

Fa. Mayer & Cie. GmbH & Co. KG

Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung  
Denkendorf

**Ressourceneffiziente Herstellung von  
Gestricken für den Bekleidungsbereich durch  
Optimierung des Fasereintrags  
beim Spinit-Prozess**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,  
gefördert unter dem AZ: 34028/01 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dr. Wolfgang Bauer, Sabine Beck, Lena Veigel  
(Fa. Mayer & Cie.)

Jörg Hehl, Dorothee Betz, Florian Fritz, Dr. Sibylle Schmied,  
Prof. Dr. Götz T. Gresser (DITF)

Albstadt / Denkendorf, Februar 2019

Der Abschlussbericht ist erhältlich bei:

Fa. Mayer & Cie.

Emil-Mayer-Straße 10

72461 Albstadt

Telefon: +49 7432 / 700-233

Fax: +49 07432 / 700-9233

E-Mail: [sabine.beck@mayercie.de](mailto:sabine.beck@mayercie.de)

Fa. Mayer & Cie. GmbH & Co. KG

Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung  
Denkendorf

**Ressourceneffiziente Herstellung von  
Gestricken für den Bekleidungsbereich durch  
Optimierung des Fasereintrags  
beim Spinit-Prozess**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,  
gefördert unter dem AZ: 34028/01 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dr. Wolfgang Bauer, Sabine Beck, Lena Veigel  
(Fa. Mayer & Cie.)

Jörg Hehl, Dorothee Betz, Florian Fritz, Dr. Sibylle Schmied,  
Prof. Dr. Götz T. Gresser (DITF)

Albstadt / Denkendorf, Februar 2019

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>34028/01</b>	Referat	Fördersumme	
<b>Antragstitel</b>	<b>Ressourceneffiziente Herstellung von Gestriken für den Bekleidungs- bereich durch Optimierung des Fasereintrags beim Spinit-Prozess</b>			
<b>Stichworte</b>	Ressourceneffiziente Gestricke			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)	
<b>21 Monate</b>	<b>01.04.2017</b>	<b>31.12.2018</b>	<b>1</b>	
Zwischenbericht	31.01.2018			
<b>Bewilligungsempfänger</b>	Fa. Mayer & Cie. GmbH & Co. KG Emil-Mayer-Straße 10 72461 Albstadt		Tel	07432/700-233
			Fax	07432/700-9233
			Projektleitung Sabine Beck	
			Bearbeiter	
<b>Kooperationspartner</b>	Institut für Textil- und Verfahrenstechnik (ITV) der Deutschen Institute für Textil- und Faserforschung (DITF) Körschtalstr. 26 73770 Denkendorf			

### **Zielsetzung und Anlass des Vorhabens**

Das Spinit-Verfahren stellt durch die Zusammenführung des Spinn- und Strickvorgangs in einer Maschine ein sehr ressourcenschonendes Verfahren zur Herstellung von Gestriken dar. Dabei wird mit Hilfe von zwei Düsen und den entsprechenden Faserführungsorganen das aus dem Streckwerk austretende Faserbändchen bis zur Einbindung der Fasern in das Gestrick verfestigt.

Ziel des Vorhabens war durch die Optimierung der Düsengeometrie eine Senkung des Luftverbrauchs und damit eine Energieeinsparung von 20% zu erreichen. Gleichzeitig sollte durch eine geschlossenere Faserführung am Übergabepunkt der Fasern in das Stricksystem eine Rohstoffeinsparung von 10% erreicht werden.

### **Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

Das Vorhaben gliedert sich in zwei Bereiche. Zum einen der Strömungssimulation der Düsen und ihrer fadenführenden Elemente und zum anderen in den Bereich der textiltechnologischen Versuche am Versuchstand bzw. der Maschine.

Es wurde ein CFD-Modell der Falschdrahtdüsen und der fadenführenden Elemente erstellt. Nach der Verifizierung des Modells wurden Strömungssimulationen bzgl. des Durchmessers der Durchgangsbohrung, der Düsenbohrungsdurchmesser und deren Anzahl, des Düsenbohrungswinkels, deren Anordnung und der Form der fadenführenden Elemente durchgeführt.

Parallel dazu wurde ein Versuchstand aufgebaut, an dem die unterschiedlichen Düsenkonfigurationen erprobt wurden. Anschließend erfolgte eine Erprobung der unterschiedlichen Düsenkonfigurationen an der Spinit-Maschine mit den optimierten Systemkonfigurationen, sowie die Auswertung der erhaltenen Spinit-Gestrickeigenschaften, welche mit den konventionell hergestellten Referenzgestriken verglichen wurden.

## ***Ergebnisse und Diskussion***

Innerhalb des Vorhabens konnte ein Simulationsmodell der eingesetzten Düsengeometrie und der dazugehörigen Fadenführungsorgane erstellt werden. Durch dieses Simulationsmodell war es möglich die Strömungen innerhalb des Falschdrahtsystemes, ohne Berücksichtigung der Fasern, darzustellen. An dem Simulationsmodell wurden die Düsenbohrungsanordnung, der Düsenbohrungsdurchmesser, der Düsenbohrungswinkel, die Düsenbohrungsanzahl, der Durchmesser der Durchgangsbohrung und die Geometrie der Fadenführungsorgane variiert.

Bei der Strömungssimulation konnte durch eine Reduzierung des Durchmessers der Durchgangsbohrung der größte Effekt für eine Reduzierung des Luft- und Energieverbrauchs ermittelt werden. Es konnte aufgezeigt werden, dass jeglicher Durchmessersprung innerhalb der fadenführenden Organe sich negativ auf die Strömung auswirkt. Der Düsenbohrungswinkel sollte größer als 45° sein und der Düsenbohrungsdurchmesser möglichst klein gewählt werden. Bei einer Reduzierung des Düsenbohrungsdurchmessers muss jedoch zur Beibehaltung der Wirbelintensität die Anzahl der Düsenbohrungen erhöht werden.

In den Versuchen an dem Versuchsstand zeigte sich, dass der erste auf die Fasern aufgebraachte Drallimpuls von der sogenannten Injektordüse für die Kompaktierung des Faserbündels („Garn“) entscheidend ist. Durch die zweite Düse, die sogenannte Dralldüse, erfolgt lediglich noch eine Strukturfixierung der Fasern bis zum Einbindepunkt an der Stricknadel. Es konnte aufgezeigt werden, dass durch eine Reduzierung der Düsenbohrungsfläche um 30%, bei gleichzeitiger Reduzierung der Durchgangsbohrung von 20% ein Energieeinsparungspotenzial von 20% erreicht werden kann.

Eine weitere Reduzierung des Düsenbohrungsdurchmessers bei gleichzeitiger Erhöhung der Düsenbohrungsanzahl wurde auf Grund der dadurch deutlich steigenden Fertigungskosten nicht durchgeführt. Wird der Durchmesser der Durchgangsbohrung weiter reduziert, so kommt es auf Grund der im Fasermaterial vorhandenen Masseschwankungen zu einer vermehrten Anzahl an Systemabstellungen, was zu einer deutlichen Verschlechterung des Maschinennutzeffektes bei gleichzeitiger Erhöhung des Rohstoffabfalls führt.

Eine Vergrößerung des Düsenbohrungswinkels über 45° führt zwar zu einer Erhöhung der Drallwirkung und damit zu einem kompakteren Faserbündel, allerdings sinkt gleichzeitig die notwendige Transportwirkung der Düse deutlich ab. Dies hat sowohl negative Auswirkungen auf das Injektionsverhalten der Düse, was für eine sichere Abnahme der Fasern vom Streckwerk notwendig ist, als auch auf das Anlaufverhalten des Spinit-Systems.

An den auf der Maschine hergestellten Gestriken konnten durch eine Reduzierung des Dralldüsendrucks um 25% keine signifikanten Verschlechterungen des Berstdrucks und des Pillingverhaltens festgestellt werden.

Sämtliche Versuche zeigten auf, dass die momentan eingesetzte Düsengeometrie einen sehr guten Kompromiss bzgl. des Laufverhaltens, der erreichbaren Gestrickeigenschaften und der Fertigungskosten darstellt. Eine Verbesserung könnte im Bereich der fadenführenden Organe sowohl am Düseneingang als auch am Düsenausgang zu einer weiteren Verbesserung des Spinit-Systemes führen.

## ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

DITF-Jahresbericht 2018

### ***Fazit***

In dem Vorhaben konnten Möglichkeiten für eine Energieeinsparung von 20% aufgezeigt werden. Eine Reduzierung des Rohstoffeinsatzes von 10% konnte nicht erreicht werden. Allerdings wurde bei den Versuchen erkannt, dass der Übergabepunkt zwischen dem Streckwerksausgang und dem Injektordüseneingang für die Faserparallelität und Faserführung elementar ist und durch eine Optimierung in diesem Bereich eine Rohstoffeinsparung realisierbar wird.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Projektkennblatt</b> .....	4
1 Zusammenfassung .....	4
2 Einleitung .....	5
3 Hauptteil .....	9
3.1 Eingesetzter Versuchsstand und Maschine.....	9
3.2 Eingesetzte Messtechnik .....	11
3.2.1 Bestimmung des Lufthaushalts der Düsen.....	11
3.2.2 Faser- und Vorgarnprüfungen .....	11
3.2.3 Gestrickprüfungen.....	12
3.3 Simulation von Injektor- und Dralldüse im Spinit-Prozess .....	14
3.3.1 Untersuchungen der Dralldüse.....	14
3.3.2 Parameterstudie Injektordüse .....	16
3.3.3 Simulationsergebnisse der Parameterstudie .....	19
3.3.4 Auswertung der Parameterstudie .....	31
3.4 Versuchsdurchführung .....	32
3.4.1 Versuchsmaterial .....	32
3.4.2 Erprobung der Düsenkonfigurationen am Versuchsstand zur Ermittlung der Maschinenparameter (DITF) .....	33
3.4.3 Optimierung des Übergabebereichs zwischen Dralldüse und Stricksystem am Versuchsstand (DITF) .....	38
3.4.4 Verschiebung der Falschdrahtzone in Richtung Stricksystem .....	41
3.4.5 Erprobung der Gesamtkonfiguration und Ermittlung der Prozessparameter an der Spinit-Maschine (Mayer & Cie. / DITF) .....	43
3.4.6 Übertragung der Ergebnisse in die Praxis (Mayer & Cie.) .....	45
4 Fazit.....	50
5 Literaturverzeichnis .....	51

## Verzeichnis von Abbildungen

Abb. 1:	Platzbedarf bei konventioneller Herstellung von Gestriken .....	5
Abb. 2:	Platzbedarf bei der Gestrick-Herstellung mit Spinit.....	5
Abb. 3:	Skizze des Spinit-Verfahrens von Mayer & Cie. ....	6
Abb. 4:	Skizze der Injektor- bzw. Dralldüse .....	6
Abb. 5:	Streckwerk und Fasereinspeisung beim Spinit-Verfahren .....	9
Abb. 6:	Versuchsstand mit Abzugseinheit.....	9
Abb. 7:	Spinit 3.0 E-Maschine von Mayer & Cie. ....	10
Abb. 8:	Messaufbau zur Ermittlung des Luftverbrauchs und der angesaugten Luftmenge .....	11
Abb. 9:	Berstdruckbestimmung.....	13
Abb. 10:	Strömungsvolumen mit würfelförmigem Auslassbereich.....	14
Abb. 11:	Starker Abfall der Wirbelintensität über den Garnkanal .....	15
Abb. 12:	Vier Düsenbohrungen entlang dem Drallrohr .....	15
Abb. 13:	Vier Düsenbohrungen entlang dem Drallrohr (Swirling Vector).....	15
Abb. 14:	Parametrisierung des CAD-Modells zur Variation der Injektordüsenkonfiguration .....	16
Abb. 15:	Geschwindigkeitskomponenten im Randbereich der Strömung.....	17
Abb. 16:	Stromlinien der Düsenströmung und Betrag des SWIRLING VECTORS bezogen auf Linie 1 (die Zentralachse).....	18
Abb. 17:	Verlauf der Wirbelstärke über den Garnkanal.....	19
Abb. 18:	Maximum der Wirbelstärke bei Variation des Düsenbohrungsdurchmessers $D_{\dot{u}}$	20
Abb. 19:	Luftverbrauch bei Variation des Düsenbohrungsdurchmessers $D_{\dot{u}}$ .....	20
Abb. 20:	Effizienz bei Variation des Düsenbohrungsdurchmessers $D_{\dot{u}}$ .....	21
Abb. 21:	Maximum der Wirbelstärke bei Variation der Durchgangsbohrung $D_1$ .....	21
Abb. 22:	Luftverbrauch bei Variation des Durchmessers der Durchgangsbohrung $D_1$ .....	22
Abb. 23:	Effizienz bei Variation des Durchmessers der Durchgangsbohrung $D_1$ .....	23
Abb. 24:	Maximum der Wirbelstärke bei Variation des Düsenbohrungswinkels $\alpha$ .....	23
Abb. 25:	Luftverbrauch bei Variation des Düsenbohrungswinkels $\alpha$ .....	24
Abb. 26:	Effizienz bei Variation des Düsenbohrungswinkels $\alpha$ .....	24
Abb. 27:	Verlauf der Wirbelstärke entlang des Garnkanals.....	25
Abb. 28:	Maximum der Wirbelstärke bei Variation des Drallrohrdurchmessers $D_2=D_3$ .....	25
Abb. 29:	Luftverbrauch bei Variation des Drallrohrdurchmessers $D_2=D_3$ .....	26
Abb. 30:	Effizienz bei Variation des Drallrohrdurchmessers $D_2=D_3$ .....	26
Abb. 31:	Maximum der Wirbelstärke bei Variation der Bohrungsanzahl $n$ .....	27
Abb. 32:	Luftverbrauch bei Variation der Bohrungsanzahl $n$ .....	27
Abb. 33:	Effizienz bei Variation der Bohrungsanzahl $n$ .....	28
Abb. 34:	Verlauf der Wirbelstärke über dem Garnkanal bei Variation der Bohrungsanzahl $n$ und konstanter Fläche $A$ .....	28
Abb. 35:	Maximum der Wirbelstärke bei Variation der Bohrungsanzahl und konstanter Fläche $A$ .....	29
Abb. 36:	Luftverbrauch bei Variation der Bohrungsanzahl und konstanter Fläche $A$ .....	29
Abb. 37:	Effizienz bei Variation der Bohrungsanzahl und konstanter Fläche $A$ .....	30
Abb. 38:	Verlauf der Wirbelstärke über den Garnkanal bei Variation der Form (Konisch).30	
Abb. 39:	Maximum der Wirbelstärke bei Variation der Form (Konisch) .....	30
Abb. 40:	Luftverbrauch bei Variation der Form (Konisch) .....	31

Abb. 41:	Anliegender Unterdruck am Düseneingang und Luftverbrauch der Düsen .....	33
Abb. 42:	„Garnstruktur“ bei unterschiedlichen Düsenkombinationen .....	36
Abb. 43:	Anliegender Unterdruck am Düseneingang .....	37
Abb. 44:	Abzug am Versuchsstand .....	38
Abb. 45:	Einfluss der Verzugshöhe zwischen Streckwerksausgang und Abzug auf das Faserbändchen .....	39
Abb. 46:	Prinzipskizze der nach der Dralldüse angeordneten Lochblende (Blende) .....	40
Abb. 47:	Faserverband ohne (links) und mit (rechts) Blende .....	40
Abb. 48:	Prinzipskizze: Falschdrahtzone mit Fasereinlaufrohrchen .....	41
Abb. 49:	Einspeisepunkt der Fasern in die Stricknadeln (links geschlossener Faserverband; rechts offener Faserverband) .....	44
Abb. 50:	Flächengewicht der Spinit-Gestricke in Abhängigkeit des Spinnendrucks und der eingesetzten Düsengeometrie .....	44
Abb. 51:	Korrelation Flächengewicht - Berstdruck .....	45
Abb. 52:	Flächengewicht (Rohstoff A) in Abhängigkeit der Düsengeometrie und des Düsendrucks .....	46
Abb. 53:	Anzahl Maschenreihen (Rohstoff A) in Abhängigkeit der Düsengeometrie und des Düsendrucks .....	46
Abb. 54:	Berstdruck (Rohstoff A) in Abhängigkeit der Düsengeometrie und des Düsendrucks .....	47
Abb. 55:	Flächengewicht (Rohstoff ) in Abhängigkeit der Düsengeometrie und des Düsendrucks .....	47
Abb. 56:	Anzahl Maschenreihen (Rohstoff B) in Abhängigkeit der Düsengeometrie und des Düsendrucks .....	48
Abb. 57:	Berstdruck (Rohstoff B) in Abhängigkeit der Düsengeometrie und des Düsendrucks .....	48

## Verzeichnis von Tabellen

Tab. 1:	Maschinendaten Spinit 3.0 E .....	10
Tab. 2:	Konstanten des $k$ - $\epsilon$ -Turbulenzmodells .....	14
Tab. 3:	Parameter des CAD-Modells .....	16
Tab. 4:	Faserdaten der eingesetzten Baumwolle .....	32
Tab. 5:	Eingesetzte Düsenkonfigurationen .....	33
Tab. 6:	Min. Spinnndruck und Luftverbrauch in Abhängigkeit der Düsengeometrie .....	34
Tab. 7:	Min. Spinnndruck und Luftverbrauch in Abhängigkeit der Düsengeometrie .....	35
Tab. 8:	Erprobte Düsenkombinationen .....	35
Tab. 9:	Max. Lieferung bei Variation der Länge des Fasereinlaufrohrchens (Versuchsstand) .....	41
Tab. 10:	An der Spinit-Maschine eingesetzte Düsengeometrien .....	43
Tab. 11:	An der Spinit-Maschine eingesetzte Düsengeometrien und Düsendrücke .....	45

## Formelzeichen

$D_1; D_2; D_3; D_{\ddot{u}}; \alpha; n; r$	Geometriegrößen der Injektordüse
$x$	Koordinate entlang des Garnkanals
$p_{ein1}; p_{ein2}; p_{aus}$	Drücke an Ein- und Auslassflächen des CFD-Modells
$C_{\mu}; \sigma_k; \sigma_{\varepsilon}; C_{1\varepsilon}; C_{2\varepsilon}$	Konstanten des k- $\varepsilon$ -Turbulenzmodells
$D$	Geschwindigkeitsgradiententensor
$\lambda_r^{(i)}$ mit $i \in 1, 2, 3$	(Reelle) Eigenwerte des Geschwindigkeitsgradiententensors $D$
$v_r^{(i)}$ mit $i \in 1, 2, 3$	Eigenvektoren zu den Eigenwerten $\lambda_r^{(i)}$
$\eta$	Wirkungsgrad

## Abkürzungen

tex	Maßeinheit für die Masse von Garnen bezogen auf die Länge (Bsp.: 20 tex = 20 g/1000 m Garn); siehe DIN 60905, Teil 1.
Nm	Noch häufig gebrauchtes Maß für die Garnfeinheit; Verhältnis der Garmlänge in m bezogen auf 1 g Garnmasse, wobei der Zahlenwert hinter der Einheit steht (Bsp. Nm 50 --> 50 m Garn wiegen 1 g).

## Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

Falschdraht	Eine zwischen zwei Klemmpunkten aufgebrachte Drehung, welche sich nach dem Verlassen des zweiten Klemmpunktes wieder auflöst.
Flyerlunte	Ein mit geringer Drehung versehenes Faserpaket; Zwischenprodukt in der Ringgarnspinnerei.

# 1 Zusammenfassung

Das Spinit-Verfahren stellt durch die Zusammenführung des Spinn- und Strickvorgangs in einer Maschine ein sehr ressourcenschonendes Verfahren zur Herstellung von Gestriken dar. Dabei wird mit Hilfe von zwei Düsen und den entsprechenden Faserführungsorganen das aus dem Streckwerk austretende Faserbändchen bis zur Einbindung der Fasern in das Gestrick verfestigt. Ziel des Vorhabens war durch die Optimierung der Düsengeometrie eine Senkung des Luftverbrauchs und damit eine Energieeinsparung von 20% zu erreichen. Gleichzeitig sollte durch eine geschlosseneren Faserführung am Übergabepunkt der Fasern in das Stricksystem eine Rohstoffeinsparung von 10% erreicht werden.

Für die Optimierung der Düsengeometrie und der faserführenden Organe wurde zum einen die Strömungssimulation eingesetzt und zum anderen Versuche an einem Versuchsstand sowie an der Spinit-Maschine durchgeführt.

Innerhalb des Vorhabens konnte ein Simulationsmodell der eingesetzten Düsengeometrie und der dazugehörigen Fadenführungsorgane erstellt werden. Durch dieses Simulationsmodell war es möglich die Strömungen innerhalb des Falschdrahtsystems, ohne Berücksichtigung der Fasern, darzustellen. Es wurde die Düsenbohrungsanordnung, der Düsenbohrungsdurchmesser, der Düsenbohrungswinkel, die Düsenbohrungsanzahl, der Durchgangsbohrungsdurchmesser und die Geometrie der Fadenführungsorgane variiert. Durch die Reduzierung des Durchgangsbohrungsdurchmessers konnte der größte Effekt bzgl. der Luftverbrauchsreduzierung erreicht werden. Es konnte aufgezeigt werden, dass jeglicher Durchmesserprung innerhalb der fadenführenden Organe sich negativ auf die Strömung auswirkt. Der Düsenbohrungswinkel sollte größer als  $45^\circ$  sein und der Düsenbohrungsdurchmesser möglichst klein gewählt werden. Bei einer Reduzierung des Düsenbohrungsdurchmessers muss jedoch zur Beibehaltung der Wirbelintensität die Anzahl der Düsenbohrungen erhöht werden.

In den Versuchen an dem Versuchsstand zeigte sich, dass der erste auf die Fasern aufgebrachte Drallimpuls für die Kompaktierung des Faserbündels („Garn“) entscheidend ist. Durch die zweite Düse erfolgt lediglich noch eine Strukturfixierung der Fasern bis zum Einbindepunkt an der Stricknadel. Durch eine Reduzierung der Düsenbohrungsfläche um 30%, bei gleichzeitiger Reduzierung der Durchgangsbohrung von 20% konnte ein Energieeinsparungspotenzial von 20% erreicht werden. Düsen mit einem reduzierten Düsenbohrungsdurchmesser und einer gleichzeitig erhöhten Anzahl an Düsenbohrungen wurden auf Grund der höheren Fertigungskosten nicht hergestellt. Eine weitere Reduzierung der Durchgangsbohrung führt auf Grund der im Fasermaterial vorhandenen Masseschwankungen zu einer höheren Anzahl an Systemabstellungen und damit zu einer deutlichen Verschlechterung des Maschinennutzeffektes bei gleichzeitiger Erhöhung des Rohstoffabfalls.

In dem Vorhaben konnten Möglichkeiten für eine Energieeinsparung von 20% aufgezeigt werden. Eine Reduzierung des Rohstoffeinsatzes konnte nicht erreicht werden. Allerdings wurde bei den Versuchen erkannt, dass der Übergabepunkt zwischen dem Streckwerksausgang und dem Injektordüseneingang für die Faserparallelität und Faserführung elementar ist und durch eine Optimierung in diesem Bereich eine Rohstoffeinsparung realisierbar wird.

Als Kooperationspartner waren an dem Vorhaben das Institut für Textil- und Verfahrenstechnik (ITV) der Deutschen Institute für Textil- und Faserforschung (DITF) Denkendorf beteiligt.

Das Vorhaben wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt unter dem Aktenzeichen AZ: 34028/01 gefördert.

## 2 Einleitung

### Ausgangssituation und Stand der Technik

Bei dem durch Mayer & Cie. entwickelten Spinit-Verfahrens handelt es sich um ein sogenanntes Spinn-Stricksystem bei dem der ansonsten getrennte Spinn- und Strickvorgang in einer Maschine zusammengeführt wird.

