

Grundlagen der Plasmavorbehandlung



TIGRES
Plasma for perfect adhesion

Vorstellung

Berrin Küzün

Dipl. Phys.-Ing.

Leiterin Anwendungstechnik,
Projektmanagement, seit 2009 im
Bereich Plasma &
Plasmabeschichtung

Tigres GmbH
Sandhagenweg 2
21436 Marschacht (bei Hamburg)

Fon: +49 4176 948 7712
kuezuen@tigres.de



Vorstellung

Peter van Steenacker

Industrieelektroniker

Seit 1998 technischer Vertrieb von Plasmavorbehandlungsanlagen. Umfangreiche Erfahrung mit Atmosphärendruckplasmadüsen (APPJ), DBD-Plasma für 2D und 3D-Anwendungen sowie Niederdruckplasmasystemen.

Umfangreiche Vortragstätigkeit und Durchführung von Präsentationen, Seminaren, Webinaren sowie Schulungen zum Thema Plasmavorbehandlung.

Seit 2021 Leiter von TIGRES **PlasmaXperience**, der TIGRES-Plattform für Plasma-Know-How.

Tigres GmbH

Sandhagenweg 2

21436 Marschacht (bei Hamburg)

Fon: +49 4176 948 7728

Steenacker@tigres.de



TIGRES GmbH ist ein 1993 gegründetes, eigenständiges familiengeführtes Technologieunternehmen

Gegenstand des Unternehmens:

- ✓ Entwicklung
- ✓ Herstellung
- ✓ Vertrieb

von Atmosphärendruck-Plasma-Anlagen

- AD Plasma von der Punkt- bis zur Flächen-Entladung
- AD Plasma in verschiedenen Leistungsklassen
- AD Plasma mit verschiedenen Wärmetönungen
- Generatorentechnik

- Ca. 25 Mitarbeiter
- Standort in Marschacht, bei Hamburg
- Vertriebsbüro bei Stuttgart
- Ca. 14 Vertriebspartner weltweit



Bild: OpenClipart-Vectors Pixabay

Anwendungsbereiche Plasmavorbehandlung



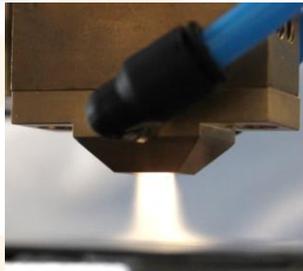
Prozessvorbereitung

„Feinstreinigung“, partielle Erhitzung, Trocknung, Ionisation, Oxidation, Reduktion



