

Modul:

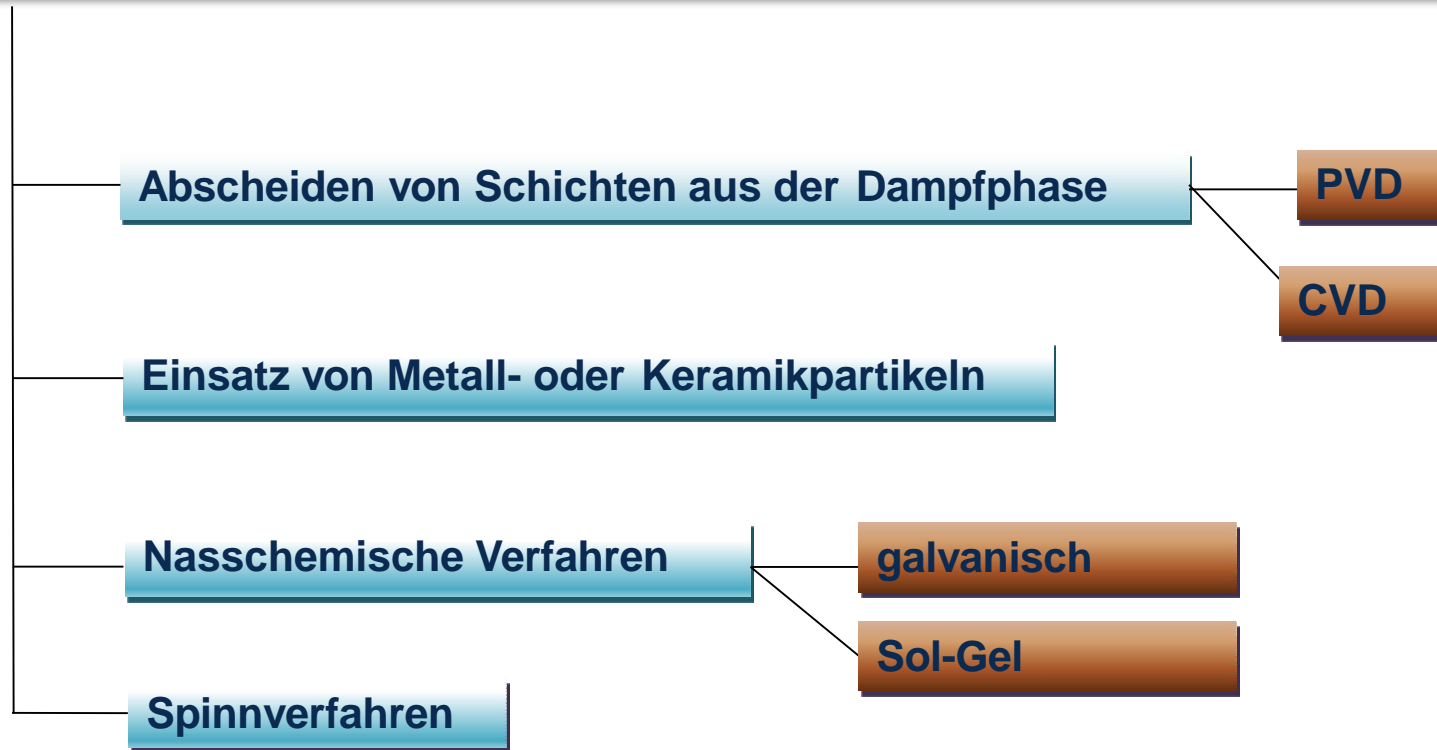
Grundlagen des Verarbeitungsmaschinen- und Textilmaschinenbaus (5 LP)

Lehrveranstaltung: Funktionalisierung und Grenzschichtdesign (2/2/1)

- **Dozent:** Dr.-Ing. Toty Onggar
- **Teilnehmer:** MwDMB5-VTM
MwDMB-3-AVT
DA-Wing

Lehrveranstaltung 5: Metallisierung von textilen Materialien

METALLISIERUNGSVERFAHREN FÜR TEXTILE FASERSTOFFE

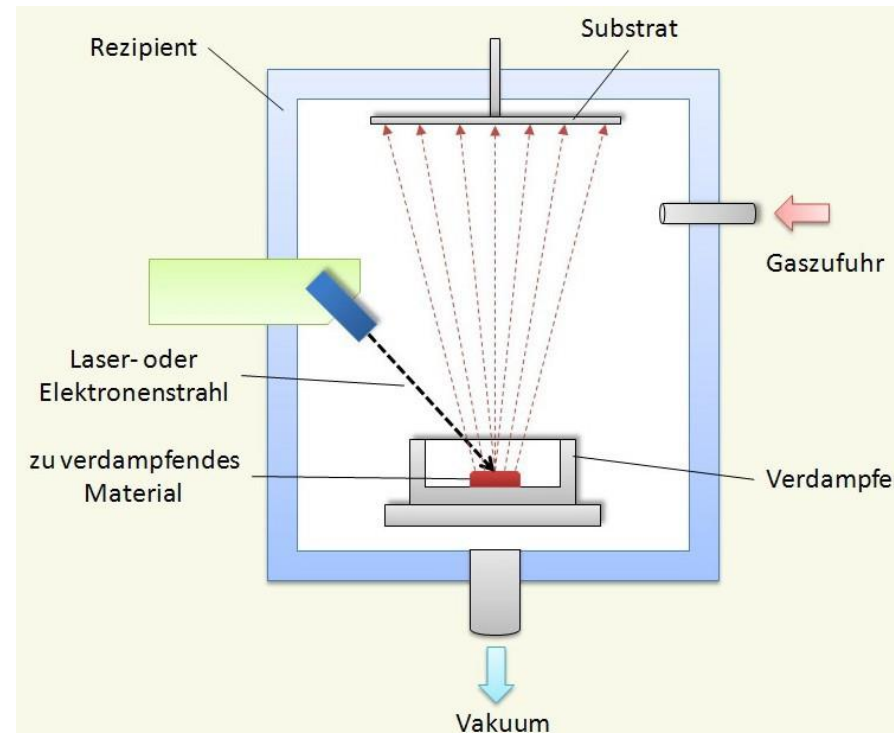


/Dietzel, Y.: Beschichtung von textilen Flächen mit den PVD-Technologien reaktives Vakuumbogen-Verdampfen und reaktives Magnetron-Sputtern. TU Dresden, Dissertation, 2004/

Abscheiden von Schichten aus der Dampfphase - PVD

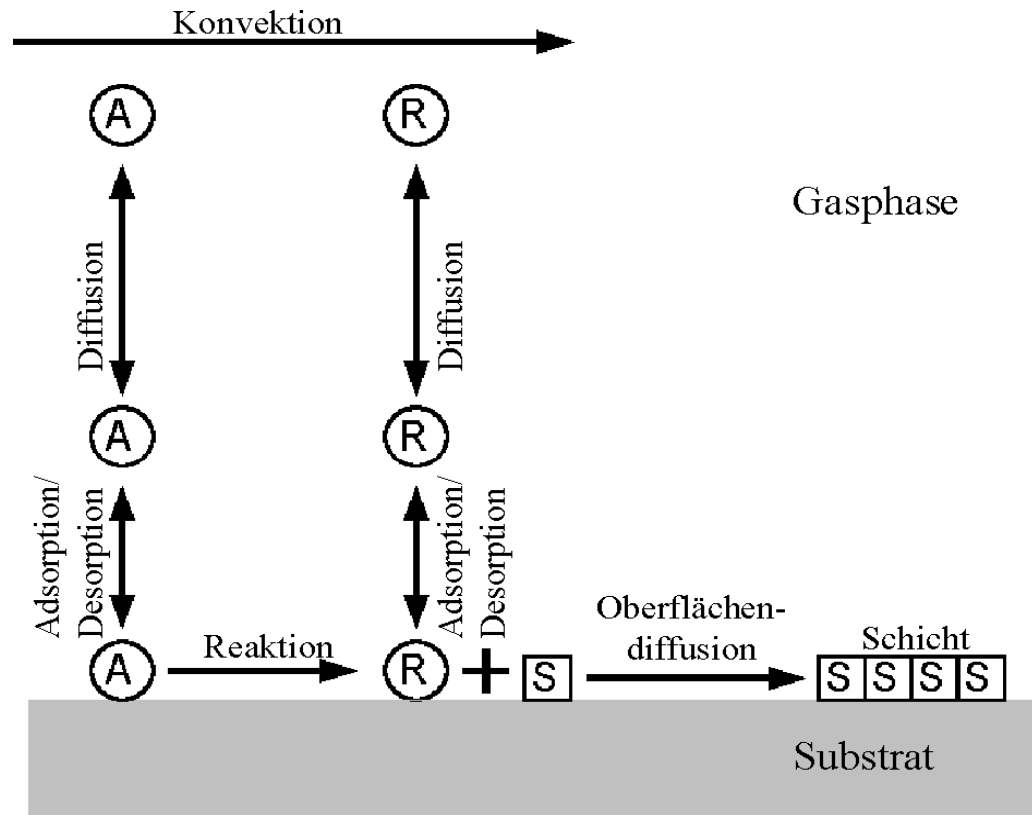
Gasphasenabscheidung

Beschichten über die Gasphase = **Physikalische Gasphasen-Abscheidung**
(Physical Vapor Deposition = PVD)



Schematische Darstellung des PVD-Verfahrens

Abscheiden von Schichten aus der Dampfphase - CVD



Ablauf eines CVD Prozesses

Erniedrigung der Beschichtungstemperatur

Hochtemperatur-CVD

900 – 1100 °C

Precursoren: Halogene (z.B. TiCl_4), Reaktivgas: N_2 , ...

„Reaktivgas“-CVD

... - 700 – 900 °C

Reaktivgas: z.B. CH_3CN anstelle von N_2 , O_3 anstelle O_2
(reaktionsfreudigere Nichtmetall-Verbindungen)

MO-CVD (metallorganische CVD)

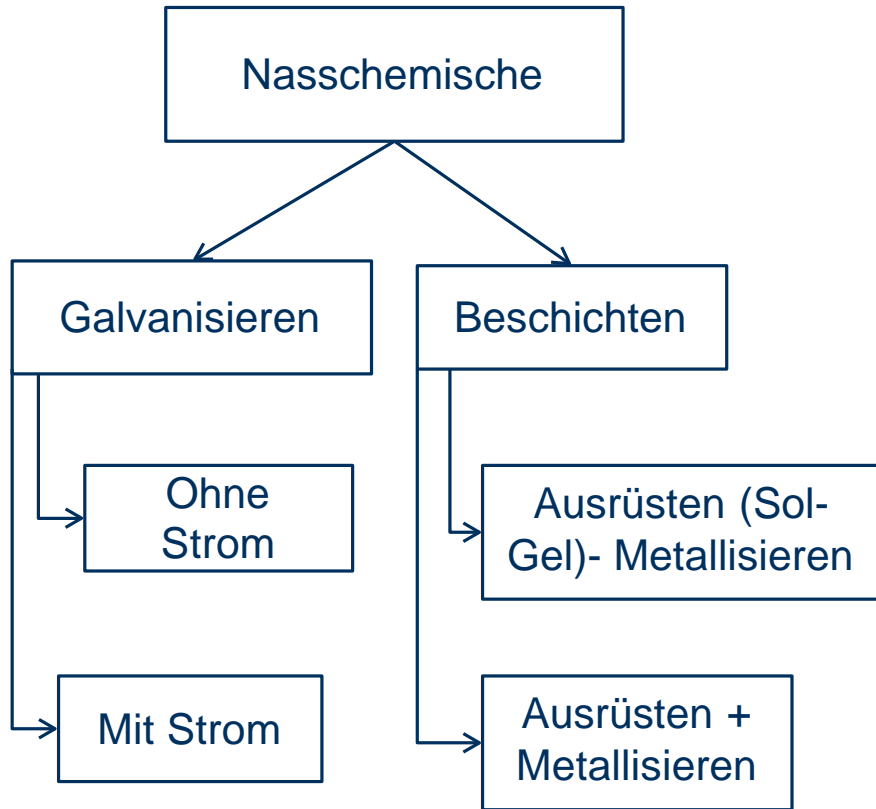
... - 400 – 500 °C

Precursoren: z.B. Carbonyle, Alkyle, Hydride
(reaktionsfreudigere Metall-Verbindungen)
oft giftig / brennbar

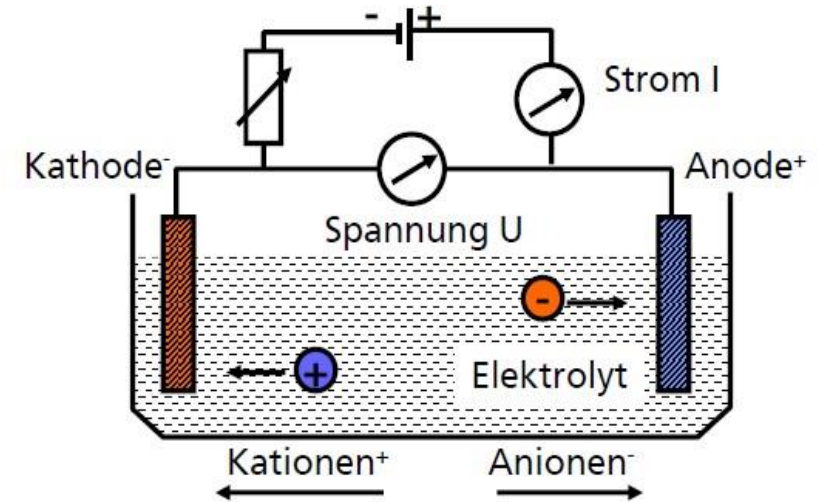
Plasma-CVD

z.T. Absenkung auf Raumtemperatur möglich
(Ergänzung / Ersatz durch Plasma-Aktivierung)

Nasschemische Verfahren – Galvanisch oder nasschemisch



Galvanisch -
elektrolytisches
Metallabscheiden



Wanderungs- und Anlagerungsbewegung von Kationen in wässriger Lösung
Quelle der Kationen: - Anode, die in Lösung geht

- ionisierter Elektrolyt
- angelegte Spannung bewirkt Wanderung der Kationen
- Niederschlag der Kationen auf der Kathode
- Bed.: Werkstücke sind metallisch leitend oder metallisiert
- theoretisch: jedes Metall abscheidbar
- praktisch: nicht jedes Metall auf jedem abscheidbar (edel / unedel)
- Zwischenschichten erforderlich

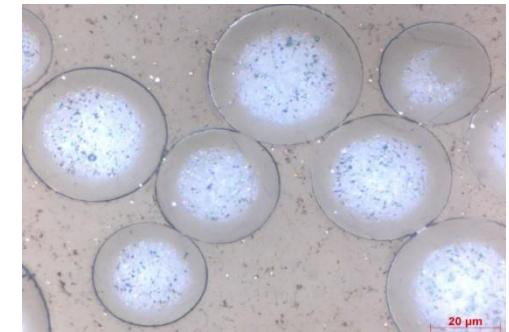
Einsatz von Metall-, Keramikpartikeln oder Carbon black

