



# Nonwovens go digital – KI-Anwendungen kommen vom Labor in die industrielle Praxis

Cloppenburg, F.; Möbitz, C.; Kins, R.; Pohlmeier, F.; Schlichter, S.; Gries, T.

# Efficient Elements Agenda

---

- 1** Was ist KI - und wieso braucht die Vliesstoffindustrie das überhaupt?
- 2** Anwendungsnahe Entwicklungsprojekte mit industrieller Validierung
- 3** Zusammenfassung

# Efficient Elements Agenda

---

- 1** Was ist KI - und wieso braucht die Vliesstoffindustrie das überhaupt?
- 2** Anwendungsnahe Entwicklungsprojekte mit industrieller Validierung
- 3** Zusammenfassung

# Was ist KI?

---

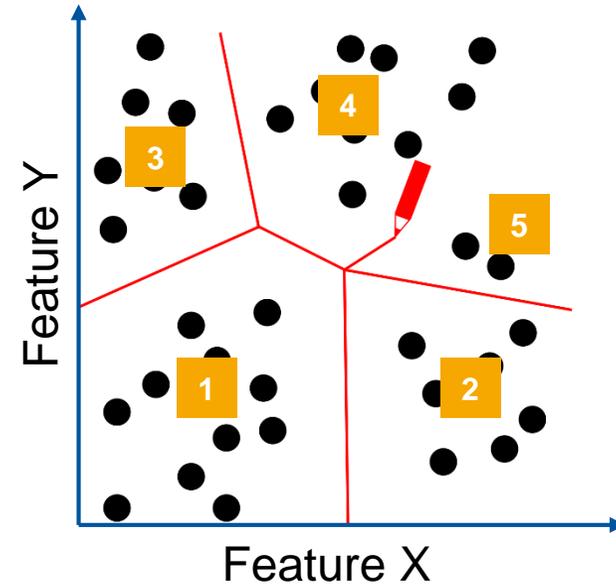
## Was ist KI?

- Bündel von mathematischen Methoden
- Zum generieren von Informationen aus großen Datenmengen
- 6 Klassen sind zu unterscheiden
- Kombinationen von Klassen für komplexe Aufgaben



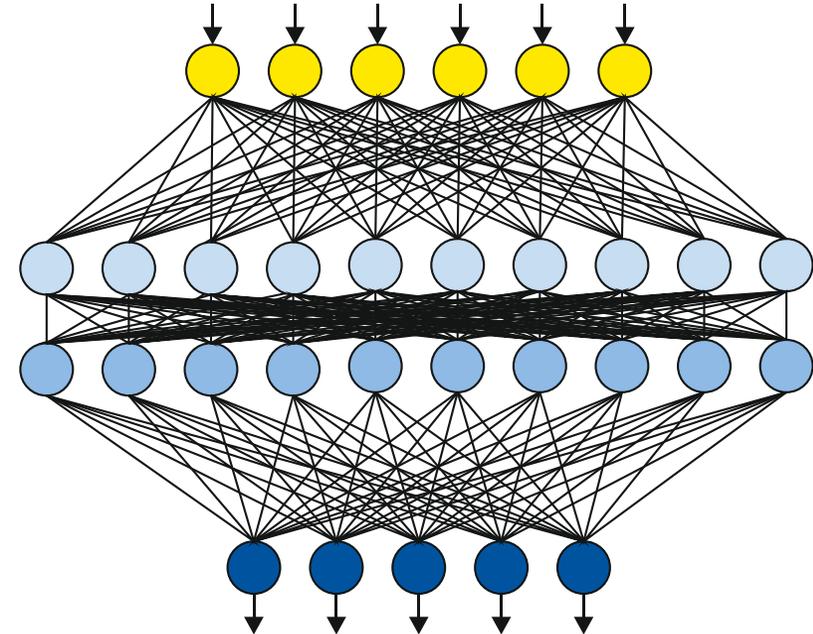
## Klassifizierung und statistisches Lernen

- Klassifizierung
  - anhand von Merkmalen (Features)
  - in vordefinierte Gruppen
- Stark verbunden mit Künstlichen Neuronalen Netzen
  - Objekterkennung für autonomes Fahren
  - Defektklassifizierung



## Künstliche Neuronale Netze

- Klassisches Maschinelles Lernen
- Vorhersagen auf Basis von bekannten Inputs erzeugen
- Schrift- oder Spracherkennung durch Trainingsverfahren
- Steigende Anzahl und Präzision von Daten
- Quality Prediction: Vorhersage der Endproduktqualität auf Basis von Prozessdaten