Mit der Möglichkeit Spinnen und Stricken an einer Maschine durchzuführen, werden die Prozessschritte des Spinnens und des Umspulens, welche in der konventionellen Herstellungskette notwendig sind, eingespart. Firmen in der textilen Herstellungskette erhalten hierdurch entscheidende Vorteile. Die Entwicklung des Spinit-Verfahrens durch Mayer & Cie. ermöglicht schon heute ein hohes Potential für die Herstellung ressourcenschonender Gestricke. Durch den Wegfall des Spinn- und Spulprozesses konnten sowohl der Platzbedarf (z. B. Produktions-, Lagerfläche) als auch der Energiebedarf für Transport und Spulerei in der textilen Wertschöpfungskette reduziert werden (Abb. 1 und Abb. 2).

Eine Abschätzung der Energie- und Rohstoffeinsparung am Beispiel eines Gestricks (Flächengewicht von 125 g/m<sup>2</sup>) ergibt für die Annahme, dass sich 130 Spinit-Maschinen im Feld befinden:

Produktion: 19,6 kg/h pro Maschine  
 Nutzeffekt: 85 %  
 Energieeinsparung: 81.298 kWh pro Maschine und Jahr → 10,57 Mio. kWh pro Jahr  
 Rohstoffeinsparung: > 3 % (geringere Prozessabfälle)

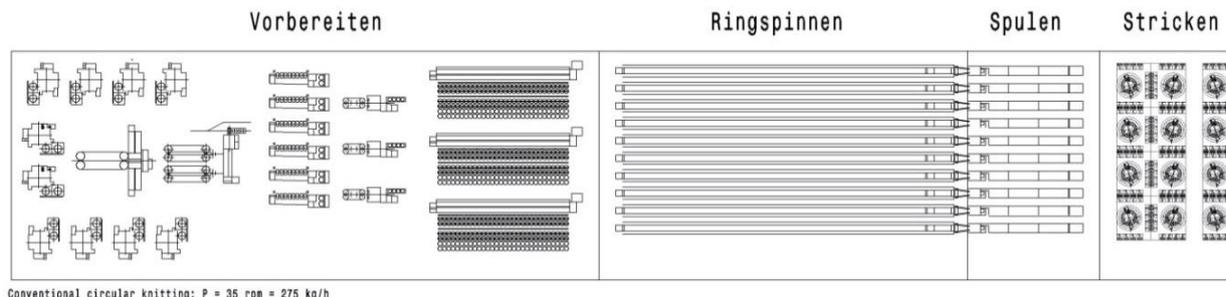


Abb. 1: Platzbedarf bei konventioneller Herstellung von Gestricken

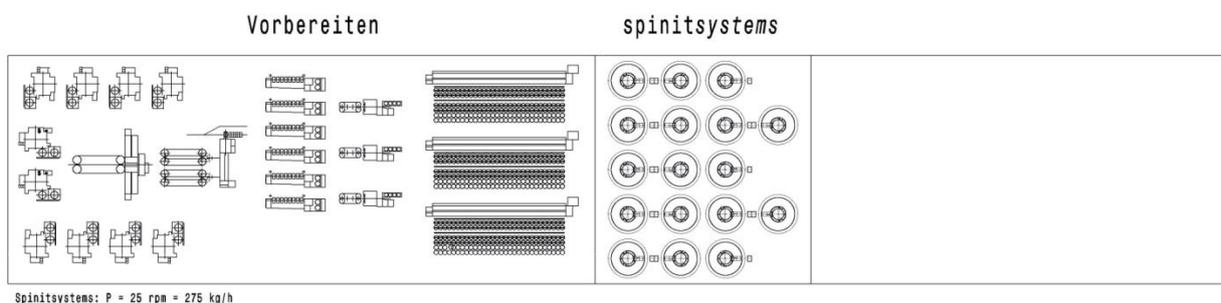


Abb. 2: Platzbedarf bei der Gestrick-Herstellung mit Spinit

## Darstellung der grundlegenden Idee und Zielsetzung

Bisherige Entwicklungen des Spinit-Verfahrens von Mayer & Cie. konzentrierten sich auf die Streckwerkentwicklung und die Faserzuführung in die Falschdrahtzone (Abb. 3). Für die Einsaugung des Faserbands (Injektordüse) aus dem Streckwerk und die Erzeugung des Falschdrahts (Dralldüse) werden bisher zwei baugleiche Düsen verwendet und mit ähnlichen Drücken betrieben, obwohl die Düsen zwei grundlegend unterschiedliche Funktionen erfüllen.

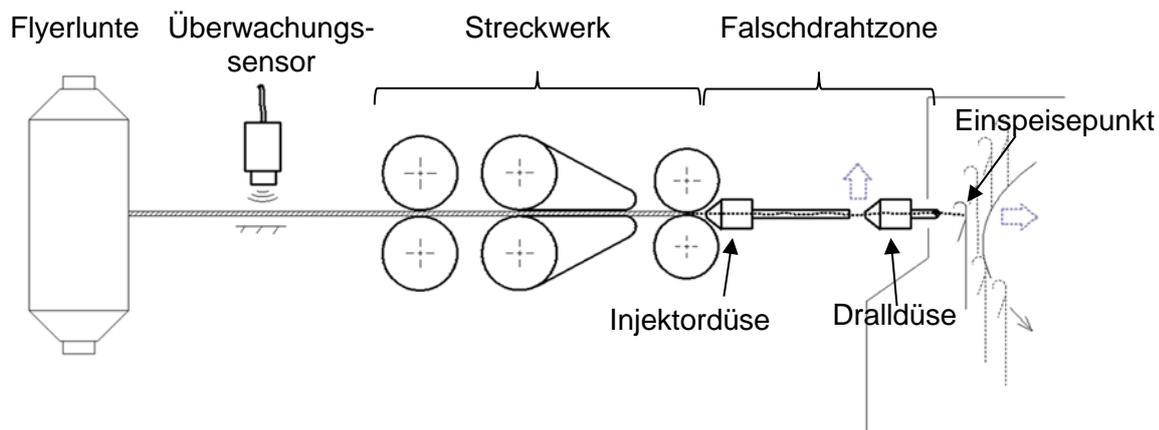


Abb. 3: Skizze des Spinit-Verfahrens von Mayer & Cie.

Die Trennung der Aufgaben von Injektor- und Dralldüse ermöglicht eine individuelle Optimierung der Düsengeometrie und somit eine Verringerung des Luftverbrauchs. Ziel ist eine Senkung des Luftverbrauchs um > 20 %.

Der Luftverbrauch wird vom Düsenbohrungsdurchmesser und der Anzahl der Düsenbohrungen (Abb. 4) sowie vom Betriebsdruck bestimmt. Ein geringerer Luftverbrauch kann mittels Verringerung des Überdrucks, Verkleinerung der Düsenbohrung und Reduzierung der Bohrungsanzahl erreicht werden.

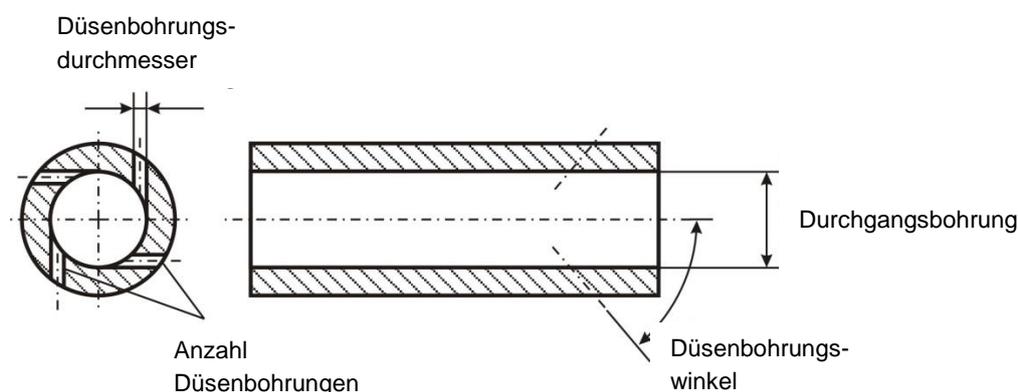


Abb. 4: Skizze der Injektor- bzw. Dralldüse

Die Düsenoptimierungen wurden mittels Strömungssimulation durchgeführt. Als Prozessparameter wurden die Injektorwirkung (Verhältnis angesaugte Luftmenge zu Luftverbrauch) und die Drallzahl (Verhältnis Axial- zu Tangentialgeschwindigkeit) für die Beurteilung der Düsen herangezogen.

Neben der strömungsmechanischen Optimierung der beiden Düsen ist eine textiltechnologische Optimierung des Spinnverfahrens notwendig, um trotz Energieeinsparung den Falschdraht in der Falschdrahtzone optimal auszubilden und die Faserübergabe störungsfrei zu gewährleisten.

Im Fokus der textiltechnischen Optimierung steht der Faserübergabebereich am Einspeisepunkt. In einer Voruntersuchung haben High-Speed-Videoaufnahmen gezeigt, dass die ausströmende Prozessluft sowie die Ballonierung (Schwingung) des Faserbands, dessen Falschdraht sich an dieser Stelle auflöst, zu Problemen bei der Fasereinbindung führen.

Als Kenngrößen für die Einbindung der Fasern, sowie eine mögliche verbleibende Drehung im Faserverbund, dienen die Materialkenngrößen Pilling und Berstfestigkeit. Spinit-Gestricke weisen für beide Materialkenngrößen leicht geringere Werte gegenüber konventionell hergestellten Gestriken, z. B. aus Ringspinn garn, auf [1]. Mit einer geschlosseneren Faserführung zur Stricknadel und dadurch kompakteren Fasereinbindung in die Maschen sollen diese beiden Materialprüfwerte deutlich verbessert werden. Aktuell können diese Werte bei Spinit-Gestriken über einen höheren Fasereinsatz und somit ein dichteres Gestrick erreicht werden. Durch die optimierte Fasereinbindung soll eine Rohstoffeinsparung von ca. 10 % erreicht werden.

**Ziel des Projekts ist es, eine Reduzierung des Luftverbrauchs > 20 % zu erreichen.**

Trotz der Senkung des Luftverbrauchs soll durch eine geeignete Luft- und Faserführung der Falschdraht im Faserband bis zum Einbindepunkt erhalten bleiben und so zu einer Stabilisierung des Transport- und Strickprozesses führen. Ziel dieser Maßnahmen ist eine **Rohstoffeinsparung von ca. 10 %**.

## Arbeitsplan

Um eine Reduzierung des Luftverbrauchs und gleichzeitig eine Rohstoffeinsparung bei hoher Gestrickqualität zu erreichen waren folgende Arbeitspakete geplant:

<b>Arbeitspaket</b>
<p><b>AP 1: Konzeptionierung und Materialbeschaffung (Mayer &amp; Cie. (kurz MCT)/DITF)</b>            Materialauswahl und -beschaffung            Festlegung der Feinheitsbereiche: Flyerlunte, Garn, Gestrick</p>
<p><b>AP 2: Konstruktion und Aufbau eines Versuchsstandes (MCT/DITF)</b>            Es wird ein Versuchsstand mit Falschdrahtzone zur Erprobung unterschiedlicher Düsenkonfigurationen konstruiert und aufgebaut.            Der Versuchsstand besteht aus einem Flyerabzug, Spinit-Streckwerk, Falschdrahtzone mit austauschbarer Düsenkonfiguration, Abzugswalzenpaar und Absaugung.</p>
<p><b>AP 3: Herstellung Vorgarnlunten und Ausspinnung Referenzgarne (DITF)</b>            Herstellung Flyerlunte und Referenzgarne auf konventionellen Maschinen für die Evaluation der späteren Ergebnisse</p>
<p><b>AP 4: CFD-Modellierung der Falschdrahtdüsen (MCT/DITF)</b>            Mayer &amp; Cie.: Bereitstellung eines CAD-Modells der aktuellen Injektor- und Dralldüse            ITV: Modellierung und Simulation</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modellierung des Strömungsfelds und Erstellung eines Rechengitters</li> <li>• Durchführung der Simulation in Abhängigkeit des Betriebsdrucks</li> </ul>

<p><b>AP 5 Verifizierung des Simulationsmodells (DITF)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswertung der Simulationsergebnisse hinsichtlich Injektor- und Drallwirkung</li> <li>• Messung der Injektorwirkung am Düsenmessstand des ITV</li> <li>• Verifizierung des Simulationsmodells</li> </ul>
<p><b>AP 6: Erstellung eines Simulationsplans / CFD-Simulationen mit Parametervariationen (MCT/DITF)</b></p> <p>Mayer &amp; Cie./ITV: Versuchsplan mit Variationsbereichen der Parameter wird erstellt. ITV: Durchführung der Parametervariationen in Abhängigkeit des Betriebsdrucks</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variation des Düsenbohrungswinkels</li> <li>• Variation der Bohrungsanzahl</li> <li>• Variation der Faserkanal-Geometrie</li> </ul> <p>Bewertung der Simulationsergebnisse hinsichtlich Injektorwirkung und Drallzahl.</p>
<p><b>AP 7: Auswahl und Fertigung der optimierten Düsenkonstellationen (MCT/DITF)</b></p> <p>Mayer &amp; Cie./ITV: Auswahl geeigneter Düsenkonstellationen anhand der Simulationsergebnisse Mayer &amp; Cie.: Herstellung ausgewählter Drall- und Injektordüsen</p>
<p><b>AP 8: Erprobung der Düsenkonfigurationen am Versuchsstand zur Ermittlung der Maschinenparameter (DITF)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variation der Düsenanordnung in der Falschdrahtzone</li> <li>• Anordnung der Garnführungskanäle zwischen den Düsen und zwischen Dralldüse und Einspeisepunkt</li> <li>• Analyse der Garnführung in der „Entspannungszone“ zwischen Dralldüse und Einspeisepunkt mittels High-Speed-Videotechnik</li> </ul>
<p><b>AP 9: Erprobung der Gesamtkonfiguration und Ermittlung der Prozessparameter an der Spinit-Maschine (MCT/DITF)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variation der Überlieferung (Liefergeschwindigkeit Streckwerk / Abstrickgeschwindigkeit)</li> <li>• Analyse der Ballonbildung in der „Entspannungszone“ und dessen Einfluss auf die Faserübergabe im Einspeisepunkt mittels High-Speed-Videotechnik</li> </ul>
<p><b>AP 10: Optimierung des Übergabebereichs am Versuchsstand (DITF)</b></p> <p>Optimierung des Bereichs im Hinblick auf geringe Störungsquellen für einen möglichst ungedrehten Faserverbund.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Umlenkung der Prozessluft mittels Luftführungselementen</li> <li>• Führungselemente zur Beruhigung des Garnballons</li> </ul>
<p><b>AP 11 Übertragung der Ergebnisse in die Praxis (MCT)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation der optimierten Systemkonfiguration an die Spinit-Maschine</li> <li>• Herstellung von Gestriken an der Spinit 3.0E-Maschine mit optimierter Systemkonfiguration</li> <li>• Herstellung von Referenzgestriken an konventioneller Maschine</li> </ul>
<p><b>AP 12: Materialprüfungen (DITF)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchführung von Materialprüfungen an den Versuchsgestriken (speziell Pilling und Berstfestigkeit) am ITV Denkendorf</li> <li>• Vergleich der Prüfergebnisse mit konventionellen Referenzgestriken</li> </ul>

### 3 Hauptteil

#### 3.1 Eingesetzter Versuchsstand und Maschine

Die Abb. 5 zeigt den prinzipiellen Aufbau des Spinit-Verfahrens von der Fa. Mayer & Cie..

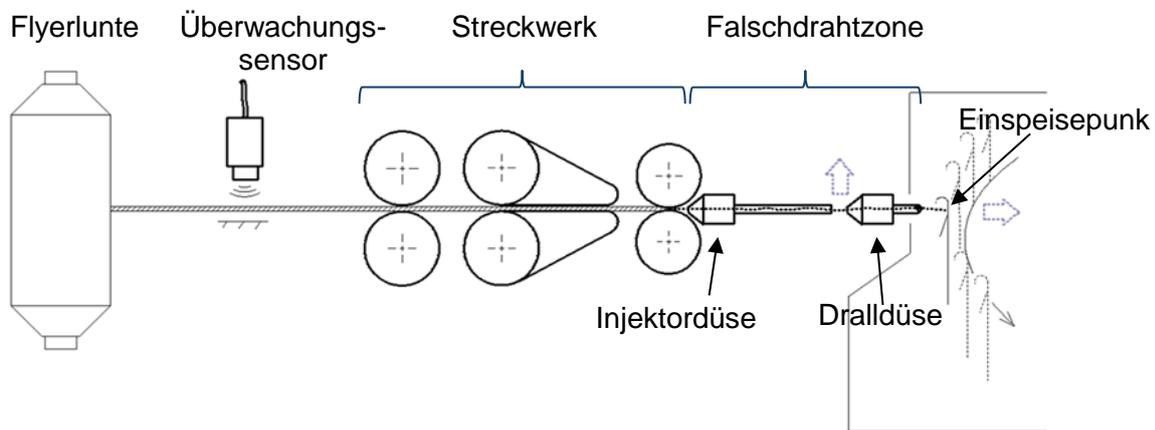


Abb. 5: Streckwerk und Fasereinspeisung beim Spinit-Verfahren

Das von der Flyerlunte kommende Fasermaterial wird dem 3 über 3-Zylinderstreckwerk zugeführt und dort auf die gewünschte Garnfeinheit verzogen. Während der Luntenzuführung wird durch den Überwachungssensor gewährleistet, dass in der Flyerlunte auftretende Fehler (Dünn-, Dickstellen, Nissen), die zu einem Fehler im Gestrück oder einer Verstopfung der Düsen und damit dem Abbruch des Strickprozesses führen könnten, ausgereinigt werden. Das verzogene Faserband wird zunächst der Injektor- und dann der Dralldüse zugeführt, bevor es den Stricknadeln zugeführt und dann in das Gestrück eingebunden wird.

Für die Erprobung der Düsenkonfigurationen wurde von der Fa. Mayer & Cie. ein Versuchsstand aufgebaut und dem DITF zur Verfügung gestellt.

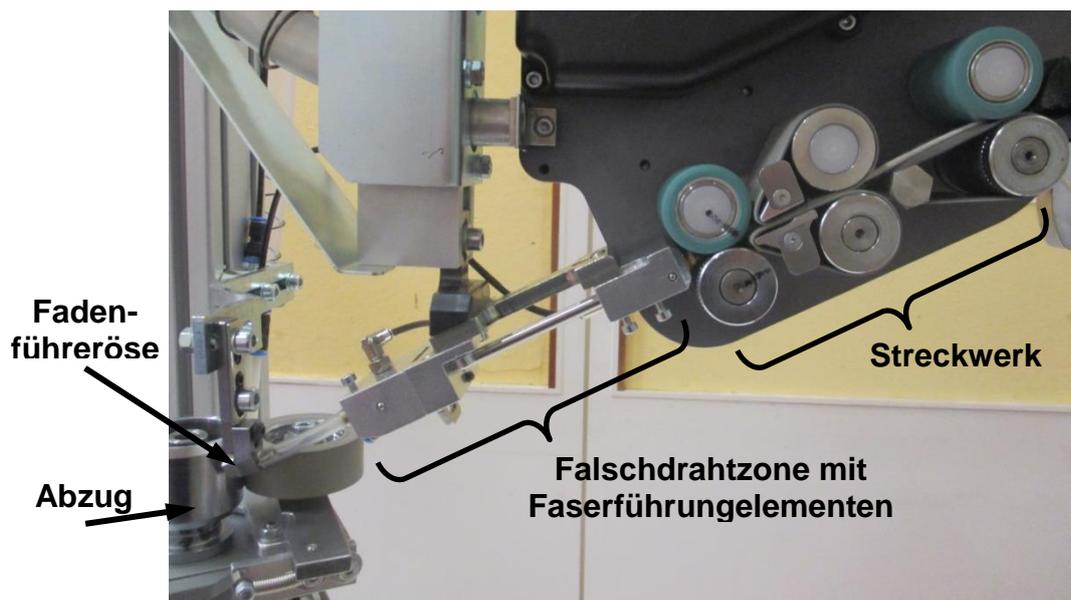


Abb. 6: Versuchsstand mit Abzugseinheit

Der Versuchsstand (Abb. 6) besteht aus dem Streckwerk, der Falschdrahtzone mit den entsprechenden Faserführungselementen, einem Abzug und der notwendigen Antriebstechnik sowie der zugehörigen Steuereinheit. Der Versuchsstand ermöglicht die Erprobung der Düsenkonfigurationen zur Verfestigung des aus dem Streckwerk austretenden Faserverbandes ohne die Herstellung eines Gestricks.

Durch den Abzug wird die Faserabnahme durch das Stricksystem simuliert. Der Aufbau bedingt, dass die Versuche am Versuchsstand nur mit einem System (Injektor-; Dralldüse mit entsprechenden Faserführungselementen) durchgeführt werden konnten. An der Spinit-Maschine werden je Streckwerk jeweils zwei Stricksysteme betrieben. Somit ist die Luftversorgung jeweils für die beiden nebeneinander liegenden Injektor- bzw. Dralldüsen ausgelegt. Um den Einfluss auf den Lufthaushalt möglichst nahe an die Gegebenheiten der Spinit-Maschine anzupassen, wurden am Versuchsstand bei dem zweiten, nicht eingesetzten System jeweils die Injektor- und Dralldüse mit Blindstopfen versehen. Da an dem Versuchsstand kein Gestrick hergestellt wird, wird dort auch auf den Überwachungssensor der Flyerlunte verzichtet.

Die Strickversuche wurden an eine Spinit 3.0 E-Maschine von Mayer & Cie. durchgeführt (siehe Abb. 7). Die wichtigsten Maschinendaten sind in der Tab. 1 aufgelistet.

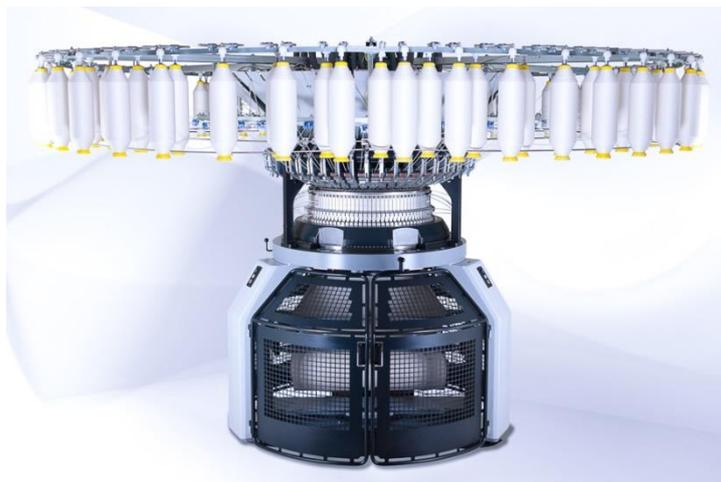


Abb. 7: Spinit 3.0 E-Maschine von Mayer & Cie.

Tab. 1: Maschinendaten Spinit 3.0 E

<b>Maschinendaten Spinit 3.0E</b>	
<b>Nenndurchmesser</b>	762 mm; 30 inch
<b>Teilung</b>	E 28 (0,91 mm)
<b>Systemanzahl</b>	90

## 3.2 Eingesetzte Messtechnik

### 3.2.1 Bestimmung des Lufthaushalts der Düsen

Der Luftdurchsatz und die angesaugte Luftmenge der Düse werden mit Hilfe von Rotametern ermittelt. Die Abb. 8 zeigt den Messaufbau.

Mit dem Rotameter G1 250-2749 wird der Luftverbrauch der jeweiligen Düse gemessen. Der Leitungsdruck der Luft wird mit Hilfe eines Manometers vor dem Rotameter konstant auf 6 bar eingestellt. Über ein weiteres Manometer hinter dem Rotameter kann der an der Düse anliegende Spinndruck von 0,5 – 6,0 bar (Überdruck) variiert werden. Der Luftverbrauch wird dann anhand der Kalibrierkurve für den Schwebekörper des Rotameters bei 6 bar Leitungsdruck (7 bar absoluter Druck) und der Kontinuitäts-Gleichung in Abhängigkeit des Druckes ermittelt. Mit dem zweiten Rotameter (L G3 / 2400-18915) wird die angesaugte Luftmenge am Düseneingang gemessen.

