

# Optimierung von Textil-Fördergurtverbindungen mittels Finite Elemente Methode (FEM)

Optimization of textile conveyor belt splices using Finite Element Method (FEM)

Patrick Heitzmann<sup>1</sup>  
Tobias Froböse<sup>1</sup>  
Akiko Wakatsuki<sup>2</sup>  
Ludger Overmeyer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Leibniz Universität Hannover  
Institut für Transport- und Automatisierungstechnik

<sup>2</sup> Fenner Dunlop Engineered Conveyor Solutions

**D**ie Schwachstelle eines Fördergurts stellt die Verbindung dar, da in dieser die Zugkräfte ausschließlich vom Zwischengummi übertragen werden. Die angewandte Prüfmethode für Fördergurtverbindungen nach DIN 22110-3 ist äußerst zeitaufwendig und kostenintensiv. Eine Alternative zur Untersuchung von Textil-Fördergurtverbindungen stellt die Auslegung mittels Finite Elemente Methode (FEM) dar. Diese bietet außerdem die Möglichkeit die lokal auftretenden Spannungen des Zwischengummis oder Dehnungen des Zugträgers innerhalb der Verbindung zu ermitteln. Die Entwicklung eines FE-Modells zur Optimierung von Textil-Fördergurtverbindungen wird im Folgenden aufgezeigt.

[Schlüsselwörter: Finite Elemente Methode (FEM), Textil-Fördergurt, Materialparameter, Stufen- und Fingerverbindung]

**S**plices are the weak points of a conveyor belt. There, the occurring force is transferred through the intermediate rubber. Tests of conveyor belt splices are time consuming and expensive. To measure stress during the test requires an enormous effort. Using the Finite Element Method is a beneficial alternative to optimize textile conveyor belt splices.

[Keywords: Finite Element Method (FEM), textile conveyor belt, material parameter, step and finger splice]

## 1 EINLEITUNG

Ein Fördergurt spielt im Hinblick auf die anfallenden Investitionskosten einer Förderanlage eine entscheidende Rolle bei der Anlagenplanung. Die einzelnen Gurtsegmente werden, aus logistischen Gründen, erst an der Anlage miteinander verbunden. In diesen Verbindungsstellen werden die Zugkräfte ausschließlich über das Zwischengummi übertragen und nicht über den eigentlichen Zugträger, was dazu führt, dass es sich hierbei um die Schwachstelle des Fördergurtes handelt. Als Zugträger kommen je nach Anforderung Stahlseile oder Textilgewe-

be zum Einsatz [1]. Textil-Fördergurte haben die Besonderheit, dass sie, im Gegensatz zu Stahlseil-Fördergurten, aus zum Teil mehrlagigen Zugträgerschichten bestehen können. Die Anzahl der Schichten hängt direkt mit dem zu wählenden Verbindungslayout zusammen. So kommen bei ein- und zweilagigen Textil-Fördergurten sogenannte Fingerverbindungen zum Einsatz. Bei zwei- und mehrlagigen Fördergurten wird auf ein gestuftes Verbindungsdesign zurückgegriffen, siehe Abbildung 1. Die Anzahl der Zugträgerschichten als Auswahlkriterium lässt sich durch den Wegfall einer tragenden Schicht bei der Stufenverbindung begründen. So kann z.B. eine 3-lagige Stufenverbindung eine maximale Festigkeit von 66 % der Nennfestigkeit des Fördergurtes erzielen. Sie zeichnet sich jedoch gleichzeitig durch geringere Fertigungszeiten aus, was dazu führt, dass sie bevorzugt angewandt wird, da der Ausfall des Fördergurtes gleichbedeutend mit dem Stillstand der Förderanlage und somit direkt mit einem Gewinnausfall verbunden ist. Fingerverbindungen können hingegen eine theoretische Festigkeit von ca. 90 % der Gurt-nennfestigkeit erreichen [2][3].

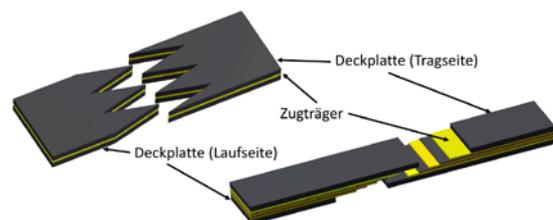


Abbildung 1. Textil-Fördergurtverbindung (links: Fingerverbindung; rechts: Stufenverbindung)

Die experimentelle Prüfung einer Fördergurtverbindung nach DIN 22110-3 gestaltet sich zeit- und kostenintensiv [4] [5] [6]. Hierbei ist jedoch nur die Gesamtdehnung des Prüfgurtes ermittelbar. Eine lokale Messung der Schubspannungen im Zwischengummi und Dehnungen im Zugträger sind für Textil-Fördergurtverbindungen derzeit nicht praktikabel. Eine unterstützende Alternative zur Auslegung solcher Verbindungen stellt die Finite Elemente Methode (FEM) dar.

Durch die Nutzung wird die Ermittlung des Schubspannungsverlaufs im Zwischengummi sowie des Dehnungsverlaufs des Zugträgers ermöglicht. Aus diesem Grund wird das am Institut für Transport- und Automatisierungstechnik entwickelte Berechnungstool für Stahlseil-Fördergurtverbindungen [7] für die Auslegung und Optimierung von Textil-Fördergurtverbindungen erweitert. Die notwendigen Schritte zur Erstellung eines FE-Modells für Textil-Fördergurtverbindungen und die Abfolge der notwendigen Schritte zur Ermittlung der einzelnen Komponenten, vgl. Abbildung 2, werden in den folgenden Kapiteln aufgezeigt. Hierzu zählen zum Einen die geometrischen Abmessungen sowie das Verbindungslayout und zum Anderen die Materialeigenschaften der einzelnen Komponenten, wie Deckplatten, Zwischengummi und Zugträger.

