



Institut für Textil- und Verfahrenstechnik, Denkkendorf, der
Deutschen Institute für Textil- und Faserforschung, Denkkendorf
Körschtalstraße 26 73770 Denkkendorf

Direktor: Prof. Dr.-Ing. Heinrich Planck

Tel.: +49 (0) 711 / 93 40 - 0 itv@itv-denkkendorf.de
Fax +49 (0) 711 / 93 40 - 297 www.itv-denkkendorf.de

DR. WEISS Mikrocomputer-Systeme

Dr. Weiss GmbH
Dossenheimer Weg 78
69198 Schriesheim

Geschäftsführer: Dr. Wolf Dieter Weiß

Tel.: +49 (0) 62 03 / 69 87 - 0 drweiss@weiss-braincells.de
Fax: +49 (0) 62 03 / 69 87 - 12 www.weiss-braincells.de

Entwicklung und Erprobung einer berührungs- losen Restfeuchtemessung von Filamentgarnen und textilen Flächen für Trocknungsprozesse

Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben
gefördert unter dem AZ: 22891-24/2 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Dr. Wolf Dieter Weiß, Dr. Weiss GmbH
Dr.-Ing. Thomas Stegmaier, ITV Denkkendorf

Bearbeitungszeitraum: 02.12.2005 - 27.05.2009

Schriesheim, August 2009

Finanziell gefördert durch die



Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	22891	Referat	24/2	Fördersumme	191.959,00 €
Antragstitel	Entwicklung und Erprobung einer berührungslosen Restfeuchtemessung von Filamentgarnen und textilen Flächen für Trocknungsprozesse				
Stichworte	Energie, Textil, Trocknung, Restfeuchte				
	Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)	
	42 Monate	02.12.2005	27.05.2009	x	
	Zwischenberichte	15.02.2007	05.10.2007	15.04.2008	
Bewilligungsempfänger	Dr. Weiss GmbH Dossenheimer Weg 78 69198 Schriesheim			Tel	06203 / 6987-0
				Fax	06203 / 6987-12
				Projektleitung	
				Dr. W.D. Weiß, Dr. T. Stegmaier	
				Bearbeiter	
				Dr. H. Abele	
Kooperationspartner	Steinbeis-Transferzentrum, STZ Mess- und Verfahrenstechnik, Offenburg Eltex Elektrostatik-Gesellschaft mbH, Weil am Rhein Textilfabrik Alfred Tenzler GmbH, Himmelkron ITV Denkendorf der DITF Denkendorf, Denkendorf				

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Ziel des Projektes war es, zwei neuartige Messverfahren auf ihre prinzipielle Eignung zur Messung der Restfeuchte beim Schlichten von Filamentgarnen hin zu untersuchen sowie die Zusammenhänge der Verfahrensparameter zu bestimmen. Bei den beiden Messverfahren handelt es sich zum einen um eine kapazitive Messung und zum anderen um die Messung eines Entladestromes über das Garn. Hintergrund ist, dass die Trocknungsvorgänge an modernen, feinen Filamentgarnen bislang nicht praxisgerecht gesteuert werden können, da eine entsprechende Messung der Restfeuchte während der Produktion nicht möglich ist. Ein unnötig hoher Energieverbrauch muss hier akzeptiert werden, um ein Verkleben der feinen Filamente auf den Kettbäumen für die Weberei zu vermeiden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

- Aufbau eines Einzelfadenprüfstandes, an dem die Messanordnungen installiert werden können.
- Installation des Kapazitivsensors in der anfangs vorliegenden Form als Einzelfadenmessgerät.
- Messungen mit dem Kapazitivsensor am Einzelfaden.
- Installation der Anordnung zur Messung der Restfeuchte durch den Entladestrom über das Garn.
- Messungen mit dieser Anordnung und Variation der Parameter des Garnes.
- Variation der Geometrie der Anordnung zur Messung der Restfeuchte durch den Entladestrom.
- Entwicklung eines offenen kapazitiven Sensors.
- Entwicklung einer Referenzmessung zur Kalibrierung der Messverfahren.
- Durchführung der Referenzmessung und Kalibrierung der Messanordnungen.
- Detaillierte Messungen der Abhängigkeiten des Messsignals von den Parametern des Garns.
- Integration und Messung an der Filamentschlichtmaschine.
- Messung mit verschiedenen Garnen und Einstellungen.
- Auswertung der Messungen und Bewertung Messverfahren und der Messanordnungen.

Ergebnisse und Diskussion

Ein Einzelfadenprüfstand für die Analyse der Restfeuchtesensorik wurde aufgebaut und die Messanordnungen integriert. Allerdings stellte sich bei den Messungen mit dem kapazitiven Sensor heraus, dass der Auftrag an Schlichtemittel und Feuchte sehr ungleichmäßig war. Außerdem ist das Messsignal bei der Messung des Entladestroms an einem Faden zu schwach und zu instabil, so dass es weder reproduzierbar noch sinnvoll auswertbar war. An der Fadenschar der Filamentschlichtmaschine konnten wesentlich stabilere Signale gemessen werden. Die Abhängigkeit des Messsignals bei beiden Messverfahren von der Feuchtigkeit des Garns war deutlich zu erkennen. Nachdem die Ergebnisse der Messungen an der Schlichtmaschine wesentlich aussagekräftiger waren als diejenigen des Einzelfadenprüfstandes, wurde beschlossen, dass beide Messverfahren weiterhin untersucht und entwickelt werden. Daraufhin wurde eine Aufstellung der Vor- und Nachteile beider Verfahren erstellt. Dabei wurde auch der spätere Einsatz an Industriemaschinen berücksichtigt.

Zu Beginn des Projektes stand ein kapazitiver Sensor zur Verfügung, der am Einzelfaden den Auftrag an Präparation beim Spinnprozess bestimmen konnte. Dieser Sensor ist aber zur Messung an einer Fadenschar nicht geeignet. Deshalb wurde im Rahmen des Projektes ein neuer, offener Sensor entwickelt, bei dem die beiden Kondensatorplatten nebeneinander liegen und die Fadenschar daran vorbeiläuft.

Parallel zur Entwicklung des offenen Sensors musste die Datenerfassungssoftware und das Programm zur Auswertung der Messsignale aktualisiert werden.

Ferner wurde ein Messverfahren entwickelt, das als Referenz zur Kalibrierung eingesetzt werden kann. Dabei wird die Feuchte des Garnes über die Luftfeuchte in einem Klimaschrank variiert. Eine Garnprobe wird so aufgewickelt, dass sie möglichst viel Kontakt zur umgebenden Luft hat. Diese Probe steht auf einer Waage, so dass der Feuchtegehalt des Garns gravimetrisch bestimmt werden kann. Gleichzeitig misst der kapazitive Sensor ebenfalls die Garnfeuchte im Klimaschrank.

Durch Vergleich der beiden Messungen kann der kapazitive Sensor kalibriert werden. Allerdings kann durch die Messungen mit dem Referenzverfahren keine Aussage darüber getroffen werden, ob der kapazitive Sensor sensibel genug ist, um die eigentliche Messaufgabe an der Schlichtmaschine zu erfüllen. Dies kann nur an der Schlichtmaschine bestimmt werden. Das Messverfahren über den Entladestrom konnte wegen der Hochspannung an der Elektrode nicht im Klimaschrank kalibriert werden. Dies muss an der Schlichtmaschine durch Vergleich mit dem kapazitiven Sensor geschehen.

Nach der Integration des kalibrierten kapazitiven Sensors an der Schlichtmaschine stellte sich heraus, dass das Ausgangssignal des Sensors nicht ausreicht, um ein Verkleben der Garne auf dem Kettbaum vollständig zu verhindern. Die Zielgröße „Verkleben“ lässt nicht einfach nur durch die Restfeuchte des Garnes beschreiben. Es spielen auch nichtlineare Oberflächeneffekte eine Rolle, die dazu führen, dass die Wassermoleküle sehr fest in die Oberfläche eingebunden sind. Das Messverfahren beruht aber gerade auf der Beweglichkeit der Moleküle. Das Verkleben der Garne wurde durch Aufschneiden des Kettbaumes am Tag nach dem Schlichten geprüft. Das Messverfahren mit dem Entladestrom war noch unsensibler. Die Praxistest an den Produktionsmaschinen des Textilpartners wurden aufgrund dieses Ergebnisses nicht durchgeführt. Der Gesamtarbeitsaufwand im Projekt war aber mindestens so groß wie der geplante, da die Untersuchungen im Technikum - bis das Ergebnis abgesichert war - umfangreicher waren als geplant. Die Versuche, die ursprünglich an den Produktionsmaschinen des Textilpartners durchgeführt werden sollten, wurden quasi im Technikum des ITV durchgeführt.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Der Sensor wurde auf der ITMA 2008 in München ausgestellt. Dazu wurde ein kleiner Demonstrationsstand zur Messung der Feuchte mit entsprechender Visualisierung und dazu passender Präsentation gefertigt und aufgebaut.

Fazit

Die beiden untersuchten Messverfahren, das kapazitive und das zur Messung des Entladestroms, sind nach den Ergebnissen des Projektes nicht sensibel genug, um die Feuchtigkeit von Filamentgarnen nach dem Schlichten empfindlich genug messen zu können und um ein Verkleben der Garne zu verhindern. Sie eignen sich jedoch für höhere Restfeuchten. Insbesondere kann das kapazitive System zusätzlich den Produktionsauftrag bestimmen. Die Firma Dr. Weiss GmbH arbeitet nun an einer Weiterentwicklung des Sensors, die auch eine Erhöhung der Empfindlichkeit des Sensors mit sich bringen soll. In diese Entwicklung fließen die Ergebnisse aus diesem Projekt sowie aus anderen Anwendungen des Sensors mit ein.

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	7
1.1 Durchgeführte Untersuchungen	7
1.2 Erzielte Ergebnisse	7
1.3 Empfehlungen für das weitere Vorgehen	7
1.4 Kooperationspartner und Förderung	7
2 Einleitung	8
2.1 Ausgangssituation	8
2.2 Zielsetzung	8
2.3 Aufgabenstellung	8
3 Hauptteil	10
3.1 Eingesetzte Anlagen, Maschinen, Garne und Schlichtemittel mit ermittelten Basiskennwerten	10
3.1.1 Anlagen und Maschinen	10
3.1.2 Garne und Schlichtemittel	13
3.2 Aufbau des Einzelfadenversuchsstandes	16
3.3 Installation und Messungen mit dem Kapazitivsensor	16
3.3.1 Messprinzip	16
3.3.2 Messaufbau	16
3.3.3 Messergebnisse	17
3.3.4 Diskussion der Ergebnisse	18
3.4 Entwicklung des offenen Sensors	18
3.4.1 Begründung für die Entwicklung des offenen Sensors	18
3.4.2 Feuchtemessung	19
3.5 Installation der Anordnung und Messung des Entladestroms	25
3.5.1 Messprinzip	25
3.5.2 Messanordnung	25
3.5.3 Diskussion der Ergebnisse	26
3.6 Gegenüberstellung beider Messverfahren	27
3.7 Entwicklung und Einsatz des Referenzmessverfahrens	28
3.7.1 Messprinzip	28
3.7.2 Versuchsplan	29
3.7.3 Ergebnisse	31
3.8 Versuche auf der Filamentschlichtmaschine	44
3.8.1 Anordnung der Messverfahren	44
3.8.2 Versuchsparameter und erste Ergebnisse	45
3.8.3 Messungen mit dem kalibrierten, offenen kapazitiven Sensor	45
3.8.4 Messungen des Entladestroms	48
3.9 Praxisversuche	50

4	Fazit	51
4.1	Zusammenfassung der Vorhabensergebnisse	51
4.2	Bewertung der Ergebnisse	51
4.3	Ansätze für weitere Untersuchungen	52
5	Danksagung	52

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1	Messaufbau im Überblick	10
Abbildung 2:	Skizze der Filamentschlichtmaschine der ITV Denkendorf	11
Abbildung 3:	Vorwaschabteil und Schlichtetrog der Filamentschlichtanlage	12
Abbildung 4:	Doppelstocktrockner mit Bäummaschine der Filamentschlichtanlage	12
Abbildung 5:	Klimaschrank mit Messaufbau für die Referenzmessung	13
Abbildung 6:	Feuchteaufnahme von Schlichtemittelfilmen bei Änderung der Luftfeuchte	14
Abbildung 7:	Erichsen-Pendelhärteprüfer nach DIN 53157	14
Abbildung 8:	Pendelhärteprüfung der Schlichtemittelfilme	15
Abbildung 9:	Schema des Aufbaus des Messschuhs für die Widerstandsmessung	15
Abbildung 10:	Elektrischer Widerstand der Schlichtemittelfilme	15
Abbildung 11	Kapazitivsensor, Einzelfadenversion	16
Abbildung 12	Einbau des Kapazitivsensors zwischen Trockner und Abzugseinheit	16
Abbildung 13	Masse und Feuchte des beschlichteten PA-Garns gemessen mit dem Kapazitivsensor	17
Abbildung 14	Masse und Feuchte des beschlichteten PA-Garns gemessen mit dem Kapazitivsensor	18
Abbildung 15:	Bild des offenen Sensors	19
Abbildung 16:	Vereinfachtes Blockschaltbild des offenen Sensors	19
Abbildung 17:	Messkurven bei Hochfeuchte und Fremdeinspeisung	20
Abbildung 18:	Messsignal beim Übergang von Hochfeuchte zu Restfeuchte	21
Abbildung 19:	Auswirkung des Abstandes auf den Hub des Messsignal	22
Abbildung 20:	Auswirkung des Abstandes auf die Steigung des Messsignal	23
Abbildung 21:	Verhältnis von Steigung und Hub	23
Abbildung 22:	Verbesserte Formel aus Steigung und Hub in Abhängigkeit vom Abstand	24
Abbildung 23:	Verhältnis von Steigung und Hub in Abhängigkeit von der Feuchte	24
Abbildung 24	Erster Aufbau der Anordnung zur Messung des Entladestrom	25
Abbildung 25	Umbau der Anordnung zur Messung des Entladestrom	26
Abbildung 26:	Messreihen bei unterschiedlichen Feuchten, unbeschlichtetes Polyamidgarn	32
Abbildung 27:	Messreihen bei unterschiedlichen Feuchten, unbeschlichtetes Polyamidgarn, Ausschnitt	32
Abbildung 28:	Messreihen bei unterschiedlichen Feuchten, unbeschlichtetes Polyestergerarn	33
Abbildung 29:	Messreihen bei unterschiedlichen Feuchten, unbeschlichtetes Polyestergerarn, Ausschnitt	33
Abbildung 30:	Messreihen bei unterschiedlichen Feuchten, beschlichtetes Polyamidgarn	34
Abbildung 31:	Messreihen bei unterschiedlichen Feuchten, beschlichtetes Polyamidgarn, Ausschnitt	34
Abbildung 32:	Auswertung von Hub und Steigung	35
Abbildung 33:	Messreihen bei unterschiedlichen Feuchten, beschlichtetes Polyestergerarn	35
Abbildung 34:	Messreihen bei unterschiedlichen Feuchten, beschlichtetes Polyestergerarn, Ausschnitt	36
Abbildung 35:	Auswertung von Hub und Steigung	36
Abbildung 36:	Messreihen bei unterschiedlichen Beschlichtungsgraden, Polyamidgarn	37
Abbildung 37:	Messreihen bei unterschiedlichen Beschlichtungsgraden, Polyamidgarn, Ausschnitt	37

Abbildung 38: Auswertung von Hub und Steigung..... 38
 Abbildung 39: Messreihen bei unterschiedlichen Beschlichtungsgraden, Polyestergarn 38
 Abbildung 40: Messreihen bei unterschiedlichen Beschlichtungsgraden, Polyestergarn, Ausschnitt 39
 Abbildung 41: Messreihen bei unterschiedlichem Abstand zwischen Garn und Sensor, Polyamidgarn 39
 Abbildung 42: Messreihen bei unterschiedlichen Garnabständen, Polyamidgarn..... 40
 Abbildung 43: Messreihen bei unterschiedlichem Garnfeinheiten, Polyamidgarn 41
 Abbildung 44: Messreihen bei unterschiedlichem Garnfeinheiten, Polyestergarn 41
 Abbildung 45: Messreihen bei unterschiedlichen Flächenmassen vor dem Sensor, Polyamidgarn..... 42
 Abbildung 46: Werte T1, T2 und T2-T1 der Messreihen aus Abbildung 45 43
 Abbildung 47: Werte K1 und K2 der Messreihen aus Abbildung 45 43
 Abbildung 48: Messung mit dem kalibrierten Sensor im Klimaschrank 44
 Abbildung 49: Skizze der Filamentschichtmaschine mit Einbauort der Messtechnik..... 44
 Abbildung 50: Bild vom Einbauort der Messtechnik 45
 Abbildung 51: Messwertdrift des offenen Sensors in der ersten Version..... 46
 Abbildung 52: Ansprechverhalten des Sensors auf zunehmende Feuchte des Garnes..... 46
 Abbildung 53: Sensorsignal und Verklebung bei Versuchen mit PA 6.6 und Schlichte BASF 3243 47
 Abbildung 54: Sensorsignal und Verklebung bei Versuchen mit PES und Schlichte BASF SF 2 47
 Abbildung 55: Steigung des Messsignals bei Messungen mit Polyester. 48
 Abbildung 56: Messfragment eines Versuches mit Fadenbruch..... 49
 Abbildung 57: Vergleichsmessung kapazitiver Sensor und Entladestrom 49

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Kenndaten der Technikums-Filamentschichtanlage..... 11
 Tabelle 2: Technische Daten des Klimaschranks 12
 Tabelle 3: Versuchsplan, Kapazitiver Sensor am Einzelfadenmessstand 17
 Tabelle 17: Gegenüberstellung von Eigenschaften und Risiken der beiden Messverfahren..... 27
 Tabelle 5: Plan der Einstellparameter für die Versuche im Klimaschrank und deren Ergebnisse 29
 Tabelle 6: Feuchte der Versuche K_021 bis K_024..... 31
 Tabelle 7: Feuchte der Versuche K_085 bis K_088..... 33
 Tabelle 8: Feuchte der Versuche K_061 bis K_064..... 34
 Tabelle 9: Feuchte der Versuche K_105 bis K_108..... 35
 Tabelle 10: Beschlichtungsgrade der Versuche K_024, K_040, K_048, K_056 und K_064 37
 Tabelle 11: Beschlichtungsgrade der Versuche K_076, K_116 und K_108 38
 Tabelle 12: Abstände zwischen Garn und Sensor bei den Versuchen K_004, K_006 und K_012..... 39
 Tabelle 13: Abstände zwischen Garn den Garnen bei den Versuchen K_020, K_004 und K_016..... 40
 Tabelle 14: Garnfeinheiten der Garne bei den Versuchen K_032, K_004 und K_024 40
 Tabelle 15: Garnfeinheiten der Garne bei den Versuchen K_096, K_076 und K_088 41
 Tabelle 16: Flächenmassen und –oberflächen, die Werte T1, T2 und T2-T1 sowie K1 und K2 bei den
 Versuchen K_036, K_032, K_016, K_028, K_004, K_024 und K_020 42
 Tabelle 4: Versuchsparameter an der Filamentschichtmaschine 45

1 Zusammenfassung

1.1 Durchgeführte Untersuchungen

Zunächst wurde ein Messstand aufgebaut, auf dem ein einzelner Faden befeuchtet oder beschlichtet, getrocknet und dann aufgewickelt werden kann. Auf diesem Messstand wurden die beiden Messverfahren, der kapazitive Sensor der Firma Weiss GmbH und das Verfahren nach dem Entladestromprinzip getestet. Die Ergebnisse auf dem Einzelfadenmessstand waren aber sehr ungleichmäßig und nicht reproduzierbar.

Messungen an der Schlichtmaschine ergaben aufgrund der größeren Fadenzahl wesentlich stabilere und auswertbare Ergebnisse. Aufgrund dieser Ergebnisse wurden beiden Messverfahren weiter untersucht.

Für die Messungen an der Fadenschar einer Schlichtmaschine musste eine offene Variante des kapazitiven Sensors entwickelt und gebaut werden. Aufgrund des veränderten Verhaltens des Sensors musste auch die Auswertesoftware angepasst werden.

Zur Kalibrierung der beiden Messverfahren wurde ein Referenzmessverfahren entwickelt und aufgebaut. Dabei wird die Feuchtigkeit des Garns über die Luftfeuchte in einem Klimaschrank reguliert. Sie wird dann gleichzeitig mit einer Waage und dem kapazitiven Sensor gemessen. So kann der kapazitive Sensor kalibriert werden. Es wurde eine große Reihe von Referenzmessungen durchgeführt.

1.2 Erzielte Ergebnisse

Die Ergebnisse an dem Einzelfadenmessstand waren sehr ungleichmäßig und nicht reproduzierbar, trotz verschiedener Umbauten, Veränderungen und Ergänzungen. Auf der Schlichtmaschine wurden dagegen gleichmäßige und reproduzierbare Ergebnisse erzielt und es konnte gezeigt werden, dass mit beiden Verfahren die Feuchtigkeit des Garnes gemessen werden kann.

Es wurde für die Messung an der Fadenschar ein offener Sensor entwickelt, der wesentlich einfacher zu handhaben ist als der ursprüngliche Sensor mit den gegenüberliegenden Platten, durch die das Garn geführt werden muss. Da dieser Sensor eine völlig andere Geometrie besitzt und damit auch eine andere Messcharakteristik, musste sowohl die Erfassungssoftware und als auch die Auswertesoftware aktualisiert werden. Mit diesem Sensor wurden Messungen an verschiedenen Gewebe- und Vliesproben durchgeführt. Mit dem Referenzverfahren wurde an einer Fadenschar gemessen, die auf ein Rähmchen gewickelt wurde. Dabei wurden unterschiedliche Garne, Geometrien und Beschlichtungsgrade ausgemessen. Es ergab sich eine deutliche und reproduzierbare Veränderung des Messsignals mit der Feuchte des Garnes.

Bei Messungen auf der Schlichtmaschine stellte sich aber heraus, dass die Sensitivität der Messverfahren nicht ausreicht, um ein Verkleben der Garne auf dem Kettbaum zu verhindern. Zum Verkleben des Garns auf dem Kettbaum reichen offensichtlich geringste Mengen an Restfeuchte aus. Diese sind aber aufgrund von nichtlinearen Oberflächeneffekten so fest an der Oberfläche gebunden, dass die Messverfahren, die auf der Beweglichkeit der Wassermoleküle aufbauen, diese Restfeuchte nicht erfassen können. Somit konnte das gewünschte Ergebnis mit den untersuchten Messverfahren nicht erreicht werden.

1.3 Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Die Firma Dr. Weiss GmbH arbeitet nun an einer Weiterentwicklung des Sensors, die auch eine Erhöhung der Empfindlichkeit des Sensors mit sich bringen soll. In diese Entwicklung fließen die Ergebnisse aus diesem Projekt sowie aus anderen Anwendungen des Sensors.

1.4 Kooperationspartner und Förderung

Antragsteller und Bewilligungsempfänger in dem Projekt war:

Dr. Weiss GmbH, Schriesheim

Kooperationspartner in dem Projekt waren:

SteinbeisTransferZentrum Mess- und Verfahrenstechnik, Offenburg

Eltex-Elektrostatik-Gesellschaft mbH, Weil am Rhein,
--

Textilfabrik Alfred Tenzler GmbH, Himmelkron,

Institut für Textil- und Verfahrenstechnik ITV Denkendorf der DITF Denkendorf, Denkendorf

Die Koordination und die wissenschaftliche Durchführung übernahm das ITV Denkendorf.

Das Forschungsvorhaben wurde finanziell gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt unter dem Aktenzeichen 22891-24/2.

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die finanzielle Unterstützung.

2 Einleitung

2.1 Ausgangssituation

Die Trocknungsvorgänge an modernen, feinen Filamentgarnen konnten bislang nicht praxisgerecht gesteuert werden, da eine entsprechende Messung der Restfeuchte während der Produktion nicht möglich war. Ein unnötig hoher Energieverbrauch musste hier akzeptiert werden, um ein Verkleben der feinen Filamente auf den Kettbäumen für die Weberei zu vermeiden. Das Verkleben wird von einem zu hohen Feuchtegehalt der Filamente verursacht, das zu enormen Schwierigkeiten beim Ablauf vom Kettbaum in der Weberei führt. Dies verursacht Verhaken sowie Fadenbrüche und damit häufig die Unbrauchbarkeit der Webkette. Aus den feinen Filamenten werden i.d.R. große Längen auf einem Kettbaum aufgewickelt, was zu enormen finanziellen Einbußen bei falsch eingestellter Restfeuchte führt. Deshalb wurden die geschichteten Kettgarne bewusst übergetrocknet, um ein Verkleben sicher zu vermeiden. Dies trieb die Energiekosten für die Trocknung enorm in die Höhe.

Durch die Entwicklung von geeigneten Messverfahren zur Restfeuchtemessung von Filamentgarnen wird sich den Betreibern die Möglichkeit bieten, den Energieverbrauch beim Trocknen der Filamentgarne auf das notwendige Minimum zu reduzieren. Im Hinblick auf den wachsenden Markt dieser Garne im Bereich der funktionellen Bekleidung und der technischen Anwendungen und, bedingt durch die üblichen großen Produktionslängen, liegt ein erhebliches Einsparpotential bei Primärenergieträgern (Öl, Gas) vor.

Bereits vor dem Projekt hatte die Firma Weiss GmbH ein Messgerät entwickelt, das auf einer kapazitiven Messung beruht und das durch intelligente Spannungsführung und Auswertung der Messsignale signifikante Information liefert. Mit diesem Gerät war es in ersten Schritten gelungen, die Menge an Präparationen und an Wasser beim Beschichten von Filamentgarnen am Einzelgarn sehr genau zu messen.

Am ITV Denkendorf zeigte eine Machbarkeitsstudie die Funktionstüchtigkeit einer neuartigen Messmöglichkeit mit elektrostatischen Elektroden zur Messung der Restfeuchte.

2.2 Zielsetzung

Zur Entwicklung dieser beiden Messsystemansätze bis zur Praxisreife sind eine Vielzahl von Entwicklungsschritten erforderlich, die in diesem Vorhaben in enger Zusammenarbeit von Forschung und Industrie durchgeführt werden sollten.

Ziel des Projektes war es somit, die beiden Messverfahren auf ihre prinzipielle Eignung zur Messung der Restfeuchte beim Schlichten von Filamentgarnen hin zu untersuchen sowie die Zusammenhänge der Verfahrensparameter zu bestimmen.

Mit diesen neuen berührungslosen Feuchtemessgeräten werden für Trocknungsprozesse von druckempfindlicher und leichter Ware erstmals Messgeräte zur Verfügung stehen, die es erlauben die Trocknungsvorgänge energiearm und damit umweltfreundlicher zu fahren.

Die weiteren potentiellen Anwendungsbereiche dieser Technologie umfassen eine Vielzahl von weiteren Trocknungsvorgängen in der Textilfertigung aber auch in verwandten Produktionen wie der Papierindustrie.

2.3 Aufgabenstellung

Es ergaben sich somit folgende Aufgaben für das Projekt:

- Aufbau eines Prüfstandes, an dem die Messanordnungen installiert werden können. Dieser wurde aus Gründen der Einfachheit als Einzelfadenbeschlichtungs- und -messstand ausgeführt.
- Installation des Kapazitivsensors in der anfangs vorliegenden Form als Einzelfadenmessgerät, welches zu Messung von Präparationsaufträgen beim Spinnen von Filamentgarnen entwickelt wurde.
- Messungen mit dem Kapazitivsensor am Einzelfaden mit unterschiedlichen Materialien und Garnfeuchten.
- Installation der Anordnung zur Messung der Restfeuchte durch den Entladestrom über das Garn, bestehend aus der Hochspannungselektrode mit Generator und Stromableitungselement mit empfindlicher Strommessung.
- Messungen mit dieser Anordnung und Variation der Parameter des Garnes, wie Material und Feuchte.
- Variation der Geometrie der Anordnung zur Messung der Restfeuchte durch den Entladestrom über das Garn.

- Integration der Messverfahren in der Filamentschlichtmaschine und Messung an der beschlichteten Fadenschar.
- Auswertung der Messungen und Bewertung Messverfahren und der Messanordnungen.
- Entscheidung darüber welches Messverfahrens weiterhin untersucht werden soll.
- Entwicklung einer Referenzmessung zur Kalibrierung der Messverfahren.
- Durchführung der Referenzmessung und Kalibrierung der Messanordnungen.
- Detaillierte Untersuchungen und Messungen der Abhängigkeiten des Messsignals von den Parametern des Garns, wie Material, Durchmesser, Feuchte, Beschlichtung, und der Anordnung.
- Umsetzung der Messungen und Entwicklung eines praxistauglichen Messgerätes.
- Erprobung des Messgerätes im industriellen Einsatz an den Produktionsschlichtmaschinen der Textilfirma.