# Was ist KI?

## Neuronaler Netze – Moderne Objekterkennung

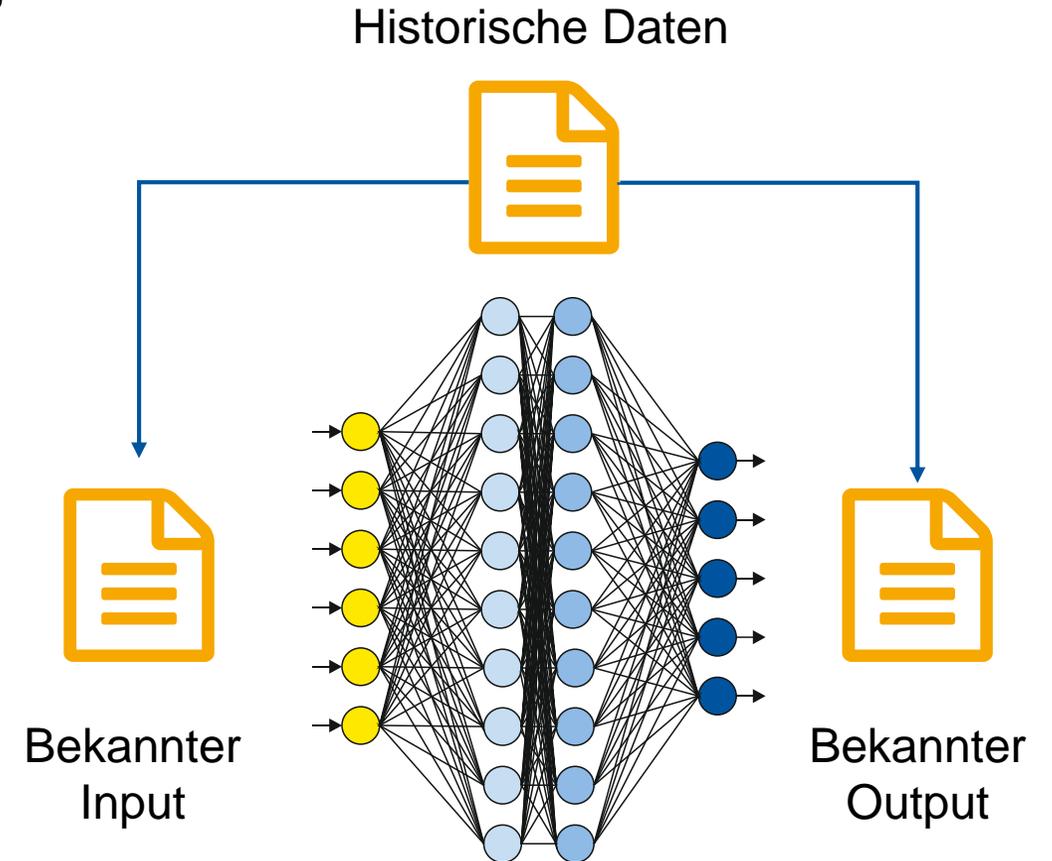
- Klassifizierung mit tiefen, gefalteten neuronalen Netzen
  - Features werden im neuronalen Netz abgeleitet und trainiert
  - Output: Wahrscheinlichkeit das Objekt zu einer gewissen Klasse zugehörig ist:
    - Mensch
    - Verkehrsschild
    - Auto
- Anwendung:
  - Autonomes fahren
  - Krebsfrüherkennung
  - EKG-Diagnose



# Was ist KI?

## Wie Künstliche Neuronale Netze arbeiten - Training

- Historische Daten für das Training
- Anpassung der Gewichte auf den Kanten zwischen den Neuronen um Trainingsfehler zu minimieren