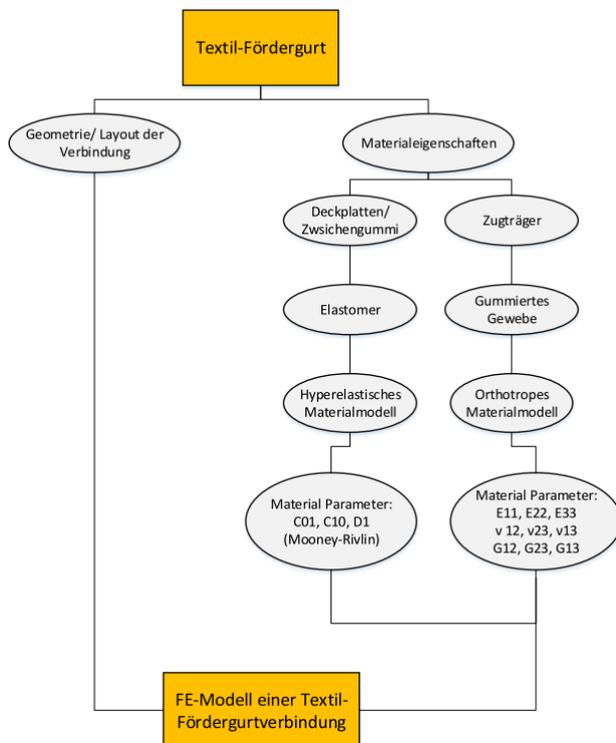


Abbildung 2. Abfolge der Datenermittlung zur Erstellung eines FE-Modells für Textil-Fördergurtverbindungen

## 2 NUMERISCHE GRUNDLAGEN ZUR ENTWICKLUNG EINES FE- MODELLS

Für den Aufbau eines FE-Modells sind zu allererst die verschiedenen Materialverhalten der einzelnen Komponenten des Fördergurtes zu beachten und darauf aufbauend die dazu passenden numerischen Materialmodelle zu wählen. Die einzelnen Gurtkomponenten lassen sich in zwei Materialgruppen eingliedern. Das Zwischengummi, sowie die Deckplatten bestehen aus Elastomeren, welche sich durch ihre hyperelastischen Materialeigenschaften

auszeichnen. Bei dem Zugträger handelt es sich um ein Gewebe, welches ein orthotropes Materialverhalten aufweist. Durch die Tatsache, dass das Gewebe komplett gummiert ist, kann auch von einem Verbundwerkstoff zwischen Gewebe und Elastomer gesprochen werden. Für die Fördergurtkomponenten gilt es demzufolge zwei unterschiedliche Materialmodelle zu definieren, die in der Lage sind die unterschiedlichen Eigenschaften abzubilden und für den Belastungsfall Gültigkeit besitzen. Das orthotrope Materialverhalten des gummierten Gewebes lässt sich, für den linear-elastischen Bereich, durch das Hookesche Gesetz

$$\sigma = \mathbf{C} : \varepsilon \quad (1)$$

über den proportionalen Zusammenhang zwischen Spannung  $\sigma$  und Dehnung  $\varepsilon$  darstellen, mit der Konstanten  $\mathbf{C}$  als Materialtensor. Dieses Materialgesetz kann mittels Voigt-Notation auch durch

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{1111} & C_{1122} & C_{1133} & C_{1112} & C_{1123} & C_{1113} \\ & C_{2222} & C_{2233} & C_{2212} & C_{2223} & C_{2213} \\ & & C_{3333} & C_{3312} & C_{3323} & C_{3313} \\ & & & C_{1212} & C_{1223} & C_{1213} \\ \text{sym.} & & & & C_{2323} & C_{2313} \\ & & & & & C_{1313} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ 2\varepsilon_{12} \\ 2\varepsilon_{23} \\ 2\varepsilon_{13} \end{bmatrix} \quad (2)$$

beschrieben werden [8]. Bei einem orthotropen Materialverhalten kann der Materialtensor durch 9 Materialkonstanten beschrieben werden, was zu folgender Steifigkeitsmatrix führt:

$$\mathbf{C}^{-1} = \begin{bmatrix} E_{11} & -\frac{\nu_{12}}{E_{11}} & -\frac{\nu_{13}}{E_{11}} & 0 & 0 & 0 \\ & E_{22} & -\frac{\nu_{23}}{E_{22}} & 0 & 0 & 0 \\ & & E_{33} & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{1}{G_{23}} & 0 & 0 \\ \text{sym.} & & & & \frac{1}{G_{13}} & 0 \\ & & & & & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Bei den Materialkonstanten handelt es sich um die E-Moduln  $E_{11}$ ,  $E_{22}$  und  $E_{33}$ , die Querkontraktionszahlen  $\nu_{12}$ ,  $\nu_{23}$  und  $\nu_{13}$ , sowie den Schubmodul  $G_{12}$ ,  $G_{23}$  und  $G_{13}$  [9]. Während der Zugträger durch ein linear-elastisches orthotropes Materialgesetz definiert wird, was auf Änderung der potenziellen Energie im Material basiert, finden bei Elastomeren entropieelastische Materialmodelle Anwendung [10]. Hierfür sind der chemische Aufbau und die dadurch resultierende Hyperelastizität des Materials verantwortlich. Die entsprechenden numerischen Materialmodelle werden mit Hilfe von Formänderungsenergiefunktionen  $\psi$  beschrieben [11], welche sich aus der Formänderungsenergie  $W$  und der Volumenänderungsenergie  $U$  zusammensetzen.

