

# Digitaler Zwilling und Digitaler Schatten im Herstellungsprozess von Implantaten aus Vliesstoffen

Dipl.-Inform. Guido Grau

Deutsche Institute für Textil- und Verfahrenstechnik Denkendorf

T +49 711 9340-159

E [guido.grau@ditf.de](mailto:guido.grau@ditf.de)

**34. Hofer Vliesstofftage, 6./7. November 2019**

Dieses Dokument enthält die um Erläuterungen ergänzten Vortragsfolien.

## Inhalt


- Einführung
- Begriffe
- Methodik
- Umsetzung
- Zusammenfassung
- Ausblick

Von welchen Produkten reden wir?

## Einführung

In dieser Einführung werden das Einsatzgebiet der Vliesstoffe und der daraus hergestellten Implantate sowie die Anforderung an diese, die sich aus Normen und Gesetzen ergeben, beschrieben.


Daran schließt sich eine Auflistung möglicher Verwendungszwecke der Informationen an, die im Verlauf des Herstellungsprozesses bzw. des gesamten Lebenszyklus eines Implantats, zusammengetragen werden können.

  
DEUTSCHE INSTITUTE FÜR  
TEXTIL+FASERFORSCHUNG

### Implantate aus Vliesstoffen

Einsatzgebiete der Vliesstoffe

- Implantate **als Zellträger** für Knorpel oder Knochen sowie für Bindegewebe



- **Bioverträglichkeit** nach ISO 10993 und 13485:2016
  - physikalische, chemische, mechanische, morphologische Prüfungen
  - vitro-Zytotoxizität und in vivo-Verträglichkeit
- **Medizinproduktegesetz** fordert eine lückenlose und rückverfolgbare Dokumentation
  - des Entwicklungsprozesses,
  - aller Produktionsschritte und
  - der Produkteigenschaften.

Abbildung: Vliesstoff mit ausgestanzten Ronden im Durchmesser 15 mm, DITF

4

Die an den DITF hergestellten Vliesstoffe sollen als Implantate verwendet werden und dabei im Körper als Träger für Knorpel-, Knochen und Bindegewebszellen dienen. Als Implantate müssen die Vliesstoffe die Normen zur Bioverträglichkeit erfüllen, welche hierfür eine Reihe von Prüfungen vorsieht. Darüber hinaus müssen die Vorgaben des Medizinproduktegesetzes erfüllt werden.

Unterschiede in physikochemischen Parametern haben Einfluss auf die anschließende Zellantwort. Deshalb ist es notwendig den Herstellungsprozess bei polymeren Implantaten engmaschig zu kontrollieren, um reproduzierbar die gewünschte Zellantwort zu erzielen, hinsichtlich Anhaftung, Wachstum und Funktion der Zellen.

Die komplexen Zusammenhänge aus Material- und Oberflächen-Eigenschaften auf der einen und der biologischen Zellantwort auf der anderen Seite erschweren die Qualitätssicherung, zumal bisher meist die notwendigen, systematisch erhobenen Daten fehlen, um Rückschlüsse aus Implantat-Versagen ziehen zu können.

## Kontinuierliche Sammlung von Daten

Der Zusammenhang zwischen Produkteigenschaften und Prozessparameter wird ermittelbar.

Dies erlaubt:

- Rückverfolgbarkeit
- Eigenschaften vorhersagen
- Prozessverbesserungen
- Fehleranalyse

Integrierte Datenbank-Lösung?

- Starr, wenig flexibel bei Prozessänderungen
- Lebensdauer des Produkts (Implantat) zumeist länger als Datenbank

5

Nach Biomedizingesetz bleibt die Form der Dokumentation im Entscheidungsspielraum des jeweiligen Herstellers. Sie kann sowohl analog (auf Papier) als auch digital erfolgen (Datenbanken). Die Rückverfolgbarkeit ist jedoch über Zeitraum von bis zu 35 Jahren sicherzustellen.

Das große Potenzial der im Prozess kontinuierlich gesammelten Daten bleiben häufig jedoch ungenutzt. Aus ihnen könnte zukünftig ermittelt werden, welche Prozessparameter welche Produkteigenschaften beeinflussen und wie.

Dies erlaubt die Vorhersage von Produkteigenschaften, d. h. wie sich Änderungen bestimmter Prozessparameter auf spezifische Eigenschaften des Produkts auswirken.

Darüber hinaus sind Prozessverbesserungen möglich, so können mit dieser Kenntnis Prozesse hinsichtlich Produktqualität und Prozesseffizienz optimiert werden.

Und schließlich können sie zur Fehleranalyse herangezogen werden, d. h. sie liefern Unterstützung beim Auffinden von Fehler im Produktionsprozess-

## Umfeld – Das Forschungsvorhaben „MaterialDigital“

- Ziel: Aufbau eines Materialdatenraums zur Erstellung eines digitalen Materialzwillings
- Anwendungsfall: Vliesstoffe als Implantate

Teilziele:

- Entwicklung einer Methodik zur Erstellung des Materialdatenraums
- Auswahl und Weiterentwicklung von Werkzeugen und Vorlagen



6

Die in diesem Vortrag dargestellten Ergebnisse, insbesondere die Methodik zum Aufbau des Materialdatenraums entstanden im Rahmen des Forschungsvorhabens „Material Digital“, welches vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau des Land Baden-Württemberg im Themenfeld „Digitalisierung: Chance für Nachhaltigkeit und Energiewende“ gefördert wird.

Außer in „Vliesstoffe als Implantate“ wird die erarbeitete Methodik im Vorhaben noch im Anwendungsfall „Metallguss“ umgesetzt und demonstriert.

### Digitaler Materialzwilling – was ist das?

## Begriffe

Definitionen der Begriffe „Digitaler Zwilling“ und „Digitaler Schatten“ sind aktuell nicht einheitlich, variieren von Anwendungsfall zu Anwendungsfall und werden teilweise sogar synonym verwendet. In diesem Abschnitt werden die beiden Begriffe klar gegeneinander abgegrenzt.