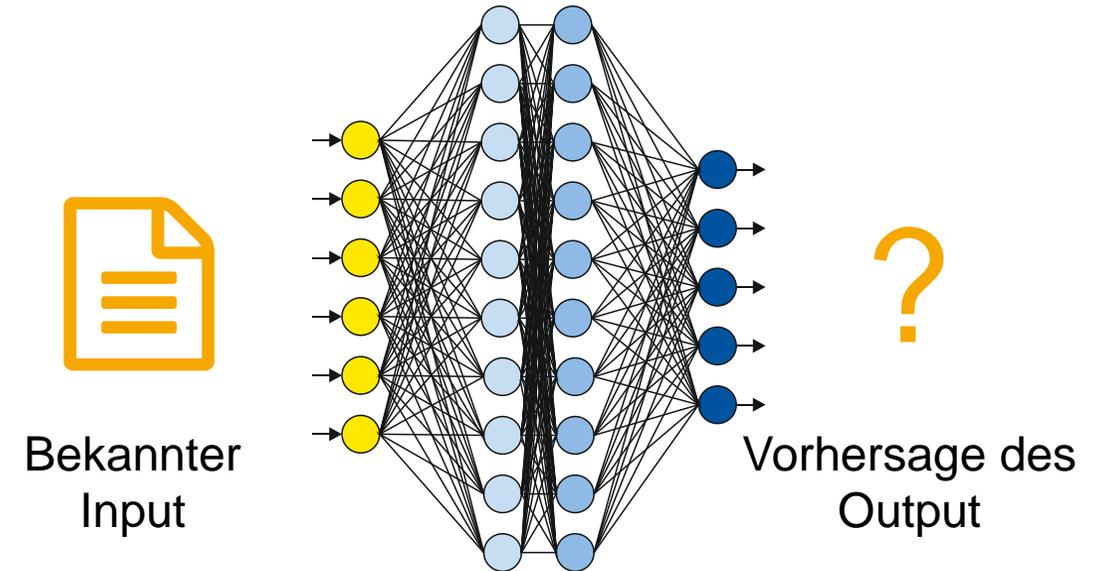


# Was ist KI?

---

## Wie Künstliche Neuronale Netze arbeiten - Vorhersagen

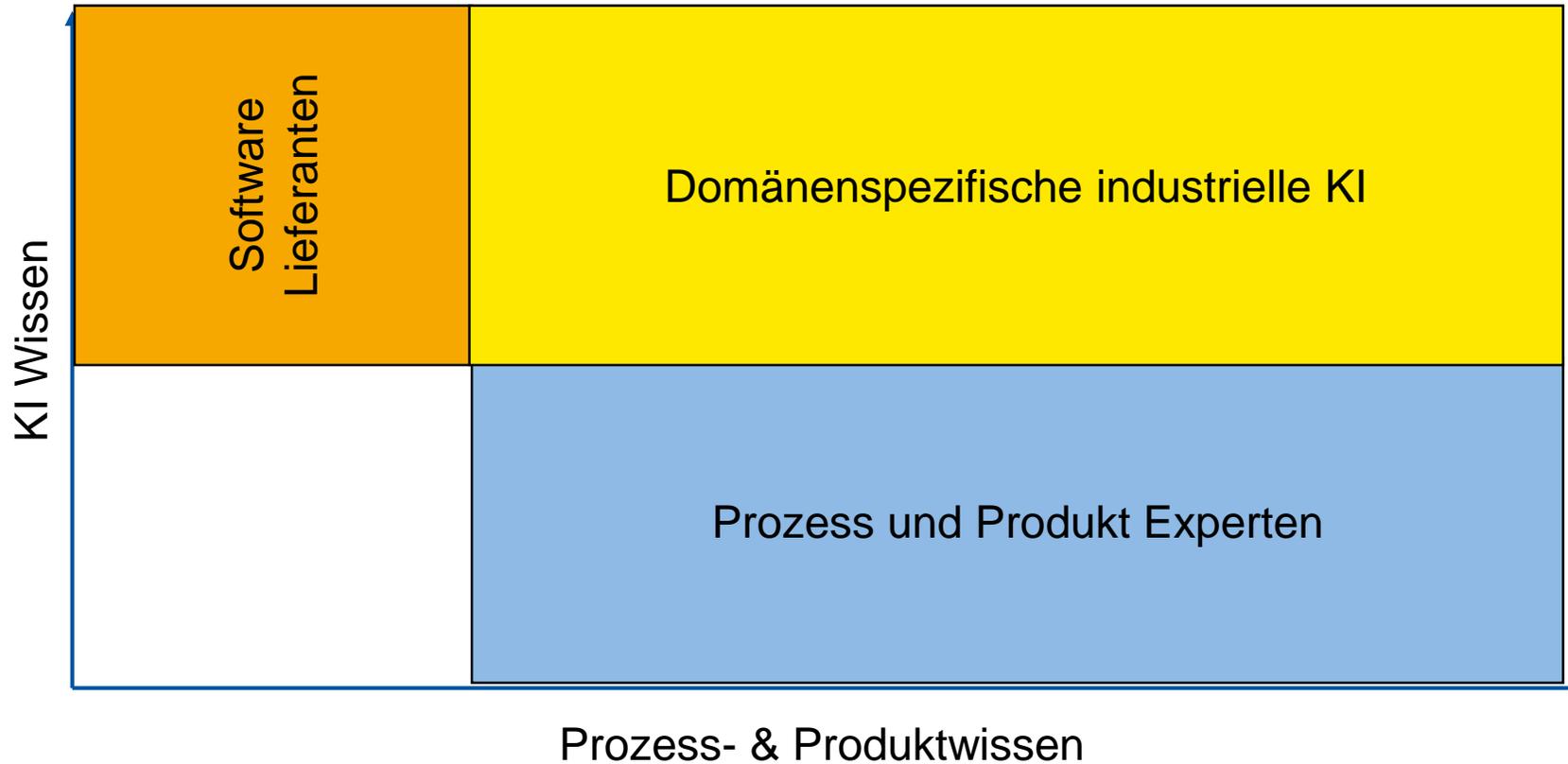
- Bekannte Input Daten
- Vorhergesagter Output
  - “best guess” basierend auf Trainingserfahrungen



## Was ist KI?

---

### Künstliche Intelligenz ersetzt keine natürliche Intelligenz



# Warum KI in der Vliesstoffproduktion?

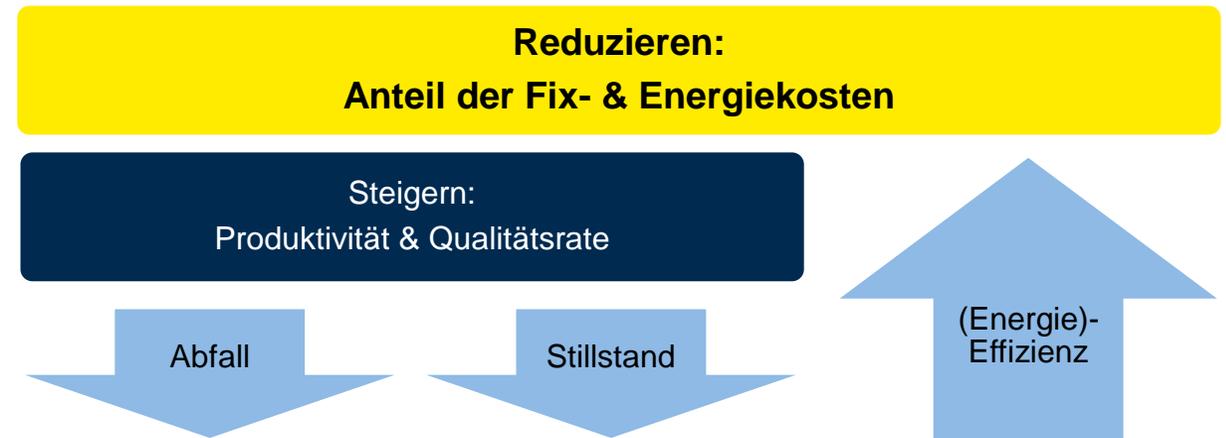
---

# Warum KI in der Vliesstoffproduktion?

## Ausgangssituation

- Vliesstoffproduktion ist **hochkomplex**
- **Qualität und Kosten** werden beeinflusst von:
  - Rohmaterial (Fasern)
  - Produktionseinstellungen mit Wechselwirkungen
  - Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchte, etc.)
- Produktionsparameter werden erfahrungsbasiert gewählt und nur wenig variiert – **Trial and Error**
- Qualität:
  - Teils subjektive Definition
  - Qualitätskontrollen nur off-line im Labor oder in-line am Endprodukt
    - Abweichungen werden erst nach der Produktion erkannt
  - Vorhandene Messtechnik wird nicht zur Prozessoptimierung genutzt