$$\psi = \psi(I_1, I_2, I_3) = W(I_1, I_2) + U(I_3) \quad (4)$$

Dies lässt sich unter anderem mit dem allgemeinen Polynomansatz

$$\psi = \sum_{i+j \geq 1}^N C_{i,j} (I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j + \sum_{k=1}^N D_k (I_3 - 1)^k \quad (5)$$

beschreiben. Da Elastomere idealerweise als inkompressibles Material angenommen werden, ist die dritte Invariante  $I_3 = 1$  und der Term der Volumenänderungsenergiedichte gleich null. Für die Verformung eines Elastomers reicht somit die Beschreibung durch die Formänderungsenergiedichte  $W$  aus. Die Auswahl eines Modells wird über den Anwendungsbereich getroffen. Bei geringer Dehnung, bis zu einer Deformation von bis zu 100 % technischer Dehnung, hat der Polynomansatz

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) \quad (6)$$

nach *Mooney-Rivlin* Gültigkeit [12]. Die erforderlichen Materialparameter  $C_{10}$  und  $C_{01}$  werden mit Hilfe des Schubmoduls  $G$  berechnet. Es gilt der Zusammenhang

$$G = 2 \cdot (C_{10} + C_{01}). \quad (7)$$

Die zur Berechnung der Parameter benötigten Materialkennwerte gilt es experimentell zu ermitteln.

### 3 ERMITTLUNG DER MATERIALPARAMETER FÜR DIE NUTZUNG IN DER FEM

Die experimentelle Ermittlung der Materialparameter von Elastomeren wird nach DIN ISO 1827 für statische [13] und nach DIN 53513 für dynamischen Eigenschaften durchgeführt [14]. Das genaue Vorgehen zur Durchführung und Auswertung der Prüfung, sowie die anschließende Berechnung der Materialparameter für die FEM wurden bereits in [7] dargestellt. Zur Bestimmung der Materialparameter des Zugträgers, also des gummierten Gewebes, kommen eine Reihe von verschiedensten experimentellen Versuchen zum Einsatz. Die hier zu bestimmenden 9 Parameter lassen sich in zwei Gruppen unterteilen, zum einen in Gurtebene ( $E_{11}$ ,  $E_{22}$ ,  $\nu_{12}$  und  $G_{12}$ ) und zum anderen in GurtDickenebene ( $E_{33}$ ,  $\nu_{23}$  und  $\nu_{13}$ ,  $G_{23}$  und  $G_{13}$ ). Die Raumrichtungen werden gemäß Abbildung 3 angenommen. Die Schwierigkeit der Prüfungen begründet sich dadurch, dass nicht auf genormte Verfahren zurückgegriffen werden kann. Die durchzuführenden Prüfungen gilt es so zu konzipieren, dass diese den einachsigen Spannungszustand widerspiegeln.

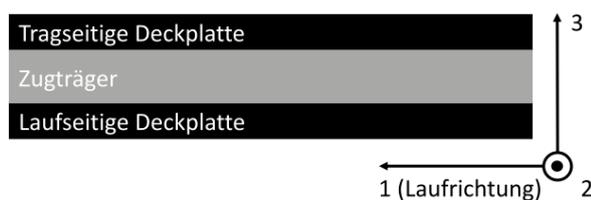


Abbildung 3. Definition der Raumrichtungen

Nach der experimentellen Ermittlung der Materialparameter werden diese mit Hilfe eines Fitting-Prozesses für die FEM angepasst und anschließend über experimentelle Messungen an einem kleinskaligen Prüfkörper validiert.

### 3.1 EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

Die Materialparameter in Gurtebene stellen die Haupteigenschaften des gummierten Gewebes dar. Die experimentelle Bestimmung dieser Parameter wird mittels Zugversuche durchgeführt. Der Zugversuch für  $E_{11}$ ,  $E_{22}$  und  $\nu_{12}$  wird in Anlehnung an DIN EN ISO 9856 realisiert [15]. Hierfür wird eine rechteckige Probe aus dem gummierten Gewebe geschnitten, für die Ermittlung des E-Moduls  $E_{11}$  in Laufrichtung des Gurtes und für  $E_{22}$  in Querrichtung, vgl. Abbildung 4.

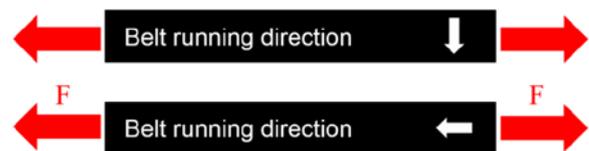


Abbildung 4. Schematische Darstellung der Zugproben

Bei diesem Zugversuch wird die Probe zyklisch zwischen einer oberen Bezugskraft von 10 % und einer unteren Bezugskraft von 2 % der Gurtneffestigkeit  $k_N$  des Gewebes belastet. Dies wird weggesteuert über eine Rampenfunktion, siehe Abbildung 5, mit einer Geschwindigkeit von 100 mm/min realisiert, um einen quasistatischen Zustand zu gewährleisten. Auf jeden Belastungszyklus folgt eine Haltezeit von 1 s.

