

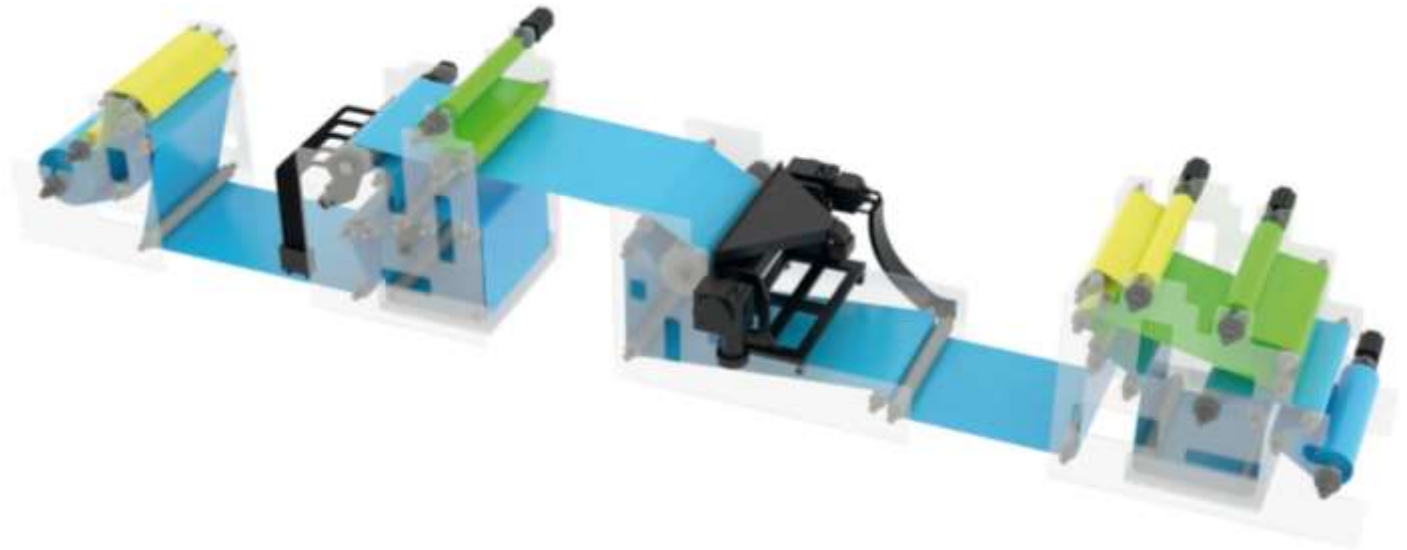
---

# Elektronenstrahlhärtung von Druckfarben und Lacken

## Grundlagen und Substratbeeinflussung

5. November 2020

---



Dr. Steffen Günther  
Fraunhofer FEP

# Fraunhofer-Gesellschaft

- Europas größte Organisation für angewandte Forschung
- 74 Institute / Forschungseinrichtungen
- 28.000 Mitarbeitern
  
- Jedes Institut hat eigene Schlüsselkompetenzen und handelt eigenständig
  
- Vertragsforschung 2019: € 2,3 Milliarden
  - 70 % Industriefaufträge und öffentliche Forschungsprojekten
  - 30 % Grundfinanzierung durch Bund und Länder



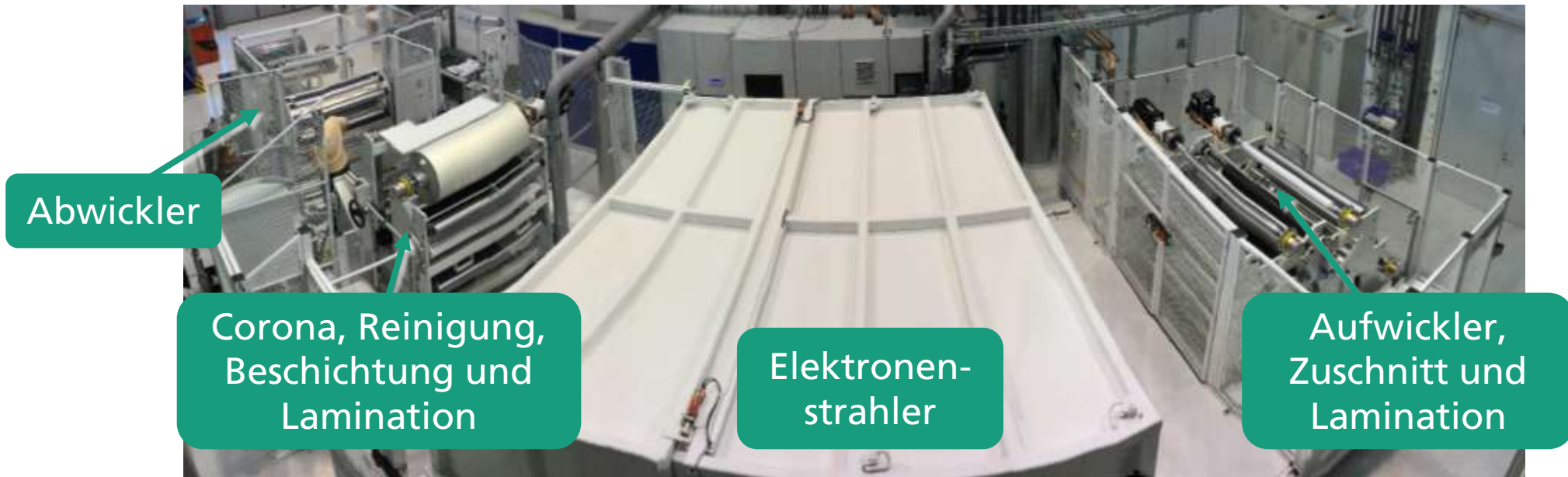
# Fraunhofer FEP

- Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik
- Standort: Dresden
- Oberflächenbeschichtung und –modifikation



# RzR-Lackierung und ES-Vernetzung – *atmoFlex 1250*

- Beschichtungsbreite: 1.200 mm
- Bahngeschwindigkeit: 150 m/min
- Nass- / Trockenlamination
- Substratvorbehandlung / -reinigung
- Beschichtung mittels Schlitzdüse
  - berührungslos
  - beheizbar bis 50 °C
- ES-Vernetzung: 9.000 kGy m/min