## Wertschöpfungstreiber für die Vliesstoffproduktion

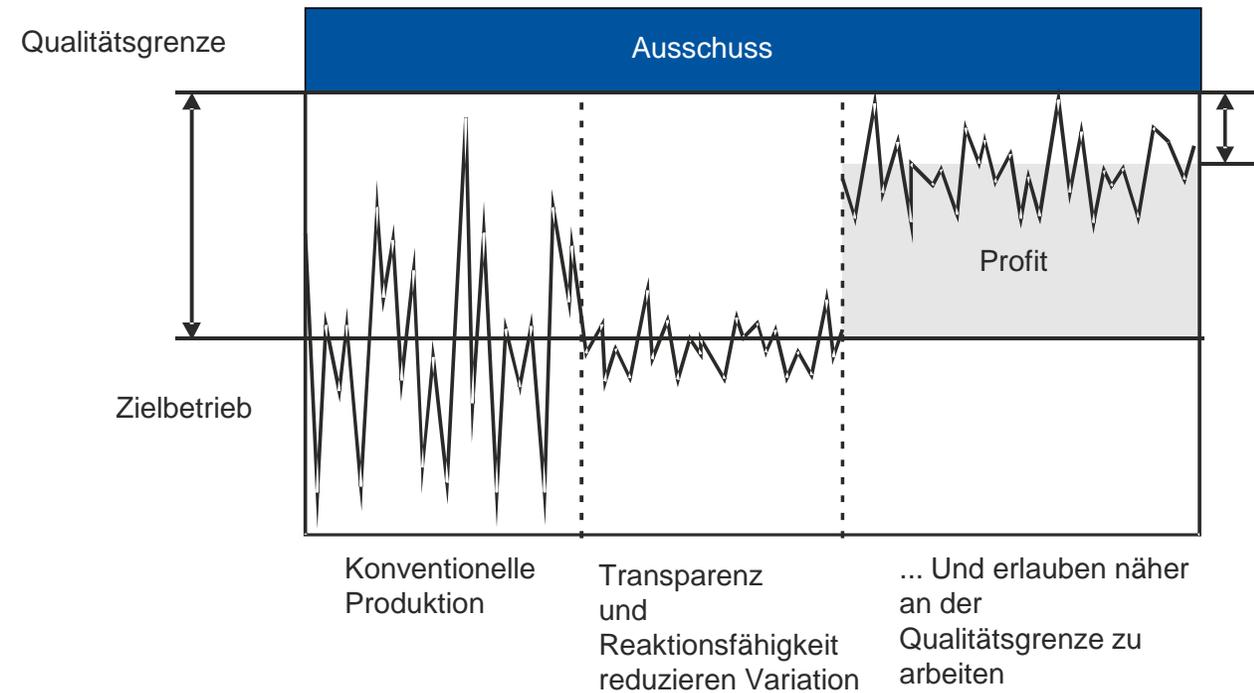
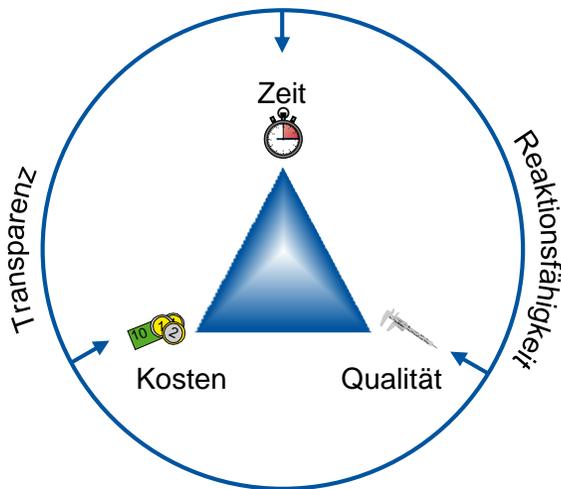


- Produktion auf technisch/wirtschaftlich nicht optimalem Betriebspunkten
- Verlust von Rohstoffen, Anlagenverfügbarkeit und Energie durch Ausschuss

# Warum KI in der Vliesstoffproduktion?

## Wie lässt sich KI (sinnvoll) in der Vliesstoffproduktion einsetzen?

- Produktivität und Qualität
  - Vorhersagemodelle für die Produktqualität (und dessen Schwankung)
  - Bedienerassistenz für
    - Transparenz in der Produktion
    - Verbesserte Einstellungen
    - Fehlerbehebung



# Efficient Elements Agenda

---

- 1** Was ist KI - und wieso braucht die Vliesstoffindustrie das überhaupt?
- 2** **Anwendungsnahe Entwicklungsprojekte mit industrieller Validierung**
  - 2.1** Easy Vlies 4.0 - KI zur Modellierung komplexer Prozesse
  - 2.2** AutoNoM - KI gerechte Datenerfassung an ganzen Produktionslinien
  - 2.3** NowoVision - KI Abbildung der subjektiven Qualitätsmerkmale
- 3** Zusammenfassung