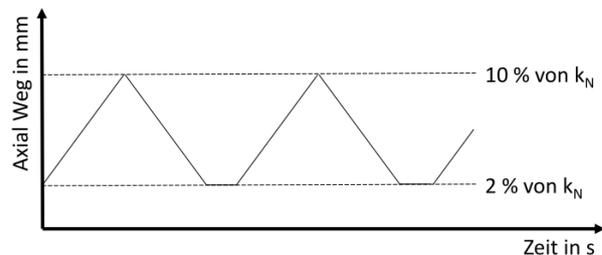


Abbildung 5. Schematische Darstellung der Belastungsfunktion

Die zyklische Belastung ist durch den molekularen Aufbau des Elastomers notwendig. Erst nach einer dauerhaften Belastung kommt es zum sogenannten „Aufbrechen“ der Moleküle. Dann erst entspricht das mechanische Verhalten des Elastomers dem Belastungsfall eines Fördergurtes im Feld. Exemplarische Versuchsdaten sind in Abbildung 6 dargestellt.

Diese zeigt den für die Berechnung der Materialparameter relevanten Bereich des letzten Lastzyklus. Die Berechnung des E-Moduls erfolgt dann aus der Steigung des linear-elastischen Bereichs.

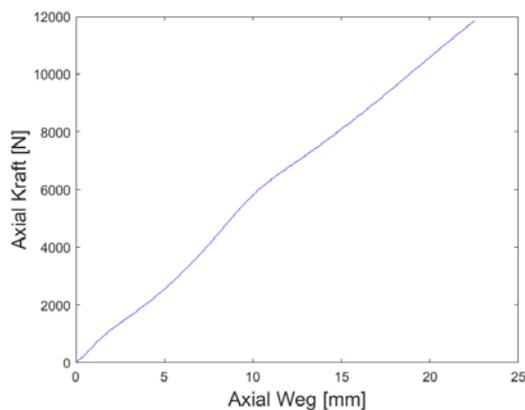


Abbildung 6. Exemplarisches Versuchsergebnis eines Zugversuchs zur Ermittlung von  $E_{11}$

Die Querkontraktionszahl  $\nu_{12}$  kann unter Hinzunahme eines optischen Messsystems, welches eine berührungsfreie Messung des konstanten Dehnungsbereiches garantiert, ebenfalls bei diesem Versuch ermittelt werden.

Der Versuchsaufbau zur Ermittlung des Schubmoduls  $G_{12}$  ist in Anlehnung an die Norm ASTM D4255M [16] konzipiert, vgl. Abbildung 7.

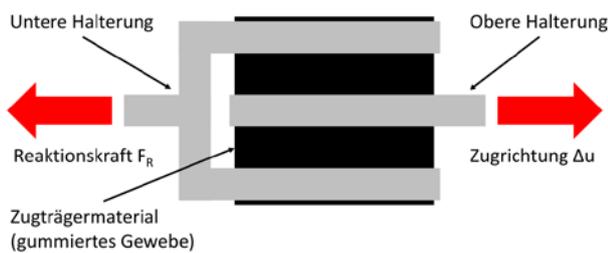


Abbildung 7. Versuchsaufbau zur Ermittlung des Schubmoduls  $G_{12}$

Die exemplarisch aufgenommenen Versuchsdaten entsprechen Abbildung 8. Die Berechnung des Schubmoduls erfolgt bei einer Scherung von 25 % der Probe, in Anlehnung an die Prüfungen von Elastomeren nach DIN ISO 1827, da die Matriceigenschaften für diesen Belastungsfall ausschlaggebend sind.

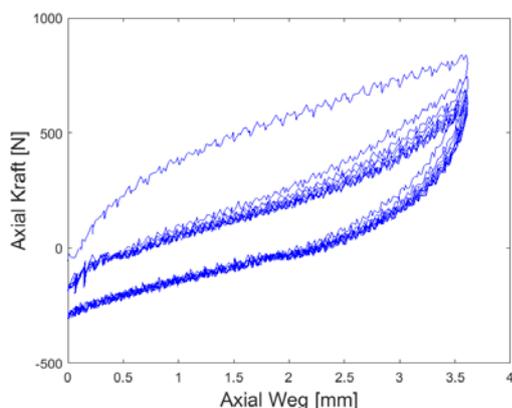


Abbildung 8. Exemplarische Datenreihe eines Scherversuchs

Die Prüfungen in Gurtdickenebene sind durch die geringe Dicke des Materials charakterisiert. So lässt sich ein Zugversuch zur Bestimmung des E-Moduls  $E_{33}$  nicht realisieren. Da im elastischen Bereich der E-Modul einer Zugbelastung dem E-Modul einer Druckbelastung entspricht, kommt letztere zur Bestimmung des E-Moduls zum Einsatz, siehe Abbildung 9. Das E-Modul  $E_{33}$  und die zugehörigen Querkontraktionszahlen  $\nu_{23}$  und  $\nu_{13}$  lassen sich erst in Kombination mit dem anschließenden Parameter-Fitting bestimmen, da eine exakte Ermittlung der Parameter durch die geringe Dicke des Materials experimentell nicht möglich ist, vgl. [17].