3 Hauptteil

3.1 Eingesetzte Anlagen, Maschinen, Garne und Schlichtemittel mit ermittelten Basiskennwerten

3.1.1 Anlagen und Maschinen

Die Versuche, die im Rahmen dieses Projektes durchgeführt wurden, erfolgten auf einem eigens für das Projekt konzipierten und gebauten Versuchsstand zur Befeuchtung oder Beschichtung eines Einzelfadens, der Schlichtmaschine für Filamentgarne des ITV Denkendorf, die entsprechend erweitert wurde, und in einem der Klimaschränke des ITV Denkendorf.

3.1.1.1 Einzelfadenversuchsstand

Zur grundsätzlichen Untersuchung der beiden Messprinzipien wurde ein Versuchsstand aufgebaut auf dem ein einzelner Faden befeuchtet, beschichtet oder beschichtet werden kann (s. Abbildung 1). Die Garnbremse am Einlauf des Garnes in den Versuchsstand reguliert die Fadenspannung. Nach der Auftrags-einheit, die über eine Dosiereinheit gespeist wird, wurde ein Trockner installiert. Nach dem Trockner wurde Platz für den Einbau der Messanordnungen gelassen. Den Abschluss des Standes bildet eine Abzugseinheit mit Garnaufwickler, an dem die Geschwindigkeit des Garnes eingestellt werden kann.

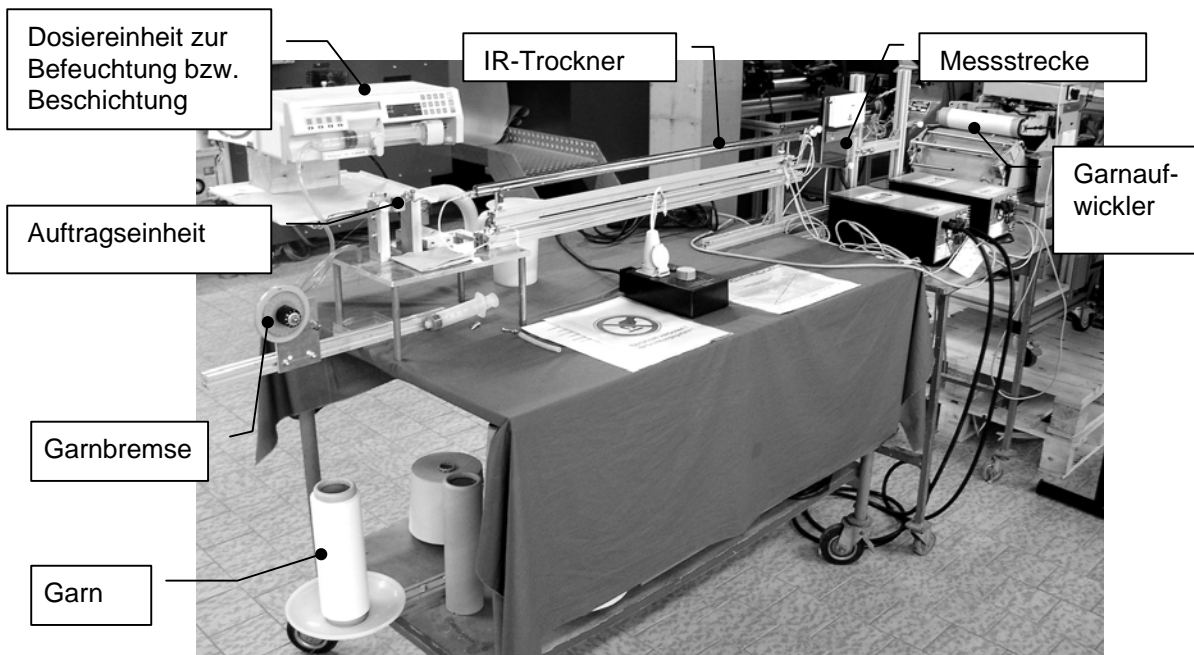


Abbildung 1 Messaufbau im Überblick

3.1.1.2 Filamentschlichtmaschine

Die Filamentschlichtmaschine am ITV Denkendorf ist eine moderne Schlichtmaschine nach dem Einzelfadenschlichtprinzip. Sie ist mit zwei Lufttrocknern im Gegenstromprinzip ausgestattet. Die Fadenschar durchläuft diese Trockner in mehreren Lagen, damit sich die einzelnen Fäden nicht berühren. In Abbildung 2 ist der Aufbau der Filamentschlichtmaschine schematisch dargestellt.

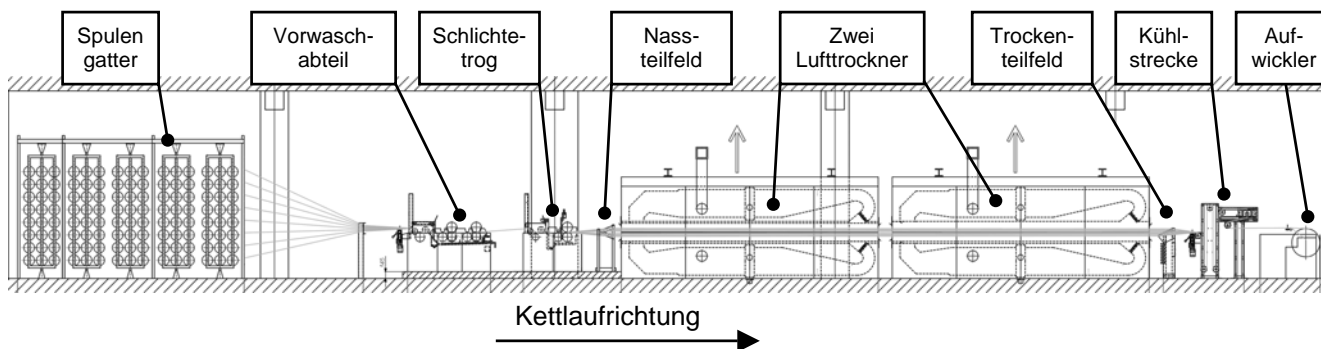


Abbildung 2: Skizze der Filamentschlichtmaschine der ITV Denkendorf

Die Filamentschlichtanlage am ITV zeichnet sich durch die in Tabelle 1 dargestellten Spezifikationen aus.

Tabelle 1: Kenndaten der Technikums-Filamentschlichtanlage

Einsatzgebiet:	Einzel- und Vollfadenfilament-Schlichtverfahren
größte nutzbare Arbeitsbreite:	500 mm
max. Fadenzahl:	240 Fäden (wird ausgebaut auf 500-800 Fäden)
Produktionsgeschwindigkeit:	bis 1000 m/min
Warenzugkraft max.:	20 daN
Vorwaschabteil:	beheizbar, mit 2 Tauch- und Quetschwalzen
Schlichtetrog:	mit Sprüheinrichtung, 1 Tauch- und Quetschwalze
Nassteilfeld:	wassergekühlt, mit 8 rotierenden Teilstäben
2 gasbeheizte Hochleistungs-Doppelstocktrockner:	
Trocknerlänge:	2 x 5500 mm
Temperatur:	70 – 220 °C
Luftzirkulation:	500 - 5.000 m ³ /h
Der Heißlufttrockner besteht aus zwei übereinander liegenden Lufttrockner, die die Kettbahn über einen oberen und unteren Luftstrom trocknen.	
Bei längeren Maschinenstillständen wird das Übertrocknen des Garnes durch das Öffnen der oberen Trocknerhälfte sowie die Unterbrechung der Heißluftzirkulation vermieden.	
Der Heißluftstrom wird bei beiden Trocknern entgegen der Fadenlaufrichtung umgewälzt. Die Drehzahl des Ventilators ist mittels Frequenzumwandler einstellbar.	
Über einen Abluftkanal wird ein Teil der umgewälzten Luftmenge kontinuierlich abgeführt. Die Abluftklappen können motorisch verstellt werden.	
Die maximale Luftgeschwindigkeit beträgt 7 m/sec.	
Die Beheizung erfolgt über einen Gasbrenner in einem einstellbaren Bereich von 70 - 220°C mit automatischer Temperaturregelung.	
Trockenteilfeld:	am Ausgang des Heißlufttrockners, 12 feste Teilstäbe
Kühlzone:	luftgekühlt, 6 m Länge
Wickler bzw. Bäummaschine:	
größte nutzbare Arbeitsbreite zwischen den Baumscheiben:	500 mm
größte Baumlänge einschließlich Zapfen:	700 mm
größter Baumscheibendurchmesser	600 mm
Wickelzugbereich	bis 20 daN.

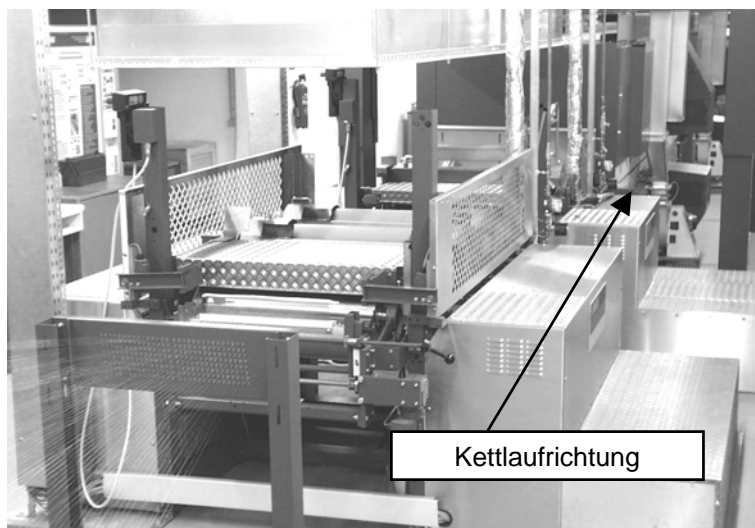


Abbildung 3: Vorwaschabteil und Schlichtetrog der Filamentschlichtanlage

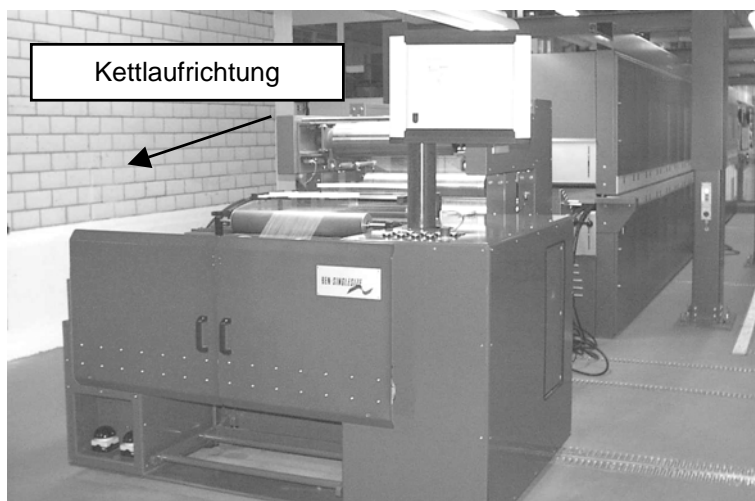


Abbildung 4: Doppelstocktrockner mit Bäummaschine der Filamentschlichtanlage

Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die neue Filamentschlichtmaschine des ITV Denkendorf (Vorwaschabteil und Schlichtetrog bzw. Doppelstocktrockner und Bäummaschine).

3.1.1.3 Klimaschrank

Im Rahmen der Referenzmessungen zur Kalibrierung der Messverfahren wurde ein Klimaschrank der Firma Weiss Umwelttechnik GmbH, Reiskirchen, vom Typ WK - 340 / 70 / 5 eingesetzt. In Tabelle 2 sind einige wesentliche technische Daten des Klimaschranks aufgelistet.

Tabelle 2: Technische Daten des Klimaschranks

Prüfrauminhalt	335 l
Nennleistung	10 kW
Temperaturbereich	-70 bis +180 °C
Temperaturänderung	6,7 K/min
Temperaturschwankung zeitlich	± 0,1 bis ± 0,3 K
Feuchtebereich	10 bis 98 % r.F.
Feuchteschwankung zeitlich	± 1 bis ± 3 % r.F.

In Abbildung 5 ist der geöffnete Klimaschrank mit dem Messaufbau für die Referenzmessung zu sehen. Zur Wägung des Garns im Klimaschrank kam eine Sartorius-Waage ED 623 S - CW zum Einsatz.

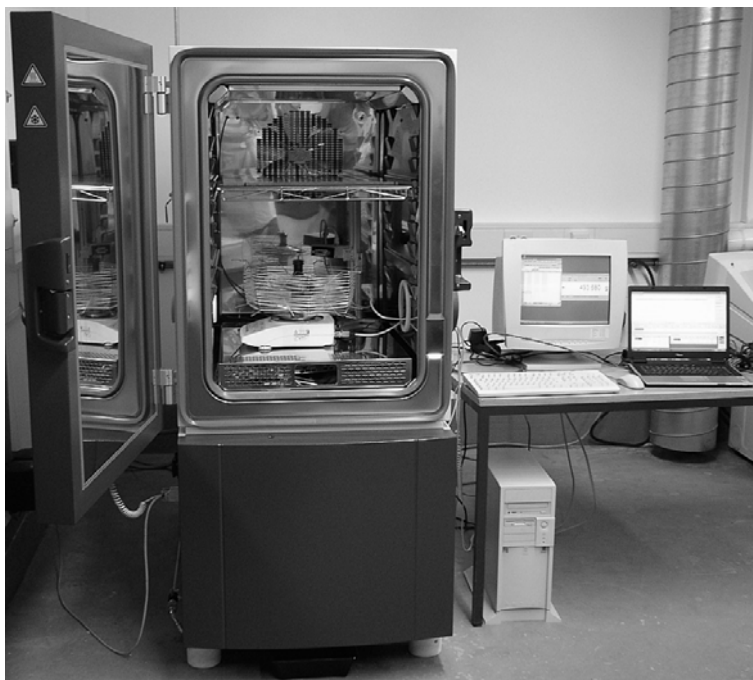


Abbildung 5: Klimaschrank mit Messaufbau für die Referenzmessung

3.1.2 Garne und Schlichtemittel

In dem Projekt wurden folgende Garne und Schlichtemittel verwendet:

3.1.2.1 Garne

- Polyamid: PA 6.6, 44 dtex, f 34, glatt
- Polyamid: PA 6.6, 78 dtex, f 67, glatt
- Polyamid: PA 6.6, 110 dtex, f 34, glatt
- Polyamid: PA 6.6, 156 dtex, f 34, glatt
- Polyester: PES, 33 dtex, f 18, glatt
- Polyester: PES, 76 dtex, f 24, glatt
- Polyester: PES, 76 dtex, f 128, glatt
- Polyester: PES, 280 dtex, f 48, glatt

3.1.2.2 Schlichtemittel

- BASF 3243
- BASF Schlichte SF-2

An den Schlichtemitteln wurden zur Charakterisierung die folgenden Messungen durchgeführt:

- Feuchtaufnahme von Schlichtemittelfilmen bei Änderung der Luftfeuchte
- Pendelhärte von Schlichtemittelfilmen
- elektrischer Widerstand von Schlichtemittelfilmen

3.1.2.2.1 Feuchtaufnahme der Schlichtemittelfilme bei Änderung der Luftfeuchte

In Abbildung 6 ist die Feuchtaufnahme der beiden Schlichtemittelfilme der Schlichtemittel BASF SF-2 und BASF 3243 grafisch dargestellt. Die Feuchte nimmt mit der Luftfeuchte zu, und zwar bei 80 % Luftfeuchte so stark, dass die Filme beginnen klebrig zu werden und zu fließen. Sie sind bei diesen Feuchtwerten auf der Schlichtmaschine nicht mehr zu verarbeiten.

3.1.2.2.2 Pendelhärte von Schlichtemittelfilmen

Die Pendelhärte ist ein Maß für die Oberflächenhärte von Schlichtefilmen. Die Härte des getrockneten und klimatisierten Films (FMH) wird mit dem Erichsen-Pendelhärteprüfer nach DIN 53157 (siehe Abbildung 7) gemessen. Kenngröße ist die Anzahl Schwingungen, die ein auf den Schlichtefilm (Filmdicke 150 – 200 µm)

aufgesetztes Pendel innerhalb einer vorgegebenen Amplitudendifferenz ausführt. Die Prüfung erfolgt standardmäßig bei Raumtemperatur (22 – 23 °C).

Die Filme wurden klimatisiert mit Luftfeuchten 20%, 40%, 60% und 80%, um den Einfluss der Feuchte auf die Filmhärte der Schlichtefilme zu untersuchen. Damit soll untersucht werden, ob bei höheren Feuchten die Gefahr der Schlichtefilmerweichung und des Verklebens der Kettgarne untereinander besteht.

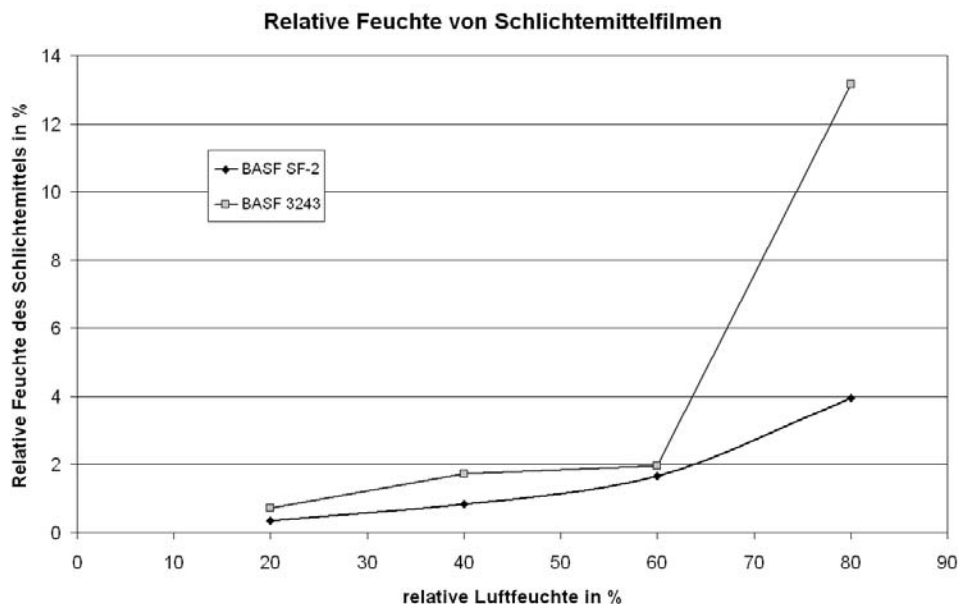


Abbildung 6: Feuchteaufnahme von Schlichtemittelfilmen bei Änderung der Luftfeuchte

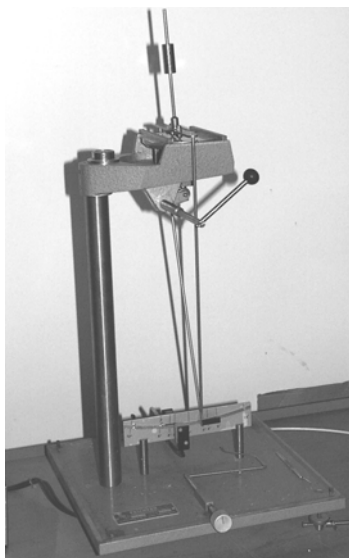


Abbildung 7: Erichsen-Pendelhärteprüfer nach DIN 53157

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse der Pendelhärteprüfung dargestellt. Die Härte nimmt bei 80 % Luftfeuchte stark ab, bei diesen Werten ist das Schlichtemittel auf der Schlichtmaschine nicht mehr richtig zu verarbeiten, es besteht die Gefahr, dass die geschlichteten Garne auf dem Kettbaum verkleben.

3.1.2.2.3 Elektrischer Widerstand von Schlichtemittelfilmen

Der elektrische Widerstand wurde an Schlichtemittelfilmen der Dicke 167 µm (BASF SF-2) bzw. 155 µm (BASF 3243) gemessen. Dazu wurden die Filme im Klimaschrank klimatisiert und ausgemessen. Für die Messung wurde ein Schuh mit zwei rechteckigen Elektroden (6 x 34 mm), die im Abstand von 26 mm montiert sind, verwendet (s. Abbildung 9). Der Schuh wurde mit 2.500 g beschwert, um einen guten Kontakt zum Schlichtemittelfilm zu erhalten. Zur Messung wurde ein Keithley 6517A verwendet, das mit 40 kV

betrieben wurde. Es wurden jeweils mehrere Messungen gemacht und der Mittelwert gebildet. Die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 10 dargestellt.

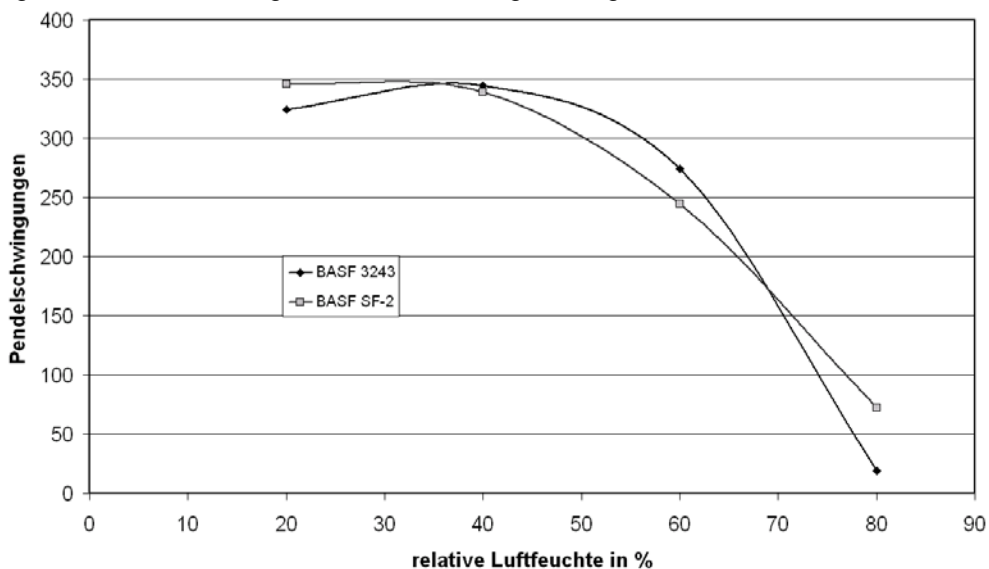


Abbildung 8: Pendelhärteprüfung der Schichtmittelfilme

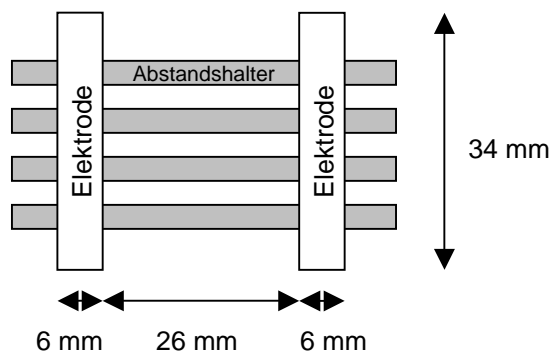


Abbildung 9: Schema des Aufbaus des Messschuhs für die Widerstandsmessung

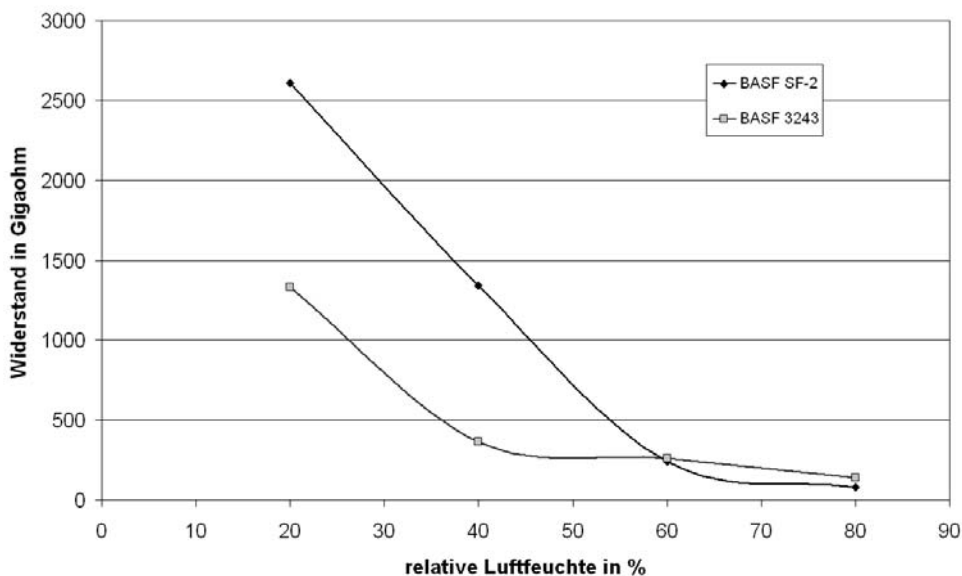


Abbildung 10: Elektrischer Widerstand der Schichtmittelfilme

3.2 *Aufbau des Einzelfadenversuchsstandes*

Zunächst wurde der Versuchsstand gemäß der Beschreibung in Kapitel 3.1.1.1 aufgebaut. Er war so konzipiert, dass nach dem Trockner genug Platz war, um die Messeinrichtungen der beiden Messverfahren installieren zu können.

Leider stellte sich im Laufe der Versuche auf dem Einzelfadenversuchsstand heraus, dass der Auftrag an Feuchte und / oder Schlichteflotte sehr ungleichmäßig ist, so dass beide Messverfahren erhebliche Schwierigkeiten hatten, auswertbare und reproduzierbare Messsignale zu liefern. Als dies klar wurde, wurden die weiteren Versuche auf der Schlichtmaschine durchgeführt.

3.3 *Installation und Messungen mit dem Kapazitivsensor*

3.3.1 *Messprinzip*

Das Messprinzip beruht darauf, dass sich das dielektrische Verhalten von Garnen mit ihrer Feuchtigkeit ändert, vor allem das dynamische dielektrische Verhalten ändert sich mit der Feuchtigkeit, da sich Wassermoleküle in einem sich ändernden elektrischen Feld anders verhalten als die viel größeren Moleküle des Garns oder einer Beschichtung bzw. Beschichtung auf dem Garn.

Die zentrale Einheit des Sensors ist ein Kondensator, durch den das Garn geleitet wird. An diesen Kondensator wird eine Wechselspannung angelegt. Gemessen wird dann der zeitliche Verlauf des Stromes, zum Kondensator und von ihm weg. Die Kurve des Stromverlaufs lässt sich in verschiedene Bereiche mit unterschiedlichen Verläufen aufteilen. Aus jedem Bereich lassen sich Aussagen über die Zusammensetzung des Garns, wie Feuchtigkeit, Beschichtung oder Garntiter, ziehen

3.3.2 *Messaufbau*

Der in dem Projekt verwendete Messsensor wurde für eine andere Anwendung, die Messung des Präparationsauftrages beim Spinnen, entwickelt und stand somit in einer kompakten Form mit der ganzen Auswertung zur Verfügung. In Abbildung 11 ist der Kapazitivsensor zu sehen und in Abbildung 12 der Einbau in den Messstand.

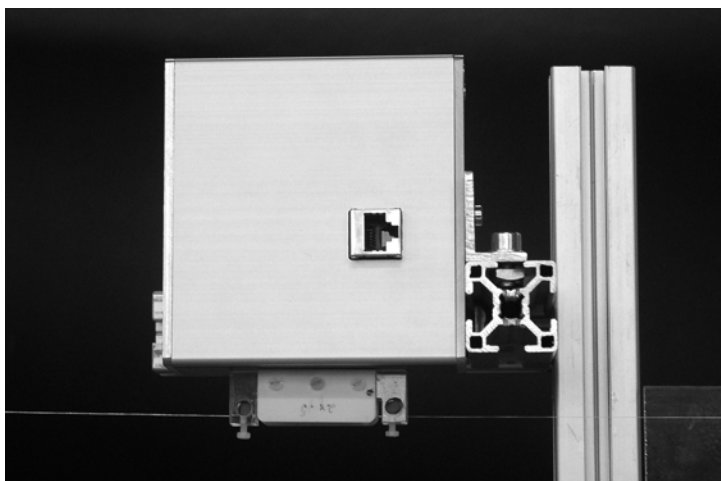


Abbildung 11 Kapazitivsensor, Einzelfadenversion



Abbildung 12 Einbau des Kapazitivsensors zwischen Trockner und Abzugseinheit

3.3.3 Messergebnisse

Es wurden im Wesentlichen zwei Versuchsreihen durchgeführt, und zwar mit den beiden Garnen die bereits oben verwendet wurden:

- PA 6.6, 110 dtex, f34, glatt und
- PES, 76 dtex, f24, glatt.