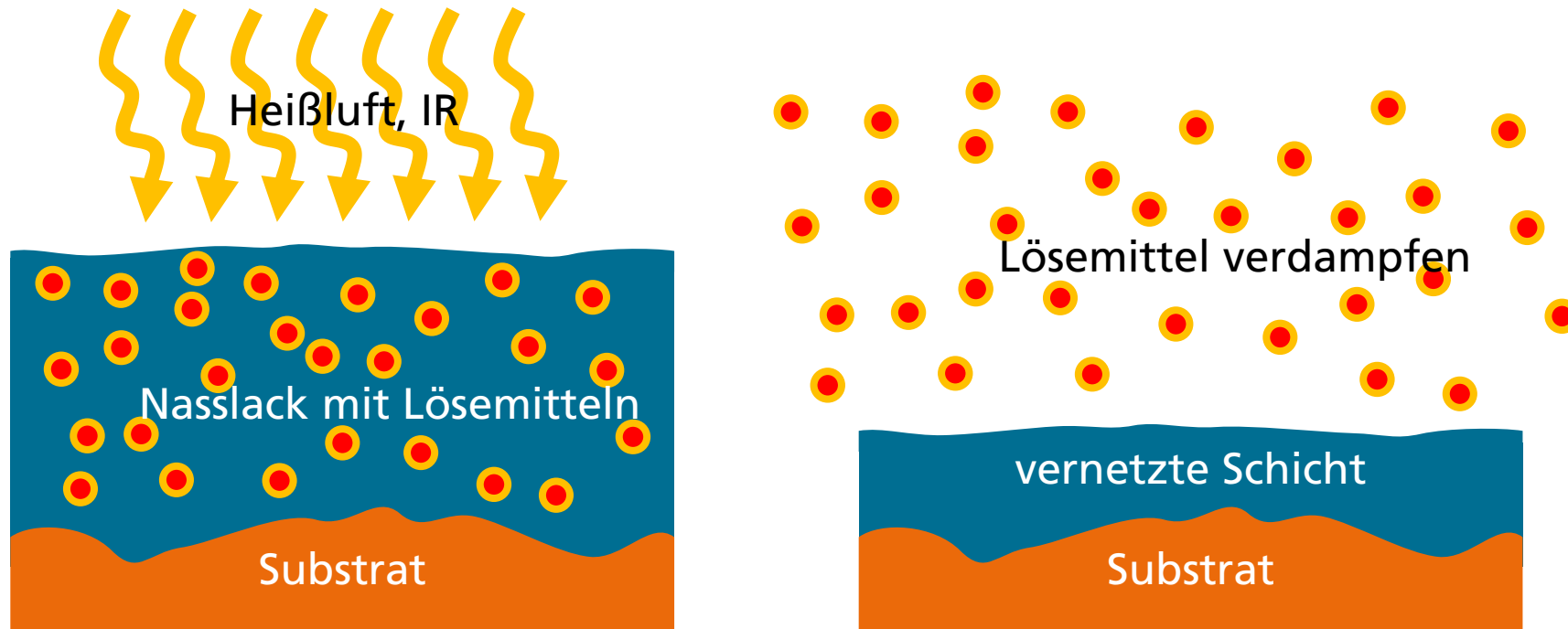


# Lackier- / Druckverfahren

- 2-stufiger Prozess
  1. Beschichten / Drucken
  2. Trocknen / Vernetzen

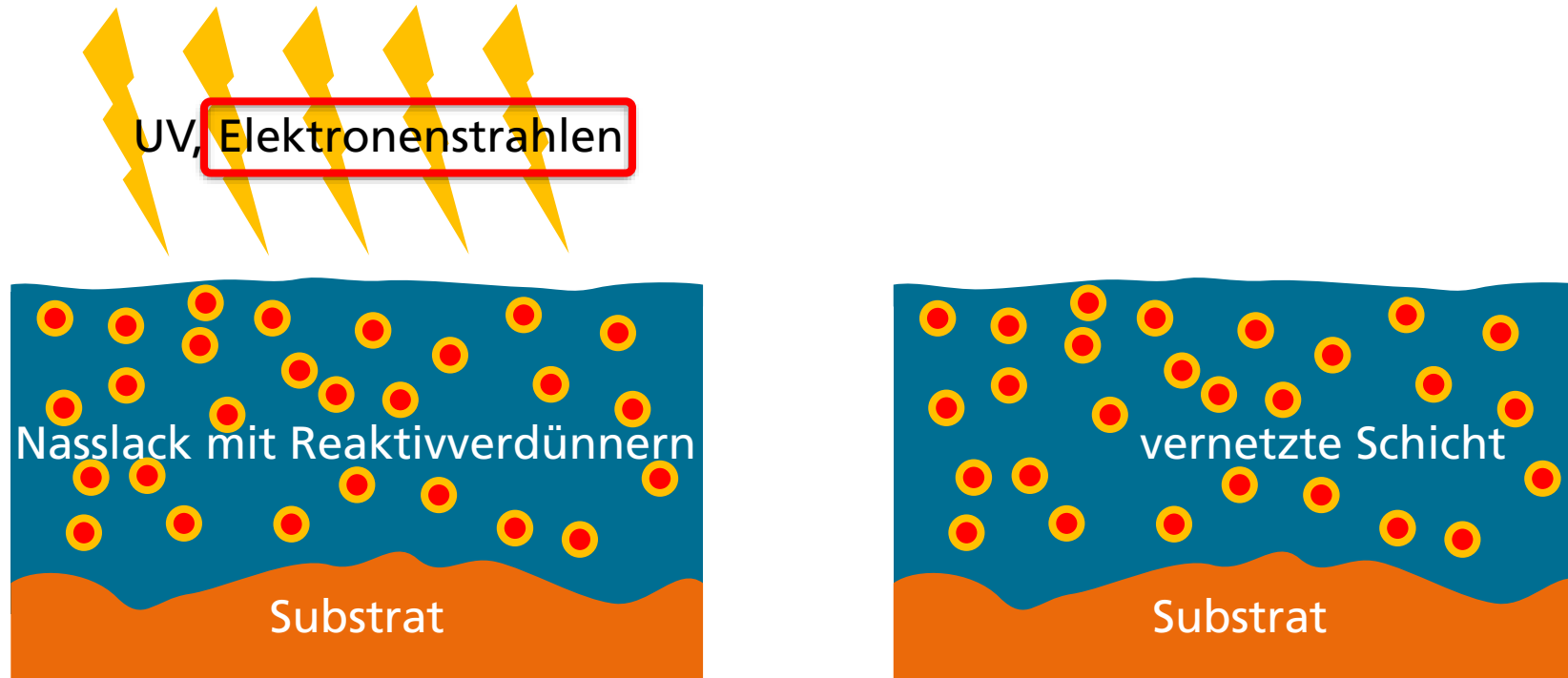


# Thermisches Trocknen / Vernetzen



- Lösemittel bestimmen Viskosität und Prozessierbarkeit
- Verdampfung der Lösemittel benötigt Zeit und Energie
- Nassfilmdicke  $\gg$  Trockenfilmdicke

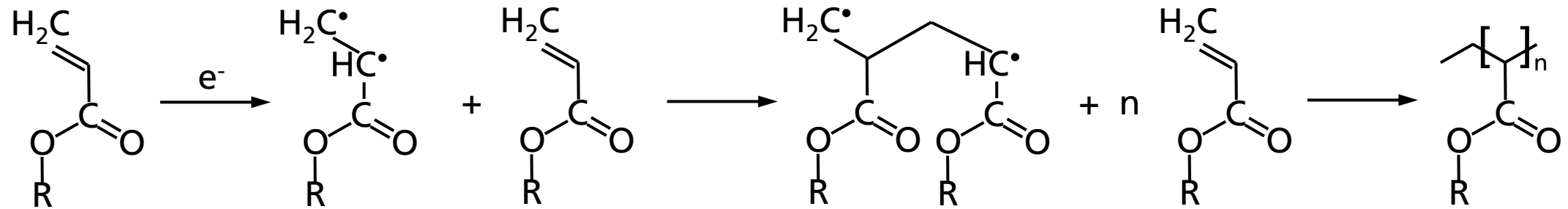