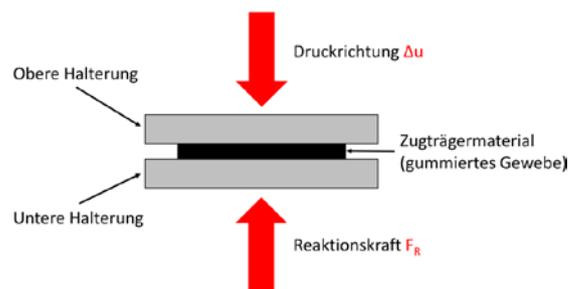


Abbildung 9. Versuchsaufbau zur Ermittlung des E-Moduls  $E_{33}$  und der Querkontraktionszahlen  $\nu_{23}$  und  $\nu_{13}$

Zur Bestimmung der Schubmodulen  $G_{23}$  und  $G_{13}$  findet eine Prüfgeometrie Anwendung, die nach DIN ISO 1827 entworfen ist. Hierbei werden die Elastomerblöcke durch das gummierte Gewebe ersetzt und auf die Metallplatten geklebt. Der Aufbau einer solchen Probe ist in Abbildung 10 dargestellt. Die Schubmoduln werden bei einer aufgebracht Belastung von 25 % Scherung berechnet.

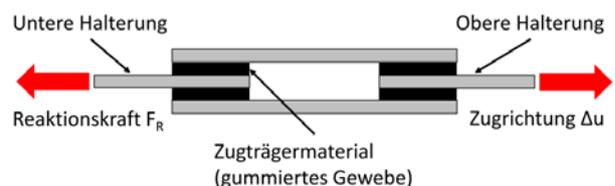


Abbildung 10. Versuchsaufbau zur Ermittlung von  $G_{23}$  und  $G_{13}$

### 3.2 PARAMETER-FITTING DER MATERIALPARAMETER

Die experimentell ermittelten Materialparameter gilt es mit Hilfe eines sogenannten Fitting-Prozesses für die FEM anzupassen. Hierfür werden die verschiedenen Versuche aus 3.1 mit Hilfe der Software Abaqus modelliert und die Materialparameter für die Materialmodelle definiert. Die Anpassung der Materialparameter erfolgt iterativ, bis mittels der Methode der kleinsten Quadrate die Abweichung, zwischen experimentell ermittelten und dem simulativ ermittelten Spannungs-Dehnungs-Verhalten des Probekörpers, den geringsten Wert aufweist. Das exemplarische Ergebnis eines Fitting-Prozesses ist in Abbildung 11 dargestellt.

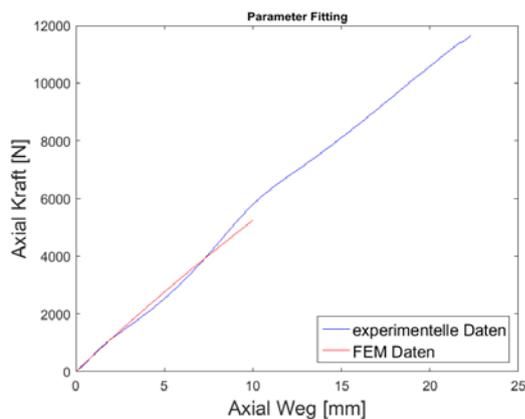


Abbildung 11. Exemplarisches Fitting-Ergebnis für den Parameter  $E_{11}$

### 3.3 VALIDIERUNG DER ERMITTELTEN MATERIALPARAMETER MIT HILFE EINES KOMPLEXEN PRÜFKÖRPERS

Bevor die angepassten Materialparameter für die Berechnung von Fördergurtverbindungen verwendet werden können, müssen diese vorab validiert werden. Dieser Schritt wird notwendig, durch die Tatsache, dass es sich bei den experimentellen Untersuchungen zur Materialparameterbestimmung lediglich um einachsige Belastungsfälle handelt. Das Zusammenspiel der einzelnen Materialparameter wird jedoch erst im mehrachsigen Spannungszustand sichtbar. Dies soll anhand eines kleinskaligen Prüfkörpers erfolgen, der sowohl den erforderlichen Belastungsfall abbilden kann und eine ähnliche Geometrie aufweist, wie die Fördergurtverbindungen selbst. Ein möglicher Prüfkörper ist in Abbildung 12 dargestellt. Diese Prüfgeometrie, bestehend aus einem Finger im Eingriff, erfüllt bereits die Anforderung an eine mehrachsige Belastung bei einem einfachen Zugversuch des Prüfkörpers.

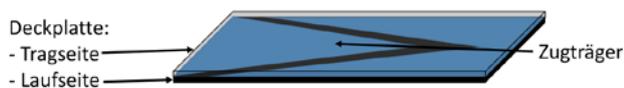


Abbildung 12. Prüfkörper zum Validieren des Parameter-Fitting Prozesses

## 4 BERECHNUNG VON TEXTIL-FÖRDERGURT-VERBINDUNGEN MITTELS FEM

Die Berechnung von Textil-Fördergurtverbindungen werden mit Hilfe von zwei verschiedenen FE-Modellen durchgeführt. Die Wahl des Modells richtet sich nach den unterschiedlichen Fertigungsverfahren der Verbindung. Für zwei- und mehrlagige Textil-Fördergurte kommt das Modell für Stufenverbindungen zum Einsatz und für ein- bis zweilagige Gurte das Modell für Fingerverbindungen. Der Belastungsfall einer Textil-Fördergurtverbindung ist jedoch bei den beiden unterschiedlichen Verbindungs-

layouts identisch. Die Belastung erfolgt stets in Gurtebene. Die Verbindung wird hierbei in Laufrichtung des Gurtes auf Zug belastet.