Darüber hinaus wird häufig auch vom Digitalen Fingerabdruck gesprochen. Dieser Begriff, der ursprünglich eine Signierungsmöglichkeit vergleichbar einer elektronischen Unterschrift meint, wird vermehrt als Digital Footprint (Digitaler Fußabdruck) übersetzt und synonym zum Digitalen Schatten verwendet.

## Digitaler (Material- oder Produkt-) Zwilling

„Ein Digitaler Zwilling repräsentiert ein reales Objekt oder einen Prozess in der digitalen Welt.“

Der digitale Material- oder Produktzwilling bildet den aktuellen Zustand des Materials/Produkts/ Werkstoffs ab.

**Reale Welt**

**Digitale Welt**

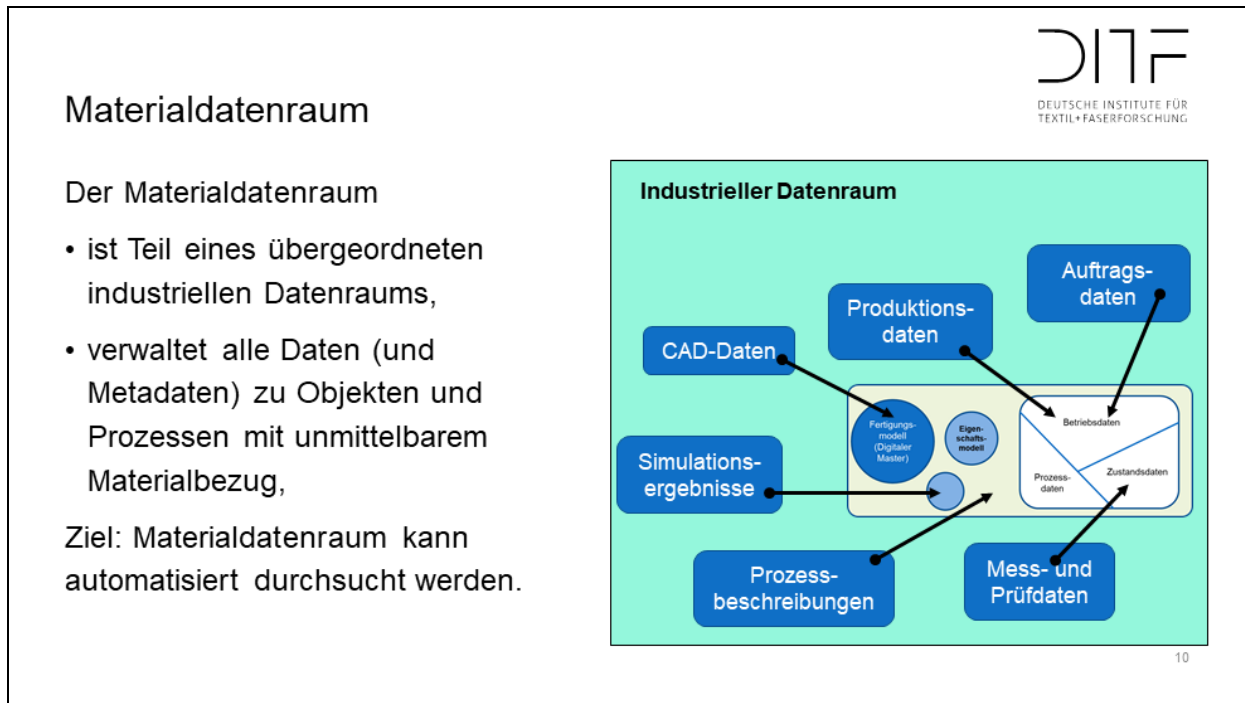
Digitale Zwillinge sind die digitalen Doppelgänger jeder einzelnen Material- oder Produktinstanz (hier: Vliesstoff-Stück #001 und #002) und nicht das digitale Modell des Produkttyps (Vliesstoff).

Dabei darf jedoch nicht vergessen werden, dass der digitale Zwilling immer ein (digitales) Modell des realen Objekts bleibt mit dem Zweck, in einem spezifischen Themenfeld Aussage über das reale Objekt zu machen, z. B. im Hinblick auf sein Verhalten.

## Digitaler Materialzwilling und Digitaler Schatten

Der digitale Schatten ist die Menge aller digitalen Spuren, die ein Objekt (Material/Produkt, Service, aber auch eine Person) hinterlässt. Für Materialien/Produkte/Werkstoffe umfasst dies die Prozessdaten der Herstellungsprozesse ebenso wie Daten des aktuellen Zustands.

Zusammen mit den Fertigungs- und Eigenschaftsmodellen bilden sie den digitalen Zwilling.




Da der Materialdatenraum alle Daten verwaltet, die unmittelbaren Bezug zum Material oder Produkt haben, kann der digitale Material- bzw. Produktzwilling aus diesem Materialdatenraum heraus erzeugt werden. Der digitale Materialzwilling besteht aus der Summe aller Daten, die über Verweise in den Materialdatenraum referenziert werden.

Wie baut man den Materialdatenraum auf?

## Methodik

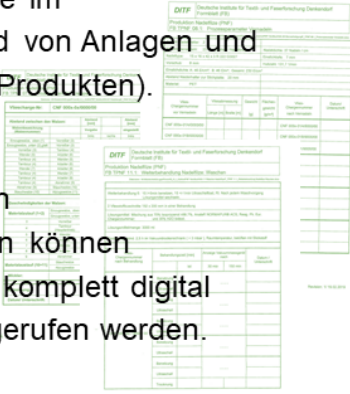
In diesem Abschnitt wird zuerst die Ausgangssituation beschrieben, wie sie in den Betrieben häufig vorgefunden wird. Daran wird ein Überblick über das komplette Vorgehen zum Aufbau eines Materialdatenraums gegeben, woran sich detailliertere Beschreibung der einzelnen Arbeitsschritte anschließen.



## Ausgangssituation

Große Unterschiede im Digitalisierungsgrad von Anlagen und Prozessen (sowie Produkten).

Bei einer Reihe von Maschinenanbietern können Prozessparameter komplett digital eingestellt und angerufen werden.