Schmelzspinnverfahren

- Druck,
- Beschichtung,
- Im Verbund integrieren



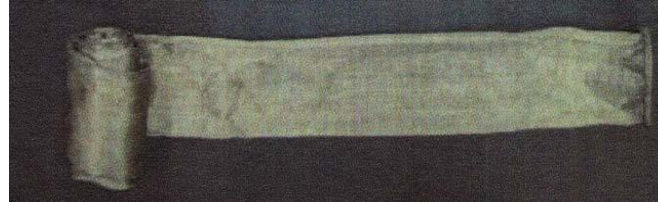
Carbon black



Kern-Mantel-Typ

Nasschemische Beschichtungsverfahren für Polyamidgarne

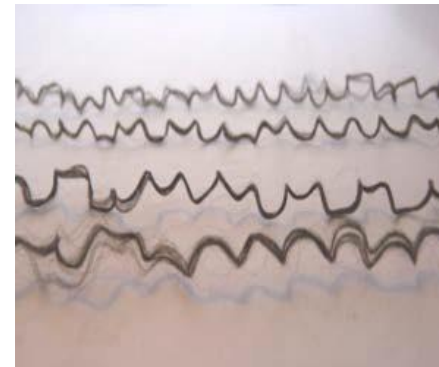
1. Beschichtung von gestrickten Flächengebilden



2. Auftrennen zum Silbergarn

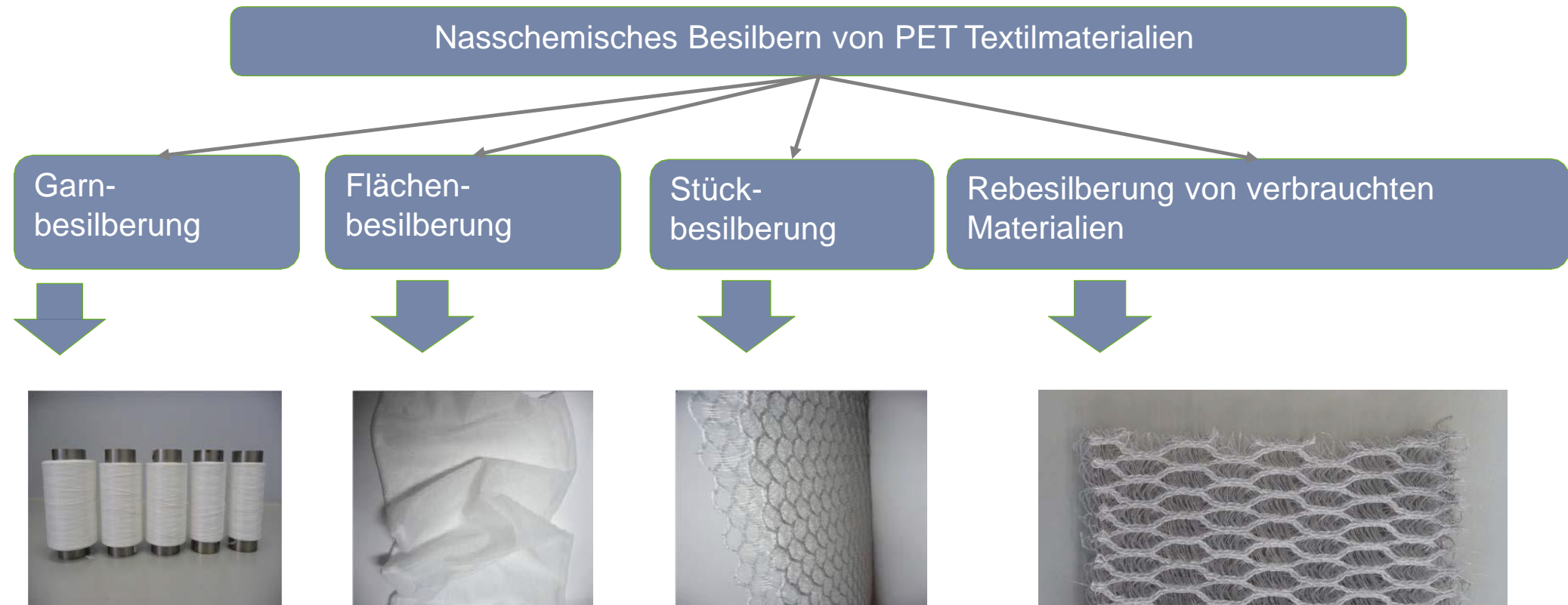


3. Verarbeitung in 3D-Gewirke



Mascheneffekt

Besilbern von chemisch inerten Polyester-Substraten in verschiedenen Aufmachungsformen

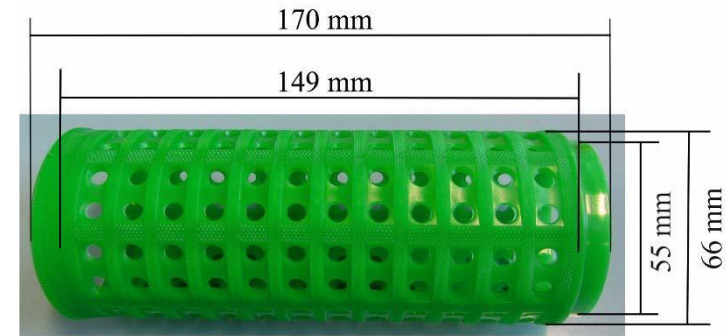


Prozessschritte

Spulentechnologie



Spulmaschine der Autoconor X5

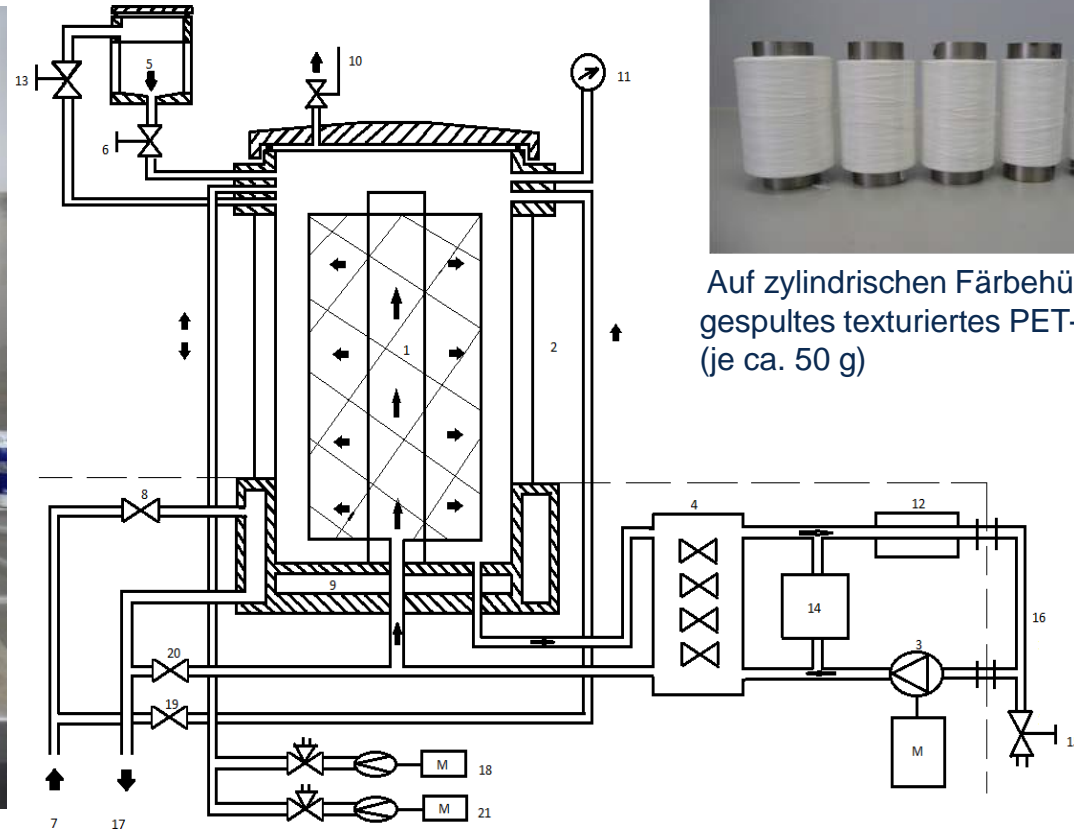


Positionierung der Bewicklungsbreite der Färbehülse



Auf eine zylindrische Färbehülse gewickelte Garne im Labormaßstab (rechts) und in der Produktion (links)

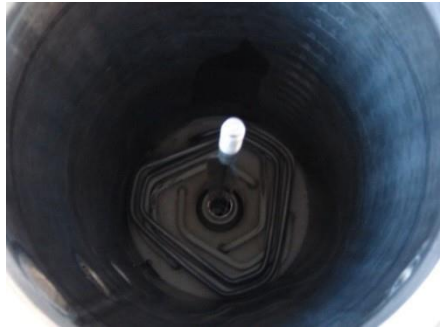
Garnmetallisierung im Labor- Färbeapparat



Auf zylindrischen Färbehülsen
gespultes texturiertes PET- Garn
(je ca. 50 g)

Zeltex Colorstar CS2 Färbeapparat (Zeltex AG, Basel, Schweiz) und Funktionsprinzip des Zeltex-Colorstar CS2 Färbapparates /127/

Garnbesilberung in einem HT-Färbeapparat



HT-Färbeapparat Vald. Henriksen B. V. mit einer Spindel (a) und mit drei Spindeln (b)



