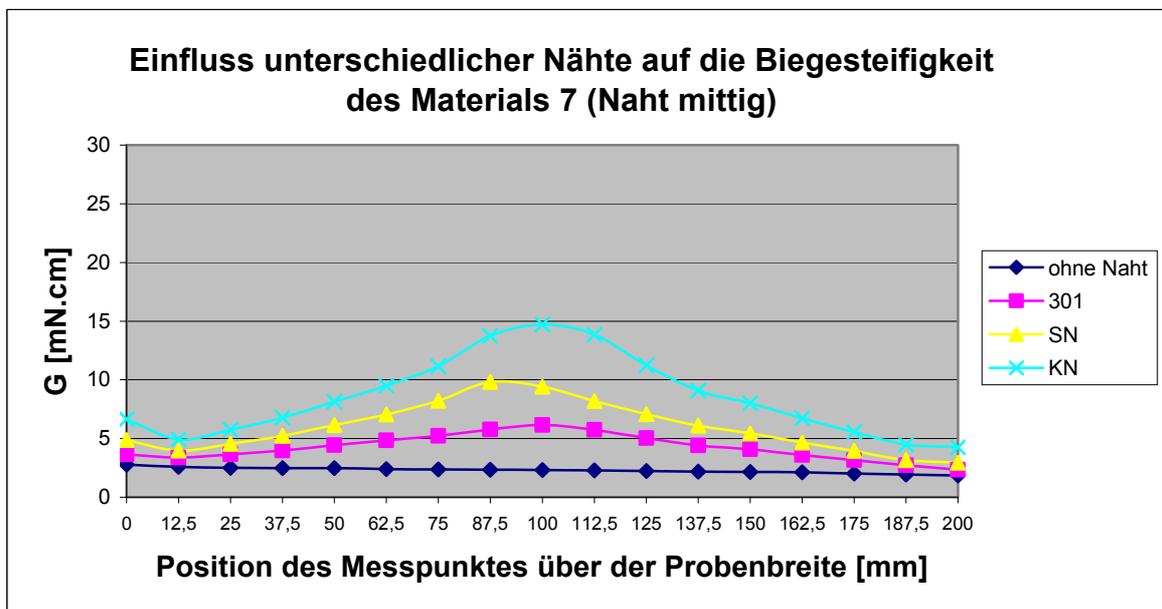
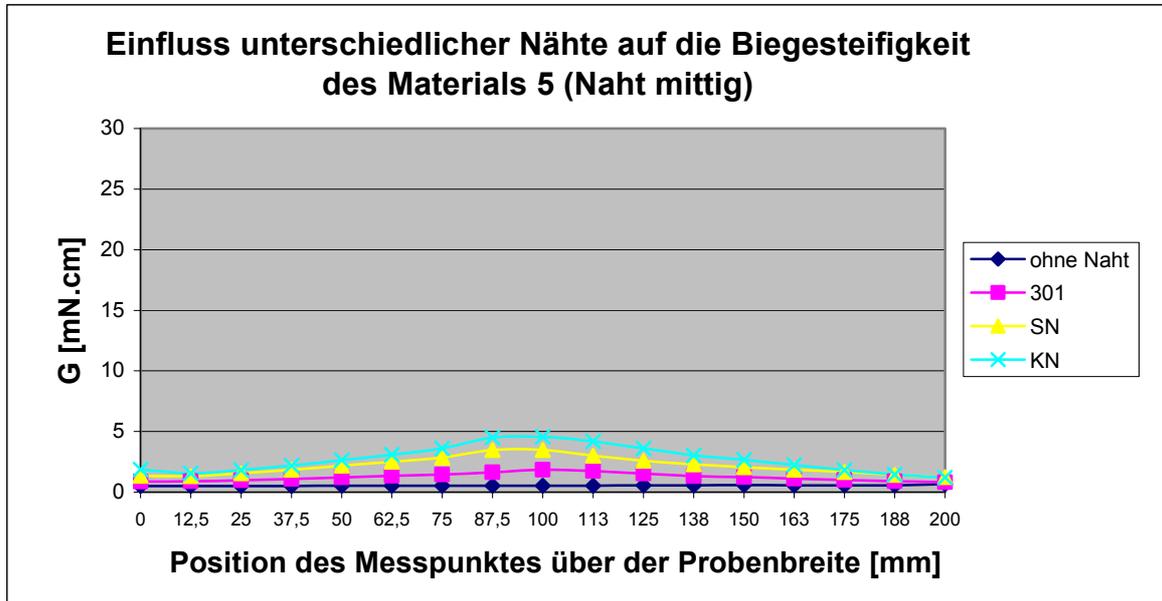


Abb. A7.1: Einfluss unterschiedlicher Nähte (Naht mittig) auf die Biegesteifigkeit in Kettrichtung

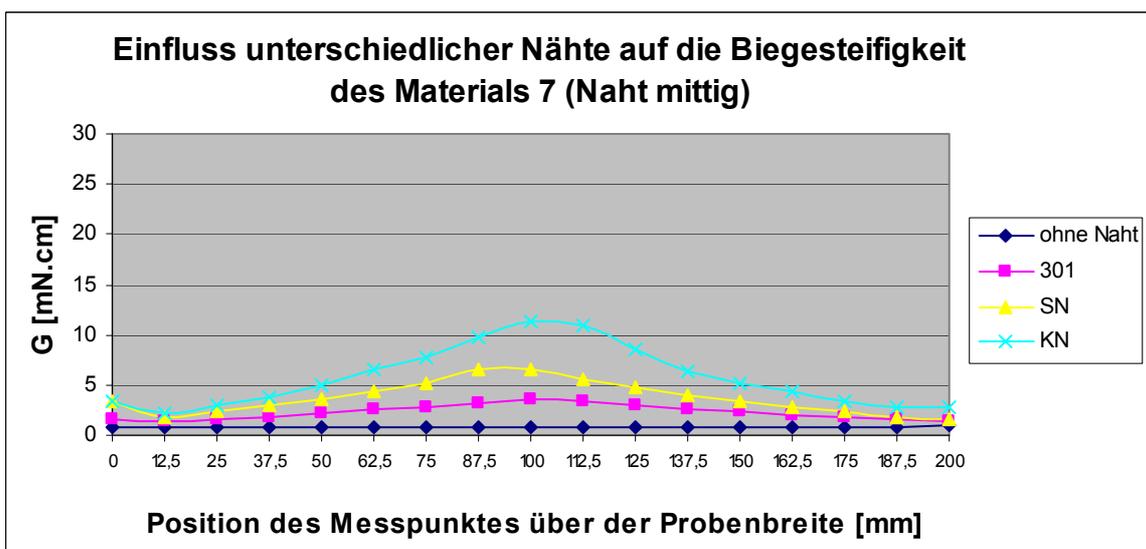
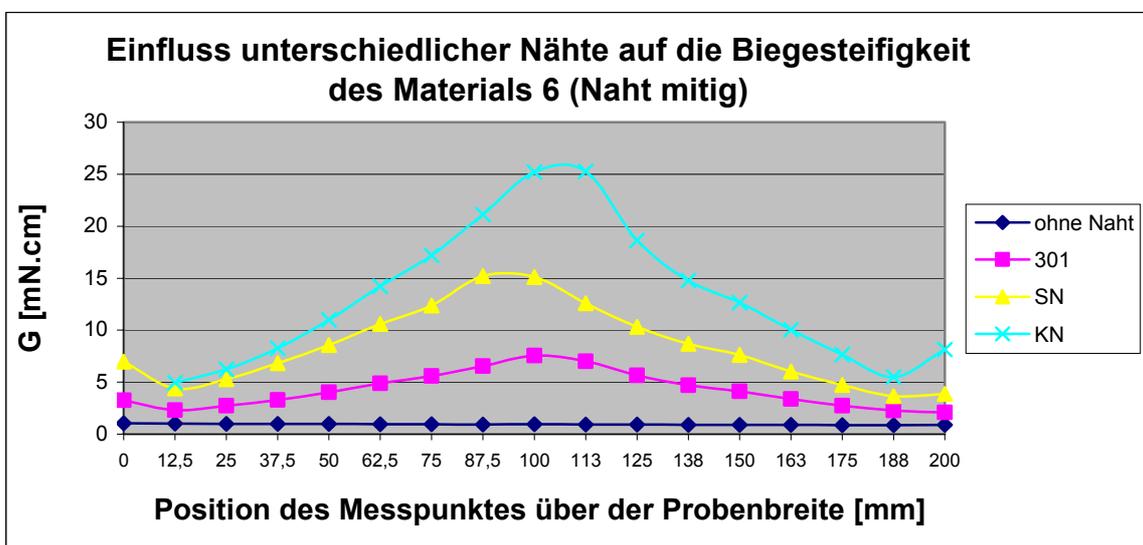
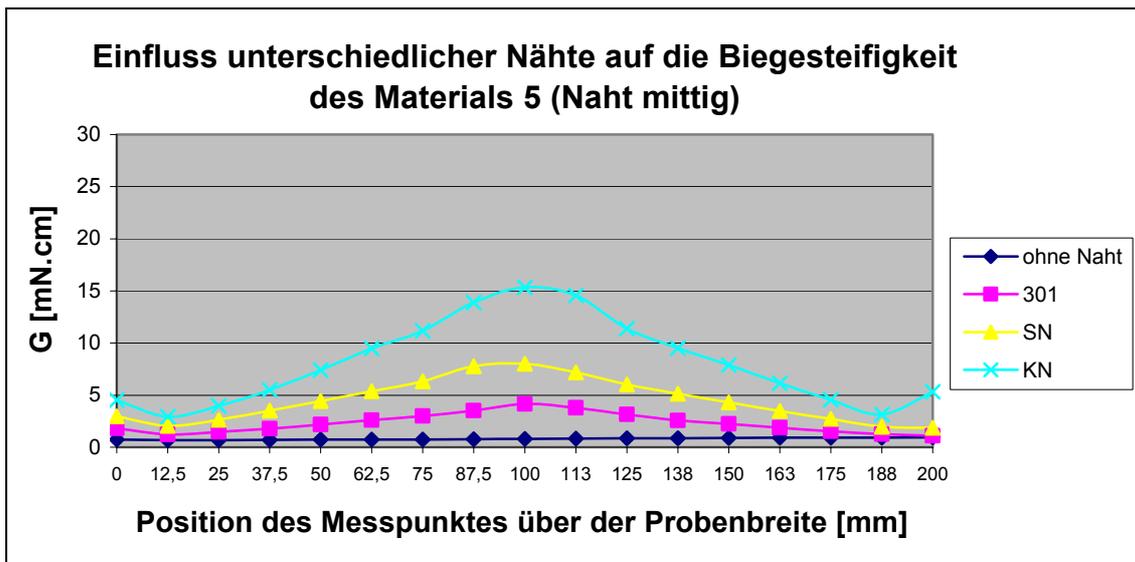


Abb. A7.2: Einfluss unterschiedlicher Nähte (Naht mittig) auf die Biegesteifigkeit in Schussrichtung

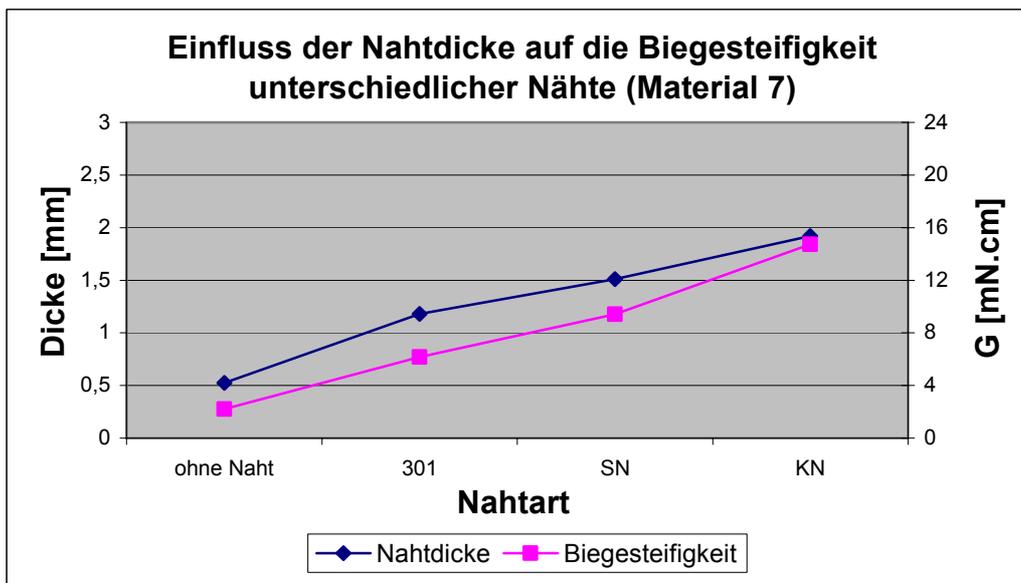
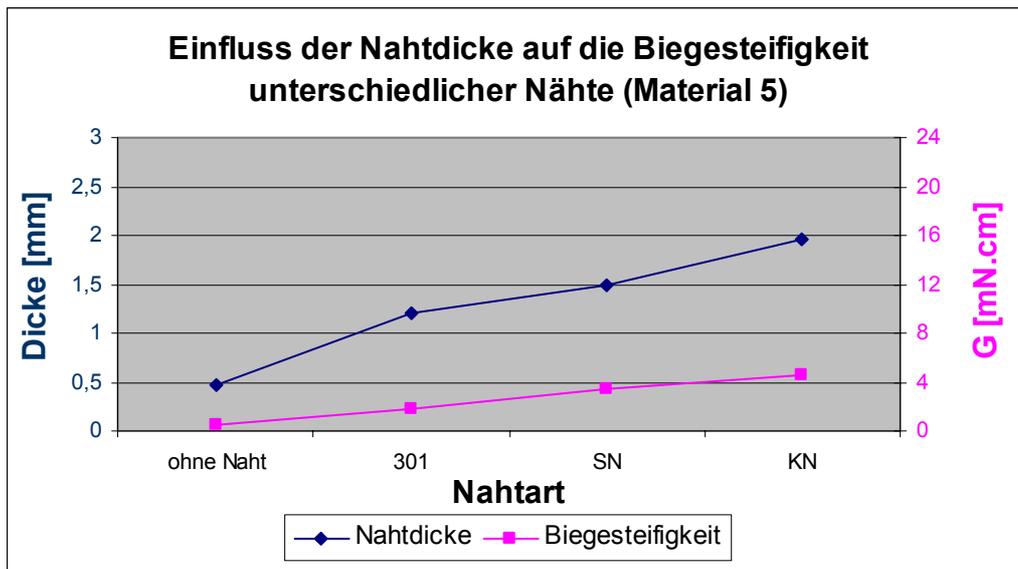
A7.2 Zusammenhang zwischen der Nahtdicke und der Biegesteifigkeit

Abb. A7.3: Zusammenhang zwischen der Nahtdicke unterschiedlicher Nähte und der Biegesteifigkeit

A7.3 Einfluss der Nahtposition auf die Biegesteifigkeit bei verschiedenen Nähten

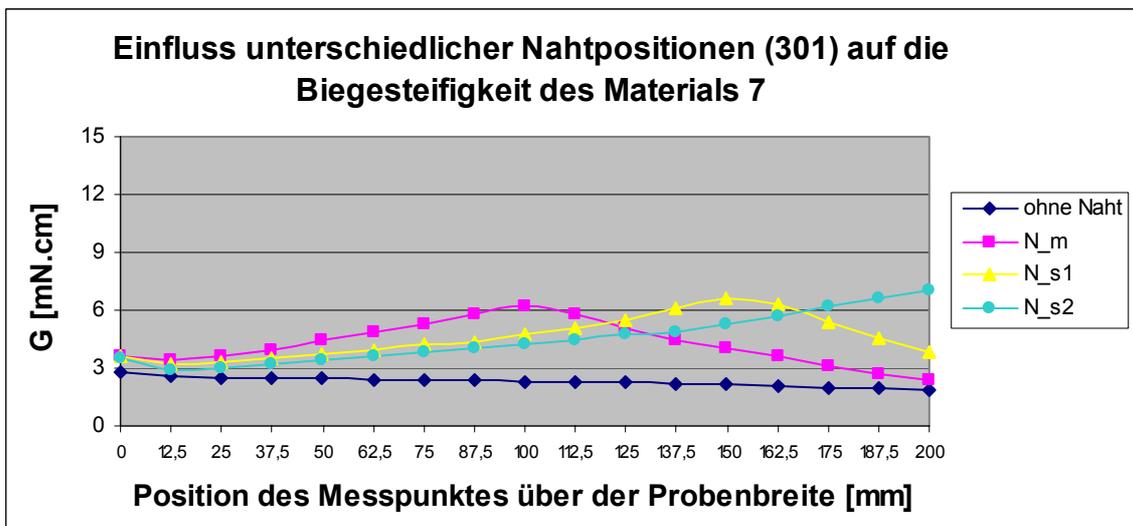
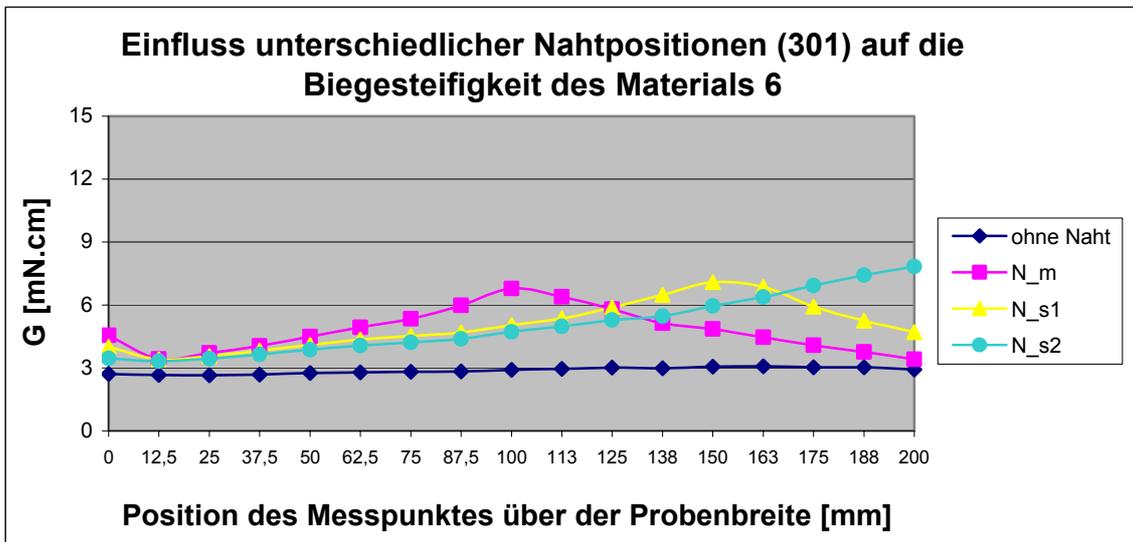
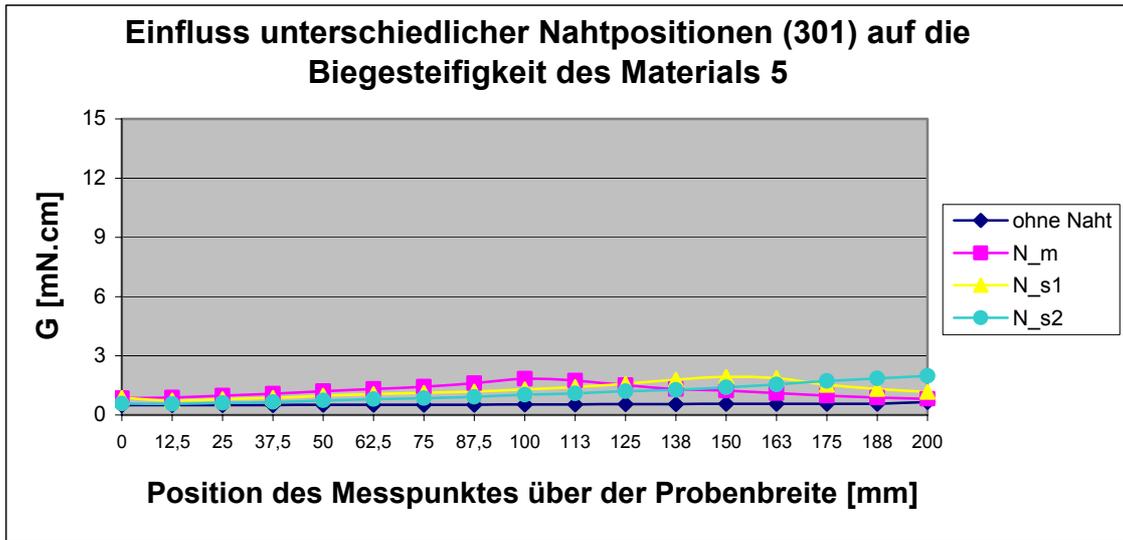


Abb. A7.4: Einfluss unterschiedlicher Nahtposition (301) auf die Biegesteifigkeit in Kettrichtung