Daneben liegen aber diese Informationen häufig immer noch in unterschiedlichen Formaten und Medien vor:

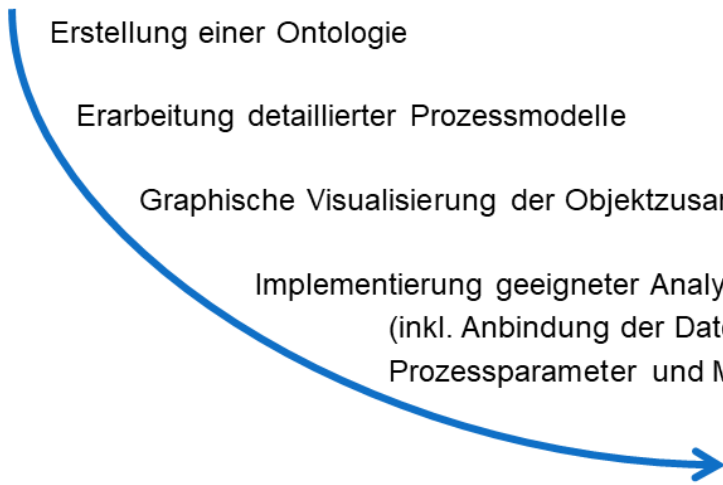
- MS Excel Dateien
- Handschriftliche Aufzeichnungen
- Freitextfelder mit nicht kodierten Daten

12

Dazu kommen unterschiedliche Datensatzumfänge: von einer Prozessdurchführung je Datei bis mehrere in einer Datei bzw. in einem Datenblatt. Eine Prozessdurchführung meint einen Herstellungsschritt, einen (Prüf-)Versuch, eine Versuchsreihe oder ein Produktionsauftrag für eine Material- oder Produkteinheit, z.B. ein Stück.



## Vorgehen



Erstellung einer Ontologie

Erarbeitung detaillierter Prozessmodelle

Graphische Visualisierung der Objektzusammenhänge

Implementierung geeigneter Analysemethoden  
(inkl. Anbindung der Datenquellen zum Zugriff auf  
Prozessparameter und Materialeigenschaften)

13

Die ersten beiden Schritte des hier vorgestellten Vorgehens können bzw. sollten möglicherweise in umgekehrter Reihenfolge durchgeführt werden. So ist es einfacher die Ontologie, speziell die Festle-

gung der Begriffe auf Basis der Prozessmodelle zu tun, denn dann wird für alle Beteiligten deutlicher, welche konkreten Begriffe (und deren Bedeutung) gemeint sind.

## Ontologie

Eine Ontologie ist eine Menge von **Begriffen**, die hierarchisch strukturiert sind und mit Hilfe **logischer Beziehungen** miteinander verknüpft sind.

Begriffe  
(Klassen)

Prozesse

- owl:Thing
- Entity
- Continuant
- Occurrent
- Process
- Cognitive\_Process
- Data\_Transformation
- Event
- Experiment
- Calorimetry
- Crack\_Propagation\_Test
- Creep\_Test
- Dilatometry
- Fatigue\_Test
- Hardness\_Test
- Laser\_Flash\_Analysis
- Microscopy
- Pyknometry
- Radiography
- Relaxation\_Test
- Tensile\_Test
- Manufacturing
- Preparation
- Simulation

Dinge

- owl:Thing
- Entity
- Continuant
- Generically\_Dependent\_Continuant
- Independent\_Continuant
- Immaterial\_Entity
- Datum\_System
- Geometric\_Model
- Project
- Spacial\_Region
- Material\_Entity
- Object
- Building
- Engineering\_Object
- Engineering\_Material
- Specimen
- Technological\_Product
- Equipment
- Matter\_Object
- Person
- Object\_Aggregate
- Object\_Set
- Specifically\_Dependent\_Continuant
- Occurrent

Eigenschaften

- owl:Thing
- Entity
- Continuant
- Generically\_Dependent\_Continuant
- Independent\_Continuant
- Specifically\_Dependent\_Continuant
- Property
- Chemical
- Data\_Related
- Geometric
- Liquistic
- Mechanical
- elastic
- plastic
- Physical
- Structural
- Technological
- Thermal
- Time\_Related
- dynamic
- fast
- initial
- original
- quasi\_static
- slow
- static
- Occurrent

Informationen

- owl:topDataProperty
- Quantity
- Base\_Quantity
- Amount\_of\_Substance
- Electric\_Current
- Length
- Luminous\_Intensity
- Mass
- Temperature
- Time
- Derived\_Quantity
- Text
- Abstract
- Citation
- Comment
- Conclusion
- Description
- Explanation
- Name
- Note
- Plan
- Source
- Summary
- Title
- Unit
- URL

14

Zur Erstellung einer Ontologie für den Aufbau eines Materialdatenraums bietet es sich an mit einer Basisontologie, wie BFO (Basic Formal Ontology, <http://basic-formal-ontology.org/>), zu arbeiten. Diese wird dann für den jeweiligen Anwendungsfall an spezifischen Stellen weiter detailliert.

Im Falle der Implantate aus Vliesstoffen mussten dazu die Hierarchie (der Baum) der Prozesse um die textilen Fertigungsprozesse sowie die Prüfungen zur Bioverträglichkeit in Form von Prüfprozessen ergänzt werden.

Die Dinge bzw. Ressourcen wurden im Wesentlichen in den Teilbereichen Materialien/Werkstoffe und Produkte sowie Maschinen und Anlagen, aber auch um Personen erweitert.

Die Eigenschaften wurden in die Segmente chemische, physikalische, mechanische, geometrische Eigenschaften unterteilt.

Im Bereich Informationen bzw. Daten wurden konkrete Begriffe wie Länge, Dauer, Kraft etc. aufgenommen.