Unbehandeltes 9 Garnspule je 210 ± 35 g an drei Spindeln

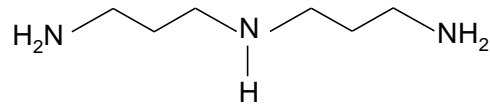


HT-Färbeapparat Vald. Henriksen B. V. von der Firma ALTERFIL® Nähfaden GmbH

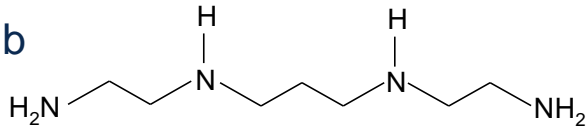
Eingesetzte Beschichtungsmitteln

1. Aliphatische Amine

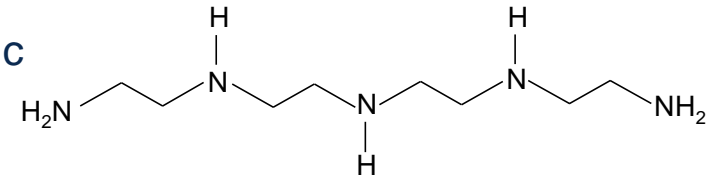
a



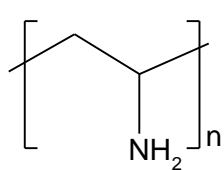
b



c

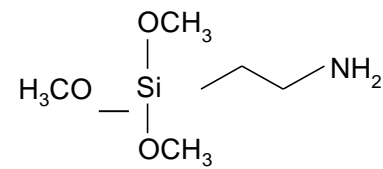


d

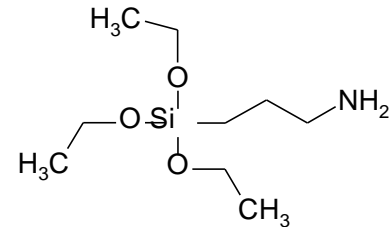


2. Aminosilane

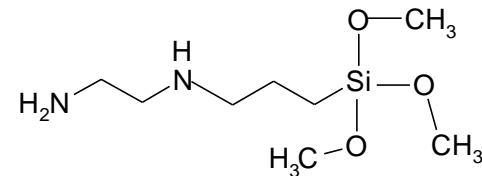
a



b

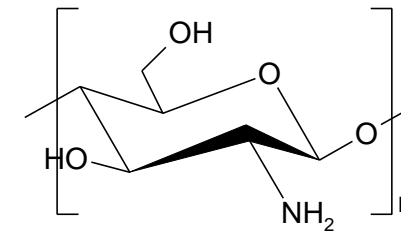


c

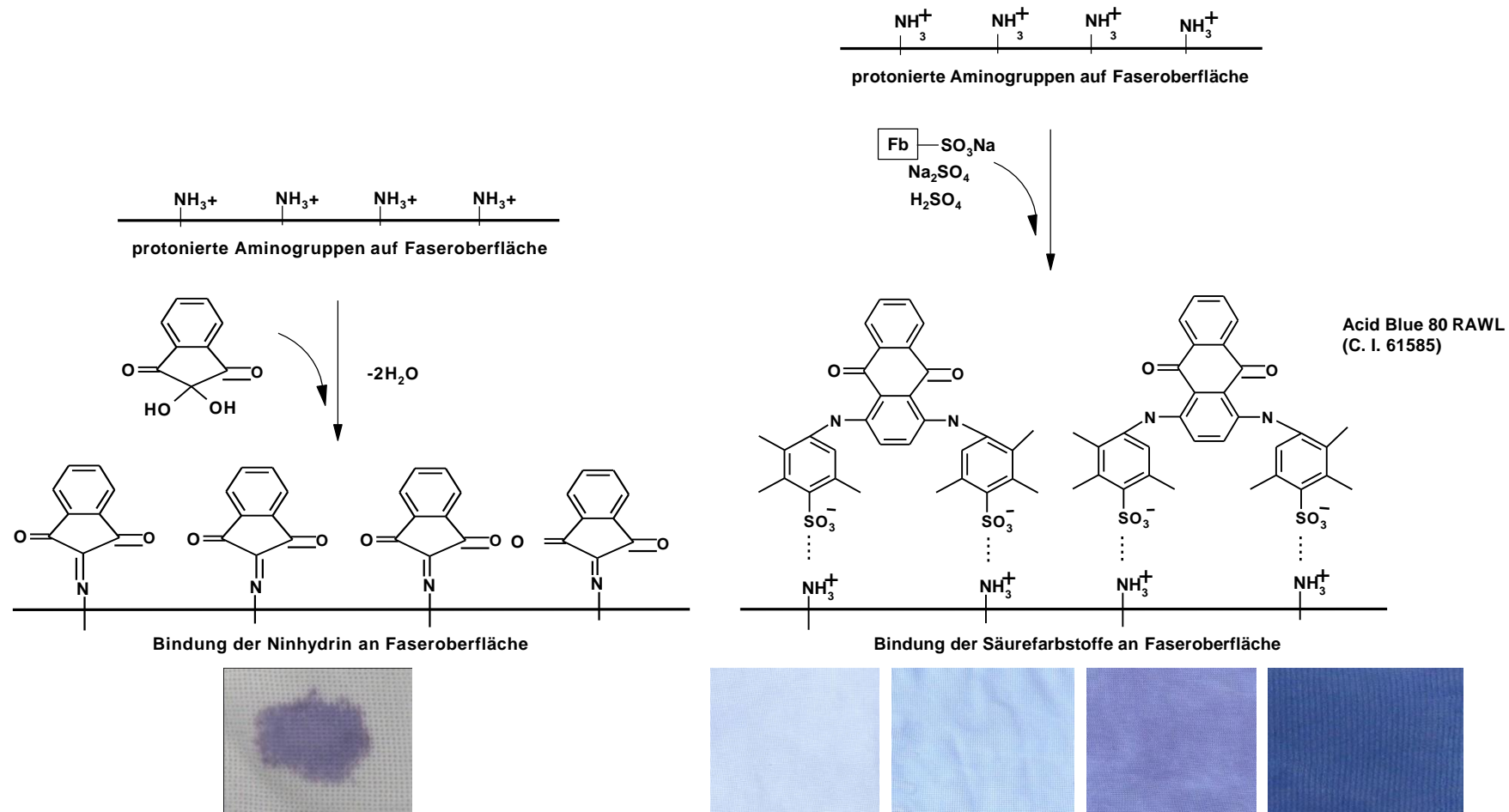


3. Chitosan

a

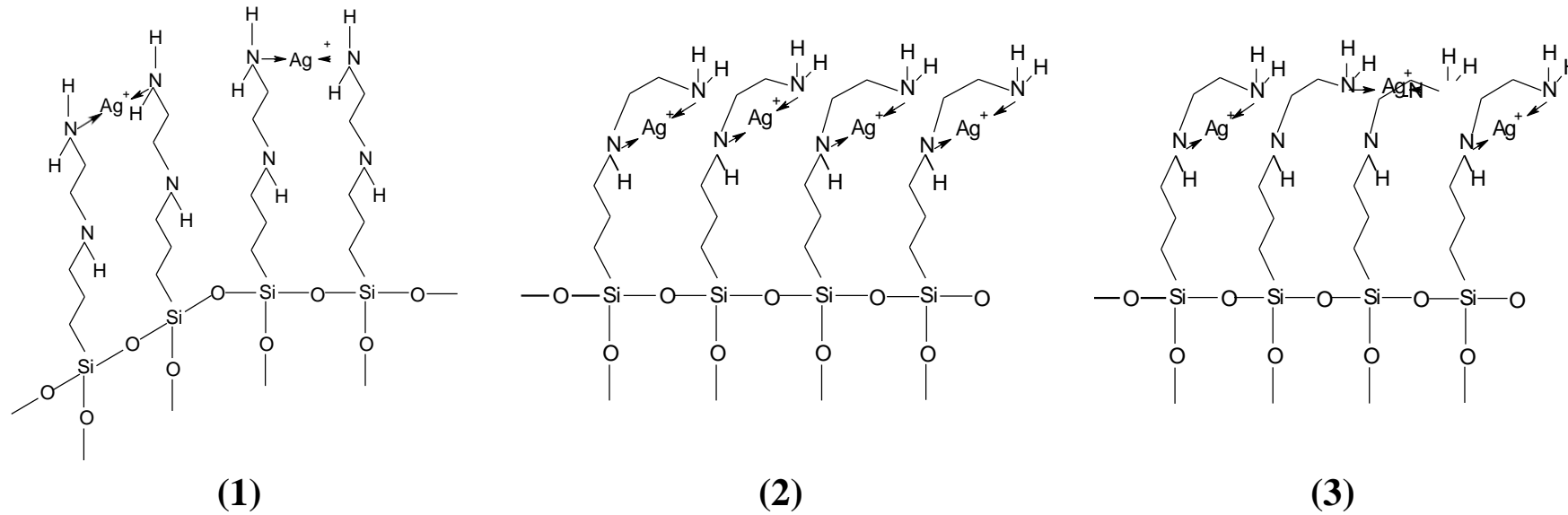


Aminogruppen-Nachweis durch Anfärbungen



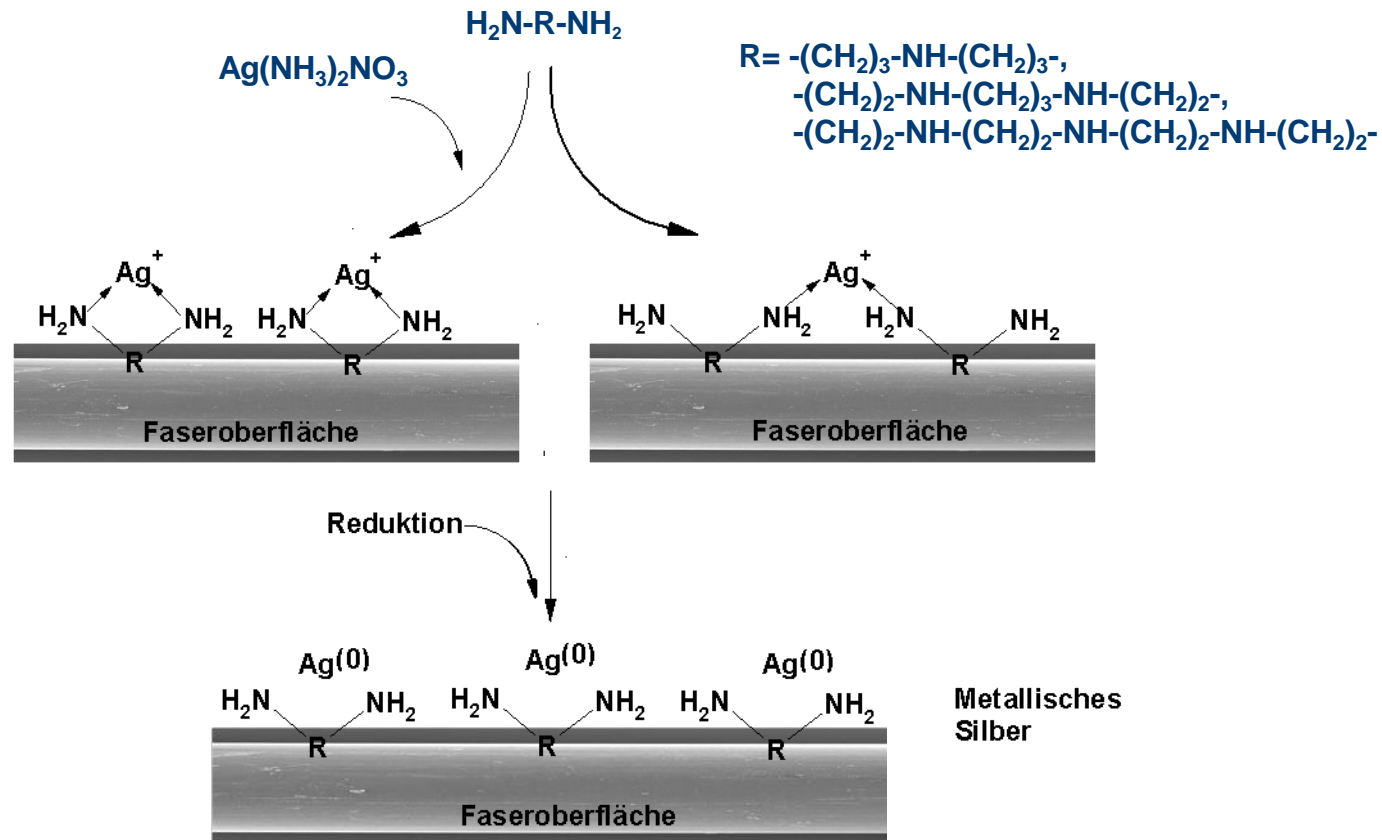
Bindungsmechanismus zwischen Aminogruppen und Ninhydrin (links) sowie dem Säurefarbstoff Acid Blue 80 RAWL (rechts)

Schematische Darstellung der Vorstellung einer Bindung Faser-Silan-Matrix

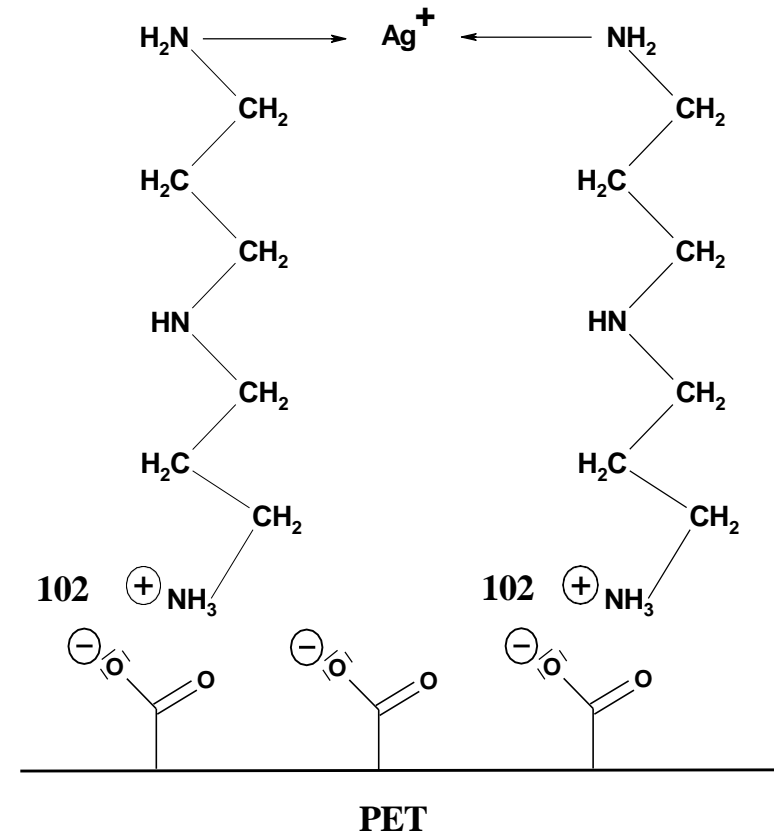
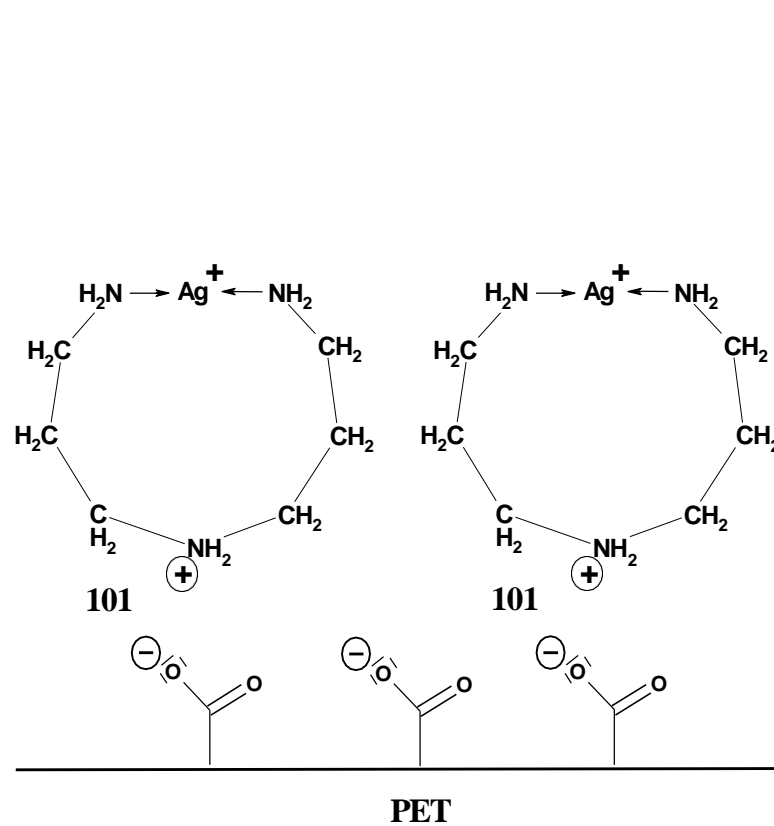


Komplexbildungsmöglichkeiten von Silberionen mit N-(2-Aminoethylen)-3-Aminopropyltrimethoxysilan ($C_8H_{22}N_2O_3Si$)

Prinzipdarstellung der Komplexbildung von aliphatischen Tri-, Tetra- und Polyaminen

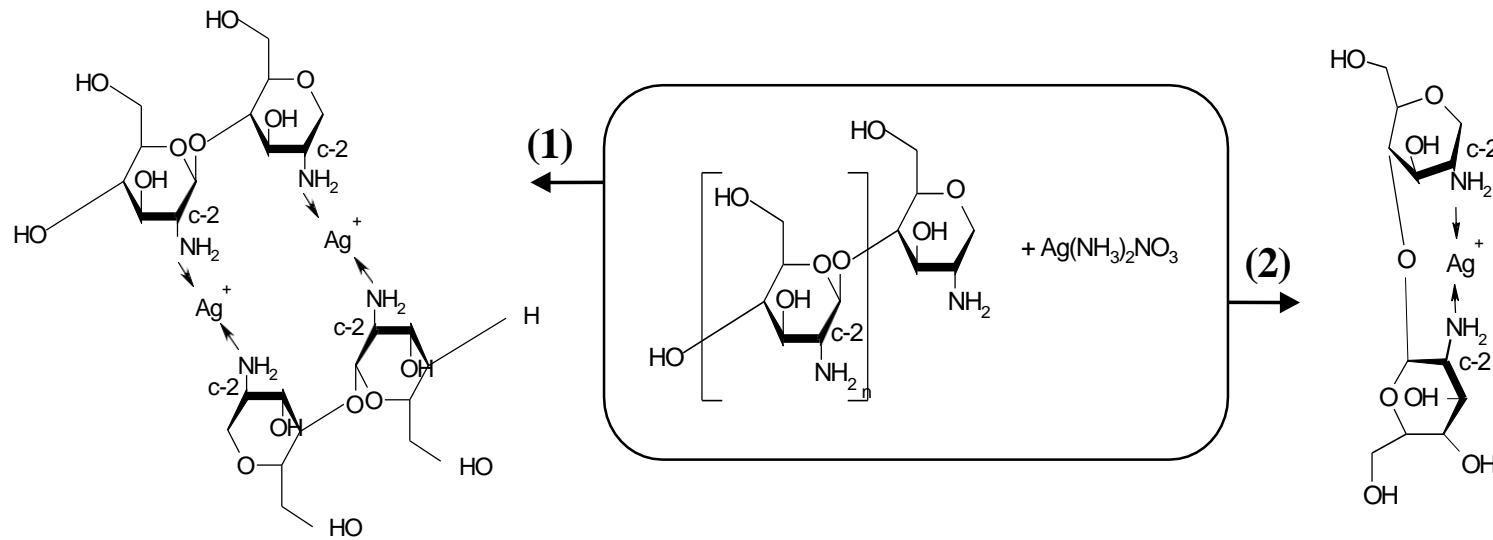


Schematische Darstellung der Vorstellung einer Ionenbindung zwischen PET und APA



Komplexbildungsmöglichkeit zwischen Silberion und primären Aminogruppen von aliphatischen Aminketten

Schematische Darstellung der Vorstellung einer Ionenbindung zwischen PET und Chitosan



Komplexbildungsmöglichkeiten von Silberionen mit Chitosan

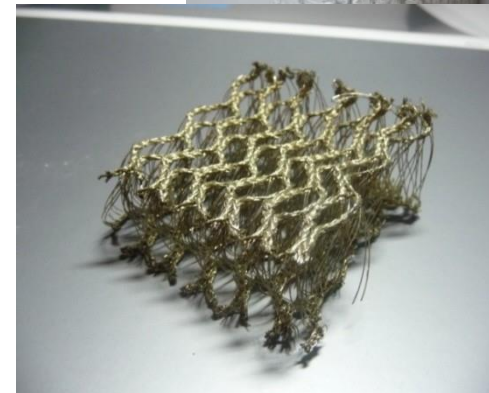
Besilbern von chemisch inerten Polyester-Substraten in verschiedenen Aufmachungsformen