Innerhalb der beiden Reihen wurden die Auftragsmengen an Schlichtmittel SF2 (K=25%) gemäß der folgenden Tabelle 3 variiert.

Tabelle 3: Versuchsplan, Kapazitiver Sensor am Einzelfadenmessstand

Auftrag in ml/h	PA 6.6		PES	
	Wasserauftrag	Schlichtemittelauftrag	Wasserauftrag	Schlichtemittelauftrag
0,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,1	0,23%	0,08%	0,33%	0,11%
0,2	0,45%	0,15%	0,66%	0,22%
0,5	1,14%	0,38%	1,64%	0,55%
0,8	1,82%	0,61%	2,63%	0,88%
1,2	2,73%	0,91%	3,95%	1,32%
2,3	5,23%	1,74%	7,57%	2,52%

Die Stromantwortkurven des Kondensators auf die angelegte Wechselspannung wurden ausgewertet auf die Masse und die Feuchte des beschlichteten Garnes hin. In Abbildung 13 sind die Kurven für die Masse und die Feuchte des beschlichteten PA-Garns dargestellt. Es ist deutlich sichtbar, dass der Sensor sowohl die Feuchtigkeit des Garnes als auch den Beschlichtungsgrad messen kann. Die Messungen mit dem PES-Garn ergeben prinzipiell das gleiche Bild, s. Abbildung 14. Unter 2% Feuchteauftrag lässt sich aus dem bislang ausgewerteten Signal keine Sensibilität entnehmen.

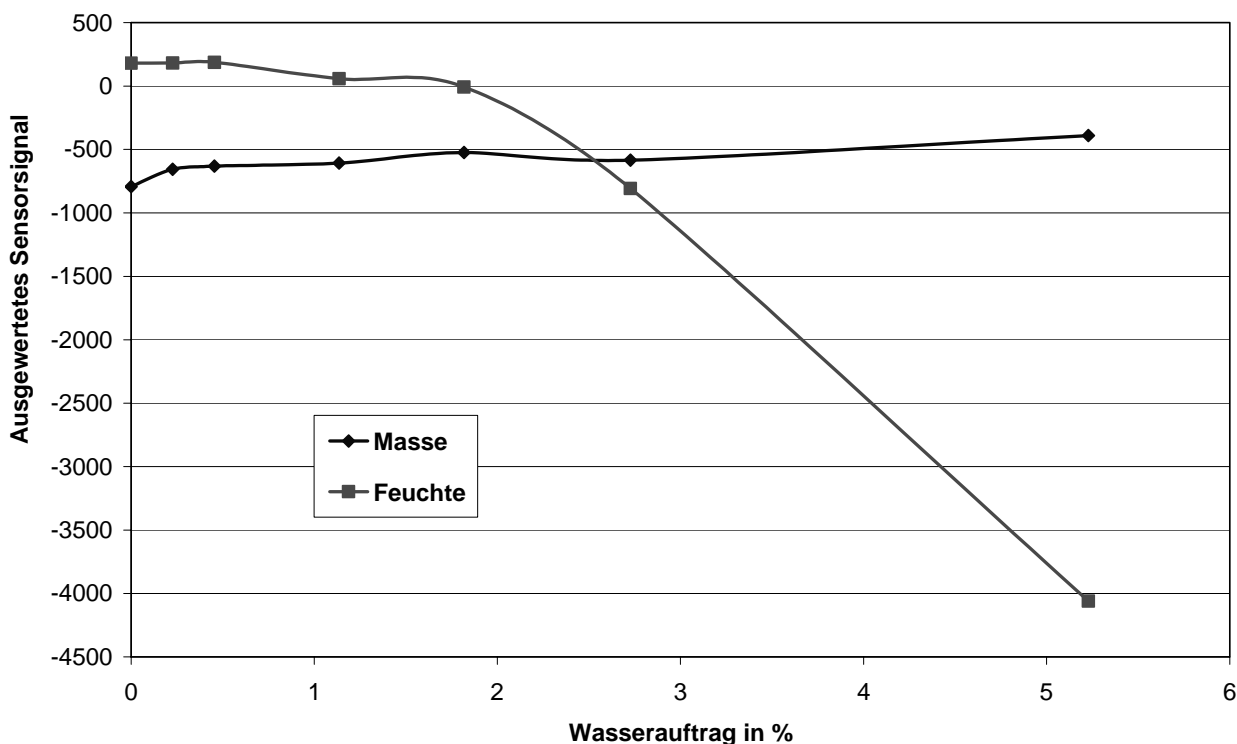


Abbildung 13 Masse und Feuchte des beschlichteten PA-Garns gemessen mit dem Kapazitivsensor

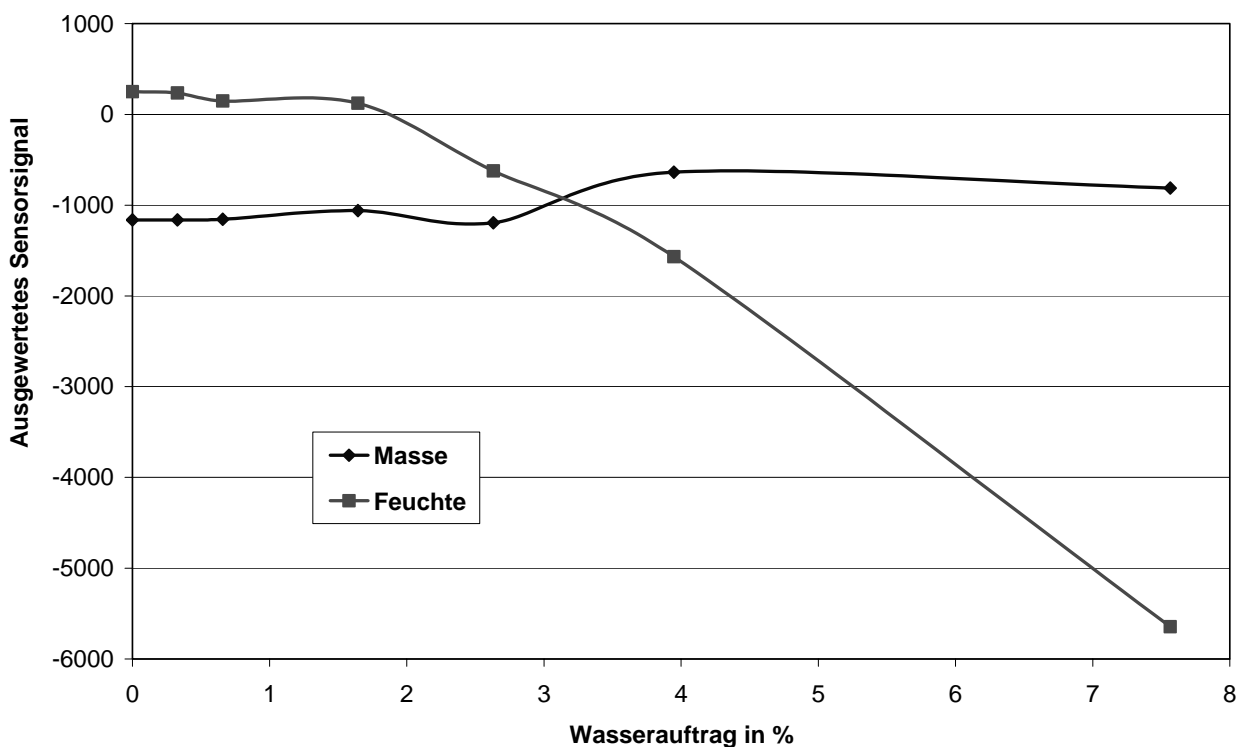


Abbildung 14 Masse und Feuchte des beschlichteten PA-Garns gemessen mit dem Kapazitivsensor

3.3.4 Diskussion der Ergebnisse

Mit dem Kapazitivsensor lassen sich sowohl die Feuchtigkeit des Garnes als auch der Beschlichtungsgrad messen. Aufgrund der kompakten Bauweise des Sensors gibt es prinzipiell keine unterschiedlichen Anordnungen des Sensors im Trockenfeld der Maschine. Die niedrigen Spannungswerte an dem Kondensator und die Wechselspannung führen nicht zu einer Aufladung des Garnes oder umliegender nichtleitender Oberflächen. Daher besteht kein Risiko für die Messtechnik, die Maschine oder das Garn.

3.4 Entwicklung des offenen Sensors

3.4.1 Begründung für die Entwicklung des offenen Sensors

Zu Beginn des Projektes stand ein Sensor zur Verfügung der für andere Anwendungen, vor allem Messungen am Einzelfaden, entwickelt wurde. Bei diesem Sensor waren die beiden Elektroden, wie oben dargestellt einander gegenüber angeordnet. In der ursprünglichen Projektplanung wurde nicht davon ausgegangen, diese Anordnung prinzipiell zu verlassen. Es war gedacht, die beiden Kondensatorplatten oberhalb und unterhalb der Fadenschar anzuordnen. Im Laufe des Projektes wurden aber zwei Dinge klar.

Erstens ist es sehr aufwändig, zwei Kondensatorplatten fast unabhängig voneinander exakt anzuordnen. Die Ausrichtung und der Abstand der Platten beeinträchtigt das Messsignal sehr stark. Zweitens wurde klar, dass es auch möglich ist, die Platten nebeneinander anzuordnen und trotzdem ein auswertbares Messsignal zu erhalten. Diese Anordnung verhält sich zwar bei der Messung deutlich anders als die mit den gegenüberliegenden Platten, aber sie verändert sich nicht beim Einbau in die Schlichtmaschine. Die einzige geometrische Größe, die eingestellt werden muss, ist der Abstand zwischen Garn und Sensorplatten.

Aufgrund des anderen Messverhaltens der nebeneinander angeordneten Platten war ein erhöhter Entwicklungsaufwand im Projekt nötig.

3.4.2 Feuchtemessung

3.4.2.1 Blockschaltbild

Im Gegensatz zu Sensoren, deren Elektroden sich gegenüberstehen, verhalten sich Elektroden, bei denen sich Mess- und Stimuluselektrode in einer Fläche liegen (Abbildung 15) wesentlich komplexer. Dies sei an Hand des folgenden stark vereinfachenden Blockschaltbildes erläutert, s. Abbildung 16.



Abbildung 15: Bild des offenen Sensors

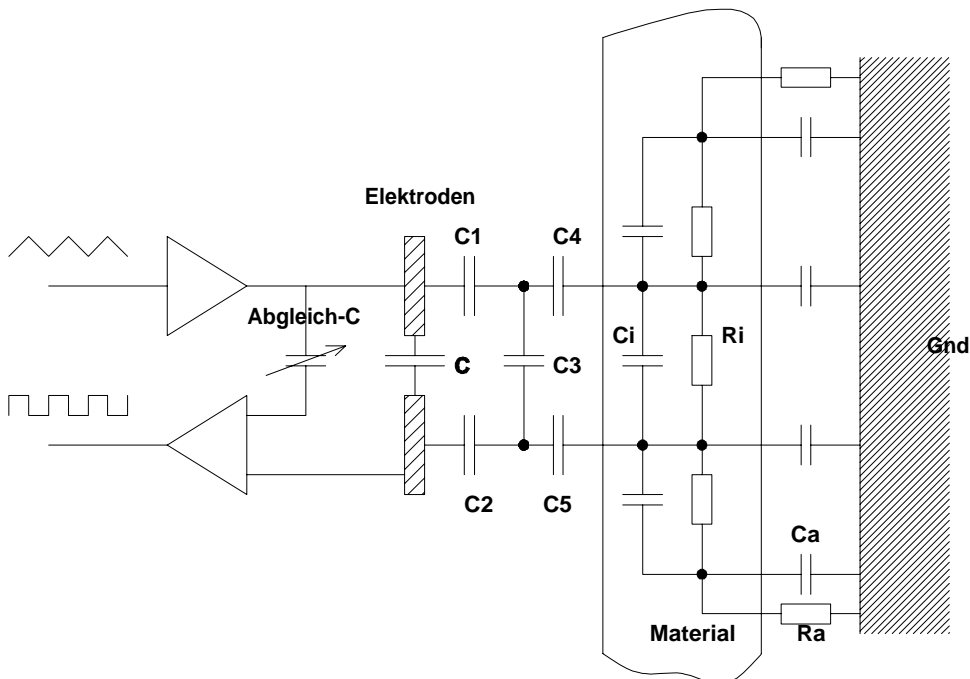


Abbildung 16: Vereinfachtes Blockschaltbild des offenen Sensors

1. Das Material läuft dicht an den Elektroden vorbei. An der gegenüberliegenden Seite des Materials bilden sich Kapazitäten gegen Masse. Diese sind durch die Ca's gekennzeichnet. Zusätzlich kann das Material Maschinenteile z.B. Walzen berühren. Dies wird mit dem Ersatzwiderstand Ra symbolisiert. Mit den Ca's und Ra's wird ein Teil der Umwelteinflüsse dargestellt.
2. Zwischen den Elektroden, die einen Abstand von etwa 3mm haben, bildet sich ein Feld aus. Dieses, sowie das durch C1, C2 u. C3 symbolisierte Streufeld, wird mit Hilfe eines Abgleich- Kondensators kompensiert.
3. Das Streufeld wird mit C4, C5 in das Material eingekoppelt.

4. Das Material kann direkt über die Elektroden gleiten, oder es kann in einem gewissen Abstand über die Elektroden laufen.
5. Das Material kann ein Isolator sein, in diesem Falle verschwinden die R_i . Es kann ein Leiter sein, in diesem Fall werden die R_i sehr klein und die C_i werden wirkungslos, oder es kann Material sein, bei dem sowohl die C_i als auch die R_i berücksichtigt werden müssen. Feuchtes Gewebe ist ein Beispiel dafür.

Es ist offensichtlich, dass sich bei solch komplexen Zusammenhängen keine mathematischen Zusammenhänge finden lassen, die dieses System ausreichend genau beschreiben können. Daher wird eine Auswertung mit statistischen Methoden erforderlich.

3.4.2.2 Umwelteinflüsse

3.4.2.2.1 Maschinenteile

In der Regel wird die Materialbahn über Walzen geführt. Wird der Sensor nahe an diesen Walzen installiert, so kann das über die Stimulus-Elektrode applizierte Feld an die Metallteile abgeleitet werden.

Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn das Material hohe Feuchte hat. Im Bereich der Restfeuchte sind die Widerstände R_i so hochohmig, dass dieser Effekt eine untergeordnete Rolle spielt.

Um dies zu verdeutlichen, wurde feuchtes Baumwollgewebe vermessen, wobei das Material in einem Abstand von etwa 5cm zur Elektrode kontaktiert werden konnte. Die Feuchte betrug etwa 100%, ein Wert der deutlich im Hochfeuchtebereich liegt.

Folgende drei Fälle sind in Abbildung 17 dargestellt:

- Das dreieckförmige Stimulus-Signal wurde an die Kontaktstelle gebracht.
- An die Kontaktstelle wurde Masse gebracht, die Kontaktstelle wurde geerdet.
- Das Material wurde nicht kontaktiert (ohne).

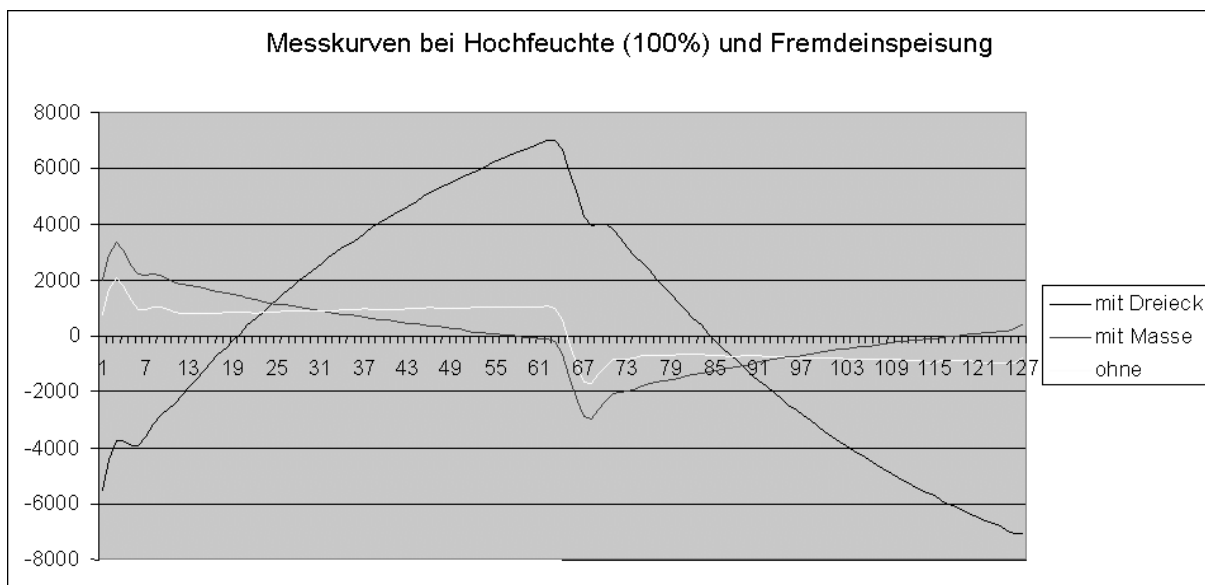


Abbildung 17: Messkurven bei Hochfeuchte und Fremdeinspeisung

Der deutlichste Effekt ist bei Kontaktierung mit dem Stimulus-Signal zu sehen. Dieses Verhalten kann man zur Messung von Hochfeuchte nutzbar machen.

Wird mit Masse kontaktiert (geerdet), so fließt das Stimulus-Signal gegen Masse, was eine negative Kurvensteigerung bewirkt.

3.4.2.2.2 Luftfeuchte

Das Messverfahren ist sehr empfindlich. Es misst auch Luftfeuchte. Beim Kalibrieren wird das Messsignal bei „leerem“ Sensor ermittelt, abgespeichert und in der Folge von jedem weiteren Messsignal abgezogen. Beim Kalibrieren wird somit die Feuchte der umgebenden Luft berücksichtigt.

Bringt man nach der Kalibrierung einen Isolator, etwa Glas an die Elektroden, so wird die (feuchte) Luft verdrängt und man erhält eine negative Kurvensteigerung.

Auf diesen Effekt wird in einem späteren Abschnitt genauer eingegangen.

3.4.2.3 Übergang von Hochfeuchte zu Restfeuchte

Im Hochfeuchte- Bereich wird das Messsignal klein. Ursache dafür ist, dass das Material leitet und sich dadurch die Ca's zu einem großen Wert aufaddieren. Zusammen mit C5 bildet sich ein kapazitiver Spannungsteiler, der die Verkleinerung des Messsignals bewirkt. Entsprechend ist bei 84% Restfeuchte das Signal relativ klein, s. Abbildung 18.

Bei 30% Restfeuchte ist das Material bereits so trocken, dass dieser Effekt verschwindet. Das Messsignal wird wesentlich höher und geht bei der gezeigten Anordnung bereits in Sättigung, die wegen des benutzten 14-bit Wandlers bei etwa 8000 liegt.

Mit fallender Feuchte kommt das Signal aus der Sättigung und lässt sich dann auswerten. Bei etwa 20% Feuchte beginnt der Restfeuchte Bereich.

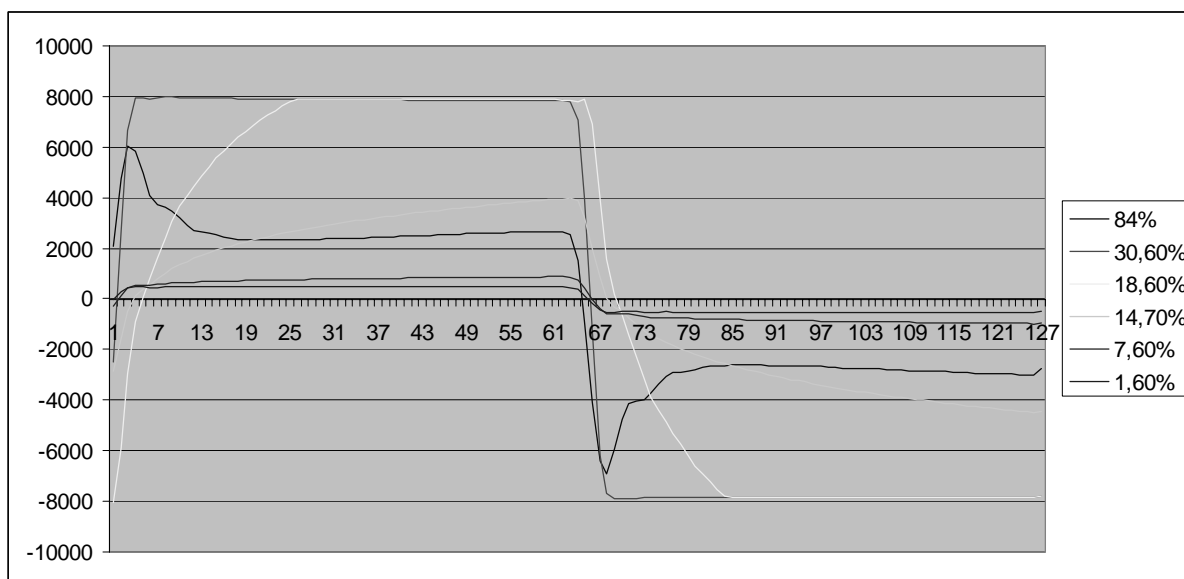


Abbildung 18: Messsignal beim Übergang von Hochfeuchte zu Restfeuchte

Dieser Wert hängt jedoch vom Material ab und ist z.B. bei Wolle anders als bei Baumwolle.

3.4.2.4 Das Messverfahren

Legt man an eine Elektrode eines Kondensators ein dreieckförmiges Stimulussignal an und misst den Strom, der durch den Kondensator fließt, so ist dieser

- rechteckförmig, falls der Kondensator leer ist, oder sich in ihm ein Isolator befindet
- mit einem Dreieckanteil überlagert falls das Material im Kondensator Verluste hat
- Bei polarem Material wie etwa Wasser müssen Einschwingzeiten der Moleküle berücksichtigt werden.

Bei dem Verfahren wird die Form der Antwortkurve ausgewertet.

Das Stimulussignal hat eine Frequenz zwischen 10kHz und 100 kHz. Das Antwortsignal wird mit einem schnellen Wandler an 128 Punkten abgetastet. Da das Signal symmetrisch ist, werden die Werte auf dem negativen und dem positiven Kurvenast zusammengefasst. Dies hat den zusätzlichen Vorteil, dass Fehler, die durch eingeschleuste elektrostatische Ladung entstehen, weitestgehend kompensiert werden.

Mit einer im Sensor installierten Daten- Vorauswertung können die 128 Messpunkte zu Bereichen zusammengefasst werden, von denen jeweils der Hub und die Steigung ermittelt wird.

Der Hub gibt die Höhe des Rechteckanteils an, er ist ein Maß für die Kapazität. Die Steigung ergibt sich aus dem Dreiecksanteil, sie ist ein Maß für die Verluste.

Für die folgenden Messungen wird der Übersichtlichkeit halber ein einziger Bereich in der Mitte jedes Kurvenastes ausgewertet. Einschwingzeiten lassen sich damit nicht erfassen. Wird eine genauere Auswertung gewünscht, so müssen mehrere Messbereiche innerhalb der Messkurve in die Auswertung einbezogen werden. Dazu ist ein spezielles Auswerteprogramm verfügbar. Die folgenden vereinfachten Darstellungen sollen prinzipielle Zusammenhänge aufzeigen.

3.4.2.4.1 Abstand des Materials von den Elektroden

Das zu messende Material kann auf den Elektroden aufliegen, oder es kann einen gewissen Abstand zu den Elektroden haben. Letzteres ist bei empfindlichen Materialien erforderlich damit keine Schleifspuren entstehen.

Mit den folgenden Messungen wird untersucht, wie groß die Abstände sein können.

Als Material zum Messen wurde Pappe ausgewählt. Diese hat eine Stärke von 0,2mm. Vorteil ist die relativ konstante Feuchte, die jedoch von der Feuchte der Luft abhängt. Nachteil ist, dass sich die Pappe leicht verbiegen kann, so dass ein konstanter Abstand zu den Messelektroden nicht immer zu erreichen ist. Insofern sind die folgenden Messungen mit Fehlern behaftet.

Ein weiterer Fehler ergibt sich dadurch, dass der Abstand 0 nicht sehr präzise eingestellt werden kann. Man erkennt dies dadurch, dass bei einigen Messkurven der Abfall der Messwerte erst bei einem X-Wert von 0,1mm beginnt.

Zusätzlich zur Pappe wurde ein Isolator (Glas) sowie ein Leiter (eloxiertes Aluminium) gemessen.

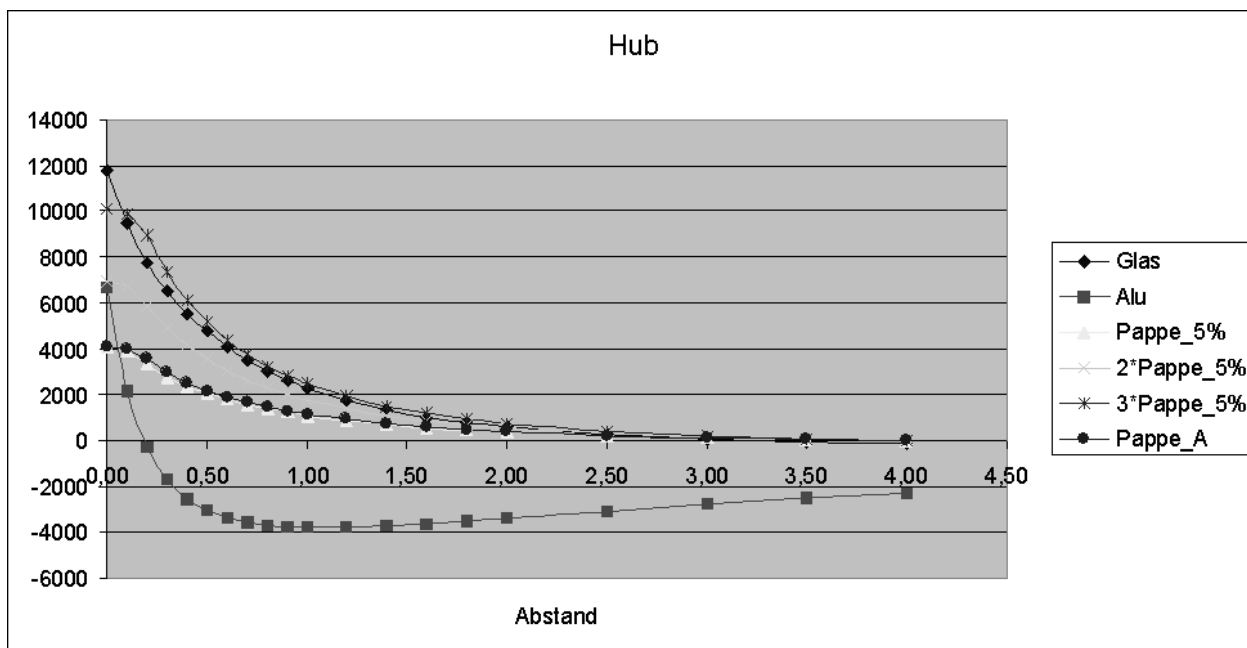


Abbildung 19: Auswirkung des Abstandes auf den Hub des Messsignal

Abbildung 19 zeigt die Abhängigkeit des Hubs vom Abstand des Materials zu den Elektroden.

Bei allen Proben zeigt sich eine starke Abhängigkeit des Messsignals vom Abstand des zu messenden Materials von den Elektroden.

Betrachtet man die Kurven genauer, so sieht man, dass das Messsignal sogar negativ werden kann. Ursache ist, dass das Stimulus-Feld an die umgebende Masse abgeleitet wird.

Bei der in Abbildung 20 gezeigten Steigung ergeben sich ähnliche Zusammenhänge. Auch hier kann das Messsignal negativ werden. Ursache ist hier die Feuchte der verdrängten Luft.

Aus Hub oder Steigung lassen sich ohne weiteres keine Aussagen über die Feuchte machen. Dazu ist die Abhängigkeit des Messsignals vom Abstand zu hoch. Anders sieht es jedoch aus, wenn man Steigung und Hub ins Verhältnis setzt.