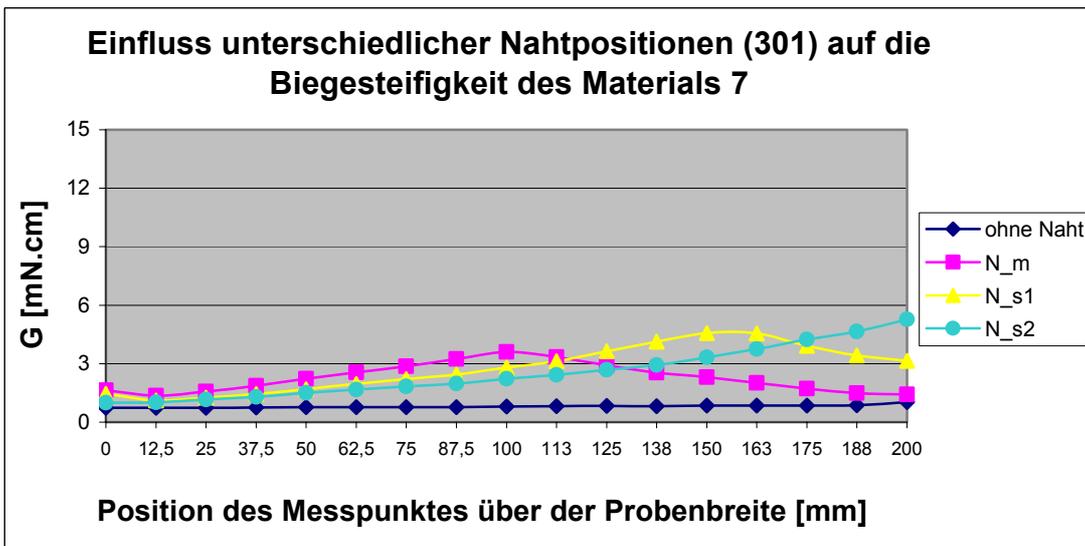
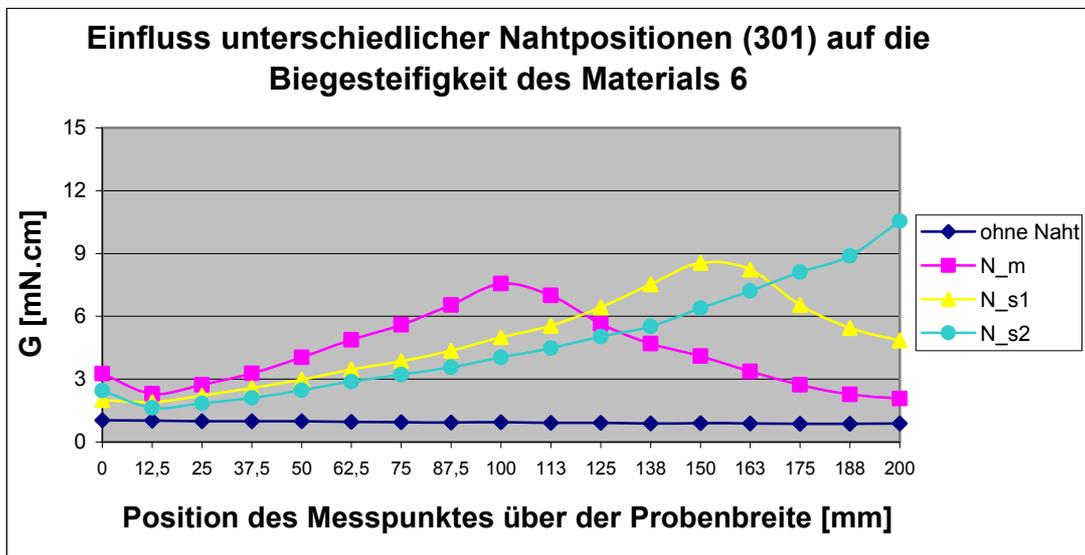
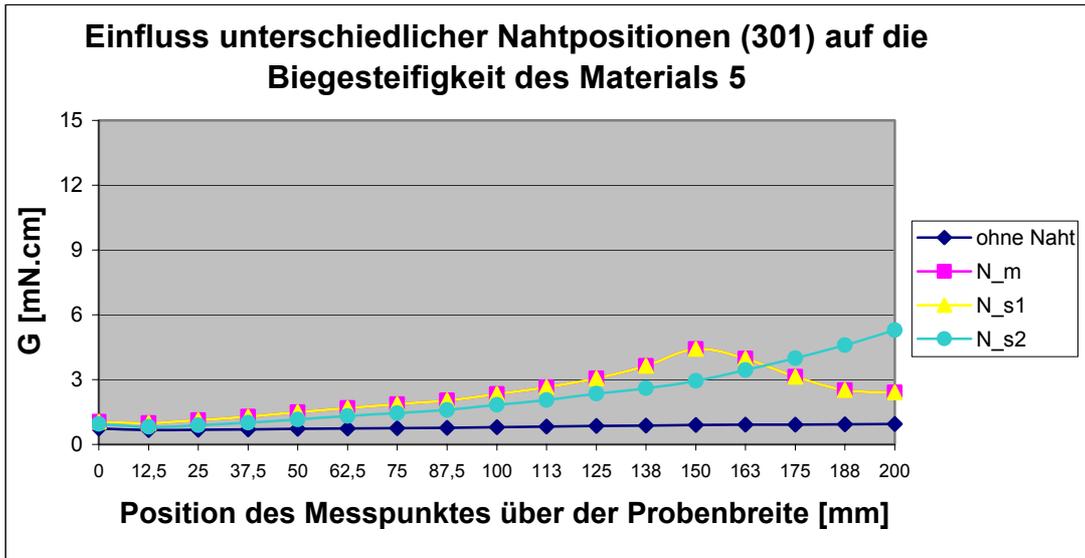


Abb. A7.5: Einfluss unterschiedlicher Nahtposition (301) auf die Biegesteifigkeit in Schussrichtung

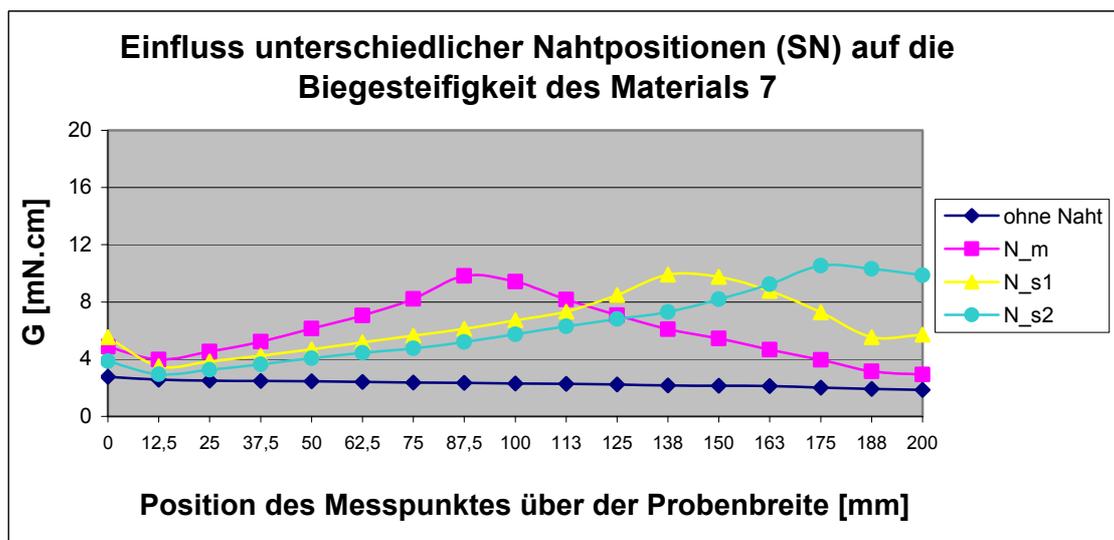
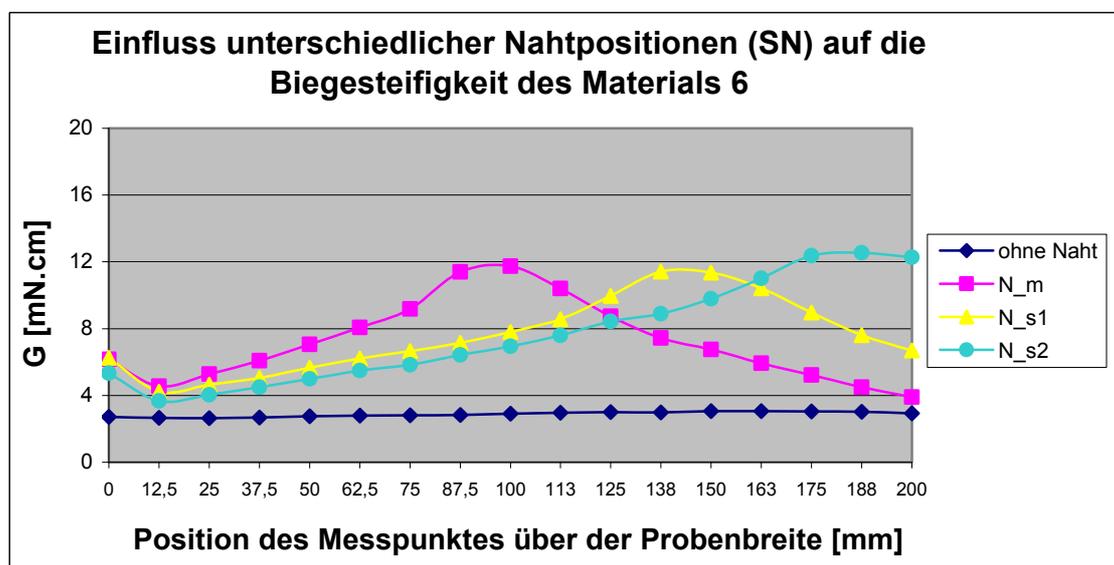
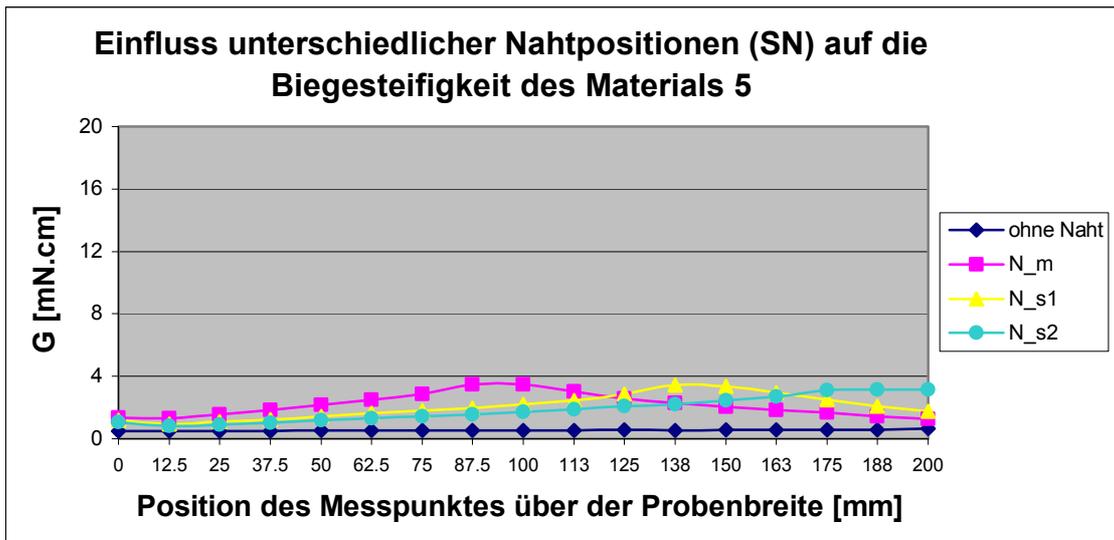


Abb. A7.6: Einfluss unterschiedlicher Nahtposition (SN) auf die Biegesteifigkeit in Kettrichtung

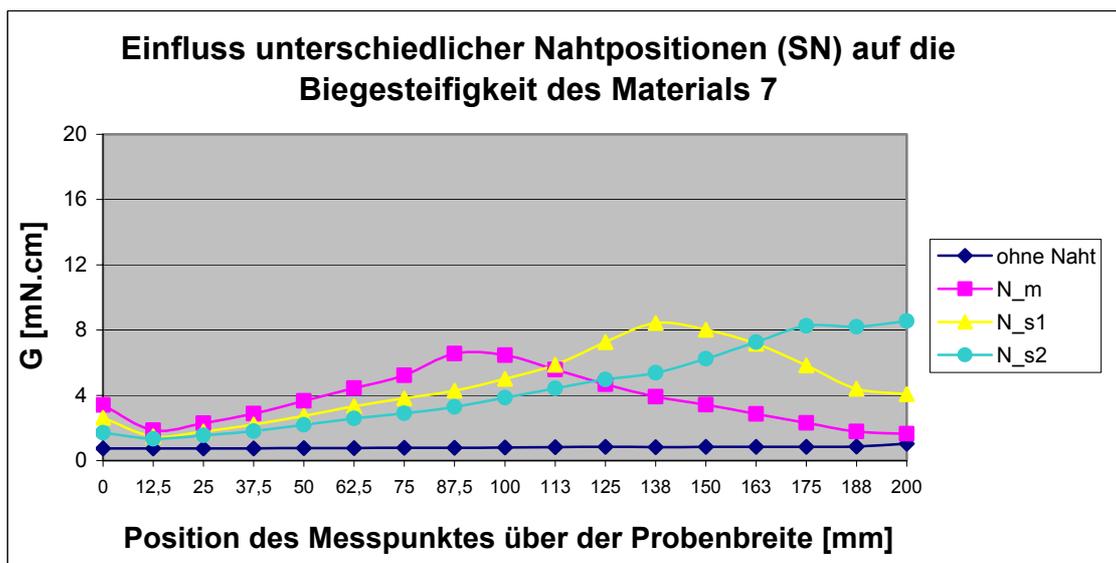
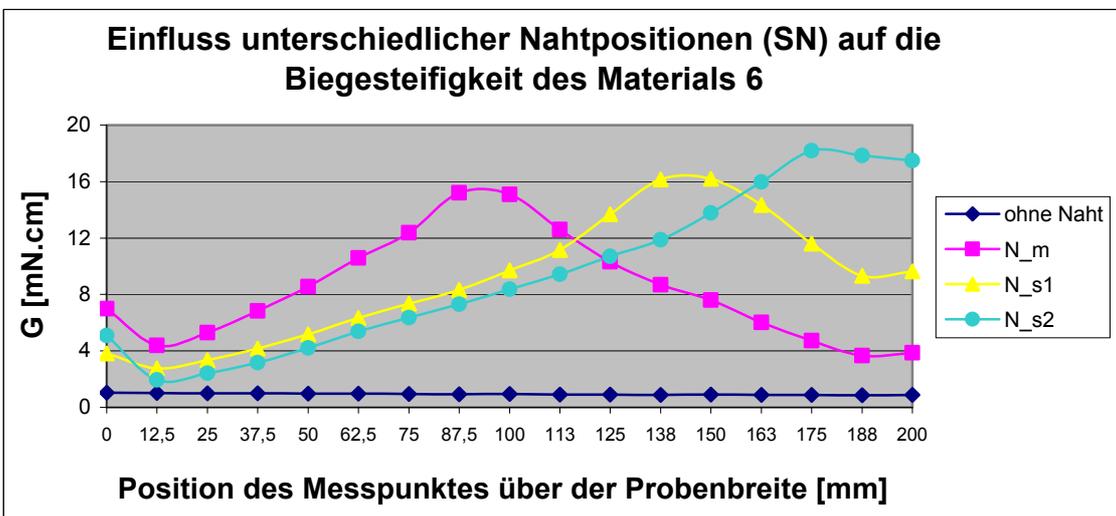
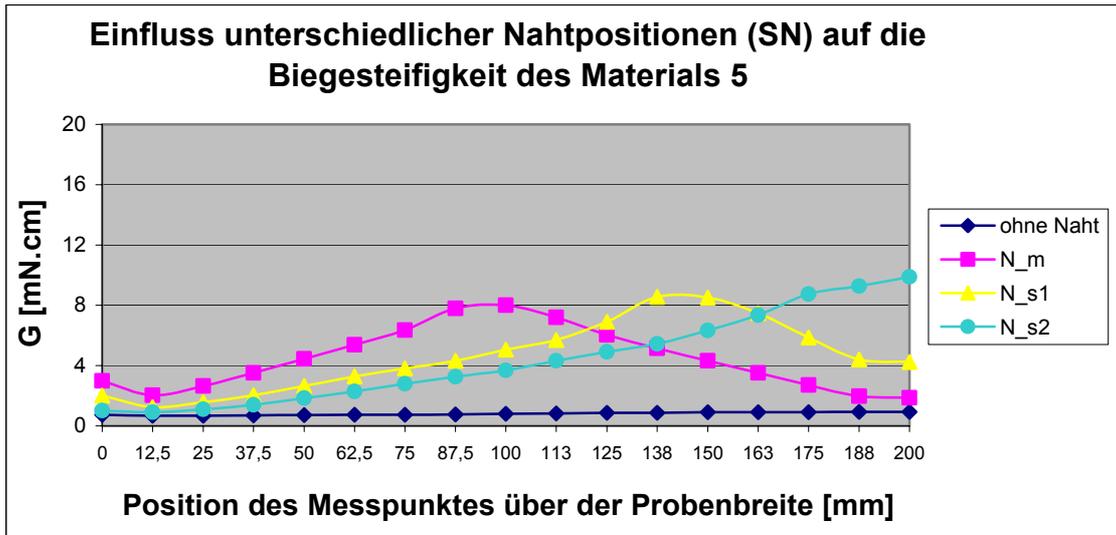


Abb. A7.7: Einfluss unterschiedlicher Nahtposition (SN) auf die Biegesteifigkeit in Schussrichtung

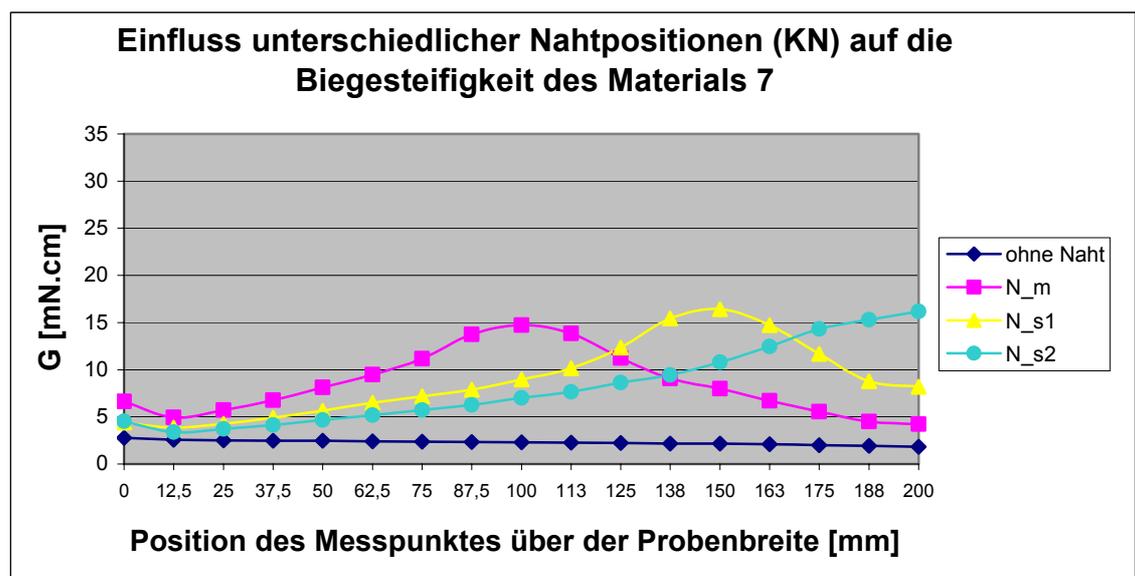
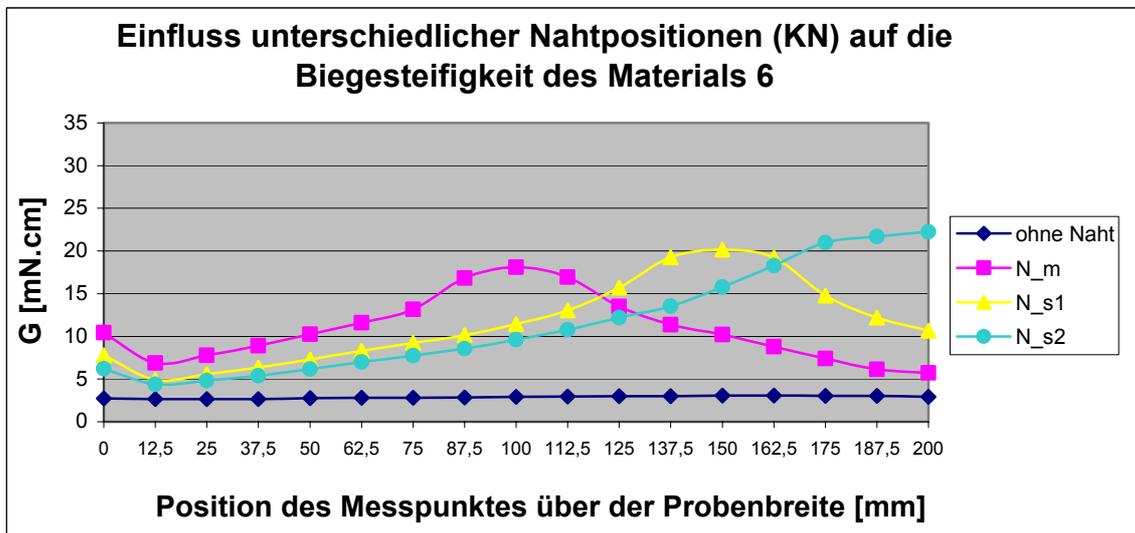
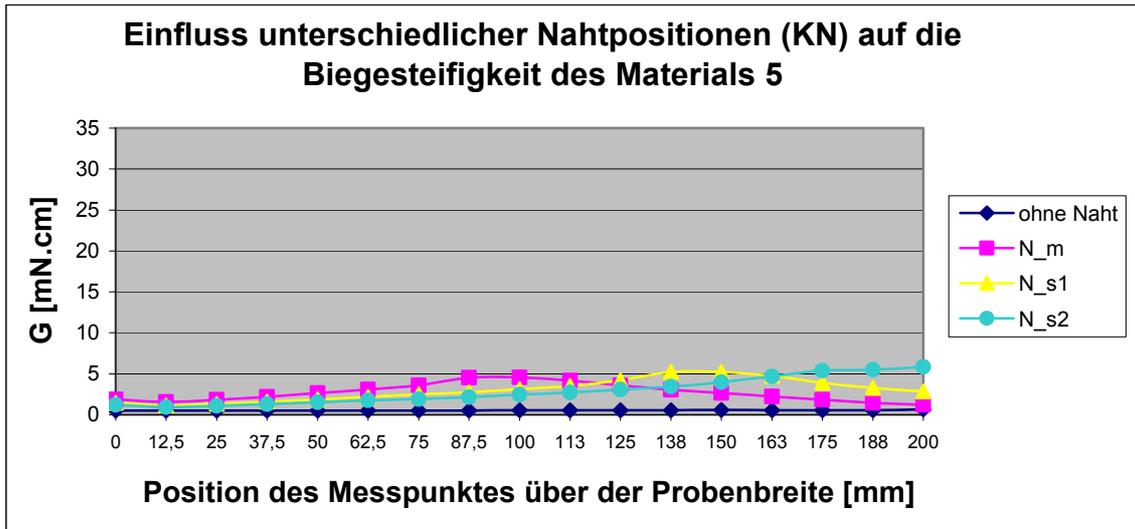


Abb. A7.8: Einfluss unterschiedlicher Nahtposition (KN) auf die Biegesteifigkeit in Kettrichtung