### 4.1 STUFENVERBINDUNG

Das FE-Modell einer Stufenverbindung kann für mehrere Lagen angepasst werden. Als geometrische Parameter können unter anderem die Zwischengummidicke, der Textillagenabstand oder die Stufenlänge untersucht werden. Der einfache Aufbau einer Stufenverbindung ermöglicht die Nutzung von Hexaeder-Elementen für das komplette Modell. Das Simulationsergebnis in Abbildung 13 zeigt den prinzipiellen Spannungsverlauf der Zugträger einer in Zugrichtung belasteten 3-lagigen Stufenverbindung.

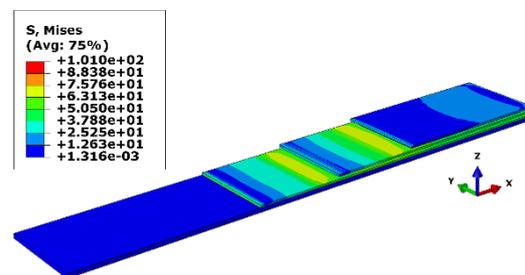


Abbildung 13. Simulationsergebnis einer 3-lagigen Stufenverbindung

In den folgenden Abbildungen sind die exemplarischen Ergebnisse einer dreistufigen Verbindung dargestellt. Ausschlaggebend für die Auslegung einer Verbindung sind die auftretenden Dehnungen im Zugträger (Abbildung 14) und Schubspannungen des Zwischengummis (Abbildung 15) im Überlappungsbereich. Sowohl im Dehnungsverlauf als auch im Schubspannungsverlauf ist die Charakteristik der Kraftübertragung zwischen den einzelnen Textillagen zu erkennen. Die Dehnung der übereinanderliegenden Lagen nimmt dabei gegenläufig ab, was wiederum gleichbedeutend mit dem Kraftübertrag von einem Gurtende zum Nächsten ist. Die Übertragung findet ausschließlich über das Zwischengummi statt. Dies zeigt wiederum die auftretende Schubspannung. Sie ist am Anfang und am Ende eines Überlappungsbereiches am höchsten und nimmt dann zur Mitte hin ab. In der Mitte ist die Kräfteverteilung gleichmäßig auf die einzelnen Textillagen verteilt.

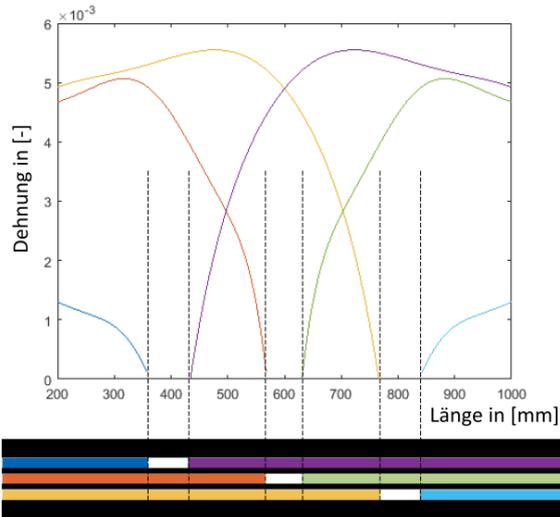


Abbildung 14. Dehnungsverlauf der Zugträger in Stufenverbindung

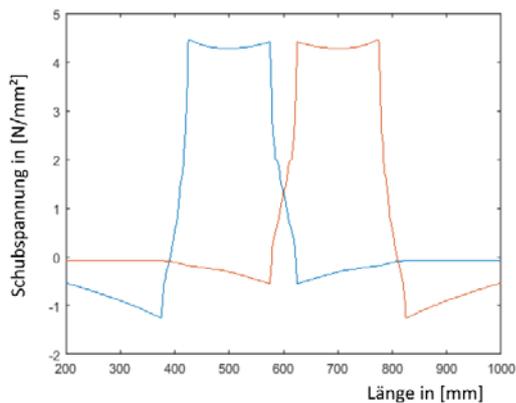


Abbildung 15. Schubspannung im Zwischengummi einer Stufenverbindung

Der Kraftübertrag in Laufrichtung lässt sich mathematisch über die Gleichung (1), mit  $\sigma = F/A$ , als

$$\frac{F_{11}}{A_{Zugträger}} = E_{11} \varepsilon_{11} \quad (8)$$

beschreiben. Da sowohl der Querschnitt  $A_{Zugträger}$  des Zugträgers als auch die Steifigkeit  $E_{11}$  konstant sind, ist ein Kraftabbau nur über eine Dehnungsabnahme zu realisieren. Umgekehrt ist ein Kraftaufbau mit einer Dehnungszunahme verbunden. Die Kraftübertragung einer Stufenverbindung funktioniert somit nach dem gleichen Prinzip wie die Kraftübertragung einer Stahlseil-Fördergurtverbindung, vgl. [18].

## 4.2 FINGERVERBINDUNGEN

Das FE-Modell für Fingerverbindung kann ebenfalls für unterschiedliche verschiedene geometrische Abmaße der Verbindung angepasst werden. Hierzu zählen, z. B. die Fingerlänge und -breite, oder Zwischengummistärke. Ein exemplarisches Simulationsergebnis einer Fingerver-

bindung ist in Abbildung 16 dargestellt. Gezeigt wird der Dehnungsverlauf innerhalb des Modells.