In Abbildung 21 wurde dies getan. Man sieht hier, dass die Referenzmaterialien konstant negative Werte haben. Der Ausreißer bei etwa 0,3mm bei Alu sowie der bei 3mm bei Glas rührt daher, dass bei diesen X-Werten der Hub zu 0 wird und damit der Quotient undefiniert ist.

Pappe hingegen hat wegen der Feuchte von gravimetrisch ermittelten 5% deutlich positive Werte über den gemessenen Abstandsbereich.

Zur Messung wurde die Pappe einfach, in zwei Lagen, sowie in drei Lagen gemessen. Da die einzelnen Lagen leicht gewellt sein können sind Messfehler zu erwarten. Um ein Gefühl für die auftretenden Messfehler zu bekommen, wurden zwei verschiedene Pappestücke mit nur einer Lage vermessen (Pappe, Pappe_A).

Obige Messkurven für Pappe weisen immer noch eine Abhängigkeit vom Abstand des Materials von den Elektroden auf.

Man kann diese Abhängigkeit verkleinern, indem man die Rechenformel etwas komplexer gestaltet. In Abbildung 22 wurde dies versucht, indem $0,6 \cdot \text{Steigung}$ zusätzlich abgezogen wurde. Man kann bereits einen lineareren Zusammenhang erkennen.

Des weiteren sieht man, dass die beiden Messungen mit einlagiger Pappe oben und unten im Fehlerband liegen. Der Fehler der Feuchte ist kleiner als 1%.

Der Faktor 0,6 wurde durch Probieren ermittelt. Möchte man genauer werden, so muss neben der Erhöhung des apparativen Aufwandes mehr als ein Messbereich pro Kurvenast in die Auswertung einbezogen werden. Mathematisch steht dazu die Methode der multivariaten Datenanalyse zur Verfügung um die Faktoren nicht durch Probieren sondern durch statistische Berechnungen zu ermitteln. Ein Programm zur Auswertung auf dieser Basis wird in einem späteren Abschnitt beschrieben.

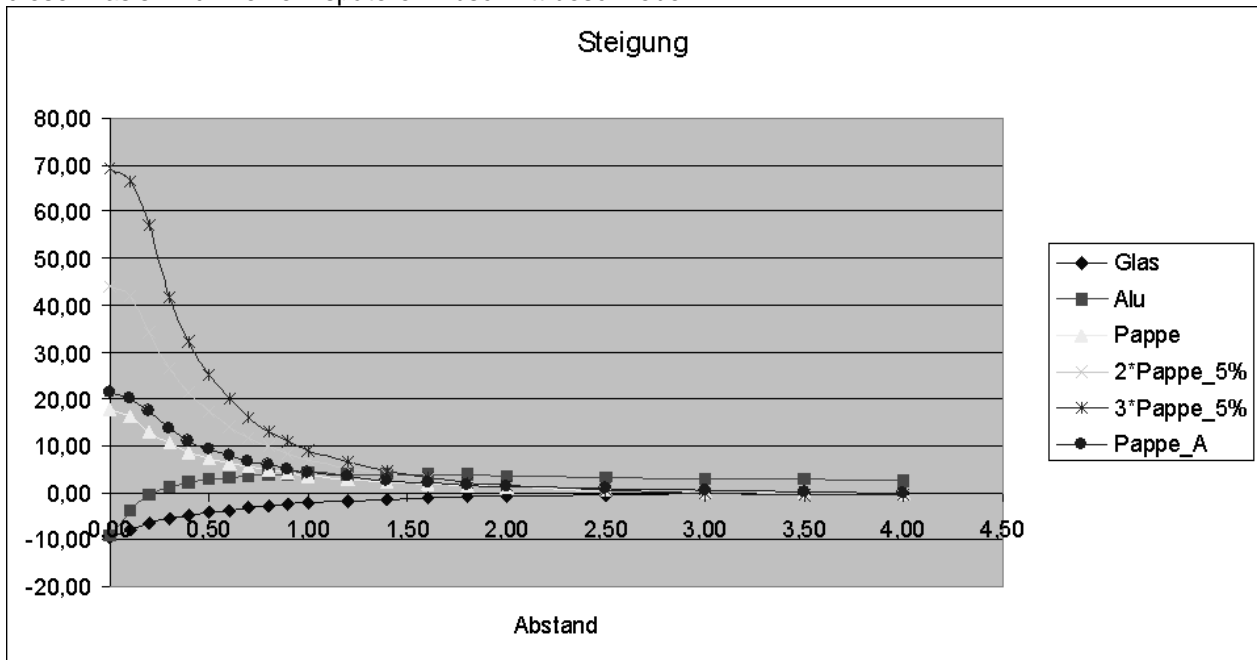


Abbildung 20: Auswirkung des Abstandes auf die Steigung des Messsignal

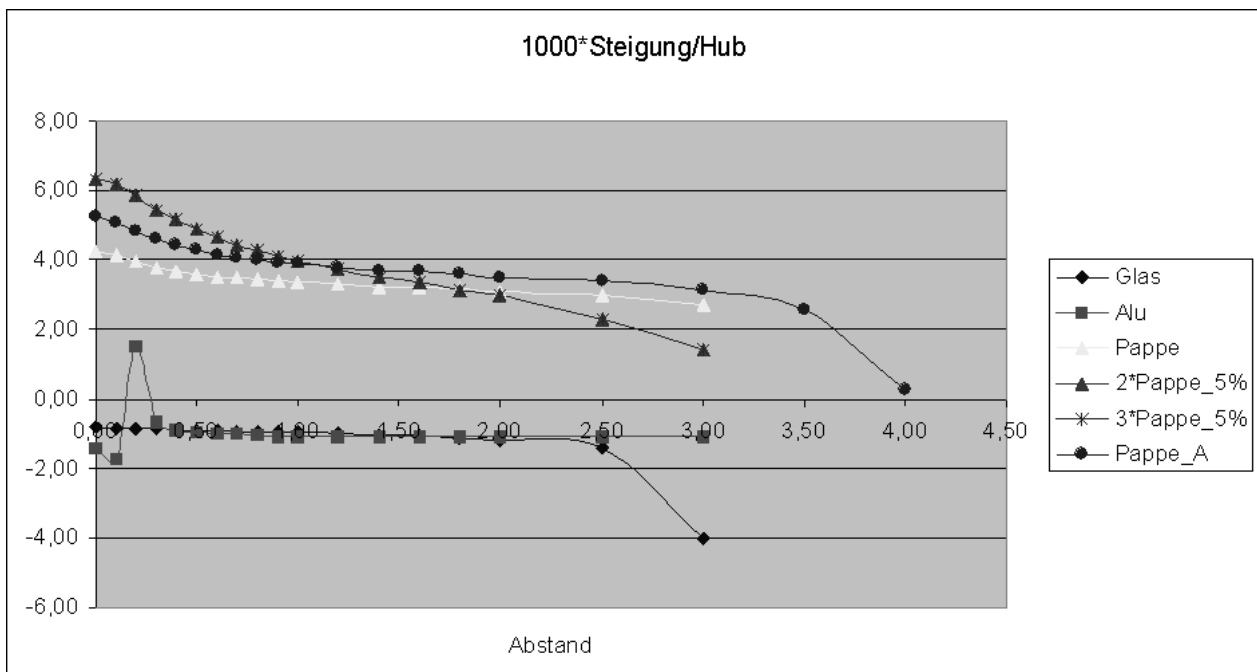


Abbildung 21: Verhältnis von Steigung und Hub

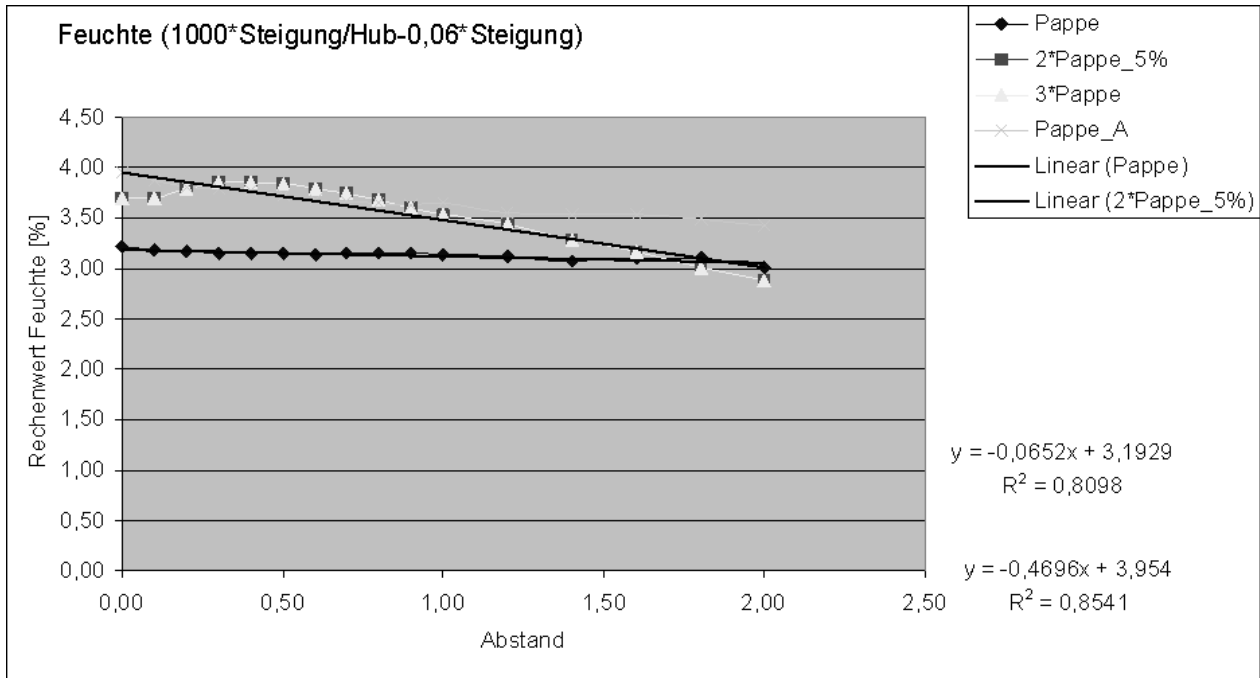


Abbildung 22: Verbesserte Formel aus Steigung und Hub in Abhängigkeit vom Abstand

Bei den vorangehenden Messungen wurde von einem bekannten Flächengewicht ausgegangen. Möchte man Flächengewicht und Restfeuchte bei unterschiedlichem Abstand des Sensors zur Warenbahn ermitteln, wird es notwendig den Sensor in zwei Bereiche zu unterteilen, die unterschiedliche Felder applizieren und ausmessen. Dies lässt sich dadurch erreichen, dass der Elektrodenabstand oder der Abstand zum Material in den beiden Bereichen unterschiedlich ausgeführt wird.

3.4.2.4.2 Unterschiedliche Feuchten

Hier soll untersucht werden, wie weit die Restfeuchte von dem Messwert Steigung/Hub repräsentiert wird. Das Material, das gemessen wird ist Baumwolle in Körper- Webung mit einem Flächengewicht von etwa 250g/m². Das Material wird in Wasser gelegt, danach in Luft getrocknet, bis die gewünschte Feuchte erreicht ist. Diese wird gravimetrisch ermittelt. Danach wird das Gewebe in die Messeinrichtung eingespannt und ausgehend von dem Messabstand 0 die Messungen ausgeführt. Es ist zu berücksichtigen, dass das Gewebe während der Messung weiter austrocknet, insbesondere bei höheren Feuchten.

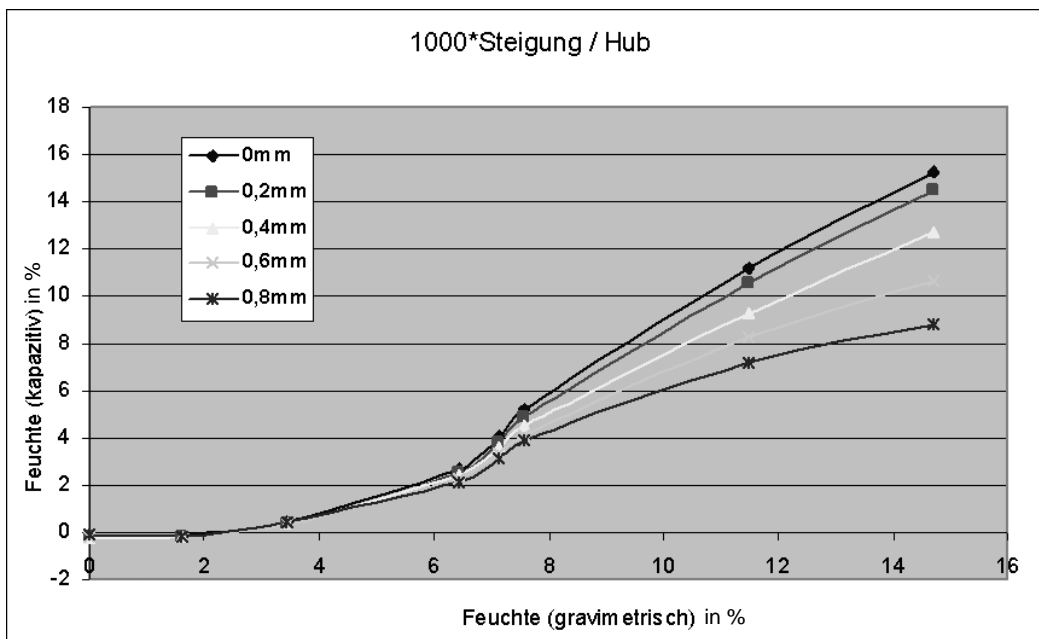


Abbildung 23: Verhältnis von Steigung und Hub in Abhängigkeit von der Feuchte

Selbst zwischen dem Verwiegen und der ersten Messung vergeht Zeit und das Material trocknet nach. Wenn das Material auf etwa 5 bis 6% ausgetrocknet ist, lässt es sich an Luft nicht weiter trocknen. Die Trocknung erfolgt dann im Trockenschrank. Danach wird das Material zwischen Metallplatten abgekühlt, bevor es verwogen und gemessen wird. Die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 23 zu sehen.

3.5 *Installation der Anordnung und Messung des Entladestroms*

3.5.1 *Messprinzip*

Das Messprinzip beruht auf dem physikalischen Zusammenhang, dass die Leitfähigkeit für elektrischen Strom eines Garnes von dessen Feuchtigkeit abhängt. Da das Messverfahren berührungslos sein soll, ist die Idee den Strom über eine Hochspannungselektrode auf das Garn aufzuprägen.

Das zentrale Element dieses Messprinzips ist also die Elektrode, die im Trockenfeld nach dem Trockner der Schlichtmaschine bzw. Beschichtungsanlage über die Ware montiert wird. Die Elektrode wird von einem Generator mit Hochspannung versorgt. Durch die Hochspannung tritt an den Spitzen der Elektrode Ladung in den Raum über der Ware aus.

Das zweite wichtige Element dieses Messprinzips ist ein Entladeelement, das in Warenlaufrichtung hinter der Elektrode angeordnet wird. Die Ladung, die durch die Elektrode über der Ware ausgebracht wird, kann nun über die Ware und das Entladeelement abfließen. Dieser Entladestrom über die Ware ist abhängig von verschiedenen Parametern der Ware, unter anderem von der Warenfeuchtigkeit. Der Entladestrom, der vom Entladeelement zur Erde abfließt, wird gemessen und die Idee ist nun, dass aus der Stromstärke auf die Feuchtigkeit der Ware geschlossen werden kann.

3.5.2 *Messanordnung*

Es wurden verschiedene Anordnungen der Elemente des Messverfahrens getestet. In Abbildung 24 ist die erste Messanordnung zu sehen. Die Elektrode wurde über das Garn auf eine Plexiglasplatte montiert. Die Elektrode hat eine Länge von 145 mm und eine Breite von 20 mm, die Hochspannungsspitzen sind in einer Reihe über eine Länge von 75 mm angeordnet. Der Abstand vom Garn betrug 10 mm. Die geerdete Gegenplatte wurde auf die gleiche Plexiglasplatte unterhalb des Garns montiert. Sie hat eine Länge von 160 mm und eine Breite von 20 mm. Der Abstand zum Garn betrug 10 mm.

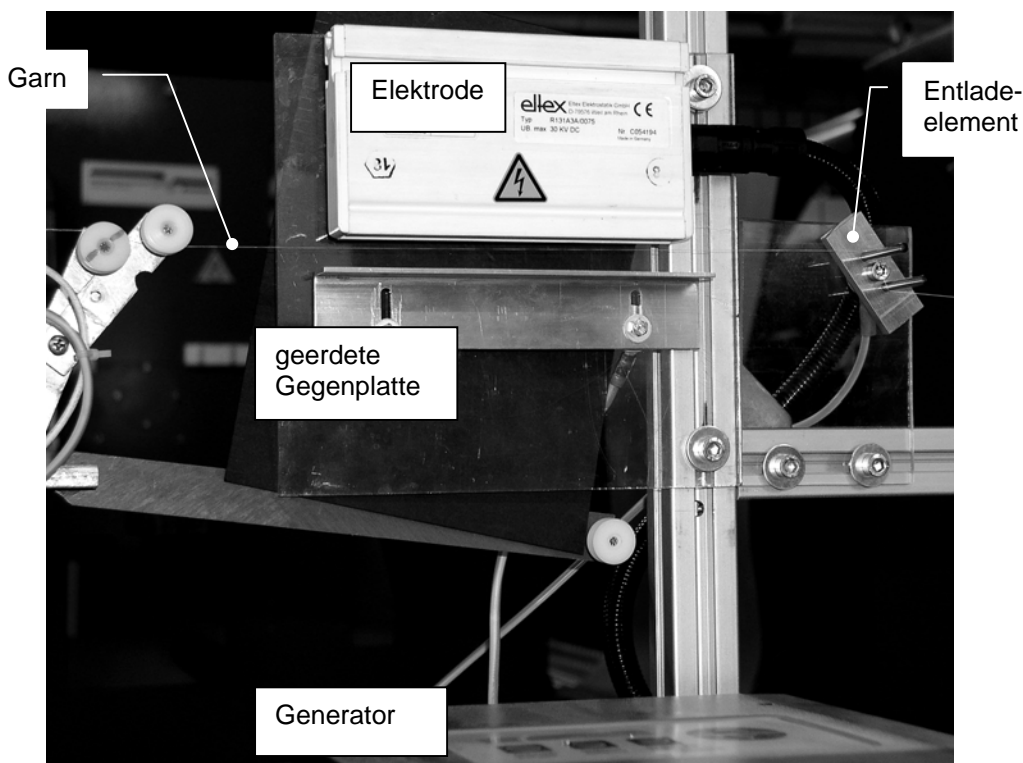


Abbildung 24 Erster Aufbau der Anordnung zur Messung des Entladestrom

Das Entladeelement bestehend aus zwei Metallstiften im Abstand von 16 mm und mit einem Durchmesser von 4 mm, über die das Garn geführt wurde, wurde 87 mm hinter der Elektrode ebenfalls auf eine Plexiglasplatte montiert.

Die Elektrode wurde an den Generator angeschlossen, der sie mit Hochspannung im Bereich von 10 bis 30 kV negativer Polarität versorgte. Der vom Garn aufgenommene und an das Entladeelement abgegebene Strom wurde über ein Kabel vom Entladeelement zu einem Strommessgerät geführt und von dort zur Erde, so dass der Entladestrom gemessen werden konnte. Alternativ konnte der Strom, der von der Gegenplatte aufgenommen wurde, dem Messgerät zugeführt und somit gemessen werden.

In Abbildung 25 ist eine Veränderung der Anordnung zu sehen, in der die Plexiglasplatte, auf der die Elektrode und die Gegenplatte montiert sind, in zwei Stücke geschnitten wurde. Das obere Stück hielt die Elektrode, stand aber nach unten nicht über die Elektrode hinaus, und das untere Stück hielt die Gegenplatte, stand aber nach oben nicht über die Gegenplatte hinaus. Nach diesem Umbau konnten Elektrode und Gegenplatte unabhängig von einander eingestellt werden.

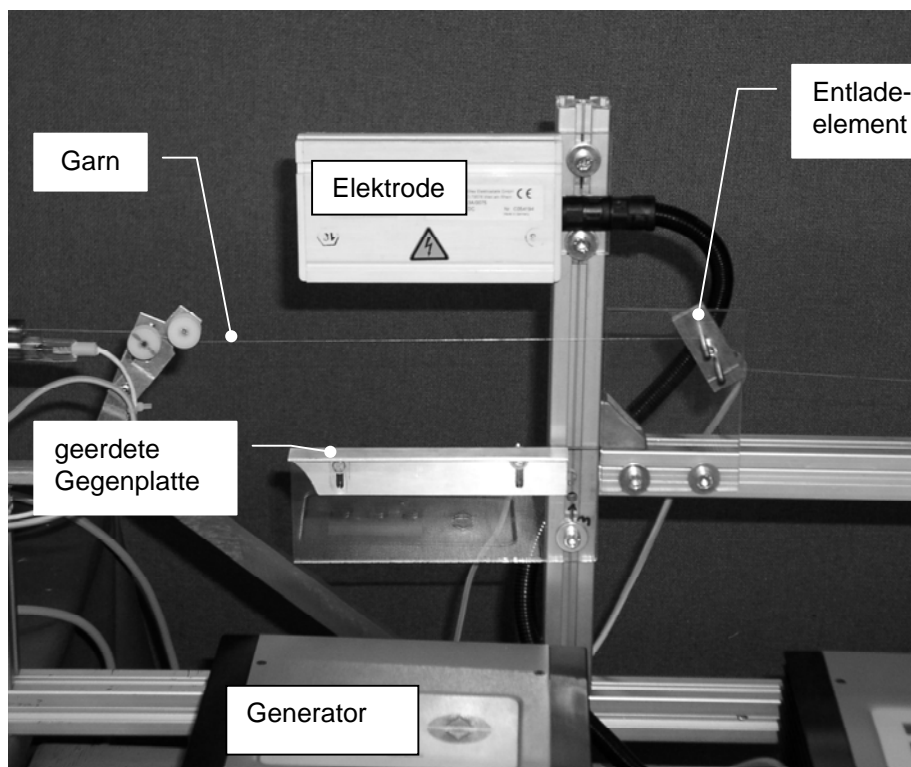


Abbildung 25 Umbau der Anordnung zur Messung des Entladestrom

3.5.3 Diskussion der Ergebnisse

Es gibt im Prinzip drei wesentliche Ergebnisse der durchgeführten Versuche:

- Die Garnfeuchtigkeit ist über den Entladestrom prinzipiell messbar, es besteht eine deutliche Abhängigkeit des Entladestroms von der Feuchtigkeit des Garns.
- Der Entladestrom schwankt sehr stark und es kommt zu unregelmäßigen Entladungsspitzen. Möglicherweise hängt dies mit der ungleichmäßigen Beschichtung auf dem Versuchsstand zusammen.
- Durch die Ladung, die kontinuierlich aus der Hochspannungselektrode in den Raum fließt, kann es auf nichtleitenden Oberflächen zu Auf- und Überladungen kommen. Dies führt wiederum zu unkontrollierbaren Entladungen mit hohen Stromstärken (Funkenentladungen). Diese Entladungen stellen eine Gefahr für die Messtechnik und für die Garne dar. Da es durch Verschmutzungen in einer Schlichterei immer wieder zu nichtleitenden Oberflächen kommen kann, ist diese Gefahr ständig gegeben. Sie kann sicherlich durch eine angepasste Elektrodestromstärke reduziert werden.

Da die Elektrode inline mit dem Faden angeordnet war, haben alle Spitzen Ladung auf den Faden übertragen und diesen offensichtlich im Sinne der Überschreitung der elektrischen Grenzladungsdichte gegen die umgebende Atmosphäre überladen, was zur Sekundäremission (Sprühentladung des Fadens) führte und auch die heftigen Fadenbewegungen über die Kraftwirkungen des E-Feldes auslöste.

Rechnet man mit der max. Flächenladungsdichte $\sigma = 2,7 \cdot 10^{-5} \text{ C/m}^2$, Garneschwindigkeit $v = 100 \text{ m/min}$ und Fadendurchmesser $d = 0,1\text{mm}$, so dürfen max. $14 \text{ nA} = 0,014 \mu\text{A}$ über einen Faden fließen. Diese Abschätzung geht davon aus, dass sich die über den Elektrodenstrom aufgebrauchte Ladung homogen auf der Fadenoberfläche verteilt, und liegt in der gleichen Größenordnung wie die gemessenen Ströme. Parasitäre Ströme zur Gegenelektrode oder zur Umgebung des Testaufbaues werden bei dieser Abschätzung vernachlässigt. Ein derart kleiner Strom wäre nur mit einem Stromkonstant-Generator und entsprechender Auflösung stabil zu erzeugen. Auch der bzgl. des Strombereichs angepasste KNH34, der bei den Versuchen eingesetzt wurde, kann bestenfalls eine Auflösung von $500 \mu\text{A}/1024 = 0,5 \mu\text{A}$.

In der vorgesehenen Praxis für dieses Messverfahren würde eine solche Elektrode um 90° gedreht, d.h. senkrecht zur Fadenschar, angeordnet werden und je Spitze immer mehrere Fäden elektrisch aufladen; mit Sicherheit $n > 10$ Fäden pro Spitze. Der Messstrom je Spitze muss unter allen Umständen so gewählt werden, dass Überladung des Einzelfadens und damit Sekundäremission verhindert werden. Der berechnete kleine Messstrom für nur einen Faden ist sicherlich sehr niedrig, was aber für die Praxis keine Bedeutung hat, da dort eine ganze Fadenschar n Teilladungen zur Auswertung liefert, was zumindest für eine Arbeitsbreite von 120 mm kein prinzipielles Problem darstellen sollte. Funktioniert das Verfahren für eine solche Teilbreite, dann ist zudem vorstellbar, dass mehrere solcher teilbreiten Elektroden auf voneinander isolierte Ladungs- bzw. Messstromableiter arbeiten und der Strommesser periodisch elektronisch umgeschaltet werden kann. Eine solche Anordnung erlaubt dann, das Trocknungsprofil eines Kettbaumes zu messen und falls gewünscht auch zu visualisieren. Ein Hochspannungsgenerator mit einem Hochspannungsverteiler würde genügen.

Abgesehen von der beschriebenen signifikant schwankenden Auftragsmenge auf dem Teststand würde eine solche, praxiserichte Anordnung der Elektrode (Elektrodenachse 90° zum Fadenverlauf) eine Fadenschar aufladen und damit auch ein wesentlich stabileres, gemittelt und mit besserem Störabstand ausgestattetes Nutzsignal liefern. Für die Untersuchung des Entladestroms mit der Elektrode ist der vorliegende Aufbau der denkbar ungünstigste.

In der vorgesehenen praktischen Anwendung muss die Messeinrichtung immer am Ende der Trocknerstrecke platziert sein. Damit wäre systematisch sichergestellt, dass nie nasses Garn die Messstelle passiert, da solches immer Ausschuss bedeutet; nur die Übertrocknung soll verhindert werden. Die Strecke zurück Richtung Schlichtemittelauftrag ist sicher sehr viel größer als die Strecke in Richtung zur Strom-Messstelle. Im Wesentlichen wird der Messstrom daher in Richtung zur Messstelle bzw. Aufwicklung fließen. Daraus ist abzuleiten, dass der Strom nur über nahezu trockenes Garn fließt um der Aufgabenstellung entsprechend die „Restfeuchte“ abzubilden bzw. zu messen.

3.6 Gegenüberstellung beider Messverfahren

Für die Beurteilung der beiden Messverfahren wurde eine Gegenüberstellung gemacht, in der die Eigenschaften, der Aufbau aber auch Risiken und mögliche Fehlerquellen der Messverfahren erfasst, abgeschätzt und aufgeführt sind. Die Gegenüberstellung ist in Tabelle 4 zu sehen.

Tabelle 4: Gegenüberstellung von Eigenschaften und Risiken der beiden Messverfahren

Messverfahren	Entladestromprinzip	Kapazitives Messverfahren
Aufbau	Die Anordnung besteht aus Hochspannungselektrode und -generator, evtl. geerdete Gegenelektrode, Strommessgerät und Rechneinheit zur Datenerfassung und -auswertung	Die Anordnung besteht aus Messsensor und Rechneinheit zur Datenerfassung und -auswertung
	Das Messverfahren benötigt eine Berührungsstelle zum Garn, es kann aber eine vorhandene (Walze, Kamm o.ä.) verwendet werden	Das Messverfahren arbeitet völlig berührungslos
Messvoraussetzungen	Die Produktionsanlage muss gründlich geerdet sein. Elektrode muss kriechstromsicher eingebaut werden	Es dürfen keine anderen starken Wechselfelder im Bereich des Sensors vorhanden sein.