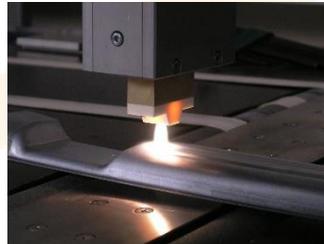
Aktivierung

Adhäsion verbessern, Benetzbarkeit erhöhen



Beschichtung

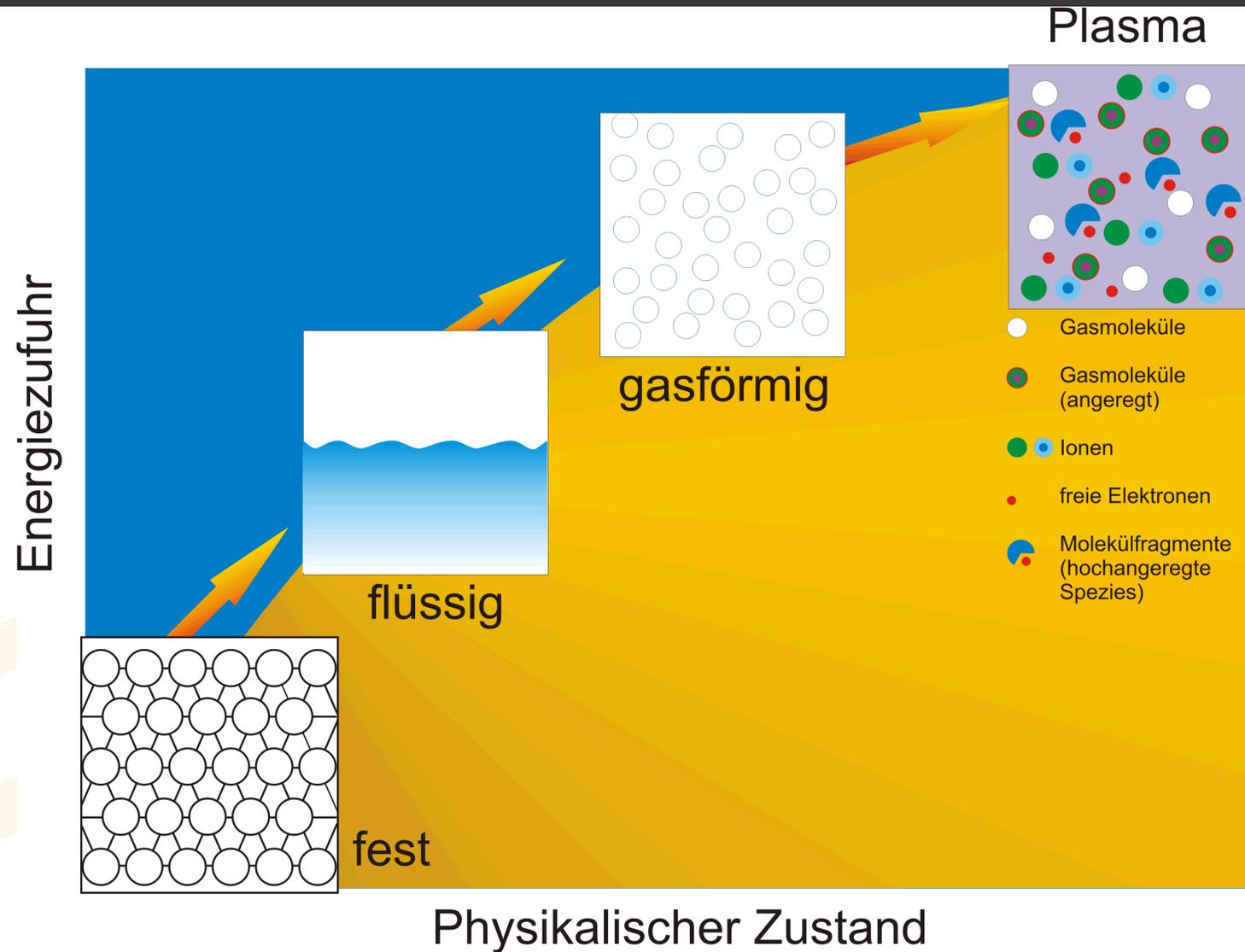
Plasmapolymerisation, dünne Schichten



Entgraten

Entfernen von Graten, Ziehfäden und scharfer Kanten nach dem Spritzguss

Was ist Plasma?

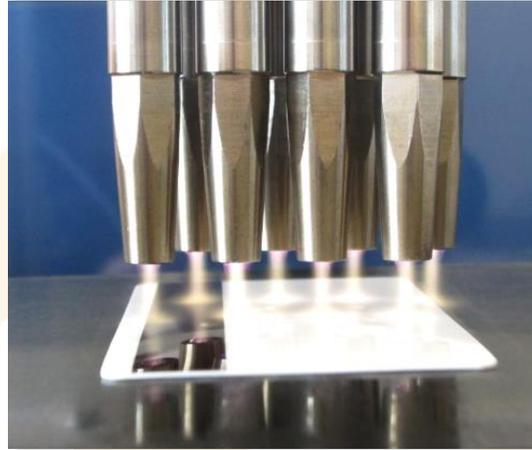


Mehr als 99 % der gesamten sichtbaren Materie im [Universum](#) befindet sich im Plasmazustand. (Wikipedia)

Bild: Dipl. Ing. (FH) Simone Fischer

Plasma für die Vorbehandlung

1. Atmosphärendruckplasmen



2. Niederdruckplasmen



Bild: Plasmatechnology

Corona“plasma“ (DBD)

(gr./lat. für “Kranz”, “Krone”)

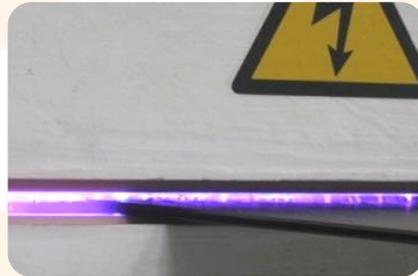
1. T-JET



Sprühcorona
Bogenentladungsplasma, laminare
Luftströmung

Hochspannung bis 15 kV.

2. DBD



Dielectric Barrier Discharge, klassische
dielektrisch behinderte Entladung (DBE).
Hochspannung bis 100 kV.

3. Freistrahlend



Freistrahkende Entladung.

Hochspannung bis über 100 kV.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plasma_wheel_2_med_DSIR2018.jpg

„Potentialfreies“ Plasma

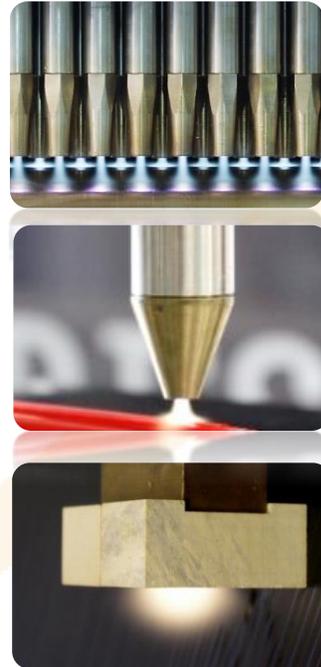
(gr. für “Gebilde”, “Gebildetes”)

1. Düsenplasma (Plasmajets, APPJ)

1. CAT

2. T-SPOT

3. MEF



Atmosphärisches Plasma, Wirbelluftströmung,
praktisch potentialfrei,
wenn richtig gehandhabt!

3. Niederdruckplasma



Potentialfrei

Bild: Plasmatechnology

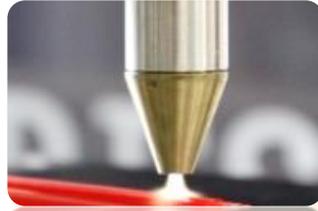
Atmosphärendruckplasmen TIGRES

Formen:

MEF



T-SPOT



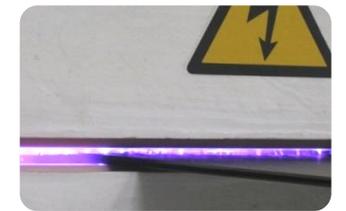
CAT



T-JET



DBD



Plasmadüsen/-jets (APPJ)