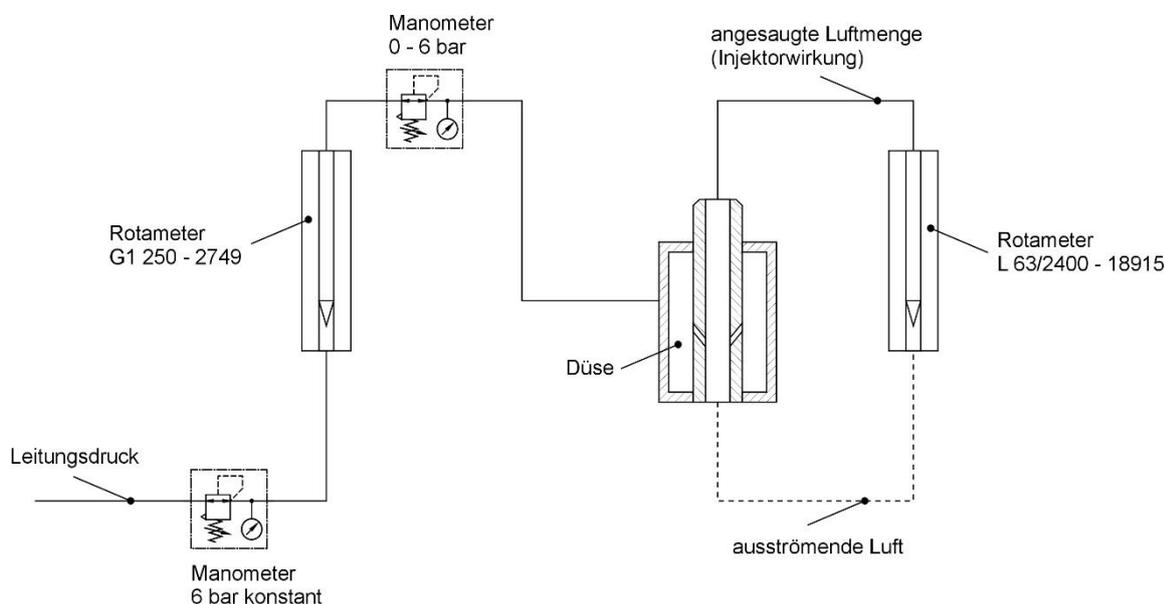


Abb. 8: Messaufbau zur Ermittlung des Luftverbrauchs und der angesaugten Luftmenge

### 3.2.2 Faser- und Vorgarnprüfungen

Sämtliche textiltechnologischen Prüfungen an den Fasern, Vorgarnen und Gestriken wurden im Normklima ( $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  /  $65\% \pm 4\%$  relative Luftfeuchte) durchgeführt.

#### Fibrotest

Am Fibrotester werden am nicht endengeordneten Faserbündel nach Spannängenmessverfahren folgende Daten ermittelt:

- ML [mm] Mittlere Faserlänge nach Fasergewicht
- UHM [mm] (Upper Half Mean) Durchschnittslänge der oberen Hälfte
- UI [%] (Uniformity Index) Gleichförmigkeitsindex
- SFI<12,5 mm [%] (Short Fibre Index) Kurzfasernanteil <12,5 mm
- Feinheitsfestigkeit [cN/tex]
- Faserdehnung [%]



### Warendicke (DIN EN ISO 5084)

Bestimmung der Dicke von Textilien und textilen Erzeugnissen. Bei der Bestimmung der Dicke eines Probestückes wird der Abstand zwischen zwei Bezugspalten gemessen. Die Proben werden im entspannten Zustand klimatisiert (mind. 16 h). Dann wird die auf einer Auflagefläche liegende Messprobe mit einem Messstempel bei einem vorgegebenen Messdruck belastet. Der Abstand zwischen den Bezugspalten wird nach einer festgelegten Zeit (30 s) gemessen. Die druckabhängige Dicke wird in mm/Druckeinheit angegeben.

### Luftdurchlässigkeit (DIN EN ISO 9237 (1995-12))

Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von textilen Flächengebilden. Die Luftdurchlässigkeit gibt an, wieviel Luft bei einer definierten Fläche je Zeiteinheit durchströmt. Die Proben werden zunächst klimatisiert. Während der Messung wird die Messprobe senkrecht zu ihrer Oberfläche von einem Saugluftstrom durchströmt. Infolge des Strömungswiderstandes entsteht ein Druckverlust, der als Differenzdruck gemessen wird. Als Maß für die Luftdurchlässigkeit dient der Volumenstrom, der bei einem einstellbaren Differenzdruck die freie Probenfläche durchströmt. Die Luftdurchlässigkeit wird in l/min dm<sup>2</sup> bzw. l/s m<sup>2</sup> angegeben.

### Pillingprüfung (DIN EN ISO 12945-2)

Bestimmung der Neigung von textilen Flächengebilden zur Faserknötchenbildung auf der Oberfläche. Eine kreisförmige Messprobe wird in den Probenhalter eingespannt und unter definierter Belastung gegen ein Scheuermittel (Standard- Gewebe) in Form einer Lissajous-Figur bewegt. Die Flusen- und Pillingneigung wird durch einen visuellen Vergleich mit einem Fotostandard nach einer festgelegten Anzahl von Touren ermittelt.

### Berstdruck

Bestimmung der Bersteigenschaften von textilen Flächengebilden nach DIN EN ISO 13938-2. Bei der Bestimmung des Wölb- und Berstverhaltens von textilen Flächengebilden wird eine kreisförmige Messprobe durch Luft- oder Flüssigkeitsdruck bis zur maximalen Aufwölbung oder bis zum Bersten beansprucht (siehe Abb. 9). Als Maß für das Wölb- bzw. Berstverhalten dienen die Wölbhöhe (in mm), der Berstmessdruck (in daN/cm<sup>2</sup>) und die Berstkraft (in daN/cm). Der Berstdruck wird in kPa angegeben.



während des Versuches

am Ende des Versuches

Abb. 9: Berstdruckbestimmung

### 3.3 Simulation von Injektor- und Dralldüse im Spinit-Prozess

#### 3.3.1 Untersuchungen der Dralldüse

Das Original-CAD-Modell der Fa. Mayer & Cie. wurde in Hinblick auf die Strömungssimulation aufbereitet. Hierfür war es notwendig, Bereiche mit kleinen Flächen und Kanten manuell nachzubearbeiten sowie Übergänge zu glätten, damit die Diskretisierung problemlos verläuft. Es wurde ein Strömungsvolumen erstellt, das die Dralldüse von deren Einlaufbereich über den Garnkanal bis hin zum Übergabebereich an der Stricknadel umfasst. Im Bereich des Auslasses wurde ein würfelförmiges Luftvolumen angesetzt, um die Strömung am Auslass untersuchen zu können. Abb. 10 zeigt das Strömungsvolumen. Das Volumen wurde mit Tetraeder-elementen vernetzt.

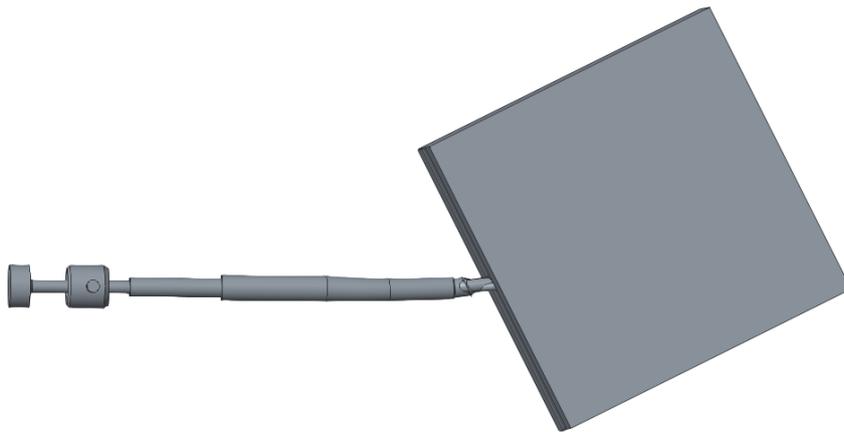


Abb. 10: Strömungsvolumen mit würfelförmigem Auslassbereich

#### Modellierung

Die Modellierung der Strömung erfolgte mit ANSYS Fluent. Die Strömung wurde als kompressible Strömung mit dem  $k$ - $\epsilon$ -Turbulenzmodell mit skalierbaren Wandfunktionen modelliert. Das  $k$ - $\epsilon$ -Modell beschreibt die Turbulenz mit Hilfe der zwei Gleichungen der turbulenten kinetischen Energie  $k$  und der Dissipation  $\epsilon$ . Die Konstanten der Turbulenzgleichung wurden auf Basis von Literaturwerten wie folgt festgelegt:

Tab. 2: Konstanten des  $k$ - $\epsilon$ -Turbulenzmodells

Konstanten	Wert
$C_\mu$	0,09
$\sigma_k$	1,00
$\sigma_\epsilon$	1,30
$C_{1\epsilon}$	1,44
$C_{2\epsilon}$	1,92

## Simulation Dralldüse

Die Ergebnisse der Strömungssimulation deuteten auf ein rapides Abfallen der Wirbelstärke entlang des Garnkanals hin (Abb. 11). Daher war der erste Ansatz, den Drall über eine größere Länge aufrecht zu erhalten.

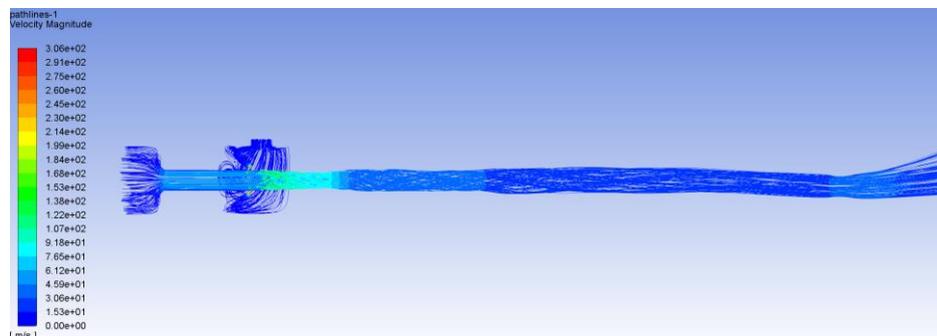


Abb. 11: Starker Abfall der Wirbelintensität über den Garnkanal

Untersuchungen an einer Düse mit vier Drallbohrungen entlang dem Drallrohr (Fadenrohr) haben zur Erkenntnis geführt, dass zwar der Wirbel über eine längere Strecke aufrechterhalten werden kann (Abb. 12 und Abb. 13), jedoch die Asymmetrie der Bohrungen zu einer sehr lokalen Wirbelverteilung führt.

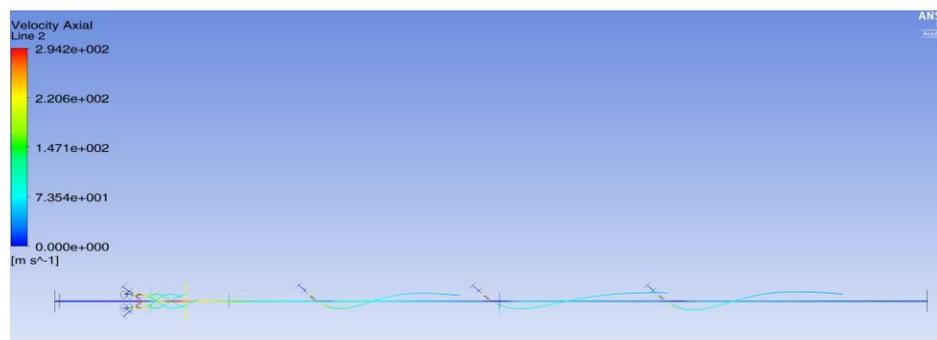


Abb. 12: Vier Düsenbohrungen entlang dem Drallrohr

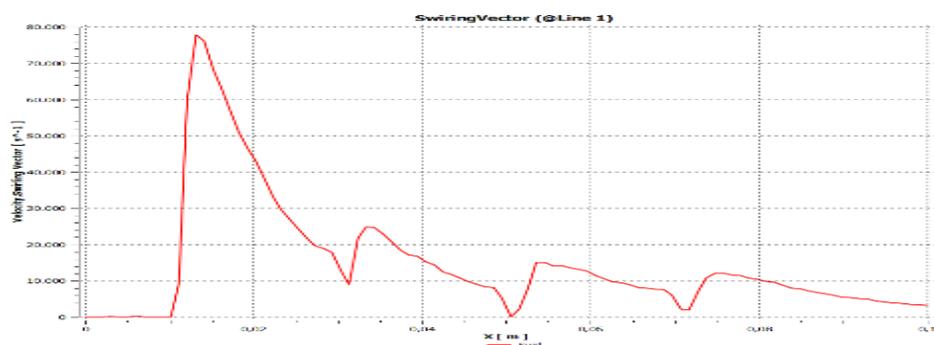


Abb. 13: Vier Düsenbohrungen entlang dem Drallrohr (Swirling Vector)

Um weitere Ansatzpunkte der Effizienzsteigerung zu ermitteln, wurde eine Parameterstudie an einem parametrisierten CAD-Modell vorgeschlagen um gezielt die Auswirkungen von konstruktiven Änderungen zu ermitteln.

### 3.3.2 Parameterstudie Injektordüse

#### CAD-Modell und Parametrisierung

Für die Parameterstudie wurde ein parametrisiertes CAD-Modell des Strömungsvolumens der Injektordüse erstellt. Dabei wurden die Außenwände des Strömungskanals und die durchströmten Ein- und Auslassflächen modelliert. Eine Übersicht über die Parameter des Modells gibt die Abb. 14.

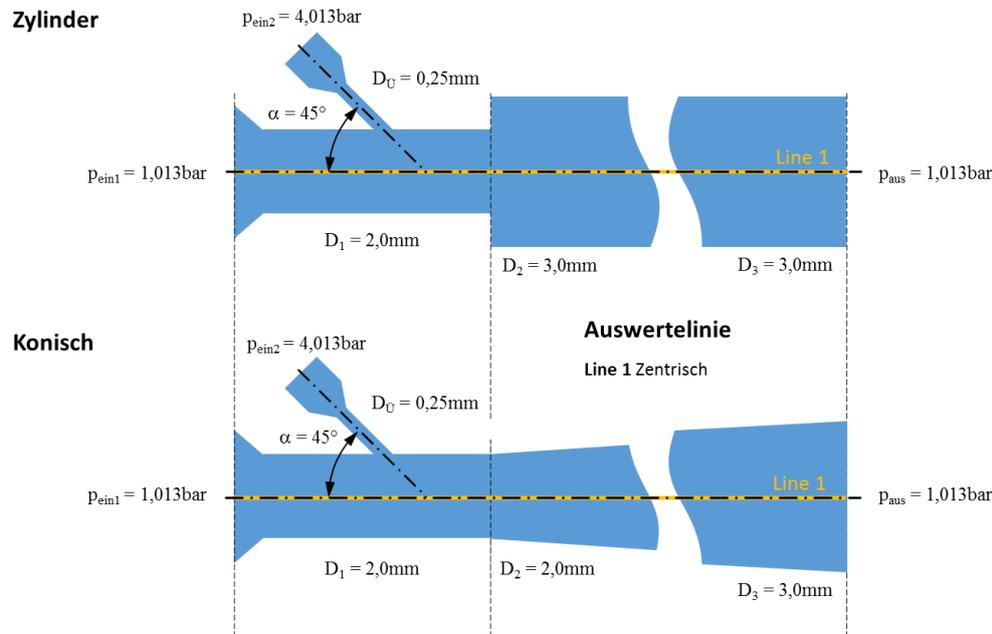


Abb. 14: Parametrisierung des CAD-Modells zur Variation der Injektordüsenkonfiguration

Die Länge des Modells, bestehend aus Inlay und Garnkanal, wurde auf 100 mm festgesetzt. Diese Werte wurden bei der Parametervariation nicht variiert. Der Garnkanal kann durch unterschiedliche Durchmesser  $D_2 \neq D_3$  eine konische Form annehmen.

Tab. 3: Parameter des CAD-Modells

Parameter	Variable	Wertebereich
Durchmesser Durchgangsbohrung	$D_1$	1,8 – 3,0 mm
Durchmesser Fadenrohreingang	$D_2$	2,0 – 5,0 mm
Durchmesser Fadenrohrausgang	$D_3$	2,0 – 5,0 mm
Durchmesser Düsenbohrung	$D_{\dot{U}}$	0,16 – 0,30 mm
Winkel der Düsenbohrungen	$\alpha$	30 – 60°
Anzahl der Düsenbohrungen	$n$	3 – 8
Druckdifferenz der Einlassdrücke	$\Delta p_{ein}$	1,0 – 3,0 bar

Das Modell wurde erfolgreich in der Software PTC-Creo aufgebaut.

## Auswertung der Simulationsergebnisse

Das Simulationsergebnis ist eine Näherungslösung der Navier-Stokes-Gleichungen in den Zellen des diskretisierten Strömungsvolumens. Diese beschreibt die Strömung im Untersuchungsgebiet. Um die Simulationsergebnisse vergleichbar zu machen, muss eine charakteristische Größe aus der Lösung berechnet werden.

Der entstehende Wirbel ist für das Eindrehen und damit für die Verfestigung des Falschdraht-Garns verantwortlich. Ein Wirbel ist durch seine drehende Bewegung um ein Zentrum charakterisiert. Da es sich hier um eine Zylinderströmung handelt, wurde die Zentralachse als Auswerteposition definiert. Die Bestimmung der Wirbelstärke als Verhältnis aus Tangential- zu Axialgeschwindigkeit ist jedoch ungeeignet, da die Geometrie und die Grenzschicht der Strömung im Modell variabel sind und die Auswertung von der Position der ermittelten Geschwindigkeiten abhängt. Insbesondere der Sprung des Zylinderdurchmessers nach dem Düsen-Inlay stellt hierfür ein Problem dar. Abb. 15 zeigt die Geschwindigkeitskomponenten im Randbereich des Zylindrischen Rohrs mit einem Abstand von  $r_{max} - 0,1 \text{ mm}$ . An der Unstetigkeitsstelle ( $x = 16 \text{ mm}$ ) wurden die Auswertungen aneinandergesetzt, wobei die Auswertelinie im Bereich des Garnrohrs keinen gleichbleibenden Abstand zur Zentralachse bzw. zur Zylinderwand aufweist. Es wird trotzdem gut ersichtlich, dass die Tangentialkomponente sehr rasch abnimmt und damit auch die Wirbelintensität.

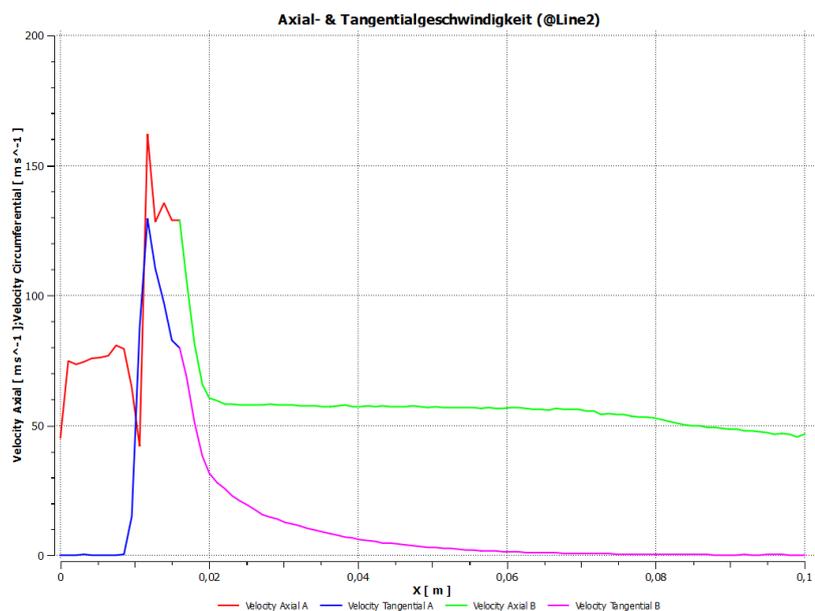


Abb. 15: Geschwindigkeitskomponenten im Randbereich der Strömung

Um eine Geometrie-unabhängige Auswertung zu ermöglichen wurden die in ANSYS FLUENT zur Verfügung stehenden Methoden zur Auswertung von Wirbeln betrachtet und die Methode SWIRLING VECTOR gewählt.

Hierbei wird der Eigenvektor zu einem reellen Eigenwert des Geschwindigkeitsgradiententensors [2] bestimmt, wobei dessen Betrag (SWIRLING STRENGTH) ein Maß für die Wirbelstärke darstellt. In der Auswertung wird dieser Betrag auf die Linie 1 – der Zentralachse des Zylinders – betrachtet. Dabei ist der Geschwindigkeitsgradiententensor  $D$  definiert als

$$D = [d_{ij}] = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} & \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial w}{\partial x} & \frac{\partial w}{\partial y} & \frac{\partial w}{\partial z} \end{bmatrix}$$

und der reelle Eigenwert  $\lambda_r$  erfüllt die Bedingung

$$[D - \lambda_r I]v_r = 0$$

und der SWIRLING VECTOR berechnet sich zu einem der drei folgenden, von Null verschiedenen, Eigenvektoren (vgl. [2] (10-19) bis (10-22)):

$$v_r^{(1)} = \begin{bmatrix} d_{12}d_{23} - d_{13}(d_{22} - \lambda_r) \\ d_{13}d_{21} - d_{23}(d_{11} - \lambda_r) \\ (d_{11} - \lambda_r)(d_{22} - \lambda_r) - d_{12}d_{21} \end{bmatrix},$$

$$v_r^{(2)} = \begin{bmatrix} d_{12}(d_{33} - \lambda_r) - d_{32}d_{13} \\ d_{13}d_{31} - (d_{11} - \lambda_r)(d_{33} - \lambda_r) \\ d_{32}(d_{11} - \lambda_r) - d_{31}d_{12} \end{bmatrix},$$

$$v_r^{(3)} = \begin{bmatrix} (d_{22} - \lambda_r)(d_{33} - \lambda_r) - d_{32}d_{23} \\ d_{23}d_{31} - d_{21}(d_{33} - \lambda_r) \\ d_{21}d_{32} - d_{31}(d_{22} - \lambda_r) \end{bmatrix}$$

Abb. 16 zeigt Stromlinien der Düsenströmung<sup>1</sup> und im Zentrum auf Linie 1 ist die daraus resultierende Wirbelstärke farblich dargestellt. Es wird ersichtlich, dass mit Verlauf des Wirbels sich durch die Reduktion der Umfangskomponente der Strömungsgeschwindigkeit der Winkel der helixförmigen Strömung hin zur Zentralachse abflacht. Dieses Verhalten spiegelt sich auch im Betrag des SWIRLING VECTORS wieder.