# Strahlenvernetzung



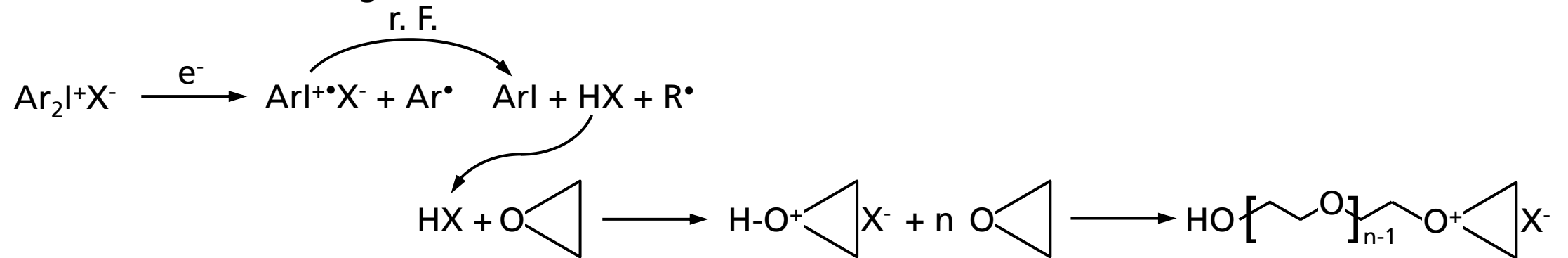
- Reaktivverdünner übernehmen Funktion der Lösemittel
- Reaktivverdünner werden in Schichtmatrix eingebunden
- Nassfilmdicke  $\approx$  Trockenfilmdicke

# Flüssig zu fest – Elektronenstrahlvernetzung auf Molekülebene

## ■ radikalische Vernetzung



## ■ kationische Vernetzung





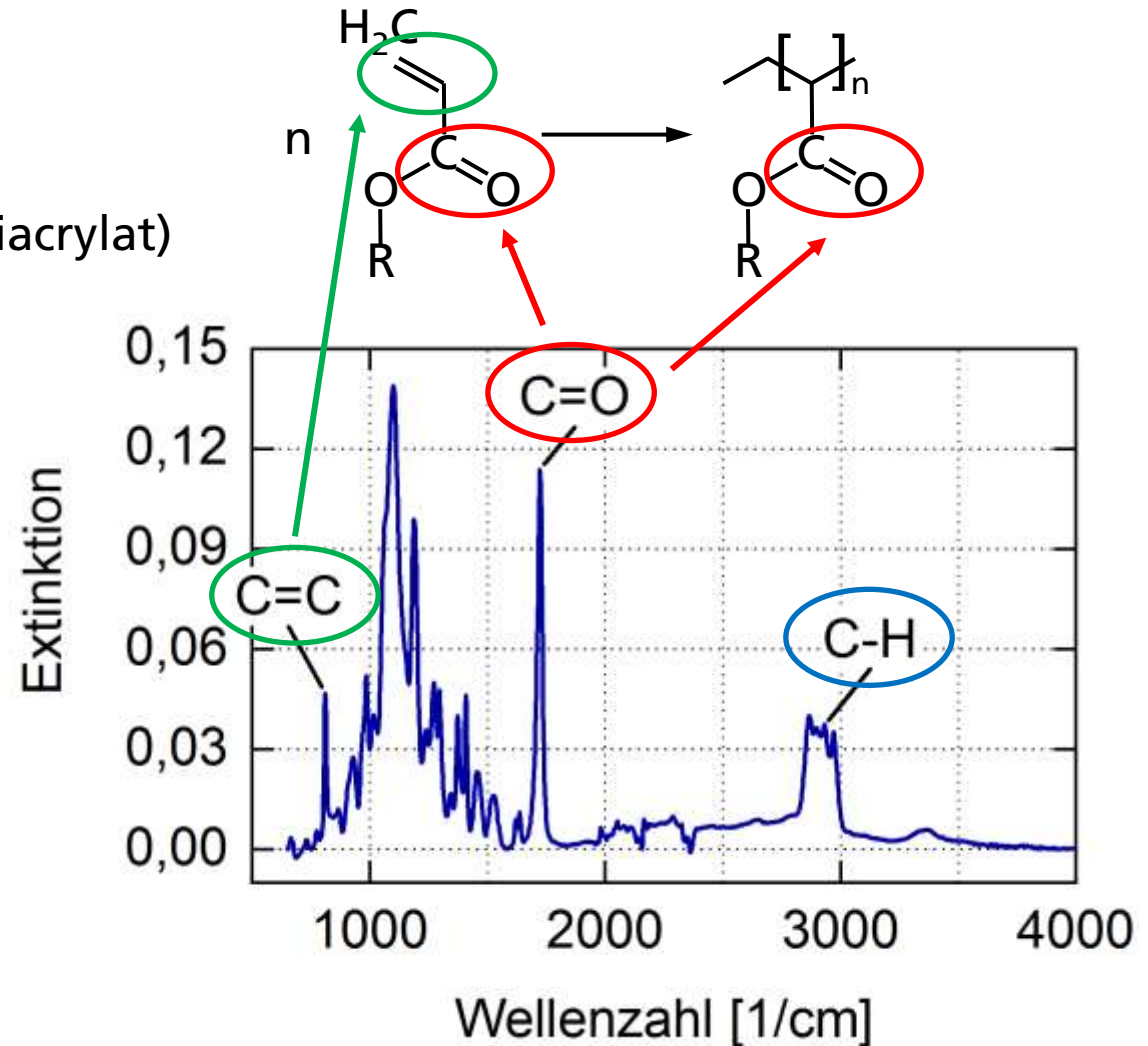
# Flüssig zu fest – Elektronenstrahlvernetzung auf Molekülebene