PET-Gewirke



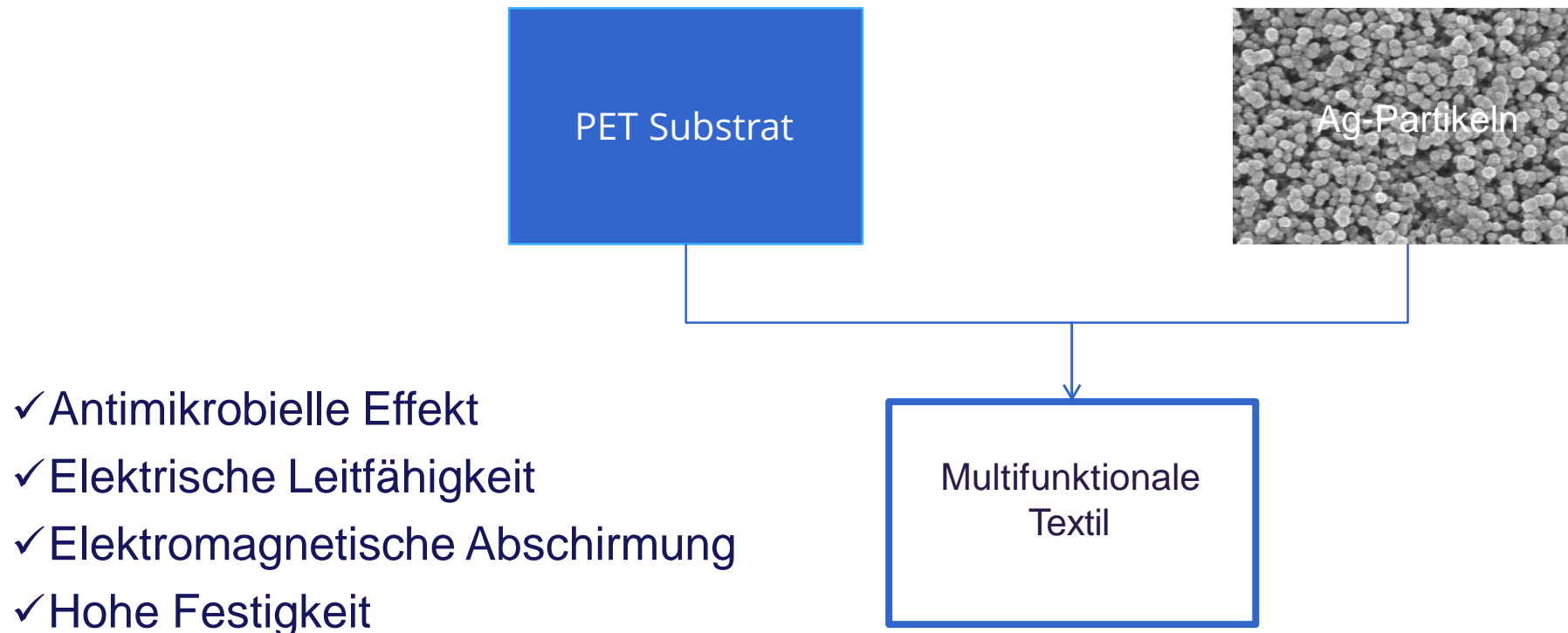
PET-Garn



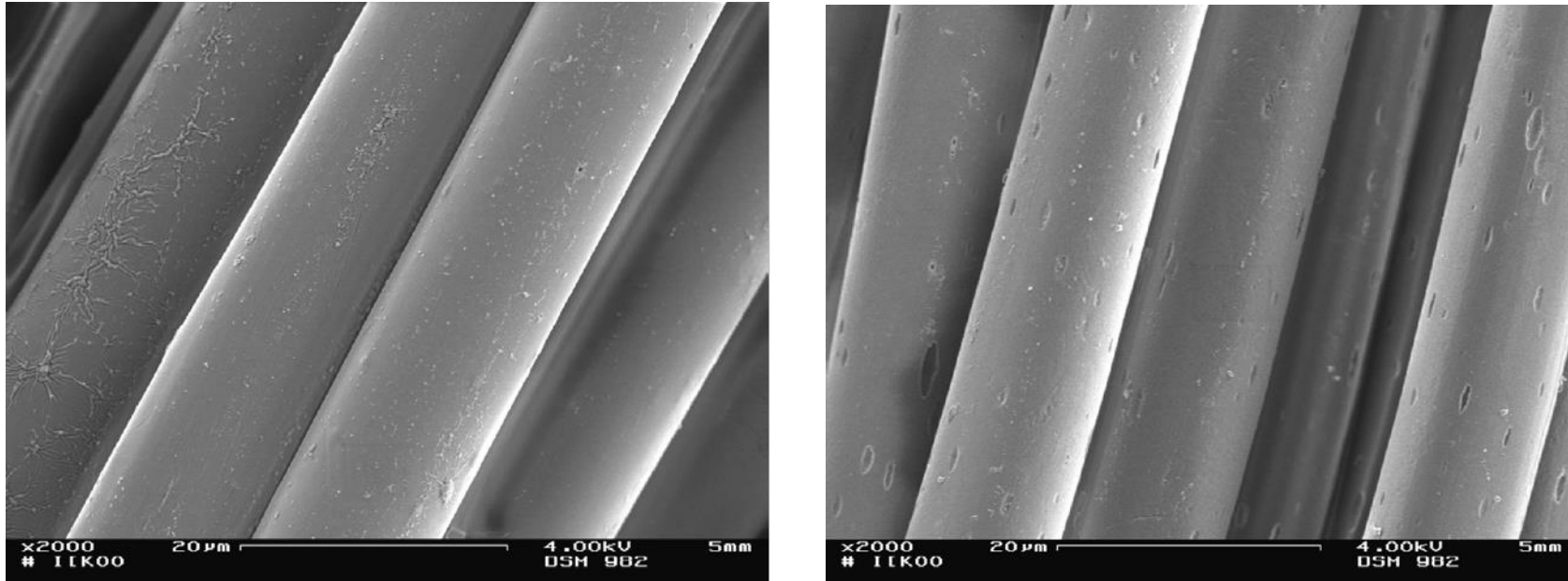
PET-3D-Gewirke

Silberpartikel auf den Textilmaterialien

Die Kombination der Eigenschaften beider Komponenten führt zu multifunktionale Textilien:



Oberflächeneigenschaften



REM-Aufnahmen (2000x) vom unbehandelten (links) und mit 0,5 N NaOH (rechts) behandelten PET-Gewirken, DSM 982 Gemini (Carl Zeiss, Jena, DE)

Oberflächenmorphologie



Vorbehandlung
und
Besilberung



Besilbertes texturiertes PET-Garn (54/4 Nm)

Eine Reihe von Behandlung ermöglicht die gleichmäßige Ummantelung der Silberschicht auf der Polyesterfaseroberfläche

Oberflächenmorphologie



Vorbehandlung,
Besilberung und
Reduktion



Eine Reihe von Behandlung ermöglicht die gleichmäßige Ummantelung der Silberschicht auf der Polyesterfaseroberfläche

Interne und externe Einflussfaktoren des nasschemischen Metallisierungsprozesses

Interne Einflussfaktoren



1. pH-Wert der Lösung,
2. Alterungsdauer der Besilberungslösung,
3. Ag-Konzentration,
4. ACS-Konzentration,
5. Besilberungsdauer,
6. Besilberungstemperatur,
7. Nachbesilberungsprozess,
8. Thermofixierungstemperatur und
9. Thermofixierungsdauer.

Externe Einflussfaktoren



1. Wickeltechnik,
2. Volumenstrom,
3. Flottenlaufrichtung und
4. Flottenwechsel
5. Druck der Foulardwalzen
6. Art des Filaments (Multi, Mono) und
7. Material (PA und/oder PET).

Einstellbare Partikelgröße und Schichtdicke

Einflussfaktoren



Interne
Externe



Einstellbare Größe



Partikelgröße
Schichtdicke



Erzielte Eigenschaften



- antimikrobiell Wirksam
- eine waschstabile Silberschicht
- ausreichende Festigkeit
- elektrisch leitend

Farberscheinungen nach dem Besilbern sowie Nachbesilbern auf der Faseroberfläche

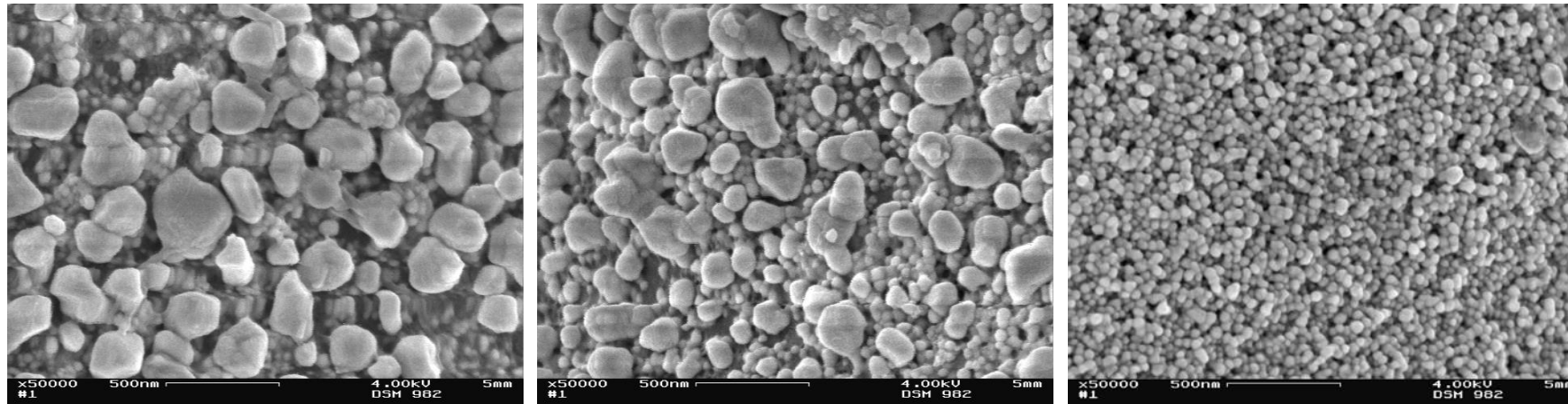


Optischer Eigenschaften mittels Einbad- und Zweibad-Verfahren behandelter PET-Gewirke

Die Größe und die Form der Silberpartikel, der Abstand zwischen den Silberpartikeln, ihre Lagerung sowie die Art der Raumauffüllung ist die Ursache der unterschiedlichen Farberscheinungen.

Oberflächeneigenschaften

Einfluss der Alterung der Besilberungslösung auf die Partikelgröße und das Schichtwachstum



48 h

192 h

384 h

EB(LA)48-35(1)-10(15)-Ag(b)-10(15)-200(2)

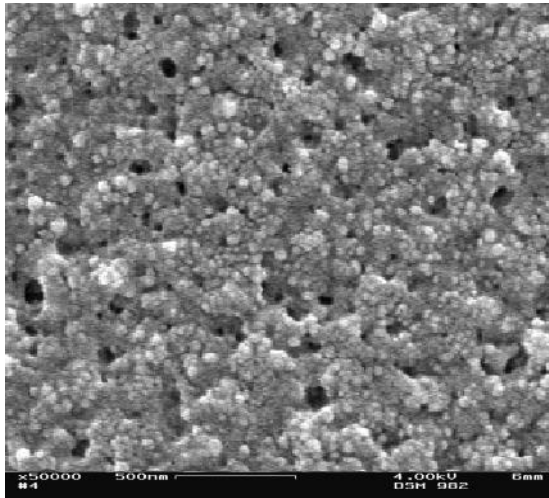
EB(LA)192-35(1)-10(15)-Ag(b)-10(15)-200(2)

EB(LA)384-35(1)-10(15)-Ag(b)-10(15)-200(2)

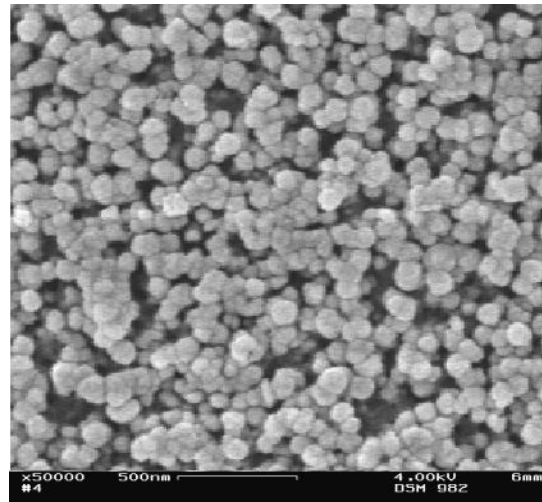
REM-Aufnahmen (50 000x) der im Einbad-Verfahren besilberten PET-Gewirke, DSM 982 Gemini (Carl Zeiss, Jena, DE)

Oberflächeneigenschaften

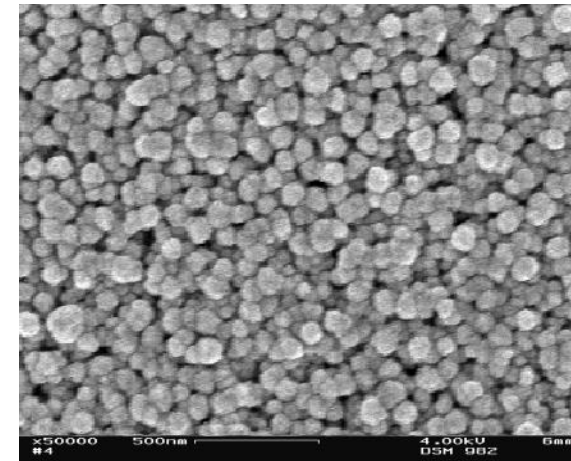
Einfluss steigender Ag- und ACS-Konzentration auf die Partikelgröße und das Schichtwachstum