Potentialfrei

Sprühcorona/Coronajets

**Dielektrisch behinderte
Entladung DBE/DBD (CORONA)**

Hochspannungspotential

Atmosphärisches Plasma

Die Oberfläche: Polymere

Verunreinigungen $> 1\mu\text{m}$

wie Staub, Schmutz, Öle, etc

Adsorbtionsschichten 5-10 nm

wie Gase, Feuchte

Reaktionsschichten 5-10 nm

wie Oxide, Additive, Trennmittelreste

Grenzfläche = Haftfläche

Verändertes Polymergefüge $>1\mu\text{m}$

z.B. verdichtete oder kalt verformte Randschicht

Ungestörtes Polymergefüge

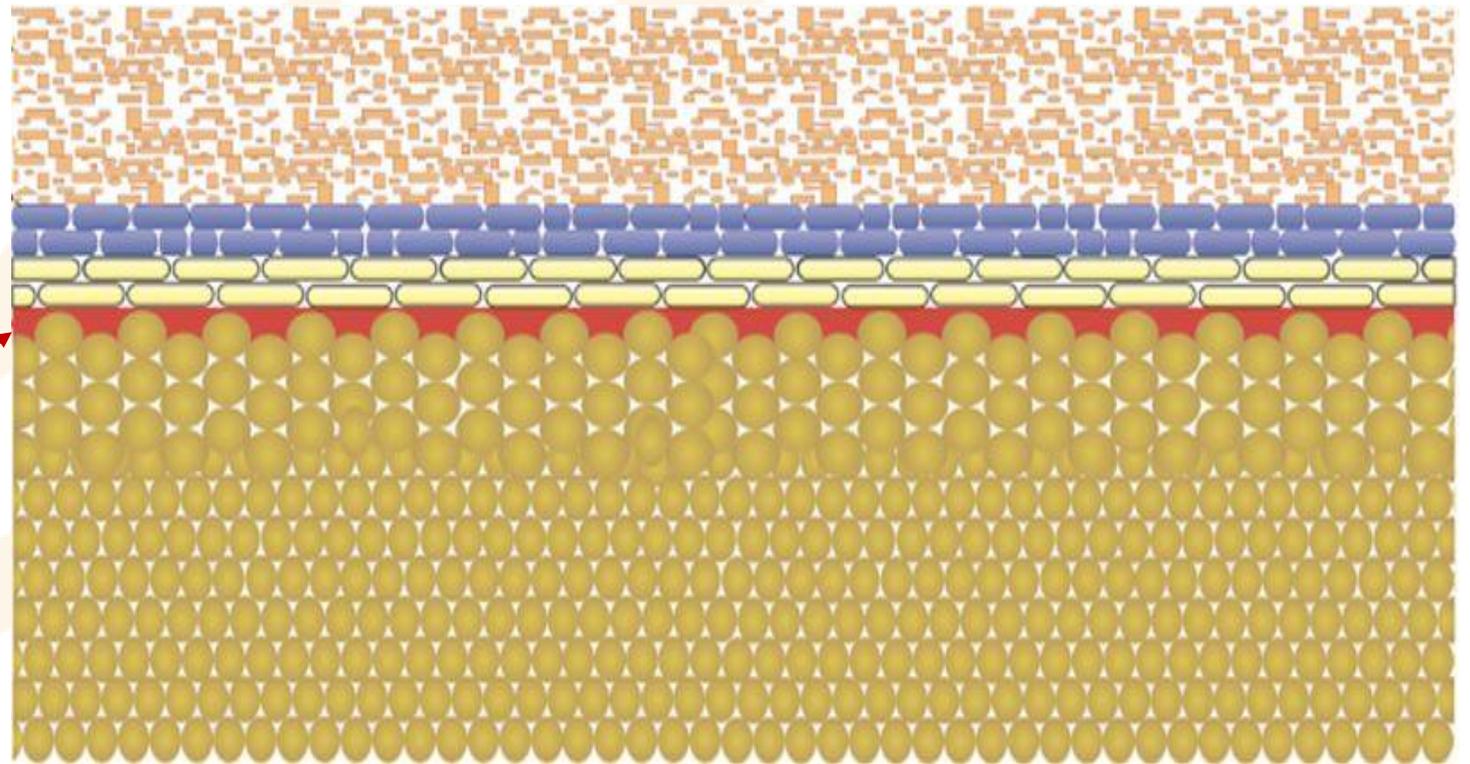


Bild: Dipl. Ing. (FH) Simone Fischer

Staubfrei

Fettfrei

Trocken

Effekte verstärken bzw.
vervielfachen sich

Prof. Dr.-Ing. Manfred Rasche lehrt an
der FH Hannover an der Fakultät
Maschinenbau und
Bioverfahrenstechnik im Bereich
Werkstoffkunde und Fertigungstechnik

1. Hauptvalenzbindungen (Primärbindungen)

2. Nebervalenzbindungen (Sekundärbindungen)

1. Van der Waals-Kräfte
2. Dipol-Kräfte
3. Induktionskräfte
4. Dispersionskräfte
5. Wasserstoffbrückenbindung



3. Mechanische Verklammerung

1. Veränderung der Oberfläche von teilkristallin zu amorph, (erm. Polymer-Polymer-Interdiffusion)
2. Elektronen/Ionenbeschuss