	radikalische Vernetzung	kationische Vernetzung
O <sub>2</sub> -Inhibierung (N <sub>2</sub> notwendig)	ja	nein
Feuchteempfindlich	nein	ja
Nachvernetzung	nein	ja
Materialvielfalt	hoch	limitiert
Photoiniatoren	nein	ja
Materialien reizend etc.	teilweise	gering
Schrumpf (Schichtstress)	moderat	gering
Schichthaftfestigkeit	moderat bis gut	gut bis sehr gut

# Nachweis der Vernetzung

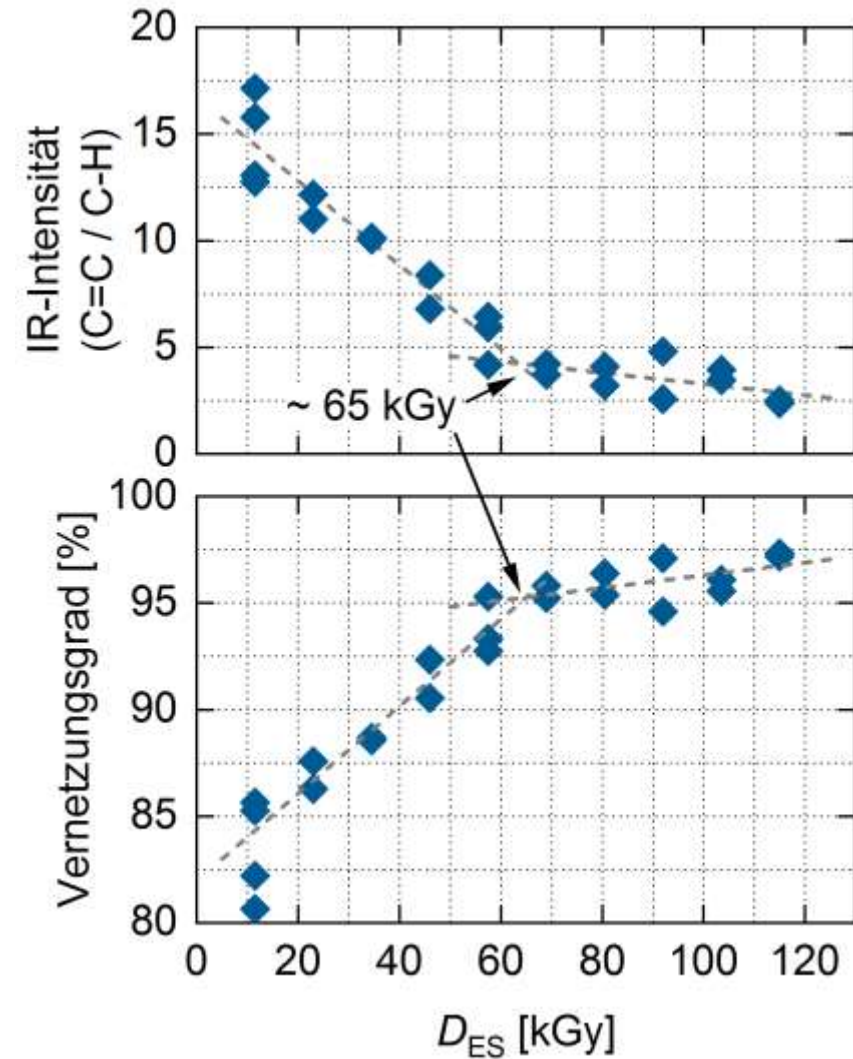
- ATR-FTIR-Spektroskopie
- acrylatbasierter Lack
  - 70 % Ebecryl 230 (aliphatisches Urethandiacrylat)
  - 30 % HDDDA (1,6-Hexandiol-Diacrylat)

- C=C Doppelbindung @ ca.  $810\text{ cm}^{-1}$
- C-H Bindungen @  $2850 - 3000\text{ cm}^{-1}$
- C=O Bindung @  $1730\text{ cm}^{-1}$   
→ CO<sub>2</sub>-Einfluss bei Messung kritisch
- Vergleich der Bindungsverhältnisse von Nasslack und vernetzten Proben
  - C=C / C-H oder
  - C=C / C=O



# Nachweis der Vernetzung

- acrylatbasierter Lack
- Schichtdicke ca. 15  $\mu\text{m}$
- Lackauftrag und -vernetzung bei 20 m/min und unterschiedlicher Elektronendosis  $D_{\text{ES}}$
- ATR-FTIR-Spektroskopie
  - C=C Doppelbindung @ ca. 810  $\text{cm}^{-1}$
  - C-H Bindungen @ 2850 – 3000  $\text{cm}^{-1}$



# Zusammensetzung von ES-härtbaren Tinten

## Pigmente / Farbstoffe:

- bestimmen Farbe, Abriebbeständigkeit etc.