Messverfahren	Entladestromprinzip	Kapazitives Messverfahren
Verschmutzung	Die Spitzen der Elektrode verschmutzen nicht, durch die absprühende Ladung kommt es zu einem Selbstreinigungseffekt Aber das Entladeelement (Walze, Kamm o.ä.) kann verschmutzen.	Der Kondensator kann durch feuchtes Garn, abdampfende Präparationen oder Staub verschmutzen.
Mögliche Fehlerquellen für die Messung	Durch Verschmutzung des Entladeelements kann sich der Übergangswiderstand zwischen Garn und Entladeelement ändern. Es tritt ein Leckstrom auf. Wenn sich dieser Leckstroms ändert, durch Potentialänderungen oder Änderung von Leitfähigkeiten der Umgebung, kann dies zu einer Beeinflussung des Messsignals führen. Außerdem kann das Messsignal beeinflusst werden von Entladeströme die auf dem Garn in die andere Richtung fließen	Verschmutzungen des Sensors verändern das Messsignal. Die Luftfeuchte oder ein sich ändernder Garnquerschnitt können das Messsignal beeinflussen. Der Kondensator kann als Antenne für elektromagnetische Wechselfelder wirken, dies würde das Messsignal verfälschen.
Gefahren für die Produktionsanlage	Durch die Hochspannung an den Elektroden und den Leckstrom kann es zu Aufladungen am Garn und an der Maschine kommen. Aufladungen des Garns kann zu Garnbrüchen führen. Aufladungen an nichtleitenden Oberflächen der Maschine können zu unkontrollierten Entladungen führen, die die Maschine und die Messtechnik gefährden.	Es sind momentan keine Gefährdungen für die Produktionsanlage zu erkennen. Aufladungen am Garn oder an der Maschine sind nicht zu befürchten.
Bewertung		Das Messverfahren ist vermutlich genauer und die Messanordnung ist vermutlich preisgünstiger.
Zusatznutzen		Voraussichtlich kann mit dem Verfahren auch gleich der Beschlichtungsgrad gemessen werden.
Vermarktung	Fa. Eltex will vermutlich nur die Komponenten zu dem Messverfahren liefern. Die verkaufsfähige Komplettierung, Montage, Vertrieb und Service müsste von einer anderen Firma übernommen werden.	Fa. Dr. Weiss vermarktet das Messgerät schon für andere Anwendungen

3.7 Entwicklung und Einsatz des Referenzmessverfahrens

3.7.1 Messprinzip

Um die beiden Messverfahren kalibrieren zu können, wird ein weiteres einfaches aber genaues Messverfahren benötigt. Da kleinste Restfeuchtemengen gemessen werden sollen, ist einfaches Befeuchten von Garnen oder Textilien nicht geeignet, denn dabei werden meist zu große Mengen an Wasser aufgebracht. Da diese kleinen Feuchtemengen auch sehr schnell trocknen, muss mit dem Referenzverfahren und dem zu kalibrierenden Verfahren gleichzeitig gemessen werden.

Deshalb wurde der folgende Aufbau konzipiert und umgesetzt:

Das Garn wurde auf eine Garnweife aufgespult, so dass das Garn größtenteils einlagig lag und somit größtmöglichen Kontakt zur Luft hatte. Diese Garnweife wurde auf eine Waage gestellt und beides zusammen in einen Klimaschrank. Der kapazitive Sensor in der Einzelfadenausführung wurde so montiert, dass ein Faden der Weife durch den Sensor lief. So konnte die Feuchtigkeit des Garnes gleichzeitig über das Gewicht des Garnes und über den kapazitiven Sensor bestimmt werden. Verändert wurde die Garnfeuchte über die Luftfeuchte in dem Klimaschrank.

Um den offenen Sensor, der an der Fadenschar misst, zu prüfen, wurde Garn auf ein Rähmchen gewickelt. Dabei konnten unterschiedliche Garndichten (Abstände zwischen den Garnen) realisiert werden. Diese Rähmchen wurde vor den Sensor montiert. So konnten auch unterschiedliche Abstände zwischen dem Sensor und den Garnen eingestellt werden.

In Abbildung 5 ist der Klimaschrank zu sehen. In seinem Inneren steht die Waage mit der Garnweife und im Hintergrund der kapazitive Sensor. Kabel führen die Signale der Messgeräte durch die Wand des Klimaschranks und außerhalb werden sie von Rechnern erfasst und ausgewertet.

Es wurden auch Messungen mit beschlichteten Garnen durchgeführt, um den Einfluss des Schlichtemittels auf das Messsignal zu bestimmen.

Die Luftfeuchte wurde auf die relativen Werte 20%, 40%, 60% und 80% eingestellt. Bei jeder Einstellung wurde an der Waage das Gewicht der Weife mit dem Garn abgelesen und mit dem kapazitiven Sensor wurden 10 Kurven aufgenommen, aus denen eine mittlere Kurve errechnet wurde. Aus dem Gewicht der Weife, des trockenen Garns sowie der im Klimaschrank abgelesenen Werte des feuchten Garns mit der Weife lässt sich die Feuchte des Garns bestimmen. Nun ließ sich jeder mittleren Kurve des kapazitiven Sensors eine Feuchte des Garns zuordnen.

Mit Hilfe eines von der Firma Dr. Weiss entwickelten Auswerteprogramms wurde diese Zuordnung ausgewertet und Regressionsfaktoren bestimmt. Da die Kurven des kapazitiven Sensors große Sprünge aufweisen, werden bei dieser Auswertung zunächst zwei Bereiche außerhalb der Sprünge ausgewählt, die aussagekräftig sind. Die beiden Auswertebereiche sind um den halben Messbereich verschoben, da sich das Messsignal nach dem halben Messbereich mit umgekehrtem Vorzeichen wiederholt. Von diesen Bereichen werden die Beträge der Anfangshöhe (T1) und der Steigung (T2-T1) bestimmt und über beide Bereiche gemittelt.

Der Zusammenhang der Restfeuchte mit diesen beiden Werten wird folgendermaßen angesetzt:

$$RF (\%) = K1 * T1 + K2 * (T2-T1)$$

und die Koeffizienten K1 und K2 werden mit einem Regressionsverfahren bestimmt. Diese und andere Werte werden in eine Resultatedatei geschrieben. Diese Datei wird bei einer späteren Messung zur Kalibrierung in den Sensor geladen. Der Sensor bestimmt dann online die Werte T1 und (T2-T1) und kann so direkt die Restfeuchte ermitteln. In der nachfolgenden Tabelle 5 sind die Werte K1 und K2 mitaufgeführt.

Mit diesen Messungen im Klimaschrank kann der Sensor auf die Feuchtemessung kalibriert werden. Man kann auch das Ansprechverhalten und die Sensitivität bei sehr niedrigen Feuchten bestimmen. Es kann aber keine Aussage abgeleitet werden, ob die Sensitivität des Sensors für die Messaufgabe an der Schlichtmaschine ausreicht, da für diese Messaufgabe keine Werte für die Grenzfeuchte bekannt sind. Um die Frage, ob die Sensitivität des Sensors ausreicht, beantworten zu können, müssen Versuche auf der Schlichtmaschine gemacht werden, bei denen als Kriterium das Verkleben der Garne auf dem Kettbaum verwendet wird.

3.7.2 Versuchsplan

In Tabelle 5 sind die Einstellparameter für die einzelnen Versuche zusammengefasst. Variiert wurde neben dem Garnmaterial die Abstände der einzelnen Garne auf dem Rähmchen und der Abstand zwischen Garn und Sensor sowie der Beschlichtungsgrad und die Luftfeuchte im Klimaschrank. Das Schlichtemittel wurde jeweils an das Garnmaterial angepasst.

Tabelle 5: Plan der Einstellparameter für die Versuche im Klimaschrank und deren Ergebnisse

Versuch Nr.	Garn- abstand mm	Abstand Garn-Sensor mm	Garn- material	Garn- feinheit dtex	Filament- zahl	Schlichte mittel	Beschlicht.- grad %	Luft- feuchte %	Garn- feuchte %	Koeffizienten der Regressionsanalyse	
										K1	K2
K_001	0,5	1	PA 6.6	110	f 34	--	0	19	2,6	-6,99E-04	1,07E-02
K_002	0,5	1	PA 6.6	110	f 34	--	0	40	3,5		
K_003	0,5	1	PA 6.6	110	f 34	--	0	59	5,5		
K_004	0,5	1	PA 6.6	110	f 34	--	0	79	9,4		
K_005	0,5	2	PA 6.6	110	f 34	--	0	80	12,5	2,00E-04	1,68E-03
K_006	0,5	2	PA 6.6	110	f 34	--	0	60	8,8		
K_007	0,5	2	PA 6.6	110	f 34	--	0	40	5,1		
K_008	0,5	2	PA 6.6	110	f 34	--	0	20	0,2		
K_009	0,5	3	PA 6.6	110	f 34	--	0	18	0,4	3,73E-04	-5,14E-03
K_010	0,5	3	PA 6.6	110	f 34	--	0	40	1,4		
K_011	0,5	3	PA 6.6	110	f 34	--	0	59	3,7		
K_012	0,5	3	PA 6.6	110	f 34	--	0	80	8,1		

Versuch Nr.	Garn- abstand mm	Abstand Garn-Sensor mm	Garn- material	Garn- feinheit dtex	Filament- zahl	Schlichte mittel	Beschlicht.- grad %	Luft- feuchte %	Garn- feuchte %	Koeffizienten der Regressionsanalyse	
										K1	K2
K_013	1	1	PA 6.6	110	f 34	--	0	19	0,9	2,10E-04	-3,02E-03
K_014	1	1	PA 6.6	110	f 34	--	0	40	1,1		
K_015	1	1	PA 6.6	110	f 34	--	0	60	2,5		
K_016	1	1	PA 6.6	110	f 34	--	0	80	8,1		
K_017	0,25	1	PA 6.6	110	f 34	--	0	20	2,0	6,06E-04	-9,17E-03
K_018	0,25	1	PA 6.6	110	f 34	--	0	39	1,5		
K_019	0,25	1	PA 6.6	110	f 34	--	0	59	3,5		
K_020	0,25	1	PA 6.6	110	f 34	--	0	79	7,5		
K_021	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	--	0	19	2,0	2,15E-04	-2,13E-03
K_022	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	--	0	40	2,4		
K_023	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	--	0	60	3,7		
K_024	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	--	0	79	7,2		
K_025	1	1	PA 6.6	156	f 34	--	0	19	0,5	3,93E-04	-4,93E-03
K_026	1	1	PA 6.6	156	f 34	--	0	40	1,5		
K_027	1	1	PA 6.6	156	f 34	--	0	60	3,8		
K_028	1	1	PA 6.6	156	f 34	--	0	79	7,4		
K_029	0,5	1	PA 6.6	44	f 34	--	0	18	0,3	5,90E-04	-7,38E-03
K_030	0,5	1	PA 6.6	44	f 34	--	0	40	1,7		
K_031	0,5	1	PA 6.6	44	f 34	--	0	59	3,7		
K_032	0,5	1	PA 6.6	44	f 34	--	0	79	8,6		
K_033	1	1	PA 6.6	44	f 34	--	0	20	0,2	1,08E-03	-1,62E-02
K_034	1	1	PA 6.6	44	f 34	--	0	39	1,4		
K_035	1	1	PA 6.6	44	f 34	--	0	60	3,8		
K_036	1	1	PA 6.6	44	f 34	--	0	79	8,2		
K_037	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	1,41	19	1,4	1,84E-04	2,91E-03
K_038	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	1,41	39	2,3		
K_039	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	1,41	59	4,1		
K_040	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	1,41	79	7,9		
K_041	1	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	1,41	21	1,3	1,20E-04	4,31E-03
K_042	1	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	1,41	39	2,3		
K_043	1	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	1,41	59	4,3		
K_044	1	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	1,41	80	7,3		
K_045	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	2,08	19	2,3	7,49E-04	9,87E-04
K_046	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	2,08	40	2,8		
K_047	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	2,08	61	3,6		
K_048	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	2,08	80	7,7		
K_049	1	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	2,08	18	0,9	1,53E-03	2,05E-03
K_050	1	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	2,08	39	2,0		
K_051	1	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	2,08	60	4,2		
K_052	1	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	2,08	80	7,7		
K_053	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	4,62	20	0,8	-3,30E-05	2,22E-03
K_054	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	4,62	39	1,7		
K_055	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	4,62	59	3,8		
K_056	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	4,62	80	8,0		
K_057	1	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	4,62	20	0,3	-8,30E-05	3,42E-03
K_058	1	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	4,62	40	1,4		
K_059	1	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	4,62	60	4,2		
K_060	1	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	4,62	80	9,3		
K_061	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	7	19	0,4	1,25E-03	7,52E-04
K_062	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	7	40	1,4		
K_063	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	7	59	3,6		
K_064	0,5	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	7	80	8,2		
K_065	1	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	7	19	1,1	-6,26E-04	2,08E-03
K_066	1	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	7	40	2,1		
K_067	1	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	7	60	4,2		
K_068	1	1	PA 6.6	156	f 34	BASF 3243	7	79	8,8		
K_069	--	--	--	--	--	--	--	18			
K_070	--	--	--	--	--	--	--	39			
K_071	--	--	--	--	--	--	--	60			
K_072	--	--	--	--	--	--	--	79			
K_073	0,5	1	PES	76	f128	--	0	19	0,0	6,32E-04	-3,19E-03
K_074	0,5	1	PES	76	f128	--	0	41	0,1		
K_075	0,5	1	PES	76	f128	--	0	58	0,7		
K_076	0,5	1	PES	76	f128	--	0	78	2,3		
K_077	1	1	PES	76	f128	--	0	21	0,3	1,58E-04	-1,81E-03
K_078	1	1	PES	76	f128	--	0	37	0,0		
K_079	1	1	PES	76	f128	--	0	56	0,5		
K_080	1	1	PES	76	f128	--	0	78	2,2		
K_085	0,5	1	PES	280	f34	--	0	19	0,0	-1,36E-05	1,77E-05

Versuch Nr.	Garn- abstand mm	Abstand Garn-Sensor mm	Garn- material	Garn- feinheit dtex	Filament- zahl	Schlichte mittel	Beschlicht.- grad %	Luft- feuchte %	Garn- feuchte %	Koeffizienten der Regressionsanalyse	
										K1	K2
K_086	0,5	1	PES	280	f34	--	0	41	0,1		
K_087	0,5	1	PES	280	f34	--	0	60	0,4		
K_088	0,5	1	PES	280	f34	--	0	79	0,9		
K_089	1	1	PES	280	f34	--	0	21	0,0	1,68E-07	2,55E-05
K_090	1	1	PES	280	f34	--	0	37	0,2		
K_091	1	1	PES	280	f34	--	0	57	0,5		
K_092	1	1	PES	280	f34	--	0	79	1,3		
K_093	0,5	1	PES	33	f18	--	0	21	0,0	5,31E-04	-3,31E-03
K_094	0,5	1	PES	33	f18	--	0	40	0,3		
K_095	0,5	1	PES	33	f18	--	0	59	1,2		
K_096	0,5	1	PES	33	f18	--	0	78	4,0		
K_097	1	1	PES	33	f18	--	0	20	0,0	4,02E-04	-3,02E-03
K_098	1	1	PES	33	f18	--	0	41	0,3		
K_099	1	1	PES	33	f18	--	0	57	1,2		
K_100	1	1	PES	33	f18	--	0	79	3,6		
K_105	0,5	1	PES	76	f128	SF 2	9,62	19	0,0	1,81E-03	3,61E-04
K_106	0,5	1	PES	76	f128	SF 2	9,62	36	0,8		
K_107	0,5	1	PES	76	f128	SF 2	9,62	56	3,1		
K_108	0,5	1	PES	76	f128	SF 2	9,62	78	5,8		
K_109	1	1	PES	76	f128	SF 2	9,62	19	0,3	2,70E-03	-6,75E-06
K_110	1	1	PES	76	f128	SF 2	9,62	40	0,9		
K_111	1	1	PES	76	f128	SF 2	9,62	56	2,7		
K_112	1	1	PES	76	f128	SF 2	9,62	81	5,9		
K_113	0,5	1	PES	76	f128	SF 2	5,32	20	0,0	-5,37E-04	7,50E-03
K_114	0,5	1	PES	76	f128	SF 2	5,32	38	1,0		
K_115	0,5	1	PES	76	f128	SF 2	5,32	58	3,2		
K_116	0,5	1	PES	76	f128	SF 2	5,32	79	5,6		
K_117	1	1	PES	76	f128	SF 2	5,32	19	0,1	1,65E-04	3,60E-04
K_118	1	1	PES	76	f128	SF 2	5,32	40	0,6		
K_119	1	1	PES	76	f128	SF 2	5,32	57	2,7		
K_120	1	1	PES	76	f128	SF 2	5,32	80	6,2		

3.7.3 Ergebnisse

Mit jeder Garnbewicklung wurde bei vier verschiedenen Luftfeuchten gemessen. Zum einen wurde das Gewicht des Garns auf der Weife gemessen. Daraus wurde die Garnfeuchte berechnet, die in Tabelle 5 in Spalte 10 aufgeführt ist. Zum anderen wurde das Signal des kapazitiven Sensors aufgenommen. Bei den Messungen K_069 bis K_072 wurde ohne Garn gemessen, so dass der Einfluss der feuchten Luft gemessen wurde. Der Einfluss der feuchten Luft wurde bei den anderen Messungen entsprechend der Luftfeuchte herausgerechnet. Diese korrigierten Signale wurden mit dem Regressionsprogramm der Firma Dr. Weiss ausgewertet. Es wurden zwei Koeffizienten K1 und K2 bestimmt, die ebenfalls in Tabelle 5 in den Spalten 11 und 12 dargestellt sind. Diese Koeffizienten können in den Sensor zurückgespielt werden, so dass dieser direkt die Garnfeuchte misst.

Im folgenden werden einige Zusammenhänge, die in den Messreihen stecken, dargestellt. Die Messreihen umfassen jeweils 128 Messpunkte, wobei die zweite Hälfte der ersten mit umgekehrten Vorzeichen entspricht, da der Strom zum Kondensator beim Anlegen einer Dreiecksspannung gemessen wird. Da die Kurven z.T. sehr dicht beieinander liegen, wurde die jeweils erste Hälfte der Messreihen herausvergrößert. Die Spitzen im Bereich zwischen 60 und 64 sowie vor 128 sind Artefakte, die durch die Differenzbildung mit der Kurve der Luftfeuchtigkeit entstanden sind. Da sie aber bei der weiteren Auswertung mit dem Regressionsprogramm nicht berücksichtigt werden, wurden sie nicht entfernt.

3.7.3.1 Variation der Feuchte bei unbeschlichtetem Polyamidgarn

In Abbildung 26 und Abbildung 27 sind die Messkurven der Versuche K_021 bis K_024 dargestellt, um die Änderung des Messsignals eines Polyamidgarns mit der Feuchte darzustellen. Die zugehörigen Feuchtwerte sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Die beiden ersten Feuchtwerte, die dicht beieinander liegen, bewirken fast die gleiche Kurve. Beim dritten Wert wird die Kurve zu größeren Werten aufgespreizt und beim letzten, der deutlich höher liegt, ändert sich die Steigung der Kurve.

Tabelle 6: Feuchte der Versuche K_021 bis K_024

Versuch	Garnfeuchte
Nr.	%
K_021	2,0
K_022	2,4
K_023	3,7
K_024	7,2

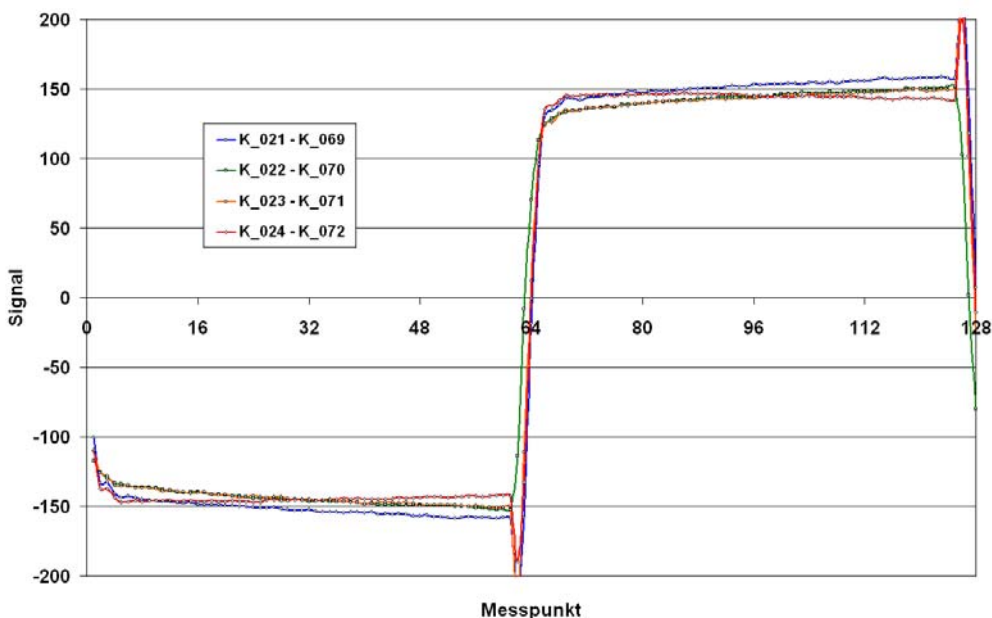


Abbildung 26: Messreihen bei unterschiedlichen Feuchten, unbeschichtetes Polyamidgarn

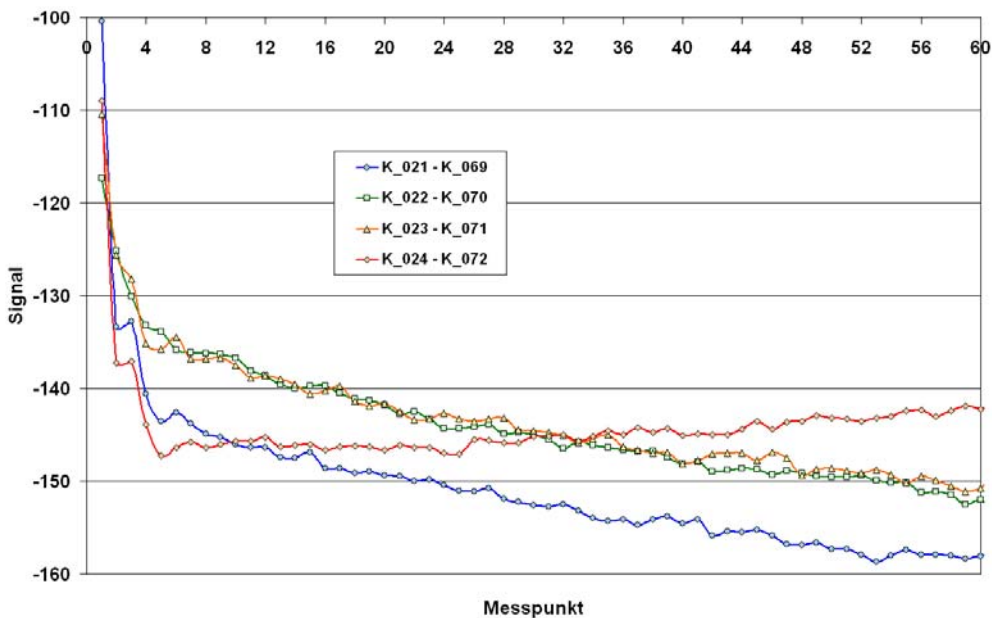


Abbildung 27: Messreihen bei unterschiedlichen Feuchten, unbeschichtetes Polyamidgarn, Ausschnitt

3.7.3.2 Variation der Feuchte bei unbeschichtetem Polyestergerarn

In Abbildung 28 und Abbildung 29 sind die Messkurven der Versuche K_085 bis K_088 dargestellt, um die Änderung des Messsignals eines Polyestergerarns mit der Feuchte darzustellen. Die zugehörigen Feuchte-werte sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7: Feuchte der Versuche K_085 bis K_088

Versuch	Garnfeuchte
Nr.	%
K_085	0,0
K_086	0,1
K_087	0,4
K_088	0,9

Beim Polyester Garn nimmt mit zunehmender Feuchte die Steigung des Messsignals zu.

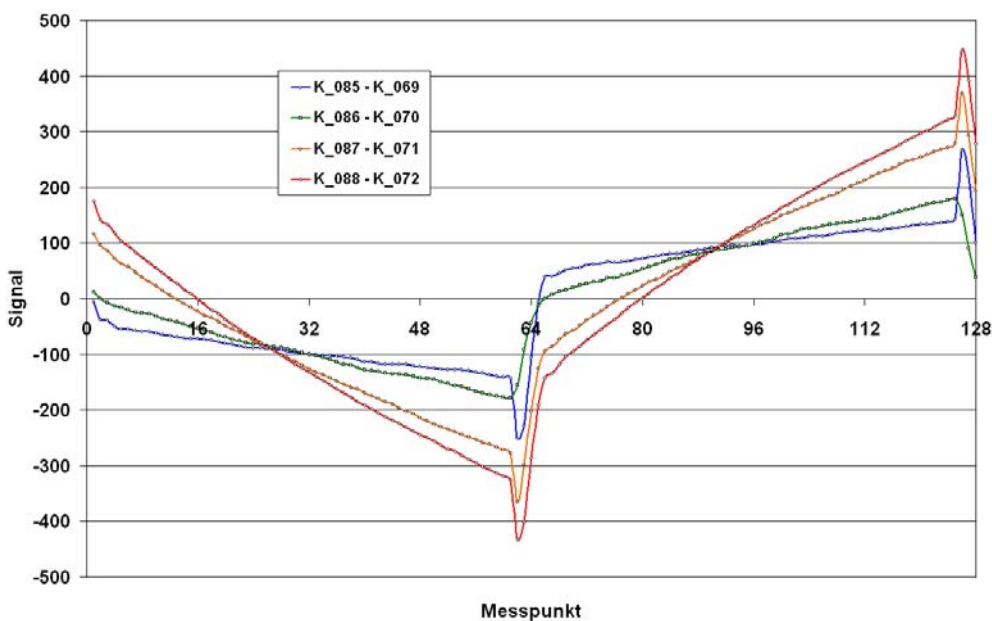


Abbildung 28: Messreihen bei unterschiedlichen Feuchten, unbeschichtetes Polyester Garn

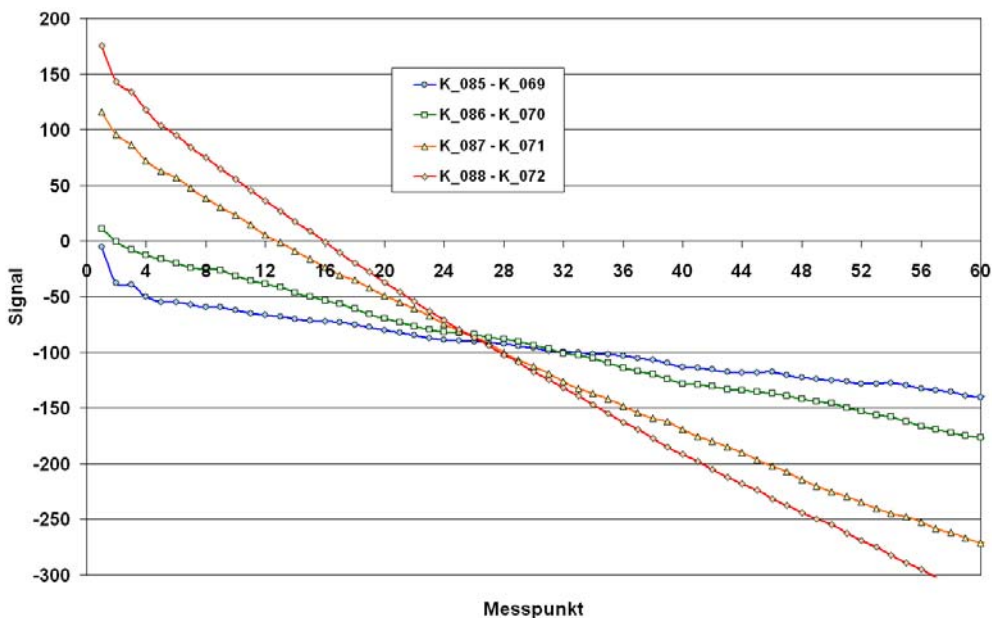


Abbildung 29: Messreihen bei unterschiedlichen Feuchten, unbeschichtetes Polyester Garn, Ausschnitt

3.7.3.3 Variation der Feuchte bei beschichtetem Polyamidgarn

In Abbildung 30 und Abbildung 31 sind die Messkurven der Versuche K_061 bis K_064 dargestellt, um die Änderung des Messsignals eines beschichteten Polyamidgarns mit der Feuchte darzustellen. Die zugehörigen Feuchtwerte sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8: Feuchte der Versuche K_061 bis K_064

Versuch	Garnfeuchte
Nr.	%
K_061	0,4
K_062	1,4
K_063	3,6
K_064	8,2

Die Änderung des Kurvenverlaufs ist ähnlich dem des unbeschichteten Polyamidgarns. Zunächst vergrößert sich mit zunehmender Feuchte nur die Größe des Messsignals und bei wesentlich größeren Feuchtwerten ändert sich die Steigung.