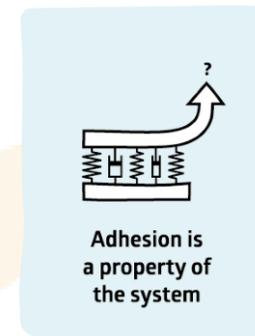
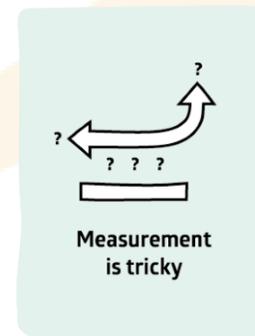
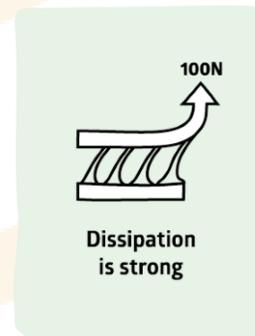
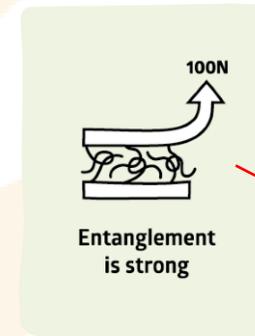
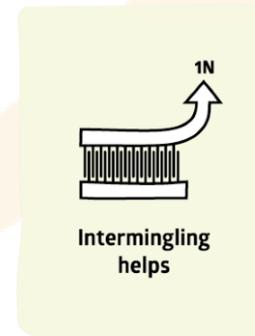
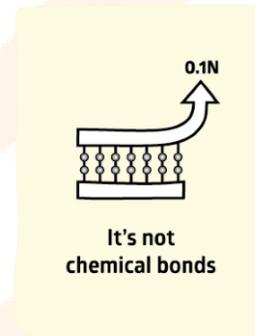
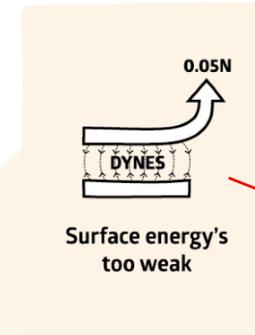
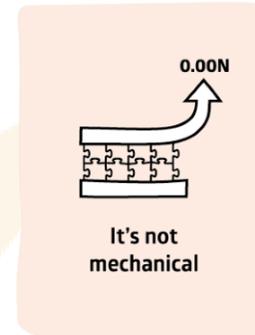
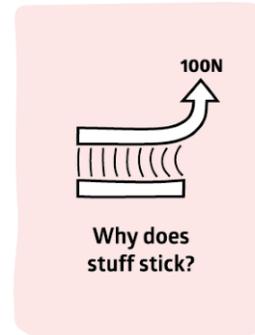
4. Diffusionsvorgänge

1. PVC beim Diffusionskleben
2. PS mit Cyanacrylat
3. PMMA mit UV-Klebstoff

5. Elektrische Doppelschichten

Haftungskräfte: Auswirkung der einzelnen Aspekte

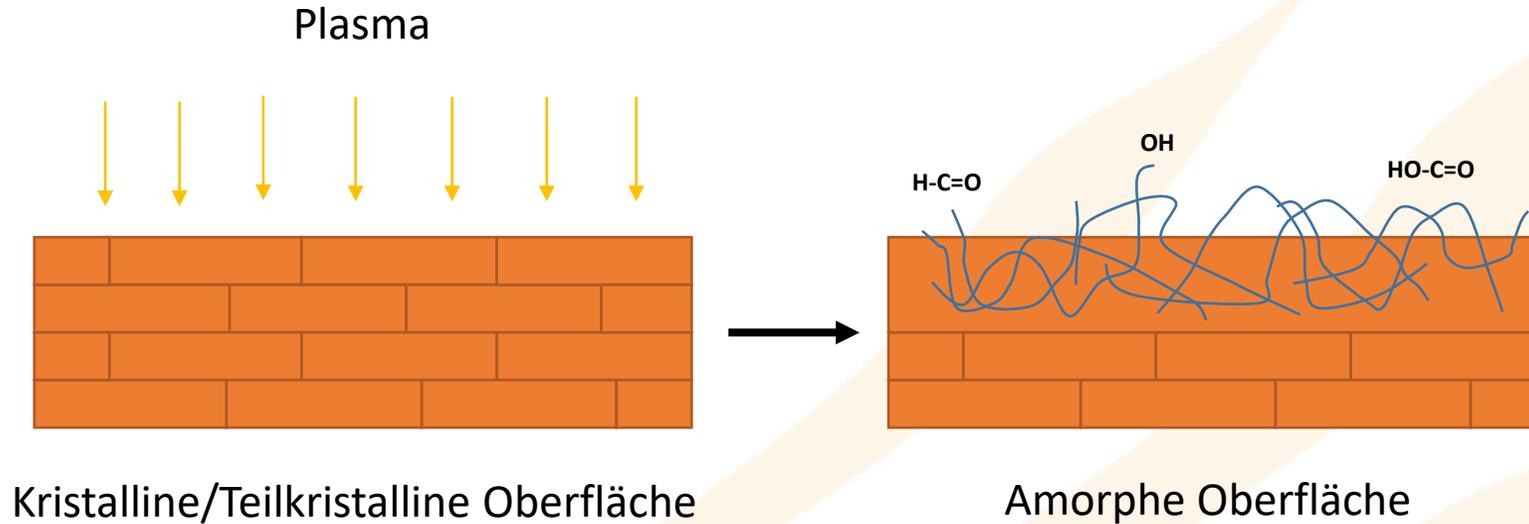
Prof. Steven Abbott
PhD in Chemistry
<https://www.stevenabbott.co.uk/about-prof-steven-abbott.php>



<https://www.stevenabbott.co.uk/practical-adhesion/>

<https://unsplash.com/@mmw189>

Wirkung des Plasma auf die Kristallinität



Folge der Plasmabehandlung: Änderung der Oberflächenmorphologie:
Intermingling/Entanglement-Effekt (Vermischung/Verwickeln)

Quelle: <https://www.stevenabbott.co.uk/practical-adhesion/entanglement.php>

Polymerart

[Polyamid](#) (PA66 und PA6)

typischer
Kristallisationsgrad^[2]

35...45 %

[Polyoxymethylen](#) (POM-Homopolymer)

90 %

[Polyoxymethylen](#) (POM-Copolymer)

75 %

[Polyethylenterephthalat](#) (PET)

30...40 %

[Polybutylenterephthalat](#) (PBT)

40...50 %

[Polytetrafluorethylen](#) (PTFE)