## Additive:

- verbessern Verarbeitbarkeit, Lebensdauer etc.

## Monomere:

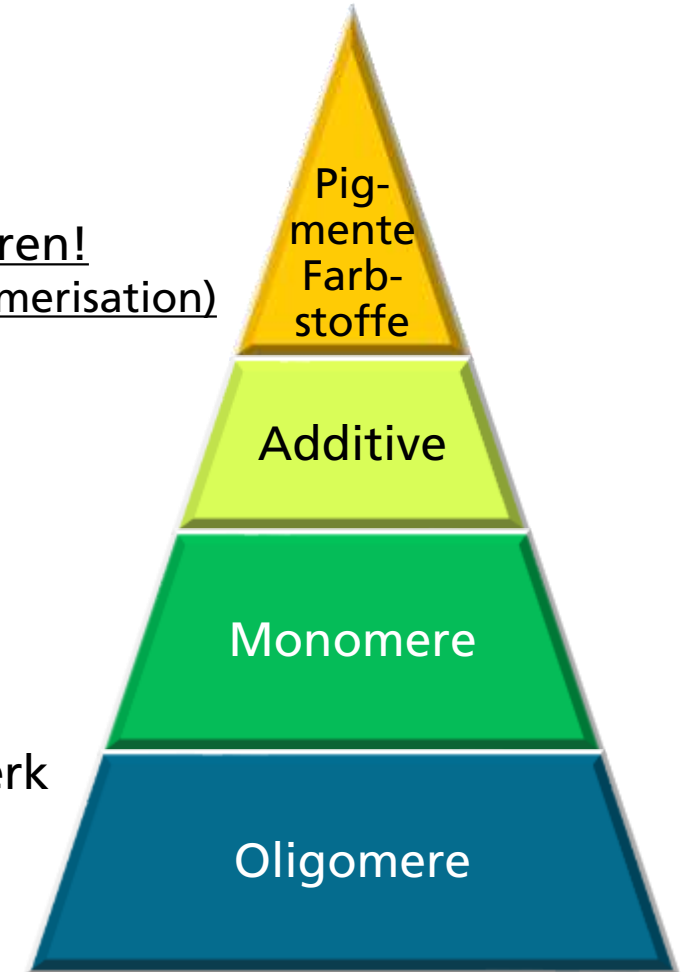
- bestimmen u. a. Flexibilität der Beschichtung
- meist viskositätsmindernd (wie Lösemittel)

## Oligomere:

- definieren Basiseigenschaften der Beschichtung
- formen polymeres Rückgrat

- ✓ Keine Lösemittel!
- ✓ Keine Photoinitiatoren!  
(bei radikalischer Polymerisation)

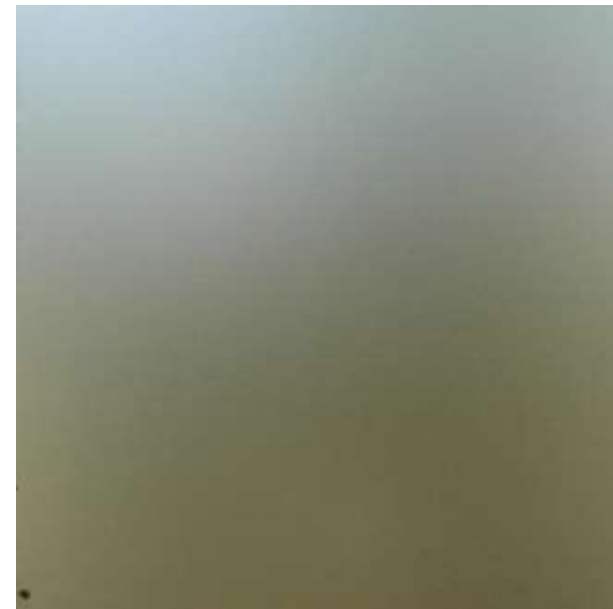
- enthalten C = C Doppelbindungen
- werden in Netzwerk eingebunden



