

Projektvorstellung – MeMo

Entwicklung eines fasersensorbasierten ganzheitlichen echtzeitfähigen Textil-Membran-Monitoring-Systems

Fördermittelgeber:

BMWK

Projektleiter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Chokri Cherif

Wiss. Projektbearbeiter:

Karl Kopelmann, Phuong Ngoc Ngo, Florian Schmidt, Tobias Lang, Anna Happel

Laufzeit:

12/2022 – 08/2025

Projektdaten

Förderprogramm:

DLR IGF

Gesamte Laufzeit :

01.12.2022 – 31.08.2025

Fördersumme: insgesamt:

253.179,45 €

Projektleitung:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Wirt. Ing. Chokri Cherif

Wissenschaftliche Bearbeitung:

Karl Kopelmann, Phuong Ngoc Ngo, Florian Schmidt,
Tobias Lang, Anna Happel

Studentische Hilfskräfte:

Anh Le Xuan

Gliederung

1. Ausgangssituation / Problemstellung / Motivation
2. Zielsetzung des Projektes
3. Lösungsweg / Arbeitsschritte
4. Ergebnisse
5. Weitere Vorgehensweise
6. Diskussionsbedarf

1. Ausgangssituation – Problemstellung – Motivation

Bedarf nach Methoden zur Auslegung und Produktion von adaptiven FKV

- Bedarf nach Structural Health Monitoring in vielen Anwendungen für textile Membranen
- oft inhomogene komplexe Belastungsszenarien, z.B. durch Witterungseinflüsse
- Standzeiten oft nicht erreichbar aufgrund mangelnder Überprüfungen



Quelle: Land und Forst

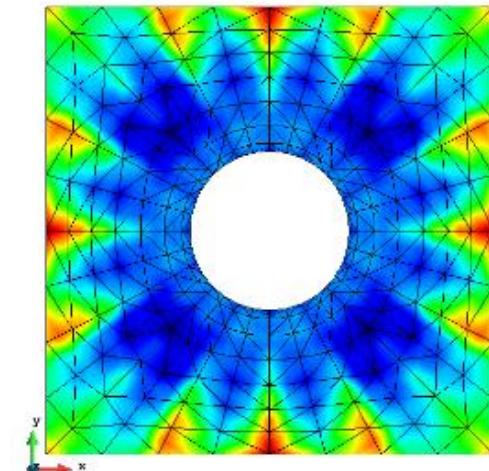
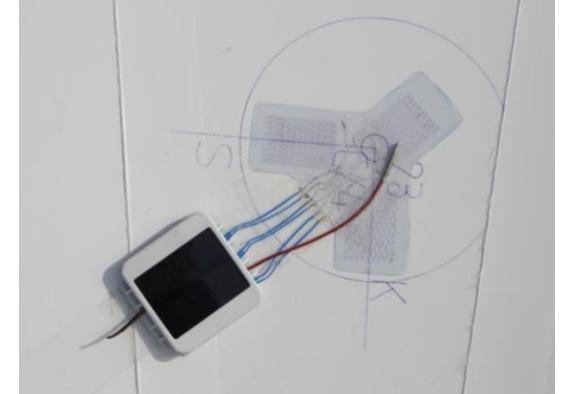
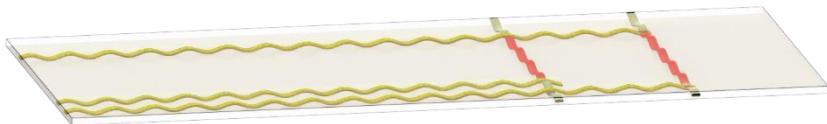


Quelle: Sächsische.de

2. Zielsetzung des Projekts

Konzept und Lösungsweg

- Umfassende Analyse mehrachsiger Belastungszustände
- Anpassung textiler resistiver Dehnungssensoren
- Implementieren neuronaler Netze:
 - Übertragung von diskreten Messwertänderungen zu lokalen Dehnungskennwerten
 - Echtzeitübertragung der lokalen Dehnungskennwerte auf vollflächige Spannungskennwerte
- **Ausgabe des vollflächigen Spannungszustandes der Membran in Echtzeit**
- Erarbeiten von Konzepten für universelle Anwendbarkeit der Methodik (Zerlegung in geometrische Substrukturen)
- Funktionsnachweis anhand eines Demonstrators



3. Lösungsweg / Arbeitsschritte

Übersicht Zeitplan

- Projektverlängerung um 9 Monate

Arbeitspakete		Q I	Q II		Q III		Q IV		Q V		Q VI	Q VII		Q VIII	
1	Präzisierung der Anforderungen		■	■											
2	FEM-Analysen			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
3	Entwicklung fadenförmiger Sensoren		■	■	■	■	■	■	■	■					
4	Entwicklung funktionalisierter Textilien				■	■	■	■	■	■					
5	Verbindungstechnik und Beschichtung						■	■	■	■					
6	Charakterisierung					■	■	■	■	■	■				
7	Entwicklung echtzeitfähiger Algorithmen						■	■	■	■	■	■			
8	Funktionsdemonstrator: Realisierung/Erprobung							■	■	■	■		■	■	
9	Wirtschaftlichkeitsanalyse/Verfahrensanweisung			■	■	■	■	■	■	■	■		■	■	
10	Berichtlegung											■			

4. Ergebnisse

Präzisierung der Anforderungen

Fadenförmige Sensoren:

- Messbereich Dehnung: 0 – 10 %
- Material: besilbertes Polyamid, Isaohm, pseudoelastische Formgedächtnislegierungen

Membran:

- Ein- oder zweilagiges Gewebe aus PES
- Beschichtung mit PVC
- Maximale Dickenabweichung durch Sensor von 0,2 mm

Sensorsystem:

- Ortauflösungsvermögen: 100 Spannungswerte / m²
- Echtzeitfähigkeit: Informationsgenerierung jede Sekunde
- Genauigkeit: max. 5 % Abweichung zu Ergebnissen der Simulation

4. Ergebnisse

Materialauswahl Sensor

Materialauswahl Sensor:

Bezeichnung / Abkürzung	Werkstoff	Bruchdehnung [%]	Elektrischer Widerstand [Ω/m]	Vorteil	Nachteil
Madeira® HC 40 / HC40	PA 6.6 + Ag	23	300	hohe Sensitivität, sehr gute textiltechnische Verarbeitung	Geringe elastische Dehnung, kein lineares Sensorverhalten
Shieldex® 117/17 2-Ply HC+B / Sh117	PA 6.6 + Ag	21	300	hohe Sensitivität, sehr gute textiltechnische Verarbeitung	Geringe elastische Dehnung, kein lineares Sensorverhalten
SilverTech+® 150 / ST150	PA 6.6 + Ag	35	300	hohe Sensitivität, geringe Hysterese, sehr gute textiltechnische Verarbeitung	Geringe elastische Dehnung, kein lineares Sensorverhalten
Shieldex® Wrapped Yarn - stretch / ShWY	Kern aus Roica 33/1 V550 SC / Elastan mit Umwindung aus PA 6.0 + Ag	-	3.500	Hohe Dehnung aufgrund des Elastan-Kerns	Sensorverhalten verändert sich bei zyklischen Belastungen, kein lineares Sensorverhalten
Isaohm® / Isa	NiCr20AlSi	19	360	geringe Temperaturabhängigkeit des Widerstands, lineares Sensorverhalten	Geringe elastische Dehnung
FGL Fa. Ingpuls GmbH / FGL	NiTi	12	10,7	Hohe Dehnung und Sensitivität, lineares Sensorverhalten	Temperaturabhängigkeit des Widerstands

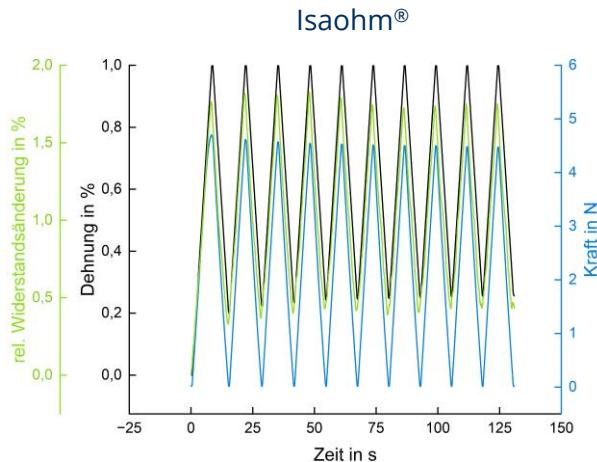
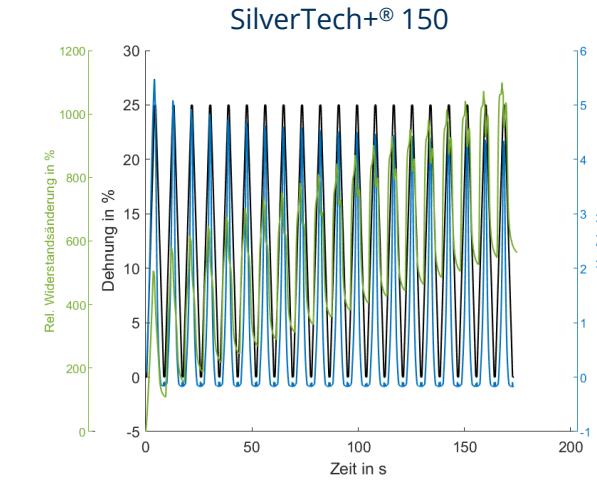
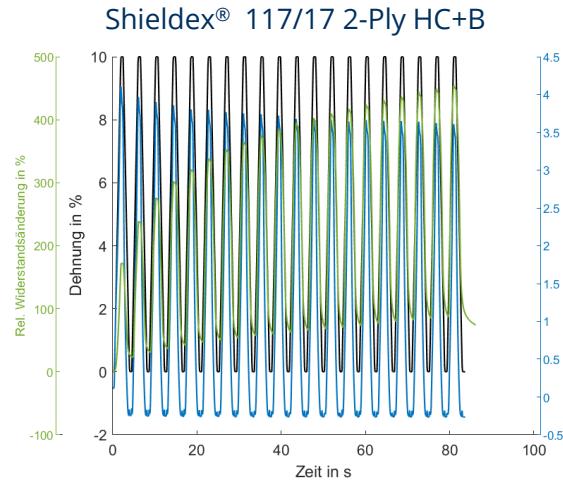
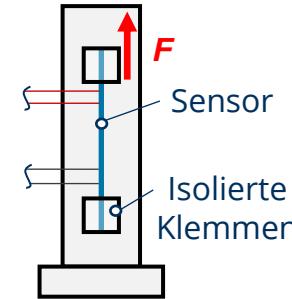
4. Ergebnisse

Elektromechanische Charakterisierung

Versuchsaufbau:



Vier-Leiter-Messung



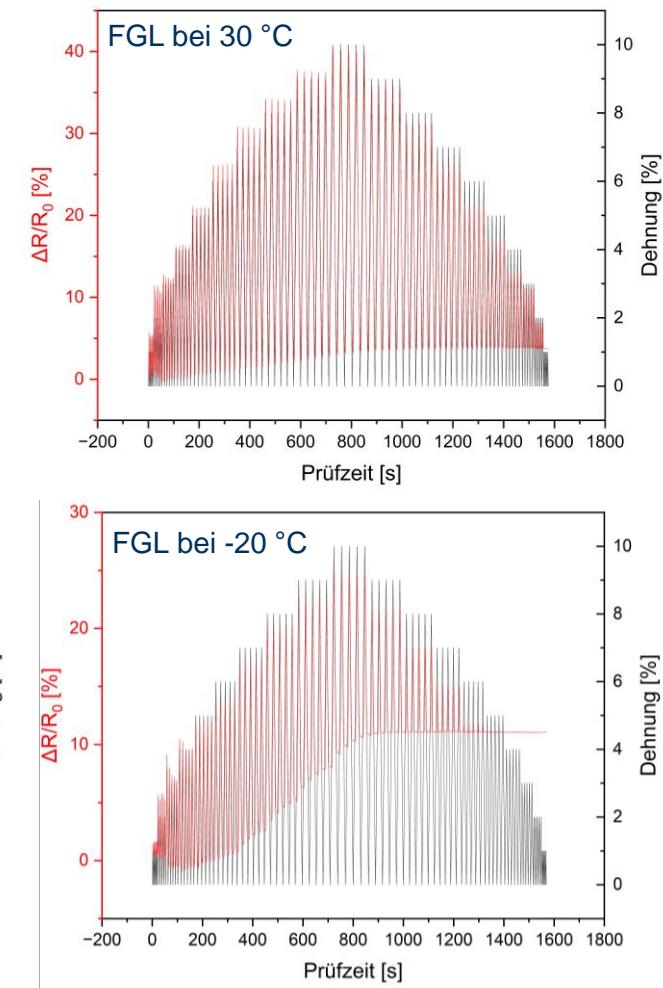
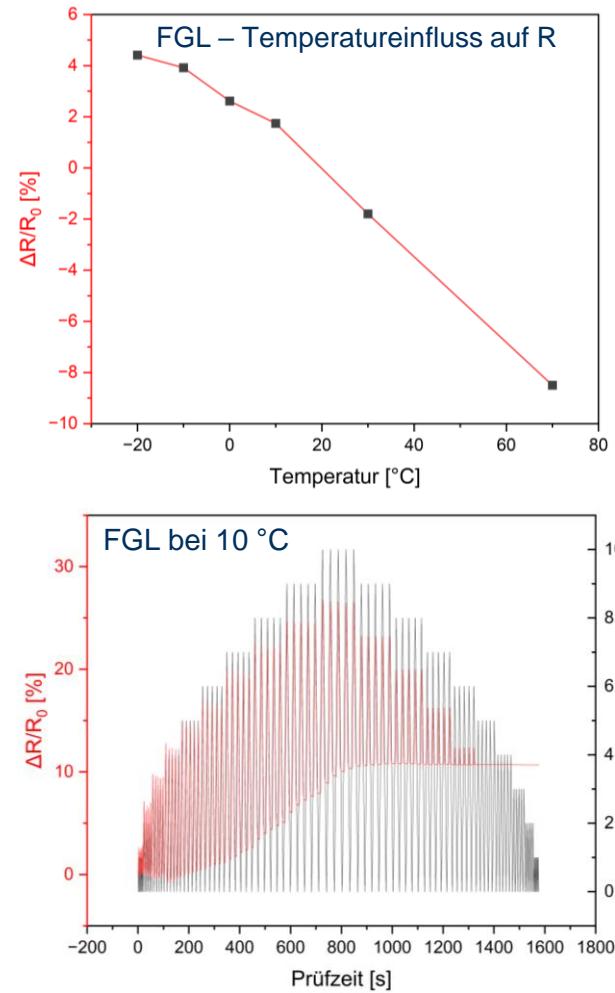
- besilberte Polyamid-Garne weisen untereinander ähnliche Sensoreigenschaften auf
- Isaohm® kein Baseline-Drift, elastische Dehnung bis 1 %
→ textiltechnische Einbringung einer Strukturdehnung zur Erhöhung des Messbereichs

4. Ergebnisse

Elektromechanische Charakterisierung



Zyklische Zugprüfung mit Widerstandsmessung und Temperierkammer

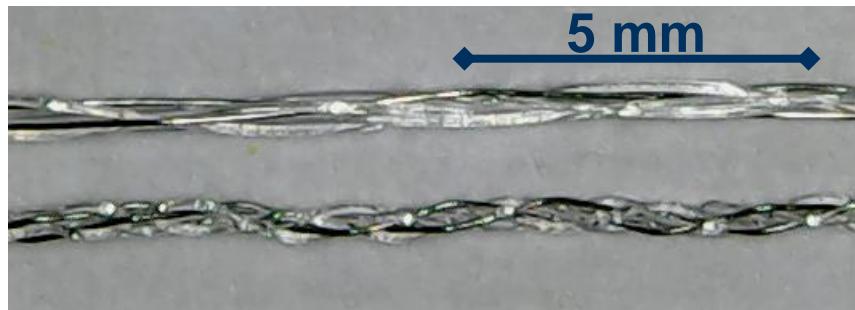


4. Ergebnisse

Entwicklung fadenförmiger Sensoren

Flechtkonstruktion:

- Sensorgarne: SilverTech+® 150 und Isaohm®
- Geflecht mit 6 (orange) und 12 Klöppeln (rosa), hiervon 2 Klöppel mit Sensormaterial, gegenläufig

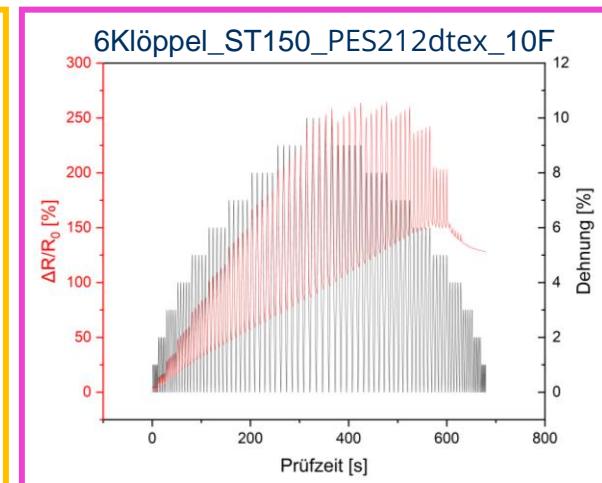
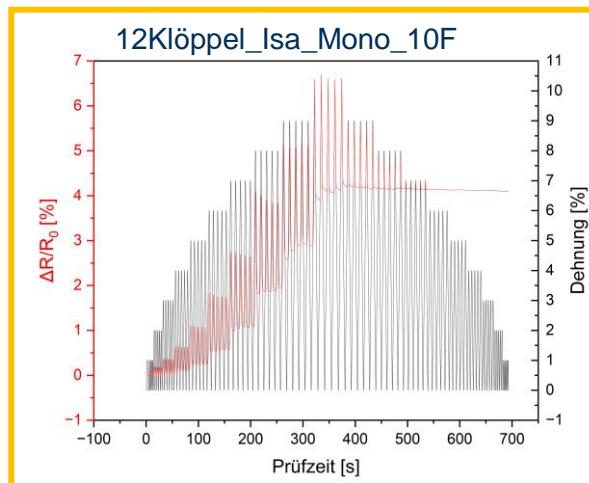
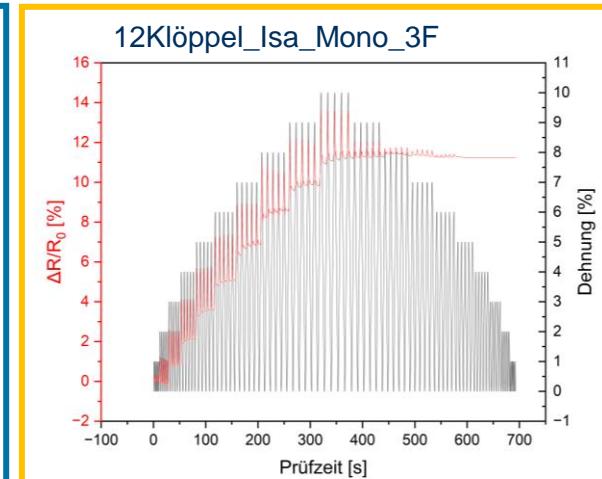
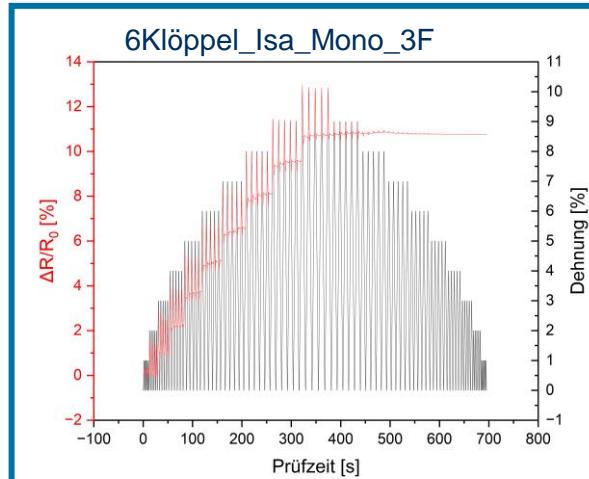


Flechtkonstruktionen aus Isaohm® und PES Monofilament, die obere Variante mit einer Flechtdichte (F) von 3 cm^{-1} und die untere Variante mit 10 cm^{-1}

Bezeichnung	Sensormaterial	Nicht elektrisch leitfähiges Material	Flechtdichte cm^{-1}	Bearbeitungsstatus
Isa + Mono 3F	Isaohm®	PES Monofilament	3	Geprüft
Isa + Mono 6F	Isaohm®	PES Monofilament	6	Geprüft
Isa + Mono 10F	Isaohm®	PES Monofilament	10	Geprüft
Isa + PES212dtex 3F	Isaohm®	PES Multifilament 212dtex	3	Geprüft
Isa + PES212dtex 6F	Isaohm®	PES Multifilament 212dtex	6	Geprüft
Isa + PES212dtex 10F	Isaohm®	PES Multifilament 212dtex	10	Geprüft
ST150 + PES212dtex 6F	Silver-tech+® 150	PES Multifilament 212dtex	6	Geprüft
ST150 + PES212dtex 10F	Silver-tech+® 150	PES Multifilament 212dtex	10	Geprüft
ST150 + PES212dtex 20F	Silver-tech+® 150	PES Multifilament 212dtex	20	Geprüft