60...80 %

[Polypropylen](#) (PP), isotaktisch

70...80 %

Polypropylen (PP), syndiotaktisch

≈ 30...40 %

Polypropylen (PP), ataktisch

≈ 0 %

[Polyethylen](#) hoher Dichte (PE-HD)

70...80 %

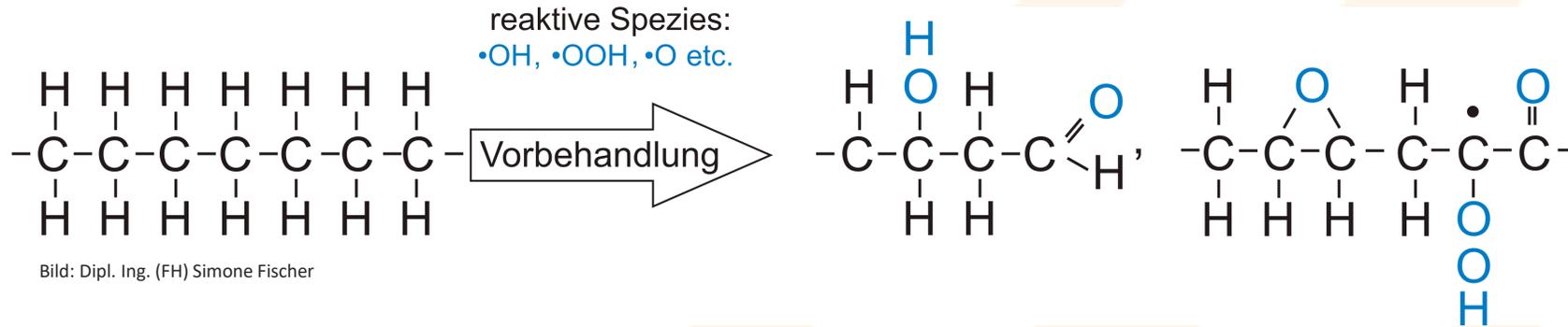
Polyethylen niedriger Dichte (PE-LD)

45...55 %

Quelle:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Kristallisation_\(Polymer\)#Eigenschaften_teilkristalliner_Polymer](https://de.wikipedia.org/wiki/Kristallisation_(Polymer)#Eigenschaften_teilkristalliner_Polymer)

Nebervalenzbindungen: Reaktionen auf der Oberfläche



- Die im Plasma entstandenen Radikale und Photonen brechen Bindungen in der Polymerkette auf
 - Sauerstoff und sauerstoffhaltige sowie weitere Gruppen lagern sich an die Kette an
- ⇒ Erhöhung der Oberflächenenergie des Polymers