# Einige Parameter der Elektronenstrahlvernetzung und von ES-Systemen

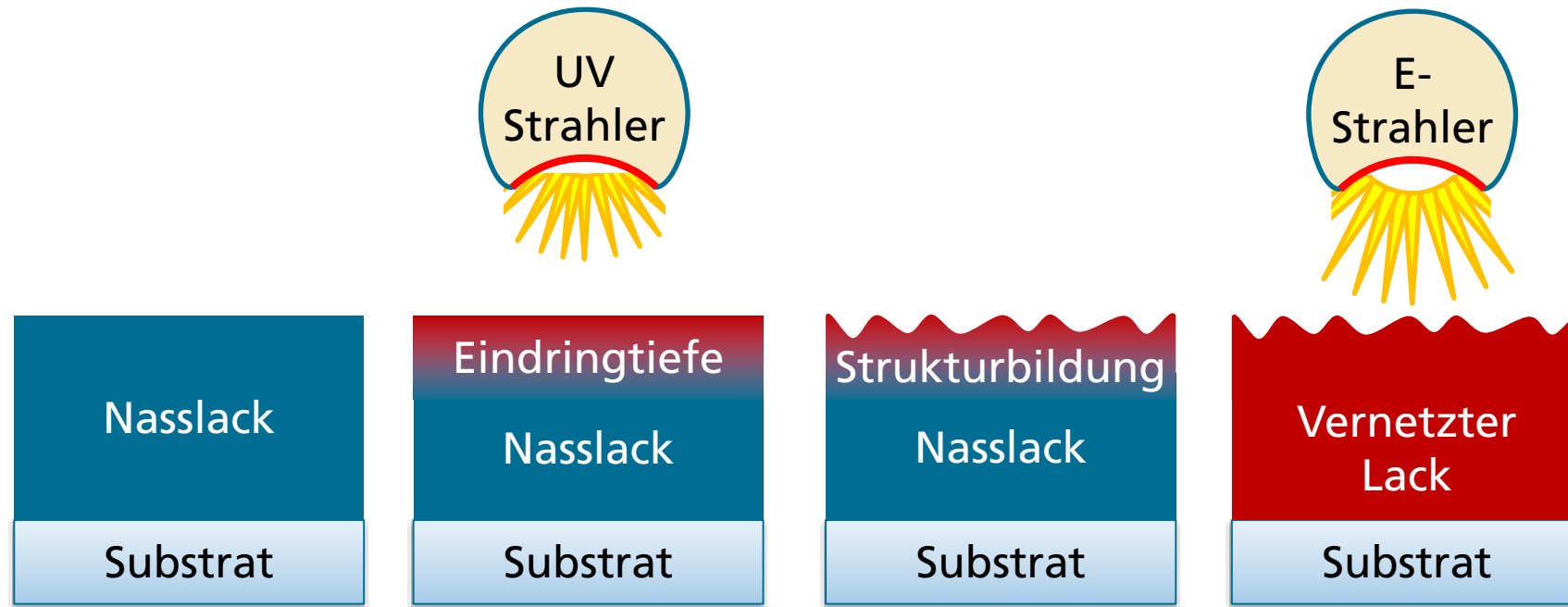
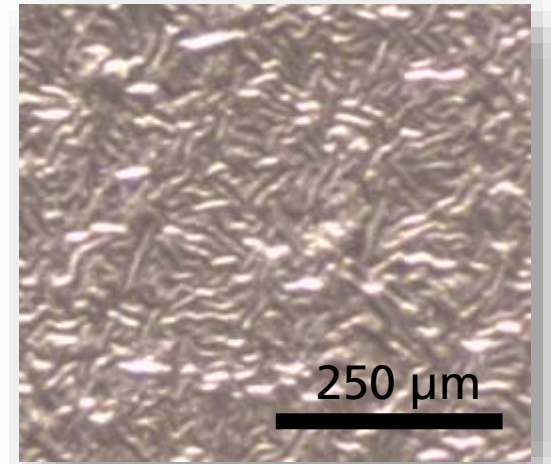
- Beschleunigungsspannung 100 – 300 kV
- Eindringtiefe ca. 75 – 300  $\mu\text{m}$
  
- Energietransport durch Elektronenstrahl in Lack  $\rightarrow 1 \text{ J/g} = 1 \text{ kGy}$
- Lackvernetzung benötigt ca. 20 – 100 kGy
  - 50 kGy  $\rightarrow \Delta T = 12 \text{ K}$  für 1 g Wasser  $\rightarrow$  Niedertemperaturprozess
  
- Leistung typischer ES-Systeme ca. 8.000 – 15.000 kGy m/min
  - Bsp.: 50 kGy @ 10.000 kGy m/min  $\rightarrow$  200 m/min
  