**0,1 % Ag
1 % ACS**



**0,5 % Ag
3 % ACS**



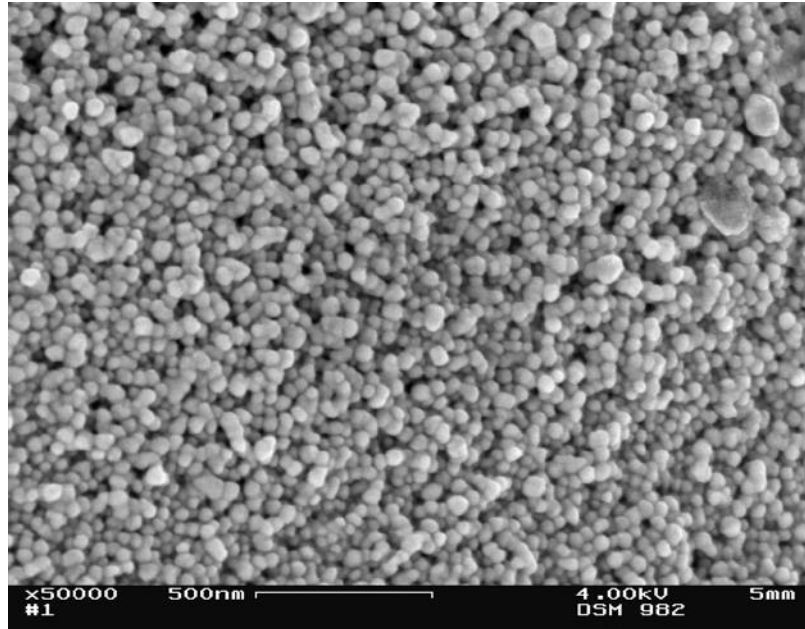
**1 % Ag
4 % ACS**

REM-Aufnahmen (50 000x) der im Einbad-Verfahren besilberten PET-Gewirke, DSM 982 Gemini (Carl Zeiss, Jena, DE)

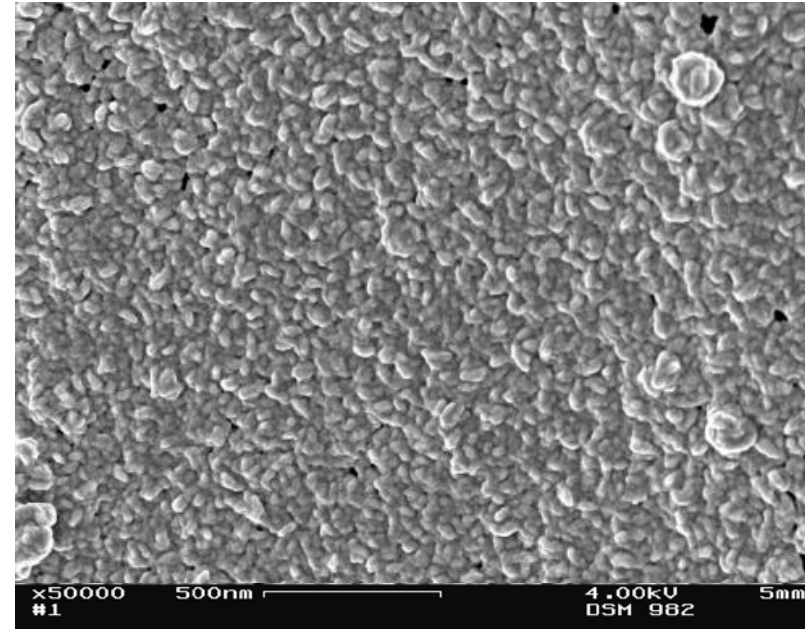
Oberflächeneigenschaften

Einfluss der Thermofixierung auf die OFM

Vor dem Thermofixieren

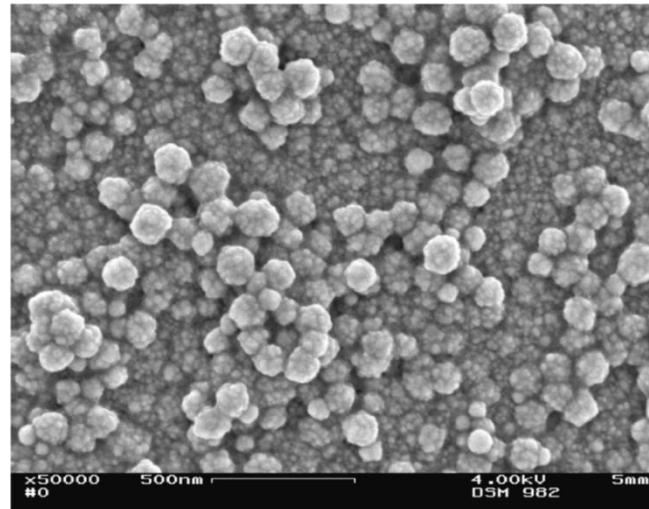
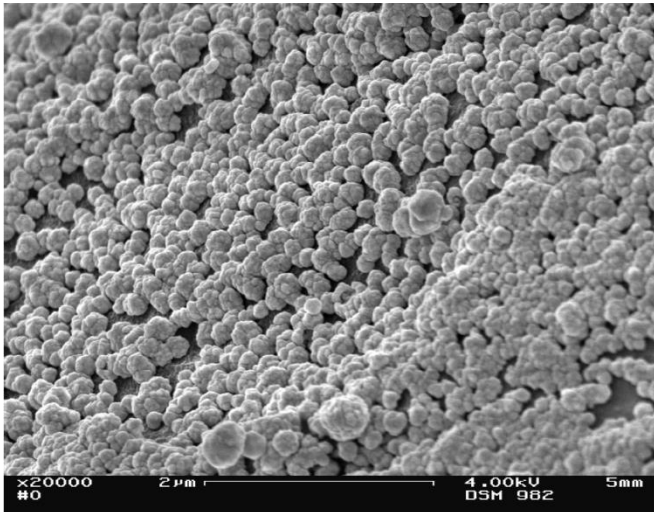
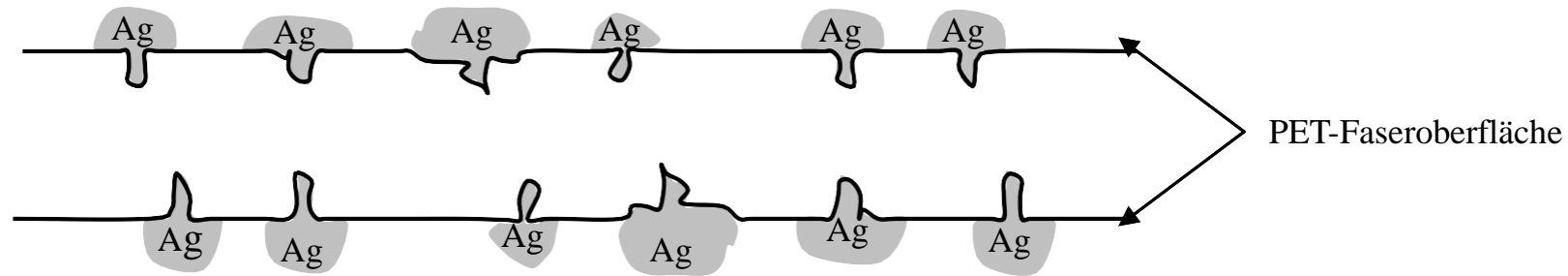


Nach dem Thermofixieren

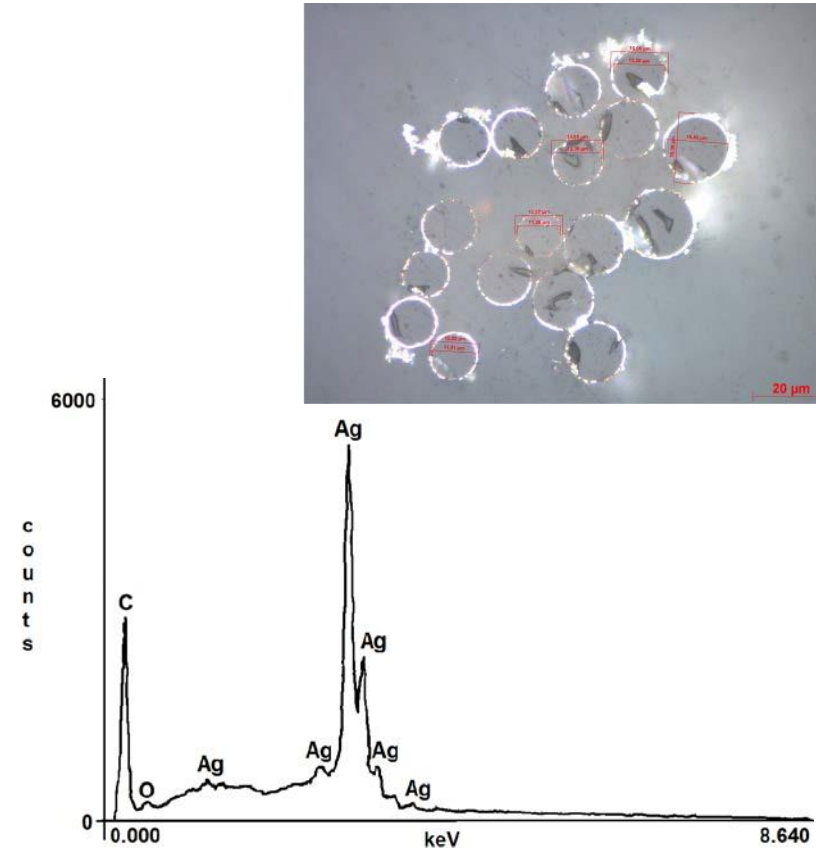
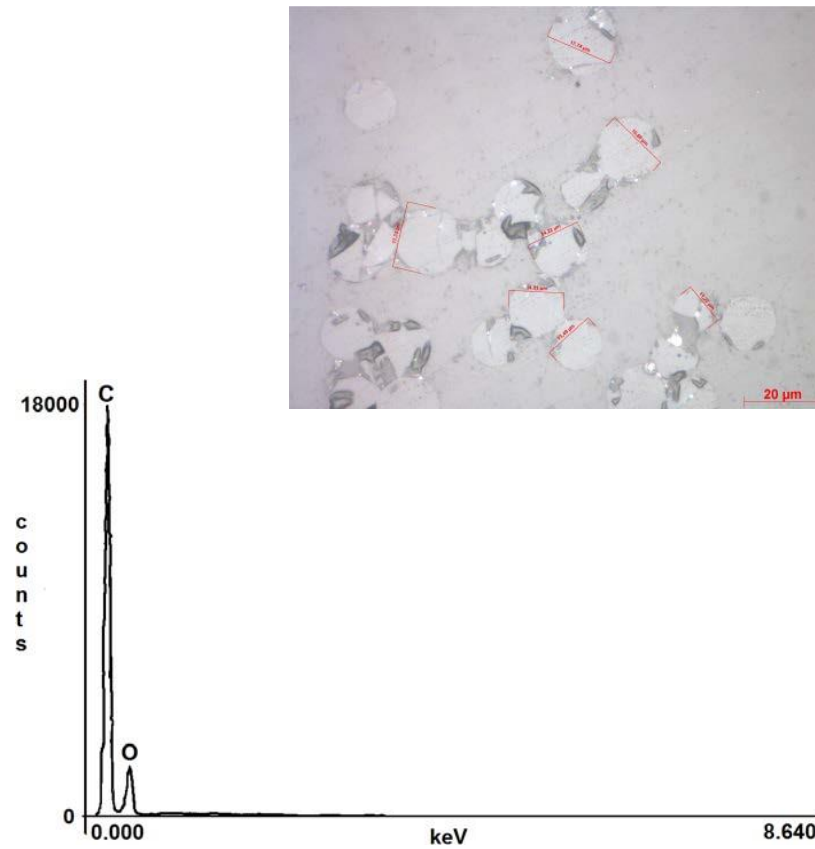


REM-Aufnahme (50 000x) von nachbesilbertem PET-Gewirke, DSM 982 Gemini (Carl Zeiss)

Modellhafte Skizze der mechanischen Verankerung zwischen PET und Ag

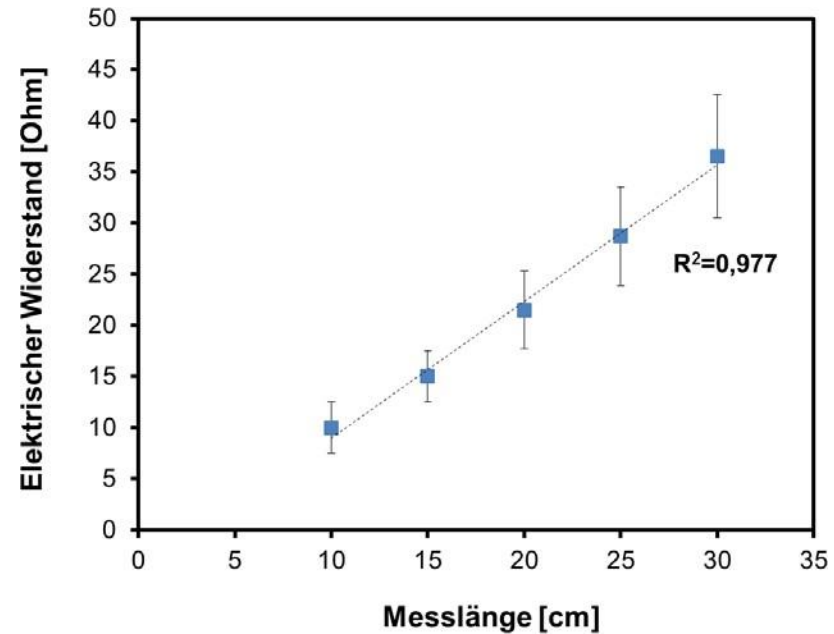
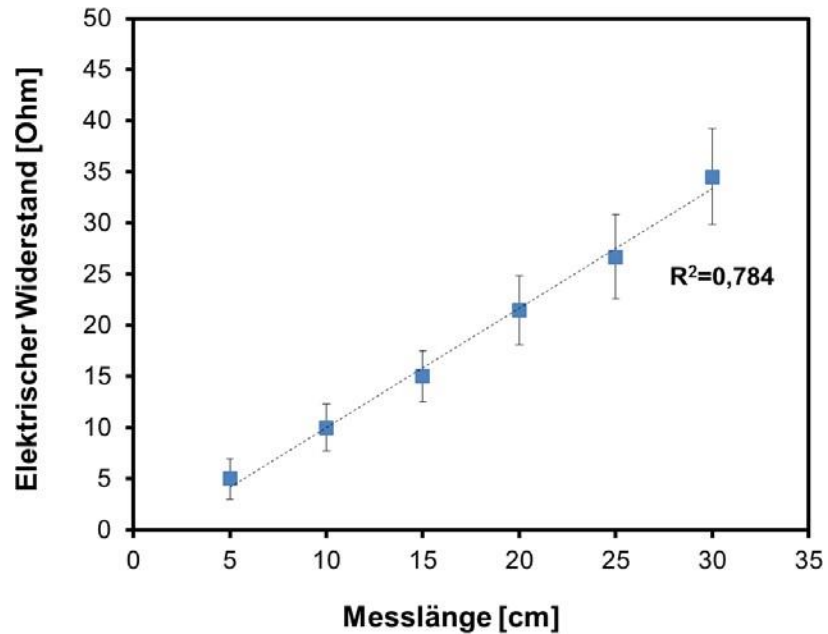


Schichtdicke und EDX-Spektrum



Lichtmikroskopie Aufnahmen und EDX-Spektrum vom unbehandelten (links) und besilberten (rechts) PET-Garn