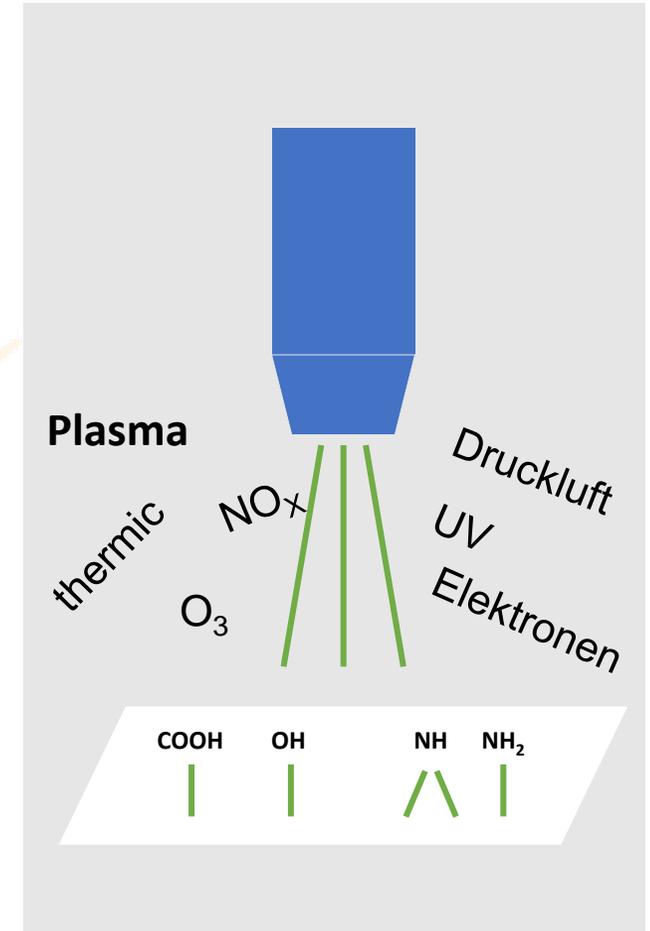


Bild: tesa SE

Wirkungsweise einer Aktivierung auf die Benetzbarkeit

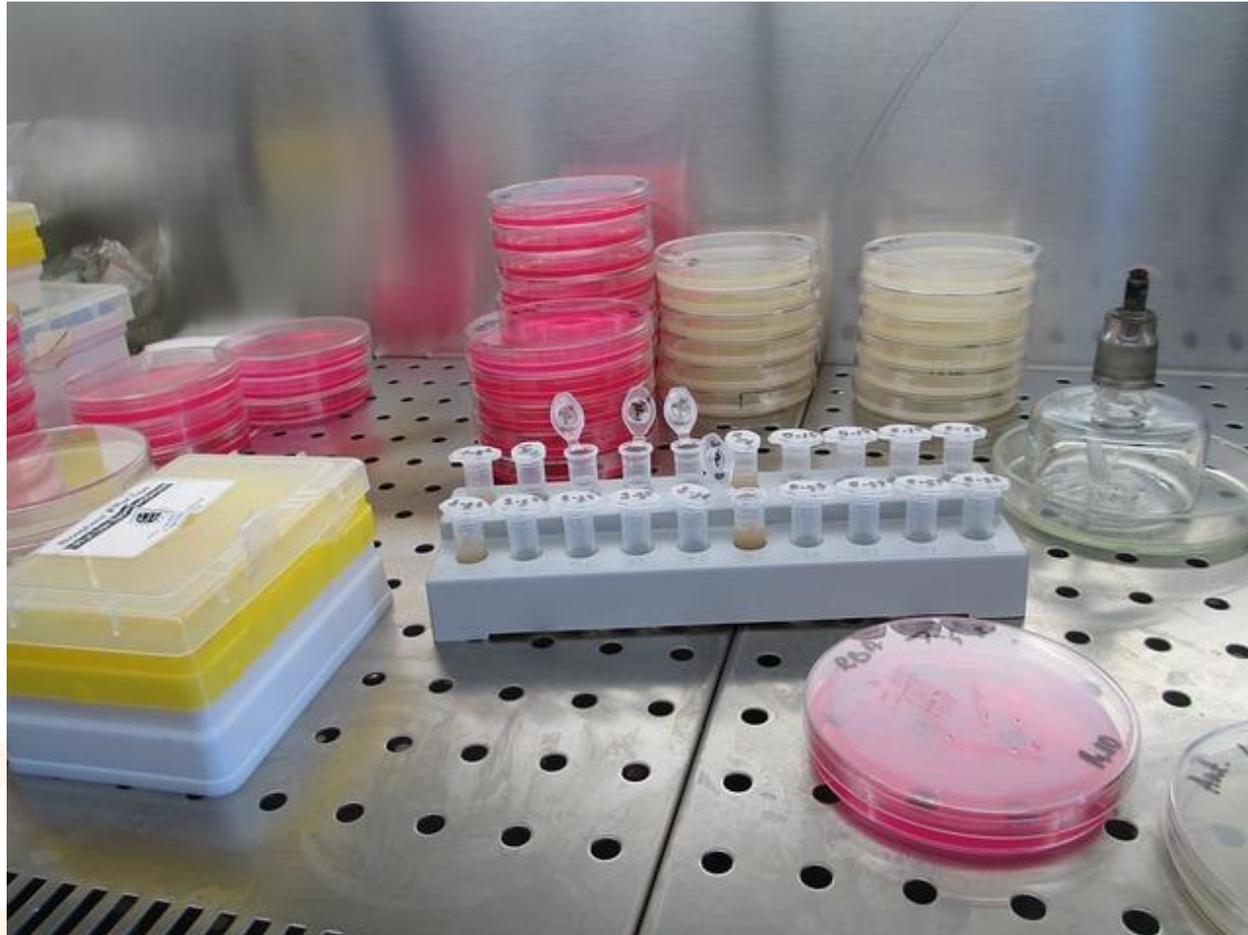
Einfluss der Oberflächenaktivierung auf die Benetzbarkeit von Polymeroberflächen



Bild: Dipl. Ing. (FH) Simone Fischer

Anwendung Benetzbarkeitserhöhung

Ziel: Zellkulturprodukte benetzbar machen



Benötigte Oberflächenenergie: $> 72 \text{ mN/m}$

Oberflächenenergie und Anforderung Material

Für eine gute Benetzbarkeit muss die Oberflächenenergie mindestens gleich hoch oder höher liegen als die des aufzubringenden Mediums.

Eine Plasmabehandlung kann die Oberflächenenergie der Oberfläche deutlich anheben und so die Benetzbarkeit ermöglichen.

Übliche Oberflächenenergie von Polymeren:		Übliche Anforderung an die Oberflächenenergie für gute Adhäsion:	
PTFE	18 - 19 mN/m	UV-Farbe	Ca. 48 - 56 mN/m
Silikon	< 20 mN/m	Wasserbasierende Farbe	Ca. 50 - 56 mN/m
PP	29 - 31 mN/m	Beschichtungen	Ca. 46 - 52 mN/m
PE	30 - 32 mN/m	UV-Kleber	Ca. 44 - 50 mN/m
PS	34 - 38 mN/m	Wasserbasierender Kleber	Ca. 48 - 56 mN/m
PC	35 - 44 mN/m	Lösemittelhaltiger Kleber	Ca. 38 mN/m
PUR	43 - 47mN/m		

Anwendung Benetzbarkeitserhöhung

Ziel:
Inkjetdruck soll gut lesbar sein
(und haften)