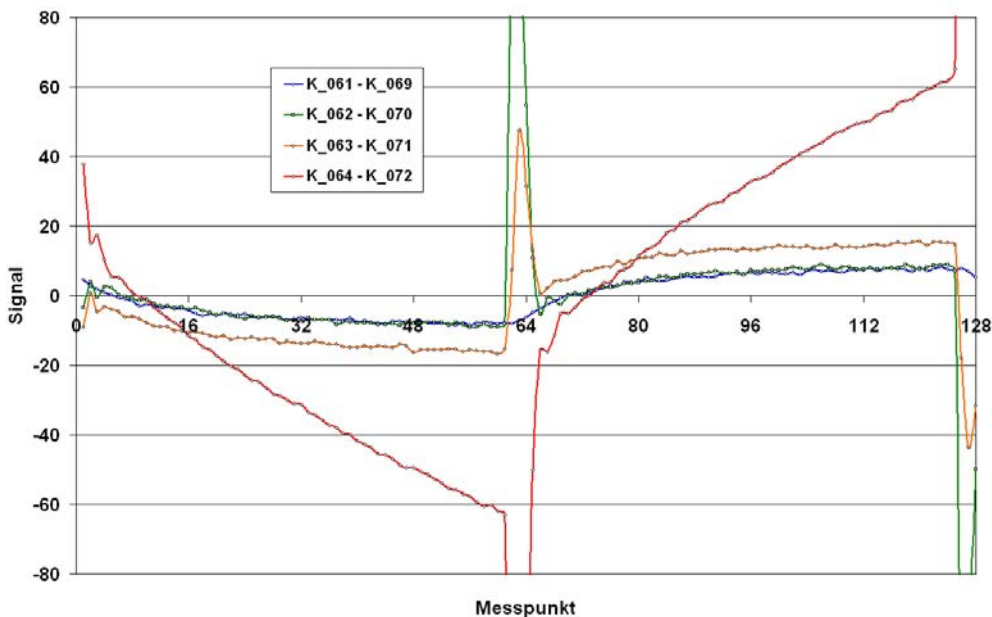


Abbildung 30: Messreihen bei unterschiedlichen Feuchten, beschichtetes Polyamidgarn

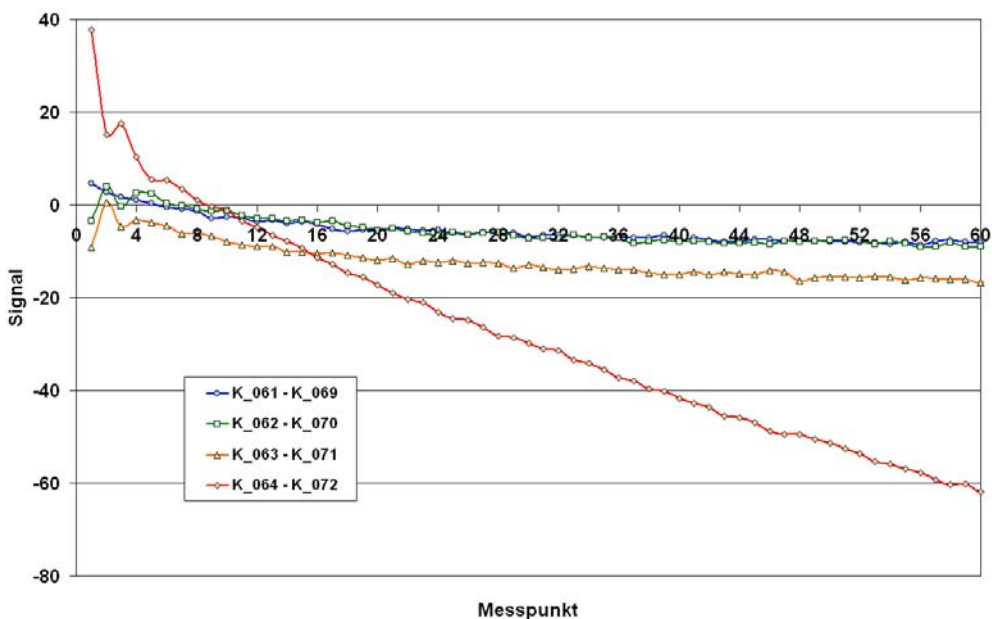


Abbildung 31: Messreihen bei unterschiedlichen Feuchten, beschichtetes Polyamidgarn, Ausschnitt

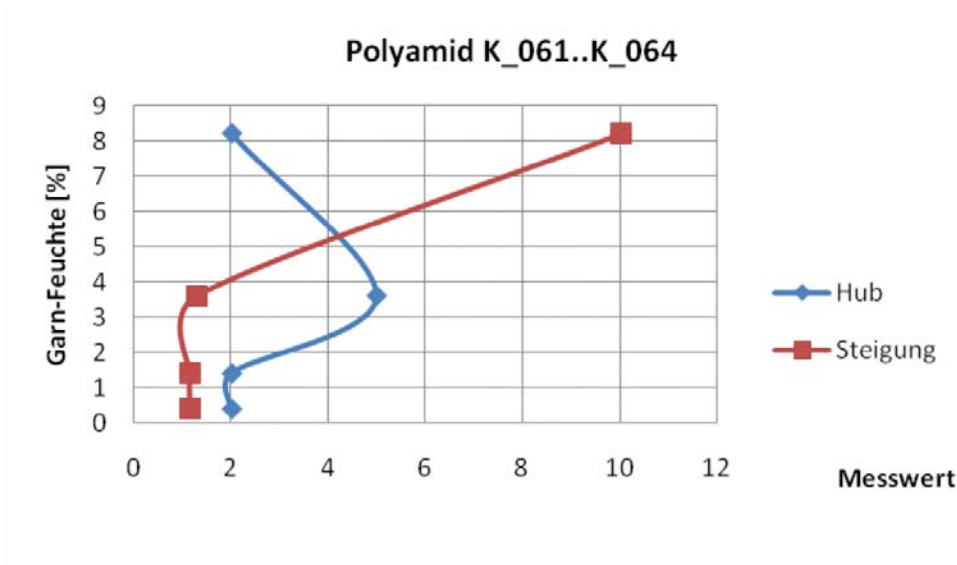


Abbildung 32: Auswertung von Hub und Steigung

In Abbildung 32 hat man einen Restfeuchtebereich von etwa 3% bei dem der Messwert nicht von der Feuchte abhängt, da die Feuchte in der Steigung gemessen wird. Ein Schnittpunkt ist ebenfalls nicht deutlich zu erkennen.

3.7.3.4 Variation der Feuchte bei beschichtetem Polyestergerarn

In Abbildung 33 und Abbildung 34 sind die Messkurven der Versuche K_105 bis K_108 dargestellt, um die Änderung des Messsignals eines beschichteten Polyamidgarns mit der Feuchte darzustellen. Die zugehörigen Feuchtwerte sind in Tabelle 9 aufgeführt. Die Änderung des Kurvenverlaufs ist ähnlich dem des beschichteten Polyamidgarns. Zunächst vergrößert sich mit zunehmender Feuchte nur die Größe des Messsignals und bei wesentlich größeren Feuchtwerten ändert sich die Steigung. Ein sauber auswertbares Signal ergibt sich erst ab 60% Luftfeuchte bzw. 3,1% Garnfeuchte.

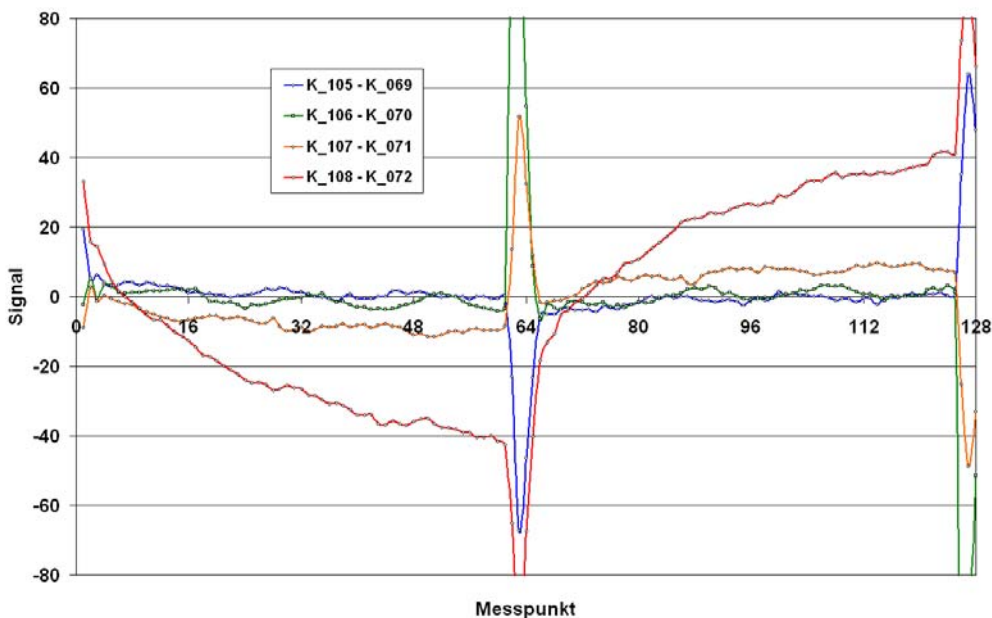


Abbildung 33: Messreihen bei unterschiedlichen Feuchten, beschichtetes Polyestergerarn

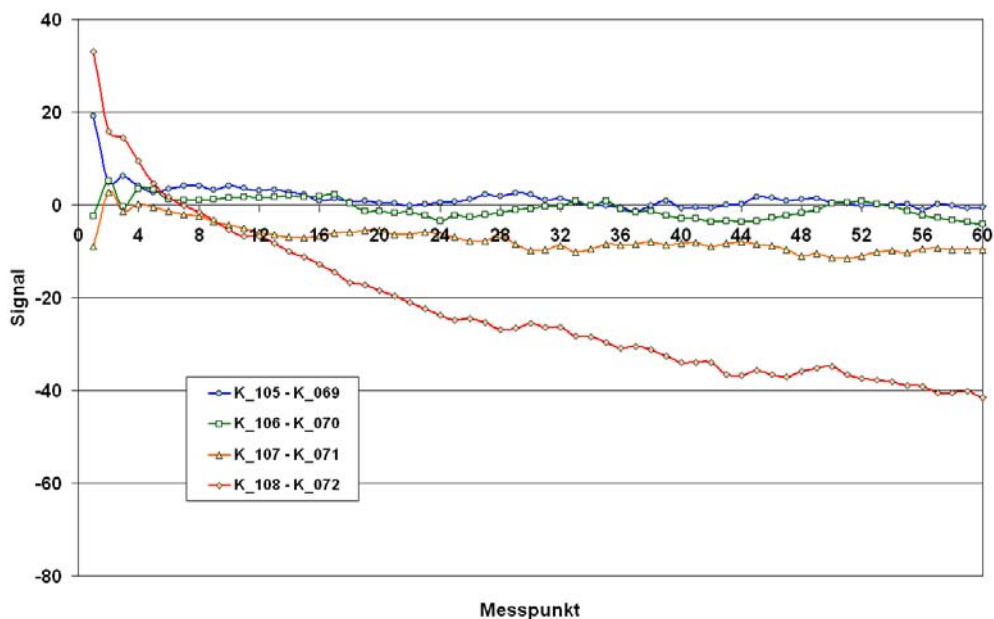


Abbildung 34: Messreihen bei unterschiedlichen Feuchten, beschichtetes Polyester Garn, Ausschnitt

Tabelle 9: Feuchte der Versuche K_105 bis K_108

Versuch	Garn-feuchte
Nr.	%
K_105	0,0
K_106	0,8
K_107	3,1
K_108	5,8

Polyester K_105 - K_108

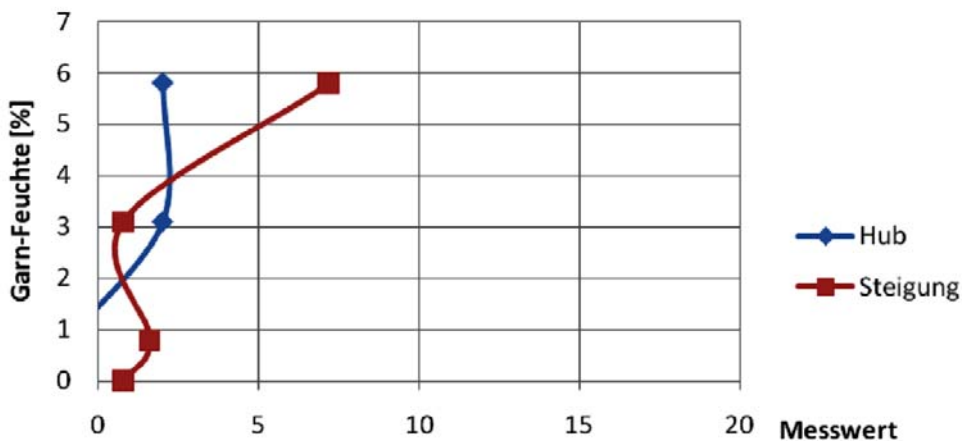


Abbildung 35: Auswertung von Hub und Steigung

Es fällt auf, dass es hier mit ca. 3% einen Restfeuchtbereich gibt, bei dem die Feuchte nicht gemessen werden kann (s. Abbildung 35). Dieses Verhalten ähnelt dem der eingangs gezeigten Gewebe (s. Abbildung 55). Ursache könnte die zur Masse relativ hohe Oberfläche sein, auf die das Wasser verteilt ist. Dadurch ergibt sich eine hohe Bindung des Wassers.

Weiter fällt auf, dass es jetzt keinen gut definierten Schnittpunkt der einzelnen Kurven in der Kurvenschar gibt. Dies könnte an der Schlichte liegen.

3.7.3.5 Variation des Beschlichtungsgrades bei Polyamidgarn

In Abbildung 36 und Abbildung 37 sind die Messkurven der Versuche K_024, K_040, K_048, K_056 und K_064 dargestellt, um die Änderung des Messsignals eines beschlichteten Polyamidgarns mit dem Beschlichtungsgrad darzustellen. Die zugehörigen Beschlichtungsgrade sind in Tabelle 10 aufgeführt.

Tabelle 10: Beschlichtungsgrade der Versuche K_024, K_040, K_048, K_056 und K_064

Versuch	Beschlichtungsgrad
Nr.	%
K_024	0
K_040	1,41
K_048	2,08
K_056	4,62
K_064	7,00

Ohne Schlichtemittel auf dem Garn ist der Kurvenverlauf flach bei hohen Werten. Mit Schlichtemittel sind die Werte deutlich niedriger und der Kurvenverlauf wird mit zunehmendem Beschlichtungsgrad steiler.

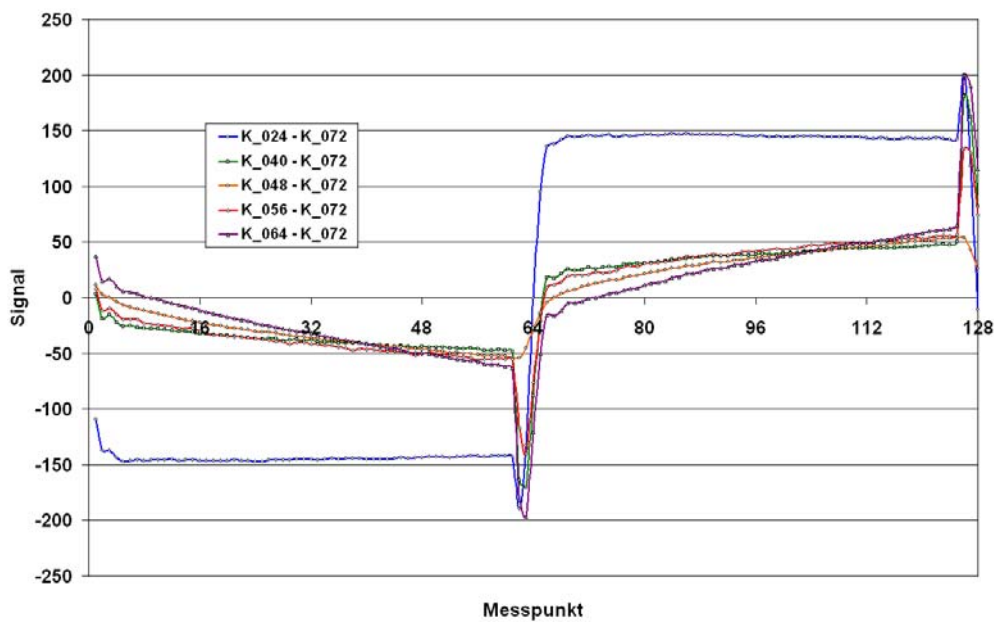


Abbildung 36: Messreihen bei unterschiedlichen Beschlichtungsgraden, Polyamidgarn

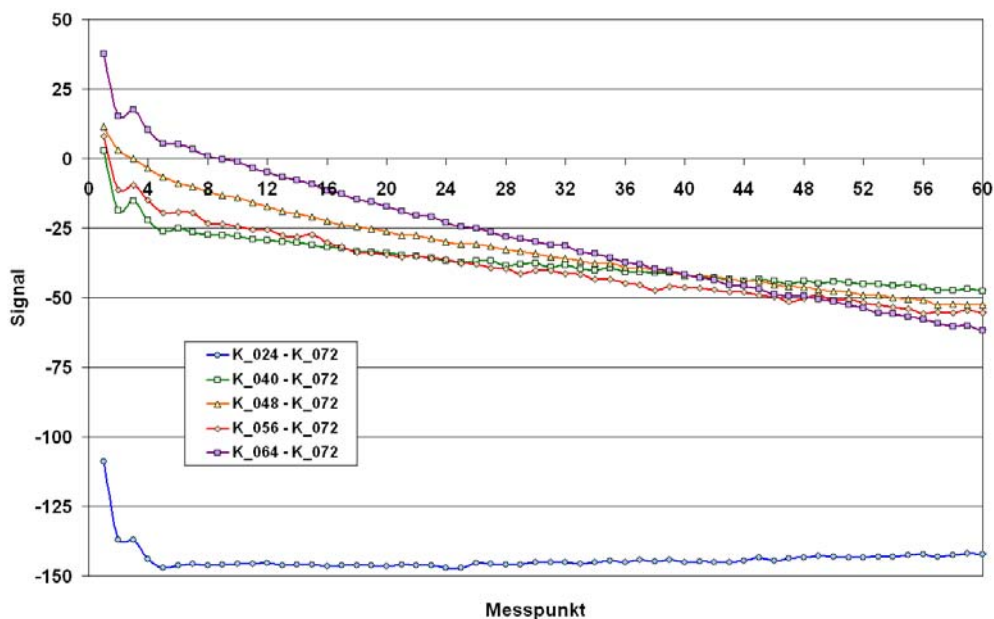


Abbildung 37: Messreihen bei unterschiedlichen Beschlichtungsgraden, Polyamidgarn, Ausschnitt

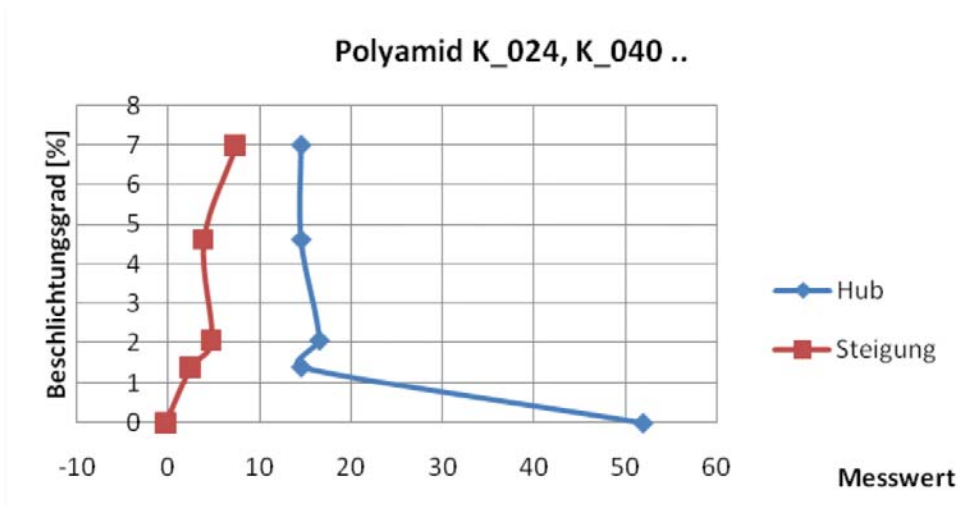


Abbildung 38: Auswertung von Hub und Steigung

Geht man davon aus, dass es sich bei der Messkurve ohne Beschlichtung um einen Messfehler handelt, so sieht man, dass die Masse auch bei Beschlichtung gemessen werden kann (s. Abbildung 38). Bei gleicher Feuchte scheint die Steigung etwas von dem Auftrag abzuhängen.

3.7.3.6 Variation des Beschlichtungsgrades bei Polyestergerarn

In Abbildung 36 und Abbildung 37 sind die Messkurven der Versuche K_076, K_116 und K_108 dargestellt, um die Änderung des Messsignals eines beschlichteten Polyestergerarns mit dem Beschlichtungsgrad darzustellen. Die zugehörigen Beschlichtungsgrade sind in Tabelle 11 aufgeführt.

Tabelle 11: Beschlichtungsgrade der Versuche K_076, K_116 und K_108

Versuch	Beschlichtungsgrad
Nr.	%
K_076	0
K_116	5,32
K_108	9,62

Auch in diesem Fall verläuft die Kurve ohne Beschlichtung flach, aber bei wesentlich niedrigeren Werten, und mit dem Beschlichtungsgrad nimmt die Steilheit der Kurve zu, bei höheren Werten.

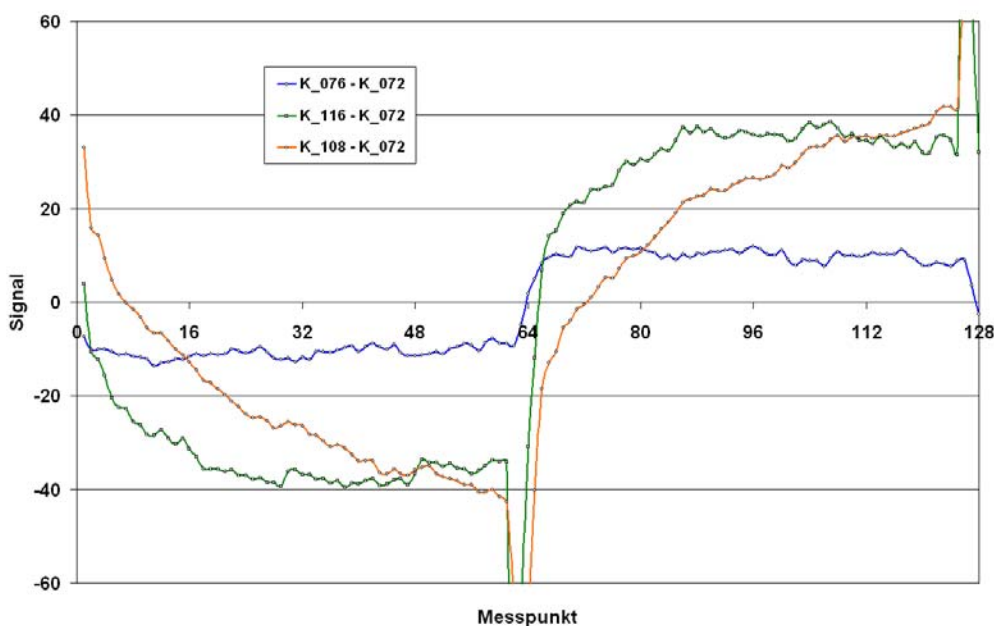


Abbildung 39: Messreihen bei unterschiedlichen Beschlichtungsgraden, Polyestergerarn

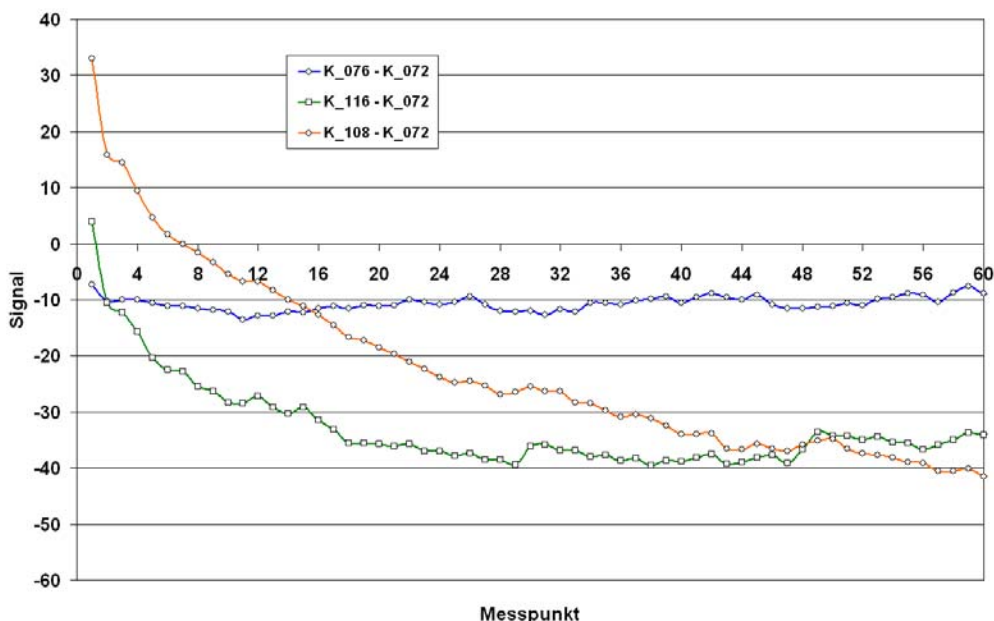


Abbildung 40: Messreihen bei unterschiedlichen Beschlichtungsgraden, Polyester Garn, Ausschnitt

3.7.3.7 Variation des Abstandes zwischen Garn und Sensor

In Abbildung 41 sind die Messkurven der Versuche K_004, K_006 und K_012 dargestellt, um die Änderung des Messsignals eines Polyamidgarns mit dem Abstand zwischen Garn und Sensor darzustellen. Die zugehörigen Abstände sind in Tabelle 12 aufgeführt.

Tabelle 12: Abstände zwischen Garn und Sensor bei den Versuchen K_004, K_006 und K_012

Versuch	Abstand Garn-Sensor
Nr.	mm
K_004	1
K_006	2
K_012	3

Mit zunehmendem Abstand zwischen Garn und Sensor nimmt die Steigung des Messsignals ab und nähert sich somit der Kurve ohne Garn (unendlicher Abstand), die in dieser Darstellung die Nulllinie ist.

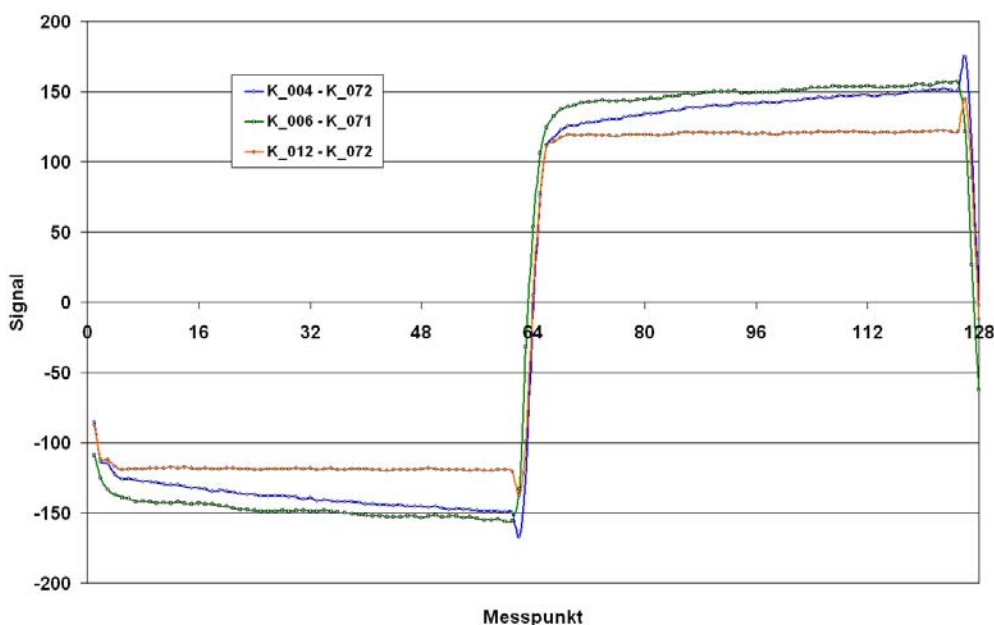


Abbildung 41: Messreihen bei unterschiedlichem Abstand zwischen Garn und Sensor, Polyamidgarn

3.7.3.8 Variation des Abstandes zwischen den Garnen

In Abbildung 42 sind die Messkurven der Versuche K_020, K_004 und K_016 dargestellt, um die Änderung des Messsignals eines Polyamidgarns mit dem Abstand zwischen den Garnen darzustellen. Die zugehörigen Abstände sind in Tabelle 13 aufgeführt.