4. Ergebnisse

Elektromechanische Charakterisierung geflochtener Sensoren

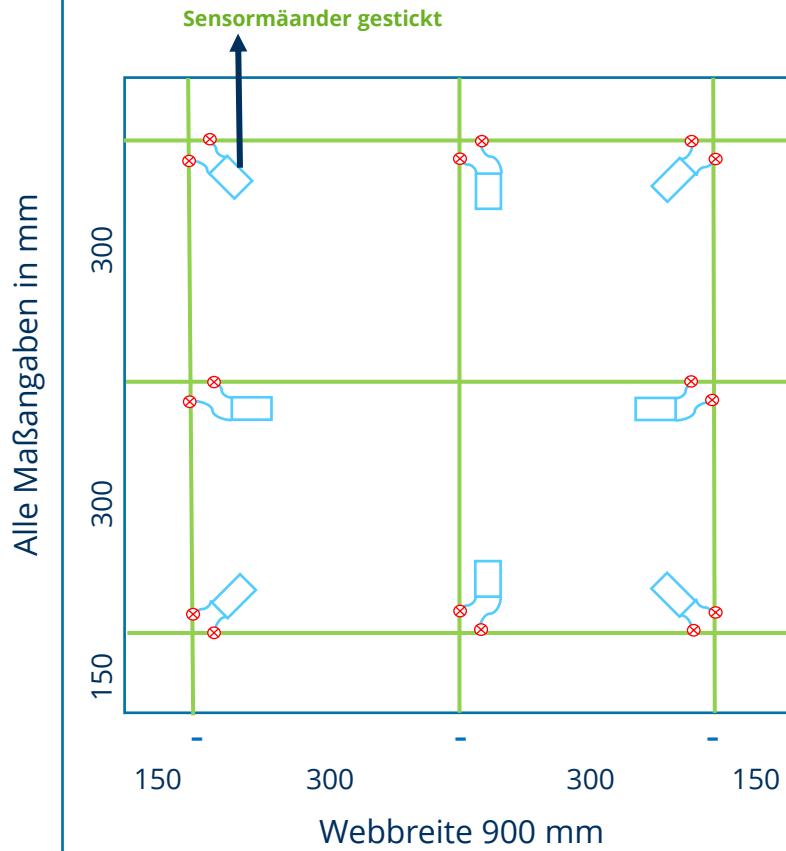


- Elektromechanische Charakterisierungen zeigen, dass keine Rückstellung der Geflechtstruktur vorliegt
- Geflechte nicht weiterverfolgt
- Vorzugslösung: Isaohm®

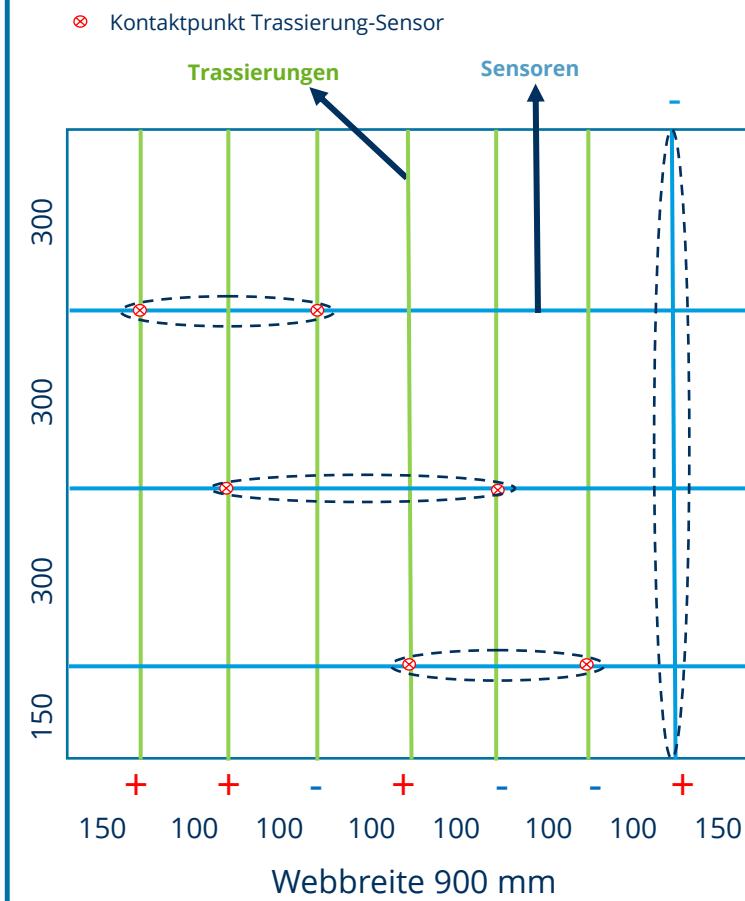
4. Ergebnisse

Layout- und Bindungsentwicklung

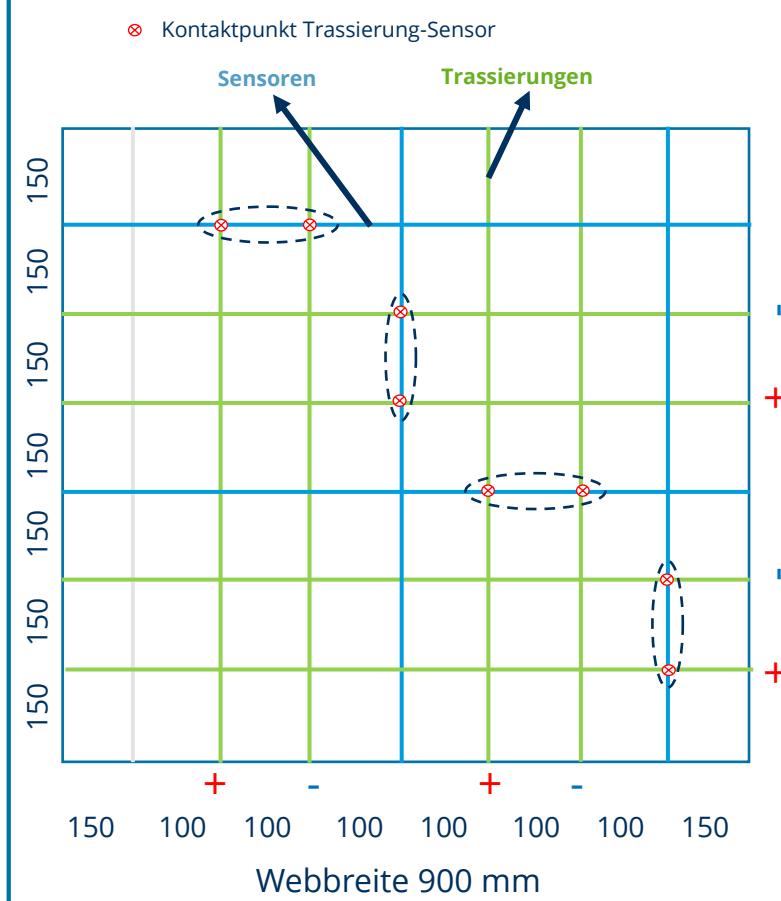
Stickkonzept:



Webkonzept 1:

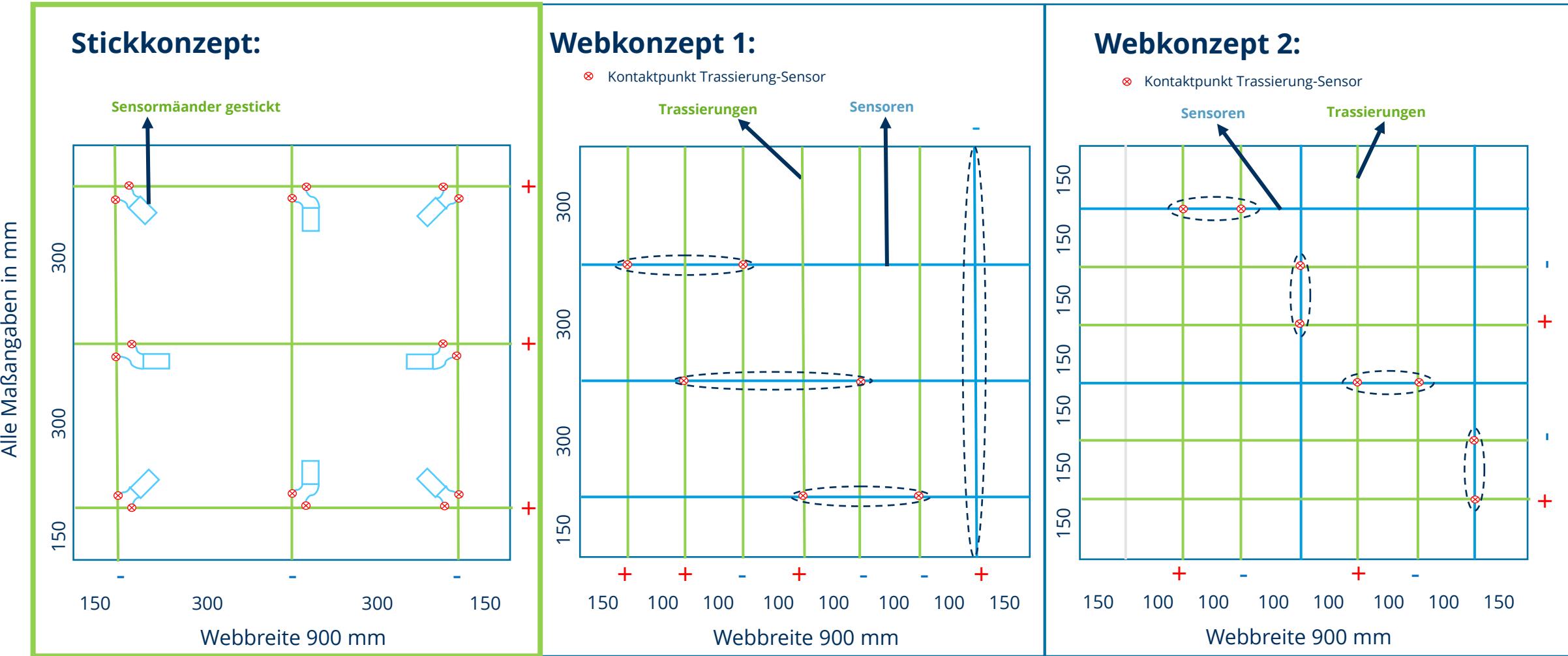


Webkonzept 2:



4. Ergebnisse

Layout- und Bindungsentwicklung

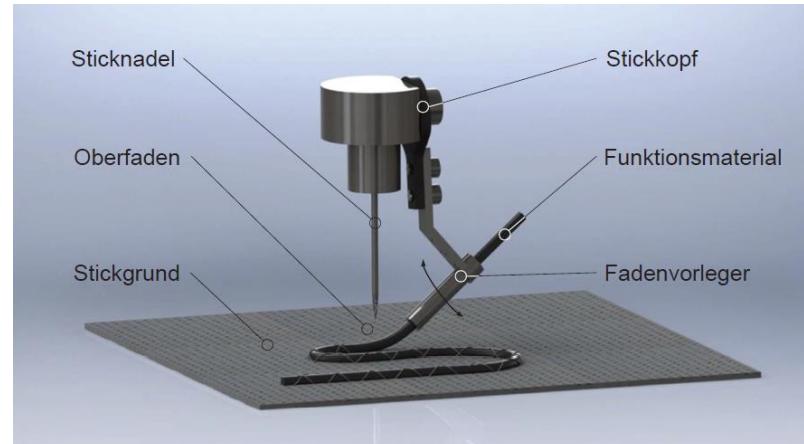


4. Ergebnisse

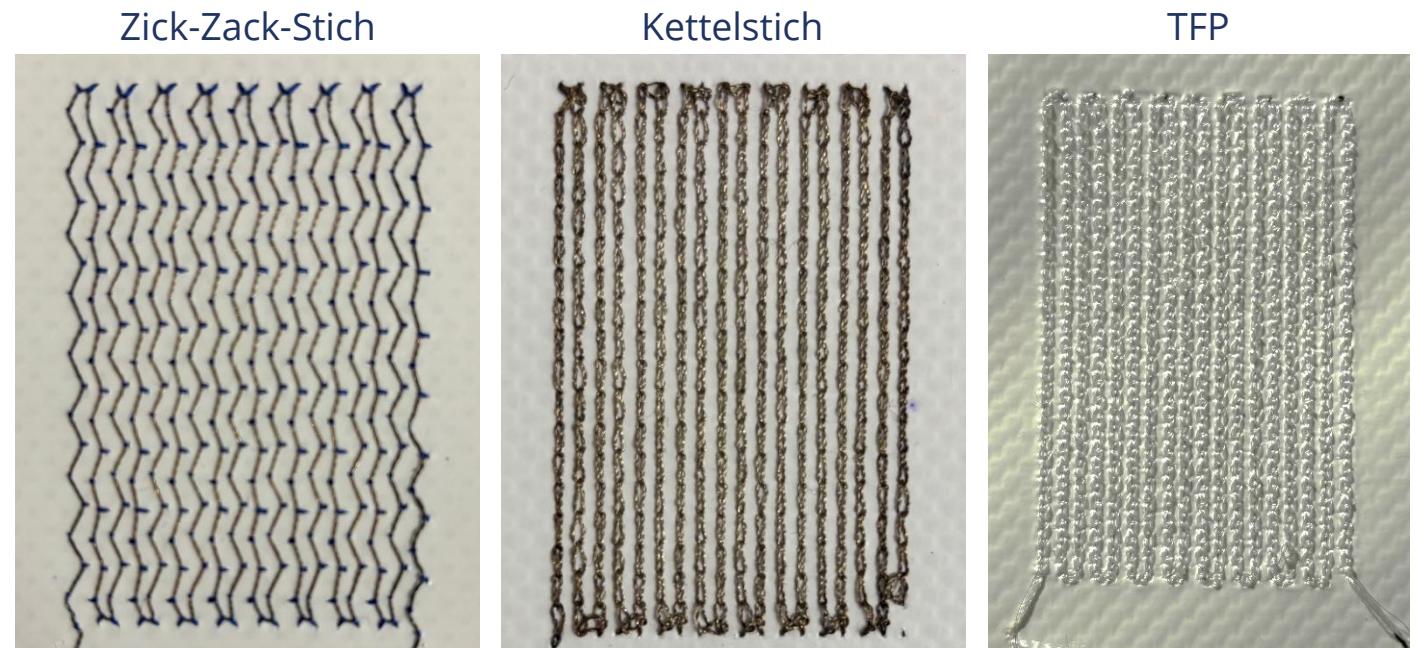
Layout- und Bindungsentwicklung

Gestickte Sensormäander auf Membran:

- Membran: Tentorium 900 H5573-ECO der Fa. Heytex Bramsche GmbH
 - Kettelstich
 - Zick-Zack-Stich
 - TFP-Stickverfahren

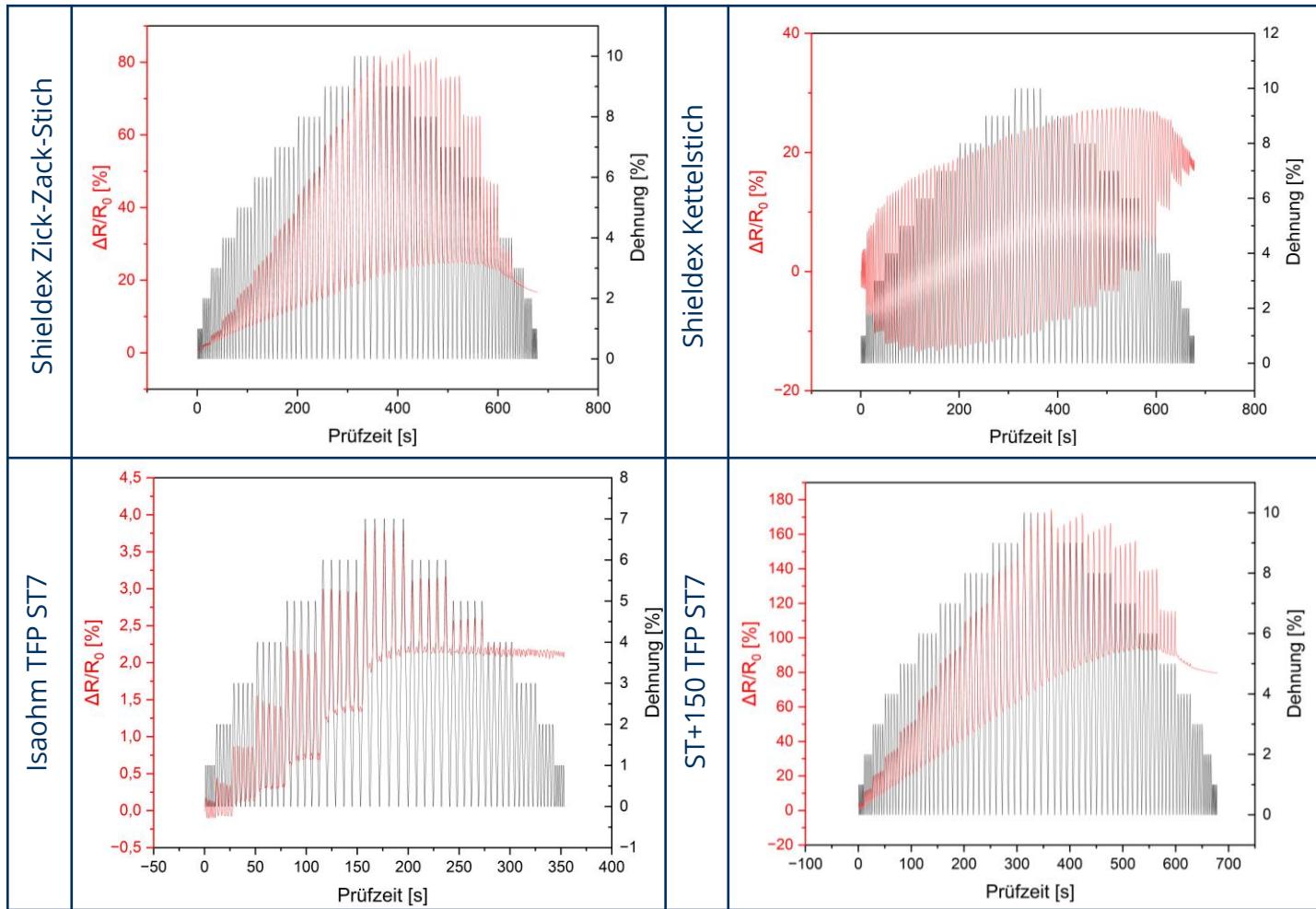


Grundprinzip TFP



4. Ergebnisse

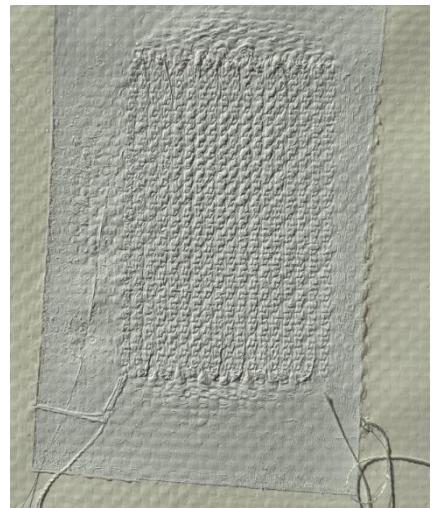
Layout- und Bindungsentwicklung



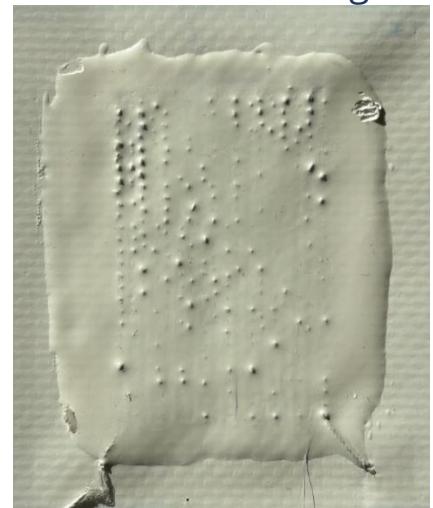
Elektrische Isolierung:

- Verschiedene Transferfolien
- PVC-Beschichtung

Transferfolie

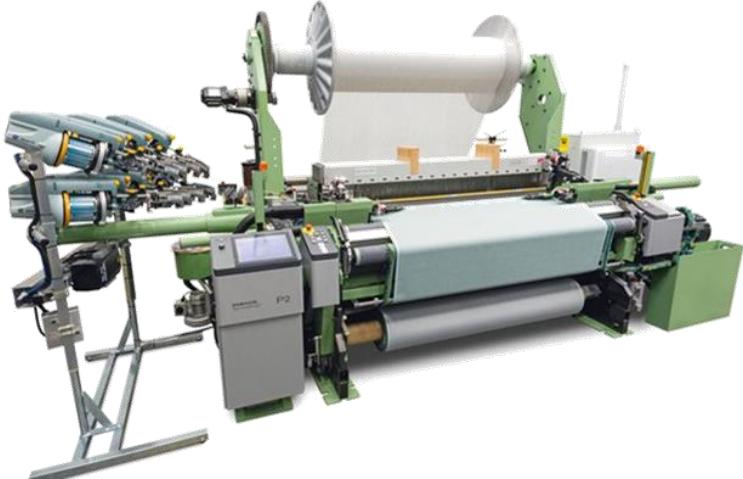


PVC-Beschichtung



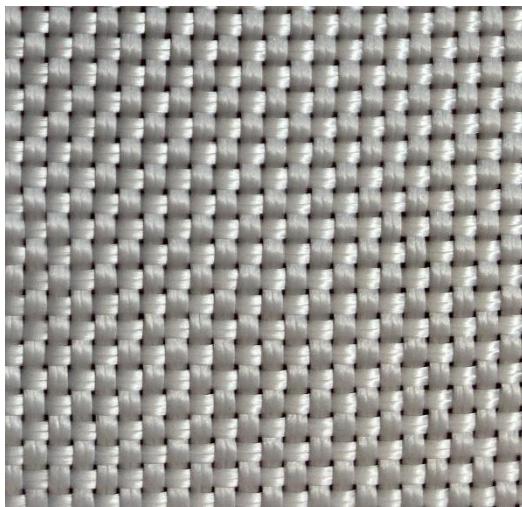
4. Ergebnisse

Webprozess



Dornier P1 Greiferwebmaschine:

Schaftbelegung:
Schäfte 1-8: Grundkette PES
Schäfte 9-10: Fangleiste
Schäfte 11-14: Sensorik



Gewebeparameter:

Gewebebreite: 900 mm
Material: PES 1100 dtex
Bindung: Panama
Kettdichte: 12 Fd / cm
Schussdichte: 12 Fd / cm



Ziele:

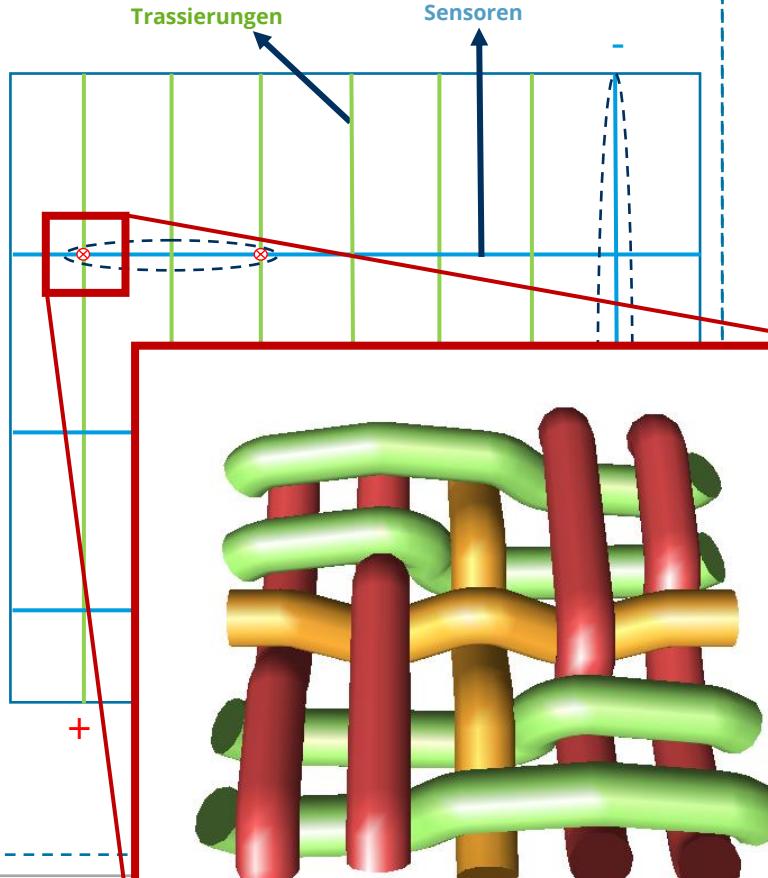
- Präzise Einbindung der Sensorfäden / Trassierung
- Reproduzierbarkeit
- Leitende und nicht leitende Kreuzungspunkte

4. Ergebnisse

Webprozess

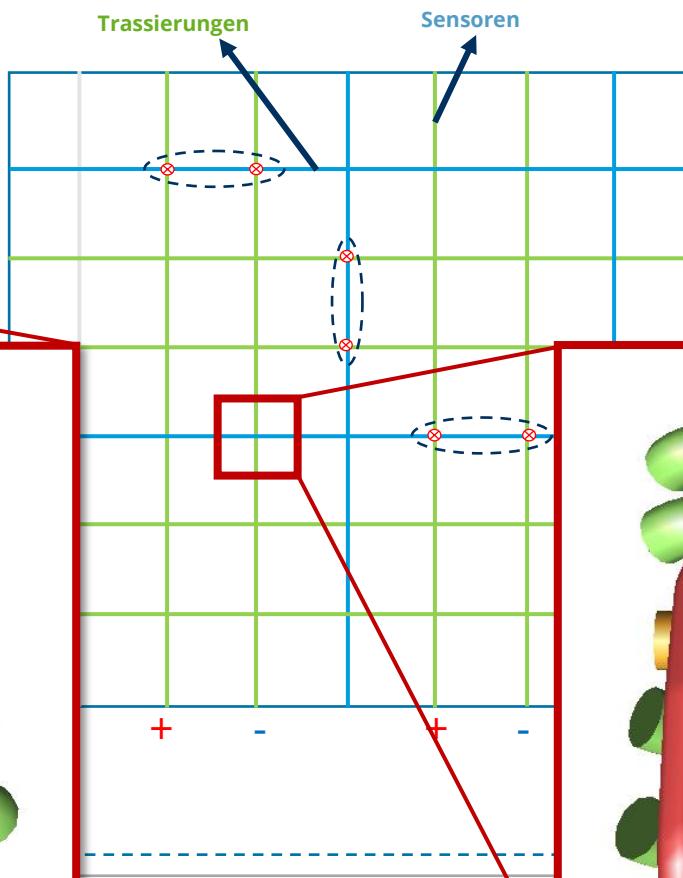
Webkonzept 1:

- ⊗ Kontaktpunkt Trassierung-Sensor



Webkonzept 2:

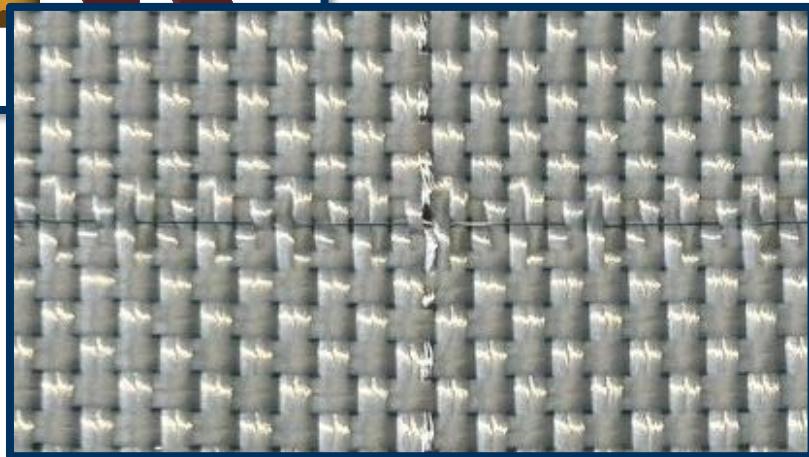
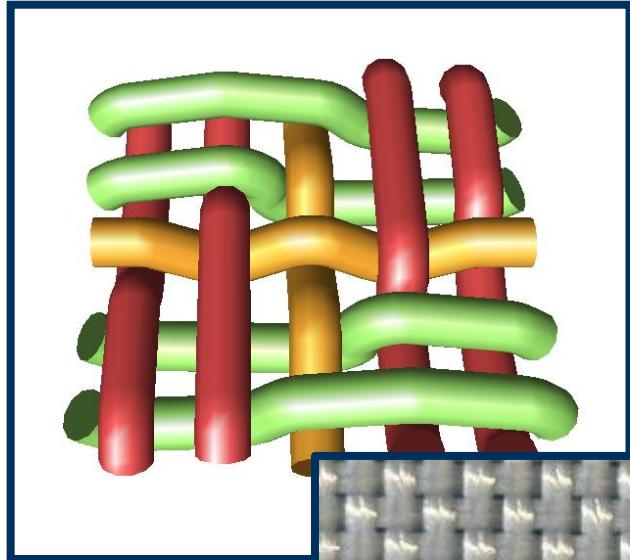
- ⊗ Kontaktpunkt Trassierung-Sensor



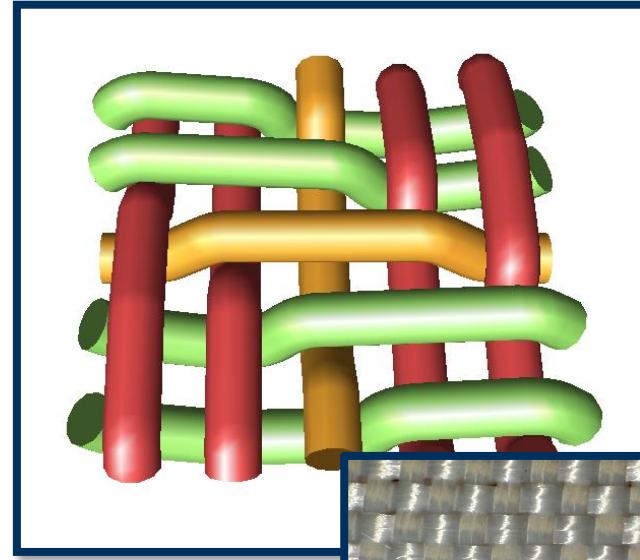
4. Ergebnisse

Webprozess – Kontaktierung

Kontakt zwischen Sensor und Trassierung:



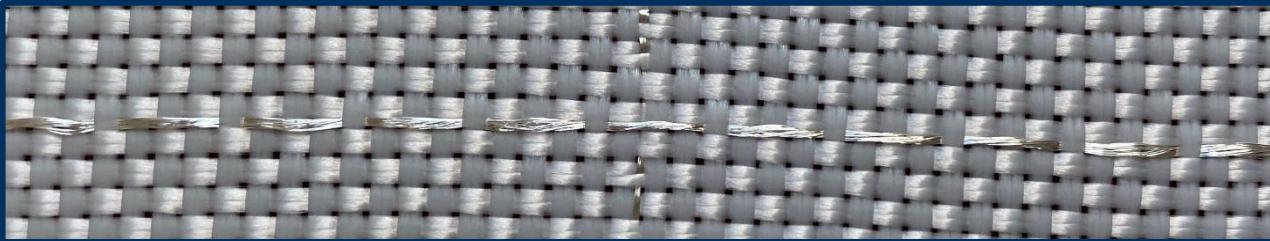
Kein Kontakt zwischen Sensor und Trassierung:



4. Ergebnisse

Webprozess

Einbindung der Sensorfadens / der Trassierung in Schussrichtung:



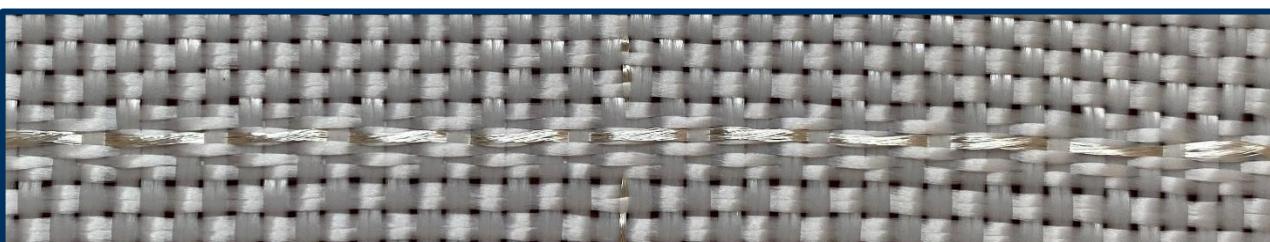
Variante 1

Panamabindung
Bewertung: 0



Variante 2

Leinwandbindung
Bewertung: +



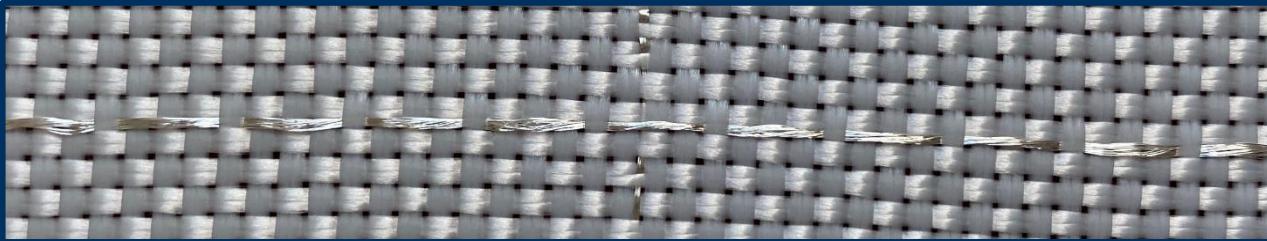
Variante 3

Längsripsbindung
Bewertung: -

4. Ergebnisse

Webprozess

Einbindung der Sensorfadens / der Trassierung in Schussrichtung:



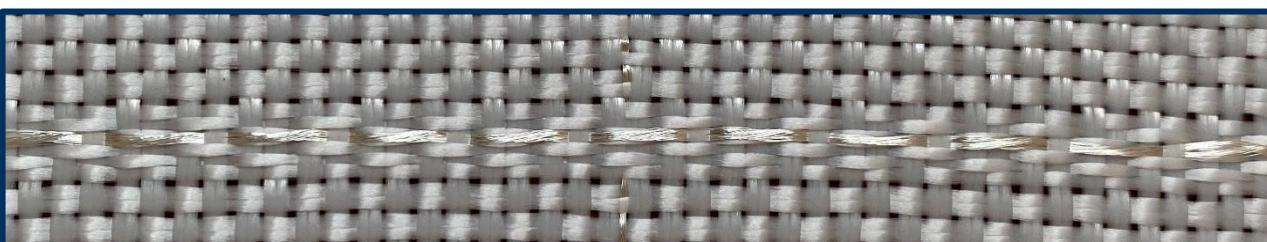
Variante 1

Panamabindung
Bewertung: 0



Variante 2

Leinwandbindung
Bewertung: +

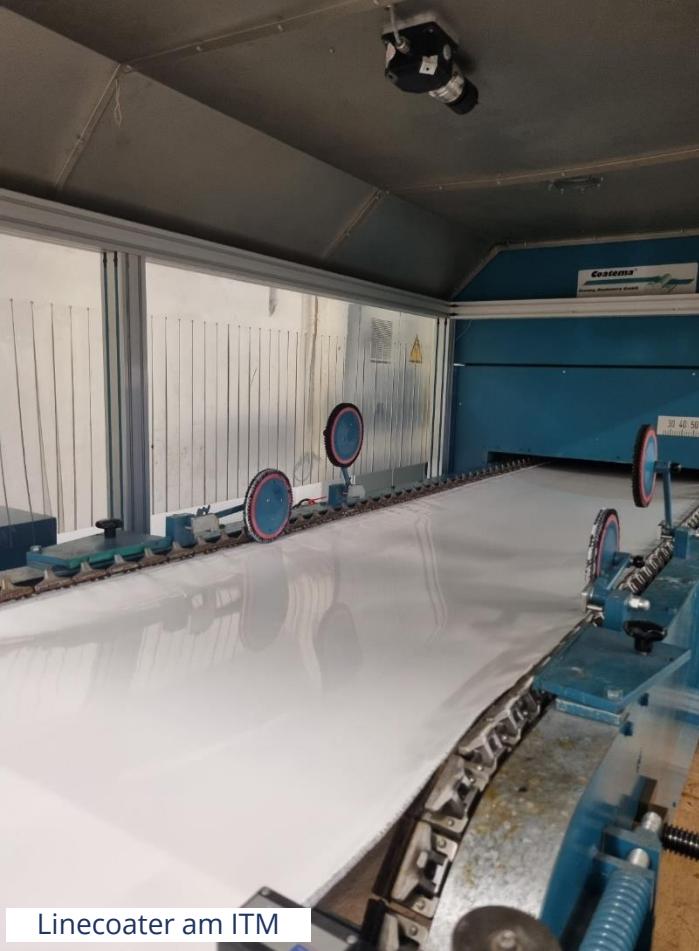


Variante 3

Längsripsbindung
Bewertung: -

4. Ergebnisse

Beschichtung

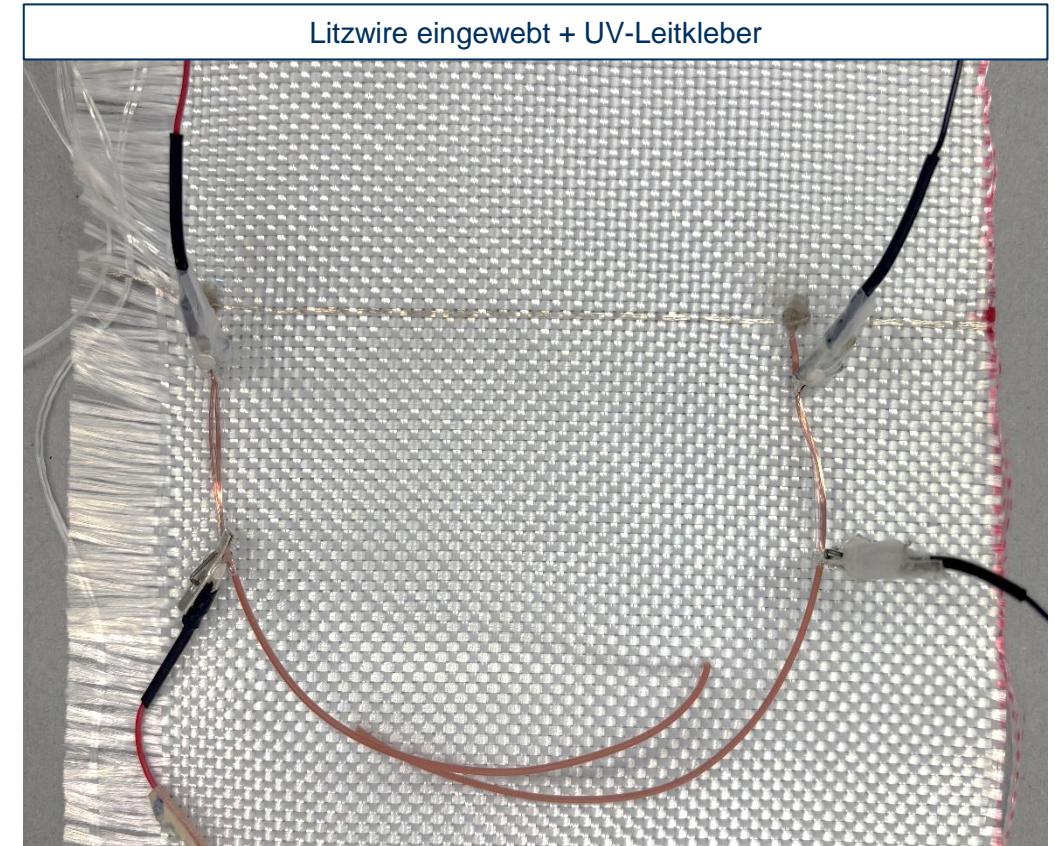


4. Ergebnisse

Kontaktierung

Kontaktierungslösungen:

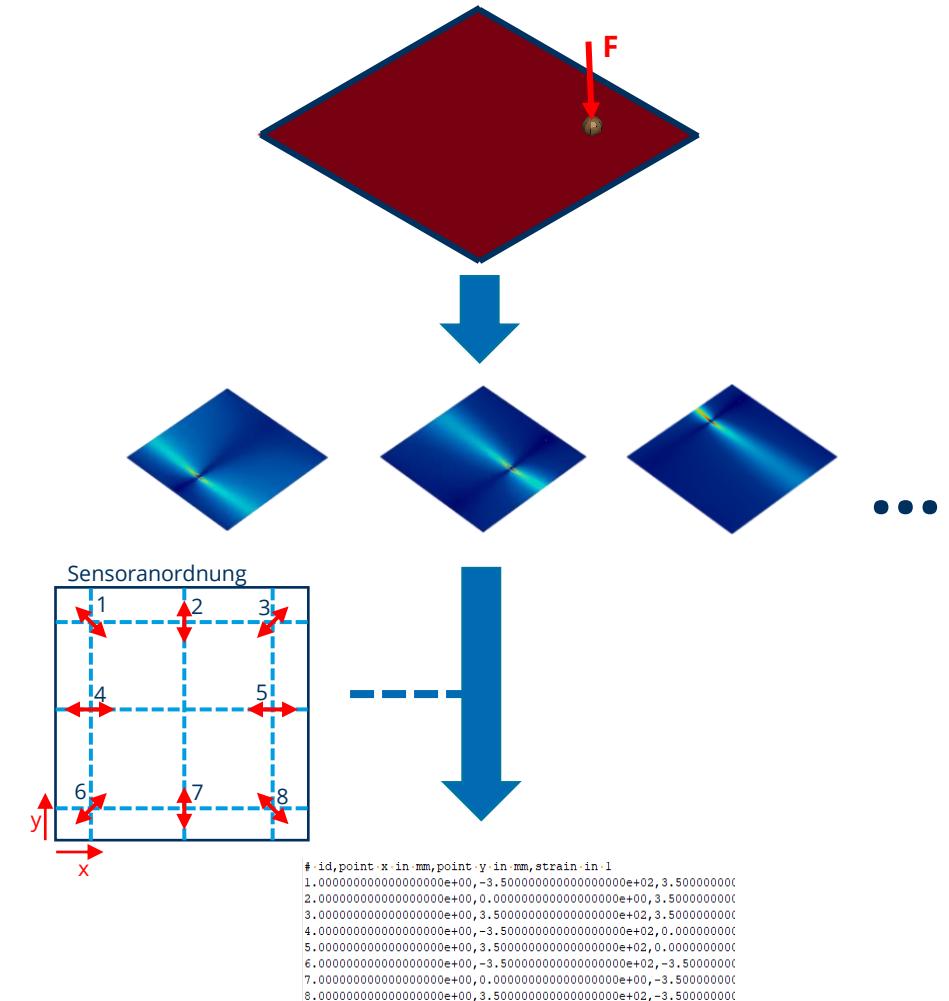
- Weichlöten → keine stoffschlüssige Verbindung für Isaohm®
- Leitkleber mit Rußfüllung → starke Widerstandsschwankungen über die Prüfzeit
- 2K-Epoxid-Silberleitkleber mit Aderendhülse → geringe Widerstandsschwankungen über Prüfdauer