DIE ZUKUNFT IST TEXTIL

8



## Beziehungen in einer Ontologie

Beziehungen (Relationen) zwischen den Begriffen:

- Material **is\_input\_for** Prozess  
*Stapelfaser is\_input\_for Krempeln*
- Prozess **has\_output** Material  
*Vernadeln has\_output Vliesstoff*
- Prozess\_a **precedes** Prozess\_b  
(ist Vorgänger vor)  
*Krempeln precedes Vernadeln*
- Objekt **has\_info** Eigenschaft  
*Vliesstoff has\_info Flächengewicht*  
*Krempel has\_info Tourenzahl*
- has\_quality
- has\_part
- has\_operator
- ...

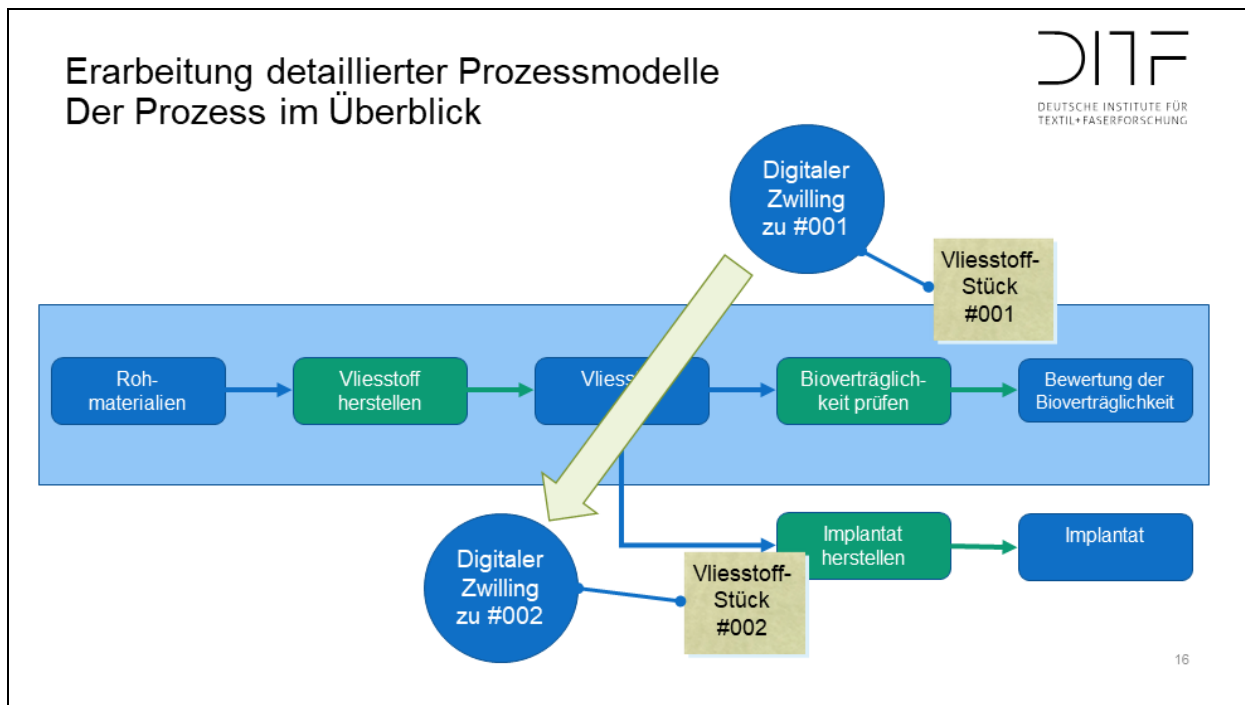
15

Die Beziehungen oder Relationen einer Ontologie erlauben die Abbildung von Zusammenhängen zwischen den Begriffen der Relation. So wurden beispielsweise Relationen definiert, die einen Prozess in einen Zusammenhang zu Begriffen aus anderen Teilbäumen der Ontologie setzen bzw. umgekehrt. Damit lässt sich beispielsweise darstellen was Input (*is\_input\_for*) und was Output (*has\_output*) eines Prozesses ist, aber auch in welcher Reihenfolge Prozesse aufeinander folgen.

Die Relationen sind dabei gerichtet und haben in der Regel eine implizite umgekehrt gerichtete (inverse) Relation, z. B. *has\_input* ist die inverse Relation von *is\_input\_for*.

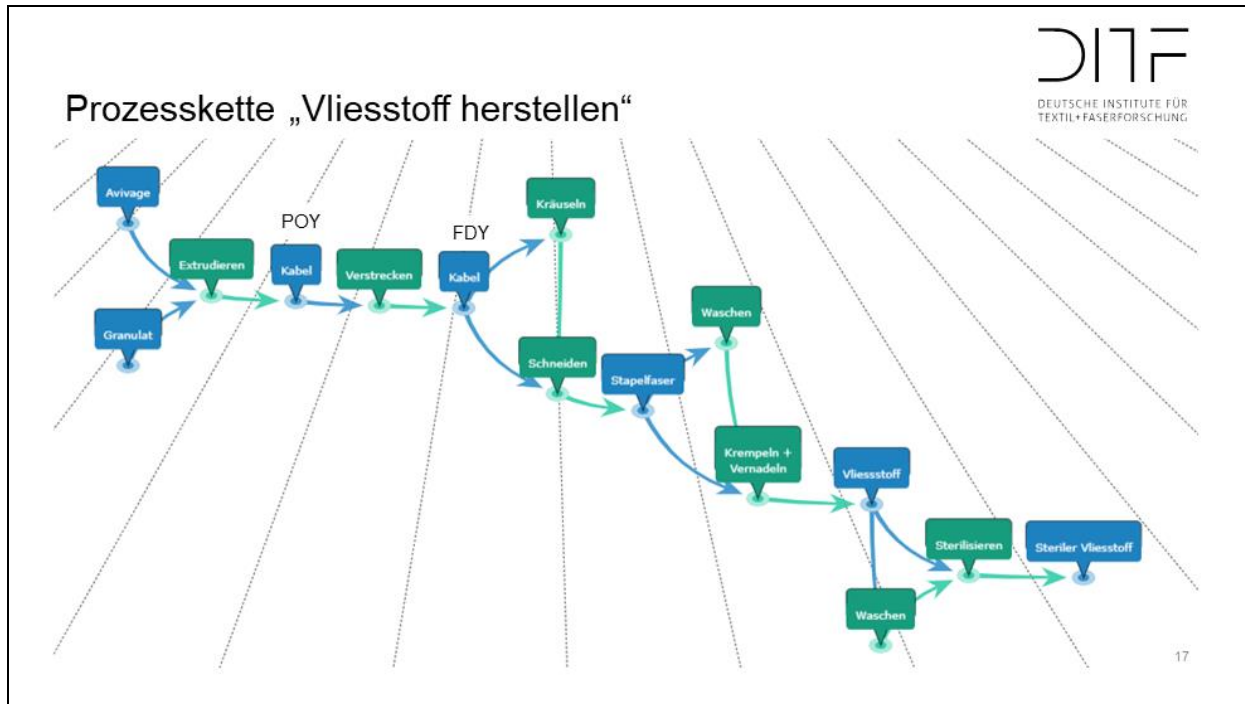
Unter Verwendung der Ontologie werden im nächsten Schritte Prozessmodelle in Form sogenannter gerichteter Graphen erstellt. Die Begriffe der Ontologie bilden dabei die Knoten des Graphen und die Beziehungen (Relationen) die Kanten.