Tabelle 13: Abstände zwischen Garn den Garnen bei den Versuchen K_020, K_004 und K_016

Versuch	Garn-abstand
Nr.	mm
K_020	0,25
K_004	0,5
K_016	1

Zwischen dem Garnabstand und dem Messsignal ist kein eindeutiger Zusammenhang erkennbar.

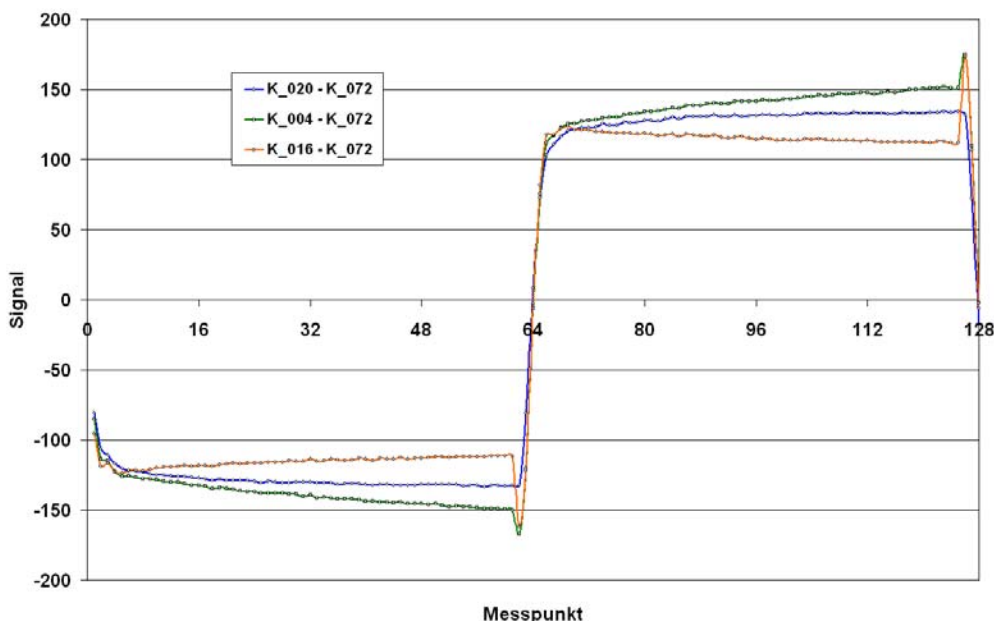


Abbildung 42: Messreihen bei unterschiedlichen Garnabständen, Polyamidgarn

3.7.3.9 Variation der Garnfeinheit beim Polyamidgarn

In Abbildung 43 sind die Messkurven der Versuche K_032, K_004 und K_024 dargestellt, um die Änderung des Messsignals eines Polyamidgarns mit der Garnfeinheit darzustellen. Die zugehörigen Garnfeinheiten sind in Tabelle 14 aufgeführt.

Tabelle 14: Garnfeinheiten der Garne bei den Versuchen K_032, K_004 und K_024

Versuch	Garn-feinheit
Nr.	dtex
K_032	44
K_004	110
K_024	156

Auch bei den Garnfeinheiten ist kein Zusammenhang mit dem Messsignal zu erkennen. In diesem Fall kommt hinzu, dass es unterschiedliche Garne sind, die u.U. mit unterschiedlichen Präparationen ausgerüstet sind.

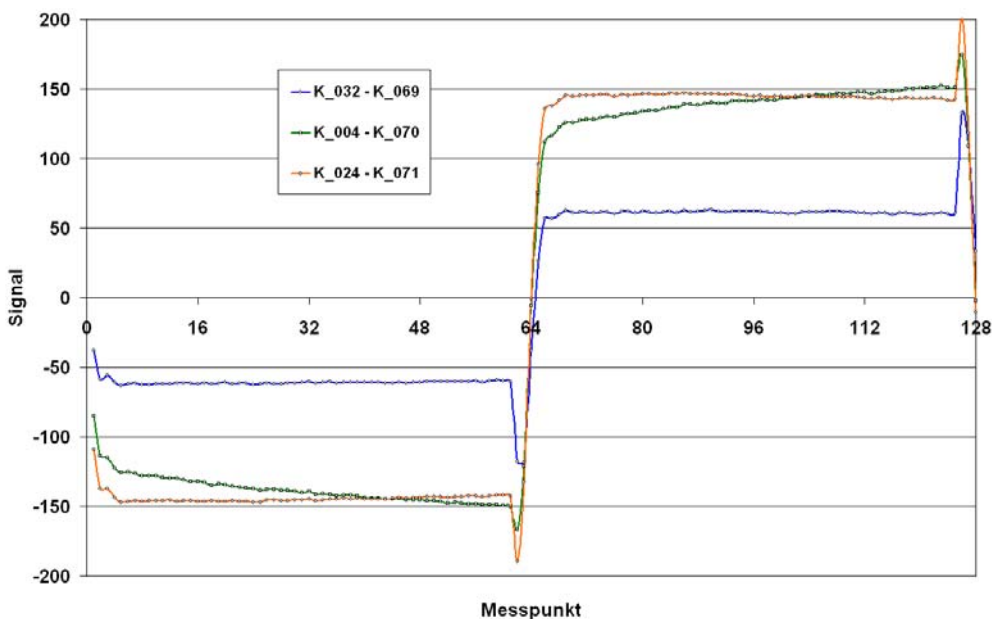


Abbildung 43: Messreihen bei unterschiedlichem Garnfeinheiten, Polyamidgarn

3.7.3.10 Variation der Garnfeinheit beim Polyestergerarn

In Abbildung 44 sind die Messkurven der Versuche K_096, K_076 und K_088 dargestellt, um die Änderung des Messsignals eines Polyestergerarns mit der Garnfeinheit darzustellen. Die zugehörigen Garnfeinheiten sind in Tabelle 15 aufgeführt.

Tabelle 15: Garnfeinheiten der Garne bei den Versuchen K_096, K_076 und K_088

Versuch	Garnfeinheit
Nr.	dtex
K_096	33
K_076	76
K_088	280

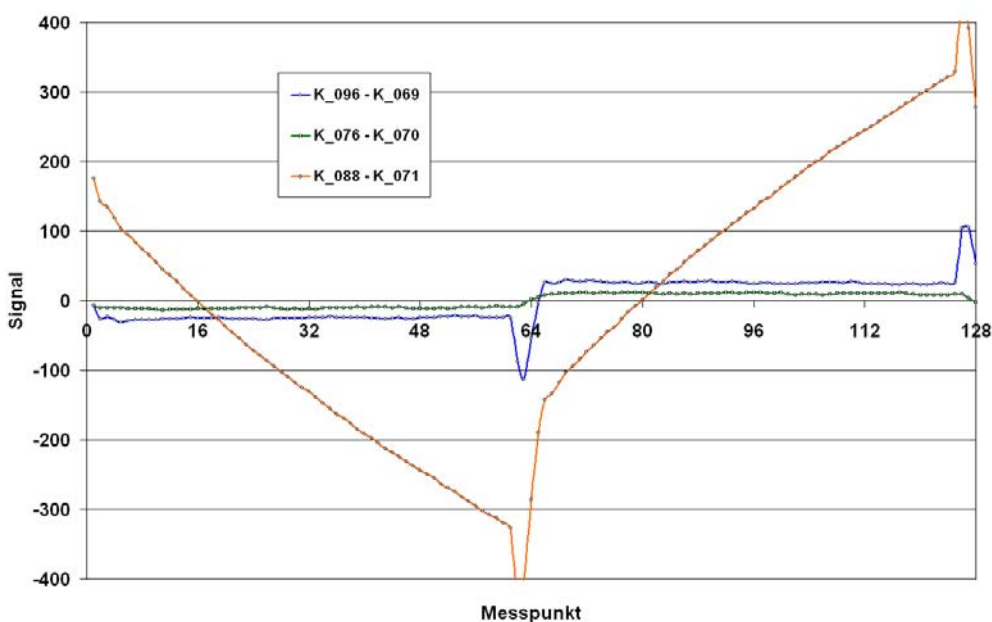


Abbildung 44: Messreihen bei unterschiedlichem Garnfeinheiten, Polyestergerarn

Auch bei den Garnfeinheiten ist kein Zusammenhang mit dem Messsignal zu erkennen. In diesem Fall kommt hinzu, dass es unterschiedliche Garne sind, die u.U. mit unterschiedlichen Präparationen ausgerüstet sind.

3.7.3.11 Variation der Flächenmasse des Polyamidgarns vor dem Sensor

In Abbildung 45 sind die Messkurven der Versuche K_036, K_032, K_016, K_028, K_004, K_024 und K_020 dargestellt, um die Änderung des Messsignals eines Polyamidgarns mit der Flächenmasse vor dem Sensor darzustellen. Die zugehörigen Garnmassen sind in Tabelle 16 aufgeführt.

Tabelle 16: Flächenmassen und –oberflächen, die Werte T1, T2 und T2-T1 sowie K1 und K2 bei den Versuchen K_036, K_032, K_016, K_028, K_004, K_024 und K_020

Versuch Nr.	Flächenmasse g/m ²	Oberfläche m ²	T1	T2	(T2 - T1)	K1	K2
K_036	4,4	6,96	100,52	102,98	2,46	0,00107808	-0,01615034
K_032	8,8	13,93	123,36	121,98	-1,39	0,00058967	-0,00738031
K_016	11,0	11,01	236,90	226,66	-10,24	0,00020955	-0,0030241
K_028	15,6	13,11	159,58	157,11	-2,46	0,00039287	-0,00492869
K_004	22,0	22,02	266,02	291,30	25,28	-0,00069879	0,01071505
K_024	31,2	26,23	292,31	288,19	-4,12	0,00021465	-0,00213269
K_020	44,0	44,05	254,41	264,54	10,13	0,00060582	-0,00917303

Die Höhe der Messwerte steigt mit der Flächenmasse vor dem Sensor an. Dies ist auch in Abbildung 46 zu sehen, in der die Werte T1, T2 und T2-T1 dargestellt sind, und zwar über der Flächenmasse in g/m². In Abbildung 47 sind die berechneten Regressionskoeffizienten für die dazu gehörenden Feuchteänderungen dargestellt.

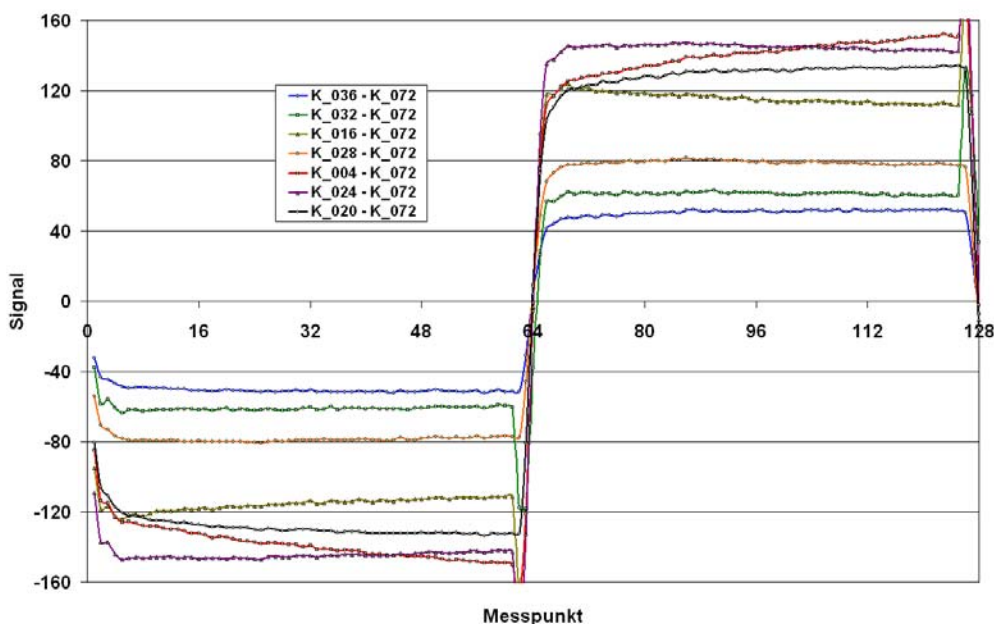


Abbildung 45: Messreihen bei unterschiedlichen Flächenmassen vor dem Sensor, Polyamidgarn

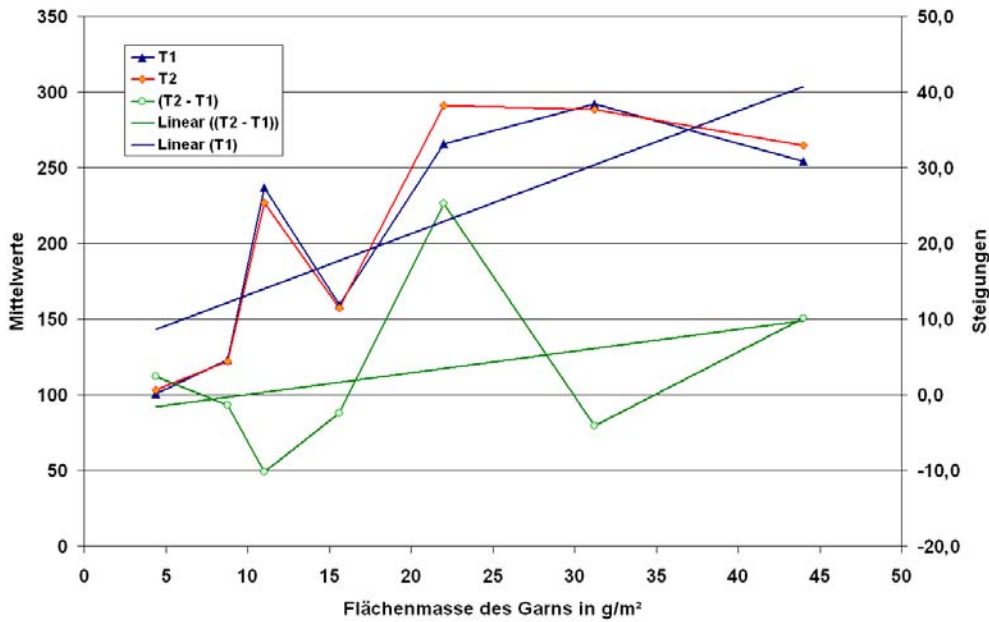


Abbildung 46: Werte T1, T2 und T2-T1 der Messreihen aus Abbildung 45

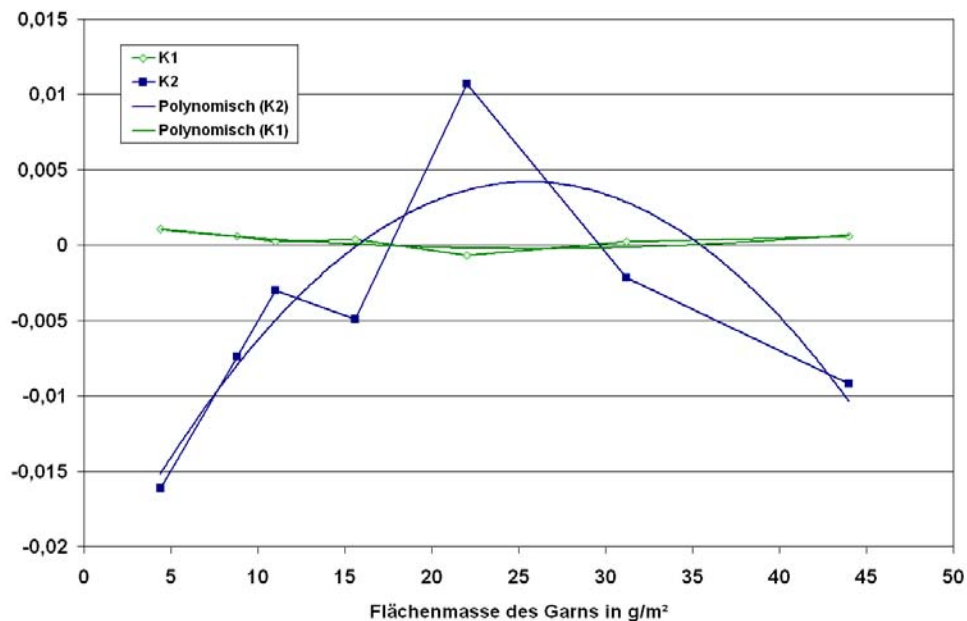


Abbildung 47: Werte K1 und K2 der Messreihen aus Abbildung 45

3.7.3.12 Überprüfung des Messensors im Klimaschrank

Nachdem aus den Messungen mit Waage und Sensor die Kalibrierungskurven für den Sensor erstellt wurden, wurde der kalibrierte Sensor noch mal im Klimaschrank untersucht. Dabei ergaben sich die in Abbildung 48 dargestellten Kurven. Es zeigt sich, dass der Sensor die Veränderungen im Garn bei der Erhöhung von 20 % auf 40 % relative Luftfeuchte nicht auflösen kann. Das Wasser ist in diesem Bereich offensichtlich so fest an der Garnoberfläche bzw. im Schlichtemittelmantel an- bzw. eingelagert, dass es sich nicht bewegen kann und folglich von dem Sensor nicht gemessen werden kann.

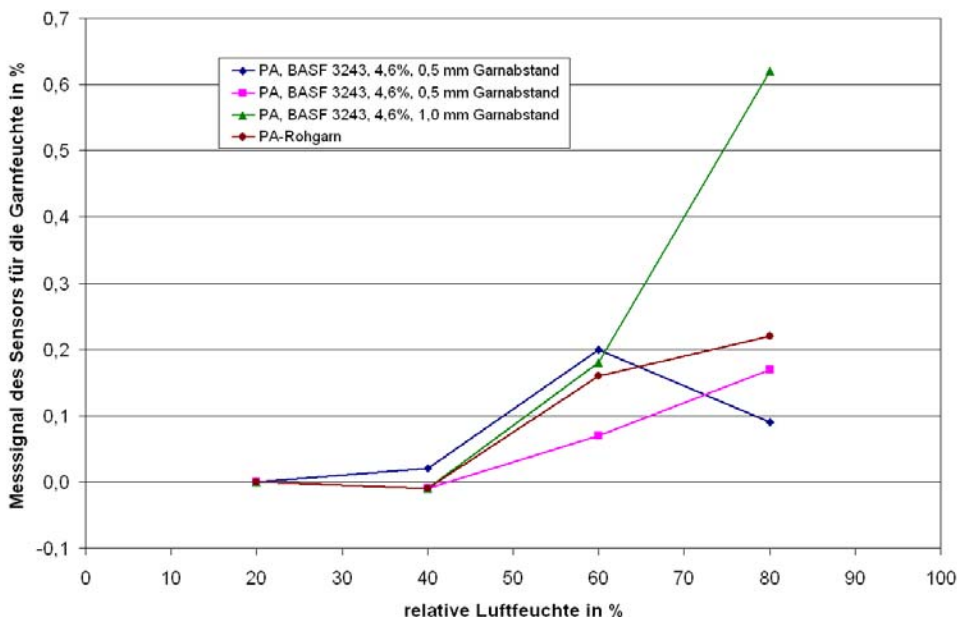


Abbildung 48: Messung mit dem kalibrierten Sensor im Klimaschrank

Wie sich aus den Messungen an den Schlichtemittelfilmen (siehe Kapitel 3.1.2.2.1) ergibt, lässt sich das Schlichtemittel bei Feuchten, die denen im Klimaschrank bei 80 % relativer Luftfeuchte entspricht, nicht mehr verarbeiten. Es ergibt sich also nur ein enger Bereich zur Messung der Feuchte. Ob dieser ausreicht, muss sich bei den Versuchen auf den Schlichtmaschinen zeigen.

3.8 Versuche auf der Filamentschlichtmaschine

3.8.1 Anordnung der Messverfahren

Nach den Versuchen am Einzelfadenversuchsstand wurden die beiden Messverfahren in die Filamentschlichtmaschine integriert. In Abbildung 49 ist dargestellt, wo die Messtechnik in die Maschine integriert wurde. In Abbildung 50 ist ein Foto der Messtechnik in der Schlichtmaschine zu sehen.

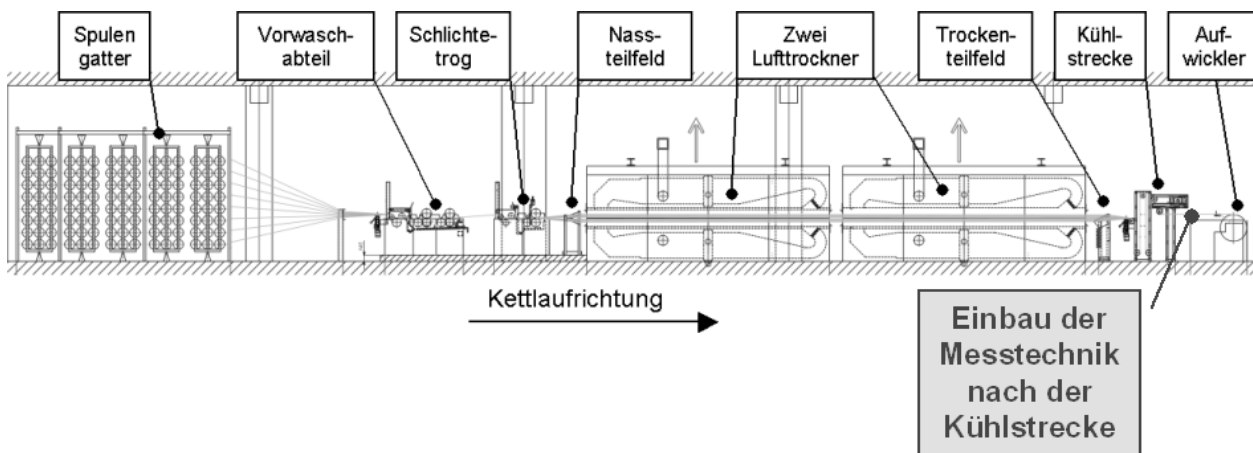


Abbildung 49: Skizze der Filamentschlichtmaschine mit Einbauort der Messtechnik

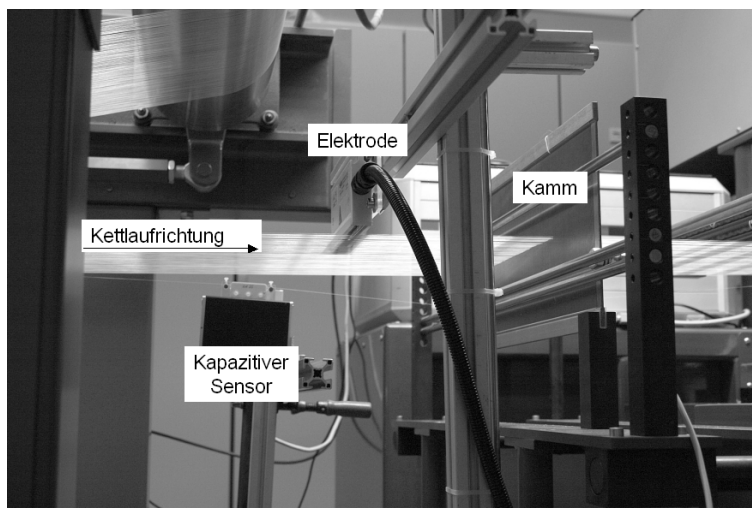


Abbildung 50: Bild vom Einbauort der Messtechnik

Die beiden Sensoren waren in Warenlaufrichtung nebeneinander angeordnet, so dass sie sich nicht störten. Der im Laufe des Projektes entwickelte offene Sensor wurde oberhalb der Warenbahn neben der Elektrode senkrecht zur Warenlaufrichtung angeordnet.

3.8.2 Versuchparameter und erste Ergebnisse

In Tabelle 17 sind die Parameter für die ersten Versuche an der Filamentschlichtmaschine zusammengestellt.

Tabelle 17: Versuchparameter an der Filamentschlichtmaschine

Anordnung der Elektrode	
Abstand zwischen Elektrode und Kamm:	200 mm
Abstand zwischen Elektrode und Garn:	9 mm
Fadendichte:	10,6 Fäden / cm
Breite der Spitzenanordnung der Elektrode:	75 mm
Anzahl der Fäden unter den Spitzen:	80 Fäden
Anordnung des kapazitiven Einzelfadensensors	Am Einzelfaden unterhalb der Fadenschar
Anordnung des offenen kapazitiven Sensors	oberhalb der Warenbahn neben der Elektrode senkrecht zur Warenlaufrichtung

Die ersten Versuche an der Filamentschlichtmaschine zeigten, dass beide Messanordnungen prinzipiell geeignet sind, die Messaufgabe zu lösen, d.h. die Feuchte des Garnes zu messen. Ob sie allerdings in der Lage sind, dies mit der geforderten Genauigkeit zu tun, konnte nicht exakt bestimmt werden, da die Messeinrichtungen noch nicht kalibriert waren.

Beim kapazitiven Messprinzip ergaben sich noch die folgenden Aufgaben:

- Um an der Fadenschar der Schlichtmaschine direkt messen zu können, sollte ein offener Sensor zur Verfügung stehen, der dann im Laufe des Projektes zum Einsatz kam.
- Die Auswertung muss dann an den neuen Sensortyp angepasst werden.

Beim Entladestromprinzip ergaben sich die folgenden wesentlichen Ergebnisse:

- Der Entladestrom ist bei mehr Fäden wesentlich gleichmäßiger, so dass ein reproduzierbares und auswertbares Signal erreicht werden kann.
- Der Entladestrom beträgt nur einige, wenige Prozent des Elektrodenstroms. Der andere Teil des Elektrodenstroms fließt über andere Wege ab.

3.8.3 Messungen mit dem kalibrierten, offenen kapazitiven Sensor

Der kapazitive Sensor wurde mit dem in Kapitel 3.7 dargestellten Referenzverfahren kalibriert und an der Filamentschlichtmaschine eingesetzt. Es wurde eine große Zahl von Messreihen durchgeführt, da es immer wieder zu Fadenbrüchen kam. Es konnten daraus die folgenden wesentlichen Aussagen gewonnen werden.

3.8.3.1 Drift des Sensors

Die erste Version des offenen Sensors zeigte eine deutliche Drift des Messwertes, wie in Abbildung 51 dargestellt ist.

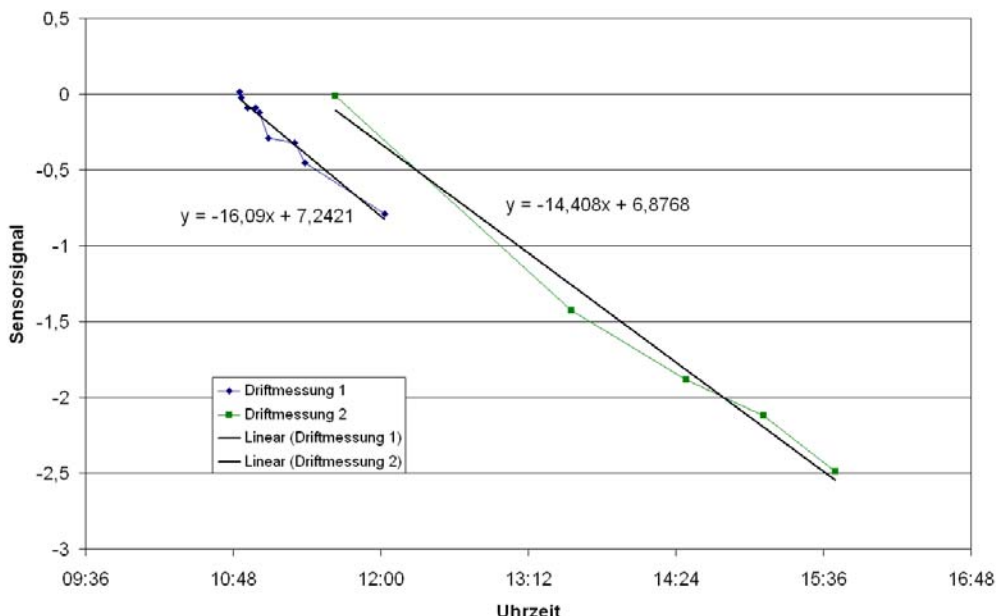


Abbildung 51: Messwertdrift des offenen Sensors in der ersten Version

Nach einer Softwareverbesserung war die Messwertdrift vollständig weg. Der Messwert blieb über längere Zeit sehr stabil.