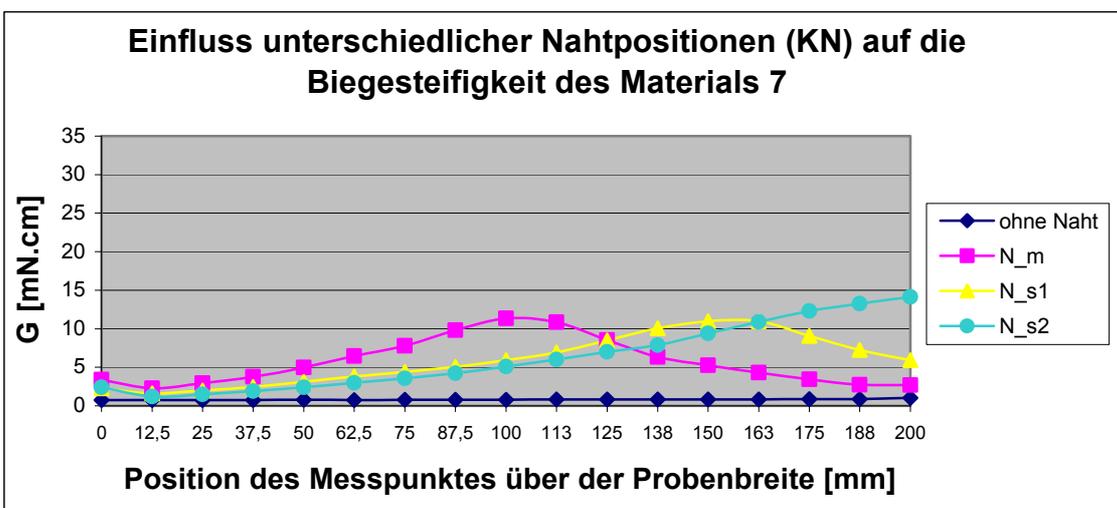
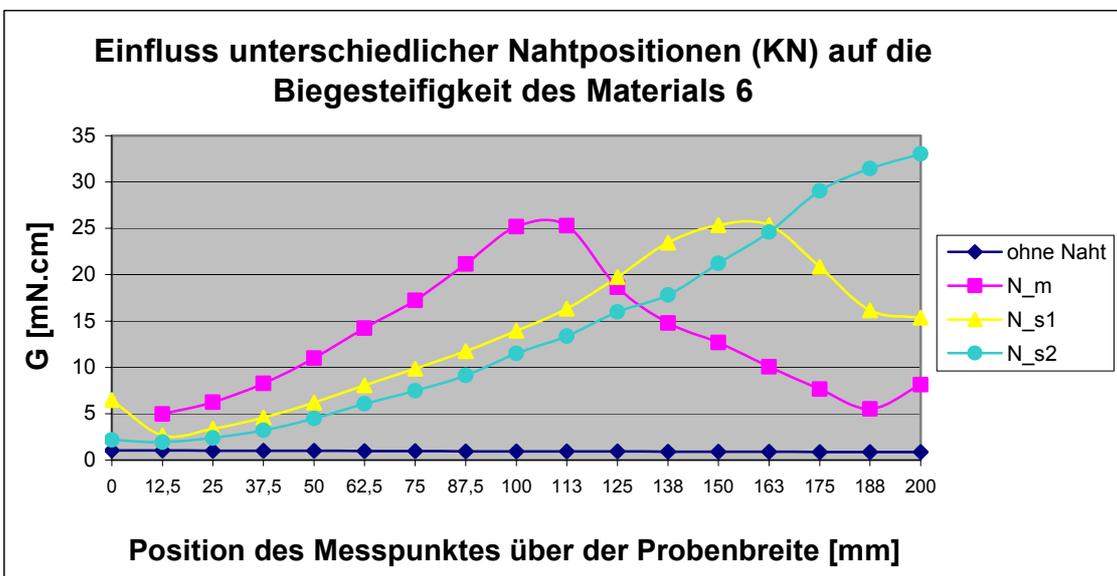
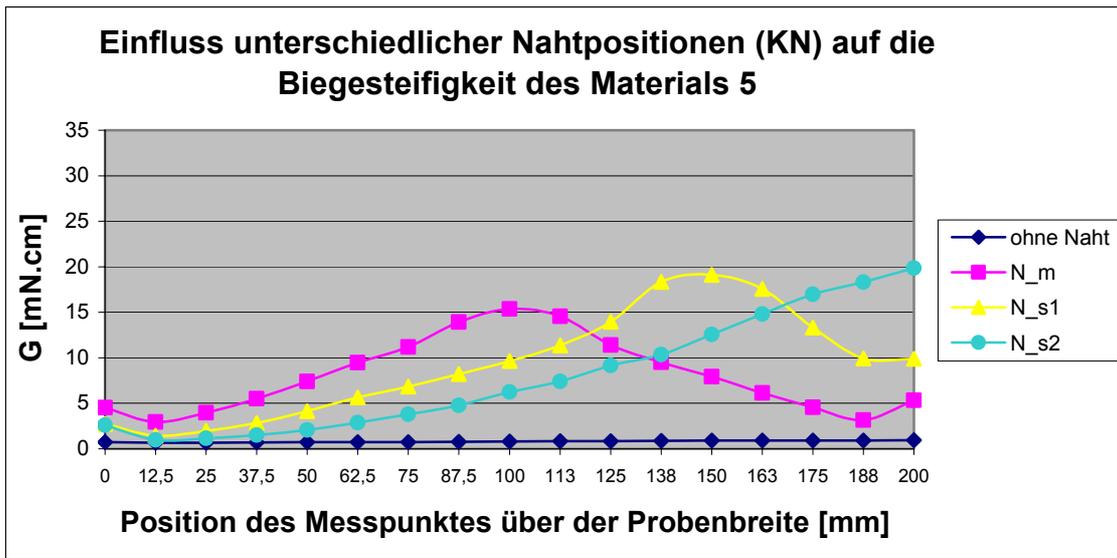


Abb. A7.9: Einfluss unterschiedlicher Nahtposition (KN) auf die Biegesteifigkeit in Schussrichtung

A7.4 Einfluss der Nähstichtypen auf die Biegesteifigkeit in verschiedenen Winkellagen

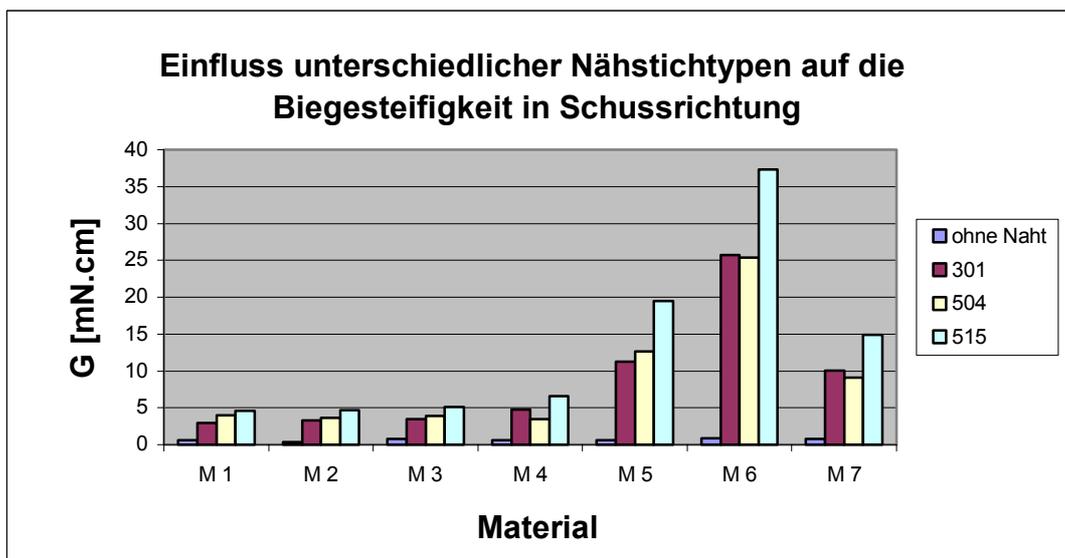
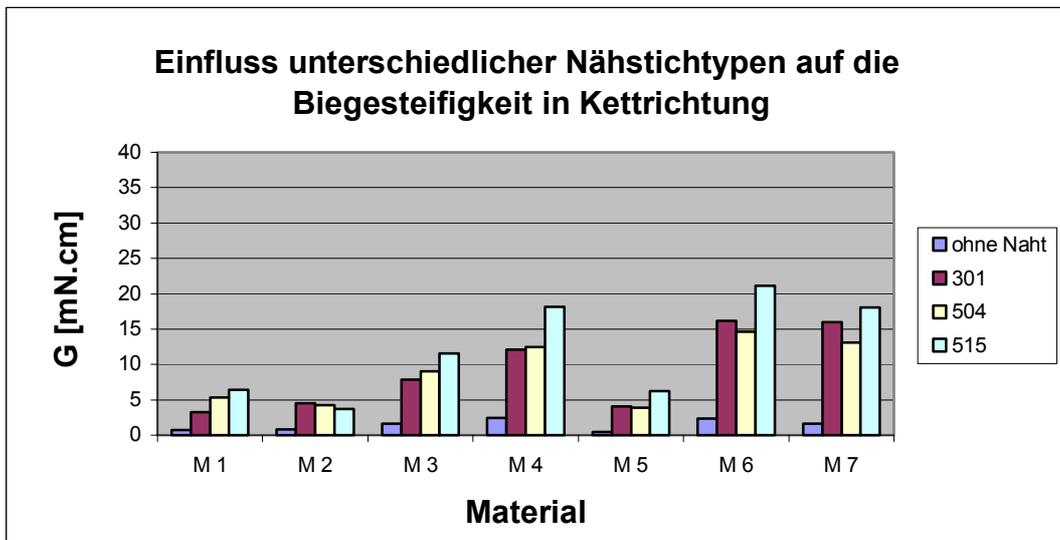


Abb. A7.10: Einfluss unterschiedlicher Nähstichtypen auf die Biegesteifigkeit

A7.5 Einfluss der Nahtwinkellage in verschiedenen Varianten auf die Biegesteifigkeit

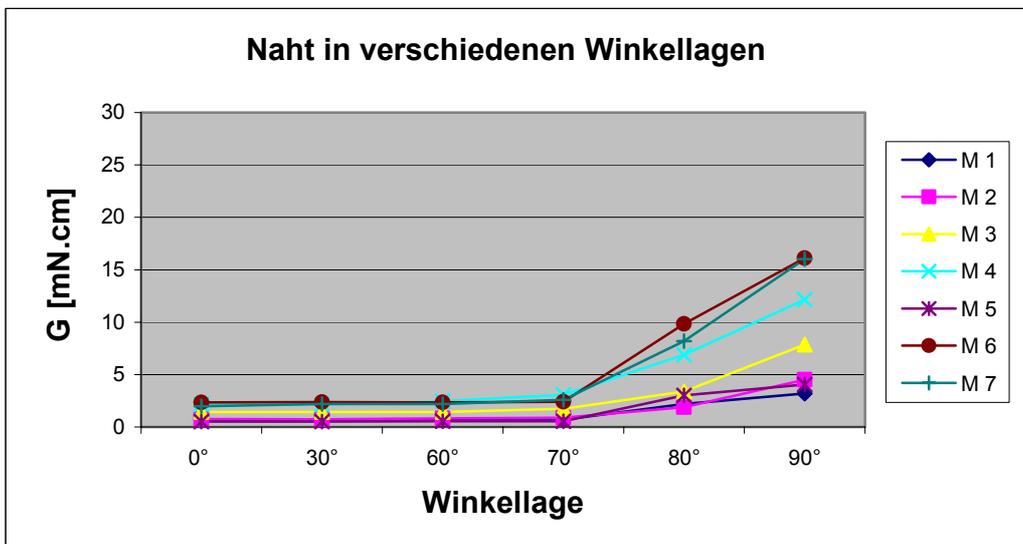
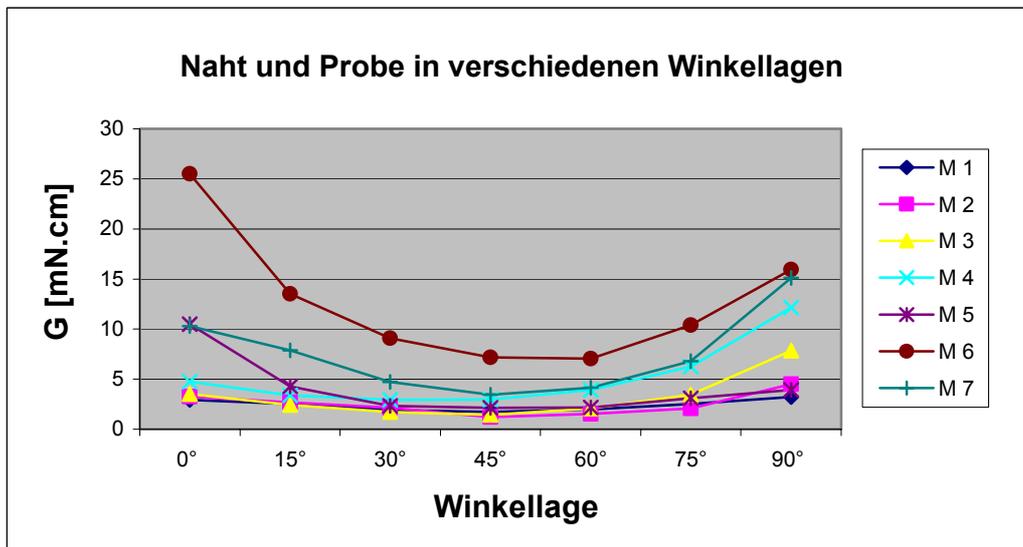
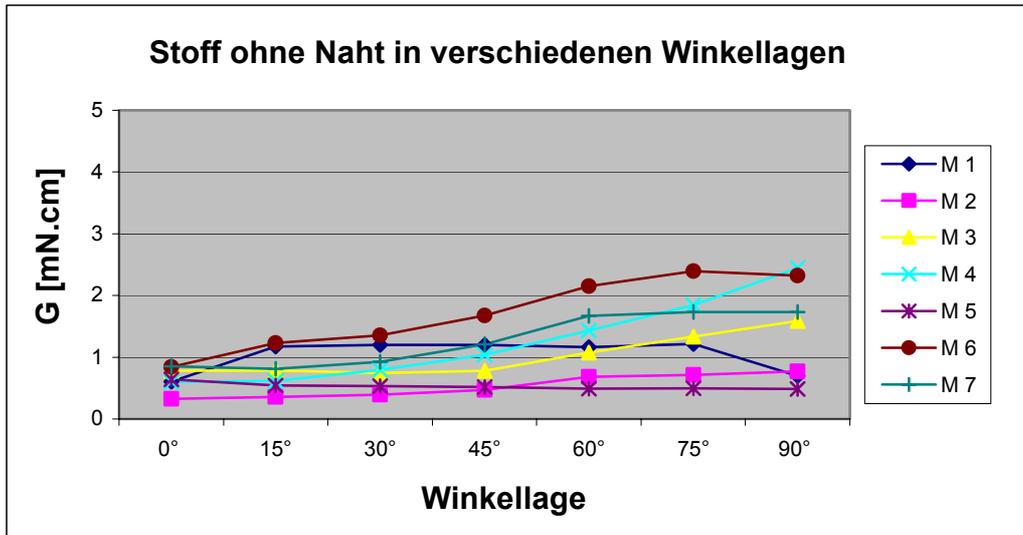


Abb. A7.11: Einfluss unterschiedlicher Nahtwinkellagen auf die Biegesteifigkeit

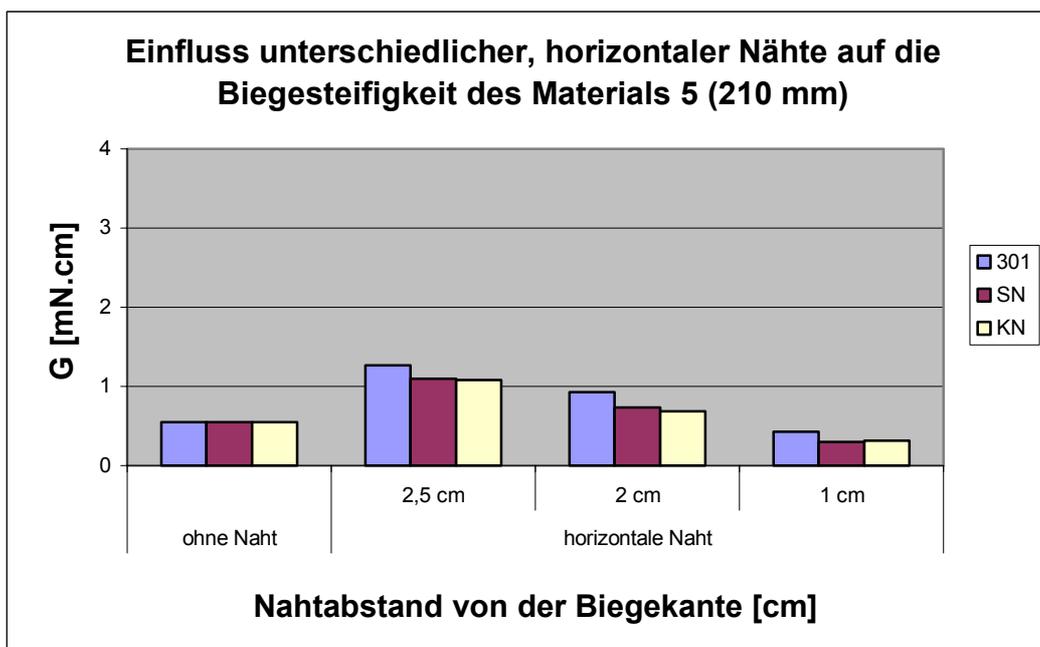
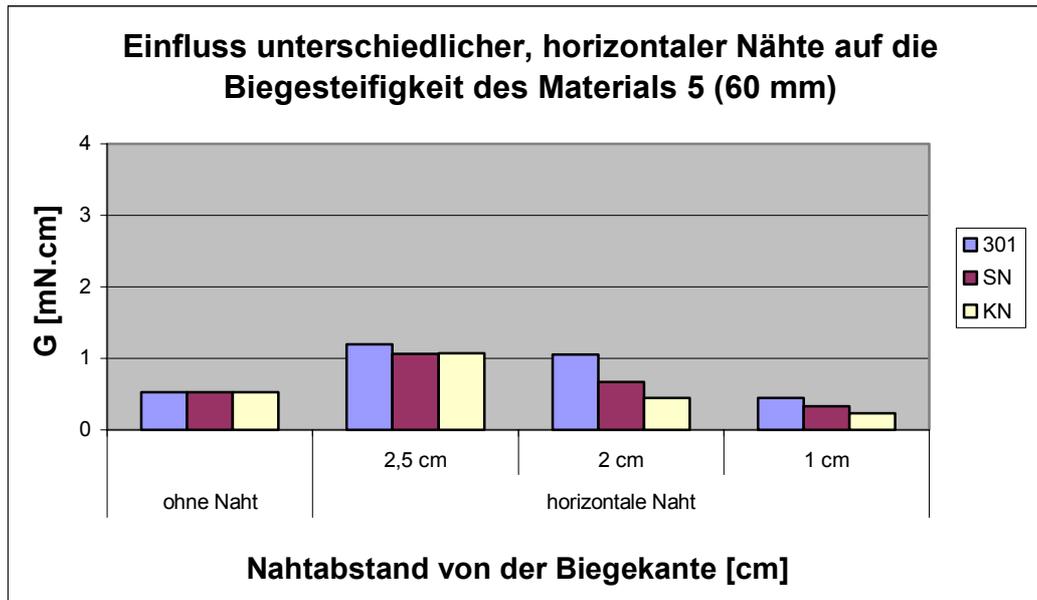
A7.6 Einfluss der horizontalen Naht auf die Biegesteifigkeit

Abb. A7.12: Einfluss unterschiedlicher, horizontaler Nähte auf die Biegesteifigkeit des Materials 5 bei verschiedenen Probenbreiten

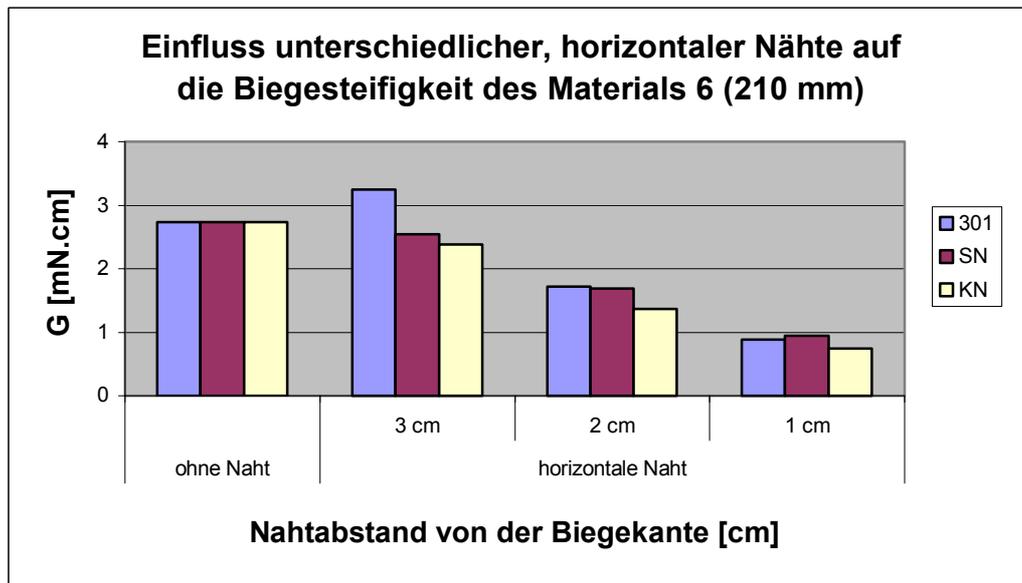
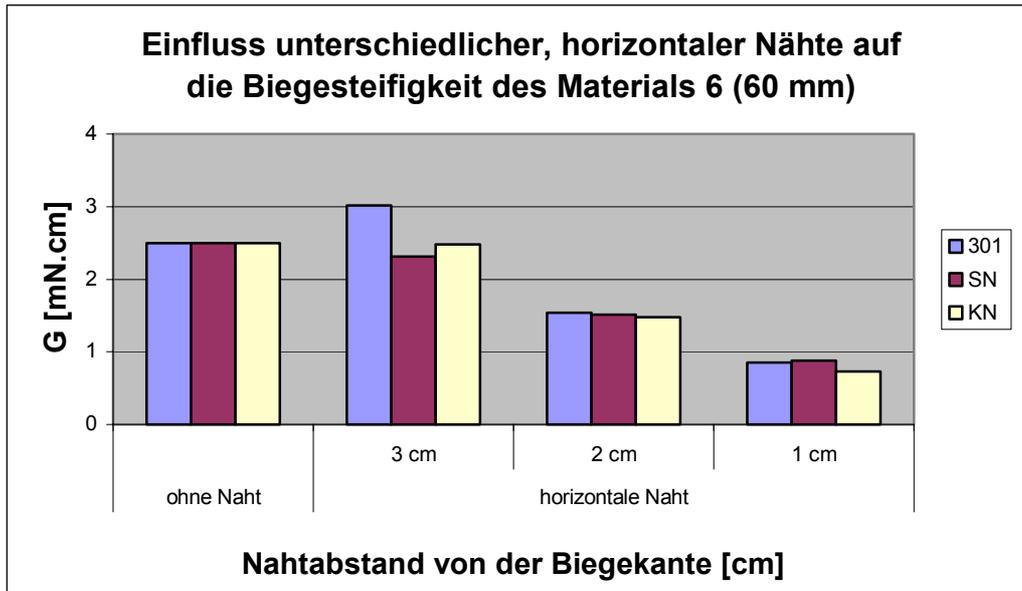


Abb. A7.13: Einfluss unterschiedlicher, horizontaler Nähte auf die Biegesteifigkeit des Materials 6 bei verschiedenen Probenbreiten