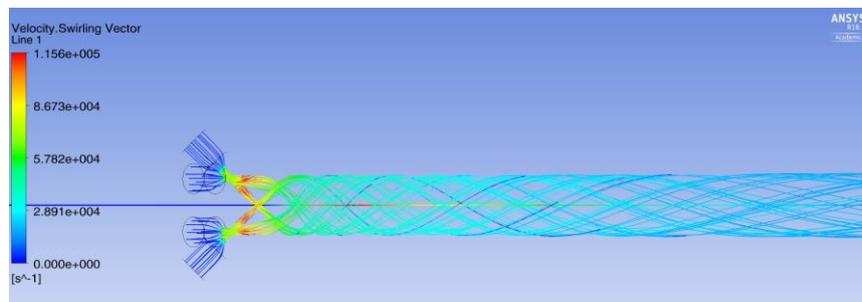


Abb. 16: Stromlinien der Düsenströmung und Betrag des SWIRLING VECTORS bezogen auf Linie 1 (die Zentralachse)

Abb. 16 zeigt den Verlauf der Wirbelstärke über den Garnkanal entlang von Linie 1 (der Zentralachse). In den Versuchen wurde die initiale Wirbelstärke als eine geeignete Größe identifiziert um die Qualität der Düse auf die Drallerzeugung im Garn zu beschreiben. Daher wurden für alle weiteren Auswertungen auf Basis des Maximums der Wirbelintensität (SWIRLING VECTOR) durchgeführt. In Abb. 17 wird die Bestimmung der maximalen Wirbelstärke ersichtlich.

<sup>1</sup> Die Stromlinien stellen nur einen Teil der Strömung dar. Aus Übersichtlichkeitsgründen werden die Stromlinien des Ansaugbereichs nicht gezeigt. Diese verlaufen im Ansaugbereich parallel zur Rohrachse und ab den Düsen ebenfalls wirbelförmig.

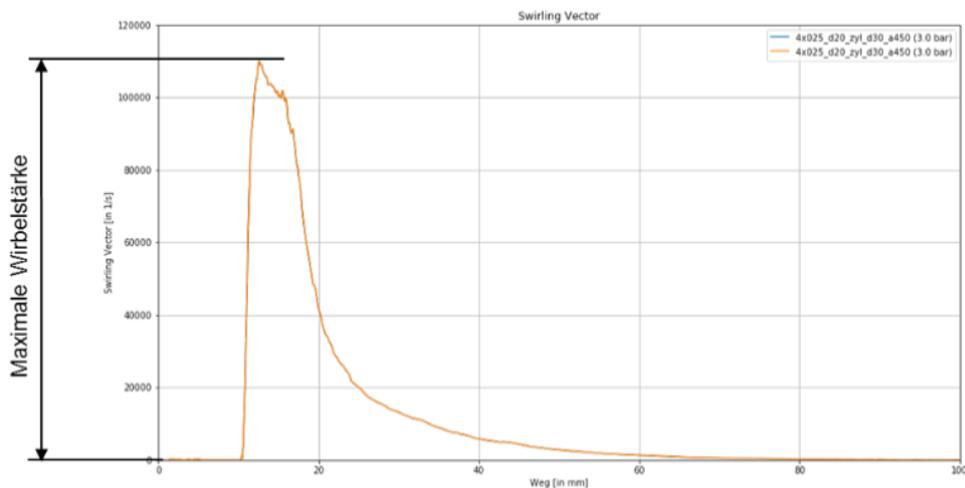


Abb. 17: Verlauf der Wirbelstärke über den Garnkanal

Zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit und des energetischen Einsparpotentials wird der Massenstrom am Einlass der Düsenbohrungen für alle Konfigurationen ermittelt. Dieser wird zur Vergleichbarkeit mit Messungen mit einer Dichte von  $\rho = 1,204 \text{ kg/m}^3$  in einen Volumenstrom in l/min umgerechnet.

Um die Effizienz (den Wirkungsgrad) der Düsen-/Drallrohrkonfiguration zu bestimmen wird das Maximum der Wirbelstärke in Bezug zum Volumenstrom (in l/min) am Düseneingang gesetzt.

$$\eta = \frac{\max(|v_r|)}{\dot{V}_{\ddot{u}}}$$

### 3.3.3 Simulationsergebnisse der Parameterstudie

#### 3.3.3.1 Variation des Düsenbohrungsdurchmessers $D_{\ddot{u}}$

Wie zu erwarten war, steigt die Intensität des Wirbels mit dem Düseneingangsdruck. Die Größe der Düsenbohrungen hat Auswirkungen auf den Massenstrom und damit auch auf die Wirbelintensität. Mit steigendem Düsenbohrungsdurchmesser wird mehr Luft mit hoher kinetischer Energie eingebracht, die sich in der Wirbelstärke niederschlägt. Die Steigerung ist fast linear, d.h. bei Verdopplung des Durchmessers wird eine Verdopplung der Wirbelintensität erreicht. Bei höheren Drücken ist die Steigerung leicht überproportional. Abb. 18 zeigt den Zusammenhang.

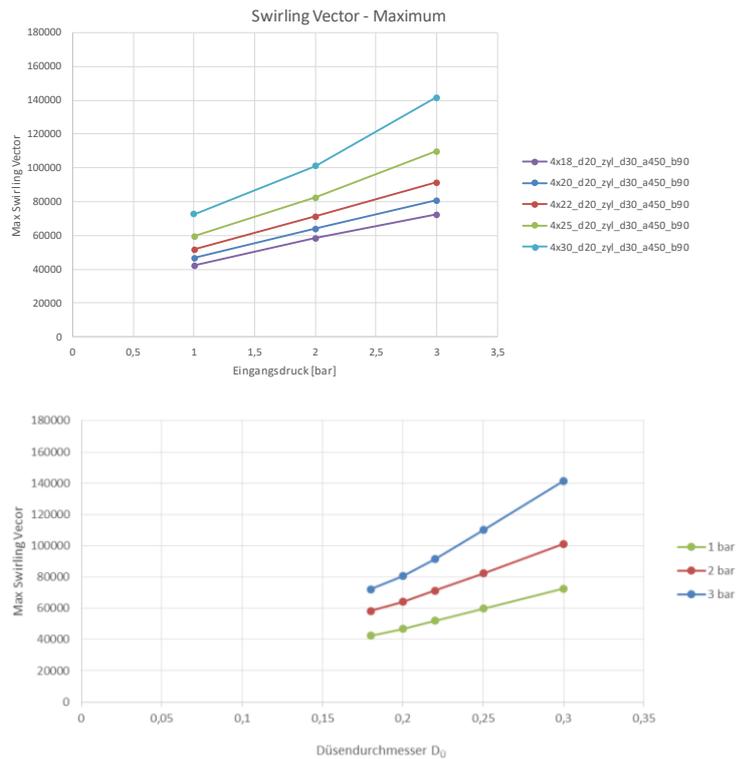


Abb. 18: Maximum der Wirbelstärke bei Variation des Düsenbohrungsdurchmessers  $D_{\ddot{U}}$

Der Luftverbrauch ist linear abhängig vom Düsenbohrungsdurchmesser  $D_{\ddot{U}}$  und nimmt mit steigendem Durchmesser zu. Ebenso nimmt die angesaugte Luftmenge am Einlass zur Zentralbohrung zu (Abb. 19).

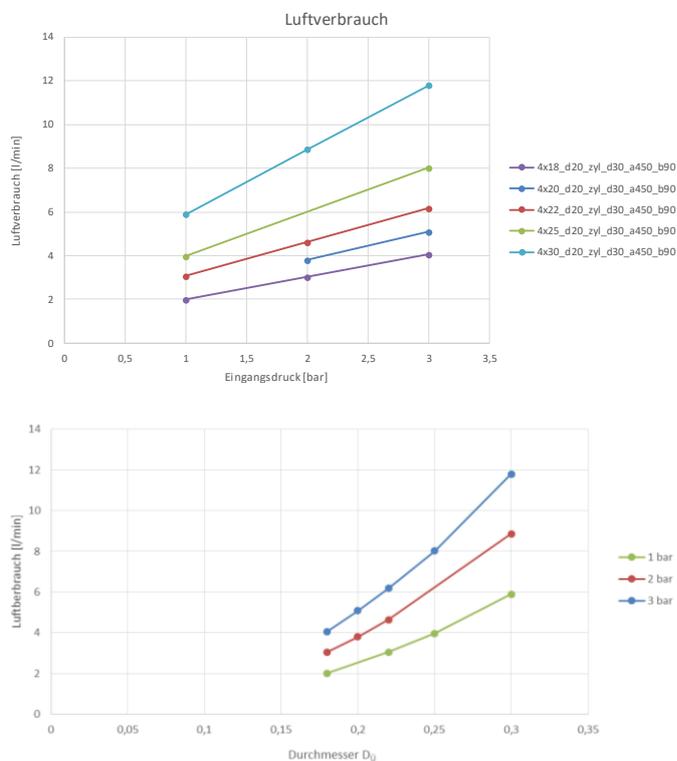


Abb. 19: Luftverbrauch bei Variation des Düsenbohrungsdurchmessers  $D_{\ddot{U}}$

Betrachtet man jedoch die Effizienz der Düsen zeigt sich ein inverses Bild. Die Düse mit den kleinsten Düsenbohrungsdurchmessern  $D_0$  erzeugt einen stärkeren Wirbel pro eingesetzter Luftmenge und Energie (Abb. 20).

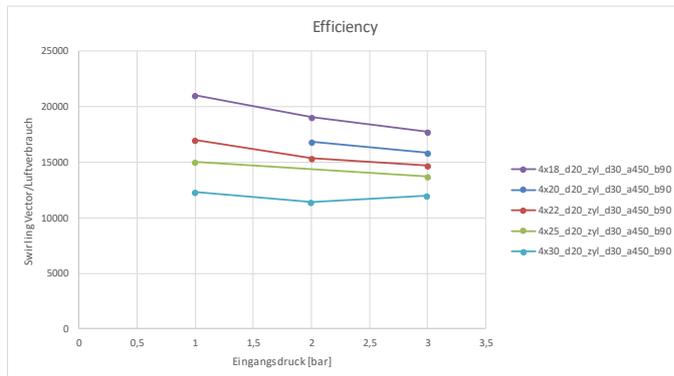


Abb. 20: Effizienz bei Variation des Düsenbohrungsdurchmessers  $D_0$

Eine weitere Auffälligkeit ist, dass die bessere Effizienz der kleineren Düsenbohrungen mit steigendem Düsendruck abnimmt. Bei größeren Düsenbohrungen ist die Effizienz fast unabhängig vom Düseneingangsdruck (horizontale Kurve in Abb. 20).

### 3.3.3.2 Variation des Durchmessers der Durchgangsbohrung $D_1$

Die Wirbelintensität steigt mit sinkendem Durchmesser der Durchgangsbohrung und mit steigendem Düseneingangsdruck. Hin zu kleineren Bohrungsdurchmessern nimmt die Wirbelstärke überproportional zu. Bei höheren Drücken und damit einem höheren Massenstrom ist die Steigerung höher als bei geringen Drücken, der Effekt scheint sich zu potenzieren (Abb. 21).

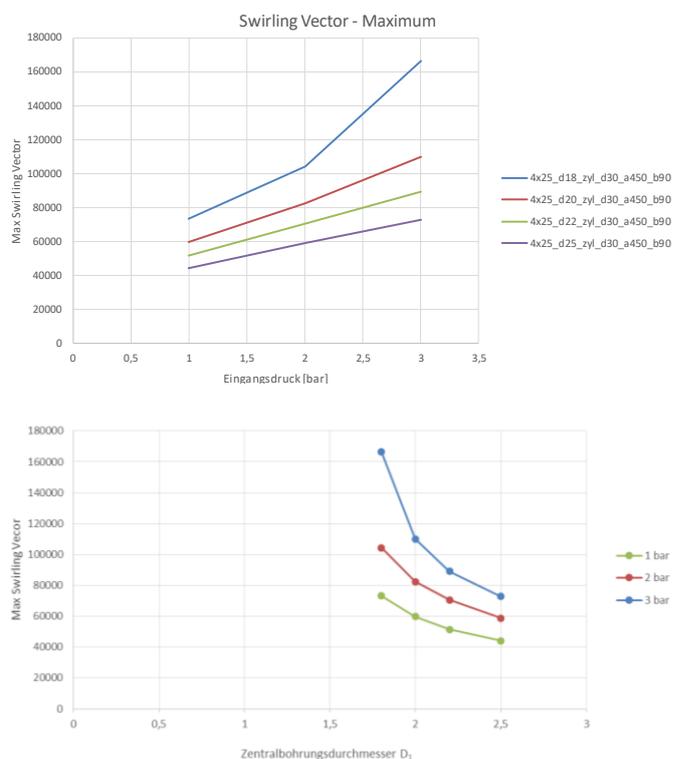


Abb. 21: Maximum der Wirbelstärke bei Variation der Durchgangsbohrung  $D_1$

Da die Einlassgeometrie (Düsenbohrungsdurchmesser  $D_{\text{Ü}} = 0,25\text{mm}$ , Winkel  $\alpha = 45^\circ$ , Bohrungsanzahl  $n = 4$ ) nicht variiert wurde ist der Massenstrom und damit der Luftverbrauch für alle Düsen mit unterschiedlichem Durchgangsbohrungsdurchmesser  $D_1$  konstant. Dieser steigt lediglich mit dem Düseneingangsdruck  $p_{\text{ein}2}$ . Abb. 22 zeigt den Luftverbrauch der Düsen. Lediglich die Düse mit  $D_1 = 1,8\text{ mm}$  zeigt einen erhöhten Luftverbrauch. Dieser deutet auf eine nicht ganz konvergierte Simulationslösung hin. Dieser Datenpunkt ist daher unter Vorbehalt zu betrachten, wobei er sich schlüssig in das Gesamtverhalten einschließt (vgl. Abb. 21).

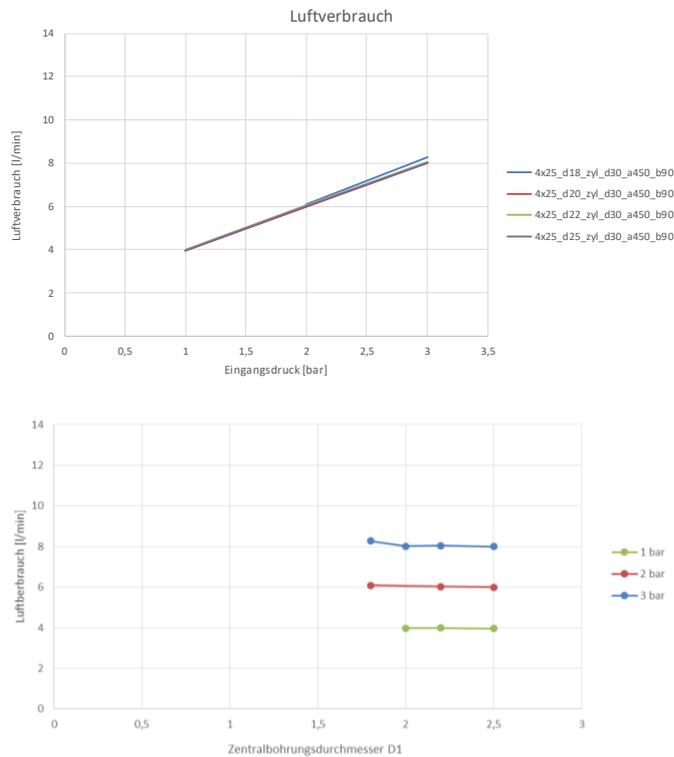


Abb. 22: Luftverbrauch bei Variation des Durchmessers der Durchgangsbohrung  $D_1$

Allgemein steigt die Effizienz mit sinkendem Durchgangsbohrungsdurchmesser. Je kleiner die Bohrung desto höher die Effizienz. Dies ist auf die Steigerung der Wirbelstärke bei gleichbleibendem Luftverbrauch zurückzuführen. Die Effizienz verhält sich also ebenfalls nichtlinear mit dem Durchgangsbohrungsdurchmesser. Die Effizienz nimmt, wie bei der Variation der Düsenbohrungen  $D_{\text{Ü}}$ , mit steigenden Drücken ab. Lediglich bei der Düse mit einem Durchgangsbohrungsdurchmesser von  $D_1 = 1,8\text{ mm}$  zeigt sich ein Anstieg der Effizienz bei der Drucksteigerung von 2 zu 3 bar. Wie oben bereits erwähnt ist der Punkt bei  $p_{\text{ein}2} = 3,0\text{ bar}$  nicht vertrauenswürdig (Abb. 23).

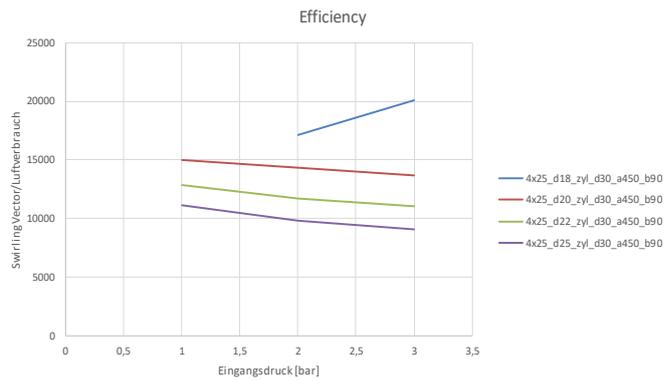


Abb. 23: Effizienz bei Variation des Durchmessers der Durchgangsbohrung  $D_1$

### 3.3.3.3 Variation des Düsenbohrungswinkels $\alpha$

Bei der Variation des Düsenbohrungswinkels  $\alpha$  nimmt mit steigendem Winkel die Tangentialkomponente der Strömungsgeschwindigkeit zu. Dies führt zu einer höheren Intensität des Wirbels. Der Einfluss des Düsendrucks auf die Zunahme scheint winkelabhängig zu sein. Bei hohen Drücken und großem Winkel ist der Zuwachs geringer als bei kleinerem Winkel (vgl. Abb. 24, oben). Ebenso ist der Zuwachs bei kleinen Winkeln höher als bei großen Winkeln (vgl. Abb. 24, unten).

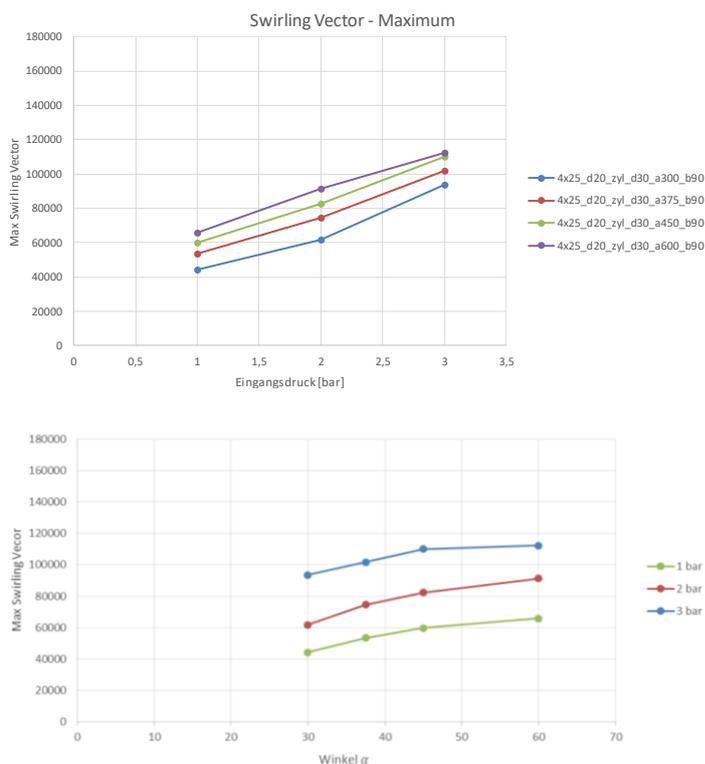


Abb. 24: Maximum der Wirbelstärke bei Variation des Düsenbohrungswinkels  $\alpha$

Wie bei der Variation der Zentralbohrung ist auch hier die Einlassgeometrie (Düsenbohrungsdurchmesser  $D_{\text{Ü}} = 0,25$  mm, Winkel  $\alpha = 45^\circ$ , Bohrungsanzahl  $n = 4$ ) nicht verändert worden, sodass der Massenstrom und damit der Luftverbrauch für alle Düsen mit unterschiedlichem Winkel gleich bleibt. Der Luftverbrauch steigt lediglich mit dem Düsen-

gangsdruck  $p_{\text{ein}2}$ . Der Datenpunkt der Winkelkonfiguration mit  $60^\circ$  und einem Düseneingangsdruck von 3 bar hat einen etwas zu geringen Luftverbrauch. Dies deutet auf eine nicht konvergierte Lösung hin und macht den Punkt nicht vertrauenswürdig (Abb. 25).

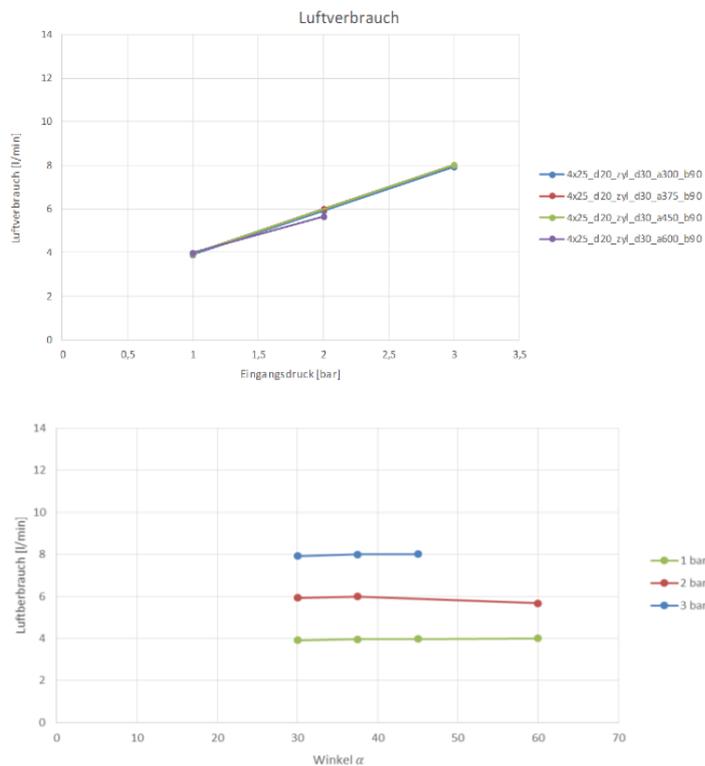


Abb. 25: Luftverbrauch bei Variation des Düsenbohrungswinkels  $\alpha$

Auch hier ist die Einlassgeometrie unverändert, sodass der Luftverbrauch gleich bleibt. Das heißt, die Effizienz ändert sich analog zur Wirbelstärke. Mit steigendem Winkel steigen die Wirbelintensität und damit die Effizienz. Die Aussage bezüglich des Drucks ist indifferent. Bei kleinen Winkeln steigt die Effizienz mit steigendem Druck, nachdem sie erst abfällt. Bei größeren Winkeln fällt die Effizienz stetig mit steigendem Druck (Abb. 26).

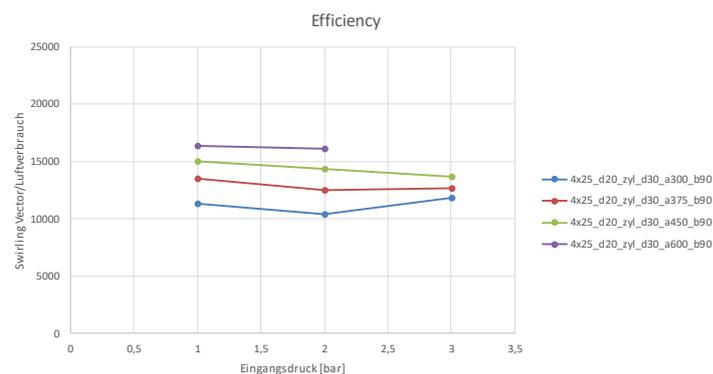


Abb. 26: Effizienz bei Variation des Düsenbohrungswinkels  $\alpha$

### 3.3.3.4 Variation des Drallrohrdurchmessers $D_2=D_3$

Mit dem Absatz zwischen Düsendurchgangsbohrung und dem Drallrohr (Fadenrohr) ändert sich abrupt der Durchmesser und führt zu einer Verzögerung des Fluids. Je größer der Durchmesserunterschied, desto größer die Verzögerung. Abb. 27 zeigt den Verlauf der

Wirbelstärke entlang dem Garnkanal. Bei einem keinem oder kleinen Absatz ist der Kurvenverlauf flacher, wohingegen bei großem Durchmesserunterschied ein starker Abfall zu verzeichnen ist.