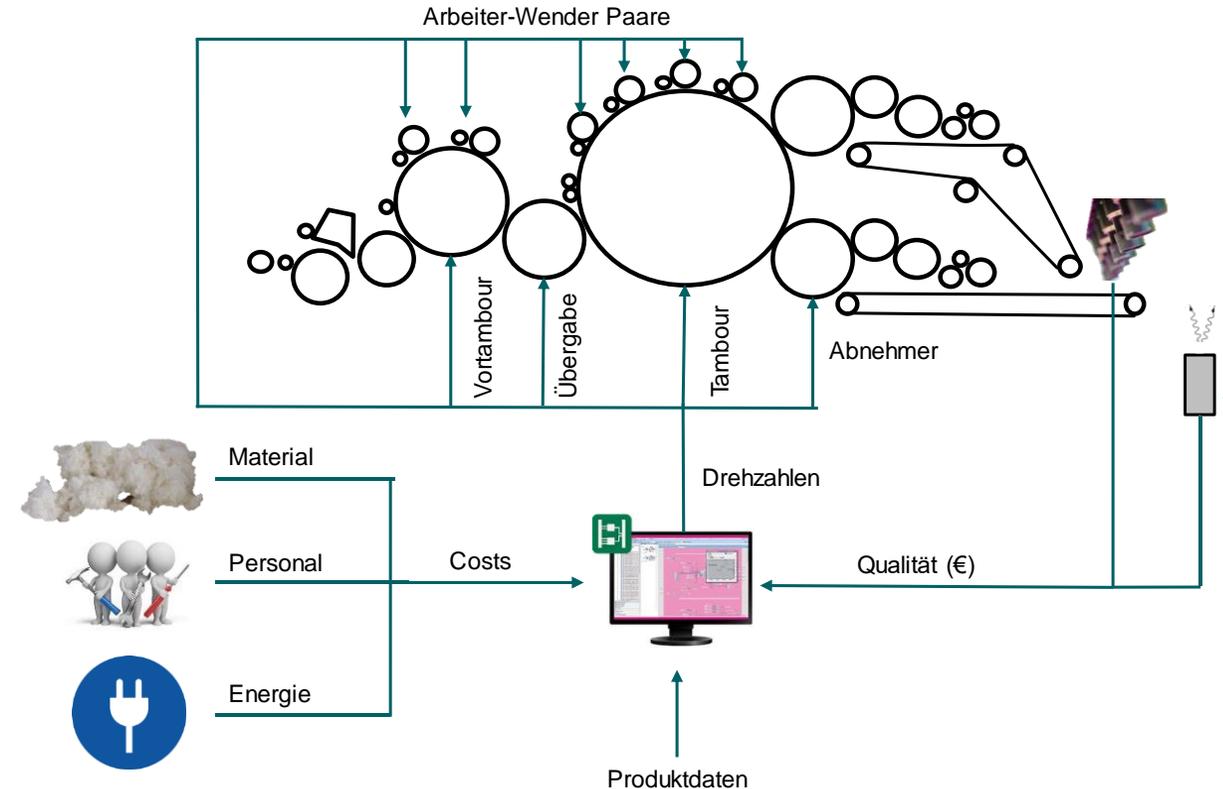
# Efficient Elements Agenda

---

- 1** Was ist KI - und wieso braucht die Vliesstoffindustrie das überhaupt?
- 2** Anwendungsnahe Entwicklungsprojekte mit industrieller Validierung
  - 2.1** Easy Vlies 4.0 - KI zur Modellierung komplexer Prozesse
  - 2.2** AutoNoM - KI gerechte Datenerfassung an ganzen Produktionslinien
  - 2.3** NowoVision - KI Abbildung der subjektiven Qualitätsmerkmale
- 3** Zusammenfassung

## Gesamtkonzept

- Start mit der Krempel
  - Stärkster Effekt auf Produktqualität
  - Komplizierte Einstellung, insbesondere für neue Produkte
- Kombination von wirtschaftlicher Optimierung mit technischen Nebenbedingungen (technisch-wirtschaftliche Selbstoptimierung)
- Notwendige Schritte:
  - Qualitätsmessung direkt hinter der Krempel
    - Entwicklungspartner: Dr. Schenk
  - Mess- und Automatisierungssystem mit Schnittstelle zur Krempel
    - Entwicklungspartner: iba AG
  - Modellierung der Produktqualität und Produktionskosten
  - Optimierungsalgorithmus



## Optimierungsalgorithmus

- Benutzereingaben:
  - Gewünschte Minimumqualität
  - Produktionskostenparameter
  - Simulationsgrenzen
- Optimierung mit  $\epsilon$ -constraint Methode:
  - Alle Zeilen mit nicht ausreichender Qualität löschen
  - Verbleibende Ergebnisse nach Produktionskosten sortieren
  - Maschineneinstellung mit geringsten Produktionskosten wählen
- Genauigkeiten
  - Energie:  $\pm 0,9$  kW
  - Qualitätswerte: siehe Tabelle
- Bei 99 % Voroptimierung: **ROI < 13 Monate**

Einstellungen	Qualität	Kosten
$[n_1, n_2, n_3]_1$	$[q_1, q_2, q_3]_1$	$[c_1, c_2, c_3]_1$
$[n_1, n_2, n_3]_2$	$[q_1, q_2, q_3]_2$	$[c_1, c_2, c_3]_2$
$[n_1, n_2, n_3]_3$	$[q_1, q_2, q_3]_3$	$[c_1, c_2, c_3]_3$
$[n_1, n_2, n_3]_4$	$[q_1, q_2, q_3]_4$	$[c_1, c_2, c_3]_4$

Value	Optimal setting point	
	Simulation	Produktion
Flächengewicht [g/m <sup>2</sup> ]	11,5 ± 1,46	11,4
CV MD [%]	2,8 ± 0,73	2,5
CV CD [%]	1,5 ± 0,83	2,0
CV [%]	3,4 ± 0,82	3,1
Gleichmäßigkeit [gv]	5,9 ± 1,08	5,3
Defekte [1/m <sup>2</sup> ]	8,8 ± 4,5	7,5
Faserorientierung	1,52 ± 0,02	1,51

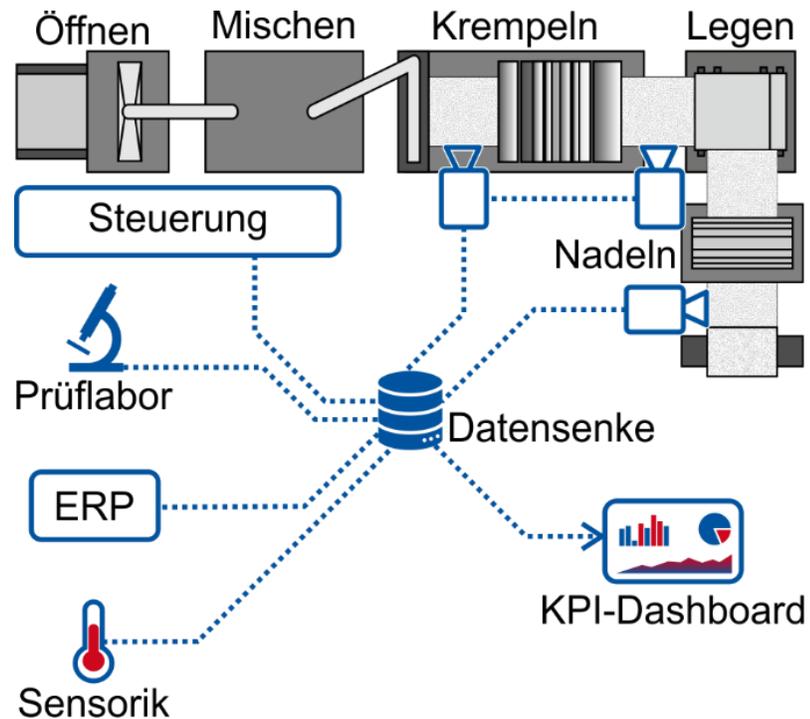
# Efficient Elements Agenda

---

- 1** Was ist KI - und wieso braucht die Vliesstoffindustrie das überhaupt?
- 2** Anwendungsnahe Entwicklungsprojekte mit industrieller Validierung
  - 2.1** Easy Vlies 4.0 - KI zur Modellierung komplexer Prozesse
  - 2.2** AutoNoM - KI gerechte Datenerfassung an ganzen Produktionslinien
  - 2.3** NowoVision - KI Abbildung der subjektiven Qualitätsmerkmale
- 3** Zusammenfassung

## KI gerechte Datenerfassung an ganzen Produktionslinien

- Wirtschaftlich-technische Optimierung einer gesamten Produktionslinie für Krempelvliesstoffe
- Optimierung an einem realen industriellen Prozess