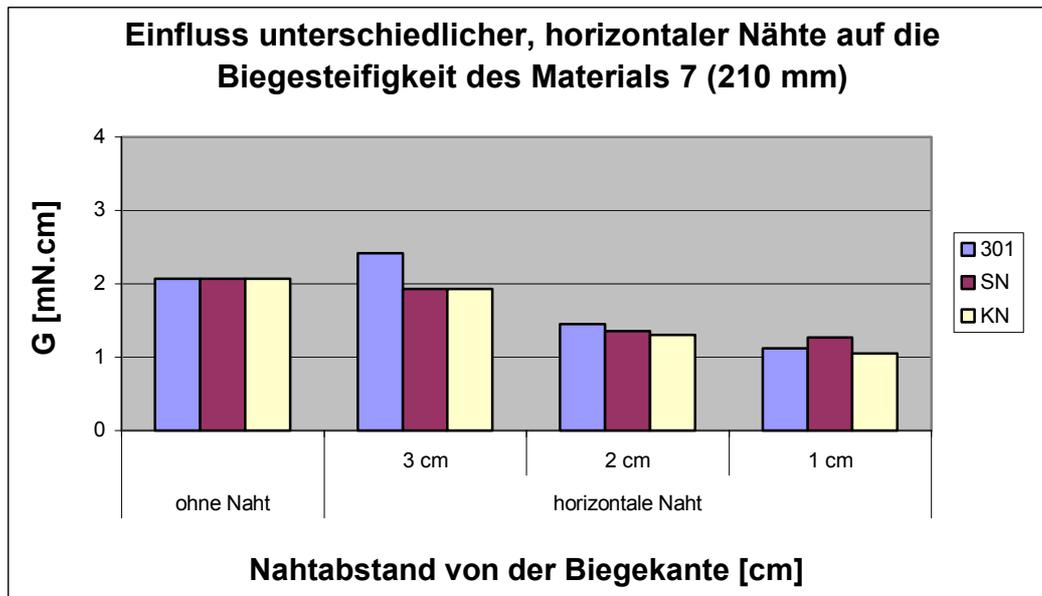
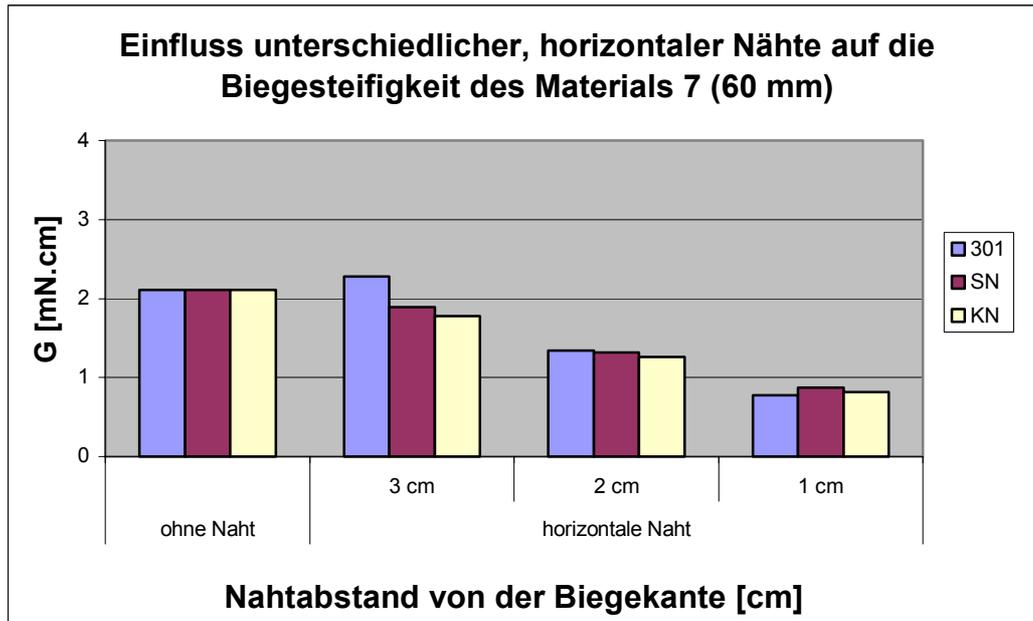


Abb. A7.14: Einfluss unterschiedlicher, horizontaler Nähte auf die Biegesteifigkeit des Materials 7 bei verschiedenen Probenbreiten

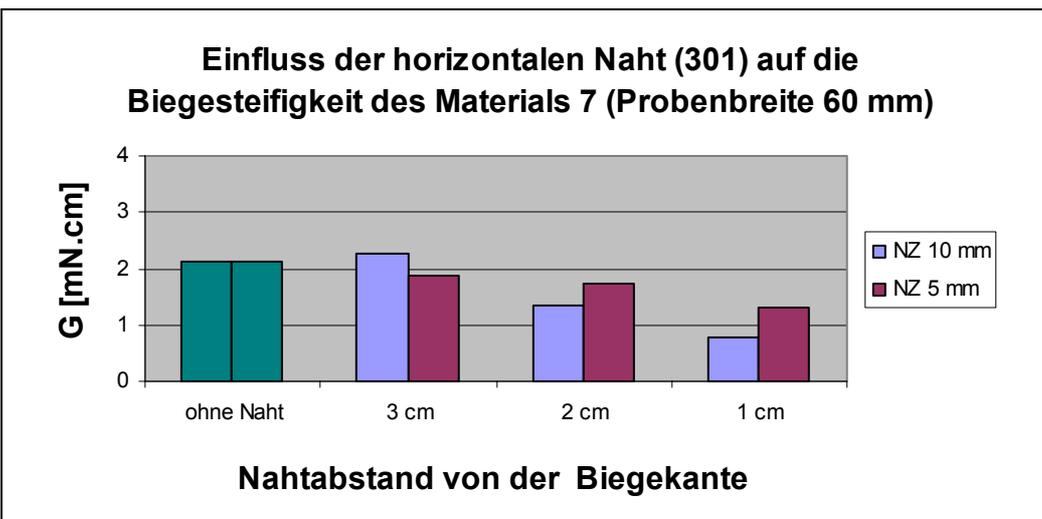
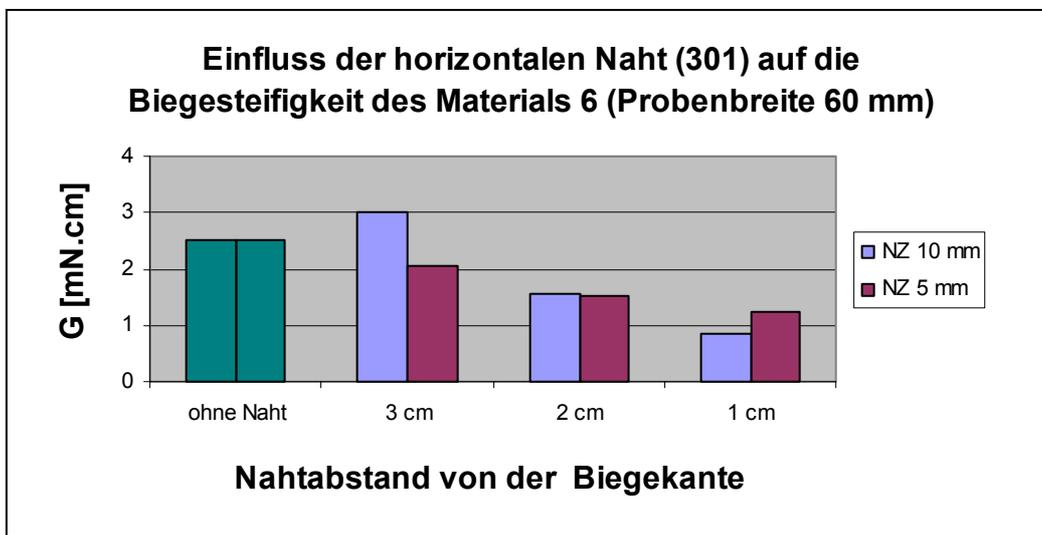
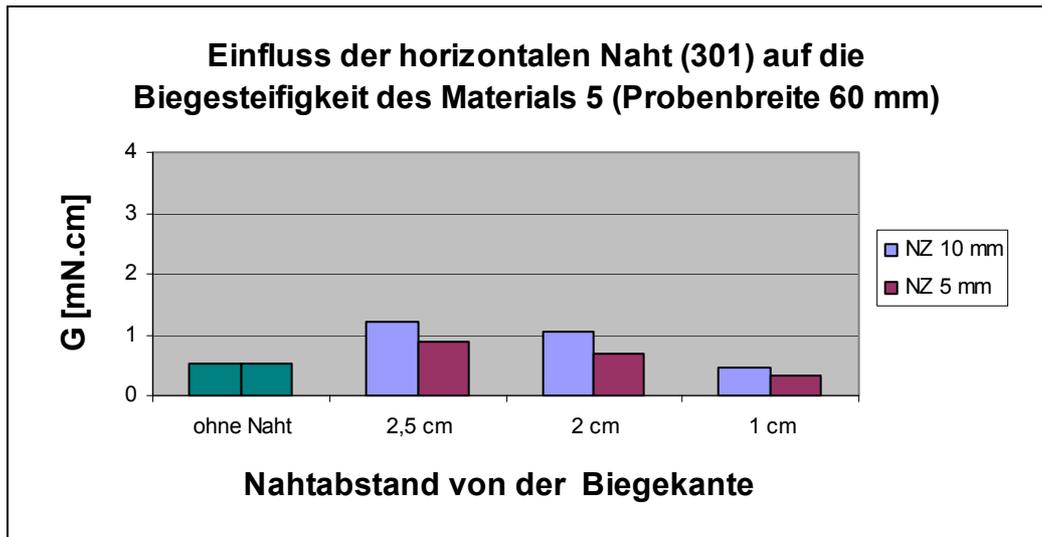


Abb. A7.15: Einfluss der Nahtzugabe auf die Biegesteifigkeit bei einer Probenbreite von 60 mm

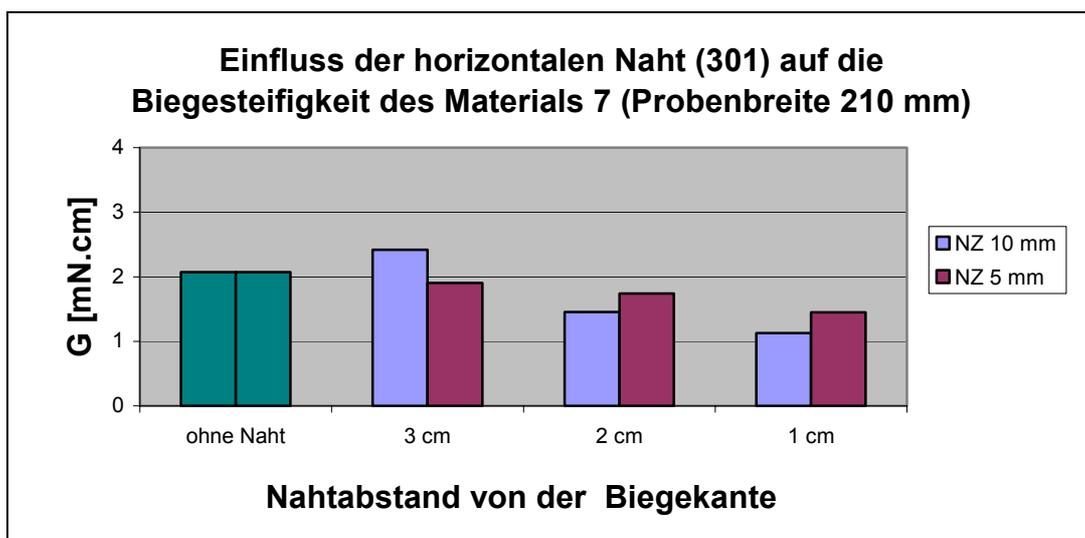
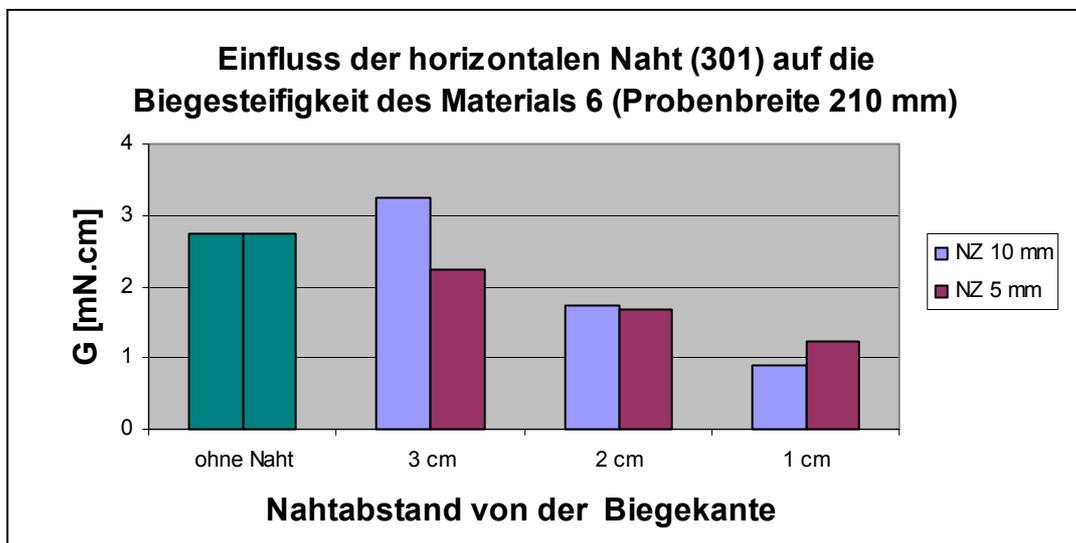
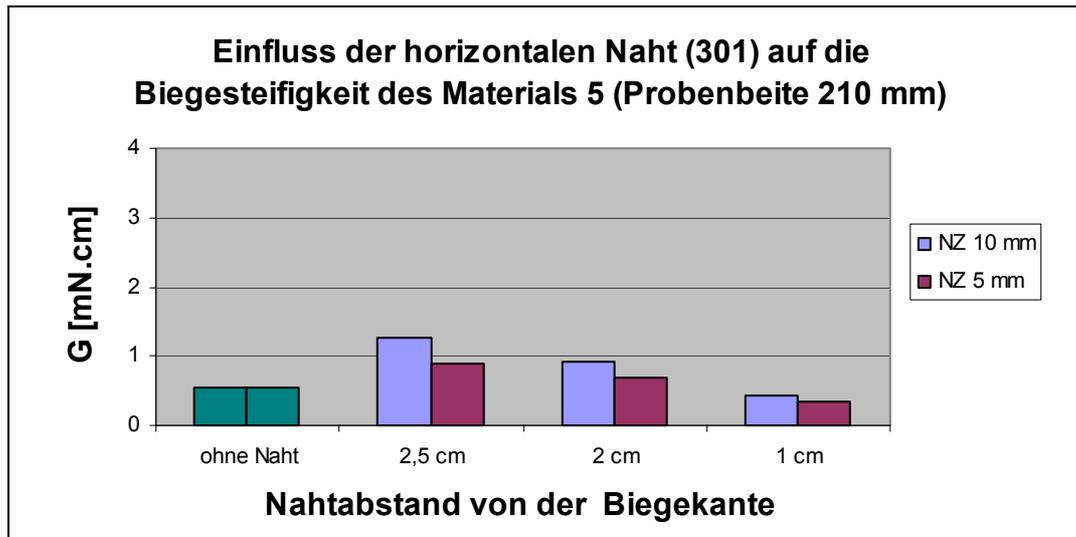


Abb. A7.16: Einfluss der Nahtzugabe auf die Biegesteifigkeit bei einer Probenbreite von 210 mm

A7.7 Einfluss unterschiedlicher Probenbreiten auf die Biegesteifigkeit

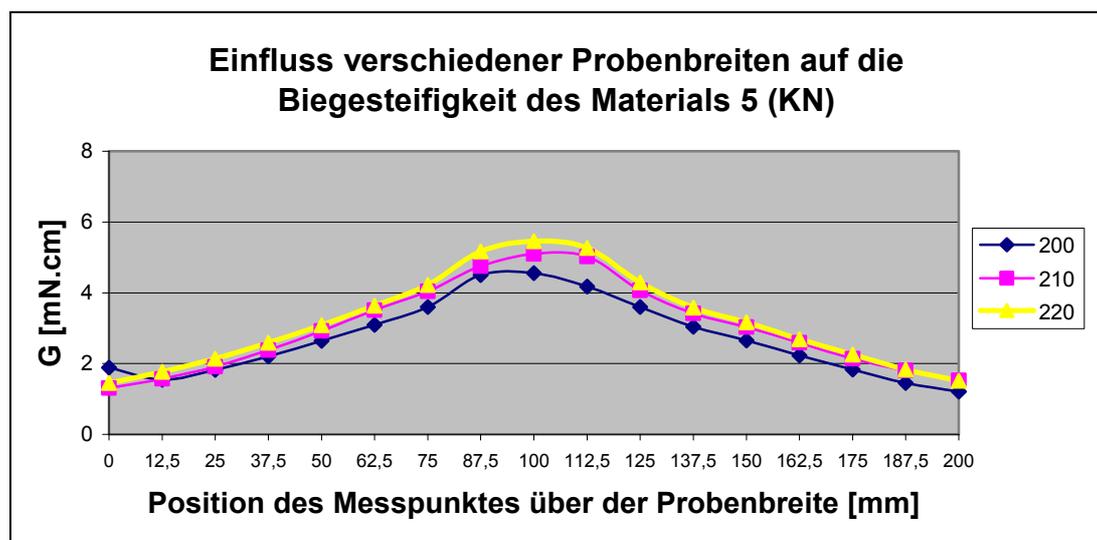
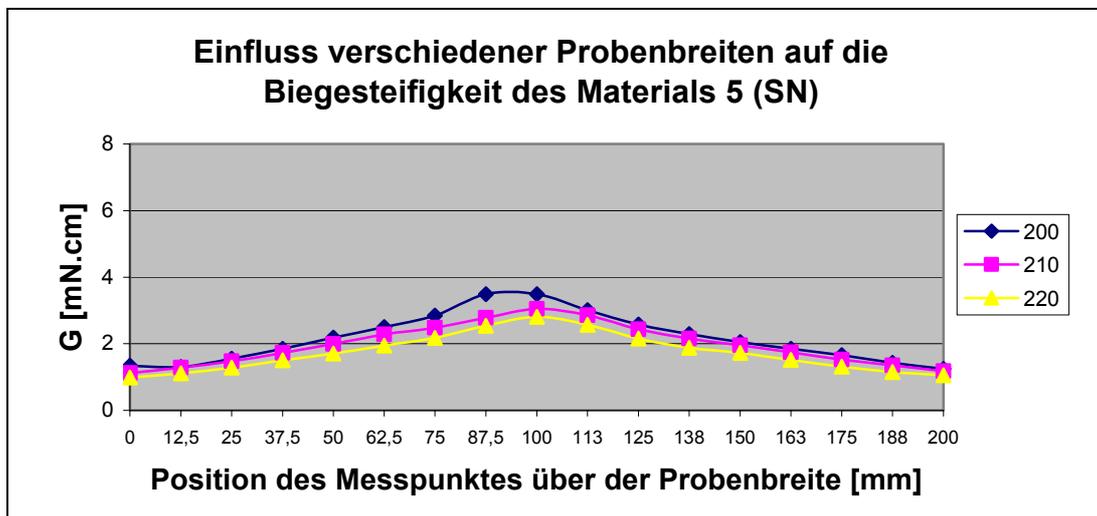
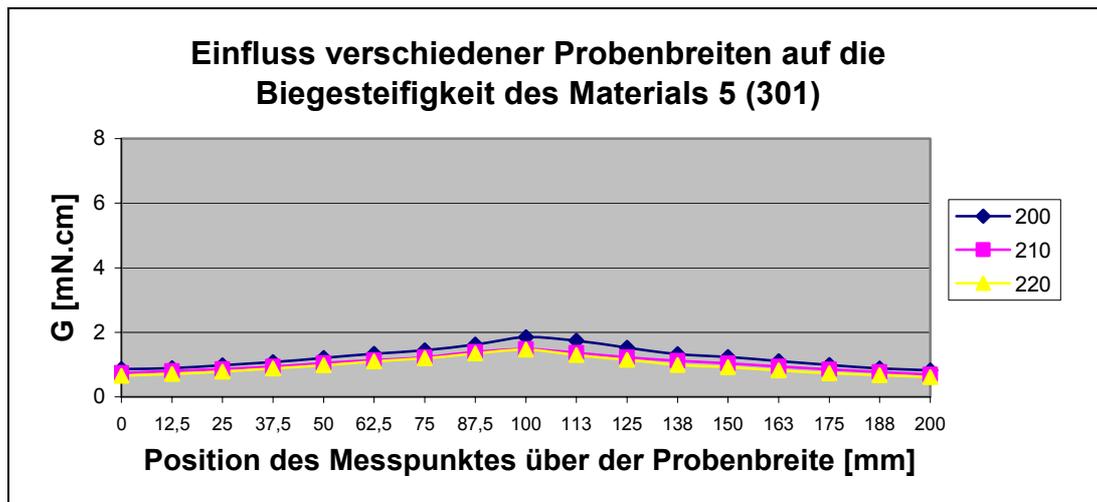


Abb. A7.17: Einfluss verschiedener Probenbreite auf die Biegesteifigkeit des Materials 5 bei unterschiedlichen Nähten (Naht-mittig)

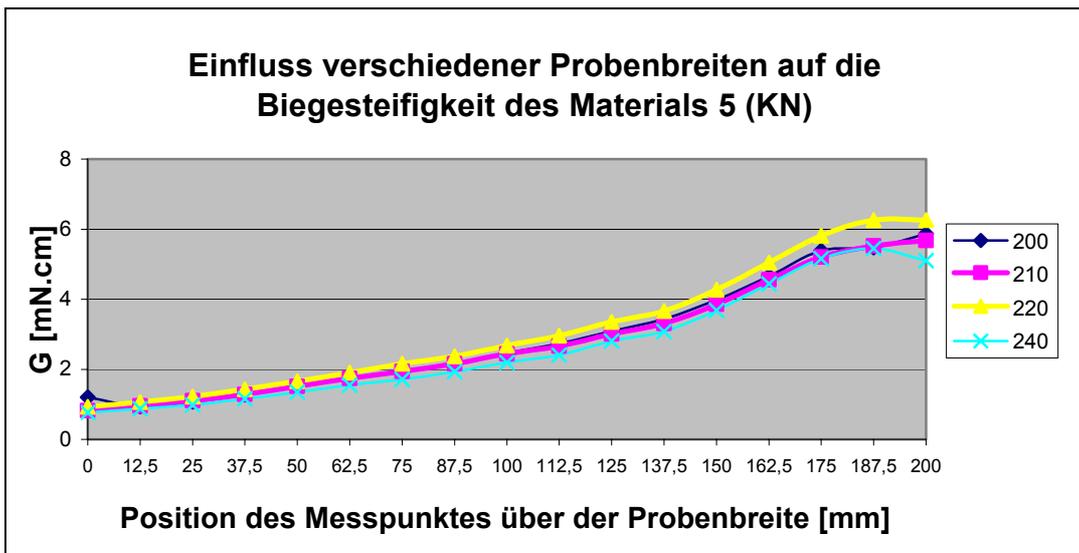
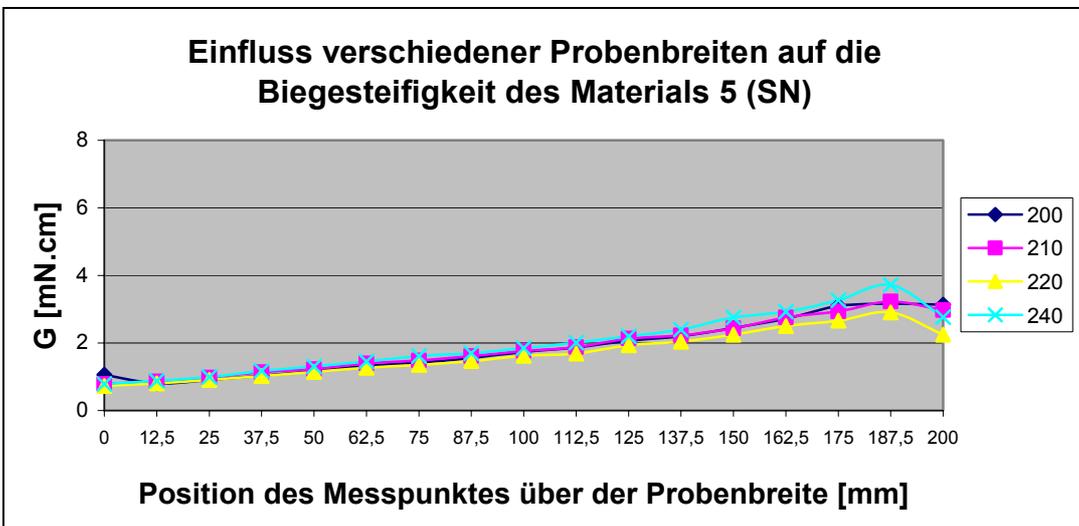
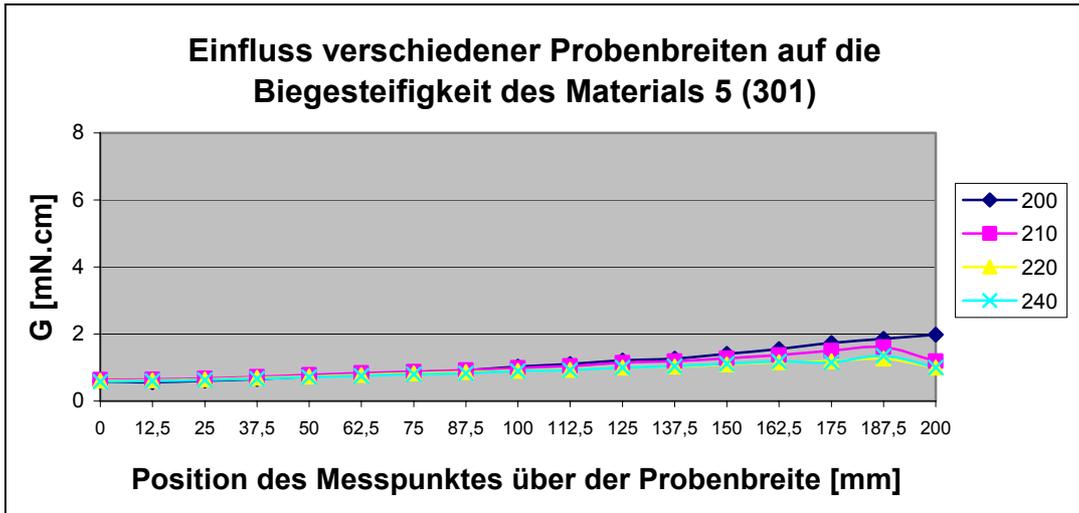