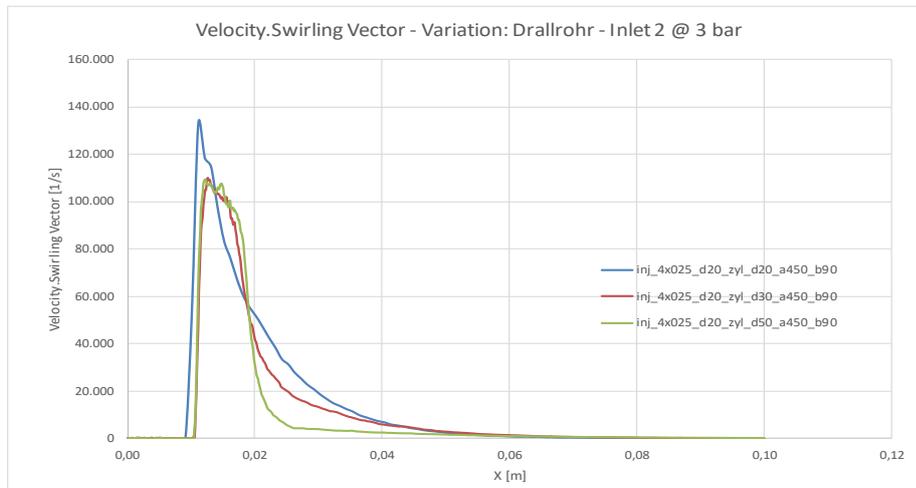


Abb. 27: Verlauf der Wirbelstärke entlang des Garnkanals

Bei der Konfiguration mit einem gleichbleibenden Garnkanaldurchmesser von 2,0 mm zeigt sich durch einen erhöhten Gegendruck im Garnkanal ein schnellerer Aufbau des Wirbels in der Düsenzone. Der Anstieg der Wirbelintensität wird in Richtung der Garnansaugöffnung verschoben (Abb. 28).

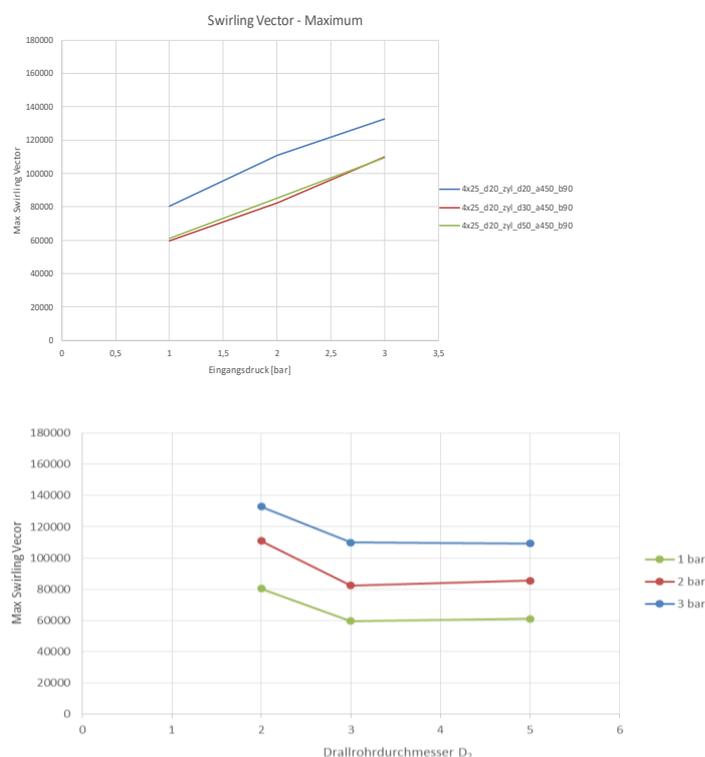


Abb. 28: Maximum der Wirbelstärke bei Variation des Drallrohrdurchmessers  $D_2=D_3$

Auch hier ist die Einlassgeometrie unverändert, sodass der Massenstrom und damit der Luftverbrauch für alle Düsen mit unterschiedlichem Drallrohrdurchmesser gleichbleibt. Der Luftverbrauch steigt lediglich mit dem Düseneingangsdruck  $p_{\text{ein}2}$ . Die Abhängigkeit vom Druck ist linear (Abb. 29).

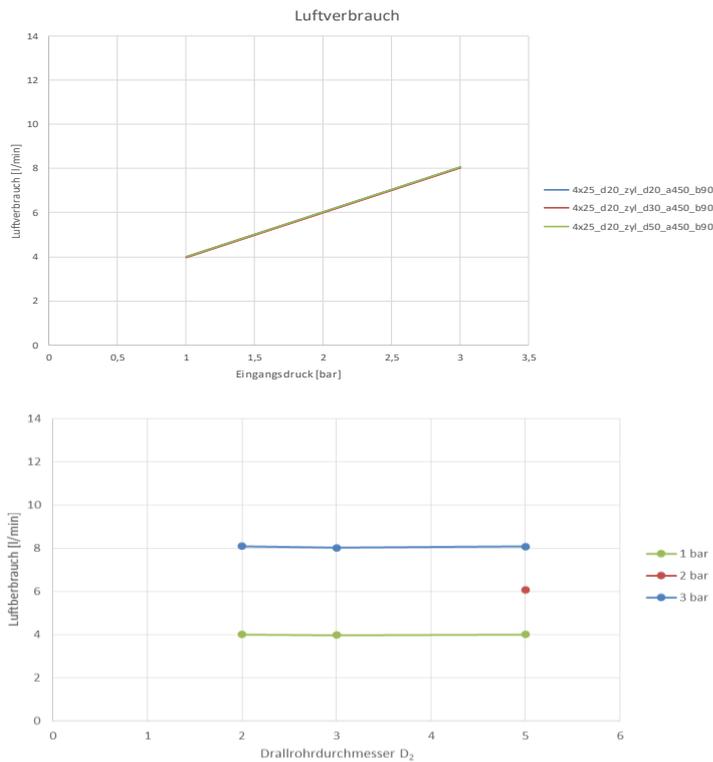


Abb. 29: Luftverbrauch bei Variation des Drallrohrdurchmessers  $D_2=D_3$

Die unveränderte Einlassgeometrie führt zur Änderung der Effizienz analog zur Wirbelstärke. Mit sinkendem Absatz steigen die Wirbelintensität und damit die Effizienz. Die Effizienz nimmt mit steigendem Druck ab (Abb. 30).

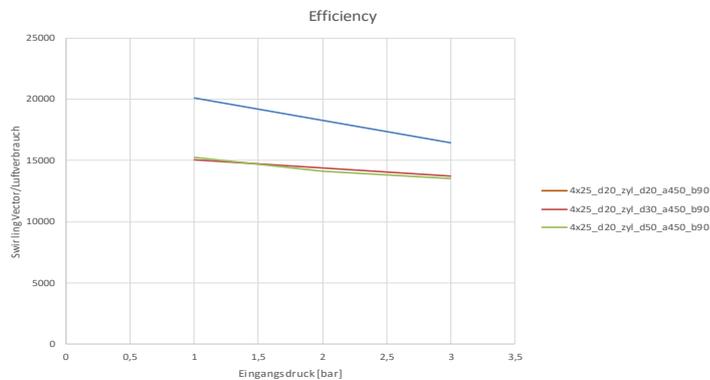


Abb. 30: Effizienz bei Variation des Drallrohrdurchmessers  $D_2=D_3$

### 3.3.3.5 Variation der Düsenbohrungsanzahl $n$

Für eine qualifizierte Aussage über den Einfluss der Bohrungsanzahl auf die Wirbelstärke sind zu wenige Simulationsergebnisse vorhanden. Die Ergebnisse von  $n = 3$  und 4 Bohrungen lassen jedoch einen linearen Zusammenhang erwarten, da sich der Luftverbrauch und die Wirbelintensität jeweils etwa um den Faktor  $4/3$  unterscheiden. Dies ist aber zu erwarten, da sich die Düsenquerschnittsfläche  $A$ , die Summe aller Querschnitte der Düsenbohrungen, ebenfalls um den Faktor  $4/3$  unterscheidet (Abb. 31).

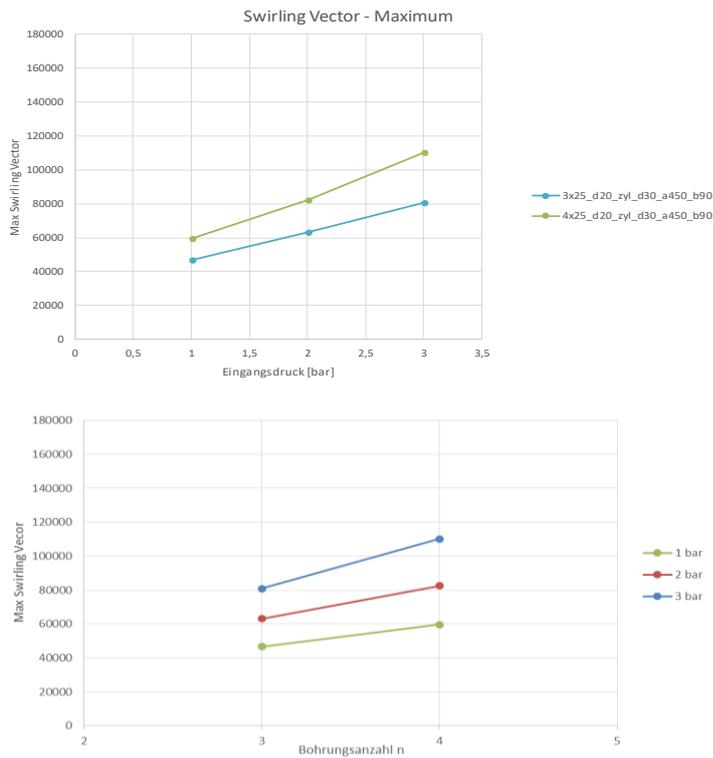


Abb. 31: Maximum der Wirbelstärke bei Variation der Bohrungsanzahl  $n$

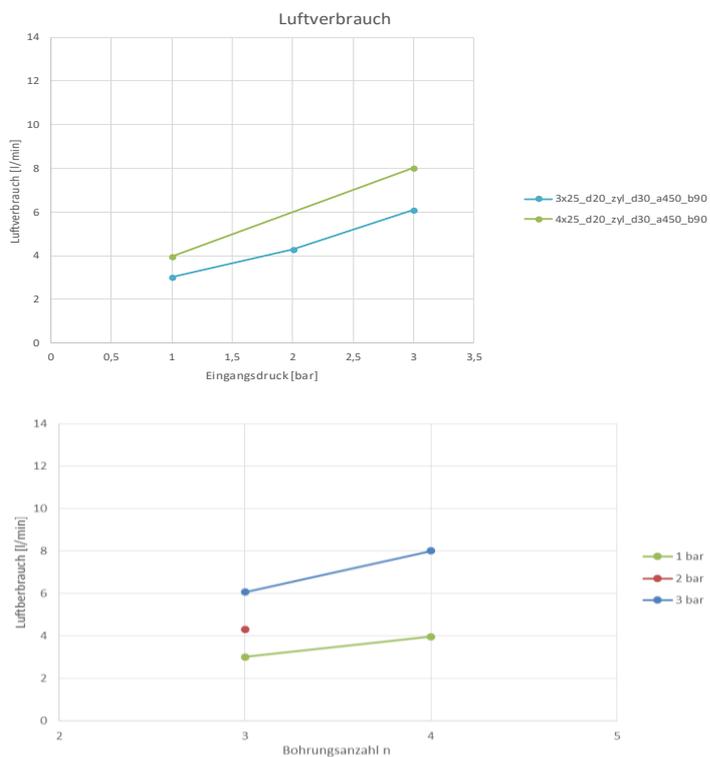


Abb. 32: Luftverbrauch bei Variation der Bohrungsanzahl  $n$

Die Effizienz ist bei beiden Düsen nahezu gleich, wobei sich die Effizienz bei steigendem Düsendruck reduziert. Die Intensität steigt also nicht linear mit dem Düsendruck (Abb. 33).

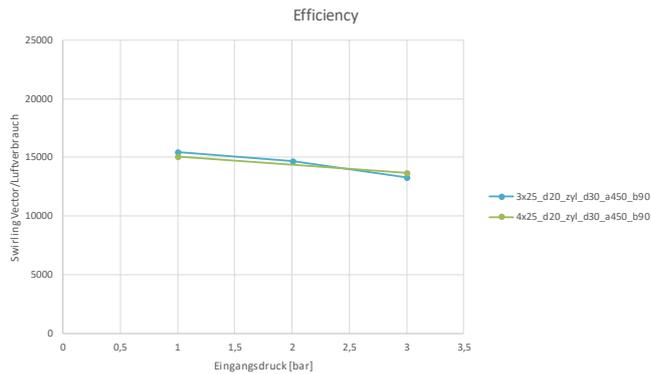


Abb. 33: Effizienz bei Variation der Bohrungsanzahl  $n$

### 3.3.3.6 Variation der Bohrungsanzahl bei konstanter Düsenquerschnittsfläche A

Wird die Düsenquerschnittsfläche A, als die Summe aller Querschnitte der Düsenbohrungen, konstant gehalten, müssen die Düsenbohrungsdurchmesser  $D_{\text{Ü}}$  und die Bohrungsanzahl  $n$  im Verhältnis variiert werden. Aufgrund von Fertigungsrandbedingungen wurden die Düsenbohrungsdurchmesser  $D_{\text{Ü}}$  auf ganze 100stel Millimeter gerundet.

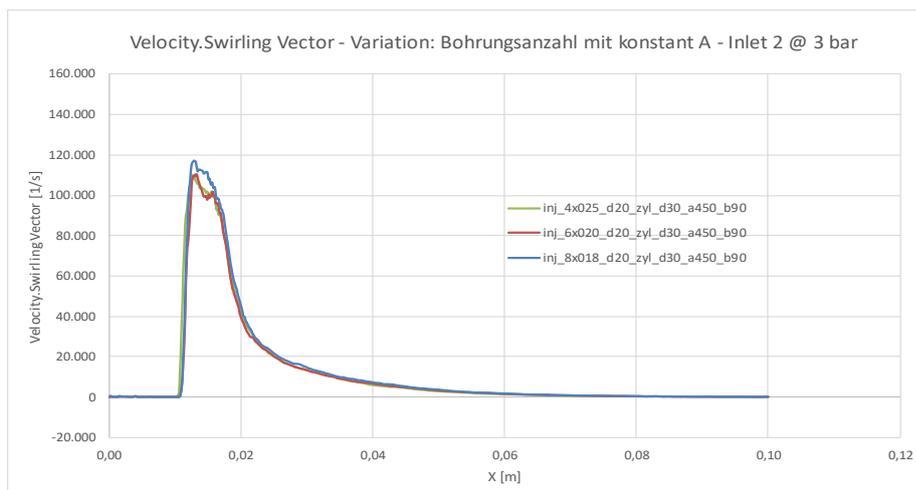


Abb. 34: Verlauf der Wirbelstärke über dem Garnkanal bei Variation der Bohrungsanzahl  $n$  und konstanter Fläche A

Die nahezu konstante Düsenquerschnittsfläche führt zu einem nahezu konstanten Luftverbrauch (Abb. 36) und damit zu einem gleichbleibenden Wirbelverlauf (Abb. 34). Damit sind auch das Maximum (Abb. 35) und die Effizienz (Abb. 37) nahezu gleich. Aus den Simulationsergebnissen lassen sich keine Verbesserungen hinsichtlich der Effizienz ableiten. Ob die Anzahl der Bohrungen eine Auswirkung auf den Lauf des Garns hat wäre zu untersuchen.

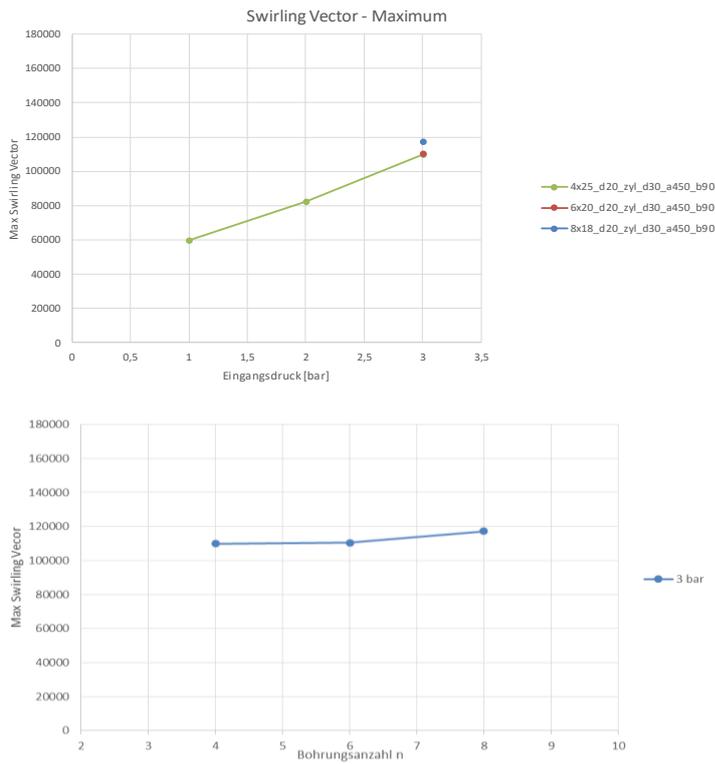


Abb. 35: Maximum der Wirbelstärke bei Variation der Bohrungsanzahl und konstanter Fläche A

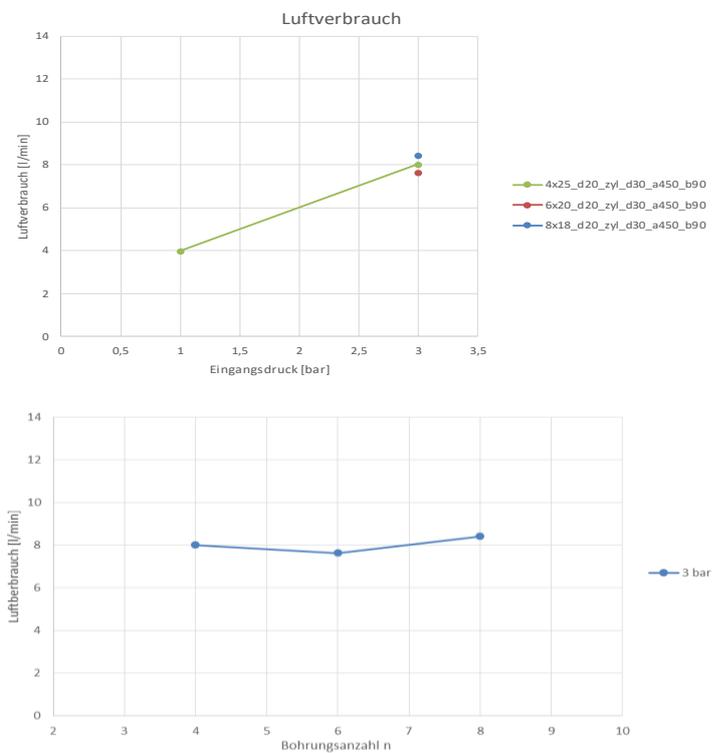


Abb. 36: Luftverbrauch bei Variation der Bohrungsanzahl und konstanter Fläche A

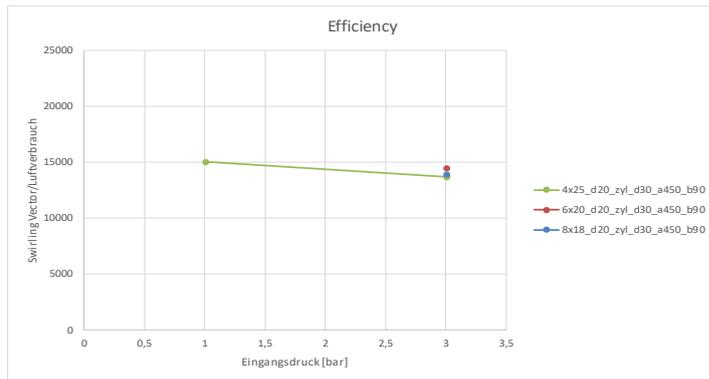


Abb. 37: Effizienz bei Variation der Bohrungsanzahl und konstanter Fläche A

### 3.3.3.7 Variation der Drallrohrform (Konisch) $D_2 < D_3$

Der Verlauf der Wirbelstärke über den Garnkanal ist bei der konischen Form gradueller. Wie bei der zylindrischen Form mit Durchmesser  $D_2 = D_1$  fehlt der Absatz der die Strömung in diesem Bereich verzögert.

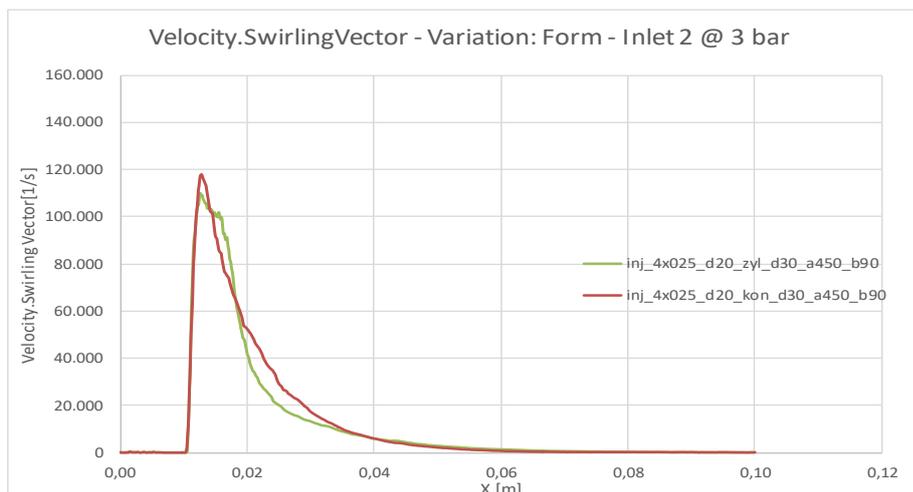


Abb. 38: Verlauf der Wirbelstärke über den Garnkanal bei Variation der Form (Konisch)

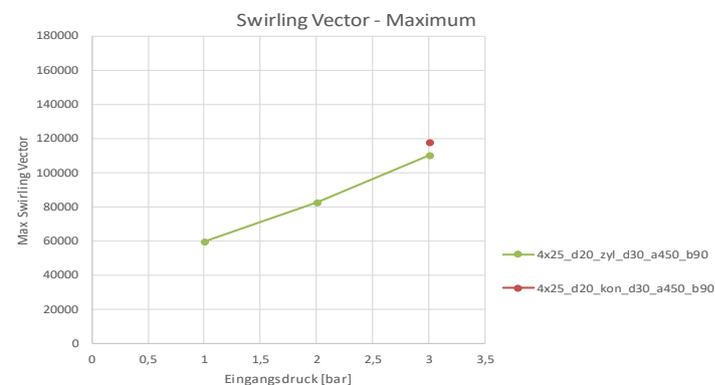


Abb. 39: Maximum der Wirbelstärke bei Variation der Form (Konisch)

Die Konische Form zeigt bei gleichem Luftverbrauch (Abb. 40) ein höheres Maximum der Wirbelstärke (Abb. 39), jedoch nicht die Verschiebung des Peaks in Folge des Gegendrucks.