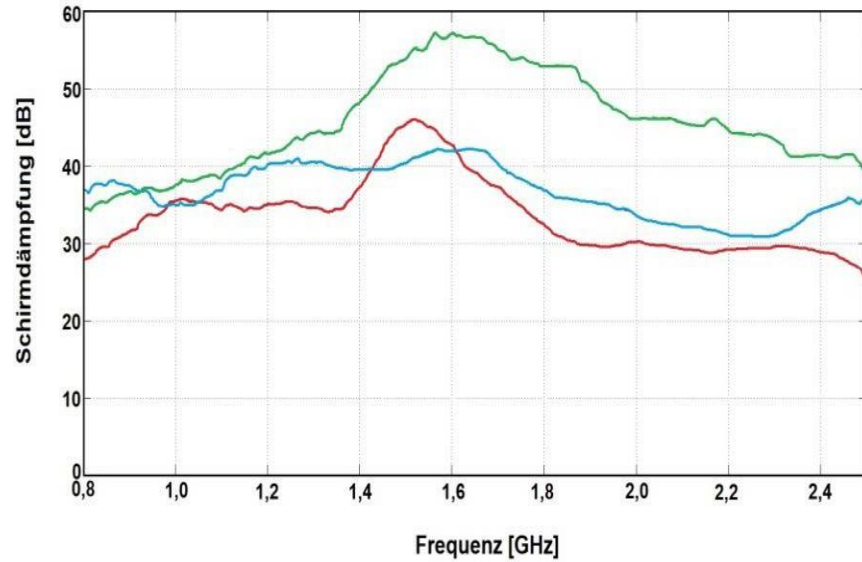
Textilphysikalische Eigenschaften



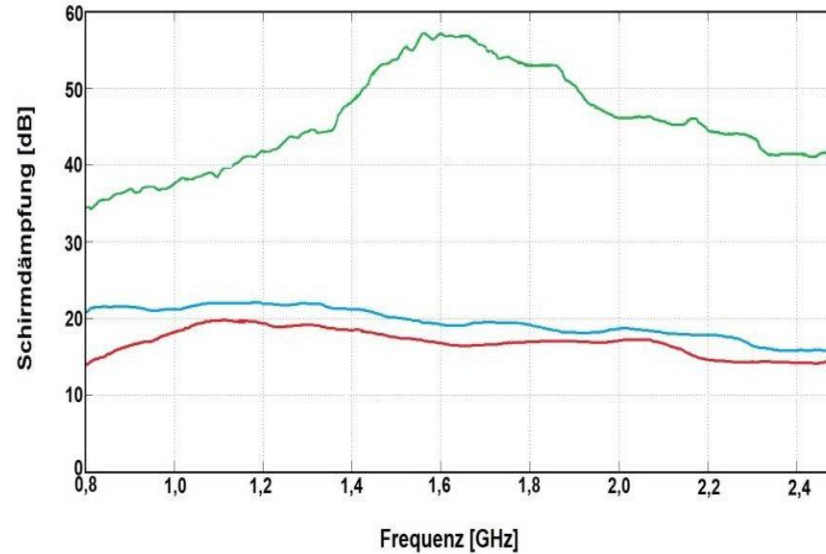
Längenbezogene elektrische Widerstände des versilberten PET-Garns

Der massebezogene Silberanteil der versilberten PET-Filamentgarne wurden mittels der AAS ZEE nit 700 nach DIN 38 406 Teil 18 bestimmt und lag bei 6,2 % \pm 0,5 %.

Elektromagnetische Abschirmung



— Alufolie — Schussrichtung — Kettrichtung

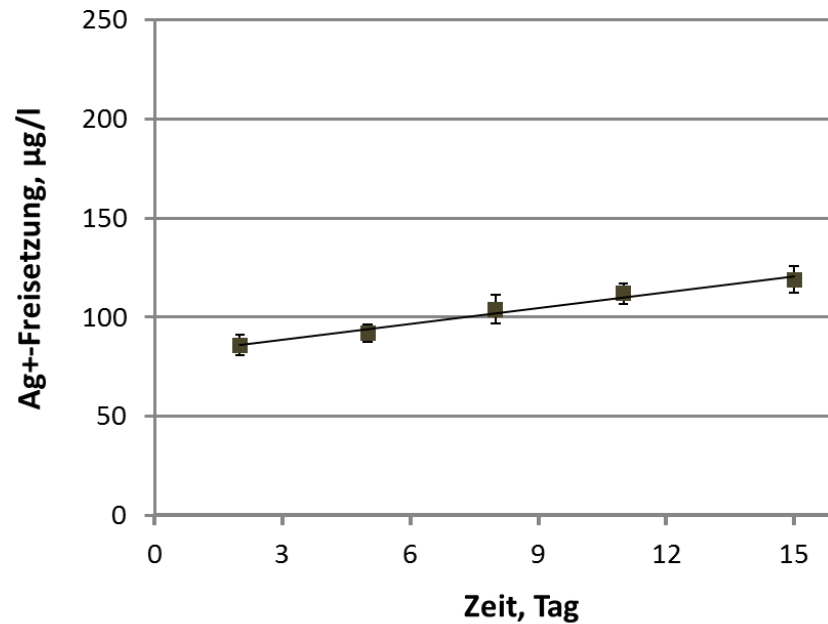
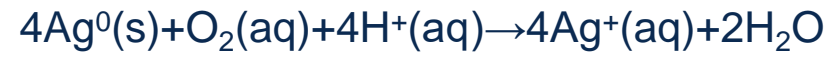


— Alufolie — Schussrichtung — Kettrichtung

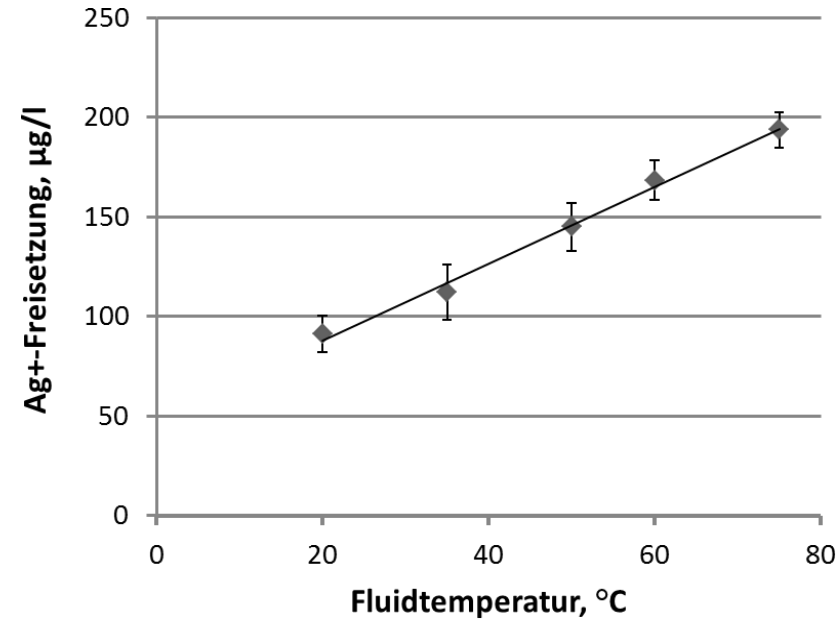
Schirmdämpfung von elektrisch leitfähigen PET-Flächengebilden

Textilchemische Eigenschaften

Silberionenfreisetzung



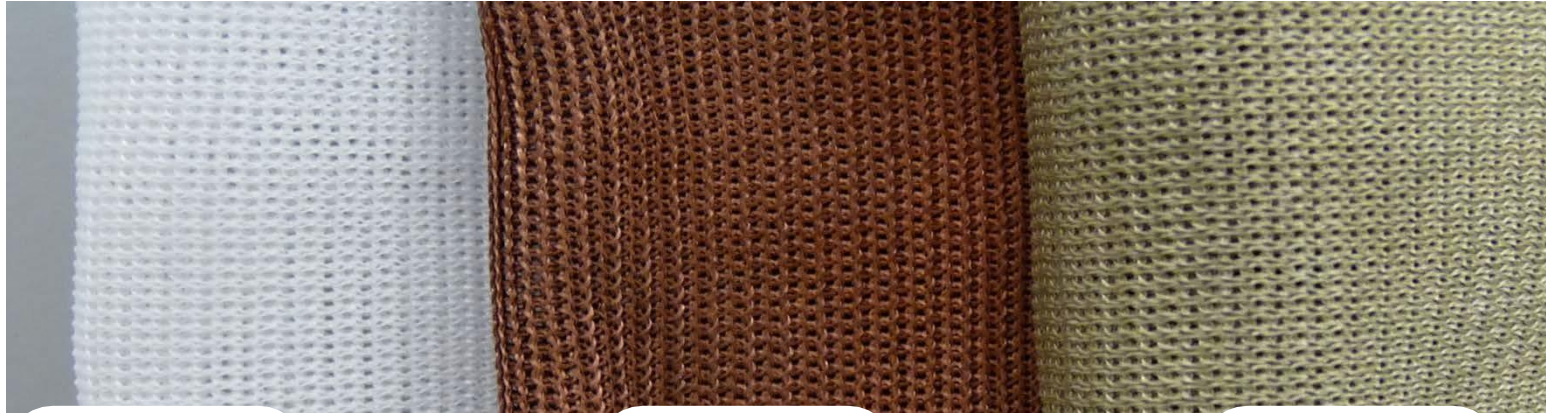
EB(TEPA)-35(1)-10(15)-Ag(b)-10(15)-200(2)



EB(TEPA)-35(1)-10(15)-Ag(b)-10(15)-200(2)

Nach DIN 38 406 Teil 18, Atomabsorptionsspektroskopie ZEE nit 700

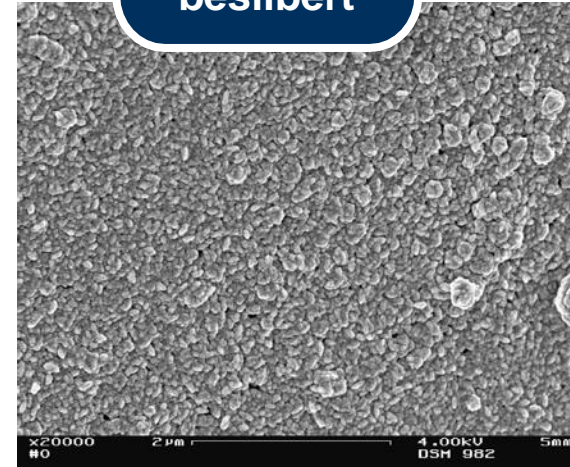
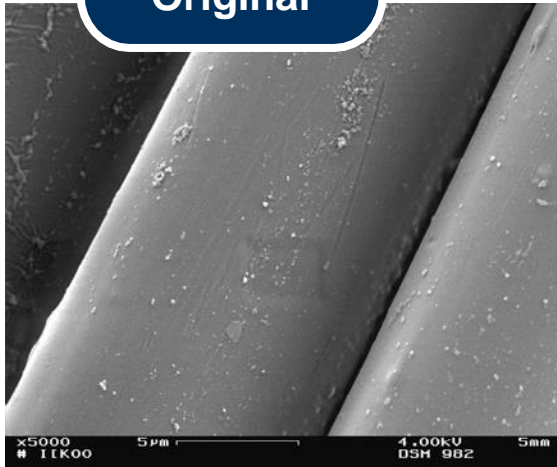
Oberflächenmorphologie vom unbehandelten, besilberten und verkupferten PET-Gewirke



Original

verkupfert

besilbert



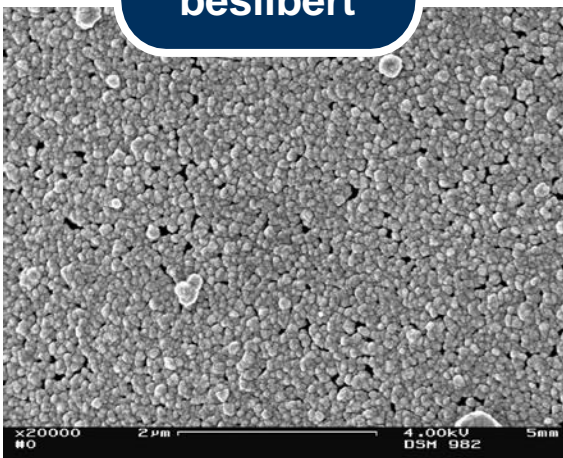
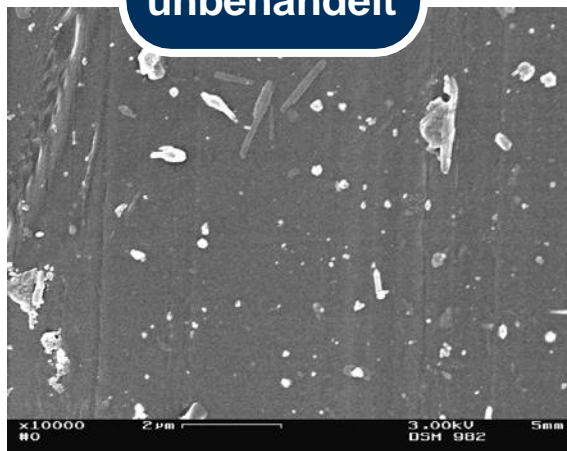
Oberflächenmorphologie vom unbehandelten, besilberten und verkupferten PET-Abstandsgewirke



unbehandelt

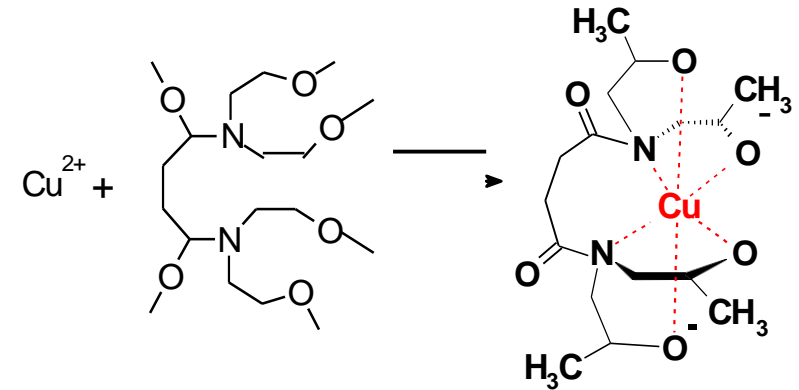
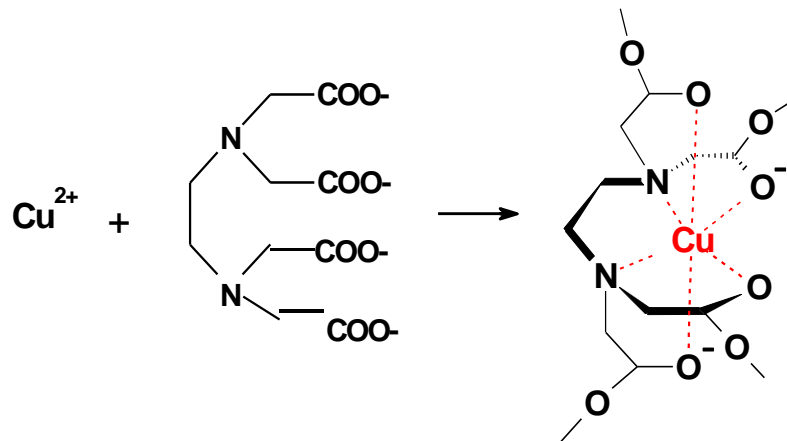
verkupfert

besilbert



Verkupfern

Prinzipdarstellung der Komplexbildung von Kupfer(II)-Ion mit Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) oder mit N,N,N',N'-Tetrakis(2-Hydroxypropyl)-ethylendiamin (EDTP) Tetra-Ionen