Abb. A7.18: Einfluss verschiedener Probenbreite auf die Biegesteifigkeit des Materials 5 bei unterschiedlichen Nähten (Naht-seitlich)

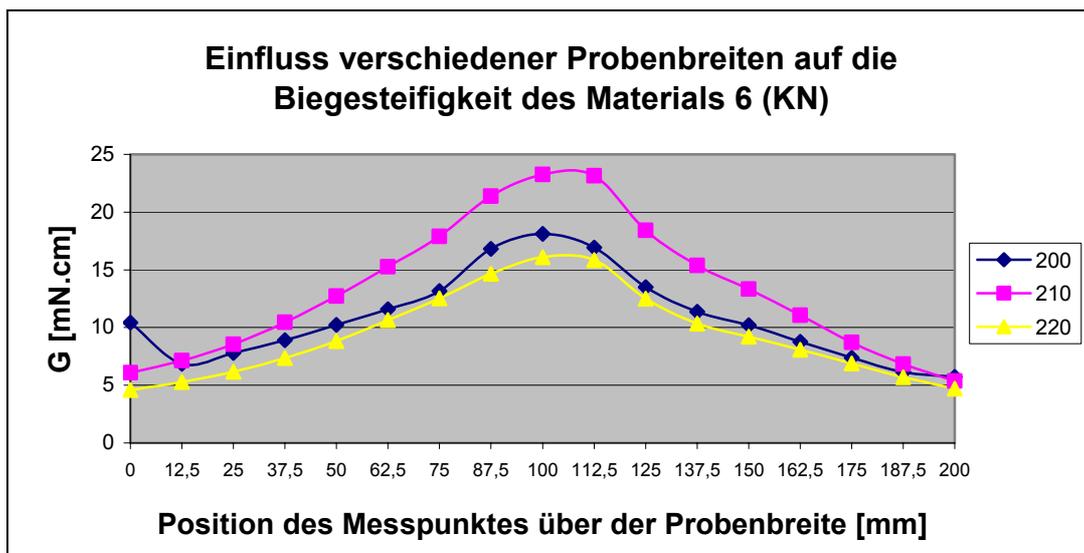
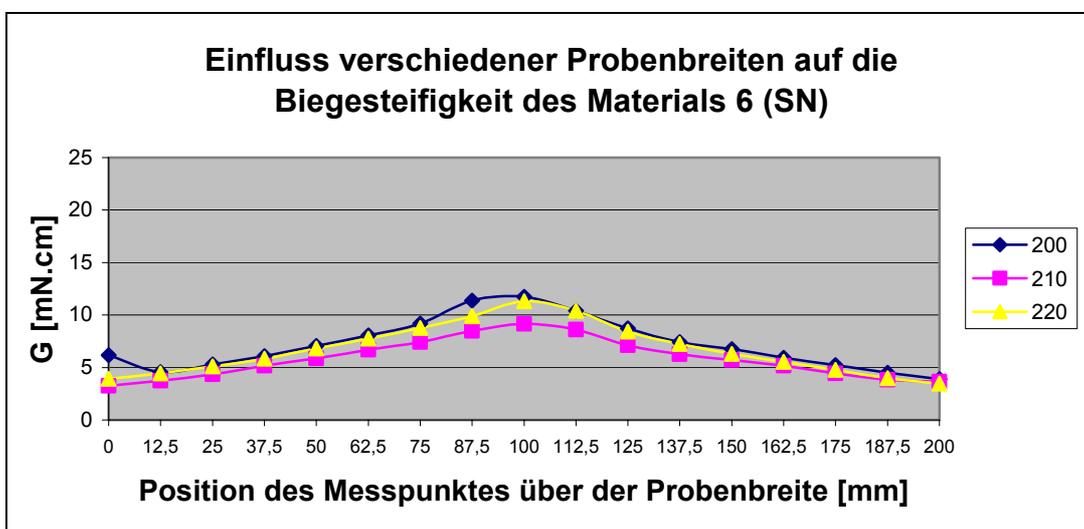
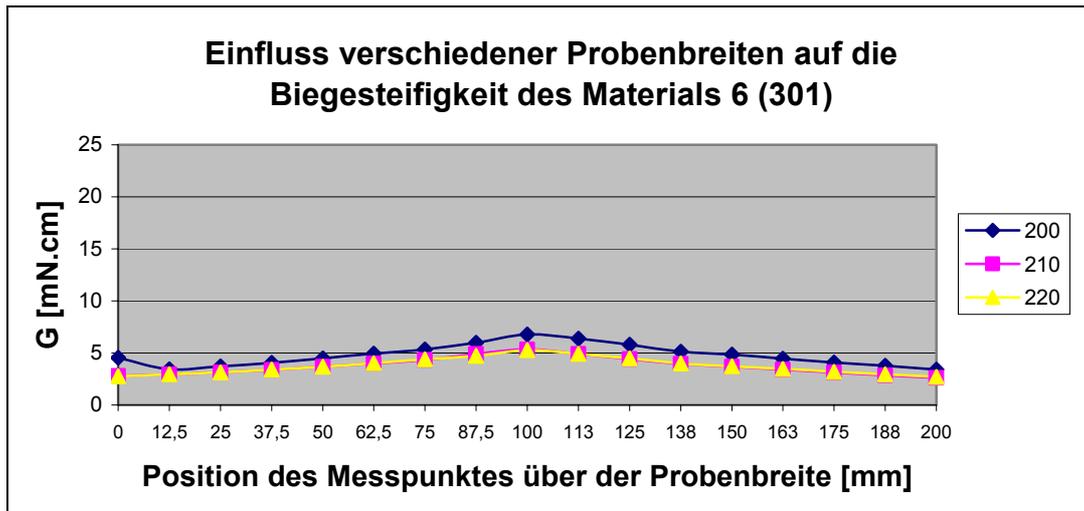


Abb. A7.19: Einfluss verschiedener Probenbreite auf die Biegesteifigkeit des Materials 6 bei unterschiedlichen Nähten (Naht-mittig)

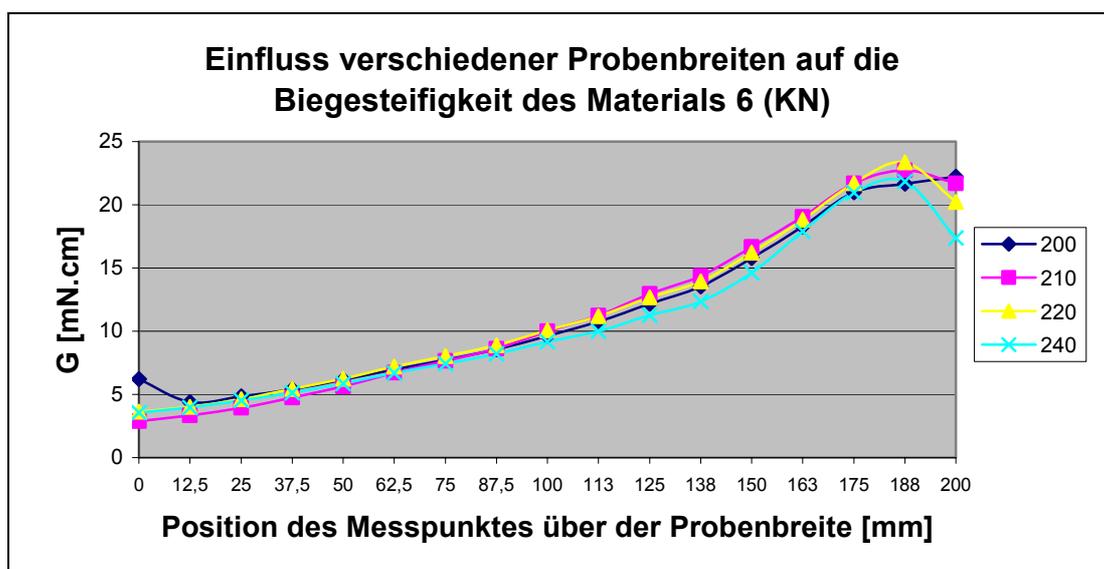
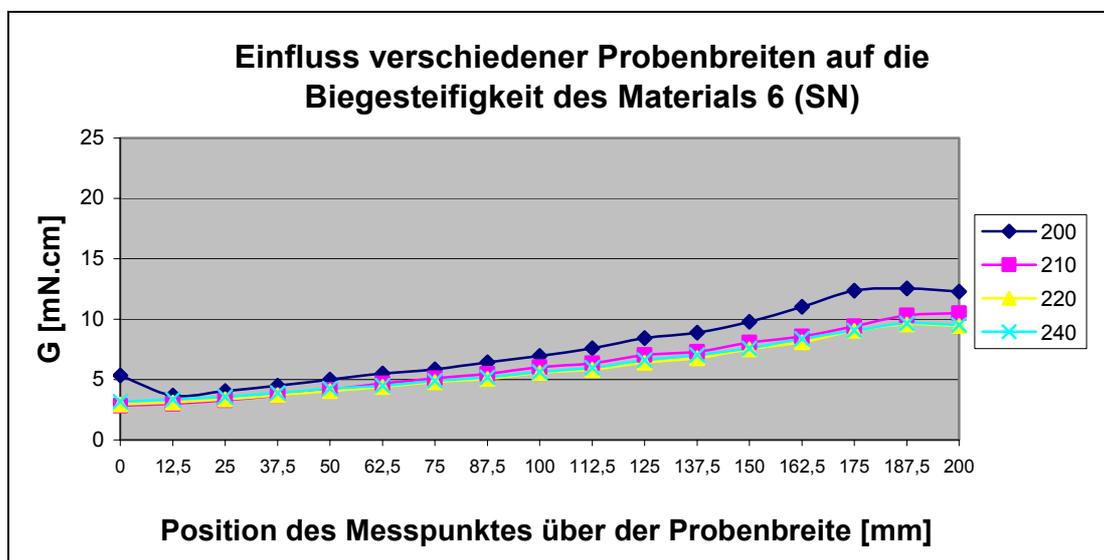
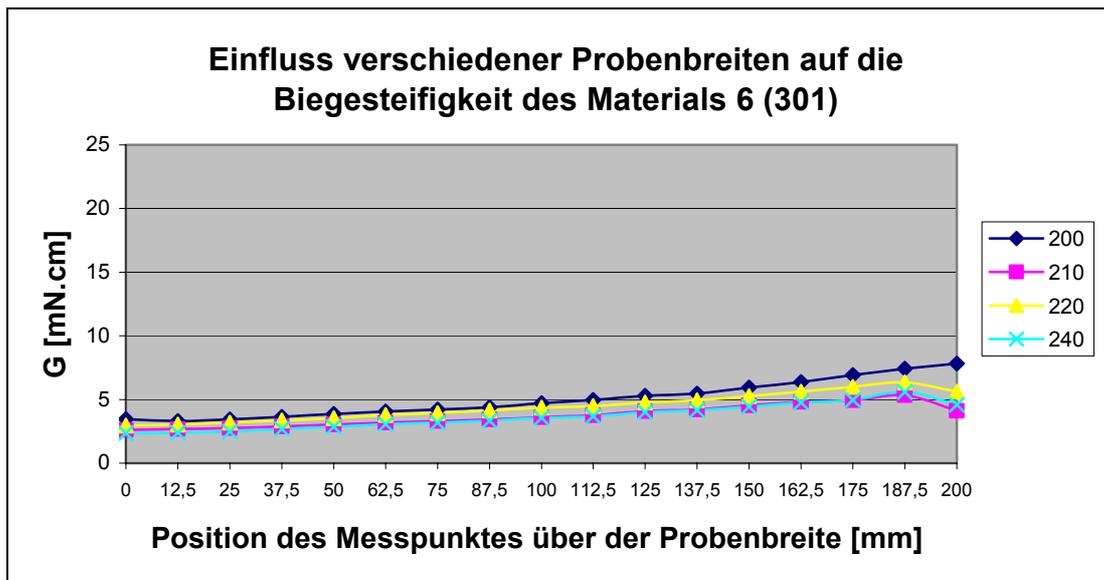


Abb. A7.20: Einfluss verschiedener Probenbreite auf die Biegesteifigkeit des Materials 6 bei unterschiedlichen Nähten (Naht-seitlich)

A8 Bestimmung des Nahteinflusses auf die Drapierbarkeit

A8.1 Bestimmung des Falkoeffizienten

A8.1.1 Einfluss der Nahtposition auf den Falkoeffizient

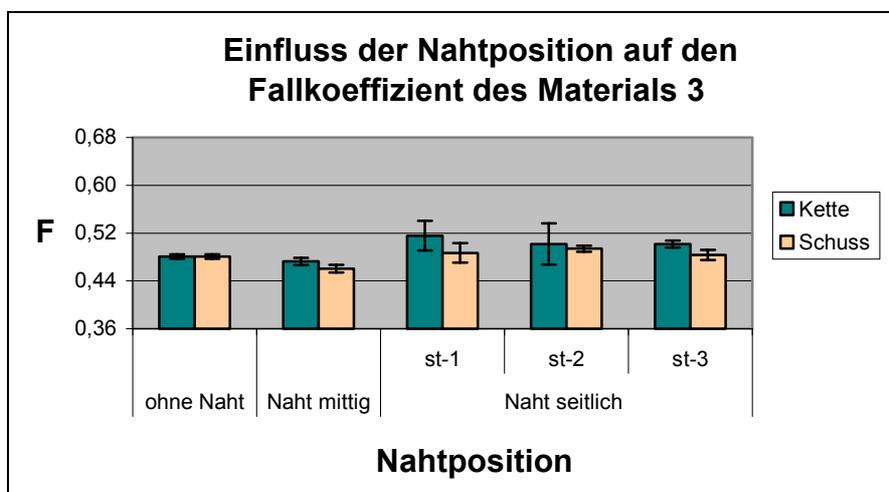
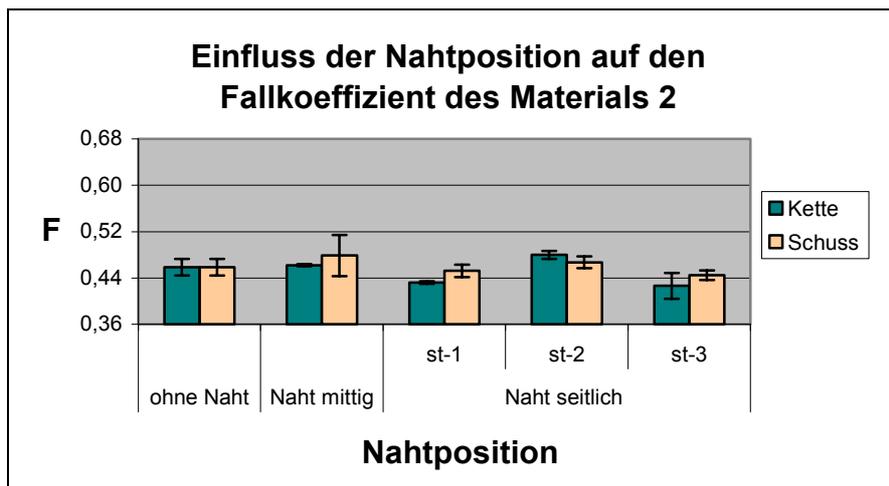
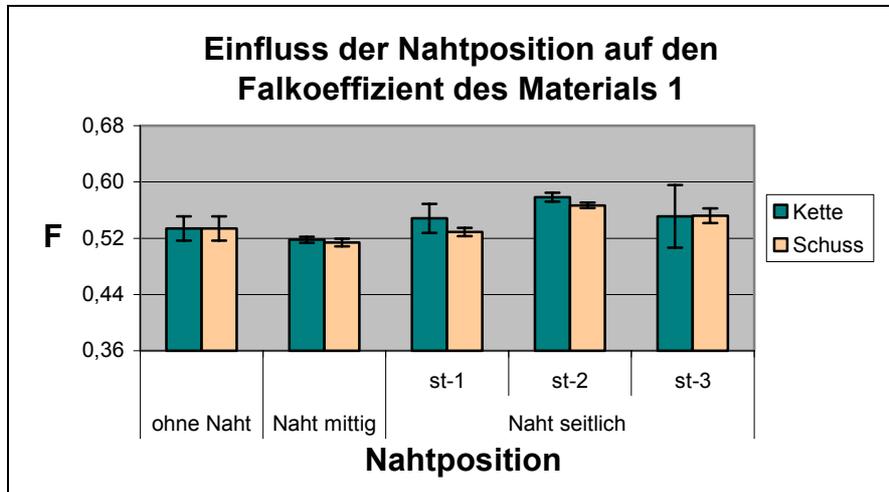


Abb. A8.1: Einfluss der Nahtposition auf den Falkoeffizient unterschiedlicher Materialien (Material 1 bis 3)

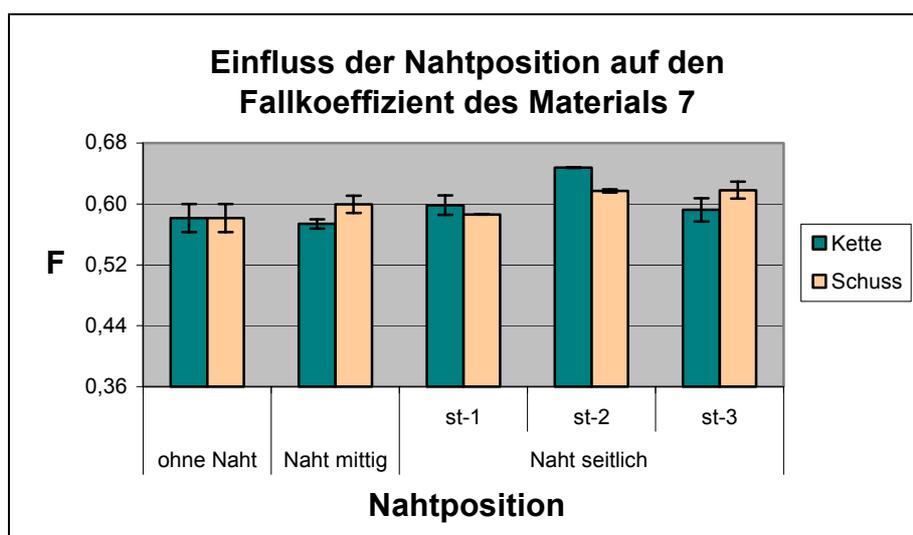
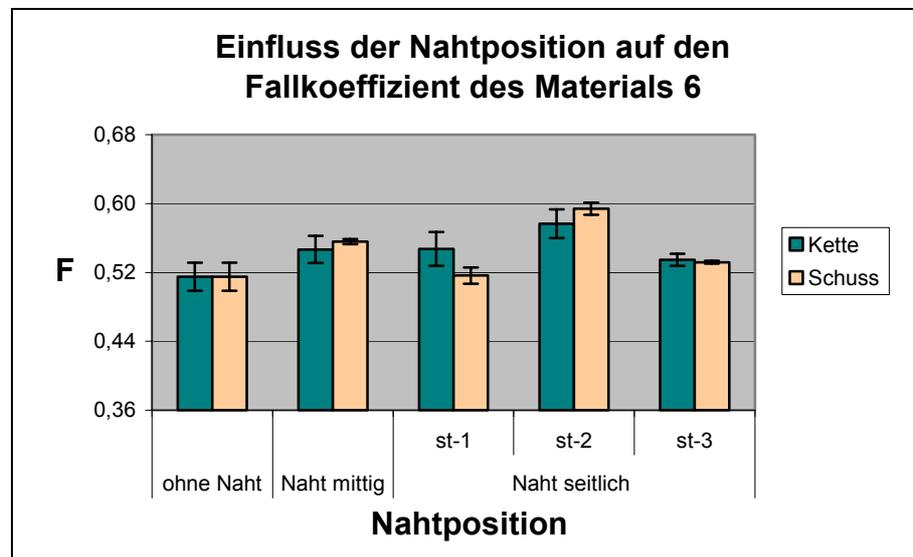
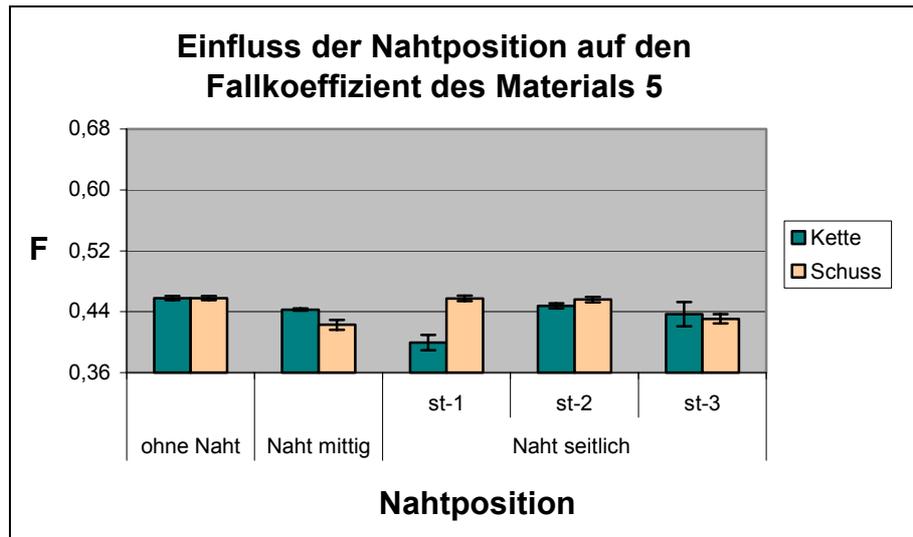


Abb. A8.2: Einfluss der Nahtposition auf den Fallkoeffizient unterschiedlicher Materialien (Material 5 bis 7)