- Stellfläche von ES-Systemen ca. 5 m Länge x 1,5 x Behandlungsbreite

# Anwendungsbeispiele

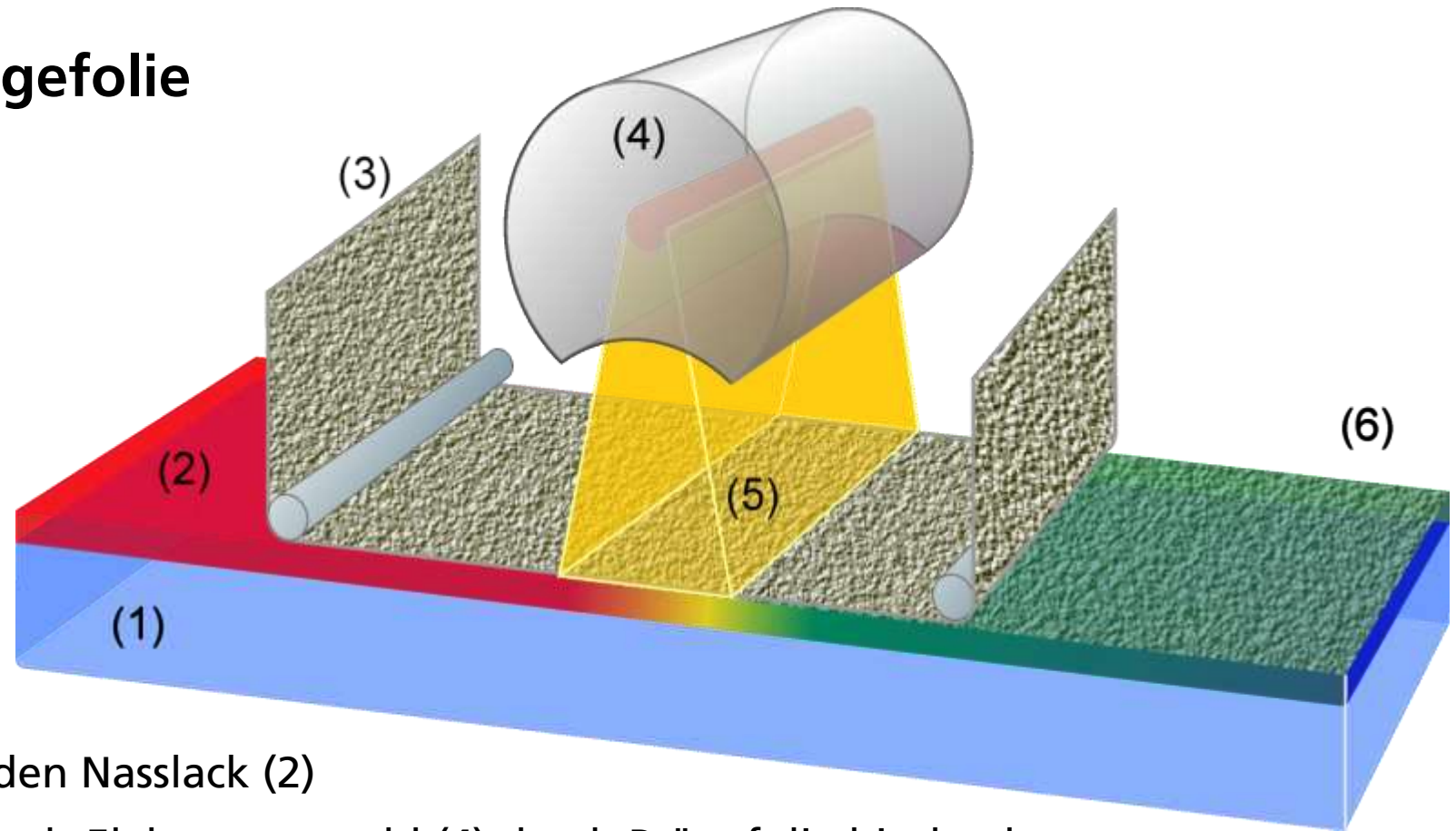


# Mattierung mittels Excimer & E-Strahler

- zweistufiger Prozess
- Excimer-Vernetzung oberflächennah
- vernetzungsbedingte Eigenspannungen → Oberflächenfaltung
- anschließende ES-Komplettvernetzung → Fixieren der kompletten Schicht



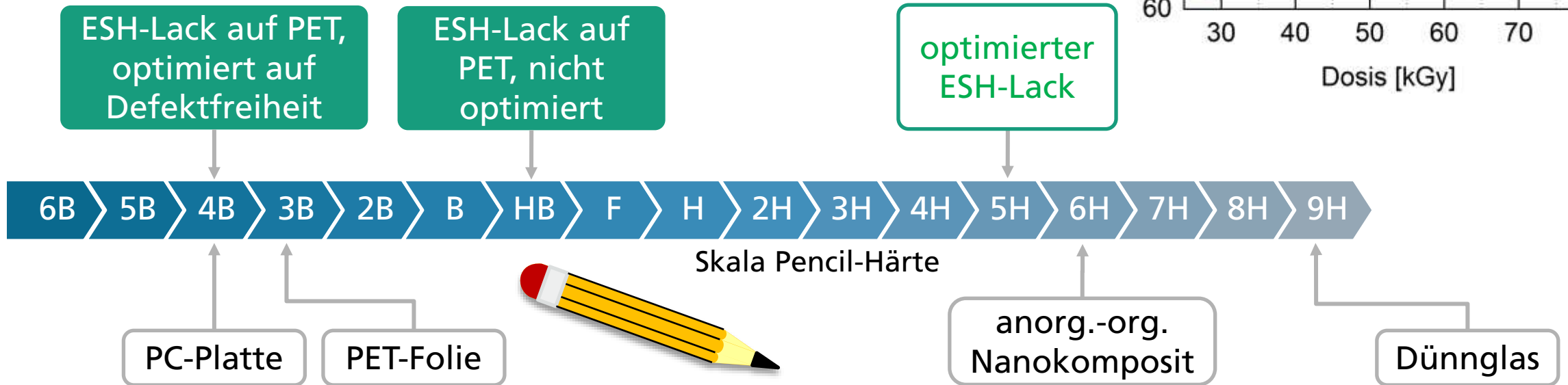
# Strukturierung mittels Prägefolie



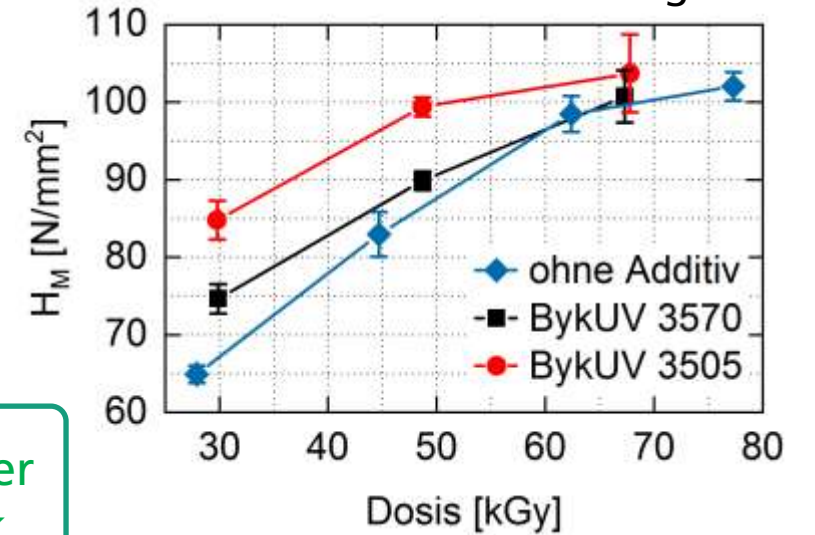
- Auflegen der Prägefolie (3) auf den Nasslack (2)
- Vernetzen (5) des Nasslackes mittels Elektronenstrahl (4) durch Prägefolie hindurch
- Wiederverwenden der Prägefolie
- metallische oder polymere Prägefolie verwendbar
- Herstellung haptischer, mattierter oder anderweitig strukturierter Oberflächen (6)