4. Ergebnisse

FEM-Basierte Analyse von Membranstrukturen

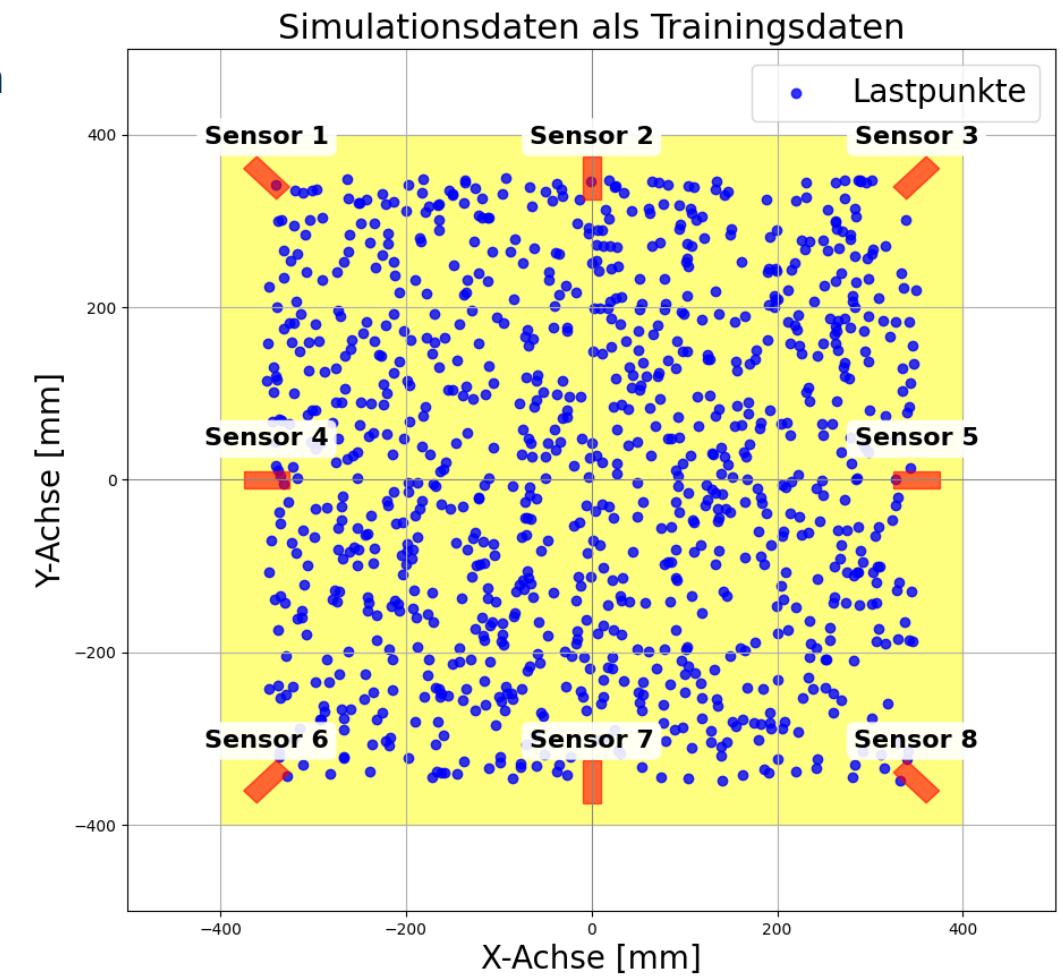
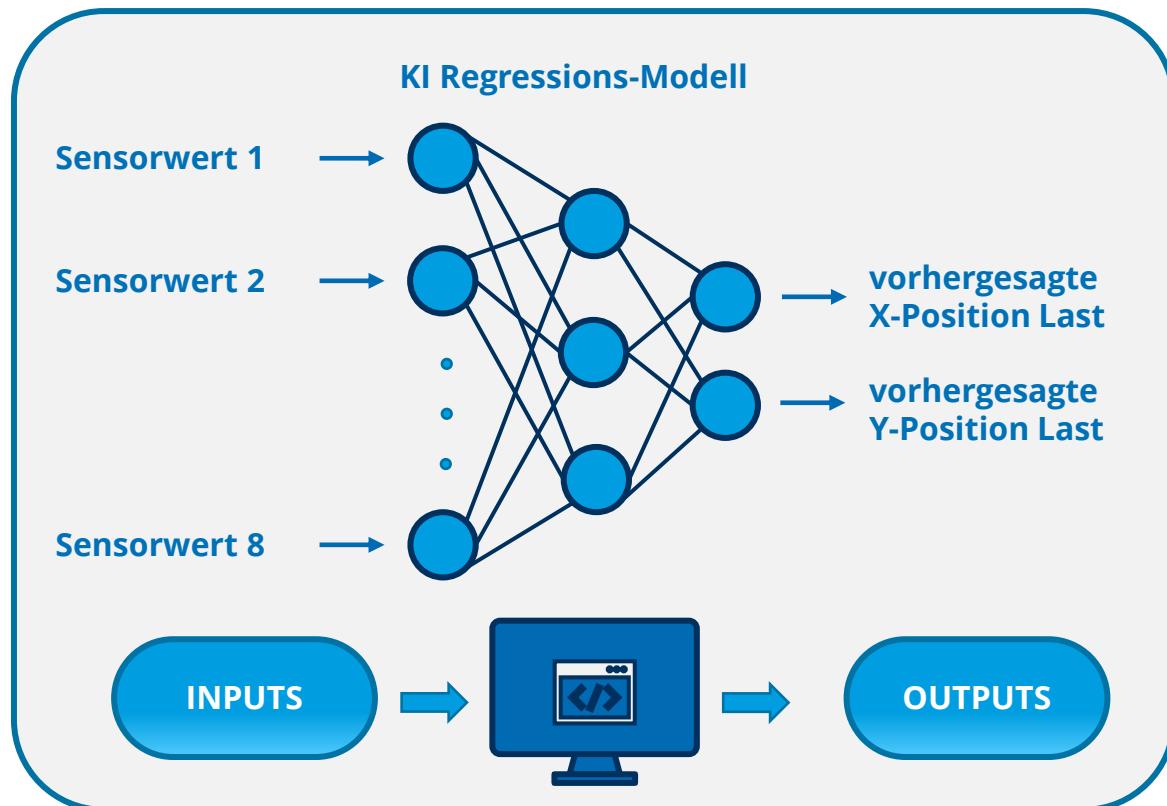
- Simulation von Spannungs- & Dehnungszuständen sensorintegrierter Membranstrukturen
→ Ziel: Generierung von Trainingsdaten für KI Modell
- Kalibrierung des Materialmodells auf Grundlage von Herstellerdaten und Materialdatenbank
→ Validierung anhand Zug- und Biaxialzugversuche der hergestellten Membrane steht noch aus
- Setup für Trainingsdatenerzeugung:
 - Abmessungen Membran: 800 x 800 mm²
 - Fixierung an Rändern
 - Senkrechte Belastung (50 N) mit Kugel (\varnothing 15 mm)
- Durchführung von **1000 Simulationen** mit Gleichverteilung der Kugelposition auf Membran
- Auswertung der Dehnung an festgelegten Sensorpunkten in Sensorrichtung



4. Ergebnisse

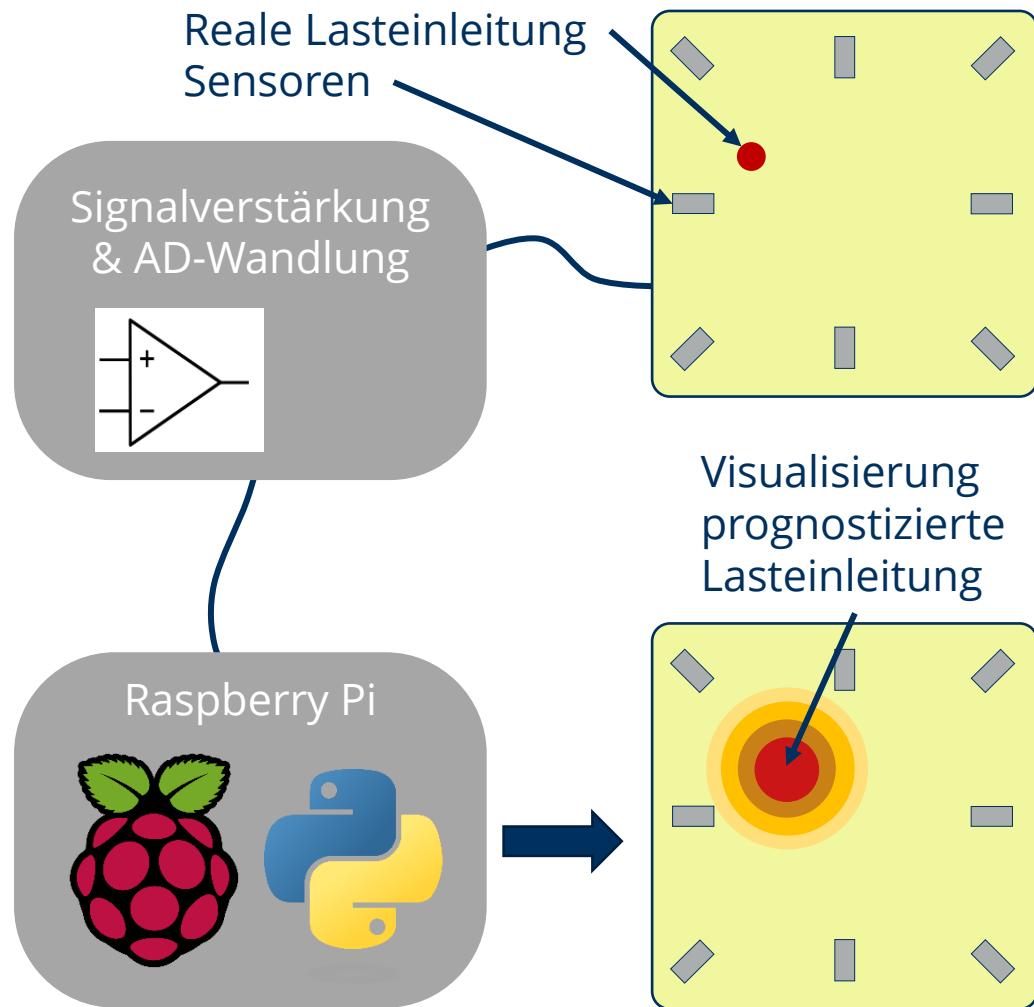
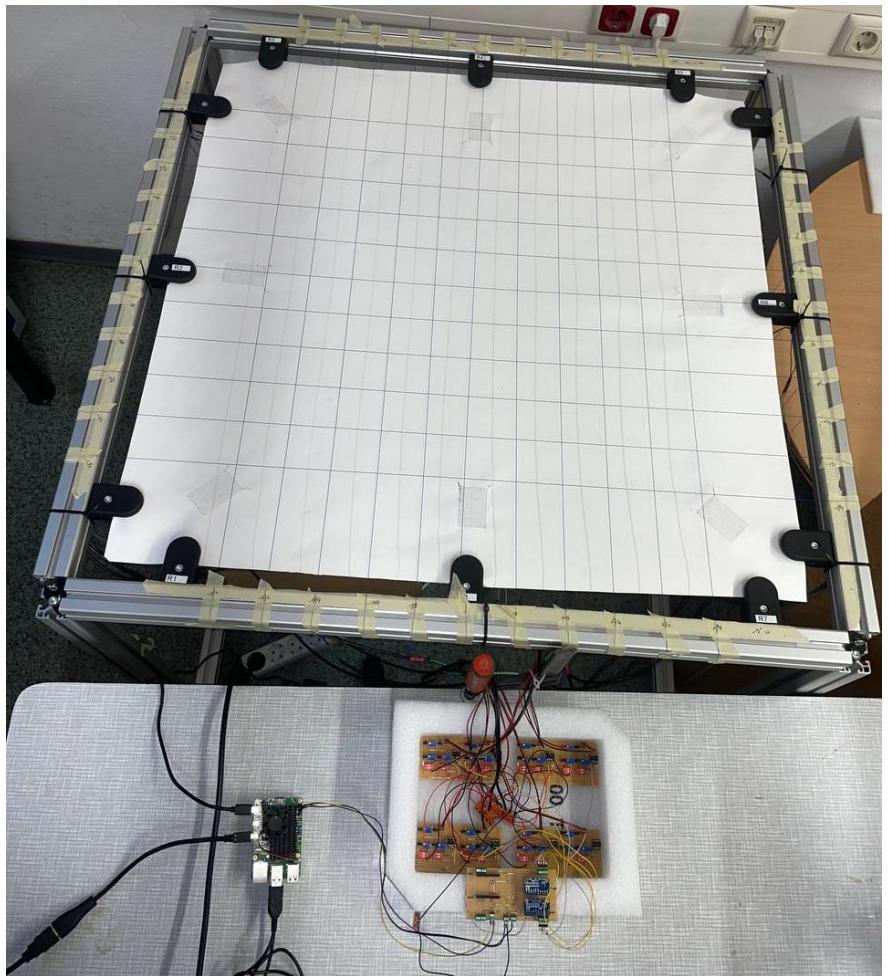
Entwicklung echtzeitfähiger Algorithmen