*Anmerkung: In den nächsten beiden Übersichtsdiagrammen wurde auf die Benennung der Kanten (Beziehungen/Relationen) aus Gründen der Lesbarkeit verzichtet. Bei den Kanten handelt es sich um „is\_input\_of“ und „has\_output“ Beziehungen.*



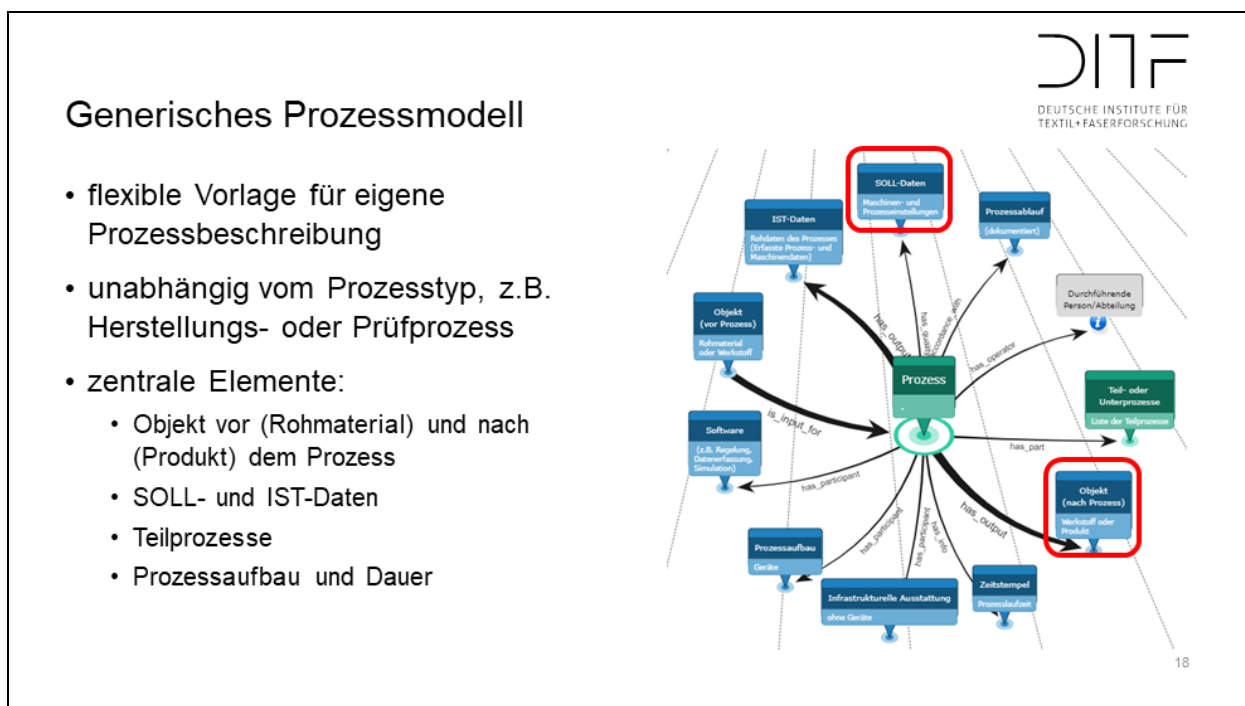
Im Projekt wurde lediglich der hellblau hinterlegte Bereich bearbeitet, d. h. die im Materialdatenraum berücksichtigte Prozesskette endete mit der Prüfung auf Bioverträglichkeit. Ein Implantat wurde nicht hergestellt. Auch wurden keine Daten erfasst, die aus der Nutzungsphase des Implantats stammen. Aktuell gibt es auch kaum wissenschaftliche Studien/Ergebnisse über die Performance von Implantaten.

Da einige der Prüfungen zur Bewertung der Bioverträglichkeit die Prüfprobe (das Implantat) zerstören, können die Prüfungen nicht am Implantat durchgeführt werden. Stattdessen werden Repräsentanten verwendet. So wird die Prüfung beispielsweise am Vliesstoffstück #001 vorgenommen und das Stück dabei zerstört. Der Digitale Zwilling zu #001 ist somit hinfällig. Die Ergebnisse der Prüfungen werden jedoch in den Digitalen Zwilling zu #002 übertragen, da davon ausgegangen wird, dass das Vliesstoff-Stück #002 „identisch“ zum Vliesstoff-Stück #001 ist, weil sie aus derselben Produktionscharge stammen (dieselben Rohmaterialien und dieselben Prozesseinstellungen). Dies ist jedoch nicht unproblematisch. So ist die Dichte eines Vliesstoffes von großer Bedeutung im Hinblick auf die Besiedlungsfähigkeit durch Zellen, Die Dichte innerhalb eines Vliesstoffes ist jedoch inhomogen, sodass es zu Vliesstoff-Stücken mit unterschiedlicher Dichte kommen kann auch wenn sie aus demselben Vliesstoff entnommen wurden.