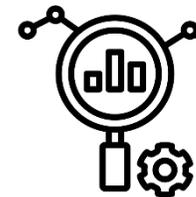


### Rezeptorientierter Ansatz

- Subjektive Einschätzungen
- Erfahrungsbasiert



Potential von KI



### Datengetriebener Ansatz

- Objektive Bewertung der Prozessgüte
- Prozessgüte aktiv verbessern

## Visualisierung und Bedienerassistenz

- „Was wäre wenn“-Szenarien: Bediener über Prozessverhalten informieren

The screenshot shows the 'Einstellungen' (Settings) interface of the AutoNoM tool. It includes a progress bar, a model selection dropdown set to 'Wolkigkeit SVGPR Gpflow', a parameter selection dropdown set to 'Geschw. Wender [m/min]', a range slider for 'Angezeigter Wertebereich von x' with values 7.42 and 264.00, a comparison parameter dropdown set to 'Durchsatz [kg/h]', and input fields for 'Unterer zusätzlicher Parameterwert' (14.00) and 'Oberer zusätzlicher Parameterwert' (38.00). At the bottom, there is a field for 'Geschw. Hauptwalze [m/min]' set to 804.00.

**Technologiemodell-Toolbox**

ITA Institut für Textiltechnik und Lehrstuhl für Textilmaschinenbau | RWTH AACHEN UNIVERSITY

**Prädiziertes Prozessverhalten:**

The graph plots 'Wolkigkeit [-]' (0 to 12) against 'Geschw. Wender [m/min]' (0 to 250). It shows training data points as vertical bars and two shaded regions: a blue region for 'Durchsatz [kg/h] niedrig' and a red region for 'Durchsatz [kg/h] hoch'. The red region is generally higher than the blue region, indicating higher cloudiness at higher throughput rates.

Zielgröße auswählen (Hier Wolkigkeit Krempelflor)

Verstellten Prozessparameter auswählen (X-Achse)

Weitere Prozessparameter im Szenario angeben

Ergebnis: Grafik mit Prozessverhalten im gewählten Szenario

## Diagnose: Suche nach Fehlerursachen

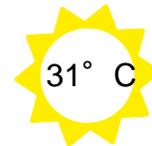
Großer Datensatz mit Fehlerinformationen

Assoziationsanalyse (Einstellungen und Fehler)

Filterung nach Häufigkeit

Ranking nach Schadensausmaß

- Dem Bediener der Anlage werden relevante und aktive Fehlerursachen angezeigt „Prozesszustände → Prozessfehler“
- Der Bediener kann rechtzeitig reagieren, sodass der Fehler im Idealfall nicht auftritt



Umgebungs-  
temperatur



1000 U/min

Tambour-  
geschwindigkeit

8-fache  
Wahrscheinlichkeit



Stillstand  
Krempel

# Efficient Elements Agenda

---

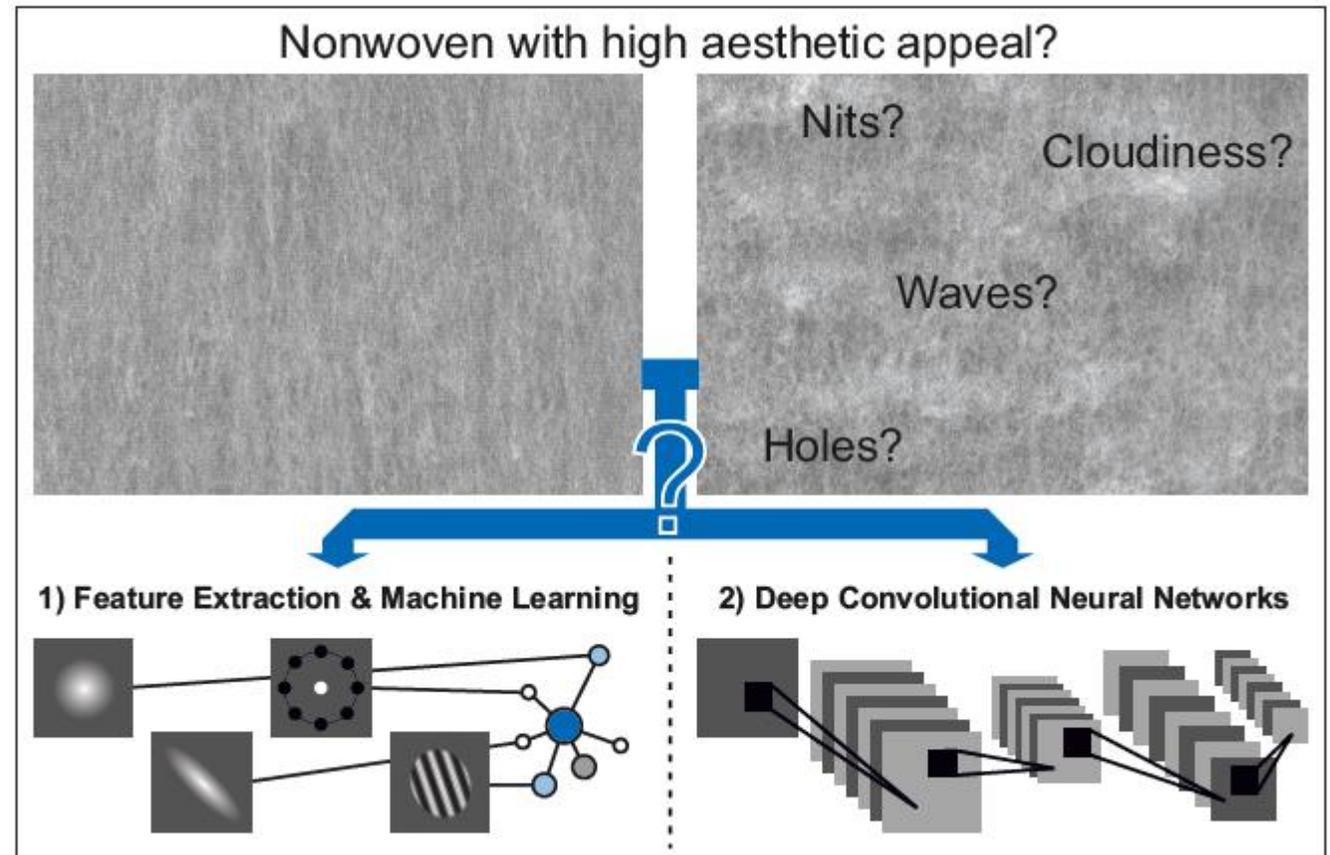
- 1** Was ist KI - und wieso braucht die Vliesstoffindustrie das überhaupt?
- 2** Anwendungsnahe Entwicklungsprojekte mit industrieller Validierung
  - 2.1** Easy Vlies 4.0 - KI zur Modellierung komplexer Prozesse
  - 2.2** AutoNoM - KI gerechte Datenerfassung an ganzen Produktionslinien
  - 2.3** NowoVision - KI Abbildung der subjektiven Qualitätsmerkmale
- 3** Zusammenfassung