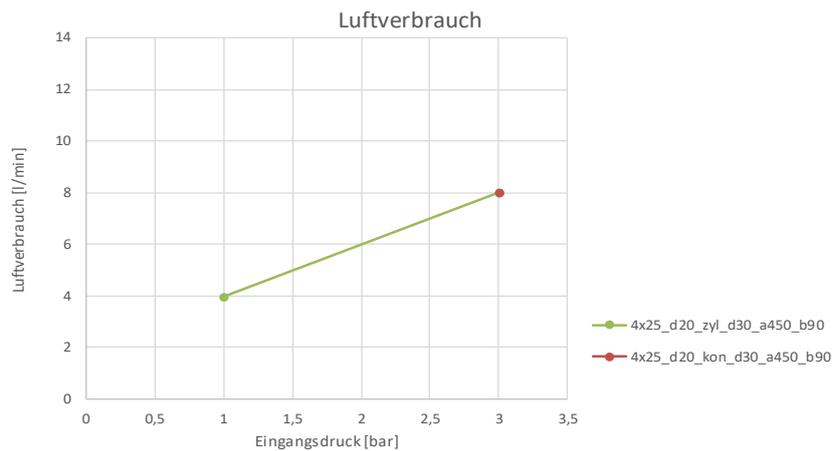


Abb. 40: Luftverbrauch bei Variation der Form (Konisch)

### 3.3.4 Auswertung der Parameterstudie

Die Reduzierung des Durchmessers der Durchgangsbohrung verspricht den größten Effekt für die Minderung des Luft- und Energieverbrauchs. Die Eliminierung des Absatzes zwischen Düse und Drallrohr hat ebenfalls einen positiven Einfluss, wobei die Konizität des Drallrohrs (Fadenrohrs) den Abfluss des zusätzlichen Massenstroms aus den Düsenbohrungen begünstigt. Der Düsenbohrungswinkel sollte bei mehr als  $45^\circ$  liegen und der Düsenbohrungsdurchmesser  $D_{\dot{U}}$  minimal sein. Um jedoch gleichbleibende Wirbelintensitäten wie bei großen Düsenbohrungsdurchmesser  $D_{\dot{U}}$  zu erreichen muss die Anzahl der Bohrungen erhöht werden, was sich negativ auf die Fertigungskosten niederschlägt.

### 3.4 Versuchsdurchführung

#### 3.4.1 Versuchsmaterial

Als Versuchsmaterial wurde eine Flyerlunte aus 100 % gekämmter Baumwolle (Bw) eingesetzt. Das Material wurde von zwei Spinnereien bereitgestellt. Die nachfolgende Tab. 4 zeigt die mittels unterschiedlicher Messverfahren ermittelten Faserdaten.

Tab. 4: Faserdaten der eingesetzten Baumwolle

			Rohstoff A 100 % Bw gekämmt	Rohstoff B 100 % Bw gekämmt
Messverfahren	Wert	Einheit		
FIBROTEST	ML	mm	27,4	27,6
	UHM	mm	31,7	31,6
	UI	%	86,4	87,5
	SFI <12,5 mm	%	8,2	8,0
	Feinheitsfest.	cN/tex	22,2	23,0
	Dehnung	%	8,0	6,4
USTER 775	Micronaire		4,1	4,2
ALMETER	ML (N)	mm	22,7	23,1
	CV (N)	%	31,2	29,5
	SF<12,5mm (N)	%	5,8	4,7
	L 1% (N)	mm	38,0	37,6
	L 25% (W)	mm	31,4	31,2
ST-TEST	Trash	%	0,016	0,022
	Staub	%	0,014	0,007
	Fragmente	%	0,015	0,024
AFIS-N	Mean-Size	mm	0,61	0,67
	Neps/g	1/g	10	21
VORGARN- FEINHEIT	Feinheit	tex	860,2	876,5
	Feinheit	Nm	1,16	1,14
USTER TESTER 5	CV <sub>m</sub> -Wert	%	3,65	4,30

Aus der jeweils selben Partie wie die Flyerlunte wurde konventionelles Ringgarn der Garnfeinheit Nm 50 bzw. 20 tex hergestellt und von den Ringgarnkopsen auf Kreuzspulen umgespult. Dieses Garn wurde für die Herstellung der konventionellen Referenzgestricke eingesetzt.

### 3.4.2 Erprobung der Düsenkonfigurationen am Versuchsstand zur Ermittlung der Maschinenparameter (DITF)

Die ersten Versuche wurden mit den nachfolgenden Düsenkonfigurationen durchgeführt:

Tab. 5: Eingesetzte Düsenkonfigurationen

Düsenbohrungsfläche	Düsenbohrungswinkel	Ø Durchgangsbohrung
	[°]	
A1	30	D1
A1	45	D1
A2	45	D2

#### 3.4.2.1 Lufthaushalt der eingesetzten Düsen

Zunächst wurden der am Düseneingang anliegende Unterdruck und der Luftdurchsatz der Düsen in Abhängigkeit des eingestellten Spindruckes ermittelt (Abb. 41). Diese Untersuchungen wurden an dem in Kapitel 3.2.1 beschriebenen Messstand jeweils an den einzelnen Düsen vorgenommen.

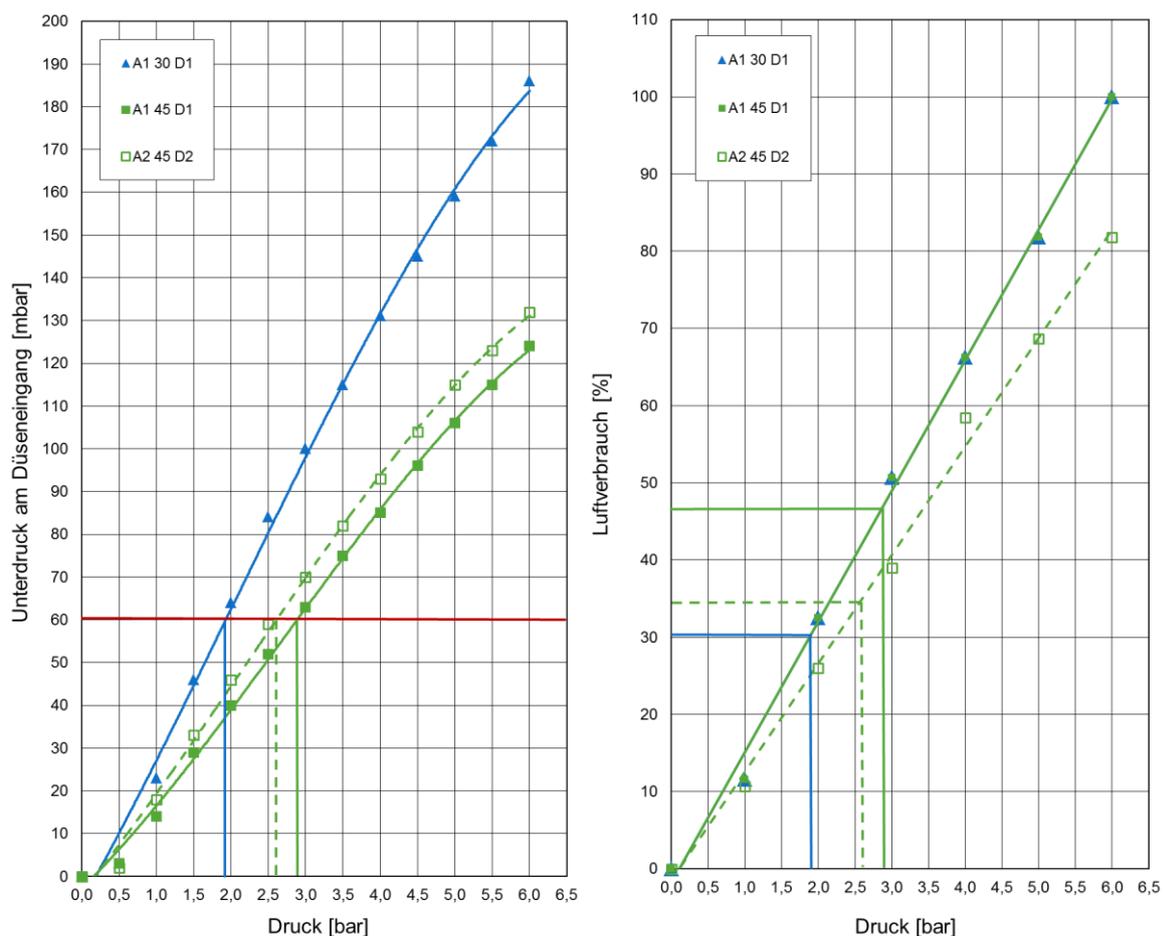


Abb. 41: Anliegender Unterdruck am Düseneingang und Luftverbrauch der Düsen

Aus Verarbeitungsversuchen an der Spinit-Maschine ist bekannt, dass für die sichere Faserabnahme vom Streckwerk ein Unterdruck am Düseneingang von mindestens 60 mbar erreicht werden muss. Somit ergibt sich für die jeweils eingesetzte Düsengeometrie der in der Tab. 6 aufgelistete minimale Spindruck.

Tab. 6: Min. Spindruck und Luftverbrauch in Abhängigkeit der Düsengeometrie

Düsengeometrie*	min. Spindruck [bar]	Δ Luftverbrauch [%]
A1; 30°; D1	1,9	100
A1; 45°; D1	2,6	131
A2; 45°; D2	2,9	115

\*Düsenbohrungsfläche / -winkel / Durchgangsbohrungsdurchmesser

Die lufttechnische Untersuchung zeigt, dass bei der 30° Düse, bei ansonsten unveränderten geometrischen Gegebenheiten, schon bei einem relativ niedrigen Spindruck von 1,9 bar ein ausreichend hoher Unterdruck am Düseneingang anliegt. Wodurch der Luftverbrauch bzgl. der Injektorwirkung der Düse gegenüber der 45° Düse um ca. 30 % niedriger liegt.

Wird der Düsenbohrungsdurchmesser um 17% reduziert, so muss der Spindruck, um denselben Unterdruck am Düseneingang zu erreichen, um ca. 12% erhöht werden. Auf Grund des reduzierten Bohrungsdurchmessers sinkt der Luftverbrauch trotz des höheren anliegenden Spindrucks um ca. 16%. Anzumerken ist, dass neben dem Düsenbohrungsdurchmesser zudem der Durchgangsbohrungsdurchmesser um 20% reduziert wurde.

Der Luftverbrauch der Düsen ist wie aus Abb. 41 ersichtlich in erster Linie abhängig von der Gesamtbohrungsquerschnittsfläche der Düse. Eine Reduzierung der Gesamtbohrungsquerschnittsfläche um ca. 30% erbringt beim selben eingestellten Spindruck eine Reduzierung des Luftverbrauchs um ca. 20%.

### 3.4.2.2 Testung der Düsengeometrien als Injektordüse

Die Injektordüse ist die erste, dem Streckwerk nachgeschaltete Düse und muss gewährleisten, dass die Fasern vom Streckwerk abgenommen werden. Zudem bewirkt die Injektordüse das erste Mal eine Kompaktierung des Faserverbandes durch Drehung, was eine Verfestigung des Faserverbandes durch Erhöhung der Faser-Faser-Reibung zur Folge hat.

Die vorhandenen Düsengeometrien (siehe Tab. 5) wurden zunächst am Versuchsstand als Injektordüse eingesetzt und bei einem Spindruck von 4 bar die maximal erreichbaren Lieferungen bestimmt. Die Versuche wurden mit eingebautem Fadenrohr hinter der Injektordüse durchgeführt. Dieses Fadenrohr wird für die Überbrückung der Strecke zwischen Injektor- und Dralldüse benötigt.

Die maximale Lieferung ist die Liefergeschwindigkeit des Ausgangsunterzylinders des Streckwerks, bei der noch ein zusammenhängendes Faserbändchen herstellbar ist. Die Versuche wurden zunächst bei einem Spindruck von 4,0 bar bis zu einer Liefergeschwindigkeit von 200 m/min durchgeführt. Anschließend wurde bei 200 m/min der Spindruck variiert.

Tab. 7: Min. Spinnndruck und Luftverbrauch in Abhängigkeit der Düsengeometrie

Düsengeometrie*	Spinnndruck [bar]	max. erreichbare Lieferung [m/min]
A1; 30°; D1	4,0	120
A1; 45°; D1	1,5 – 4,0	200
A2; 45°; D2	1,5 – 4,0	200

\*Düsenbohrungsfläche / -winkel / Durchgangsbohrungsdurchmesser

Die 30° Düse besitzt eine deutlich geringere max. erreichbare Lieferung als die 45° Düsen. Auch die Erhöhung des Düsendrucks erbrachte keine Steigerung der max. erreichbaren Lieferung bei der 30° Düse. Während bei den 45° Düsen selbst noch bei einem Spinnndruck von 1,5 bar ein zusammenhängendes Faserbändchen bei 200 m/min hergestellt werden konnte.

Durch den Einbau der Dralldüse konnte keine Erhöhung der max. erreichbaren Lieferung erzielt werden.

Für die Bildung eines zusammenhängenden Faserbändchens ist der erste, durch die Injektordüse erreichte Drallimpuls, ausschlaggebend.

### 3.4.2.3 Variation der Düsenanordnung in der Falschdrahtzone

Die vorhandenen Düsengeometrien wurden sowohl als Injektor- als auch Dralldüsen eingesetzt. Zudem wurden unterschiedliche Düsenkombinationen getestet (siehe Tab. 8).

Tab. 8: Erprobte Düsenkombinationen

Injektordüse	Dralldüse
A1; 30°; D1	A1; 30°; D1
	A1; 45°; D1
A1; 45°; D1	A1; 45°; D1
	A1; 30°; D1

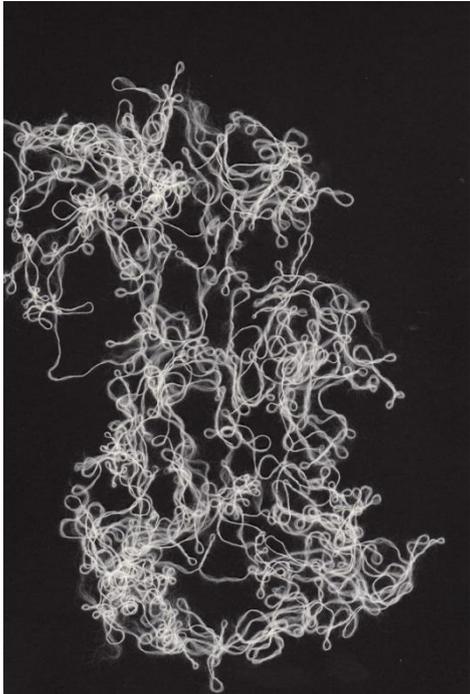
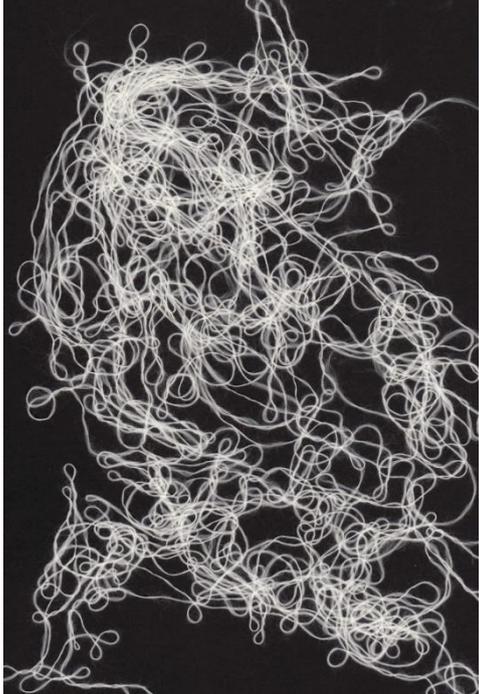
Injektordüse / Dralldüse	Injektordüse / Dralldüse
A1; 45°; D1 / A1; 45°; D1	A1; 45°; D1 / A1; 30°; D1
	

Abb. 42: „Garnstruktur“ bei unterschiedlichen Düsenkombinationen

Die Aufnahmen der „Garnstruktur“ zeigen deutlich unterschiedliche Strukturen. Wird sowohl bei der Injektor- als auch Dralldüse die 45° Düse eingesetzt (Abb. 42 linke Abbildung), so ist die Struktur geschlossener und besitzt viele, kleine Kringel des Faserverbandes. Wird im Anschluss an die 45° Injektordüse die 30° Dralldüse eingesetzt, so wird eine gestrecktere Faserverbandstruktur, bei immer noch gutem Zusammenhalt des Faserverbandes erreicht.

Über den Winkel der Düsenbohrungen wird die Transport- und Drallwirkung der Düse beeinflusst. Je spitzer der Düsenbohrungswinkel wird, desto höher sind die Transportwirkung und damit auch das Ansaugvermögen der Düse, während die für den Faserzusammenhalt notwendige Drallwirkung geringer wird. Je weiter sich der Bohrungswinkel in Richtung 90° annähert, desto höher wird die Drallwirkung bei abnehmender Transportwirkung bzw. abnehmendem Ansaugvermögen der Düse.

Die Versuche zeigten, dass der erste auf die Fasern aufgebrachte Drehimpuls (Injektordüse) für die Bildung eines zusammenhängenden Faserbändchens (Strukturfixierung) und damit auf die zu erreichende maximale Lieferung entscheidend ist. Während in der Dralldüse lediglich eine Stabilisierung der Drehung notwendig ist und durch die höhere Transportwirkung eine Streckung des Faserverbandes und damit eine Verbesserung der Faserlängsorientierung erreicht werden kann.

Im Anschluss an diese Versuche wurden zwei weitere Düsengeometrien mit jeweils einer Gesamtbohrungsquerschnittfläche A2 und einer Durchgangsbohrung D2 gefertigt.

In der Abb. 43 ist der anliegende Unterdruck der Düsen in Abhängigkeit des Spinnendrucks dargestellt.

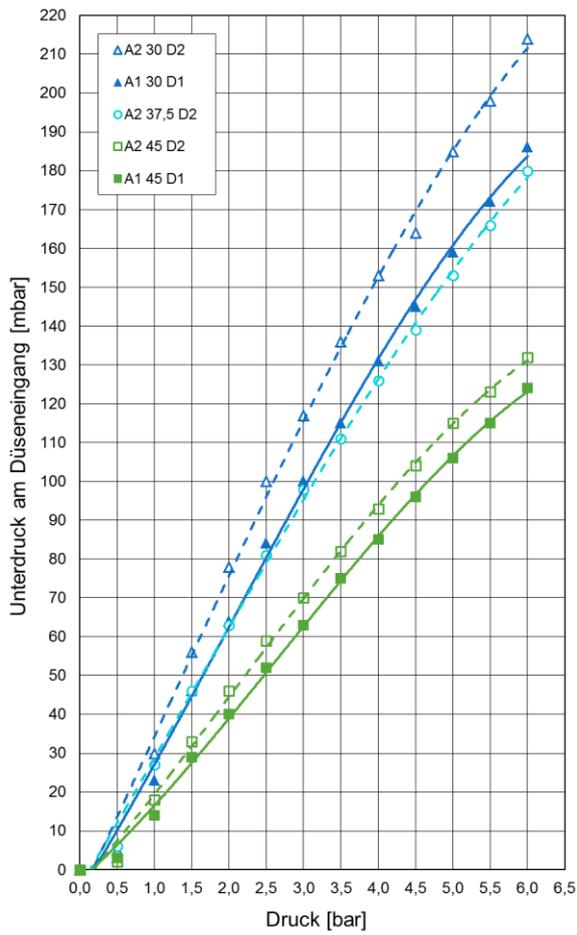


Abb. 43: Anliegender Unterdruck am Düseneingang

Der Luftverbrauch der Düsen ist in erster Linie abhängig von der Düsenbohrungsfläche (siehe Abb. 41), während der am Düseneingang anliegende Unterdruck sehr stark vom Düsenbohrungswinkel abhängt.

Beim Einsatz der Düse mit einem Düsenbohrungswinkel von  $37,5^\circ$ , was einen Kompromiss zwischen den beiden Anforderungen der Drallwirkung und Ansaug- bzw. Transportwirkung der Düse darstellt, war die Drallwirkung so hoch, dass bis zu der max. Lieferung des Versuchsstandes von 200 m/min ein zusammenhängender Faserverband hergestellt werden konnte.

Bei der  $30^\circ$  Düse konnte durch die Reduzierung der Durchgangsbohrung von D1 auf D2 (bei gleichzeitiger Reduzierung der Gesamtbohrungsquerschnittsfläche von A1 auf A2) eine geringfügige Erhöhung der max. erreichbaren Lieferung von 120 m/min auf 160 m/min erreicht werden. Auch durch die Erhöhung des Spindrucks konnte keine weitere Steigerung der maximalen Lieferung erreicht werden.

### 3.4.3 Optimierung des Übergabebereichs zwischen Dralldüse und Stricksystem am Versuchsstand (DITF)

Um den Übergabebereich zwischen der Falschdrahtzone und dem Einspeisepunkt der Fasern in das Gestrick am Versuchsstand nachzustellen, wurde ein Abzug angebaut (Abb. 44). Dieser Abzug besteht aus einem vom Versuchsstand unabhängigen, stufenlos einstellbaren glatten Unterzylinder und einem Druckroller. Der Abstand zwischen Fadenführeröse und dem Druckrollerpaar wurde so gewählt, dass er dem Abstand zwischen Fadenführeröse und dem Einbindungspunkt der Fasern an der Spinit-Maschine möglichst entspricht.

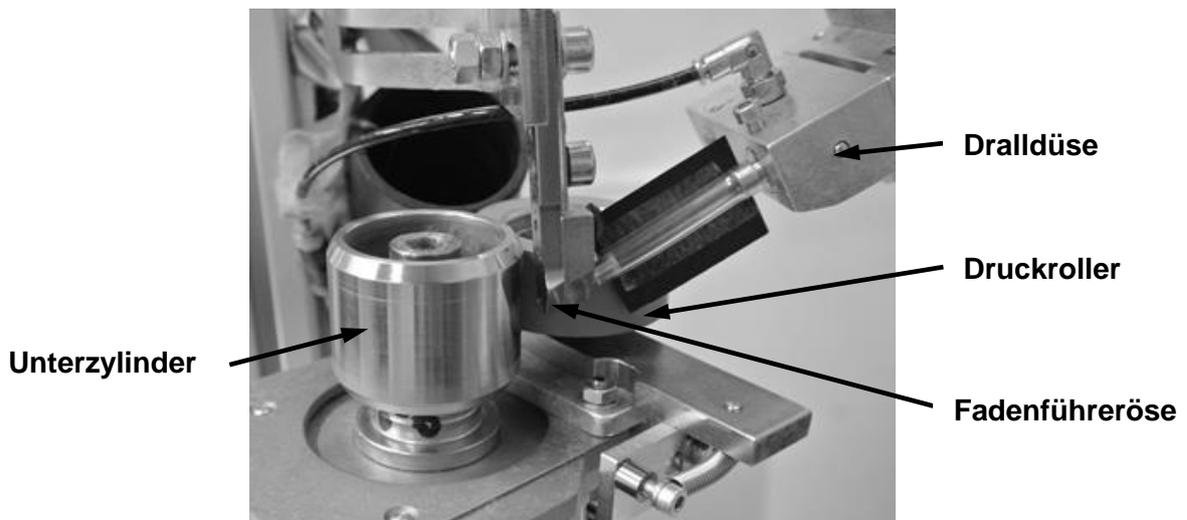
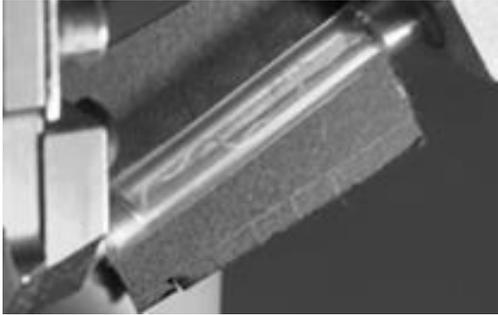
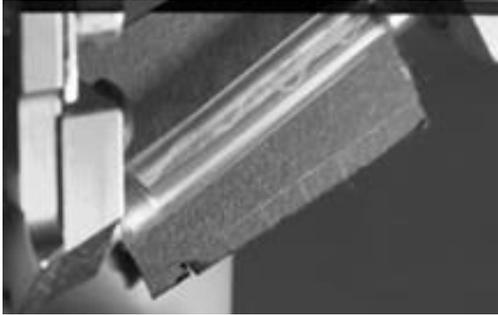
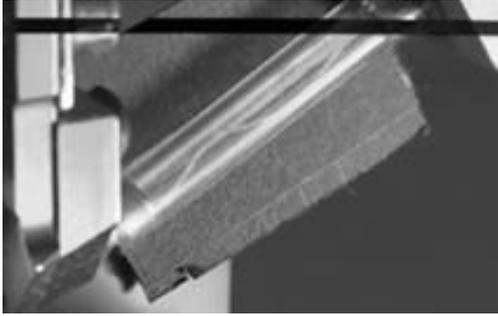


Abb. 44: Abzug am Versuchsstand

Es wurden Versuche bzgl. des Geschwindigkeitsverhältnisses (Verzug) zwischen dem Streckwerksausgang und dem Abzug durchgeführt. An der Spinit-Maschine wird dieser Verzug über das Geschwindigkeitsverhältnis der Streckwerkslieferung und der Maschenlänge eingestellt.