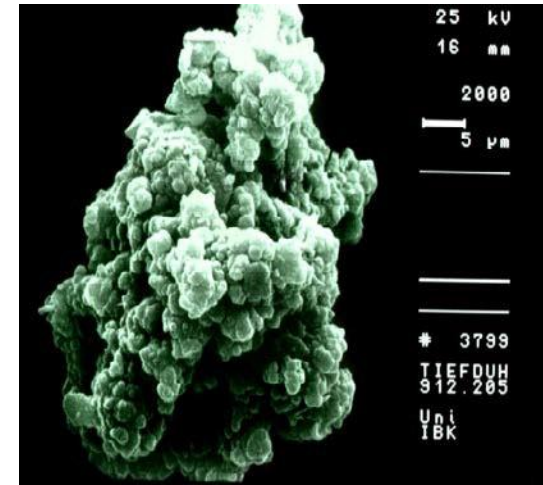
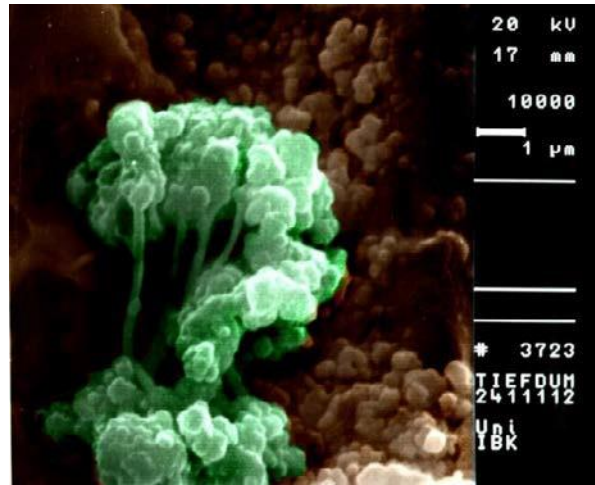
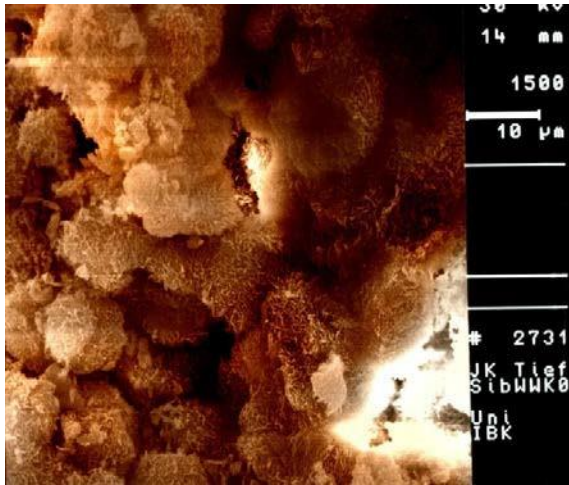


Bildung von einem stabilem $[\text{Cu}(\text{EDTA})]^{2-}$ (links) und $[\text{Cu}(\text{EDTP})]^{2-}$ (rechts) Komplex

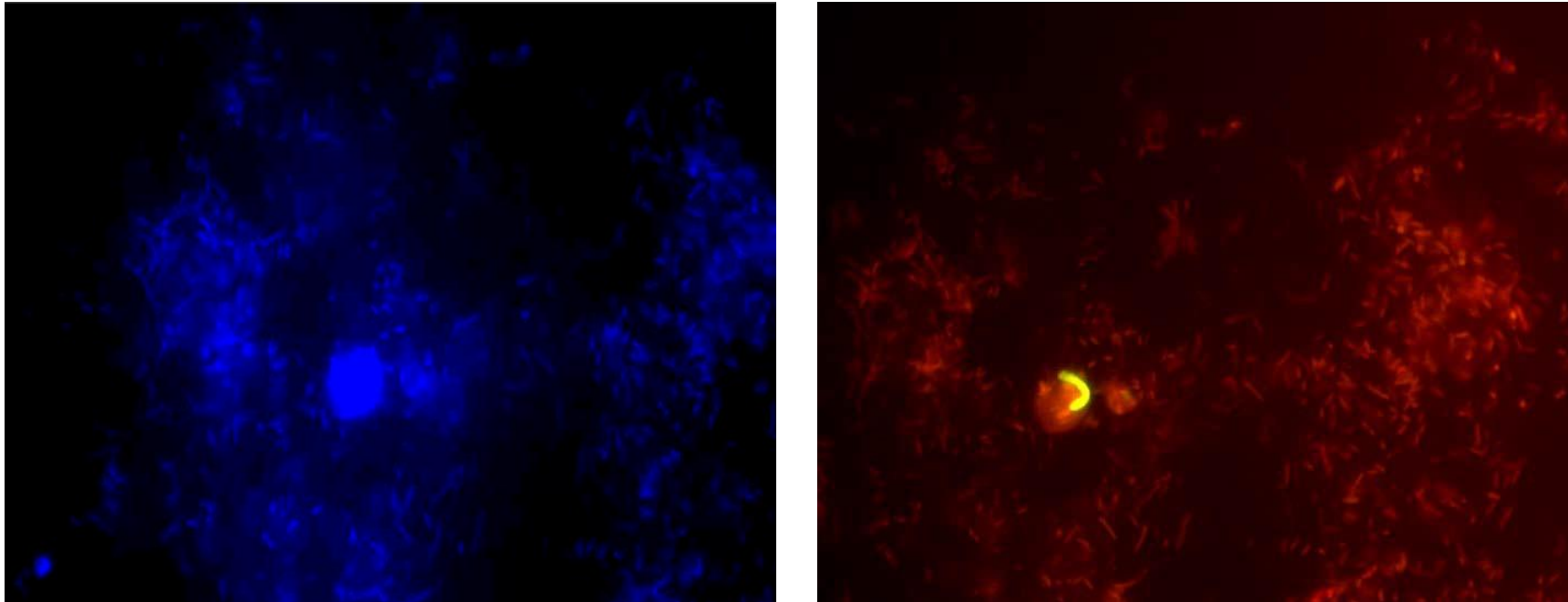
Bericht UN-Umwelt Projekt UNEP (Geo-4):

- 3 Millionen Menschen sterben jährlich an Krankheiten, die durch verkeimtes Wasser hervorgerufen werden.
- Bis 2025 werden mehr als 1,8 Milliarden Menschen unter Wassermangel leben.

REM-Aufnahme des Biofilms im Trinkwasserbereich



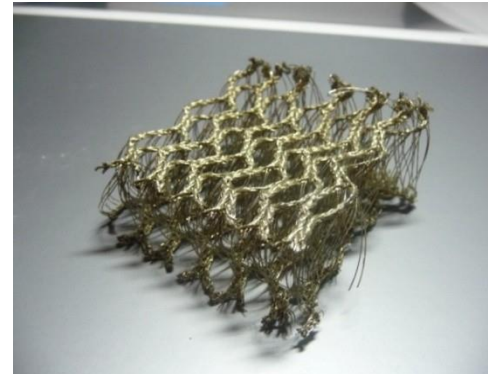
Biofilm in Wasser nach 12 Tagen



Anfärben von Biofilm mit DAPI Farbstoff (links) und MOMP (rechts)

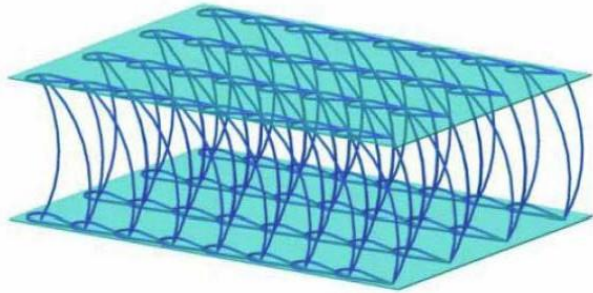
Desinfektion – Verfahrenstechnische Maßnahmen

Thermisch	>70°C, >3 min	Zirkulation, Wiederholung
Chemisch	Chlor, Chlorverbindungen	systematisch
UV	>40 mWs/cm², >254 nm	Keine Depotwirkung

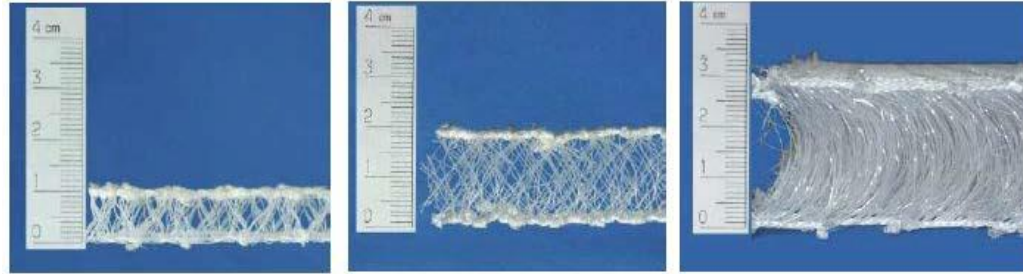


Unbehandeltes (links) und besilbertes (rechts) PET-3D-Gewirke

Vorteil von Abstandsgewirken



Allgemeine Geometrie eines Abstandsgewirkes

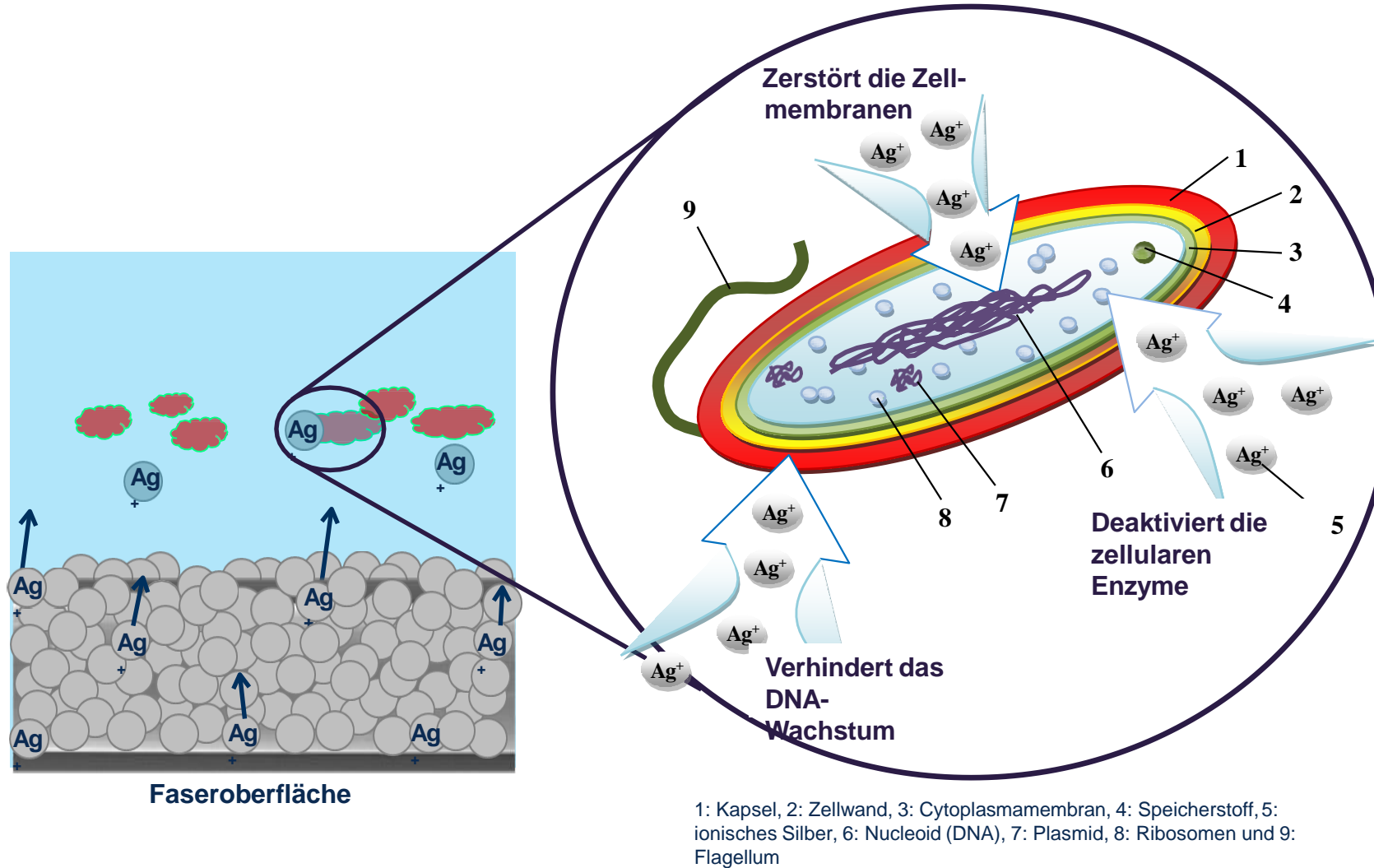


Abstandsänderung eines 3D-Gewirkes

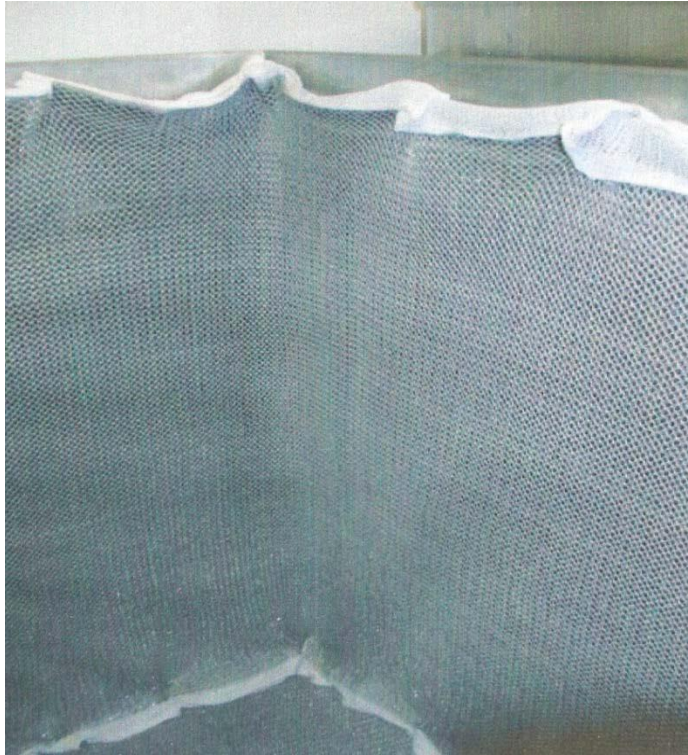


Freie Luft- und Wasserzirkulation sowie optimale Verformbarkeit von 3D-Gewirken

Dreifach-Mechanismus für die antimikrobielle Wirkung der Silberionen



Verschiedene experimentelle Anwendungen



Drei 1 m³ Technikum-Behälter, ITM, Trinkwasser (ab Nov. 2006)
Testbehälter- Befestigung der Silbermatten mittels Haken

Verschiedene experimentelle Anwendungen



5 m³, Sperrwasserkreislauf für
Papierbrei-Pumpen (ab Mrz. 2007)



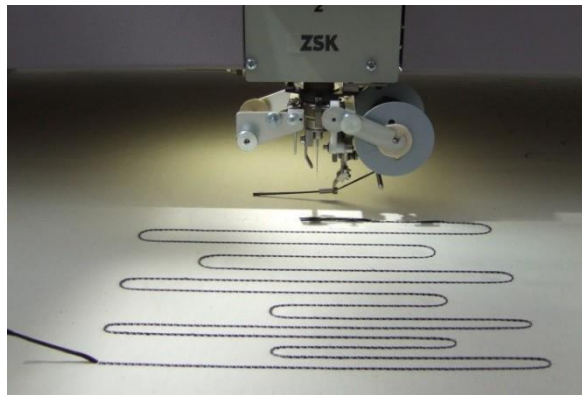
65 m³, die Kühlwasserkreislauf
(ab Aug. 2007)



750 m³, die Kühlwasserkreislauf (ab Sept. 2007)

Weitere Anwendungen

- Faserverstärkter Verbundwerkstoffe mit integrierten textilbasierten Sensornetzwerken zur zerstörungsfreien Strukturüberwachung und zur Messung verschiedener chemischer / physikalischer Parameter der Bauteile
- Die Einsatzbereiche solcher funktionellen Garne erstrecken sich von der Haushaltsgeräteindustrie über den Sicherheits-, Sport-, Sensorik- und Elektronikbereich bis hin zum Leichtbau für die Windkraft, den Automobilbau sowie der Luft- und Raumfahrt.