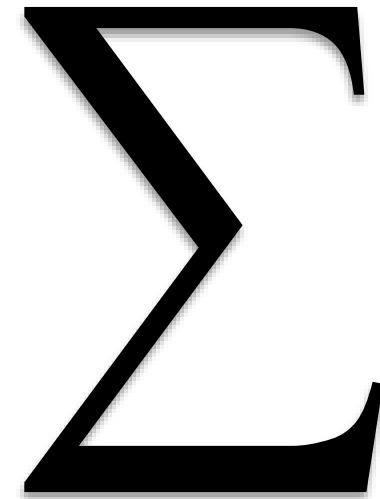
# Kratzfestigkeit



Dosisabhängigkeit  
Nanointendermessung

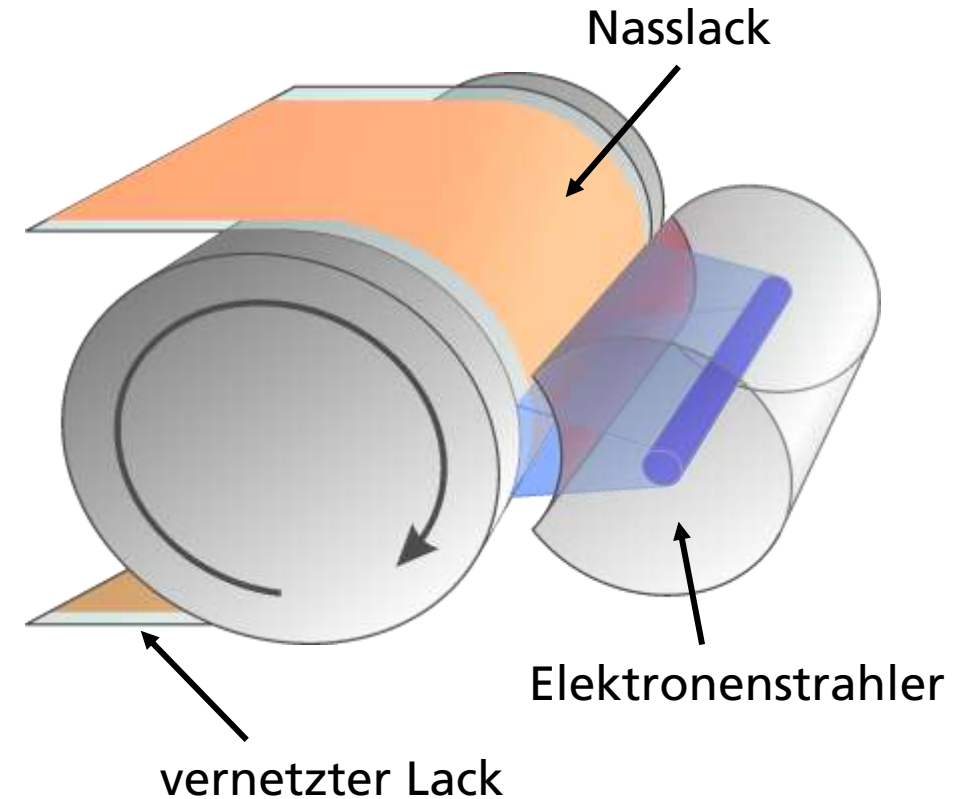


# Zusammenfassung



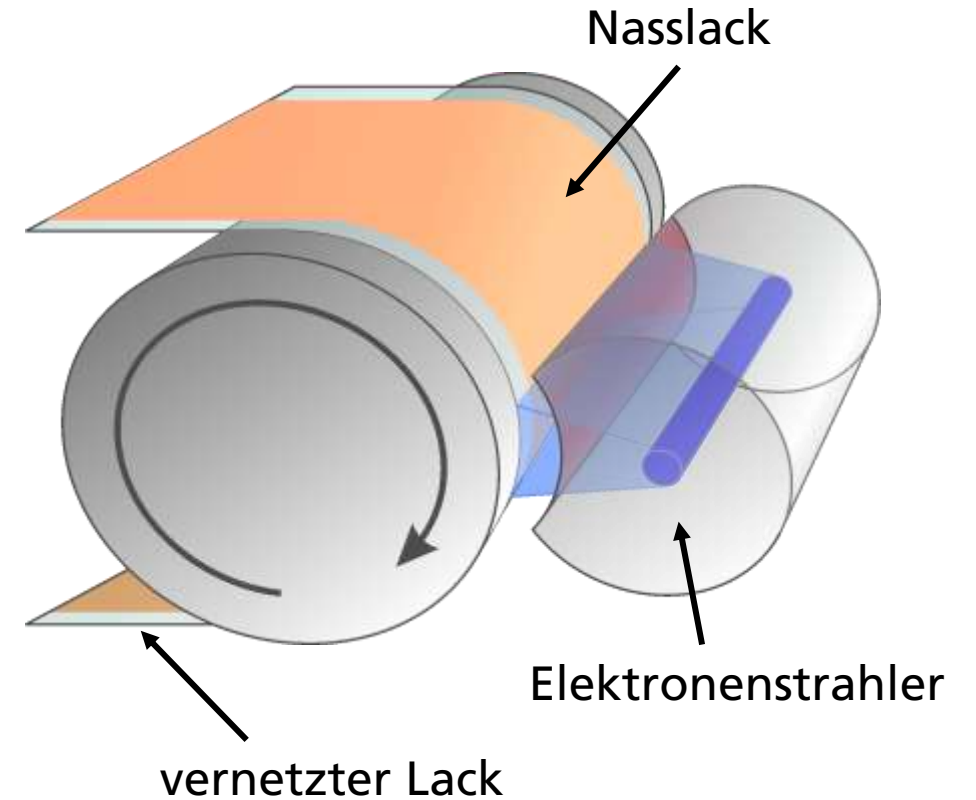
# Technische Vorteile der ES-Vernetzung

- hoher Vernetzungsgrad erzielbar (~100 % sind möglich)
- Keine Photoinitiatoren notwendig
- Pigmente beeinträchtigen nicht die Vernetzung
  - Farben sind unproblematisch (auch gelb)
  - hohe Pigmentkonzentrationen zulässig
- Niedertemperaturprozess
- 100 % Chemie – Keine Lösemittel, VOC-frei



# Kostenvorteile der ES-Vernetzung

- hohe Lebensdauer von ES-Systemen
  - 15 – 20 Jahre sind typisch
- Niedrige Betriebskosten
- Hohe Produktivität bei geringer Stellfläche
- VOC-frei
  - Kein ATEX für Maschine
  - Kein ATEX für Lacktransport und -lagerung
  - Versicherungen ohne ATEX-Risikoaufschlag



# Elektronenstrahlhärtung von Druckfarben und Lacken Grundlagen und Substratbeeinflussung

Kontakt:  
Dr. Steffen Günther  
Fraunhofer FEP  
Winterbergstr. 28  
01277 Dresden



[steffen.guenther@fep.fraunhofer.de](mailto:steffen.guenther@fep.fraunhofer.de)  
[www.fep.fraunhofer.de](http://www.fep.fraunhofer.de)