A8.1.2 Einfluss der Nahtwinkelage auf den Fallkoeffizient

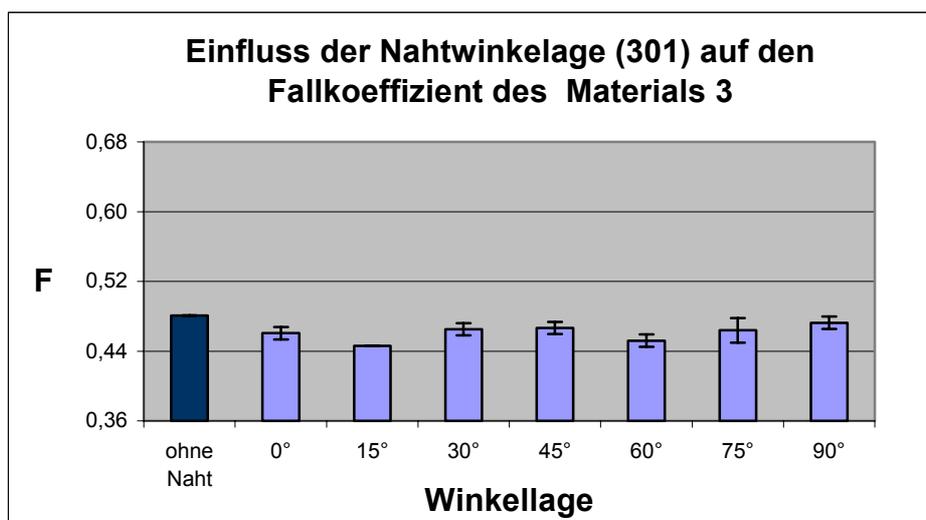
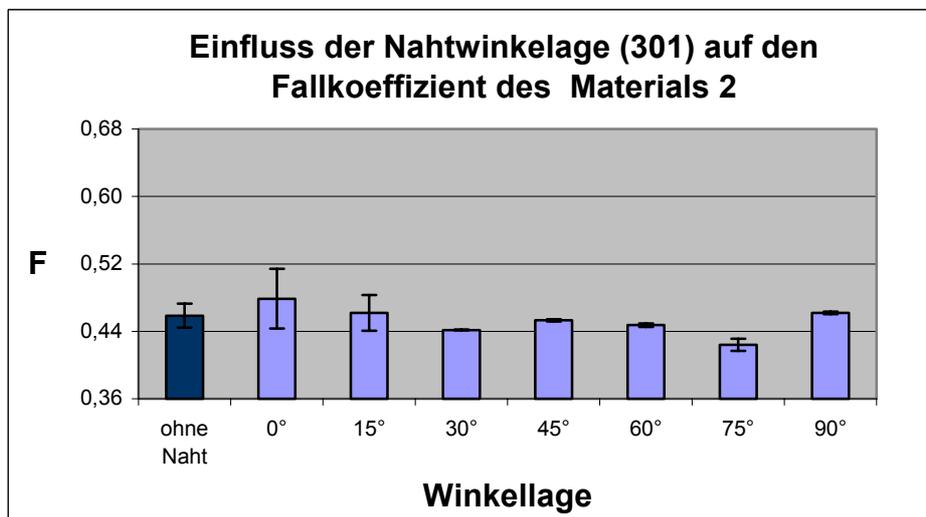
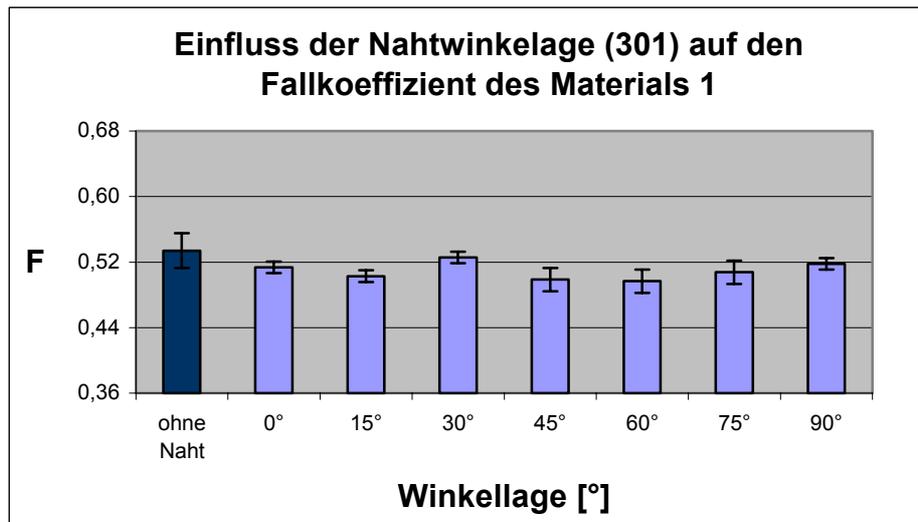


Abb. A8.3: Einfluss der Nahtwinkelage auf den Fallkoeffizient unterschiedlicher Materialien (Material 1 bis 3)

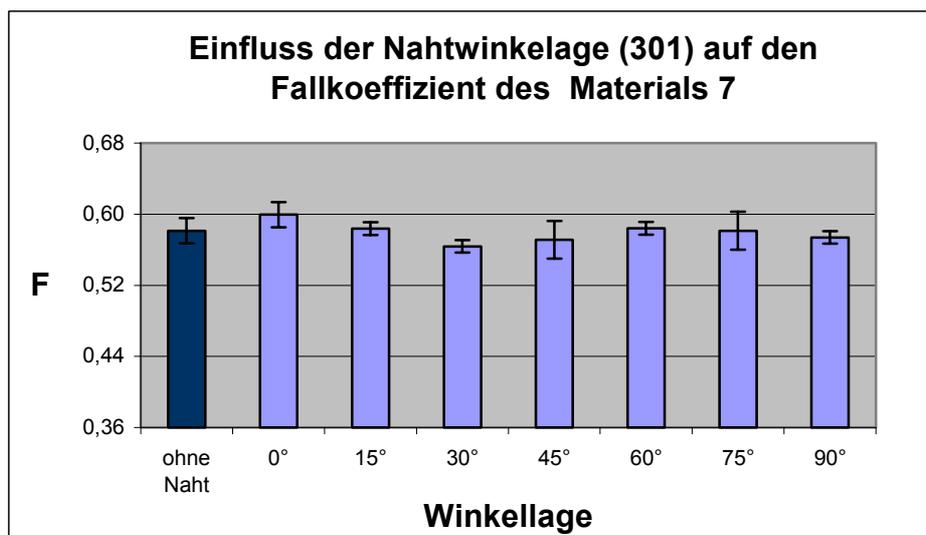
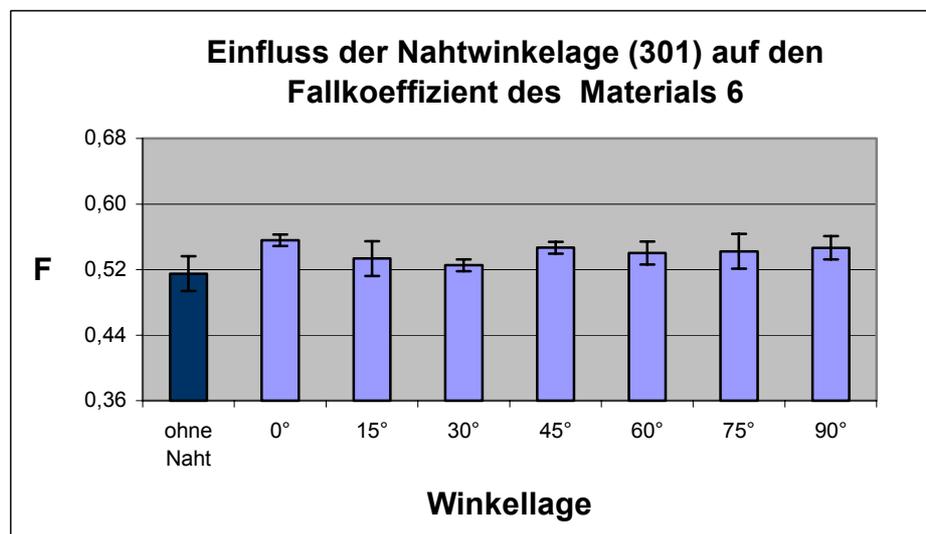
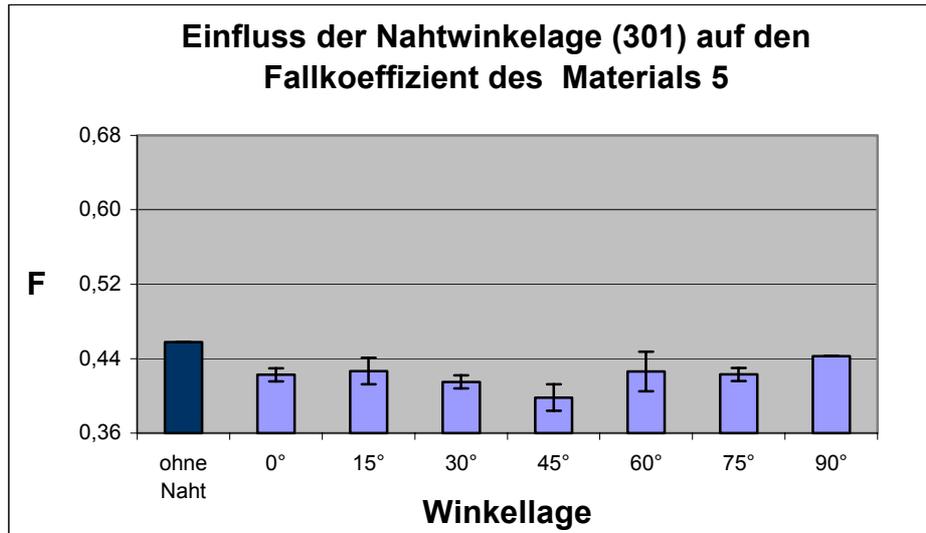


Abb. A8.4: Einfluss der Nahtwinkelage auf den Fallkoeffizient unterschiedlicher Materialien (Material 5 bis 7)

A8.1.3 Einfluss der Nähstichtypen auf den Fallkoeffizient

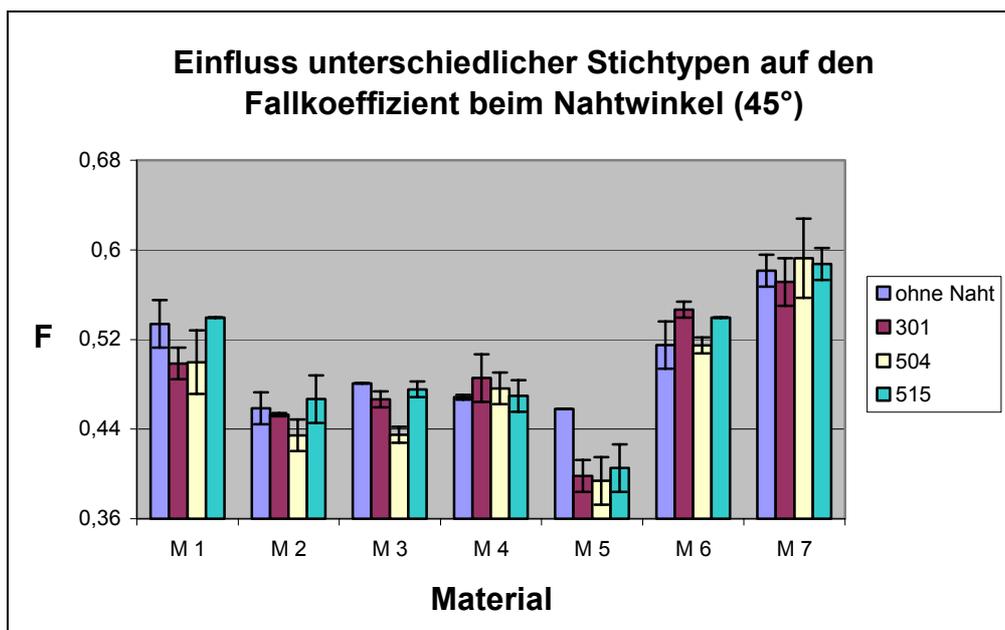
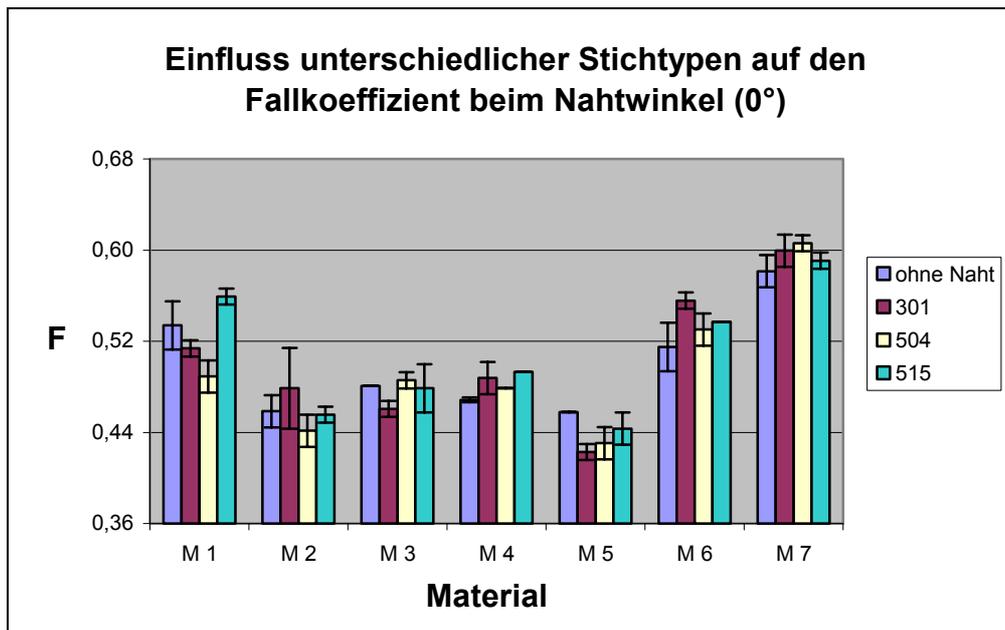


Abb. A8.5: Einfluss der Nähstichtypen auf den Fallkoeffizient unterschiedlicher Materialien in verschiedenen Winkellagen

A8.1.4 Einfluss von zwei Nähten auf den Fallkoeffizient

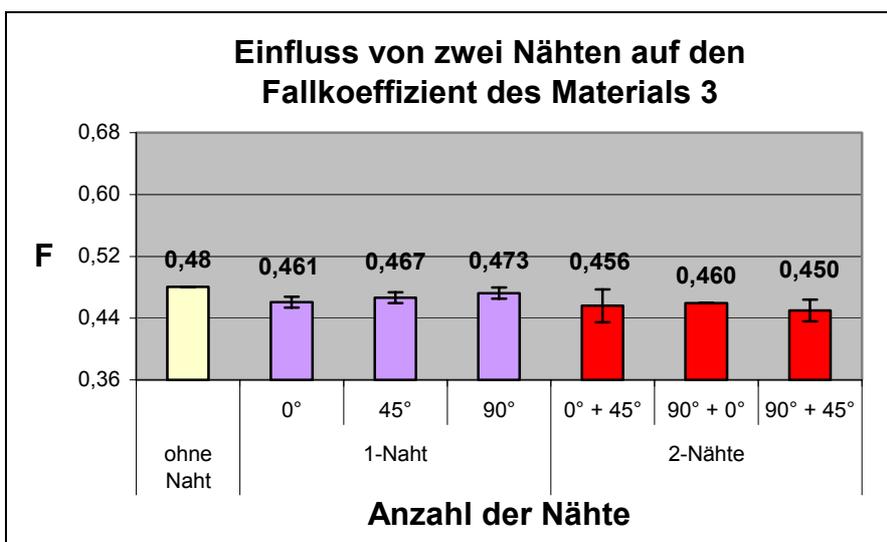
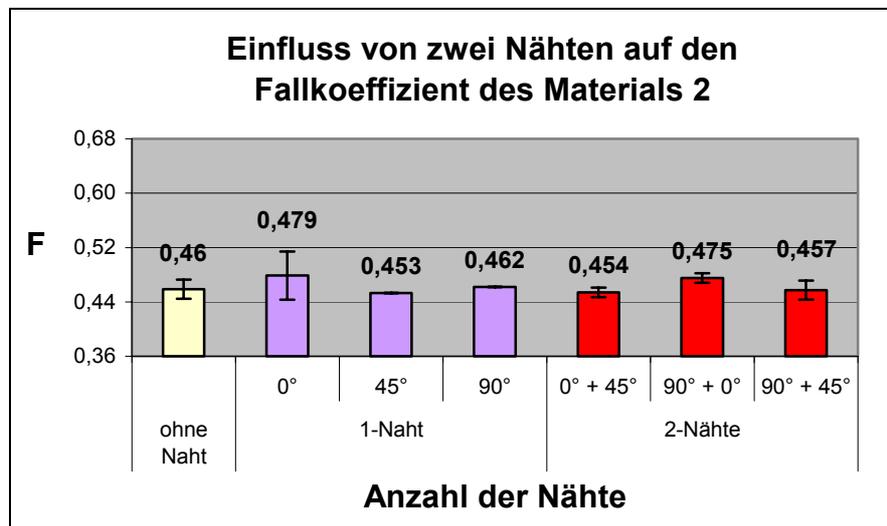
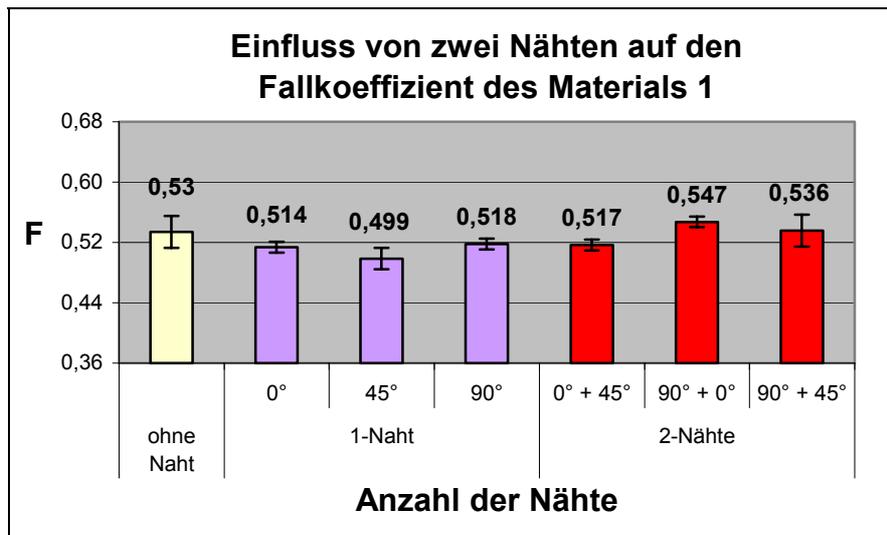


Abb. A8.6: Einfluss der Anzahl der Nähte auf den Fallkoeffizient unterschiedlicher Materialien (Material 1 bis 3)

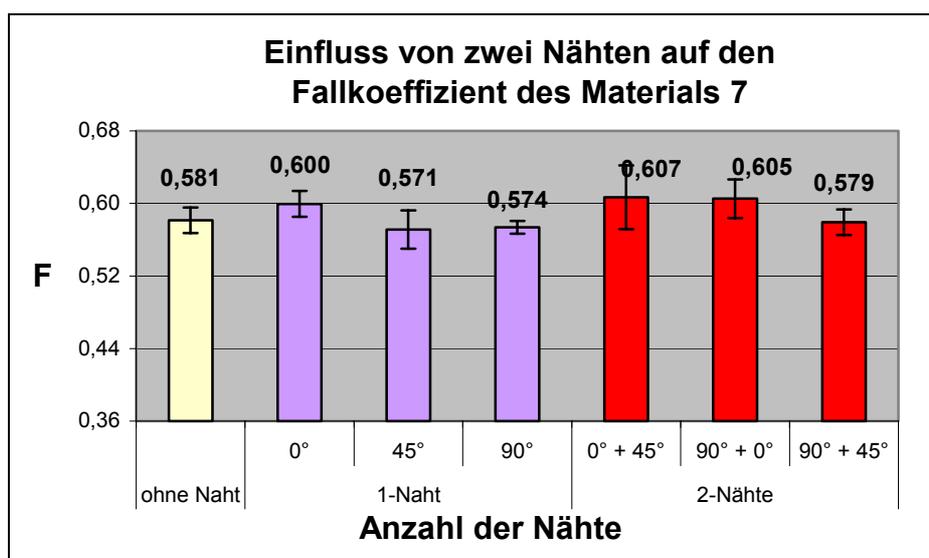
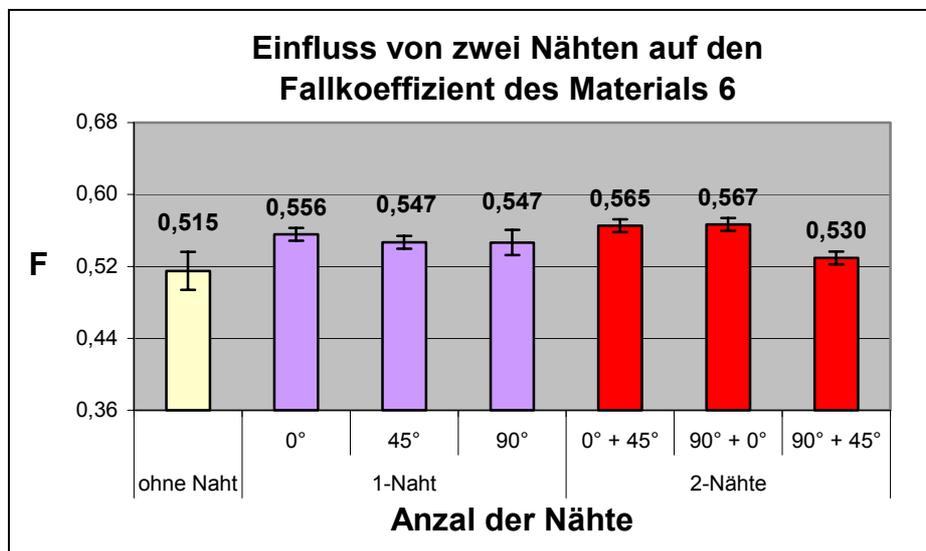
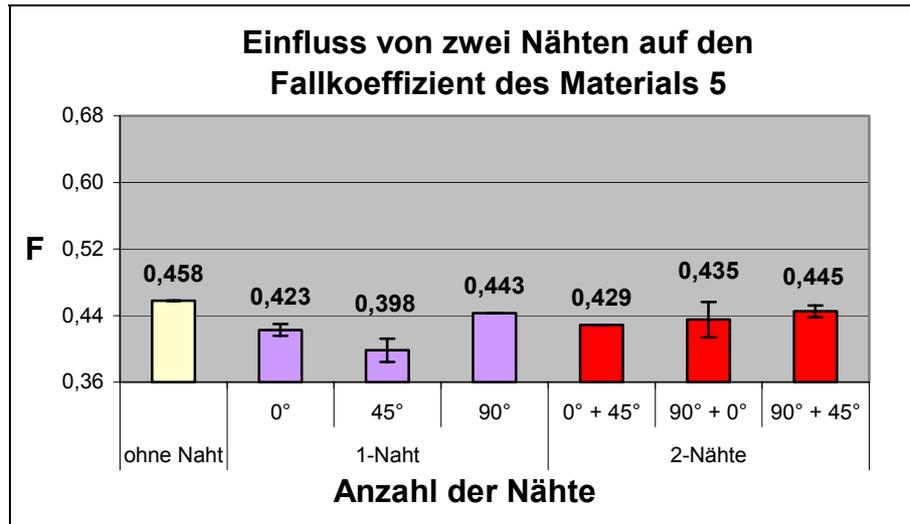


Abb. A8.7: Einfluss der Anzahl der Nähte auf den Fallkoeffizient unterschiedlicher Materialien (Material 5 bis 7)