## Vision-System für Erkennung der Ästhetik von Vliesstoffen

- Die ästhetische Oberflächenqualität ist ein wichtiges Bewertungskriterium für die Gesamtqualität von Vliesstoffen
- Nicht während der Produktion bemerkte Fehler führen zum Ausschuss und im schlimmsten Fall zur Reklamation
- Bei 10 % Ausschuss resultieren rund 1 Mio. € Verlust pro Jahr und pro Linie

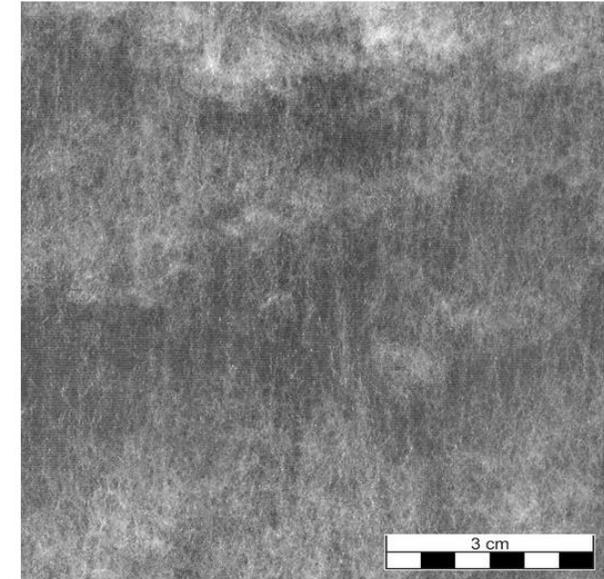


- Entwicklung eines Vision-Systems für die automatisierte Online-Bewertung der subjektiven Vliesstoffästhetik



## Ermittlung der subjektiven Florästhetik durch Onlinetool

- Erhebung von über 2.500 Florbildern von einer Zeilenkamera hinter dem Abnehmer der Krempel
  - Erstellung eines Onlinebefragungstools für die Bewertung der Florästhetik (Wolkigkeit, Wellen, Streifen, Nissen, Löcher) durch Experten
  - Bewertung der Bilder durch Vliesstoffexperten aus Forschung und der Industrie
- 
- Etwa 10.000 Nutzerbewertungen
  - Nutzer bewerten die ästhetische Qualität teilweise sehr unterschiedlich

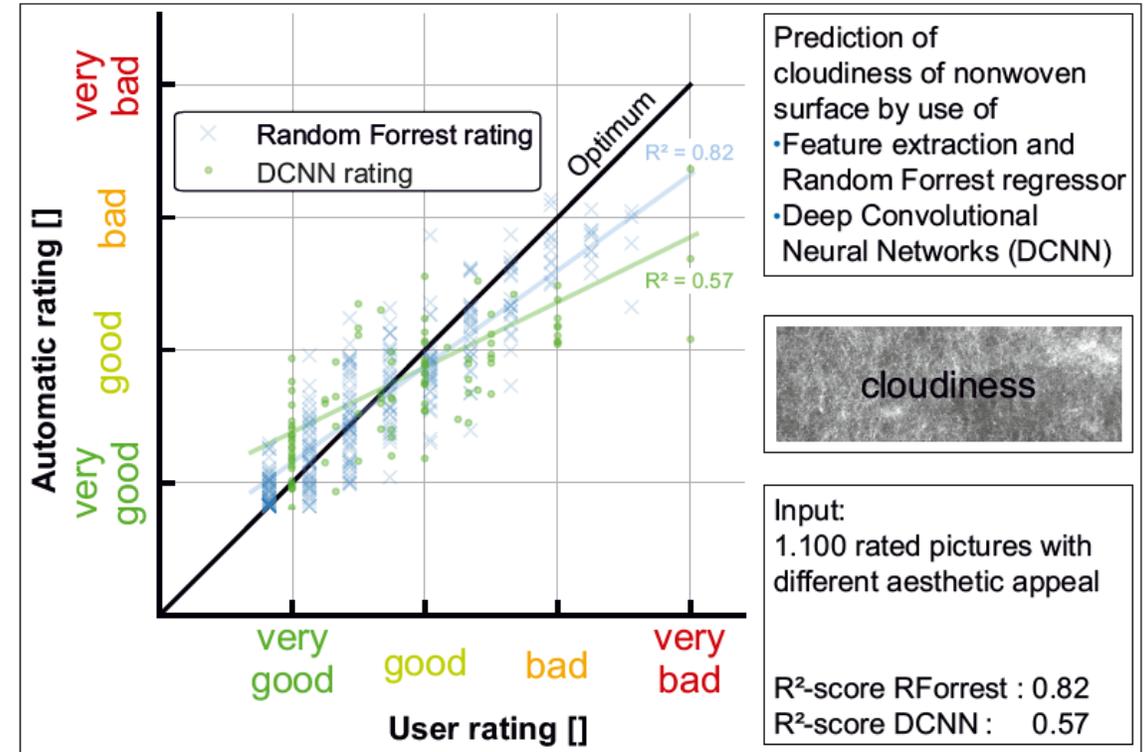


Wie bewerten Sie die Qualität hinsichtlich folgender Parameter

Wolkigkeit	<input type="radio"/> sehr gut	<input type="radio"/> gut	<input type="radio"/> schlecht	<input type="radio"/> sehr schlecht
Wellen/Streifen	<input type="radio"/> sehr gut	<input type="radio"/> gut	<input type="radio"/> schlecht	<input type="radio"/> sehr schlecht
Nissen	<input type="radio"/> sehr gut	<input type="radio"/> gut	<input type="radio"/> schlecht	<input type="radio"/> sehr schlecht
Löcher	<input type="radio"/> sehr gut	<input type="radio"/> gut	<input type="radio"/> schlecht	<input type="radio"/> sehr schlecht