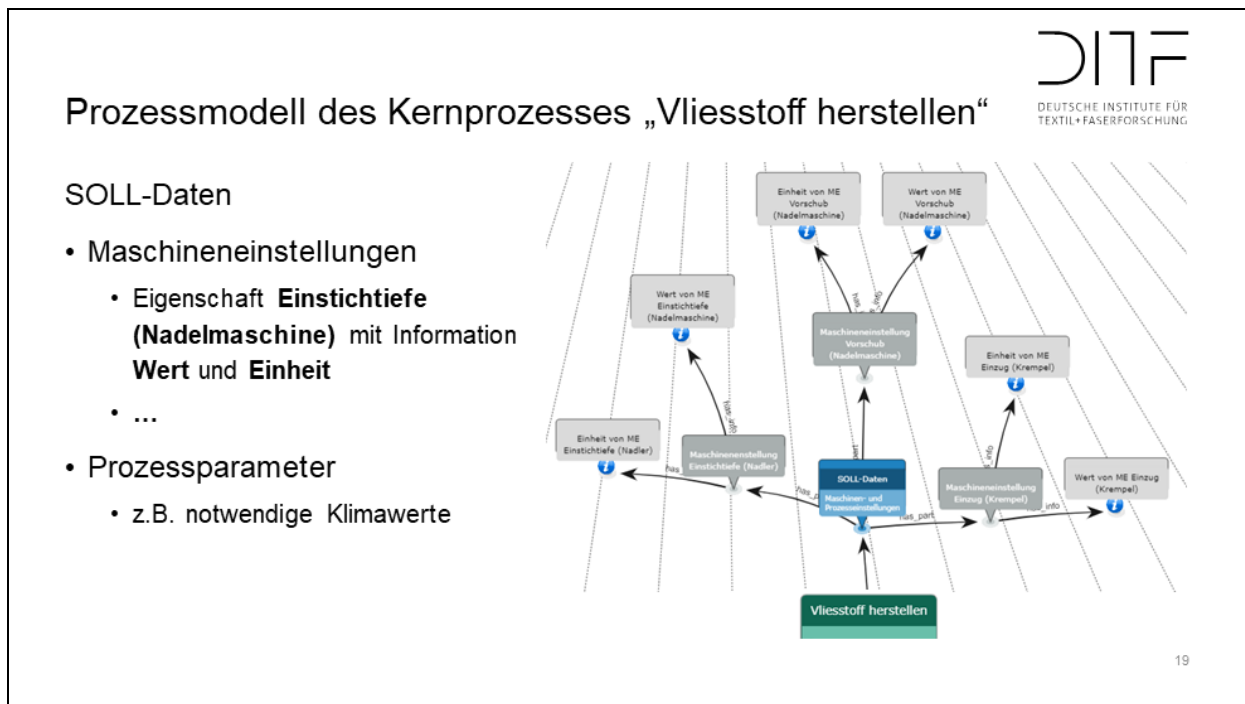
Das Prozessdiagramm zeigt die Aufteilung des Prozesses „Vliesstoff herstellen“ aus der vorangegangenen Folie in seine Teilprozesse.

Alternative Prozessabläufe sind an den Verzweigungen zu erkennen. So kann beispielsweise die gewonnene Stapelfaser vor dem Krempeln und Vernadeln bereits gewaschen werden. Alternativ ist jedoch auch das Waschen des fertigen Vliesstoffes denkbar.



Das generische Prozessmodell vereinfacht die Erstellung. Es kann als Grundlage für unterschiedliche Prozessarten verwendet werden. Zu den zentralen Elementen gehören das Rohmaterial (der Input des Prozesses), das hergestellte Produkt (der Output des Prozesses), die SOLL-Daten des Prozesses (und der genutzten Maschinen) sowie die im Prozessablauf ermittelten IST-Daten. Außerdem ist die Prozessdauer (Startzeitpunkt und Endzeitpunkt) von besonderer Bedeutung, da hiermit der Prozessablauf über mehrere Prozesse hinweg dokumentiert werden kann.

Die beiden rot umrandeten Teilbereiche werden im Folgenden detaillierter ausgeführt.

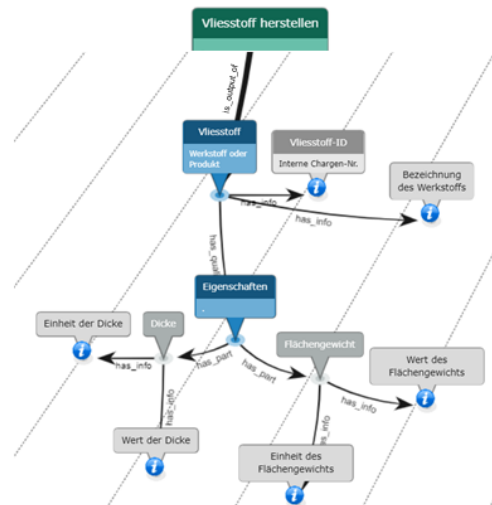


Zu den SOLL-Daten des Prozesses gehören die Maschineneinstellungen sowie weitere prozessrelevante und einstellbare/beeinflussbare Größen, z. B. Klimawerte. In der Folie sind nur drei dieser Einstellgrößen gezeigt. Zu jeder gehört eben dem konkreten Wert in der Regel auch die jeweilige physikalische Einheit. So besteht die Größe Einstichtiefe der Nadelmaschine beispielsweise aus dem Paar Wert (einem Zahlenwert) und Einheit (typischerweise mm).