A8.2 Fallbilder

Tabelle A8.1: Fallbilder unterschiedlicher Nahtwinkellagen (Doppelstepstich 301)

Material	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7
ohne Naht							
0°							
15°							
30°							
45°							
60°							
75°							
90°							

Tabelle A8.2: Fallbilder unterschiedlicher Nahtwinkellagen (Stich 504)

Material	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7
0°							
45°							
90°							

Tabelle A8.3: Fallbilder unterschiedlicher Nahtwinkellagen (Stich 515)

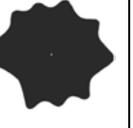
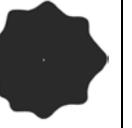
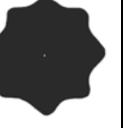
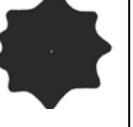
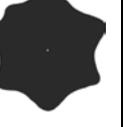
Material	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7
0°							
45°							
90°							

Tabelle A8.4: Fallbilder unterschiedlicher Nahtabstände (Schussrichtung)

Material	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7
St-1							
St-2							
St-3							

Tabelle A8.5: Fallbilder unterschiedlicher Nahtabstände (Ketttrichtung)

Material	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7
St-1							
St-2							
St-3							

Tabelle A8.6: Fallbilder mit zwei Nähten

Material	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7
0°-Richtung + 45°-Richtung							
90°-Richtung + 0°-Richtung							
90°-Richtung + 45°-Richtung							

A9 Simulation des Biegeverhaltens mit Hilfe der FEM

A9.1 Randbedingungen

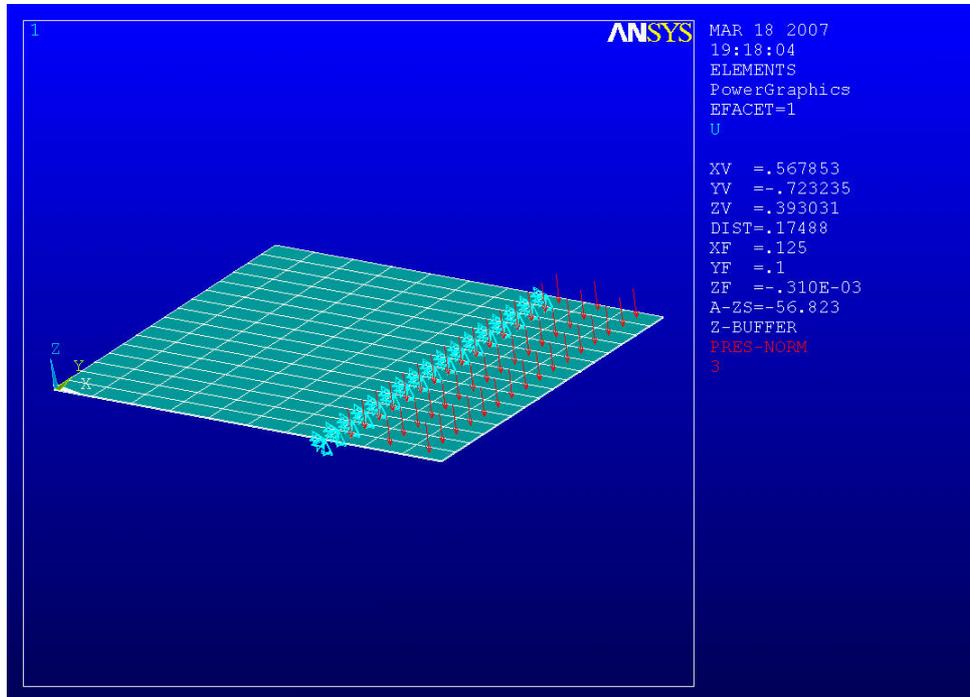


Abb. A9.1: Randbedingungen an der Probe ohne Naht (M 6)

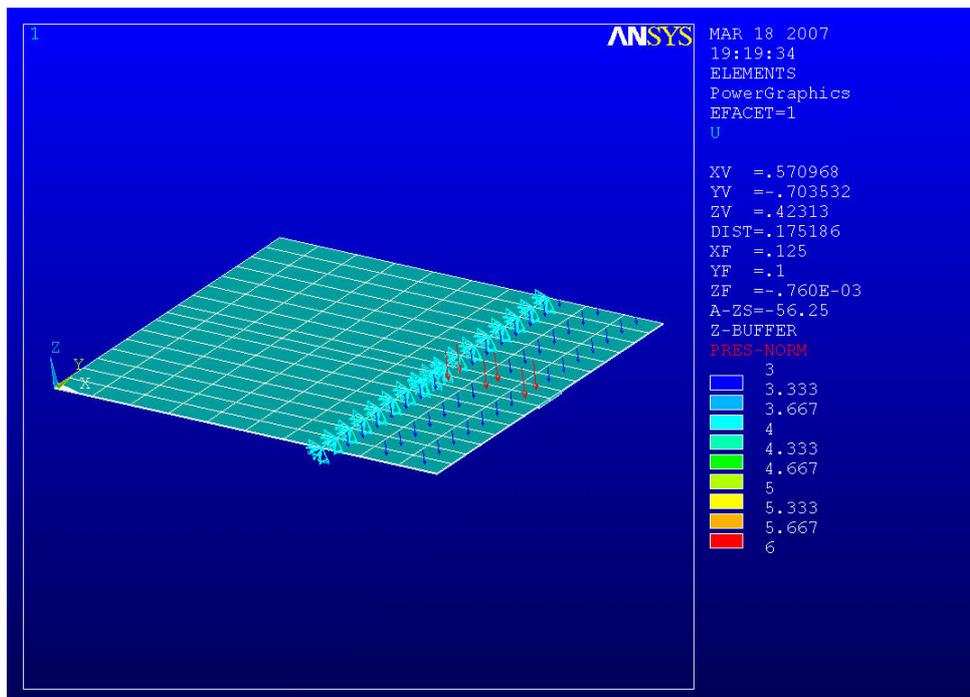


Abb. A9.2: Randbedingungen an der Probe mit Schließnaht 301 (Naht mittig), M 6

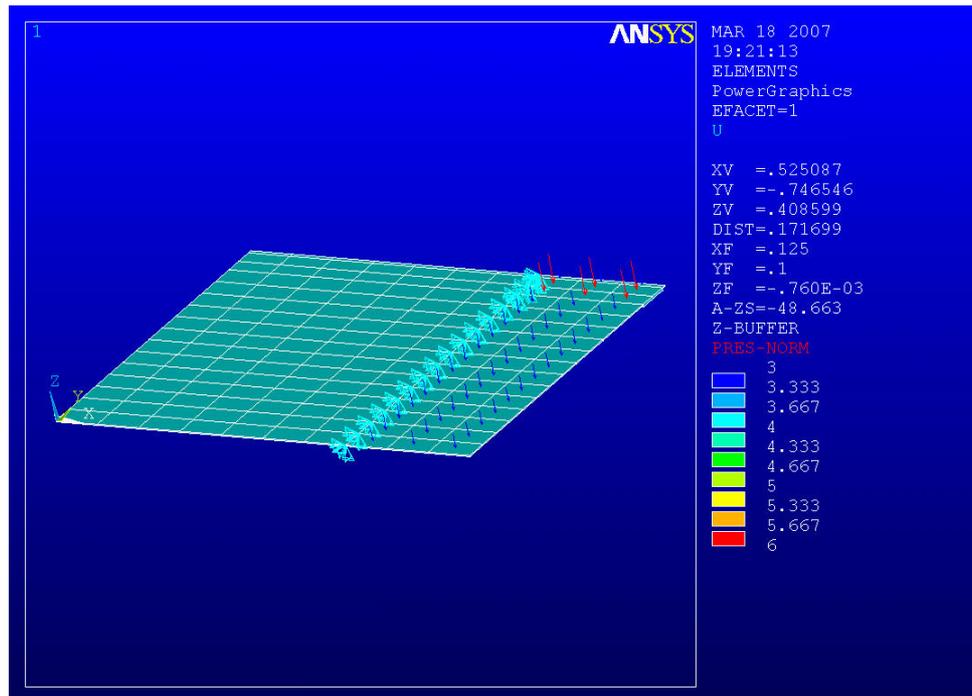


Abb. A9.3: Randbedingungen an der Probe mit Schließnaht 301 (Naht seitlich), M 6

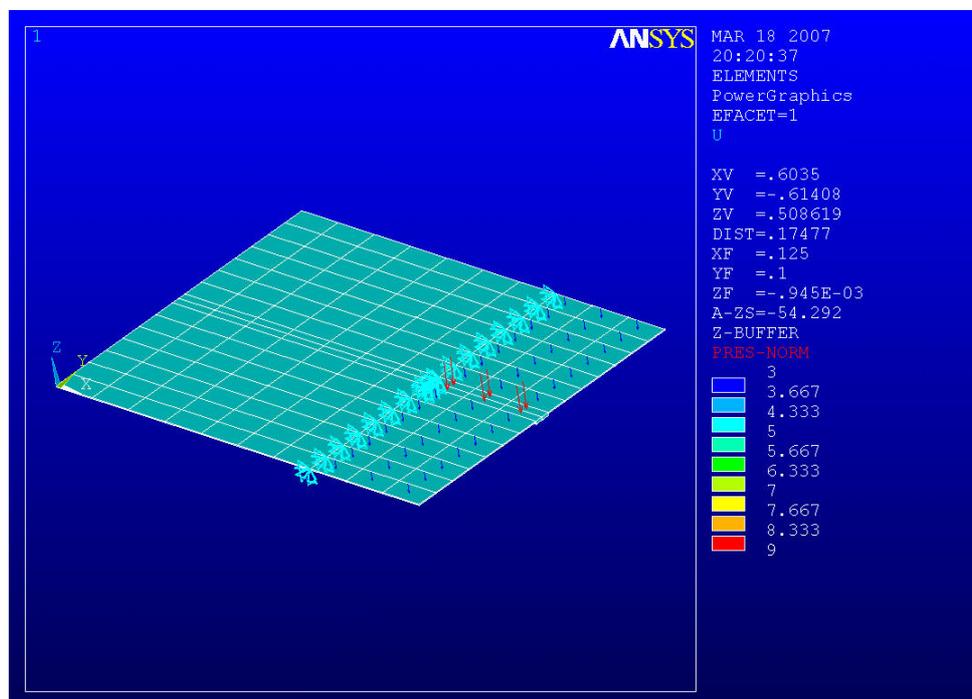


Abb. A9.4: Randbedingungen an der Probe mit Safety-Naht (Naht mittig), M 6

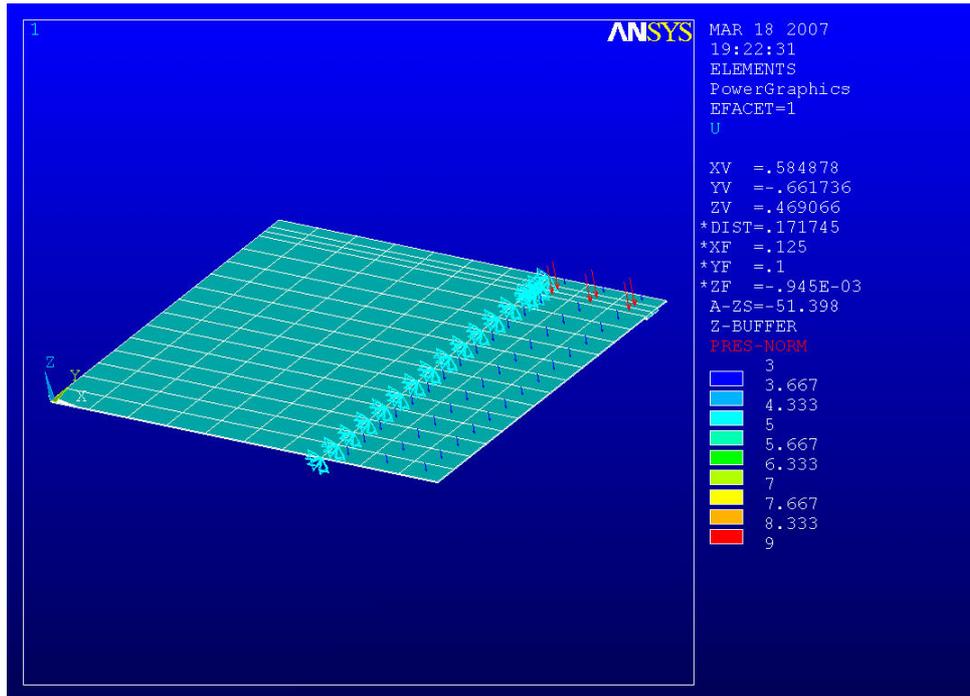


Abb. A9.5: Randbedingungen an der Probe mit Safety-Naht (Naht seitlich), M 6

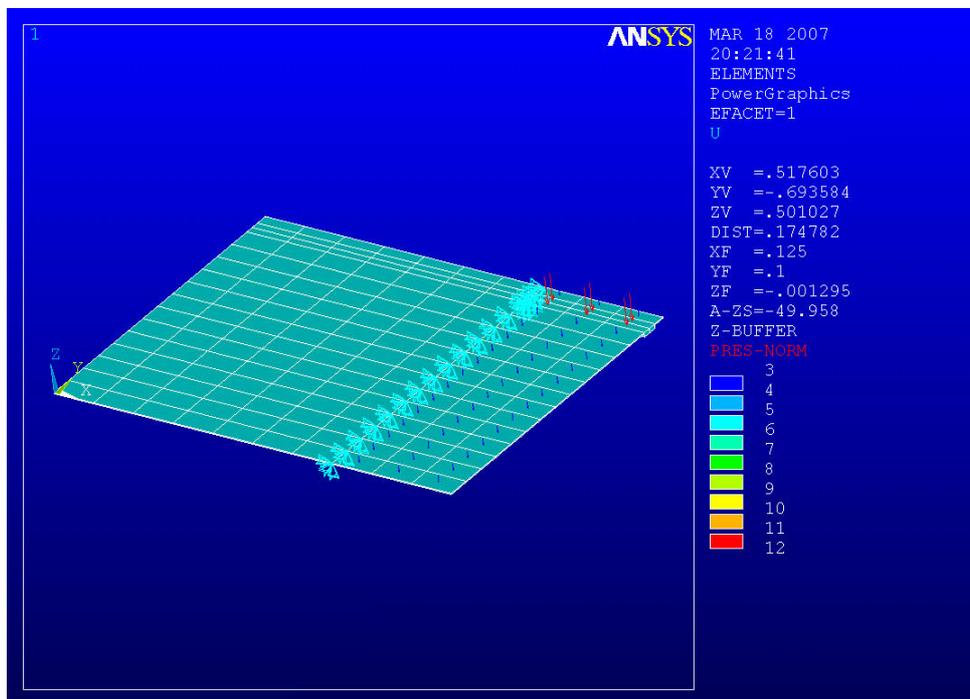


Abb. A9.6: Randbedingungen an der Probe mit Kappnaht (Naht seitlich), M 6

A9.2 Darstellung der Verschiebungen in z-Richtung der ANSYS-Rechnung

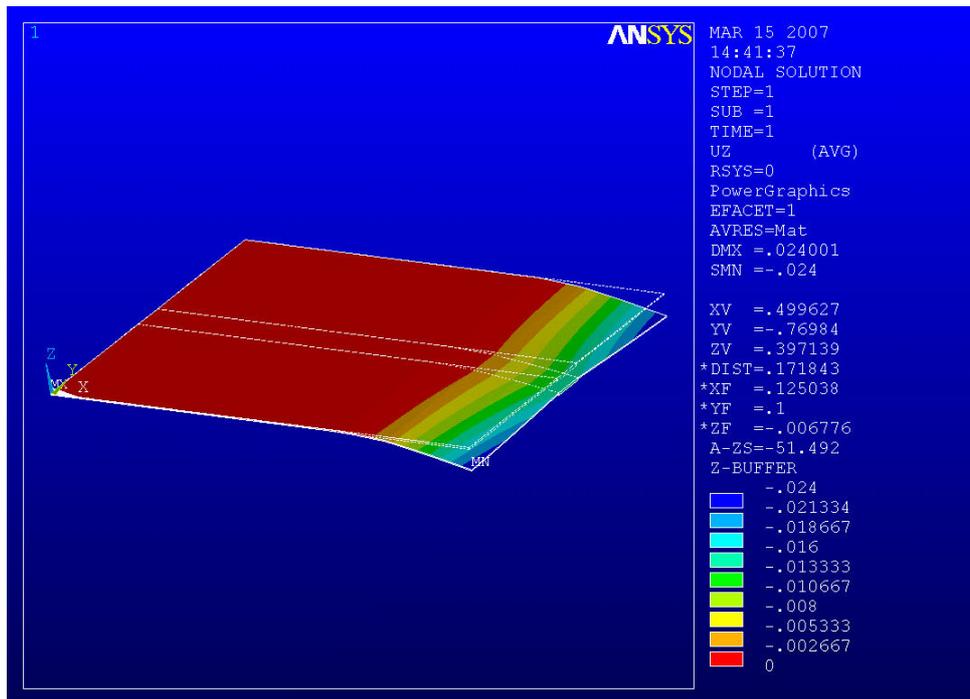


Abb. A9.7: Verschiebung der Schließnaht 301 (Naht mittig), M 6

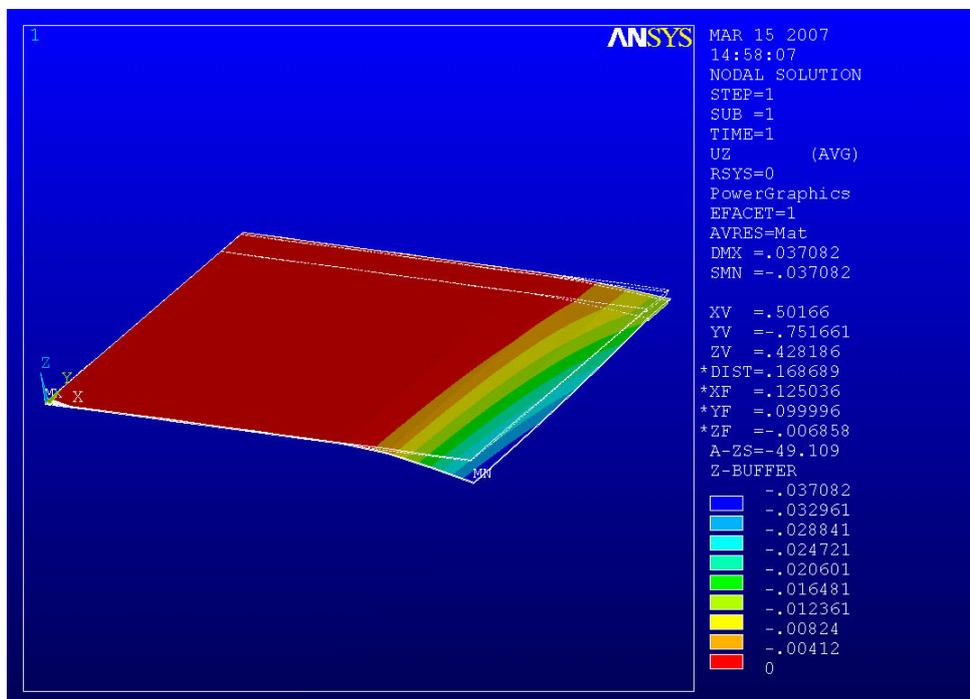


Abb. A9.8: Verschiebung der Schließnaht 301 (Naht seitlich), M 6

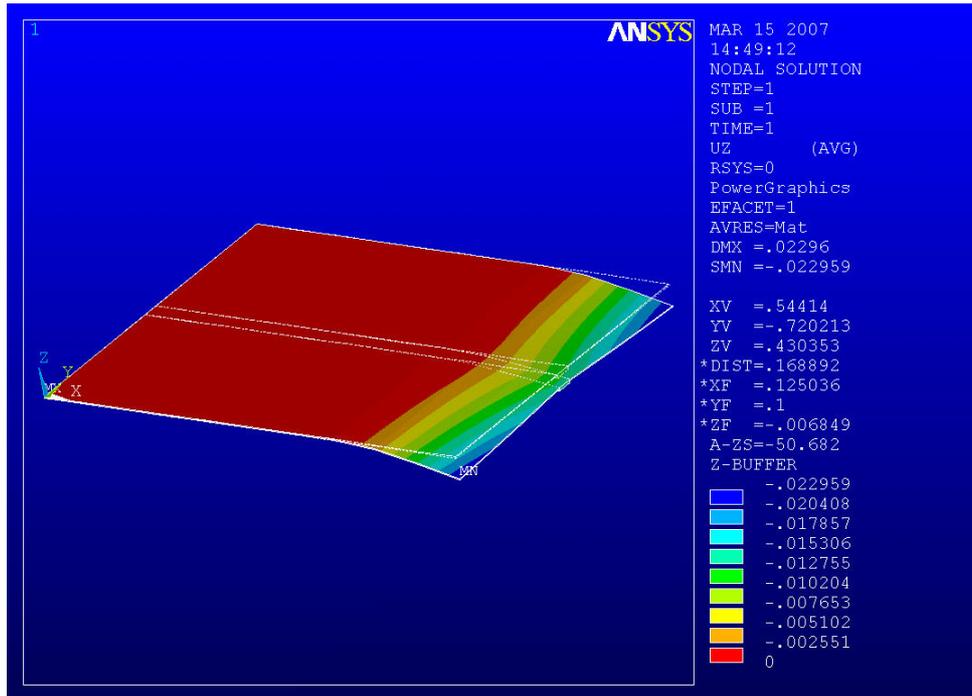


Abb. A9.9: Verschiebung der Safety-Naht (Naht mittig), M 6

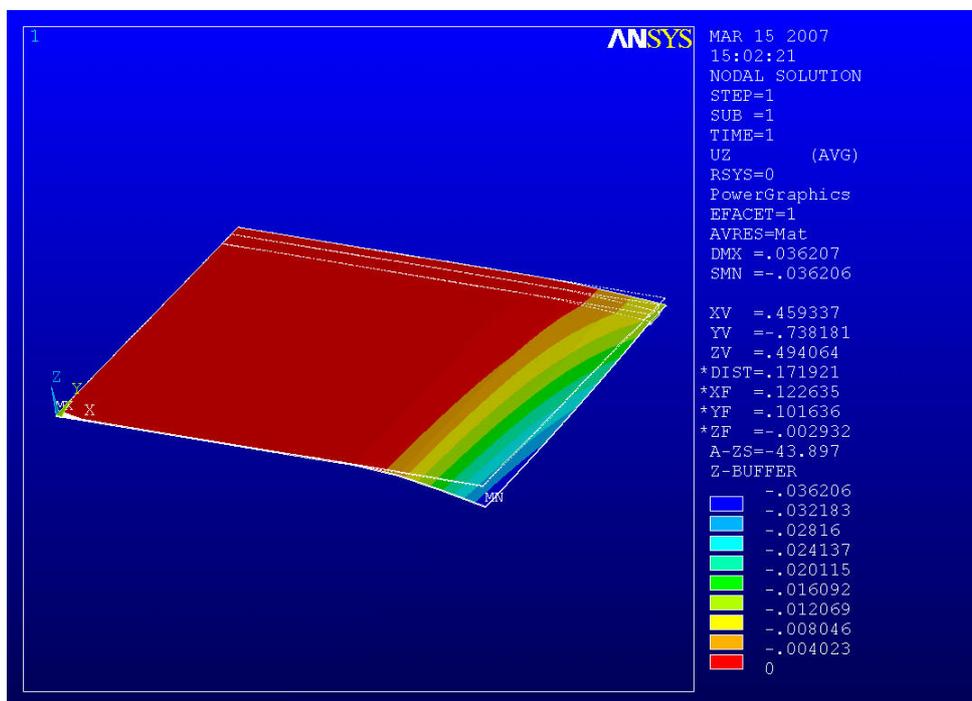


Abb. A9.10: Verschiebung der Safety-Naht (Naht seitlich), M 6

A9.3 Darstellung des Biegeverhaltens der Probenvorderkante bei unterschiedlichen Nähten (mittig), FEM-Berechnung