3.8.3.2 Ansprechen des Sensors

Die Feuchte des Garnes nach dem Trockner der Schlichtmaschine wurde über die Garngeschwindigkeit verändert. Je schneller das Garn durch die Maschine gezogen wird, umso kürzer ist die Verweilzeit im Trockner und umso feuchter ist das Garn am Trocknerausgang. In Abbildung 52 ist das Ansprechverhalten des Sensors auf zunehmende Feuchte des Garnes zu sehen.

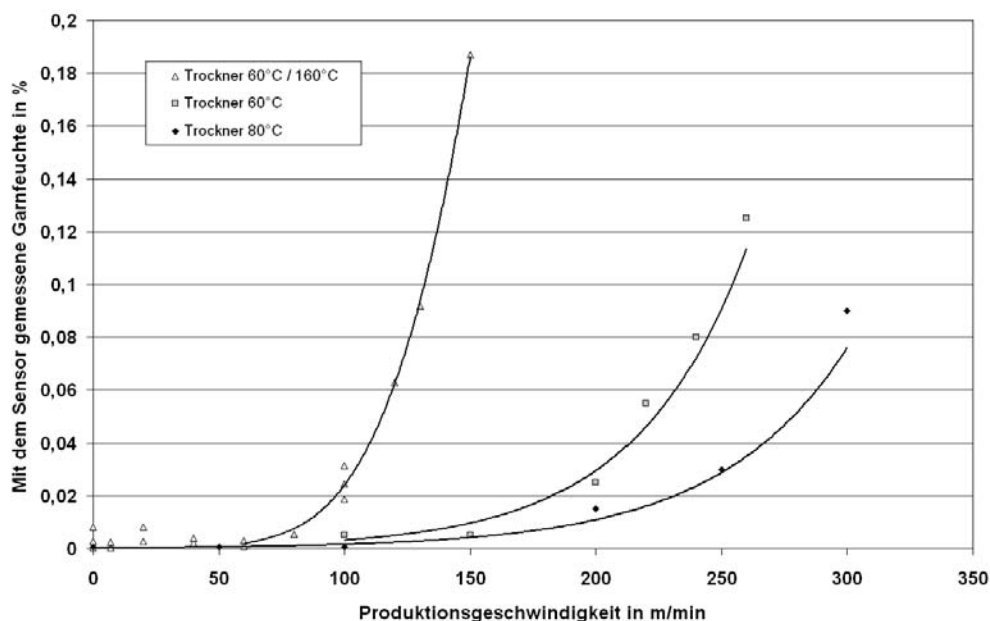


Abbildung 52: Ansprechverhalten des Sensors auf zunehmende Feuchte des Garnes.

Wenn das Garn zu feucht auf den Kettbaum gewickelt wird, dann verklebt es dort und lässt sich nicht mehr abziehen. Ob das Garn auf dem Kettbaum verklebt ist oder nicht lässt sich prüfen durch Aufschneiden der Garnwicklungen auf dem Baum. Springen beim Aufschneiden die einzelnen Fäden auf, so ist er nicht verklebt. Mit dieser Methode lässt sich prüfen, ob der Sensor bei steigender Feuchtigkeit frühzeitig genug anspricht, so dass der Übergang von „trocken“ auf „zu feucht“ sauber regeln lässt.

In einer großen Reihe von Versuchen hat sich gezeigt, dass der Sensor zu spät anspricht, um die Verklebungen wirksam zu verhindern. In Abbildung 53 ist das Ergebnis eines Versuches mit PA 6.6-Garn und Schlichte BASF 3243 dargestellt und in Abbildung 54 das Ergebnis eines Versuches mit PES-Garn und Schlichte BASF SF 2. Zur Darstellung der Verklebung wurden 3 Stufen unterschieden: 0 bedeutet keine Verklebungen, 0,5 bedeutet teilweise, lokal verklebt und 1 bedeutet Verklebungen über große Bereiche, so dass sich das Garn in großen Platten vom Kettbaum löst. Die Beschlichtungsgrade lagen zwischen 1 % und 2 %. Dies entspricht den Beschlichtungsgraden, die bei diesen Garnen in der Industrie eingesetzt wurden. Der Trockner wurde mit 100°C betrieben.

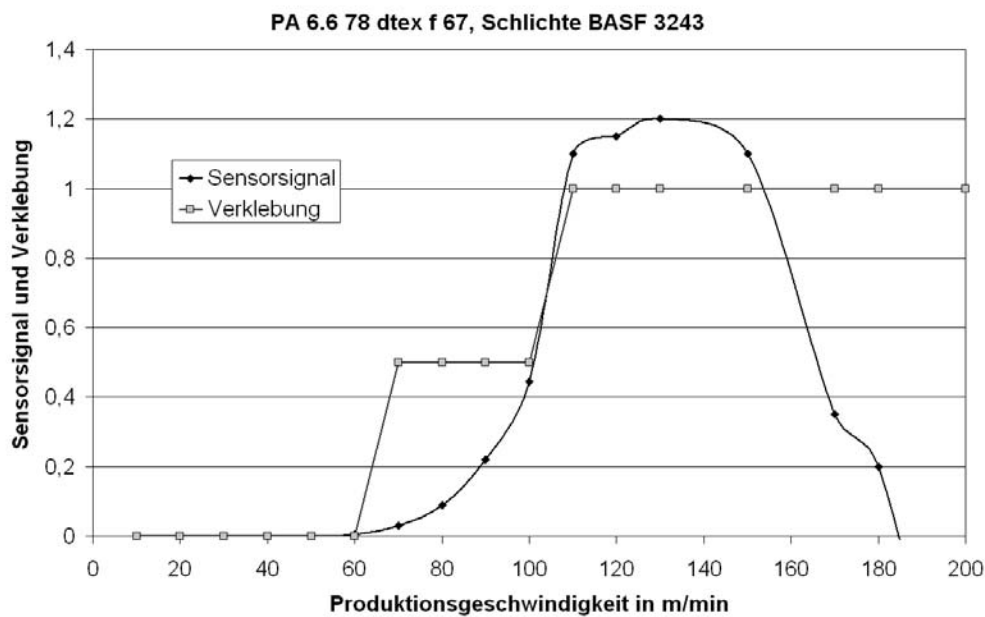


Abbildung 53: Sensorsignal und Verklebung bei Versuchen mit PA 6.6 und Schlichte BASF 3243

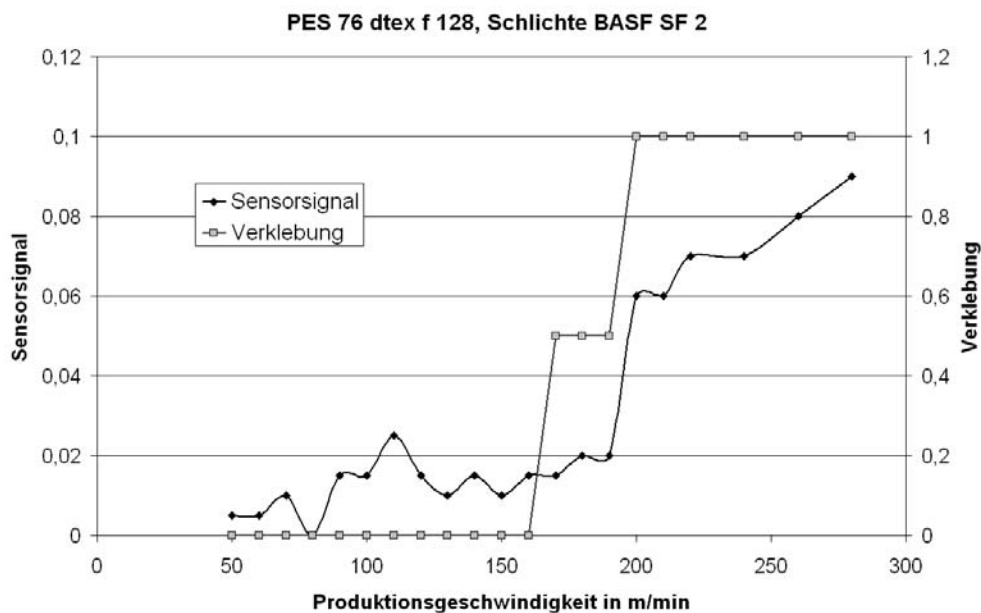


Abbildung 54: Sensorsignal und Verklebung bei Versuchen mit PES und Schlichte BASF SF 2

Der Grund für dieses Ergebnis ist, dass das Wasser, das für erste Verklebungen ausreicht, so fest in der Schlichtemittelschicht oder an der Oberfläche gebunden ist, dass es sich nicht im elektrischen Feld

ausrichten kann. Der Sensor misst die Feuchtigkeit aber gerade aufgrund der Tatsache, dass sich die Wassermoleküle im elektrischen Feld drehen und ausrichten.

Dieses Problem hatte sich schon bei den Versuchen im Klimaschrank (s. Kapitel 3.7.3.12) in Verbindung mit den Untersuchungen an den Schlichtemittel (s. Kapitel 3.1.2.2.2) angedeutet. Der Sensor zeigt ein auswertbares Signal erst bei 60 bis 80 % Luftfeuchte. Das Schlichtemittel ist aber spätestens bei 80 % Luftfeuchte nicht mehr zu verarbeiten. Daraus ergab sich schon bei den Vormessungen, dass entweder der Sensor nicht sensibel genug ist oder nur ein sehr schmaler Korridor für eine Regelung zur Verfügung steht.

Bei den Versuchen auf der Schlichtmaschine wurden auch immer wieder Ablagerungen von Schlichtemittel an den Walzen und Kämmen festgestellt, obwohl der Sensor keine oder nur sehr geringe Feuchtwerte anzeigt. Ablagerungen bilden sich aber erst bei deutlich zu feuchtem Garn und sie führen zu den oben erwähnten Fadenbrüchen.

3.8.3.3 Vergleichsmessungen der Firma Dr. Weiss GmbH

Die Firma Dr. Weiss GmbH hat parallel zu den Versuchen an der Schlichtmaschine am ITV Denkendorf Messungen zur Empfindlichkeit des Sensors durchgeführt. Dabei wurde an feuchten Garnen gemessen. Ergebnis dieser Messungen war, dass bei Wolle ab etwa 8 %, bei Baumwolle ab unter 1 % und bei Polyester ab etwa 4 % (siehe Abbildung 55) gemessen werden kann.

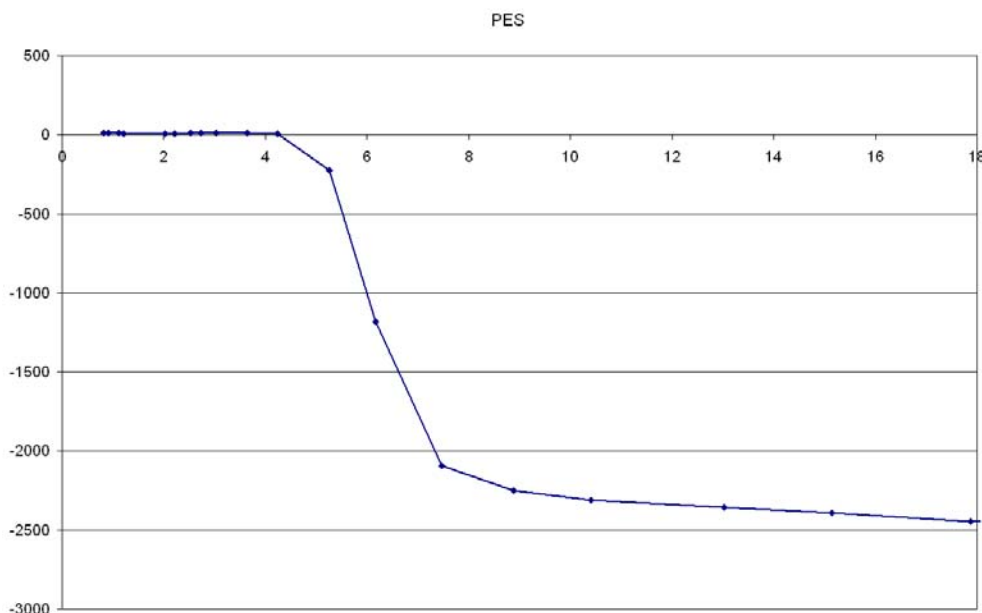


Abbildung 55: Steigung des Messsignals bei Messungen mit Polyester.

Bei einem Beschlichtungsgrad von 1 bis 2 % bei synthetischen Garnen sind 4 % Wasser genug, um Verklebungen zu verursachen.

3.8.4 Messungen des Entladestroms

Die Anordnung zur Messung des Entladestroms konnte nicht mit dem Referenzverfahren kalibriert werden, da die Hochspannungselektrode nicht im Klimaschrank installiert werden konnte, da Beschädigungen zu befürchten waren. Deshalb war die Strategie, zuerst den kapazitiven Sensor über das Referenzverfahren zu kalibrieren und dann die Messung des Entladestroms mit dem kapazitiven Sensor an der Schlichtmaschine zu kalibrieren.

Auch bei diesen Versuchen waren viele Anläufe nötig, da es immer wieder zu Fadenbrüchen kam. Mit den Erkenntnissen aus dem vorherigen Kapitel, liegt die Vermutung nahe, dass die Fadenbrüche durch zu hohe Feuchte und daraus resultierende Verklebungen entstanden. Das konnte nur nicht festgestellt werden, da die Messgeräte zu spät auf die Feuchte reagierten. Ablagerungen von Schlichtemittel an den Walzen und Kämmen der Kühlstrecke der Schlichtmaschine deuteten aber auf zu feuchtes Garn hin.

In Abbildung 56 ist ein Messfragment eines solchen Anlaufes zu sehen. Die Maschine lief zuerst mit 100 m/min und danach mit 200 m/min. Das Messsignal zeigt fast keine Veränderung, obwohl sich die Feuchte deutlich geändert haben müsste, denn der Trockner lief mit nur 80°C. Folglich ist der Fadenbruch vermutlich auf Verklebungen zurückzuführen. Die Schwankungen des Messsignals beim nachfolgenden

Wechsel zwischen Kriechgang und Maschinenstopps, während der Fadenbruch behoben wurde, waren wesentlich größer. Bei diesem Nachlauf war das Garn aufgrund der Standzeit trocken.

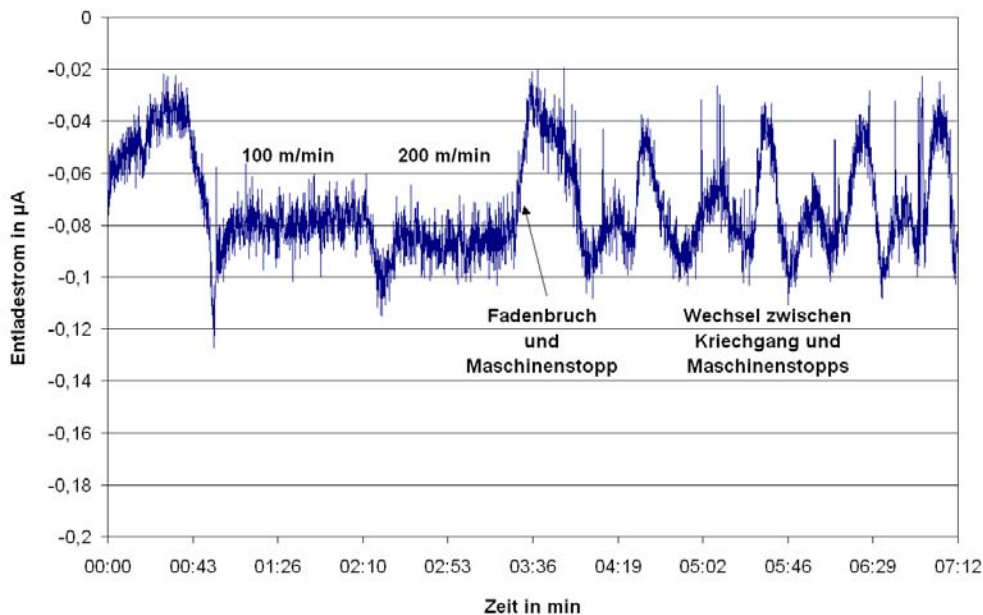


Abbildung 56: Messfragment eines Versuches mit Fadenbruch

In Abbildung 57 ist eine auswertbare Messung dargestellt. Dabei zeigt sich, dass das Signal des kapazitiven Sensors, wie oben schon dargestellt, mit der Gargeschwindigkeit zunimmt. Das Messsignal des Entladestroms ist aber während der ganzen Messung fast unverändert. Die Ausschläge aufgrund des Rauschens sind größer als die Veränderungen von Stufe zu Stufe.

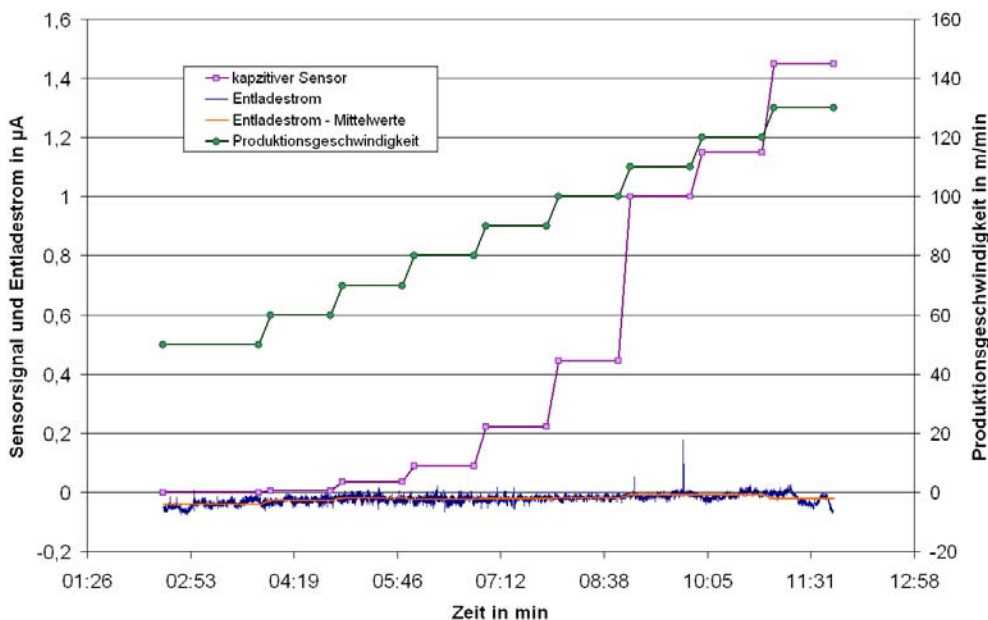


Abbildung 57: Vergleichsmessung kapazitiver Sensor und Entladestrom

Ergebnis dieser Messung ist, dass die Entladestrommessung noch später reagiert als der kapazitive Sensor.

3.9 Praxisversuche

Die Ergebnisse auf der Technikumschlichtmaschine zeigten, wie oben dargestellt (Kapitel 3.8.3 und 3.8.4), dass der Sensor ein Verkleben der Kettgarne auf dem Kettbaum nicht zuverlässig verhindern kann. Aus diesem Grund machten die Praxisversuche auf den Industriemaschinen des Textilpartners keinen Sinn mehr und wurden weggelassen.

Der gesamte Arbeitsaufwand in dem Projekt verringerte sich dadurch aber nicht, da die Versuche auf der Technikumschlichtanlage wesentlich umfangreicher waren als ursprünglich geplant. Ursprünglich waren auf der Technikumschlichtanlage zwei Arbeitsschritte geplant:

- das Ansprechverhalten des kapazitiven Sensors bei unterschiedlichen Garnen und Schlichtemitteln zu untersuchen und
- das Messverfahren über den Entladestrom mit Hilfe des kapazitiven Sensors kalibrieren.

Die Versuche gestalteten sich aber sehr schwierig und umfangreich, da es immer wieder zu Fadenbrüchen kam. Zunächst wurde versucht, die Fadenbrüche durch eine bessere Fadenführung und durch geänderte Maschineneinstellungen in Griff zu bekommen. Dies gelang nicht, da die Fadenbrüche, wie sich später herausstellte, auf Verklebungen und Schlichtemittelablagerungen auf den Walzen zurückzuführen waren. Dies war mit einem erheblichen Arbeitsaufwand verbunden, da eine große Reihe von Versuchen durchzuführen waren und da jeder Fadenbruch ein aufwändiges Neueinfädeln der gebrochenen Fäden oder der gesamten Fadenschar notwendig machte.

Diese Versuche legten schon nahe, dass der Sensor nicht empfindlich genug war. Um dies zu verifizieren wurden die Versuche durchgeführt, die eigentlich für die Industriemaschinen des Textilpartners geplant waren: ausgehend von der normalen Geschwindigkeit diese langsam zu erhöhen, bis der Sensor Feuchte anzeigt, und weiter bis die Garne auf dem Kettbaum verkleben. Das Verkleben der Kettgarne auf dem Kettbaum kann durch Aufschneiden des Kettbaumes überprüft werden. Aus der Geschwindigkeitssteigerung bis zum Verkleben kann dann der ökonomische und der ökologische Gewinn der Messung ermittelt werden.

Die Versuche mit dem Aufschneiden der Kettbäume wurden also schon auf der Technikumsanlage durchgeführt mit dem oben dargestellten Ergebnis. Insgesamt wurden also mindestens so viele Untersuchungen durchgeführt wie ursprüngliche geplant, nur nicht auf den Maschinen wie vorgesehen.

Der Textilpartner hatte trotz der ausgefallenen Praxisversuche erhebliche Aufwendungen. Er lieferte das Garn für die Versuche auf der Technikumsmaschine. Er plante die Praxisversuche, da diese Planung parallel zu den Technikumsversuchen lief, und machte erste Vorversuche und sammelte die benötigten Daten.

4 Fazit

4.1 Zusammenfassung der Vorhabensergebnisse

Der Einzelfadenprüfstand wurde am ITV aufgebaut und die Messanordnungen mit den beiden Sensorsystemen (Kapazitiver Sensor und Entladestrom) wurden integriert. Allerdings stellte sich bei den Messungen mit dem kapazitiven Sensor heraus, dass der Auftrag an Schlichtemittel und Feuchte sehr ungleichmäßig war. Außerdem ist das Messsignal bei der Messung des Entladestroms an einem Faden zu schwach und zu instabil, so dass es weder reproduzierbar noch sinnvoll auswertbar war.

An der Fadenschar der Filamentschlichtmaschine konnten wesentlich stabilere Signale gemessen werden. Die Abhängigkeit des Messsignals bei beiden Messverfahren von der Feuchtigkeit des Garns war deutlich zu erkennen.

Nachdem die Ergebnisse der Messungen an der Schlichtmaschine wesentlich aussagefähiger waren als diejenigen des Einzelfadenprüfstandes, wurde beschlossen, dass beide Messverfahren weiterhin untersucht und entwickelt werden.

Es wurde eine Aufstellung der Vor- und Nachteile beider Verfahren erstellt (s. Tabelle 4). Dabei wurde auch der spätere Einsatz an Industriemaschinen berücksichtigt.

Zu Beginn des Projektes stand ein kapazitiver Sensor zur Verfügung, der am Einzelfaden den Auftrag an Präparation beim Spinnprozess bestimmen konnte. Dieser Sensor ist aber zur Messung an einer Fadenschar nicht geeignet. Deshalb wurde im Rahmen des Projektes ein neuer, offener Sensor entwickelt, bei dem die beiden Kondensatorplatten nebeneinander liegen und die Fadenschar daran vorbeiläuft.

Parallel zur Entwicklung des offenen Sensors musste die Datenerfassungssoftware und das Programm zur Auswertung der Messsignale aktualisiert werden.

Ferner wurde ein Messverfahren entwickelt, das als Referenz zur Kalibrierung eingesetzt werden kann. Dabei wird die Feuchte des Garnes über die Luftfeuchte in einem Klimaschrank variiert. Eine Garnprobe wird so aufgewickelt, dass sie möglichst viel Kontakt zur umgebenden Luft hat. Diese Probe steht auf einer Waage, so dass die Feuchte gravimetrisch bestimmt werden kann. Gleichzeitig misst der kapazitive Sensor ebenfalls im Klimaschrank die Feuchte des Garnes. Erste Messungen mit der Referenzmessung ergaben eine deutliche und reproduzierbare Veränderung des Messsignals mit der Feuchte des Garnes.

Im Klimaschrank wurden verschiedene Garne in unterschiedlichen Geometrien und mit mehreren Beschlichtungsgraden untersucht.

An der Schlichtmaschine wurde das Ansprechverhalten des Sensors geprüft sowie die Empfindlichkeit. Um letzteres zu messen, wurde das Messsignal bei verschiedenen Warengeschwindigkeiten aufgenommen und danach geprüft, bei welchen Geschwindigkeiten das Garn auf den Kettbaum verklebt war. Dabei stellte sich heraus, dass die Empfindlichkeit des Sensors nicht ausreicht, um vor einem Verkleben der Garne auf dem Kettbaum zu schützen. Das Messverfahren auf Basis des Entladestroms zeigt eine noch geringere Empfindlichkeit.

Zum Verkleben des Garns auf dem Kettbaum reichen offensichtlich geringste Mengen an Restfeuchte aus. Diese sind aber aufgrund von nichtlinearen Oberflächeneffekten so fest an der Oberfläche und in der Schlichtemittelschicht gebunden, dass die Messverfahren, die auf der Beweglichkeit der Wassermoleküle aufbauen, diese Restfeuchte nicht erfassen können.

4.2 Bewertung der Ergebnisse

Die beiden untersuchten Messverfahren, das kapazitive und das zur Messung des Entladestroms, sind nach den Ergebnissen dieses Projektes nicht sensibel genug, um die Restfeuchte beschlichteter Kettgarne so zu messen, dass ein Verkleben der Garne auf dem Kettbaum zuverlässig verhindert werden kann.

Dieses Ergebnis wird durch verschiedene Messungen gestützt. Am deutlichsten wurde es bei den Messungen auf der Schlichtmaschine, bei denen die Geschwindigkeit der Fadenschar und damit die Restfeuchte der Garne schrittweise erhöht wurde. Bei jeder Geschwindigkeitsstufe wurde das Messsignal des Sensors mitgeschrieben und das Verkleben der Fadenschar überprüft. Das Verkleben setzte bei niedrigeren Geschwindigkeiten ein als ein auswertbares Sensorsignal.

Flankiert wurden diese Messungen durch Messungen an Gewebe- und Vliesproben, die die Empfindlichkeit des Sensors zeigt, und durch die Messungen im Klimaschrank verbunden mit den Messungen an Schlichtemittelfilmen.

Das primäre Ziel des Projektes konnte somit nicht erreicht werden. Jedoch zeigten sich mit dem kapazitiven Sensor Möglichkeiten auf die Restfeuchte bei höheren Werten preiswert zu bestimmen. Gleichzeitig kann der Sensor auch den Produktionsauftrag erfassen.

4.3 Ansätze für weitere Untersuchungen

Aufgrund der Ergebnisse des Projektes sowie Erkenntnissen aus anderen Anwendungen des Sensors gibt es Ansätze, die Empfindlichkeit des Sensors zu erhöhen, um so auch die Bewegung der festeingebundenen Wassermoleküle messen zu können. Die Firma Dr. Weiss GmbH arbeitet bereits an einer neuen Version des Sensors. Mit diesem könnte es möglich werden, die Restfeuchte mit hinreichender Empfindlichkeit und Genauigkeit zu messen.

5 Danksagung

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die finanzielle Förderung des Forschungsvorhabens unter dem Aktenzeichen 22891-24/2.

Den Partnerfirmen

- Dr. Weiss GmbH, Schriesheim
- Eltex-Elektrostatik-Gesellschaft mbH, Weil am Rhein
- Textilfabrik Alfred Tenzler GmbH, Himmelkron

sowie dem

- Steinbeis-Transferzentrum Mess- und Verfahrenstechnik, Offenburg und dem
- ITV Denkendorf der DITF Denkendorf, Denkendorf

danken wir für die gute Zusammenarbeit.