## Prozessmodell des Kernprozesses „Vliesstoff herstellen“

Vliesstoff = Objekt (nach Prozess)

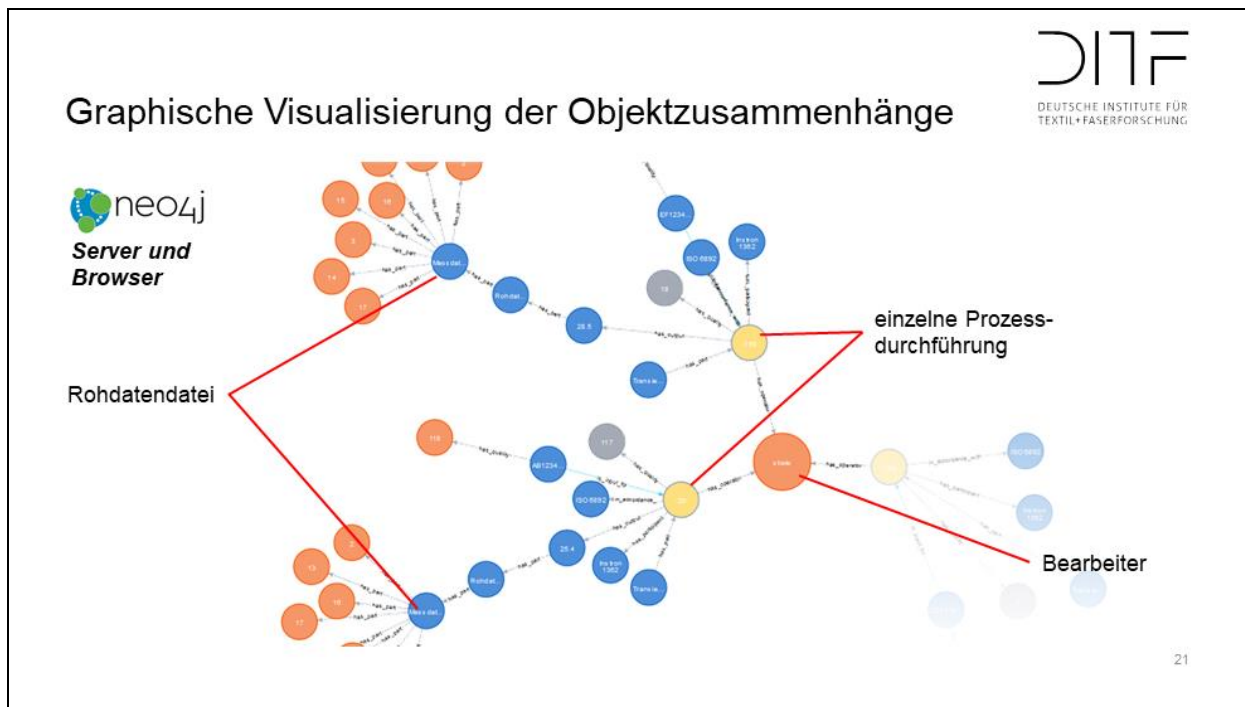
- Vliesstoff-ID (Chargen-Nr.)
- Eigenschaften:
  - **Dicke** mit Informationen **Wert** und **Einheit**
  - **Flächengewicht**
  - ...



20

Analog zu den Prozessparametern können auch die chemischen, physikalischen, mechanischen Eigenschaften der Materialien oder Produkte beschrieben werden. Auch hierbei handelt es sich zumeist um Paare von Zahlenwert plus physikalischer Einheit.

Eine Besonderheit bildet die Chargen-Nr., also der (unternehmensweit) eindeutige Identifizier eines Materials oder Produkts. Mit Hilfe der Chargen-Nr. können Materialien/Produkte über Prozesse hinweg identifiziert werden. Input- und Output-Materialien bzw. -Produkte spiegeln in Verbindung mit den dokumentierten Prozessdauern den konkreten Prozessablauf wider.

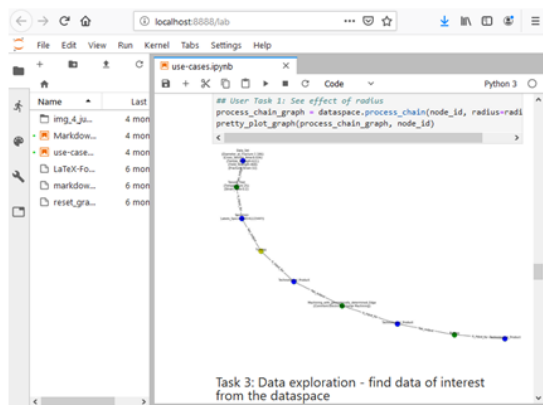


Zusammenhänge zwischen Objekten lassen sich über lange Ketten hinweg auch von Experten des jeweiligen Fachgebiets (Domänenexperten) nur schwer erkennen. Aus diesem Grund werden diese Zusammenhänge mit speziellen Werkzeugen graphisch visualisiert. Dazu ist es möglich entlang der Kanten zu navigieren.

Bei dieser Visualisierung werden die Knoten der zuvor modellierten Prozesskette durch reale Daten aus dem Prozess instanziiert dargestellt. So zeigt die Darstellung in der Folie zwei Prozessdurchführungen desselben Prozesses zusammen mit ihrer jeweiligen Rohdaten mit den gespeicherten Prozessparameter.

## Implementierung geeigneter Analysemethoden

- Nutzung gebräuchlicher Implementierungswerkzeuge, z.B. im wissenschaftlichen Umfeld häufig Python.
- Detaillierte Erfassung/Beschreibung der Struktur der Rohdaten im Prozessmodell erlaubt die Implementierung von Zugriffsfunktionen.



22

Im letzten Schritt können nun Analysefunktionen auf Basis der entdeckten Objektzusammenhänge implementiert werden. Die bereits im Prozessmodell erfasste Beschreibung der Ablageorte und Speicherstrukturen aller Prozessparameter vereinfachen dabei den Zugriff auf die benötigten Zahlenwerte.

Softwarewerkzeuge wie das Jupyter Notebook erlauben es dabei, die Dokumentation und Implementierung der Analysefunktion in einem Dokument zu kombinieren, was die Einhaltung der Dokumentationspflicht der Nomen vereinfacht.

Wofür lässt sich das praktisch anwenden?

## Umsetzung

Zur Demonstration der Machbarkeit wurden parallel zur Entwicklung der Methodik Vliesstoffe verschiedener Qualitäten hergestellt und auf ihre Bioverträglichkeit hin geprüft. Mit den dabei anfallenden Daten wurde der modellierte Materialdatenraum befüllt und digitale Zwillinge der Vliesstoffstücke erstellt.