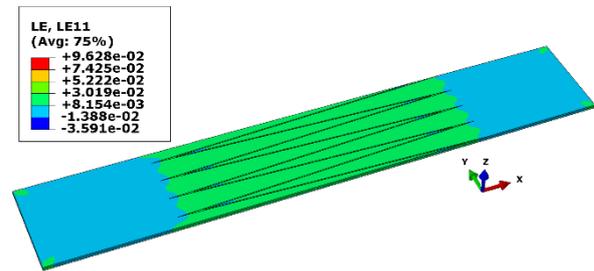


Abbildung 16. Simulationsergebnis einer Fingerverbindung

Er unterscheidet sich grundlegend vom charakteristischen Verlauf einer Stufenverbindung. Wohingegen bei einem gestuften Verbindungslayout eine Dehnungsabnahme am einen Ende und eine gegenläufige Zunahme der Dehnung am anderen Verbindungsende zu erkennen ist, ist der Dehnungsverlauf in den Fingern nahezu konstant. Er ist außerdem höher als im ungestörten Fördergurt, was mit dem geringeren Querschnitt der Zugträger in der Verbindung zu erklären ist, siehe Abbildung 17. Dieses Verhalten ist auch über Gleichung (8) zu erklären. Wohingegen der Zugträgerquerschnitt und der E-Modul bei einer Stufenverbindung konstant sind, ist es im Fall einer Fingerverbindung der E-Modul und die auftretende Dehnung innerhalb der Verbindung. Anders als bei der Stufenverbindung erfolgt der Kraftabbau, bzw. -aufbau, über die Querschnittsabnahme. Die konstante Dehnung der Finger führt dazu, dass auch die Schubspannung im Zwischengummi einen nahezu konstanten Verlauf aufweist.

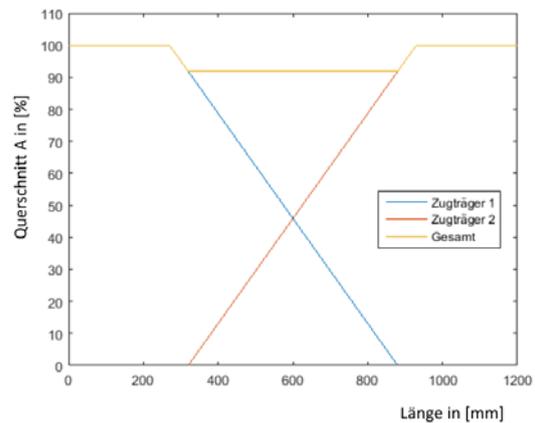


Abbildung 17. Prozentualer Anteil des Zugträgerquerschnitts A in einer Fingerverbindung

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Der Beitrag behandelt die notwendigen Schritte zur Erstellung eines FE-Modells für Textil-Fördergurtverbindungen und die Abfolge der notwendigen Schritte zur Ermittlung der einzelnen Komponenten, vgl. Abbildung 2. Hierfür werden zunächst an kleinskaligen Proben die benötigten Materialeigenschaften der einzelnen Komponenten (Deckplatten, Zwischengummi und Zugträger) eines Textil-Fördergurtes für die FE-Modelle einer Verbindung, auf Grundlage von numerischen Materialmodellen, experimentell ermittelt und anschließend über einen Fitting-Prozess an die FEM angepasst. Die Validierung der Materialparameter erfolgt mit Hilfe einer komplexen Prüfgeometrie, die einen mehrachsigen Spannungszustand unter Belastung abbilden kann. Die generierten Materialparameter werden dann, zusammen mit den Informationen über Gurtgeometrie und Verbindungslayout, genutzt, um FE-Modelle für verschiedene Textil-Fördergurtverbindungen zu erstellen. Ausgehend von den erzeugten Modellen können dann Analysen zum Schubspannungsverlauf im Zwischengummi oder zum Dehnungsverlauf im Zugträger durchgeführt werden. Eine zusätzliche Verknüpfung der FE-Modelle mit Python-Skripten ermöglicht eine automatisierte Anpassung und bietet die Grundlage für detaillierte Parameterstudien, die dann eine Verbindungsoptimierung ermöglichen.