Sticktechnische Applikation von Kohlenstoffrovings auf eine textile Verstärkungslage

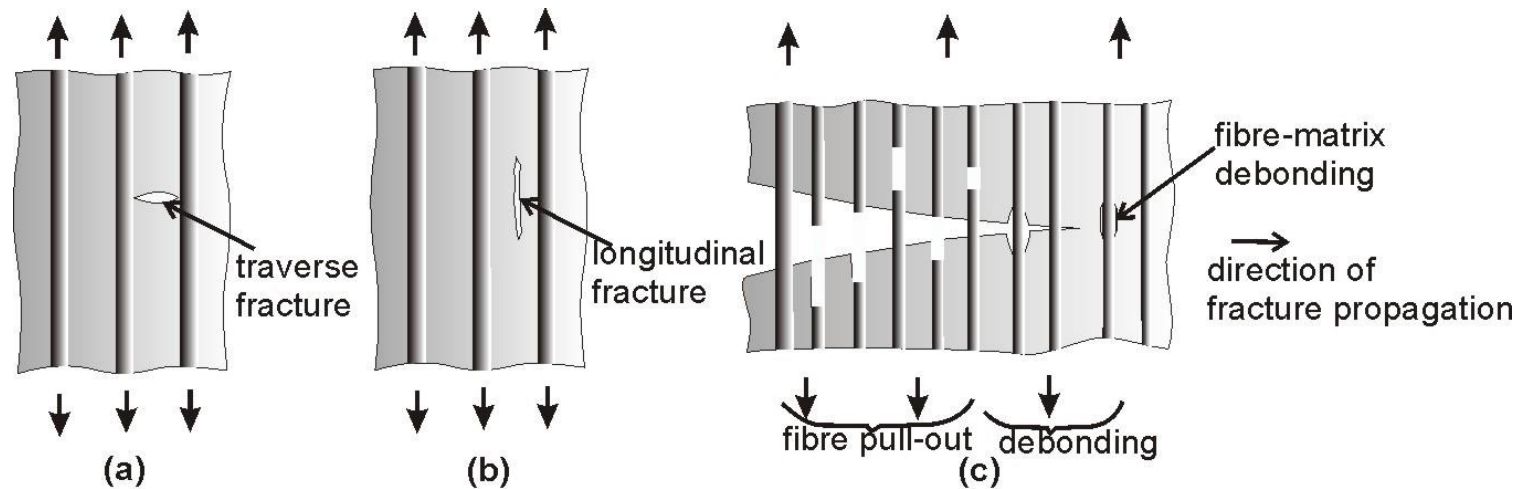


WarmX electrically heated clothing



Intelligente Kniebandage mit Elektronik und einem leitfähigen Stoffstreifen, den ein Athlet trägt (CSIRO TFT, Geelong).

Überwachung der Bauteile



Auftretende Schäden (Matrixrisse in Quer- (a) und/oder Längsrichtung (b) sowie Verstärkungsfaserbruch (c)) im Laufe des Jahres in einem UD-Verbund

- Integration von Sensorgarnen in thermoplastischen Verbunden,
- Strukturüberwachung der faserverstärkten thermoplastischen Verbunde mittels CF.

Anwendung der Hochleistungsfasern im Verbund

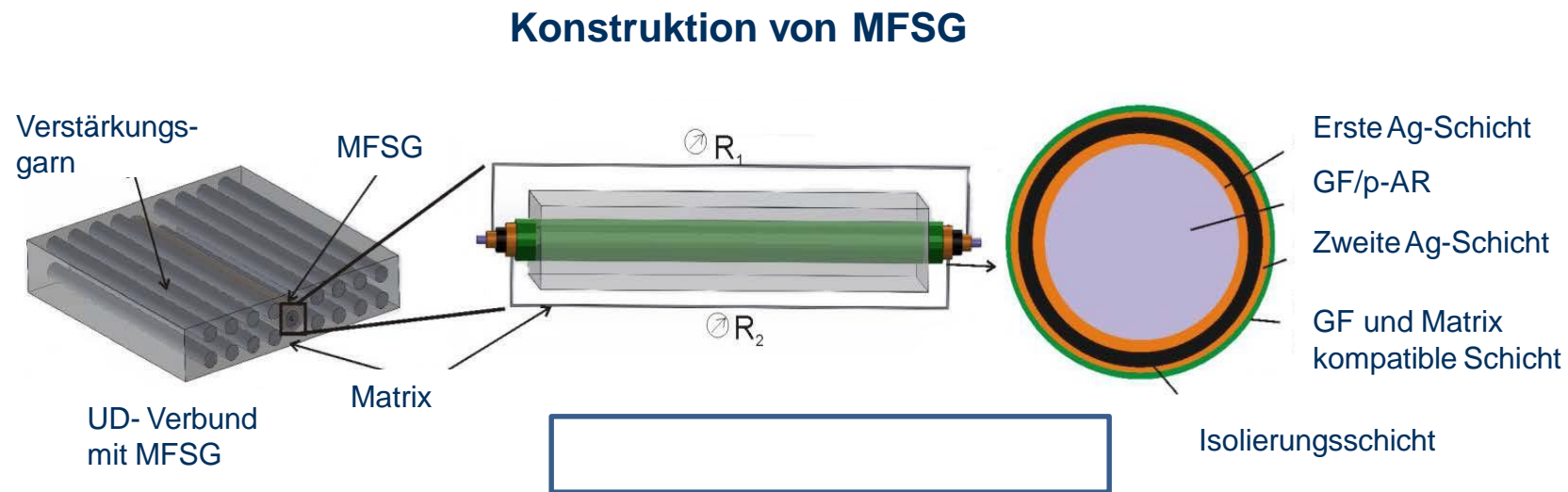
- Beschränkung von CF als Dehnungssensor bei der Integration im thermoplastischen Verbund,
- Ausrüstung von Hochleistungsfasern wie Glasfaser (GF) und para-Aramid (p-AR) als Dehnungssensoren,
- Temperaturbeständigkeit der Sensorgarne während der Konsolidierung im thermoplastischen Verbund,
- Globale und lokale Überwachung der faserverstärkten thermoplastischen Verbunde mittels Sensorgarn.

Für die Metallisierung ausgewählte Hochleistungsfilamentgarne

Filamentgarn	Dichte, [g/cm ³]	E-Modul, [GPa]	Zugfestigkeit, [MPa]	Bruchdehnung, [%]
E-GF	2,5-2,6	72-77	3400-3700	3,3-4,8
p-AR	1,3-1,44	58-80	2760-3000	3,3-4,4

Entwicklung MFHLG aus GF und p-AR mittels Mehrschichtaufbau

- Entwicklung multifunktionaler Hochleistungsgarne (MFHLG) aus E-GF und p-AR mittels Mehrschichtaufbau,
- Integration der entwickelten MFHLG in den GF- oder p-AR-verstärkten thermoplastischen Verbund,
- Globale und lokale Identifizierung der Schäden im GF- und/oder p-AR- verstärkten thermoplastischen Verbund.

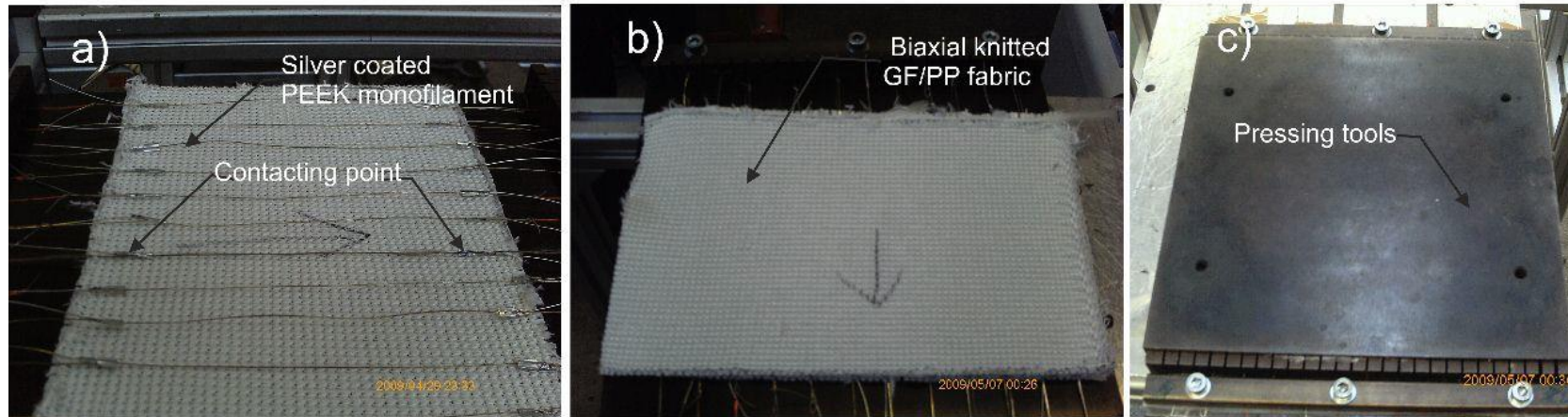


R_1 =Elektrischer Widerstand erster Ag-Schicht

R_2 = Elektrischer Widerstand zweiter Ag-Schicht

Schematische Darstellung des Schichtaufbaus von GF- und p-AR-Filamenten im Faserquerschnitt

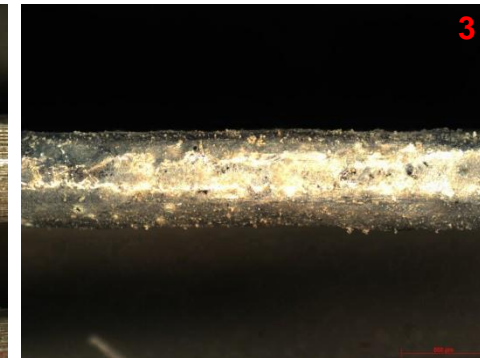
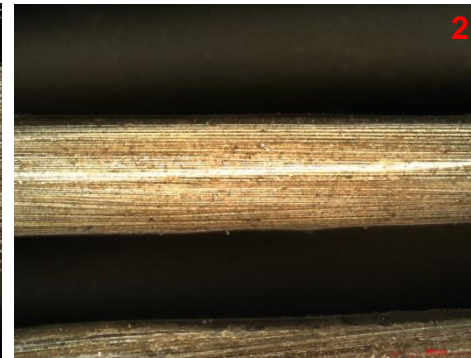
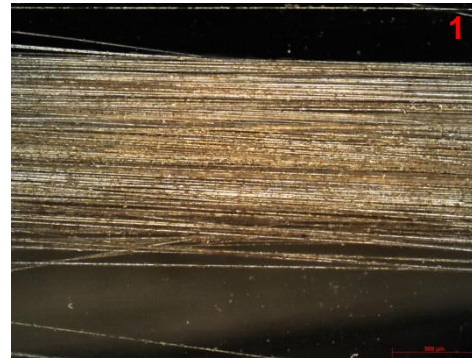
Konsolidierung



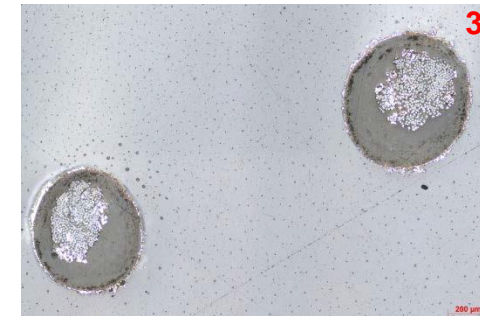
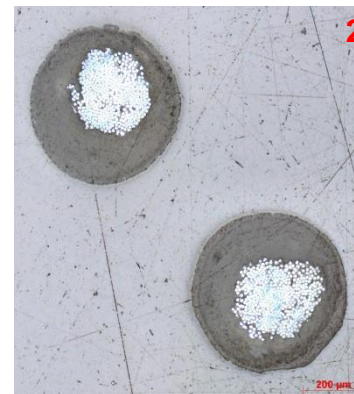
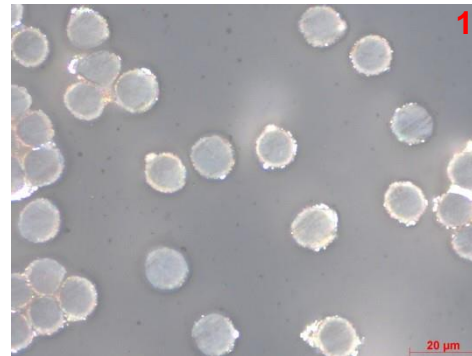
- a) Silberbeschichtetes PEEK-Monofil auf einem Gestrück aus GF / PP
- b) Nach dem Abdecken mit einem Gestrück aus GF / PP
- c) Beide Gestrücke mit beschichteten PEEK-Monofilamenten im Presswerkzeug

Oberflächentopographie und Schichtdicke der entwickelten MFHLG

Faser-
längsansicht



Faser-
querschnitt



Durchmesser, µm	p-AR Multifil (500f): 12	p-AR Monofil: 525 ±10	p-AR Monofil: 526 ±10.2
Schichtdicke, µm	1. Ag: 0,8 ±0,2	2. Sylgard® 184: 150 ±50	3. Ag: 0,8 ±0.2

Faserlängsansicht (500x) und -querschnitt (20x, 200x) vom erst besilberten (1), mit Sylgard® 184 (2) isolierten und zweit besilberten (3) p-AR-Filamentgarn

Danke