## Demonstrator

Herstellung von PLLA-Nadelvliesstoffe  
begleitend zur Modellierung

- Nutzung von kommerziell verfügbarem P-L-LA (Poly-L-Lactide)
- Kontrollierte Variation kritischer Prozessparameter und eine systematische Datenerfassung vom Herstellungsprozess über die resultierenden physikochemischen Produkteigenschaften bis hin zur biologischen Funktionalität.



24

Für die Herstellung des Vliesstoffes wurde kommerziell verfügbares P-L-LA Granulat verwendet. Im Herstellungsprozess wurde dann eine Reihe von Prozessparametern, die als kritisch für die Produktqualität angesehen wurden, kontrolliert variiert. Dabei wurden sämtliche anfallenden Daten von den Eigenschaften der Rohmaterialien über die Prozesseinstellungen bis zu den ermittelten Ergebnissen der Prüfungen erfasst.

## Filament- und Vliesstoffherstellung

- Verwendung von 6 unterschiedlichen PLLA-Fasertypen (Erfassung von Filamentbrüchen und Schlingen im Garn mit Hilfe des Inline-Sensors „FRAYTEC FV2“)
- Variationen in der Filamentherstellung (Extrusion und Verstreckung):
  - Faserdurchmesser
  - Faserform (Kräuselung)
  - Spinfinish (Avivage)
  - Schrumpf
  - Extrusionscharge
- Variation in der Vliesstoffherstellung:
  - Veränderung der dichte durch unterschiedliche Flächengewichte bei gleichbleibender Dicke.

25



Die gezielte Variation von Prozessparametern umfasste die Nutzung unterschiedlicher PLLA-Fasertypen, Variationen in der Filamentherstellung sowie Variationen in der Vliesstoffherstellung.

**DITF**  
DEUTSCHE INSTITUTE FÜR  
TEXTIL+FASERFORSCHUNG

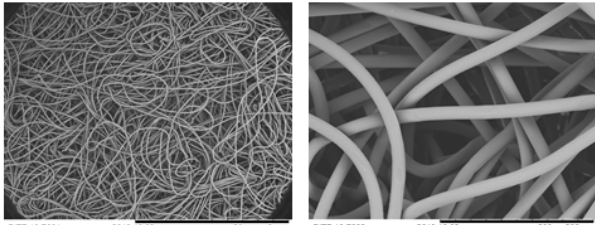
## Ermittlung der Zellantworten

Quantitative Bewertung der Auswirkungen veränderter Prozessparameter auf

- Bioverträglichkeit und
- Zelladhäsion auf den Materialoberflächen

soweit möglich.

Erwartete Antworten:  
z.B. Bestimmung der optimalen Dichteverteilung mit dem höchsten Zellwachstum



DITF-19-7001    2019.10.02    x50    2 mm    DITF-19-7003    2019.10.02    x500    200 um

Abbildungen: Vliesstoff - links 50-fach, rechts 500-fach vergrößert

26

Die so gezielt hergestellten Varianten der Vliesstoffe wurden abschließend Prüfungen zur Bioverträglichkeit und Zelladhäsion unterzogen. Ziel ist die Bestimmung quantitativer Aussagen bezüglich des Zusammenhangs von Produkteigenschaften und Prozessparametern, z. B. der Dichteverteilung und ihrer Auswirkung auf das Zellwachstum.

Was wurde hier vorgestellt und wo geht's hin?

## Zusammenfassung und Ausblick

### Zusammenfassung

- Es wurde gezeigt, wie ein Materialdatenraum aufgebaut werden kann, der zur Erstellung eines Digitalen (Material-)Zwillings genutzt werden kann.
- Grundlage des Materialdatenraums ist eine Ontologie und detaillierte Prozessmodelle aller Herstellungs- und Prüfprozesse sowie eine Strukturbeschreibung der erfassten Rohdaten.
- Darauf aufbauend können Analysefunktionen implementiert werden, die die Abhängigkeit zwischen Prozessparametern und Materialeigenschaften nutzen.

Kontakt:

Dipl.-Inform. **Guido Grau**

Deutsche Institute für Textil-  
und Faserforschung  
Denkendorf

[www.ditf.de](http://www.ditf.de)

T.: 0711 / 9340-159

[guido.grau@ditf.de](mailto:guido.grau@ditf.de)



28

### Ausblick

#### Prozessmodellierungsbaukasten

- Best Practices für die Prozessmodellierung inkl. domänenspezifischer Templates für Prozesse
- Verbesserung der Werkzeuge
- Validierung der Methodik nach ISO 15485:2016 notwendig.

- Ausweitung auf die „Prozesse“ innerhalb der Nutzungsphase des Implantats
- Digitalisierungsgrad aller Prozesse muss systematisch ermittelt und ggf. erhöht werden.

Der Materialdatenraum bildet die Grundlage für den Einsatz von KI in der Analyse.



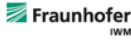


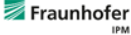



30


Die detaillierte Dokumentation der in der Prozessdurchführung erzeugten Rohdatendateien erlaubt es, die für den Einsatz von Algorithmen aus der Künstlichen Intelligenz notwendigen (großen Mengen von) Datenmengen (Prozessparameter und Materialcharakteristika) zur Verfügung zu stellen.

## Danksagung

### Danksagung

Partner:


- Fraunhofer IWM, Freiburg 
- DITF Denkendorf 
- Fraunhofer ICT, Pfinztal/Karlsruhe 
- Fraunhofer IPM, Freiburg 
- FZI, Karlsruhe 
- NMI, Reutlingen 
- FEM, Schwäbisch Gmünd 



Die hier vorgestellten Ergebnisse entstanden im Rahmen des Forschungsvorhabens

**„Digitalisierung: Chance für Nachhaltigkeit und Energiewende – MaterialDigital“**

gefördert vom



Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg

31

Website: [www.materialdigital-bw.de](http://www.materialdigital-bw.de)