Dabei zeigte sich (siehe Abb. 45), dass mit zunehmender Abzugsgeschwindigkeit eine Längsorientierung des Faserverbandes in dem zwischen der Dralldüse und der Fadenführeröse befindlichen Fadenrohr erreicht wird. Mit zunehmendem Verzug (Geschwindigkeitsverhältnis Abzug zu Streckwerksausgang) bildet sich ein gleichförmiger Ballon aus.

Verzugshöhe	
1,00fach	
1,04fach	
1,12fach	

*Abb. 45: Einfluss der Verzugshöhe zwischen Streckwerksausgang und Abzug auf das Faserbändchen*

Wird durch Erhöhung des Verzuges über 1,12fach hinaus versucht den Faserverband weiter zu strecken und so die Ballonbildung zu vermeiden, so reißt der Faserverband ab. An der Spinnmaschine würde dies, ohne geeignete Abstellsysteme der einzelnen Stricksysteme, zur Lochbildung im Gestrick führen.

Eine Beruhigung des Faserballons durch mechanische Führungselemente führt zu einer deutlichen Verschlechterung der Faserorientierung bzw. zum Abreißen des Faserverbandes, da dieser keine echte Drehung besitzt sondern durch den Falschdrall lediglich eine Strukturfixierung.

Um die Spinnluft, die in Richtung Einspeisepunkt der Fasern in das Stricksystem gelenkt wird zu reduzieren wurde eine Lochblende am Ausgang der Dralldüse eingebaut (siehe Abb. 46).

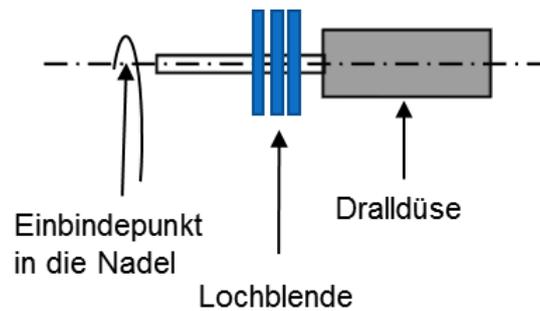


Abb. 46: Prinzipskizze der nach der Dralldüse angeordneten Lochblende (Blende)

Durch diese Lochblende konnte die in Richtung Einspeisepunkt abströmende Spinnluft auf ca.  $\frac{1}{3}$  der sonstigen Luftmenge reduziert werden, was zu einer deutlichen Reduzierung des Faserballons und damit einem deutlich ruhigeren Austritt der Fasern aus der Faserführungsöse führt. In Abb. 47 ist links der stark ballonierende Faserverband ohne Einsatz der Blende dargestellt und rechts der deutlich weniger stark ballonierende Faserverband mit Blende.

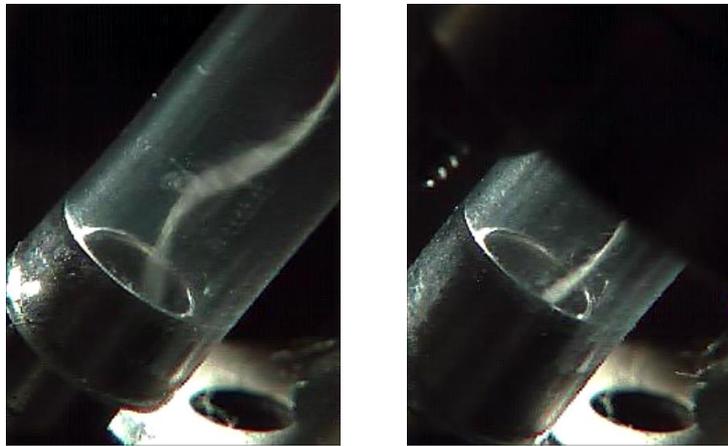


Abb. 47: Faserverband ohne (links) und mit (rechts) Blende

Beim Anlauf des Spinit-Systems musste für die Durchführung der Fasern durch die Blende diese abgedeckt werden. Danach konnte bei sehr stabilen Laufverhältnissen bis zu der max. Lieferung des Versuchstandes von 200 m/min das System betrieben werden. Es konnte eine deutliche Beruhigung des Faserverbandes an der Fadenführeröse und damit am Einspeisepunkt der Fasern, beobachtet werden.

Über die Versuchslaufzeit wurde ein geringer Faserabgang an der Blende beobachtet. Die Blende wurde ebenfalls an einem System der Spinit-Maschine erprobt und ein Gestrick hergestellt.

Um die Blende an der Spinit-Maschine an mehreren Systemen und unter realen Laufbedingungen testen zu können müsste die Anspinnproblematik wie auch die Faserabgangsproblematik durch eine geometrische Optimierung der Blende in Kombination mit einer beweglichen Abdeckung gelöst werden. Da dies einen deutlichen Eingriff in die Steuerung der Maschine bedeuten würde, war die Durchführung im Rahmen dieses Projektes nicht möglich.

### 3.4.4 Verschiebung der Falschdrahtzone in Richtung Stricksystem

Der Abstand zwischen Streckwerksausgang und Stricksystem ist auf Grund des vorhandenen Platzes, der für die Anordnung des Streckwerks und dessen Zugänglichkeit für die Bedienung notwendig ist, gegeben und kann nicht weiter reduziert werden. Durch eine Verschiebung der Falschdrahtzone in Richtung Stricksystem müsste eine Reduzierung des Spinnendrucks an der Dralldüse möglich sein.

Da die in der Injektordüse aufgebrachte Drehung des Faserbändchens in Richtung Streckwerk zurück läuft, kann der Abstand zwischen Streckwerksausgang und Injektordüse vergrößert werden. Dabei muss sichergestellt werden dass die Faserabnahme vom Streckwerk nicht negativ beeinflusst wird. Hierzu wurde ein sogenanntes Fasereinlaufröhrchen zwischen Streckwerksausgang und Injektordüse platziert (Abb. 48).

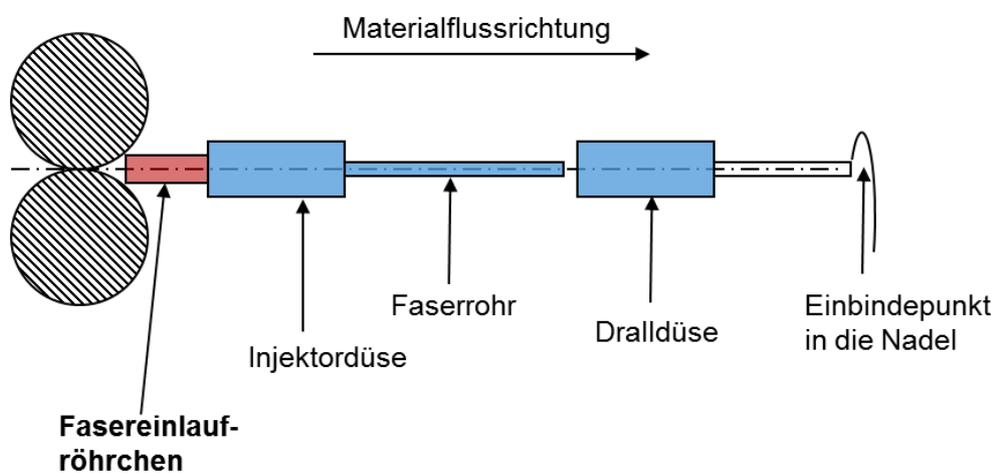


Abb. 48: Prinzipskizze: Falschdrahtzone mit Fasereinlaufröhrchen

Die Länge des Fasereinlaufröhrchens wurde in einem Bereich zwischen 5 mm und 25 mm bei einem Innendurchmesser von 4 mm variiert und mit den in Tab. 5 aufgeführten Düsen die maximal erreichbare Lieferung ermittelt. Diese wurde erreicht, sobald die Drehung nicht mehr bis zum Klemmpunkt des Streckwerks zurück gelaufen ist.

Tab. 9: Max. Lieferung bei Variation der Länge des Fasereinlaufröhrchens (Versuchsstand)

Düsengeometrie	Länge Fasereinlaufröhrchen			
	5 mm	15 mm	20 mm	25 mm
A1; 30°; D1	stabil bis 150 m/min	instabil ab 130 m/min		
A1; 45°; D1		stabil bis 200 m/min	instabil bei 200 m/min	
A2; 45°; D2			stabil bis 200 m/min	instabil bei 200 m/min

\*Düsenbohrungsfläche / -winkel / Durchgangsbohrungsdurchmesser

Dabei zeigte sich, dass durch die Veränderung des Düsenbohrungswinkels von 30° auf 45° eine Erhöhung der Drallwirkung und damit der Fasereinlafröhrchenlänge erreicht werden kann, sowie eine weitere Erhöhung durch eine Reduzierung der Durchgangsbohrung von D1 auf D2.

Die mögliche Verschiebung der Falschdrahtzone in Richtung Stricksystem ist neben der eingesetzten Düsengeometrie zudem von weiteren Faktoren abhängig, wie z. B. von der Faserlänge und deren Verteilung, der Fasermasse (Garnfeinheit), der Verzugshöhe im Streckwerk und damit der Breite des auslaufenden Faserverbandes, der Geometrie des Fasereinlafröhrchens usw.

Bei Versuchen an der Spinit-Maschine mit einer Fasereinlafröhrchenlänge von 15 mm konnte jeweils ein Spinit-System problemlos angespannen werden. Sobald das zweite Spinit-System desselben Streckwerks angespannen wurde traten Probleme mit der Strukturfixierung des Faserverbandes auf. Dies ist darauf zurück zu führen, dass an der Spinit-Maschine pro Streckwerkseinheit jeweils zwei Spinit-Systeme versorgt werden. Jeweils die zwei sich nebeneinander befindenden Injektordüsen und die zwei sich nebeneinander befindenden Dralldüsen werden über einen Luftanschluss versorgt.

Sobald sich in einem Falschdrahtsystem (bestehend aus Injektor- und Dralldüse mit den entsprechenden Faserführungselementen) Fasermaterial befindet wird der Lufthaushalt im anderen System so negativ beeinflusst, dass mit dem getesteten Fasereinlafröhrchen und dem eingesetzten Faserrohstoff keine sichere Strukturfixierung des Faserbändchens mehr möglich war.

Innerhalb des Projektes konnte eine Verbesserung der Faserorientierung und Faserübergabe zwischen der Dralldüse und dem Stricksystem und damit eine Rohstoffeinsparung nicht realisiert werden. Durch die umfangreichen High-Speed-Videoaufnahmen und die Analyse der Versuchsergebnisse wurde erkannt, dass ein Teil der Fasern nicht optimal gestreckt und längsorientiert vom Streckwerksausgang in die Falschdrahtzone und damit in das Stricksystem übergeben werden. Durch eine Optimierung der Faserführung zwischen dem Streckwerksausgang und der Injektordüse müsste eine Verbesserung zu erreichen sein.

### 3.4.5 Erprobung der Gesamtkonfiguration und Ermittlung der Prozessparameter an der Spinit-Maschine (Mayer & Cie. / DITF)

Für die Erprobung der Gesamtkonfiguration und der Ermittlung der Prozessparameter wurden an der Spinit-Maschine bei der Fa. Mayer & Cie. Strickversuche durchgeführt.

Bei der Herstellung von Gestriken mit der Spinit-Maschine sind folgende Anforderungen an das Spinit-System vorhanden:

- Gesicherte Führung der Fasern durch die Düsen und die Fadenführungsorgane bis zur Fasereinbindung in die Stricknadeln bzw. der sich hinter den Stricknadeln befindlichen Absaugung, unabhängig von der Liefergeschwindigkeit.
- Stabiles Laufverhalten über einen Liefergeschwindigkeitsbereich von 0 m/min bis zu 200 m/min.

Diese Anforderungen an das Spinit-System führt zu gewissen Einschränkungen bei der Gestaltung der Düsengeometrien. Es konnte zwar aufgezeigt werden, dass durch die Reduzierung der Durchgangsbohrung eine effektivere Drallwirkung erreicht werden kann, jedoch zeigt sich, dass ein Durchgangsbohrungsdurchmesser kleiner D2 in der Praxis nicht sinnvoll eingesetzt werden kann, da es dann durch im Vorgarn vorhandene Dickstellen und Nissen zu häufigen Abststellungen des Spinit-Systems kommt. Dies würde zu einer deutlichen Reduzierung des Maschinennutzeffektes und einem deutlichen Anstieg des Rohstoffabfalls führen.

Die Versuche wurden mit einer Strickgeschwindigkeit von 20 U/min durchgeführt.

Im ersten Schritt wurden Gestricke aus dem Rohstoff A (siehe Tab. 4) mit jeweils zwei Strickssystemen hergestellt. Auf Grund des geringeren Luftverbrauchs wurden dabei die Düsen mit einer Düsenbohrungsdurchmesserfläche von A2 eingesetzt. In der nachfolgenden Tabelle sind die Geometrien der eingesetzten Düsen aufgelistet.

Tab. 10: An der Spinit-Maschine eingesetzte Düsengeometrien

Düsenbohrungsfläche	Düsenbohrungswinkel	Ø Durchgangsbohrung
	[°]	
A2	30	D2
A2	37,5	D2
A2	45	D2

Die Düsen wurden zunächst jeweils als Injektor- und Dralldüse eingesetzt und der Spinnndruck variiert. Während der Versuche wurden High-Speed Videoaufnahmen am Einspeisepunkt der Fasern in die Stricknadeln gemacht.

In Abb. 49 sind zwei Beispiele des Fasereinlaufs in die Stricknadeln dargestellt. Auf dem linken Bild ist ein sehr geschlossener, kompakter Faserverband zu sehen, während auf dem rechten Bild die Fasern sehr offen und schlecht orientiert in die Stricknadeln einlaufen. Zudem konnte auf den Videoaufnahmen beobachtet werden, dass dabei nicht der gesamte Faserverband von den Stricknadeln erfasst wird und somit vermehrt Fasern unkontrolliert in das Gestrick eingebunden werden.

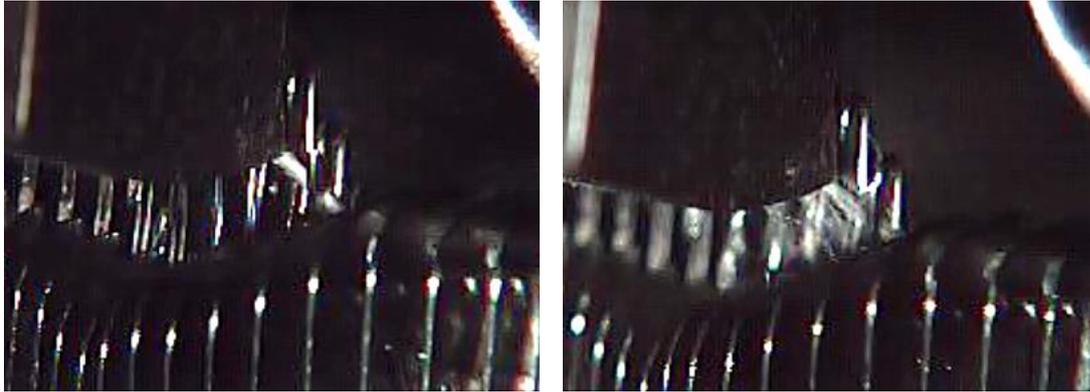


Abb. 49: Einspeisepunkt der Fasern in die Stricknadeln  
(links geschlossener Faserverband; rechts offener Faserverband)

Wie es sich bei den Versuchen am Versuchsstand bereits abzeichnete traten beim Einsatz der Düsen mit einem Düsenbohrungswinkel von  $30^\circ$  auch an der Spinit-Maschine vermehrt Probleme mit den Laufeigenschaften auf. Auf Grund der zu geringen Drallwirkung im Bereich der Injektordüse kam es sowohl zu häufigen Abststellungen des Stricksystems als auch zu Lochbildungen im Gestrück. Daher wurde in den weiteren Versuchen auf diese Düsengeometrie verzichtet.

Die auf der Spinit-Maschine und aus konventionellem Ringgarn hergestellten Gestrücke wurden an den DITF geprüft. Die durchgeführten Prüfungen sind in Kapitel 3.2.2 beschrieben. Sämtliche Prüfungen wurden an den nicht ausgerüsteten Gestrücken durchgeführt.

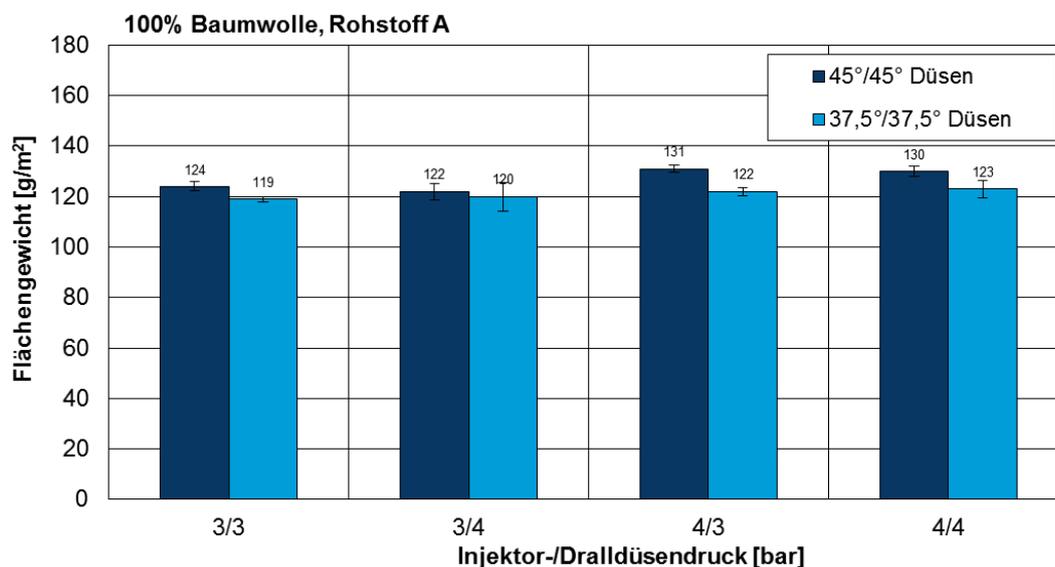


Abb. 50: Flächengewicht der Spinit-Gestrücke in Abhängigkeit des Spindrucks und der eingesetzten Düsengeometrie

Während bei der  $45^\circ$  Düse bei einem höheren Injektordüsendruck, unabhängig vom Dralldüsendruck, ein höheres Flächengewicht erreicht wurde, konnte dieser Einfluss beim Einsatz der  $37,5^\circ$  Düse nicht beobachtet werden. War das Flächengewicht höher, so konnte auch eine höhere Anzahl an Maschenreihen beobachtet werden. Beim Einsatz der  $45^\circ$  Düse konnte bei

ansonsten selber Maschineneinstellung ein tendenziell höheres Flächengewicht erreicht werden.

Es zeigte sich eine deutliche Korrelation zwischen dem Flächengewicht und dem erreichbaren Berstdruck.

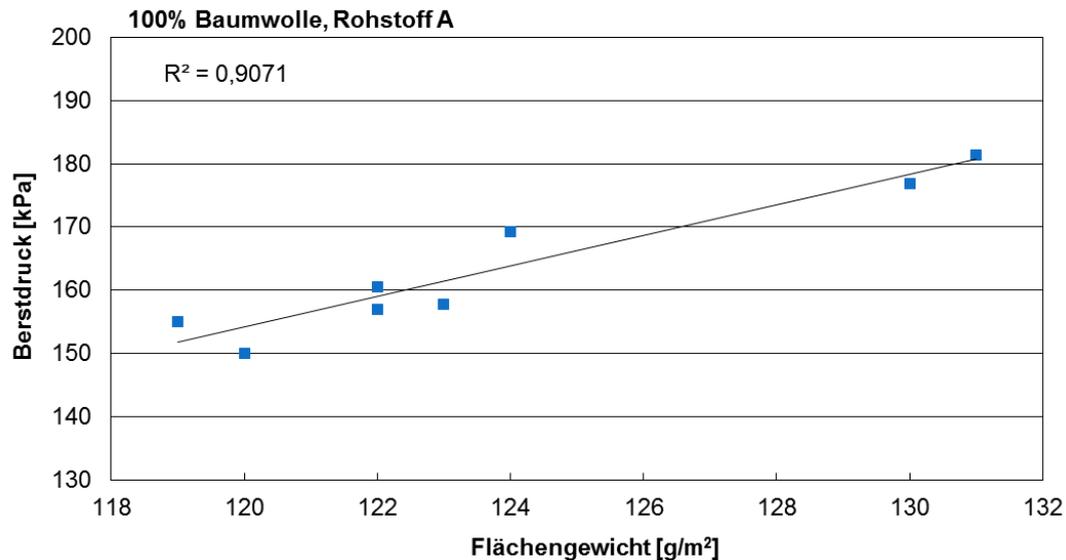


Abb. 51: Korrelation Flächengewicht - Berstdruck

Bei der durchgeführten Pillingprüfung konnte kein Einfluss der eingesetzten Düsengeometrie und des Spinnendrucks festgestellt werden. Die Pillingwerte der Spinit-Gestricke lagen nach einer Prüfdauer von 2000 Touren alle auf demselben Niveau und wurden durchweg um eine Note schlechter als das aus dem konventionellen Ringgarn hergestellte Gestrick beurteilt. Bei der Beurteilung des Pillingverhaltens muss berücksichtigt werden, dass die Spinit-Gestricke lediglich auf 2 Stricksystemen hergestellt wurden, während bei der Herstellung des Gestricks aus dem konventionellen Ringgarn mit der kompletten Systemanzahl der „konventionellen“ Rundstrickmaschine gearbeitet wurde.

### 3.4.6 Übertragung der Ergebnisse in die Praxis (Mayer & Cie.)

Nach den Erkenntnissen aus den ersten Versuchen wurden längere Strickversuche mit den in Tab. 11 aufgelisteten Düsenkombinationen und -drücken auf der Spinit-Maschine mit beiden Rohstoffen (siehe Tab. 4) durchgeführt.

Tab. 11: An der Spinit-Maschine eingesetzte Düsengeometrien und Düsendrücke

Injektordüse	Dralldüse	Injektor-/Dralldüsendruck
A2; 37,5°; D2	A2; 37,5°; D2	3/3; 3/4; 4/3; 4/4 bar
A2; 45°; D2	A2; 37,5°; D2	
A2; 45°; D2	A2; 45°; D2	

Als Referenz zu den Spinit-Gestricken wurden aus den Ringgarnen auf einer konventionellen Rundstrickmaschine mit beiden Rohstoffen Gestricke mit annähernd denselben Flächengewichten hergestellt.