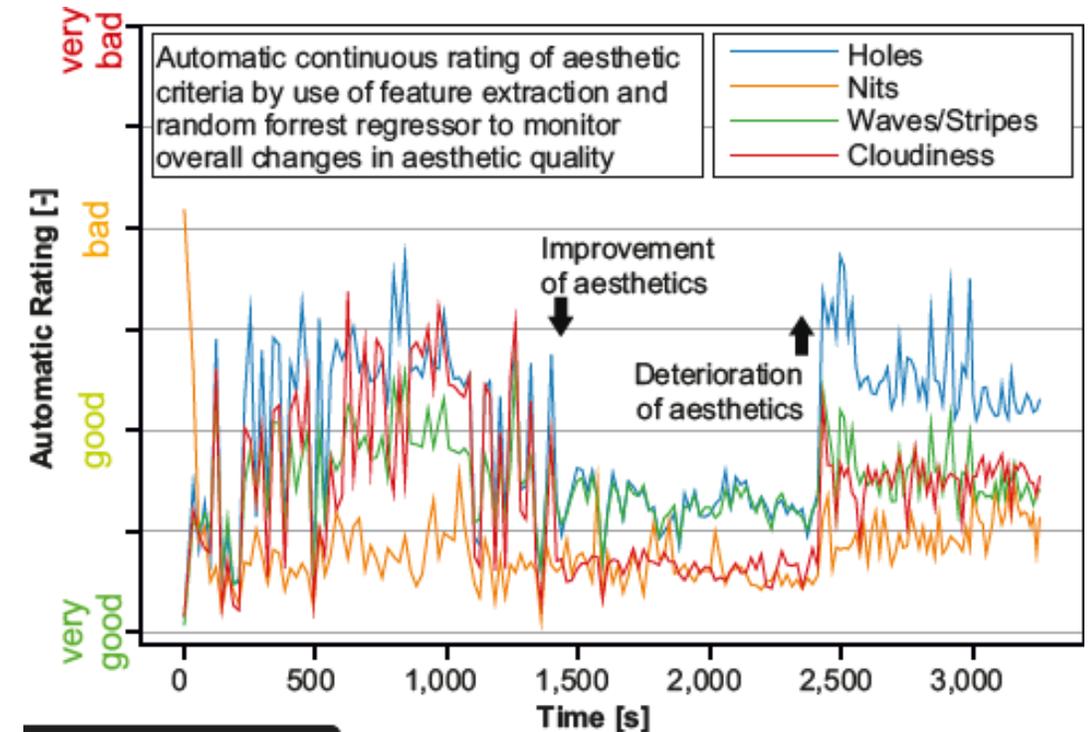
## Training einer KI für die automatisierte Bewertung der Florästhetik

- Training von DCNN sowie unterschiedlicher Regressoren im Zusammenspiel mit optischer Feature Extraction
- Das beste Ergebnis für die Bewertung der Wolkigkeit ist mit einem Random Forrest Regressor und ausgewählten optischen Features möglich. Der erreichbare R<sup>2</sup>-Score beträgt 0.82.
- Neben dem Potenziale des Regressors hat auch die unterschiedliche subjektive Bewertung der Experten – und damit die Güte des Datensatzes – einen erheblichen Einfluss auf die erreichbare Modellgüte



## Training einer KI für die automatisierte Bewertung der Florästhetik

- Aufgrund der Abweichung von Modell zu realer Bewertung ist eine exakte numerische Bewertung derzeit nicht zuverlässig zu erstellen.
- Die Modelle sind jedoch in der Lage, qualitative Schwankungen im Prozess festzustellen
- Das Diagramm enthält einen Messschrieb, bei dem im Bereich von ca. 1.500 bis 2.500 Sekunden gute Qualität produziert wird. Vor und nach dem Intervall ist die Qualität des Flores schlecht. Die Beobachtungen der KI sind bei der Prüfung der korrespondierenden Florbilder durch den Experten zu bestätigen.



# Efficient Elements Agenda

---

- 1 Was ist KI - und wieso braucht die Vliesstoffindustrie das überhaupt?
- 2 Anwendungsnahe Entwicklungsprojekte mit industrieller Validierung
- 3 Zusammenfassung

## Zusammenfassung

- KI trägt zu Transparenz und Reaktionsfähigkeit in der Vliesstoffproduktion bei
  - Der Trade off zwischen Zeit, Qualität und Kosten wird somit besser beherrschbar
- Selbst komplexe Anlagen wie die Krempel lassen sich mit KI-Methoden modellieren und wirtschaftlich optimieren
- Daten ganzer Produktionslinien können mit KI-Methoden nutzenstiftend den Bedienern dargestellt werden und so die Produktion wirtschaftlicher gestalten.
- Datenbasierte Assistenzsysteme ermöglichen Simulation von Prozessänderungen und somit schrittweise Optimierung ganzer Anlagen
- Auch mathematisch schwer zu definierende Qualitätsfaktoren lassen sich mit KI-Verfahren annähern

---

**Dr.-Ing. Wirt.-Ing. (M.Sc.) Frederik Cloppenburg**

Institut für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen University  
Otto-Blumenthal-Straße 1, 52074 Aachen

Tel (direkt): +49 241 80-24714  
Tel: +49 241 80-23401  
Fax: +49 241 80-624714  
E-Mail: [Frederik.Cloppenburg@ita.rwth-aachen.de](mailto:Frederik.Cloppenburg@ita.rwth-aachen.de)  
www: [www.ita.rwth-aachen.de](http://www.ita.rwth-aachen.de)

Veranstaltungen: [www.ita.rwth-aachen.de/events](http://www.ita.rwth-aachen.de/events)

Social Media: 



---

**Textile Innovations  
Sustainable.Digital.Individual.**

**Vielen Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit!**