### LITERATUR

- [1] Ziller, T.; Hartlieb, P.: *Fördergurte in der Praxis – Know How and Know Why*. NILOS GmbH & Co. KG, VGE Verlag GmbH, Deutschland, 2010. – ISBN 978-3-86797-105-8
- [2] DIN 22101: *Stetigförderer – Gurtförderer für Schüttgüter – Grundlagen für die Berechnung*, Normenausschuss Bergbau (FABERG) im DIN und Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Dezember 2011
- [3] DIN 22102-3: *Textil-Fördergurte für Schüttgüter – Teil 3: Nicht lösbare Fördergurtverbindungen*, Normenausschuss Bergbau (FABERG) im DIN und Normenausschuss Kautschuktechnik (FAKAU) im DIN, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Januar 2014
- [4] DIN 22110-3: *Prüfverfahren für Fördergurtverbindungen – Teil 3: Ermittlung der Zeitfestigkeit für Fördergurtverbindungen (Dynamisches Prüfverfahren)*, Normenausschuss Bergbau (FABERG) im DIN und Normenausschuss Kautschuktechnik (FAKAU) im DIN, Beuth Verlag GmbH, Berlin, April 2015
- [5] Overmeyer, L.; Froböse, T.; Radosavac, M.: *Trends and experiences of testing the fatigue strength of more than 1000 conveyor belt splices*, XX International Conference on “Material Handling, Constructions and Logistics”, Belgrade, Serbia 2012
- [6] Hötte, D.; Lotz, C.; Froböse, T.; Overmeyer, L.: *Trends in der frühzeitigen Schadensanalyse von Fördergurtverbindungen während der Umlaufprüfung*, 20. Fachtagung Schüttgutförder-technik 2015, Magdeburg
- [7] Froböse, T.; Heitzmann, P.; Overmeyer, L.; Wakatsuki, A.: *Entwicklung eines FE-Modells zur Optimierung von Stahlseil-Fördergurtverbindungen*, Logistics Journal 2014
- [8] Wriggers, P.: *Nichtlineare Finite-Element-Methoden*, Springer Verlag, 2001 – ISBN 978-3-540-67747-5
- [9] Rieg, F.; Hackenschmidt, R.: *Finite Elemente Analyse für Ingenieure*, Hanser Verlag, 2000 – ISBN 3-446-21315-5
- [10] Röhemeier; Sommer: *Kautschuk Technologie – Werkstoffe – Verarbeitung – Produkte*, Hanser Verlag, 2001
- [11] Görke; Günther; Schöpfel: *Auswahl von Materialgesetzen und Parameteridentifikation für nichtlinear-elastische Werkstoffe*, Wiley-VCH Verlagsgesellschaft GmbH & Co. KGaA, 1995
- [12] Strommel; Stojek; Korte: *FEM zur Berechnung von Kunststoff- und Elastomerbauteilen*, Hanser Verlag, München 2011
- [13] DIN ISO 1827: *Elastomere oder thermoplastische Elastomere – Bestimmung des Schubmoduls und der Haftung zu starren Platten – Quadrupel-Schermethode*, Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN und Normenausschuss Kautschuktechnik (FAKAU) im DIN, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Juli 2010
- [14] DIN 53513: *Prüfung von Elastomeren - Bestimmung der visko-elastischen Eigenschaften von Elastomeren – bei erzwungenen Schwingungen außerhalb der Resonanz*, Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN und Normenausschuss Kautschuktechnik (FAKAU) im DIN, Beuth Verlag GmbH, Berlin, März 1990

- [15] DIN EN ISO 9856: *Fördergurte – Bestimmung der elastischen und dauerhaften Dehnung und Berechnung des Elastizitätsmoduls*, Normenausschuss Bergbau (FABERG) im DIN und Normenausschuss Kautschuktechnik (FAKAU) im DIN, Beuth Verlag GmbH, Berlin,
- [16] ASTM D4255/D4255M-01: Standard Test Method for In-Plane Shear Properties of Polymer Matrix Composites Materials by the Rail Shear Method, ASTM International, 2007
- [17] Diehl, T.; Xu, Y.: Creating Viable FEA Material Representations for Elastomers using Non-Ideal Test Data, SIMULIA Customer Conference, 2010
- [18] Froböse, T.; Overmeyer, L.; Wakatsuki, A.: *Ermittlung der Materialparameter zur Optimierung von Stahlseil-Fördergurtverbindungen mit Hilfe der FEM*, Haus der Technik – Fachtagung Gurtförderer und ihr Elemente, 2013, Essen

**Dipl.-Ing. Patrick Heitzmann**, Research Assistant at the Institute of Transport and Automation Technology of Leibniz University Hannover.

Patrick Heitzmann was born 1984 in Nuremberg, Germany. Between 2004 and 2013, he studied mechanical engineering at Leibniz University Hannover.

Address: Leibniz University Hannover, Institute of Transport and Automation Technology, An der Universität 2, 30823 Garbsen, Germany  
Phone: +49 511 762-18173, Fax: +49 511 762-4007,  
E-Mail: patrick.heitzmann@ita.uni-hannover.de

**Dipl.-Ing. Tobias Froböse**, Research Assistant at the Institute of Transport and Automation Technology of Leibniz University Hannover.

Tobias Froböse was born 1979 in Hildesheim, Germany. Between 2000 and 2007, he studied mechanical engineering at Leibniz University Hannover.

Address: Leibniz University Hannover, Institute of Transport and Automation Technology, An der Universität 2, 30823 Garbsen, Germany  
Phone: +49 511 762-2513, Fax: +49 511 762-4007,  
E-Mail: tobias.froboese@ita.uni-hannover.de

---

**Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer**, Head of the Institute of Transport and Automation Technology of Leibniz University Hannover.

Ludger Overmeyer was born 1964 in Recke, Germany. Between 1984 and 1991, he studied electrical engineering at the University of Hannover. In 1996 he finished his doctorate in mechanical engineering at the University of Hannover. From 1997 to 2001 he worked as project manager, division manager and head of research and development at Mühlbauer AG in Roding. Since 2001 Ludger Overmeyer is Professor at the Institute of Transport and Automation Technology of Leibniz University Hannover

Address: Leibniz University Hannover, Institute of Transport and Automation Technology, An der Universität 2, 30823 Garbsen, Germany  
Phone: +49 511 762-3524, Fax: +49 511 762-4007,  
E-Mail: ludger.overmeyer@ita.uni-hannover.de

**Akiko Wakatsuki**, International Steel Cord Application Manager at Fenner Dunlop Americas

Address: Fenner Dunlop, 1000 Omega Drive, Suite 1400, Pittsburgh, PA 15205, USA  
Phone: +1 412 249-0700  
E-Mail: akiko.wakatsuki@fennerdunlop.com  
Website: www.fennerdunlopamericas.com