## Gestrickwerte Rohstoff A

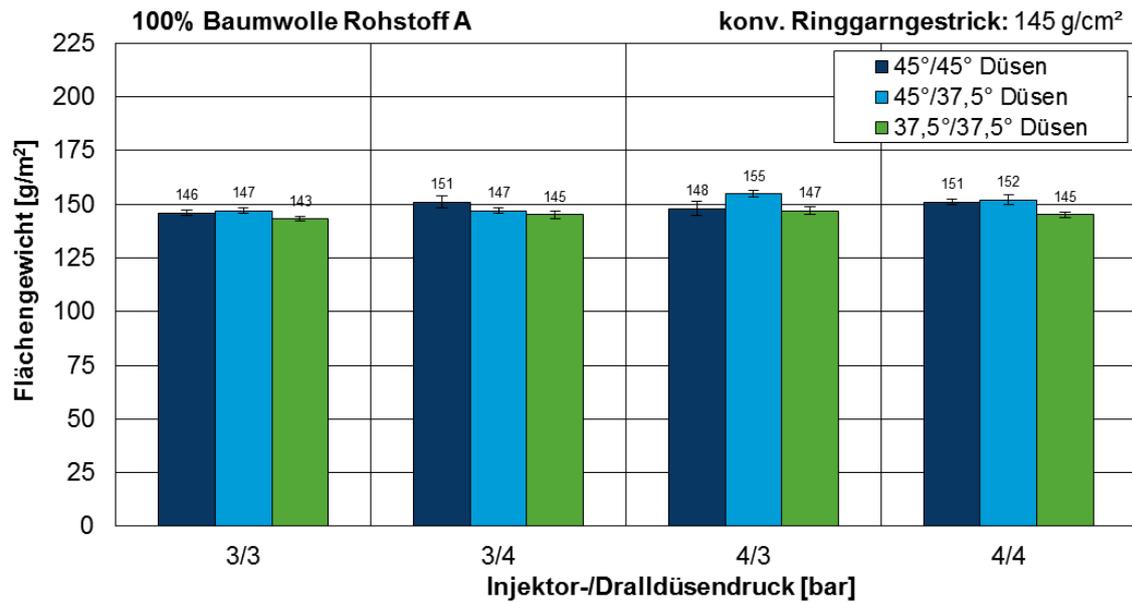


Abb. 52: Flächengewicht (Rohstoff A) in Abhängigkeit der Düsengeometrie und des Düsendrucks

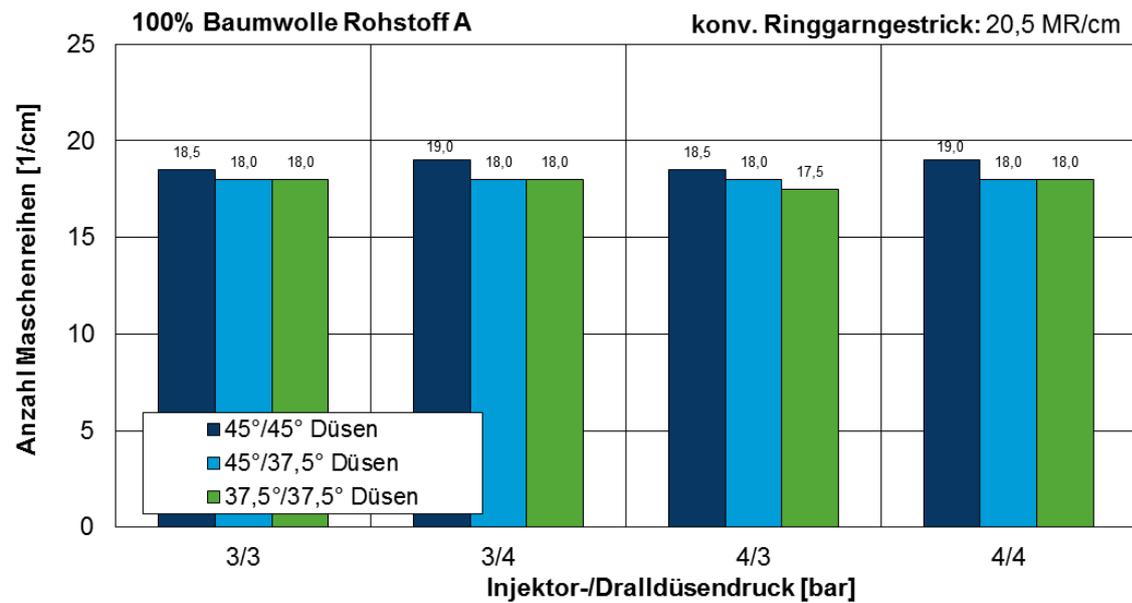


Abb. 53: Anzahl Maschenreihen (Rohstoff A) in Abhängigkeit der Düsengeometrie und des Düsendrucks

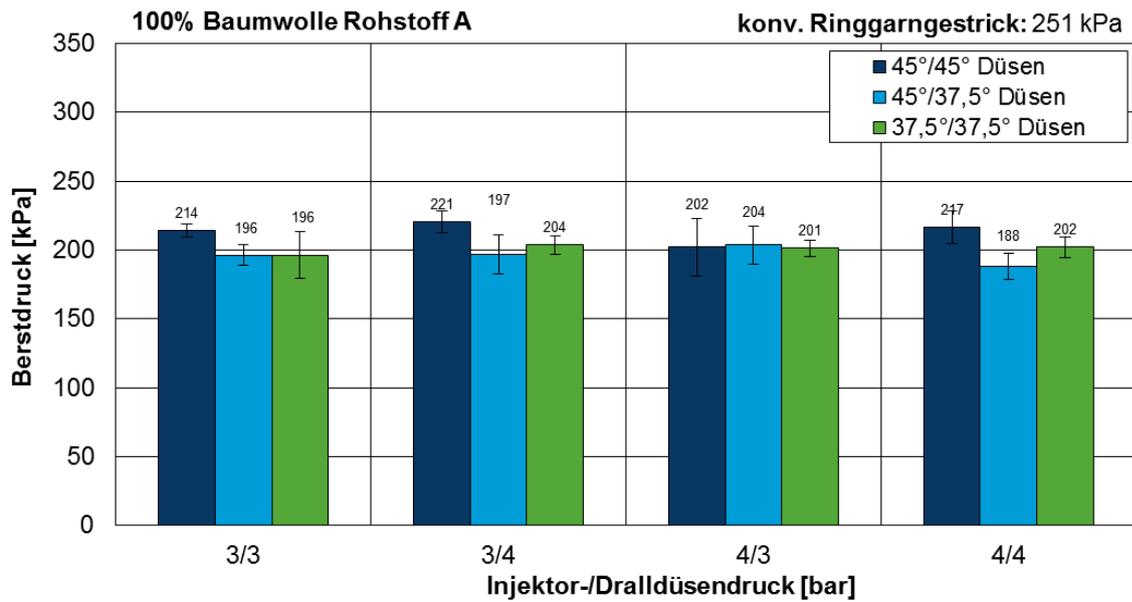


Abb. 54: Berstdruck (Rohstoff A) in Abhängigkeit der Düsengeometrie und des Düsendrucks

### Gestrickwerte Rohstoff B

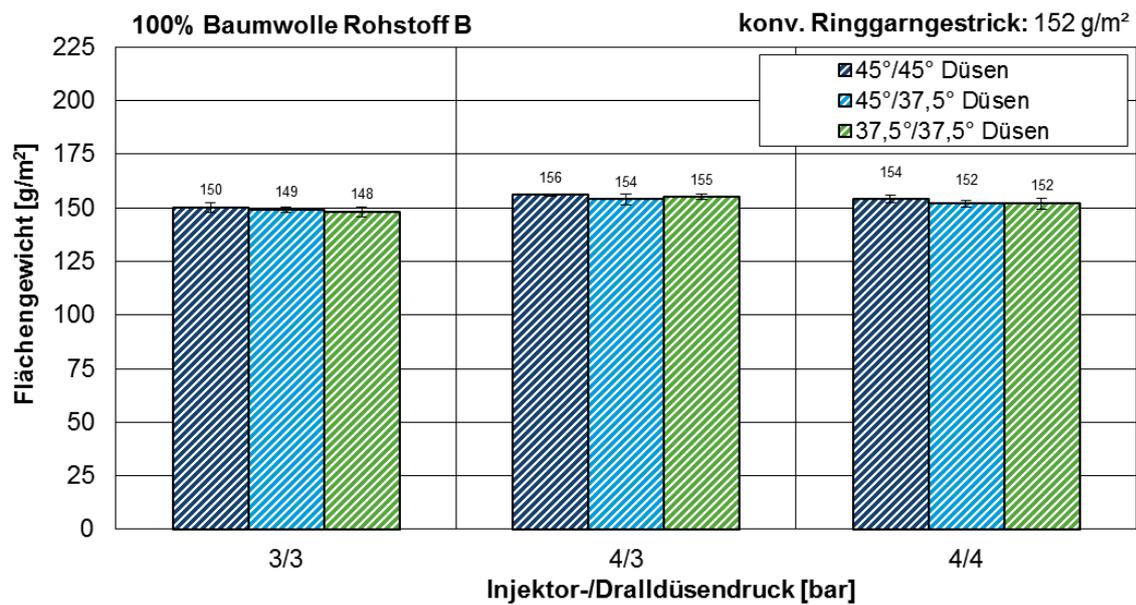


Abb. 55: Flächengewicht (Rohstoff) in Abhängigkeit der Düsengeometrie und des Düsendrucks

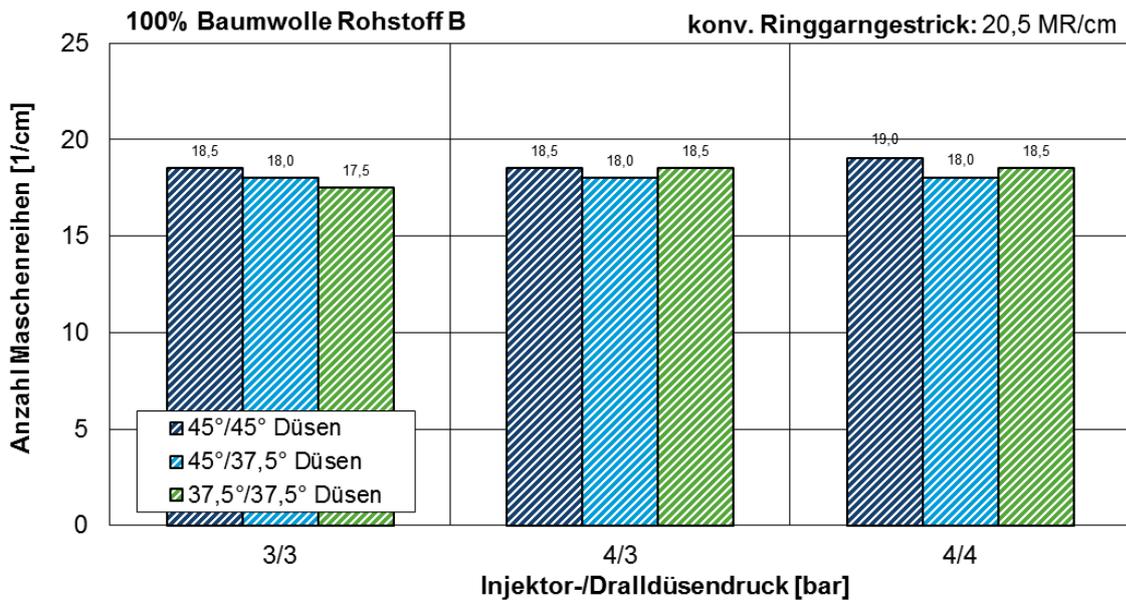


Abb. 56: Anzahl Maschenreihen (Rohstoff B) in Abhängigkeit der Düsengeometrie und des Düsendrucks

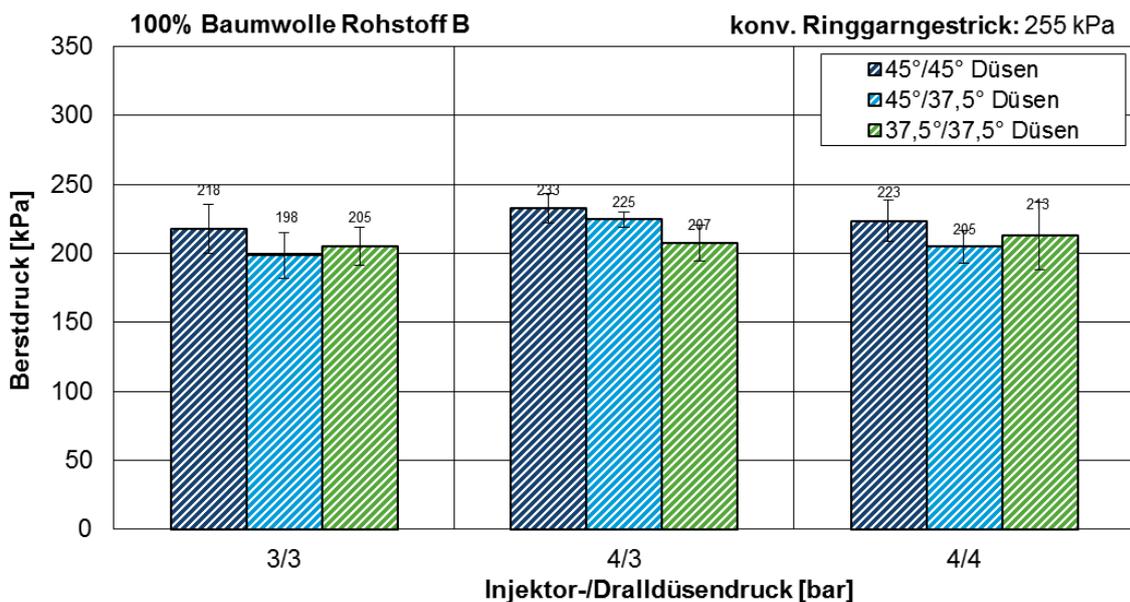


Abb. 57: Berstdruck (Rohstoff B) in Abhängigkeit der Düsengeometrie und des Düsendrucks

### Laufverhalten

Das Laufverhalten war bei allen durchgeführten Versuchen gut. Allerdings traten beim Rohstoff B geringfügig mehr Fadenbrüche auf als bei Rohstoff A. Derselbe Zusammenhang konnte jedoch auch bei der Herstellung der Gestricke aus dem konventionellen Ringgarn festgestellt werden. Der wesentliche Unterschied der beiden eingesetzten Rohstoffe zeigt sich in der schlechteren Flyerluntengleichmäßigkeit ( $CV_m$ -Wert) und an dem höheren Trashgehalt und der höheren Anzahl an Nissen (ST-Test und AFIS-N) des Rohstoffes B (siehe Tab. 4). An den Flyerspulen ist der höhere Trashgehalt des Rohstoffes B gut sichtbar.

### **Gestrickqualität**

Die Ergebnisse der Gestrickuntersuchungen zeigten in dem untersuchten Bereich keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen der messbaren Gestrickqualität und der eingesetzten Düsen auf.

Wird die 45° Düse sowohl als Injektor- als auch Dralldüse eingesetzt, so wird unabhängig von der Höhe des Düsendrucks, eine etwas höhere Anzahl an Maschenreihen erreicht. Dies lässt sich durch die höhere Drallwirkung dieser Düse im Vergleich zu der 37,5° Düse erklären. Vergleichbar wie bei der Garnherstellung wird durch eine höhere Drehung des Faserverbandes eine stärkere Einzwirnung erreicht, was i.a. zu einer Verkürzung des Garnes und einer Erhöhung der Dehnung führt. Der höhere Drall im Faserverband führt bei ansonsten selben Maschineneinstellungen zu einer etwas stärkeren Längenrelaxation des Gestricks und damit zu einer höheren Anzahl an Maschenreihen. Einen signifikanten Einfluss auf das Flächengewicht konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Ebenso konnte kein Einfluss der eingesetzten Düsengeometrie und des eingestellten Düsendrucks auf die gemessene Warendicke der Spinit-Gestricke festgestellt werden. Allerdings war die gemessene Warendicke der Spinit-Gestricke im Vergleich zu den konventionellen Ringgarngestriken um ca. 10% bis 20% höher. Dieser Unterschied ist vor allem auf die nicht vorhandene echte Drehung der im Spinit-Gestrick vorliegenden Fasern zurück zu führen. Dies führt zudem zu einem deutlich weicheren Warengriff der Spinit-Gestricke im Vergleich zu den konventionellen Ringgarngestriken.

Die Luftdurchlässigkeit zeigte ebenfalls keinen signifikanten Unterschied innerhalb der untersuchten Spinit-Gestricke auf. Im Vergleich zu den konventionell hergestellten Ringgarngestriken war die Luftdurchlässigkeit der Spinit-Gestricke um ca. 10 – 20% höher. Dies ist auf die höhere Dichte der konventionell hergestellten Ringgarngestricke auf Grund der kompakten Ringgarnstruktur zurück zu führen (dort höhere Maschendichte, geringere Warendicke bei demselben Flächengewicht).

Bei der Prüfung des Berstdruckes war ebenfalls kein signifikanter Einfluss der eingesetzten Düsengeometrie und des Düsendrucks feststellbar. Tendenziell waren die Werte etwas höher sobald die Düse mit dem 45° Bohrungswinkel sowohl als Injektor- als auch Dralldüse eingesetzt wurde.

Es zeigte sich keinerlei Einfluss der eingesetzten Düsengeometrie und des Düsendrucks bei der Pillingprüfung.

### **Warenausfall**

Der Griff der Spinit-Gestricke ist im Vergleich zu den konventionell hergestellten Ringgarngestriken deutlich weicher. Innerhalb der mit dem Spinit-Verfahren hergestellten Gestricke konnte kein Einfluss der eingesetzten Düsengeometrie, noch des Düsendrucks auf den Griff festgestellt werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass mit den Düsen die einen Düsenbohrungswinkel von 45°, einer reduzierten Durchgangsbohrung von D2 und einer reduzierten Düsenbohrungsgesamtfläche von A2 bei einem Düsendruck von jeweils 3 bar, sowohl an der Injektor- als auch Dralldüse, ein gutes Laufverhalten als auch gute Gestrickeigenschaften erreicht werden können.

## 4 Fazit

Ziel des Vorhabens war durch die Optimierung der Düsengeometrie eine Senkung des Luftverbrauchs und damit eine Energieeinsparung von 20% zu erreichen. Gleichzeitig sollte durch eine geschlosseneren Faserführung am Übergabepunkt der Fasern in das Stricksystem eine Rohstoffeinsparung von 10% erreicht werden.

Das Vorhaben gliedert sich in zwei Bereiche. Zum einen der Strömungssimulation der Düsen und ihrer fadenführenden Elemente und zum anderen in den Bereich der textiltechnologischen Versuche am Versuchstand bzw. der Maschine.

Innerhalb des Vorhabens konnte ein Simulationsmodell der eingesetzten Düsengeometrie und der dazugehörigen Fadenführungsorgane erstellt werden. Durch dieses Simulationsmodell war es möglich die Strömungen innerhalb des Falschdrahtsystems, ohne Berücksichtigung der Fasern, darzustellen. An dem Simulationsmodell wurden die Düsenbohrungsanordnung, der Düsenbohrungsdurchmesser, der Düsenbohrungswinkel, die Düsenbohrungsanzahl, der Durchmesser der Durchgangsbohrung und die Geometrie der Fadenführungsorgane variiert.

Bei der Strömungssimulation konnte durch eine Reduzierung des Durchmessers der Durchgangsbohrung der größte Effekt für eine Reduzierung des Luft- und Energieverbrauchs ermittelt werden. Es konnte aufgezeigt werden, dass jeglicher Durchmessersprung innerhalb der fadenführenden Organe sich negativ auf die Strömung auswirkt. Der Düsenbohrungswinkel sollte größer als  $45^\circ$  sein und der Düsenbohrungsdurchmesser möglichst klein gewählt werden. Bei einer Reduzierung des Düsenbohrungsdurchmessers muss jedoch zur Beibehaltung der Wirbelintensität die Anzahl der Düsenbohrungen erhöht werden.

In den Versuchen an dem Versuchstand zeigte sich, dass der erste auf die Fasern aufgebrauchte Drallimpuls von der sogenannten Injektordüse für die Kompaktierung des Faserbündels („Garn“) entscheidend ist. Durch die zweite Düse, die sogenannte Dralldüse, erfolgt lediglich noch eine Strukturfixierung der Fasern bis zum Einbindepunkt an der Stricknadel. Es konnte aufgezeigt werden, dass durch eine Reduzierung der Düsenbohrungsfläche um 30%, bei gleichzeitiger Reduzierung der Durchgangsbohrung von 20% ein Energieeinsparungspotenzial von 20% erreicht werden kann.

Eine weitere Reduzierung des Düsenbohrungsdurchmessers bei gleichzeitiger Erhöhung der Düsenbohrungsanzahl wurde auf Grund der dadurch deutlich steigenden Fertigungskosten nicht durchgeführt. Wird der Durchmesser der Durchgangsbohrung weiter reduziert, so kommt es auf Grund der im Fasermaterial vorhandenen Masseschwankungen zu einer vermehrten Anzahl an Systemabstellungen, was zu einer deutlichen Verschlechterung des Maschinennutzeffektes bei gleichzeitiger Erhöhung des Rohstoffabfalls führt.

Eine Vergrößerung des Düsenbohrungswinkels über  $45^\circ$  führt zwar zu einer Erhöhung der Drallwirkung und damit zu einem kompakteren Faserbündel, allerdings sinkt gleichzeitig die notwendige Transportwirkung der Düse deutlich ab. Dies hat sowohl negative Auswirkungen auf das Injektionsverhalten der Düse, was für eine sichere Abnahme der Fasern vom Streckwerk notwendig ist, als auch auf das Anlaufverhalten des Spinit-Systems.

Durch den Einsatz einer Blende am Ausgang der Dralldüse konnte ein Weg aufgezeigt werden wie der Garnlauf am Einspeisepunkt deutlich beruhigt werden kann. Zudem konnte eine Reduzierung der abströmenden Luftmenge in Richtung Einbindepunkt der Fasern um ca.  $\frac{2}{3}$  erreicht werden. Für die Testung einer solchen Blende an mehreren Spinit-Systemen ist ein

Eingriff in die Steuerung der Maschine notwendig, was im Rahmen dieses Projektes nicht möglich war.

An den auf der Maschine hergestellten Gestriken konnten durch eine Reduzierung des Dralldüsendrucks um 25% keine signifikanten Verschlechterungen des Berstdrucks und des Pillingverhaltens festgestellt werden.

Sämtliche Versuche zeigten auf, dass die momentan eingesetzte Düsengeometrie einen sehr guten Kompromiss bzgl. des Laufverhaltens, der erreichbaren Gestickeigenschaften und der Fertigungskosten darstellt. Eine Verbesserung könnte im Bereich der fadenführenden Organe sowohl am Düseneingang als auch am Düsenausgang zu einer weiteren Verbesserung des Spinit-Systems führen.

In dem Vorhaben konnten Möglichkeiten für eine Energieeinsparung von 20% aufgezeigt werden. Eine Reduzierung des Rohstoffeinsatzes von 10% konnte nicht erreicht werden. Allerdings wurde bei den Versuchen erkannt, dass der Übergabepunkt zwischen dem Streckwerksausgang und dem Injektordüseneingang für die Faserparallelität und Faserführung elementar ist und durch eine Optimierung in diesem Bereich eine Rohstoffeinsparung realisierbar wird.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] H. Haid, „Ausgewählte Eigenschaften von Spinit-Gestriken,“ in Denkendorfer Maschenkolloquium, Neue Verfahren, Strukturen und Materialien in der Maschentechnologie, Denkendorf, 2012
- [2] Ansys CFD-Post Manual, Kapitel „10.1.8. Vortex Core Region“, [https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/cfd\\_post/vortex\\_core\\_details\\_v.html](https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/cfd_post/vortex_core_details_v.html)