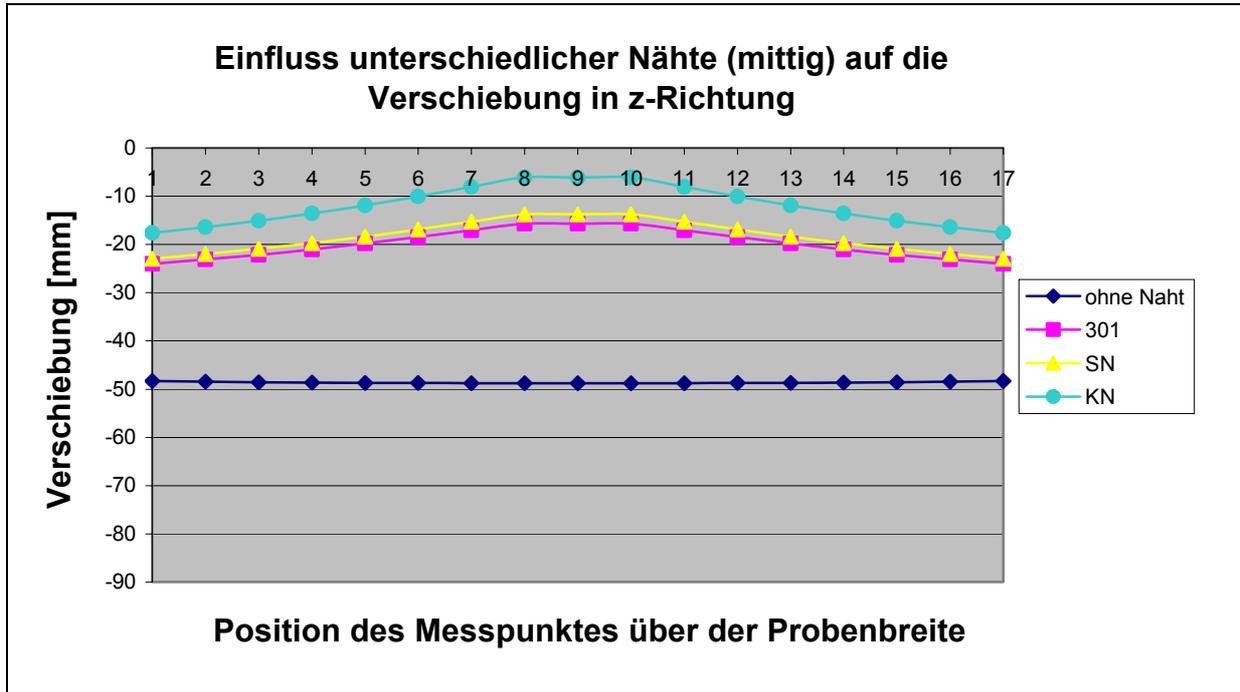


Abb. A9.11: Einfluss unterschiedlicher Nähte (mittig) auf den Biegeverlauf der Probenvorderkante des M 6, FEM-Berechnung

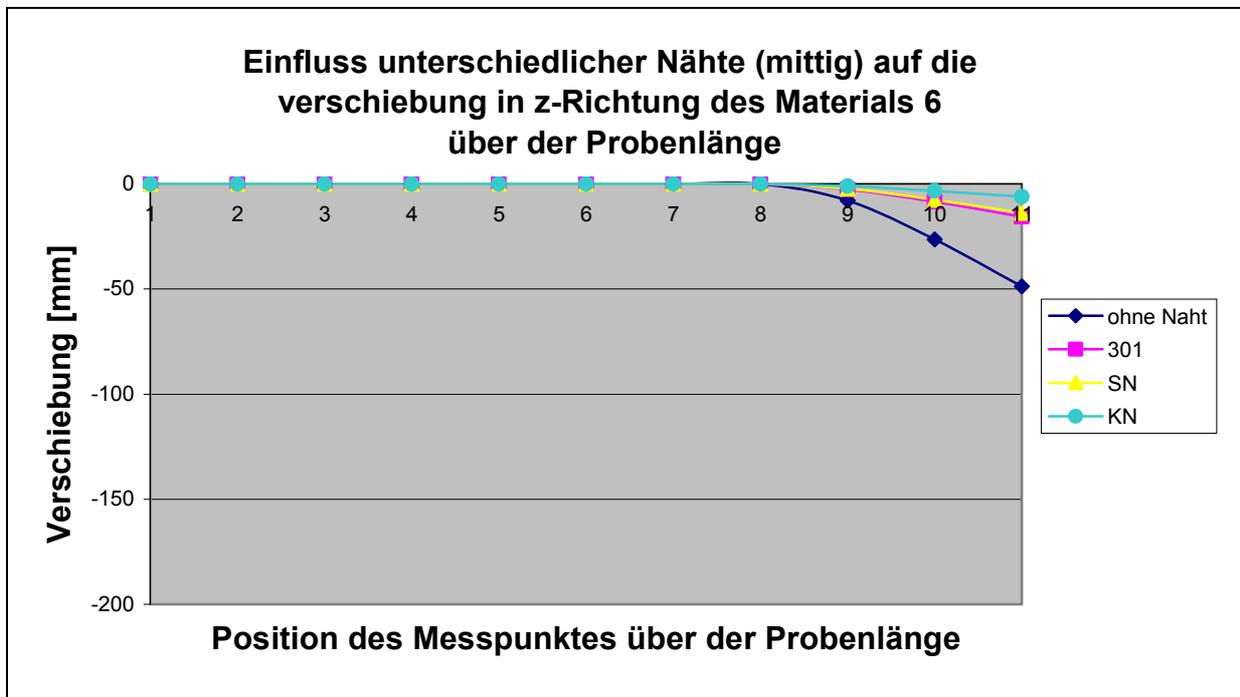


Abb. A9.12: Einfluss unterschiedlicher Nähte (mittig) auf den Biegeverlauf des M 6 über die Probenlänge, FEM-Berechnung

Normentwurf

Bestimmung der Biegesteifigkeit von textilen Flächen mit lokalen Flächenmasseschwankungen; Verfahren nach Cantilever

Determination of the bending stiffness of the textile fabrics with local variations of the masse; method according to Cantilever

1 Zweck und Anwendungsbereich

Die vorliegende Norm schreibt die Bedingungen und die Anforderungen an Probe, Prüfgerät und Prüfverfahren vor, die zur Bestimmung der Biegesteifigkeit der textilen Flächen mit und ohne Naht zu nutzen sind.

Die Prüfung nach dieser Norm dient dazu, unter festgelegten Bedingungen die Überhanglänge eines textilen Flächengebildes an mehreren Messpunkten entlang der Probenbreite zu bestimmen und daraus als Maßzahlen die lokalen Biegesteifigkeiten zu berechnen.

Die Bestimmung der Biegesteifigkeit an mehreren Messpunkten ermöglicht, den Biegeverlauf einer textilen Fläche mit lokalen Schwankungen des Flächengewichtes darzustellen.

Für die richtige Modellierung eines textilen Produktes ist es notwendig, die Veränderungen des Biegeverhaltens infolge von unterschiedlicher Materialverteilung über der Messprobe quantifizieren zu können. Dies betrifft z. B. den Einfluss der Naht auf die Biegesteifigkeit einer größeren Fläche.

2 Mitgeltende Normen

DIN 53 802	Prüfung von Textilien; Angleichen der Proben an das Normalklima
DIN 53803 Teil 1	Prüfung von Textilien; Probenahme, Statistische Grundlagen, einfache Aufteilung
DIN 53803 Teil 2	Prüfung von Textilien; Probenahme, praktische Durchführung
DIN 53804	Prüfung von Textilien; Auswertung der Messergebnisse
DIN 53362	Prüfung von Kunststoff-Folien und von textilen Flächengebilden (außer Vliesstoffe), mit oder ohne Deckschicht aus Kunststoff; Bestimmung der Biegesteifigkeit; Verfahren nach Cantilever

3 Begriffe

Es gelten die in DIN 53362 festgelegten Begriffe.

4 Prüfgerät

Es wird das ACPM 200 Biegesteifigkeitsprüfgerät (Abb. 1) benutzt.

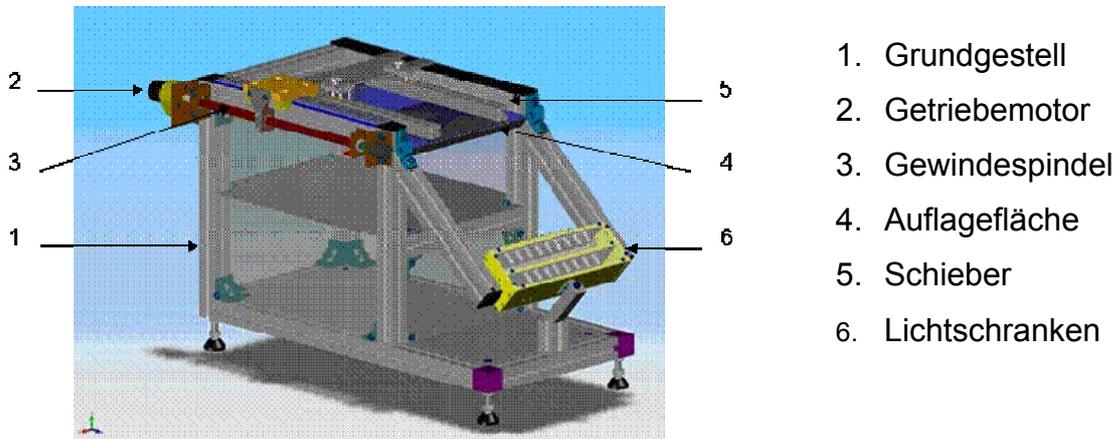


Abb. 1: Biegesteifigkeitsprüfgerät ACPM 200

4.1 Aufbau des ACPM 200

Das neue Gerät ermöglicht zum einen eine Aussage über die Veränderung des Biegeverhaltens des Materials infolge von unterschiedlicher Materialverteilung über der Prüffläche und zum anderen eine Aussage über den Biegeverlauf der Vorderkante der Probe.

Die grundlegenden Anforderungen an das Gerät werden folgendermaßen formuliert:

- konstante Vorschubgeschwindigkeit während der Prüfung nach DIN 53362 (möglichst justierbar),
- Messung verschiedener Probenbreiten (bisher mehrere Prüfgeräte erforderlich),
- Erfassung von mehreren parallelen Messwerten (maximal 17) entlang der Probenbreite,
- grafische Darstellung der Kontur der Messprobe, um eine exakte Darstellung des Biegeverhaltens zu ermitteln.
- Möglichkeit der Änderung des genormten Winkels,
- hoher Automatisierungsgrad,
- einfache und komfortable Bedienung,
- hohe Reproduzierbarkeit der Messergebnisse.

Das Gerät besteht aus einem Grundgestell mit einer Antriebseinheit, der Messaufnahmeinheit, der Transporteinheit (3 Schiebergrößen möglich) und einer automati-

schen Auswertung mittels eines PC. Die Antriebseinheit besteht aus dem Getriebemotor, der Gewindespindel, der Lagerung und dem Inkrementalgeber.

4.2 Messprinzip des ACPM 200

Das Prinzip der Messung beim ACPM 200 zur Bestimmung der Biegesteifigkeit textiler Flächen ohne und mit Naht ist wie folgt festgelegt:

- die Messprobe wird auf die Auflagefläche des Gerätes gelegt und durch den motorgeführten Schieber geführt,
- die Messebene wird durch 17 parallele Lichtschranken, die IR-Strahlen unter dem genormten Winkel $41,5^\circ$ senden, definiert (Variation des Biegewinkels möglich),
- die Messwerte werden durch Unterbrechung der IR-Strahlen aufgenommen,
- es werden 17 diskrete Werte der Überhanglänge bestimmt und damit 17 Werte der Biegesteifigkeit entlang der Probenbreite berechnet.

5 Probenvorbereitung

Die Proben haben eine Breite von 35 mm, 60 mm oder 210 mm und eine Länge von 250 mm. Für die Untersuchung mit Naht sind die Proben mit einer vertikalen Naht in variierender Position (Naht mittig und Naht seitlich an zwei unterschiedlicher Positionen) versehen. Die Darstellung der untersuchten Nahtpositionen bei einer Probenbreite 210 mm zeigt die Abbildung 2.

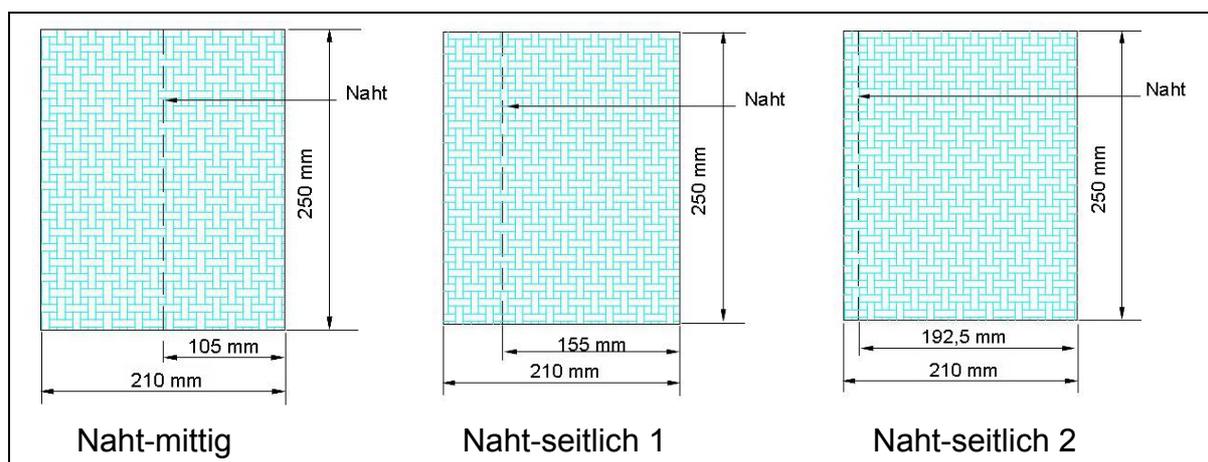


Abb. 2: Proben mit unterschiedlichen Nahtpositionen

6 Durchführung

Die Prüfung wird im Normalklima DIN 53802 durchgeführt. Im Folgenden wird die Durchführung einer Prüfung zur Bestimmung der Biegesteifigkeit einer textilen Fläche mit mittig positionierter Naht und die Funktionsweise des ACPM 200 beschrieben:

1) Eingabe der Daten

Vor der Messung werden der notwendigen Größen (Breite der Messprobe, Vorschubgeschwindigkeit, Probenlänge, Probenmasse, Probenbreite (für den Fall, dass sie von den drei festgelegten Breiten abweicht), maximalem Weg des Schiebers sowie der Dateiname (Abb. 3)) eingegeben:

Abb. 3: Eingabe der Daten

2) Wirkung der Lichtschranken

Während der Prüfung werden 17 Lichtschranken aktiviert, um die Überhanglänge an jedem Messpunkt zu bestimmen. Die Reihenfolge der abgedeckten Dioden ist von der Steifigkeit der textilen Fläche an diesem Punkt abhängig (Abb. 4).



Abb. 4: Wirkung der Lichtschranken

3) Ausgabe der Daten auf dem Bildschirm

Für jede der 17 Dioden wird ein einzelner Wert der Überhanglänge bestimmt. Somit werden zugleich 17 einzelne Werte der Biegesteifigkeit nach bekannter Formel (DIN 53362) berechnet. Die 17 Werte der Überhanglänge und 17 Werte der Biegesteifigkeit entlang der Probenbreite werden auf dem Bildschirm ausgegeben. Die Überganglänge an den verschiedenen Punkten der Probe

wird zusätzlich grafisch dargestellt. Somit kann ein schneller Überblick über das Biegeverhalten der Probenvorderkante gewonnen werden, ohne dass zuvor die Daten in ein Auswertungsprogramm übertragen werden müssen (Abb. 5).

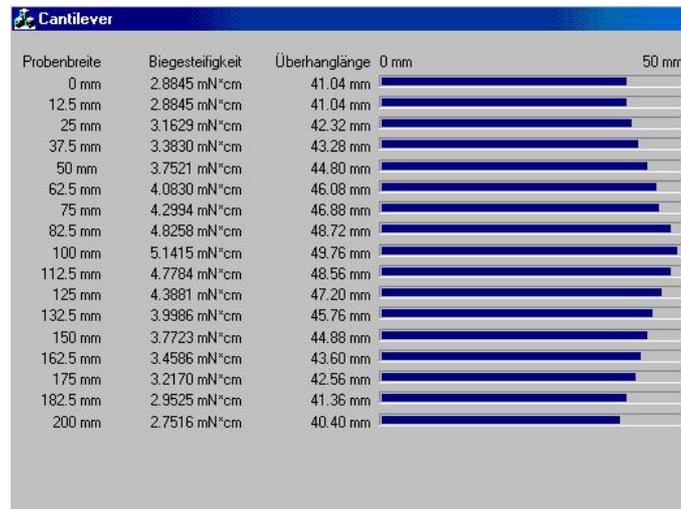


Abb. 5: Ausgabe der Daten auf dem Bildschirm

4) Übertragung der Messwerte in eine Excel-Tabelle

Die gespeicherten Daten können im Abschluss in ein Auswertungsprogramm eingelesen und genauer ausgewertet werden. Tabelle 1 ist ein Beispiel für die Übertragung der Messergebnisse in eine Excel-Tabelle.

Tabelle 1: Messergebnisse

Position des Messpunktes über der Probenbreite [mm]	l _ü [mm]	G [mN.cm]	Zeit [s]	Wirkung der Lichtschranken
0	41,04	2,8844	24	01111111111111110000
12,5	41,04	2,8844	24	00111111111111110000
25	42,32	3,1628	25	000111111111111100000
37,5	43,28	3,383	25	0000111111111111000000
50	44,8	3,7521	26	000001111111110000000
62,5	46,08	4,083	27	000000111111000000000
75	46,88	4,2994	27	000000011111000000000
87,5	48,72	4,8257	28	000000001000000000000
100	49,76	5,1414	29	000000000000000000000
112,5	48,56	4,7783	28	000000011000000000000
125	47,2	4,388	27	000000011100000000000
137,5	45,76	3,9985	27	000001111110000000000
150	44,88	3,7722	26	000001111111000000000
162,5	43,6	3,4586	25	000011111111100000000
175	42,56	3,2169	25	000111111111110000000
187,5	41,36	2,9524	24	001111111111111000000
200	40,4	2,7516	23	11111111111111110000

Auswertung

Für die Auswertung der Messergebnisse gilt allgemein DIN 53804.

Aus den Werten der Biegesteifigkeit, die gemäß DIN 53362 definiert ist, wird über die Probenbreite eine Kurve des Biegeverlaufs dargestellt. In Abbildung 6 ist beispielhaft der Einfluss verschiedener Nähte auf den Biegeverlauf eines Materials gezeigt.

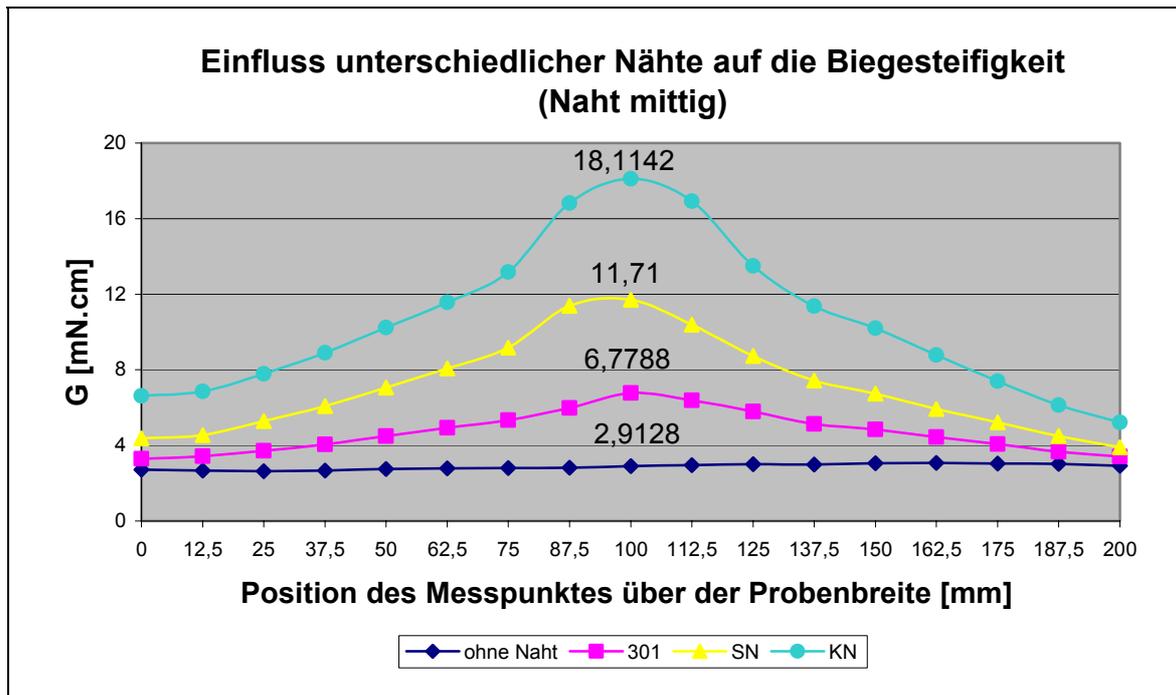


Abb. 6: Einfluss unterschiedlicher Nähte auf den Biegeverlauf der textilen Flächen (Naht mittig)

Aus den Messergebnissen der textilen Flächen ohne und mit Naht kann ein funktio-
neller Zusammenhang zwischen dem Abstand der Naht und der Biegesteifigkeit be-
stimmt werden. Der Einflussfaktor der Nähte lässt sich nach folgender Formel be-
rechnen:

$$F_{NI} = \frac{G_N}{G_S} \quad (1)$$

mit:

- F_{NI} - Faktor des Nahteinflusses,
- G_N - Biegesteifigkeit der textilen Flächen mit Naht und
- G_S - Biegesteifigkeit der textilen Flächen ohne Naht.

Die Kenntnis dieser Einflussfaktoren der Naht ermöglicht die analytische Bestimmung der Nahtsteifigkeiten direkt aus der Biegesteifigkeit der textilen Fläche. Damit entfallen zusätzliche, zeit- und kostenintensive Materialprüfungen zur Bereitstellung der benötigten Biegesteifigkeitswerte der Nähte.



Manal Seif, geboren 1973 in Kairo/Ägypten, studierte von 1992-1997 an der Helwan Universität in Kairo. Bis 2002 war sie dort Hochschullehrerin an der Fakultät der angewandeten Kunst, Fachrichtung Textil- und Bekleidungstechnik. Sie absolvierte von 1998-2002 das Masterstudium an der Helwan Universität, Thema „Einfluss der physikalischen und mechanischen Materialeigenschaften der Maschenwaren auf die Vernähbarkeit“.

Seit 2003 ist sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Textil- und Bekleidungstechnik der Fakultät Maschinenwesen der TU Dresden tätig. In Juli 2007 verteidigte sie ihre Promotionsschrift an der TU Dresden.