- Ermittlung von Lasteinleitungspunkten über gesamter Membranfläche durch Input diskreter Anzahl an Sensorwerten
- Umsetzung über Regressives KI Modell



4. Ergebnisse

Funktionsdemonstrator



4. Ergebnisse

Stand Funktionsdemonstrator

- **Trainingsdatenerfassung:**

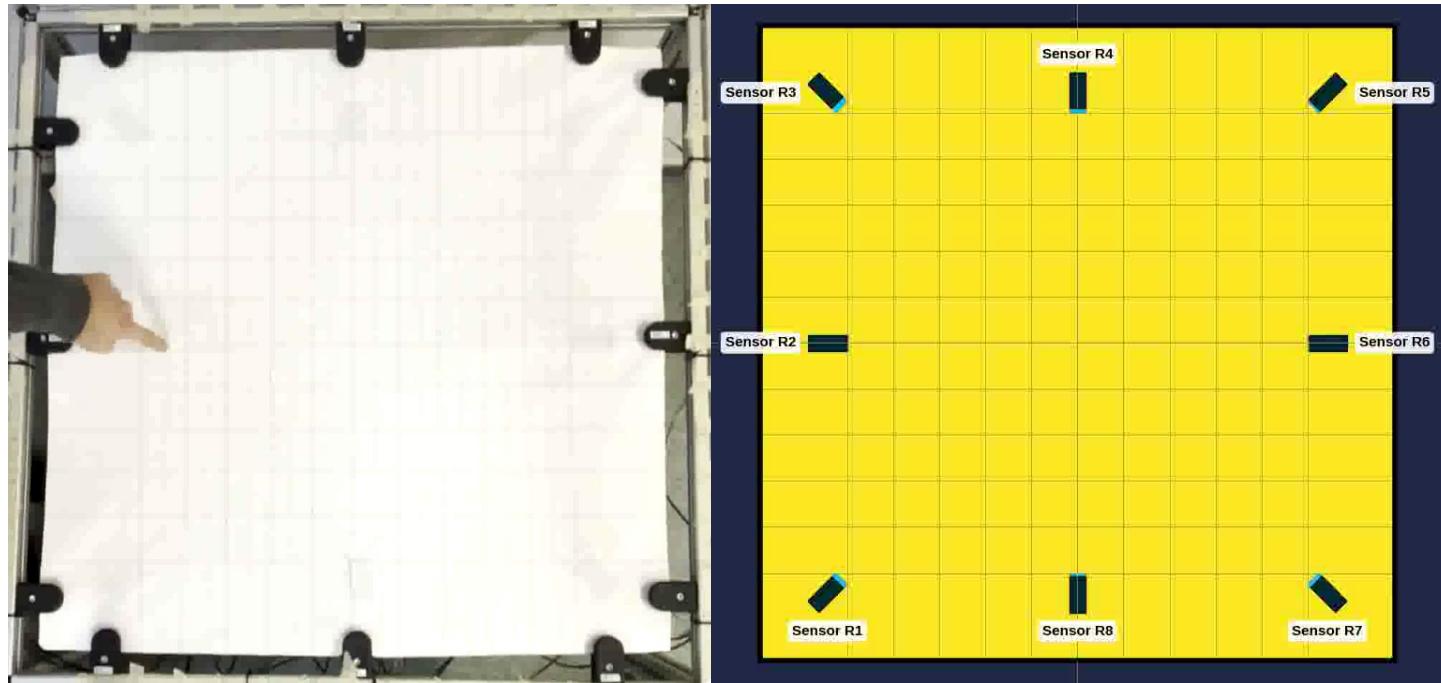
Aufnahme aller 8 Sensorwerte für jedes definierte Lastszenario zur Erstellung eines umfassenden Datensatzes

- **Messraster:**

11x11-Gittereinteilung der Membran zur präzisen Definition der Lastpositionen

- **Modellgenauigkeit:**

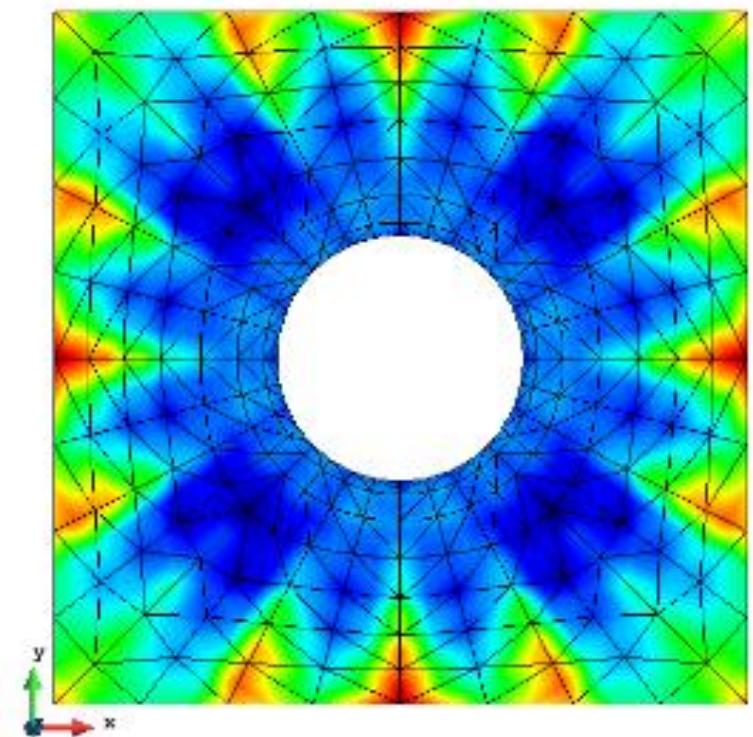
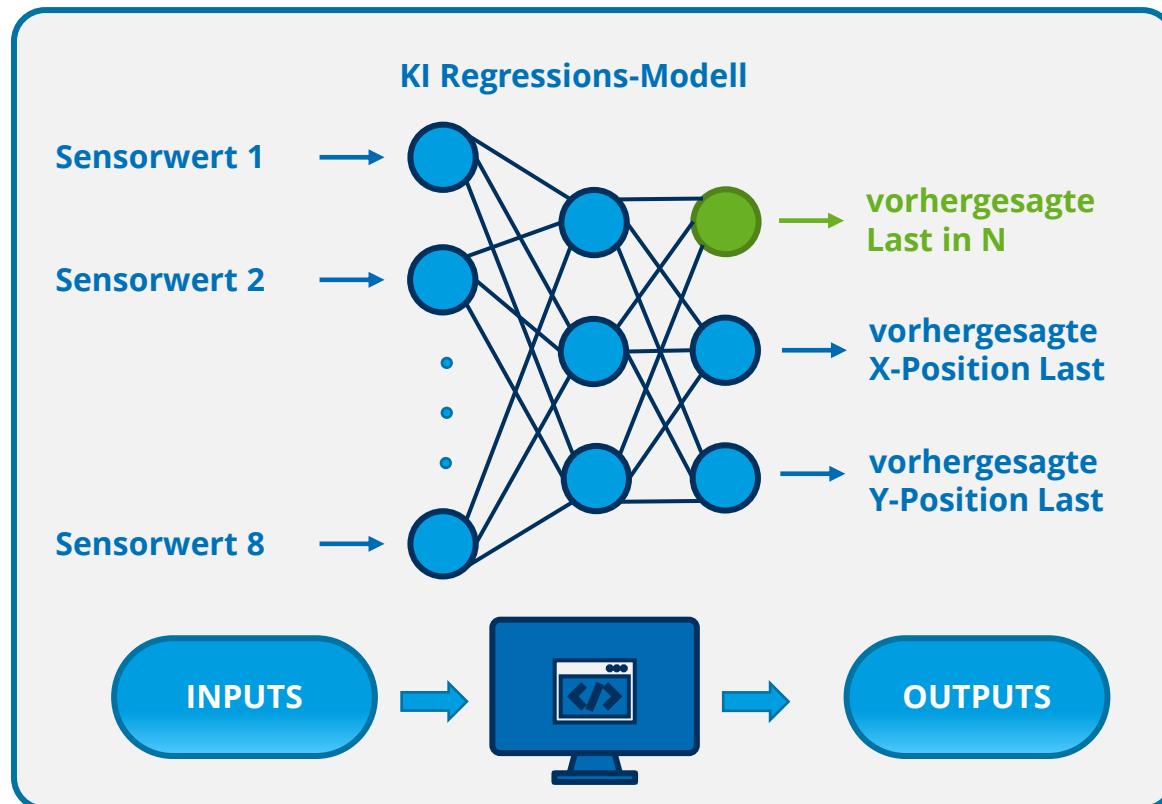
mittlere absolute Vorhersageabweichung:
 $\Delta x = \pm 11.58 \text{ mm}$, $\Delta y = \pm 17.02 \text{ mm}$



4. Ergebnisse

Entwicklung echtzeitfähiger Algorithmen - Ausblick

- Implementierung Lasterkennung (nicht Position)
- Rückschluss auf vollflächigen Spannungszustand der Membran aus Position und Betrag der aufgebrachten Last



5. Weitere Vorgehensweise

Elektromechanische Kontaktierungslösungen:

- Induktionslötversuche

Charakterisierung der Membran mit integrierten Sensornetzwerken:

- Statische Widerstandsmessung Proben mit und ohne Epoxid-Silberleitkleber zur Bestimmung des Übergangswiderstands an den Kontaktpunkten
- Uniaxiale zykliche Zugversuche in Anlehnung an DIN EN ISO 1421
- Mit eingebrachter Strukturschädigung in Anlehnung DIN EN 1875-3
- Biaxiale Zugversuche in Anlehnung an DIN EN 17117-1 für Membran mit und ohne Sensorik

Entwicklung echtzeitfähiger Algorithmen:

- Erweiterung des KI-Modells zur Ermittlung des vollflächigen Spannungszustandes

6. Diskussionsbedarf

- Langzeitversuche bis 10^4 Zyklen sind am ITM schwer durchführbar; evtl. eine entsprechende Prüfmaschine bei Projektpartnern vorhanden, die genutzt werden kann?
- Abstimmung Funktionsdemonstrator
 - Welche Struktur?
 - Am ITM ist keine Herstellung großer Membranflächen möglich, insbesondere hinsichtlich einer homogenen Beschichtung
→ Weben und Beschichten für Funktionsdemonstrator bei Projektpartnern?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!