Vorraussetzung:
Gute Benetzbarkeit

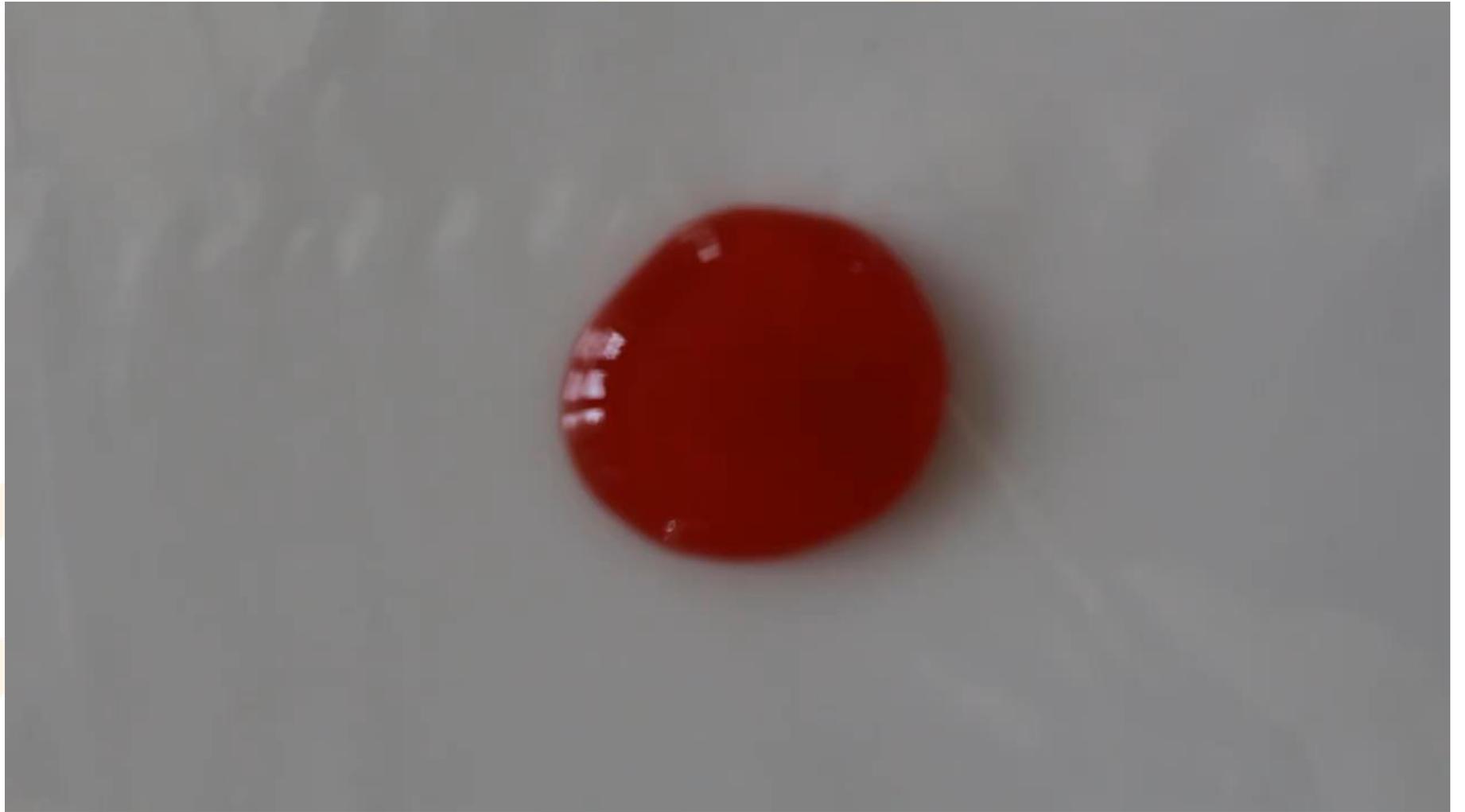


Benetzbarkeitsmythen

Prof. Steven Abbott

PhD in Chemistry

<https://www.stevenabbott.co.uk/about-prof-steven-abbott.php>



Video: **Wetting - Sticking Together**, <https://www.youtube.com/watch?v=w1dsiMOvdRc>

Testtinten zur Bestimmung von Oberflächenenergie



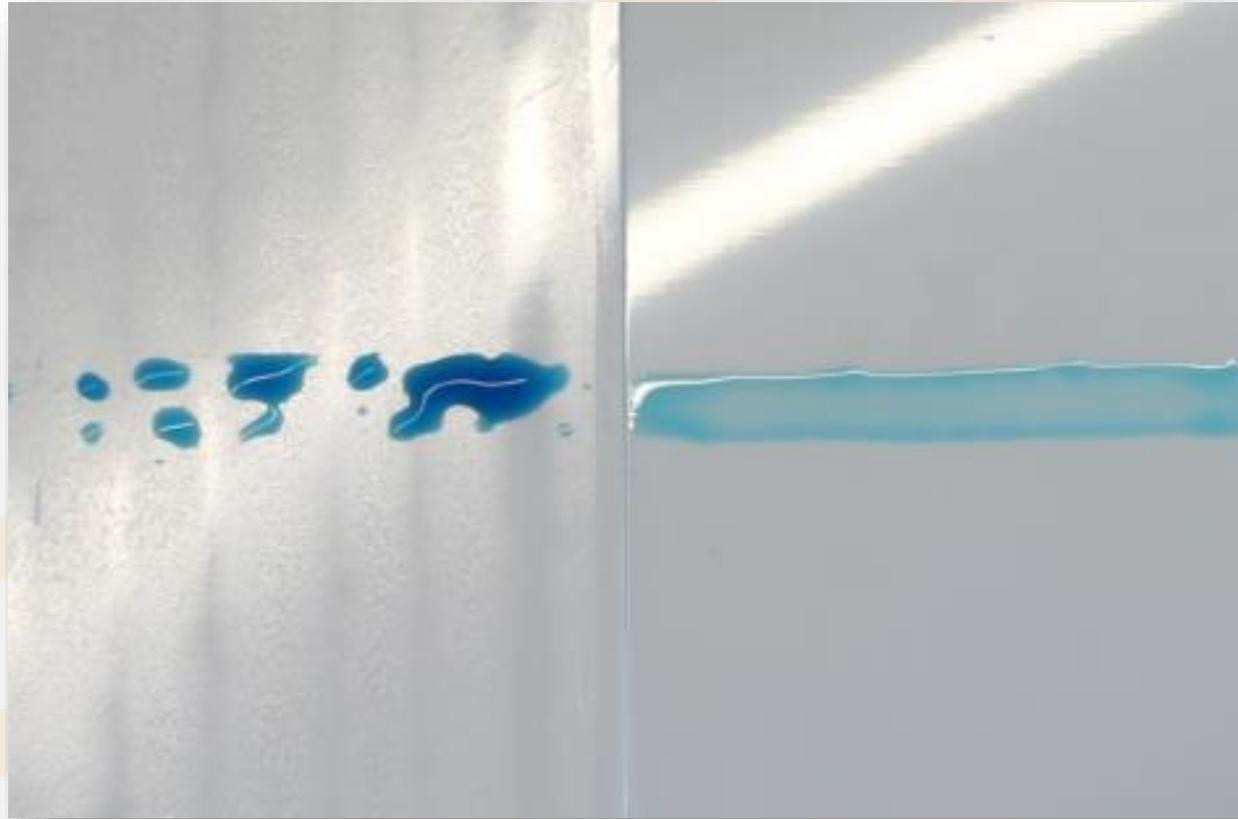
Definition:

- Die Messeinheit ist mN/m. Eine ältere Bezeichnung ist Dyn
- Nach Aufbringen der Testtinte bildet sich entweder ein Film (mind. 2-3 Sek. nach ISO 8296) oder bildet vorher Tropfen.
- ISO 8296 ist basiert auf der Oberflächenbestimmung auf PE-Folie.
- [Testtintenshop](#)

Benetzbarkeit von Oberflächen

Niedrige Oberflächenenergie

Testtinte zieht sich innerhalb 2-3 Sek. zusammen.



Hohe Oberflächenenergie

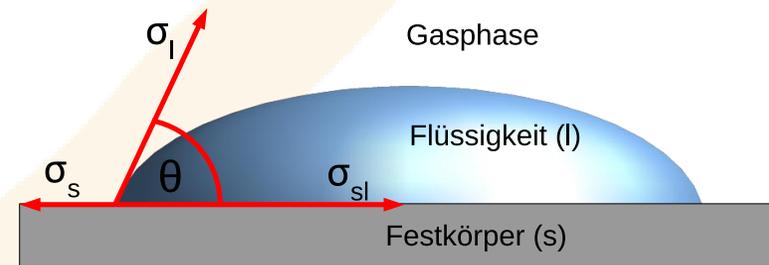
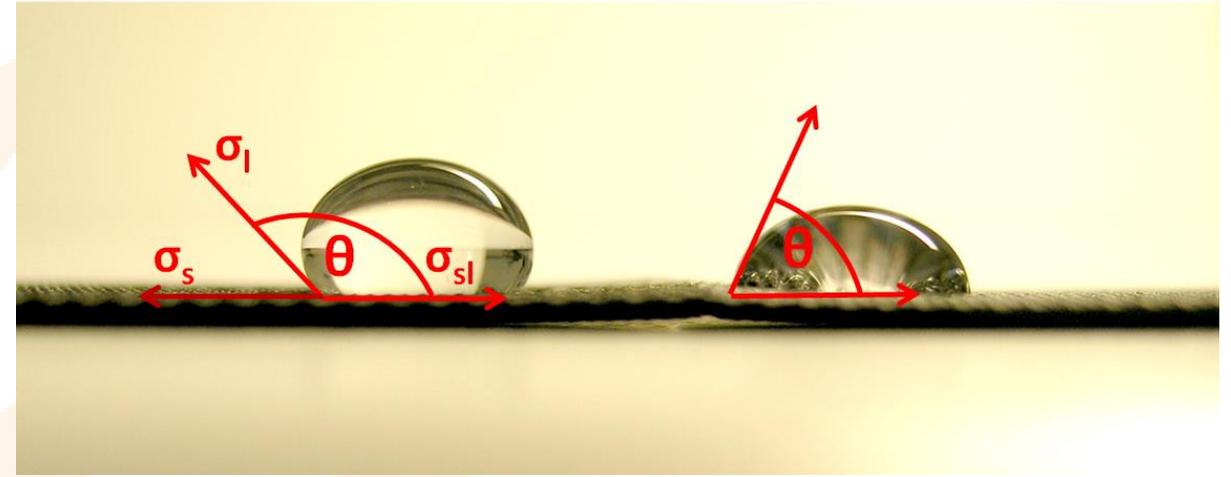
Testtinte bleibt mindestens 2-3 Sek. als Film stehen.

Messung der Oberflächenenergie: Statischer Kontaktwinkel

- Der Rand/Kontaktwinkel kann sehr genau durch Kontaktwinkelmessgeräte ermittelt werden
- Dabei können polare und disperse Anteile ermittelt werden
- Der polare Anteil zeigt den Sauerstoffanteil in der Oberfläche



Bild: Krüss, www.mobile-surface-analyzer.com



Gleichung nach YOUNG : $\cos \theta = (\sigma_s - \sigma_{sl}) / \sigma_l$
Vereinfachung : $\sigma_s - \sigma_{sl} = \sigma_c = \text{“kritische Oberflächenenergie”}$

σ_l : Oberflächenspannung der Flüssigkeit
 σ_s : Oberflächenenergie des Festkörpers
 σ_{sl} : Grenzflächenenergie zwischen Flüssigkeit und Festkörper
 θ : Kontaktwinkel

Was Benetzbarkeit zeigt

Die gemessene Haftung wird beeinflusst durch:	Tendenziell messbar durch die Benetzung:
ADHESION:	
Hauptvalenzbindungen	Nein
Nebervalenzbindungen	Ja
Elektrische Doppelschichten	Nein
Diffusion	Nein
Mikromechanische Verklammerung	Nein
KOHESION:	
Orientierung der anhaftenden Schicht	Nein
Festigkeit und Verformbarkeit der anhaftenden Schicht	Nein
PRÜFTECHNIK:	
Spannungsverteilung in der Probe	Nein

Fazit Benetzbarkeit:

1. Eine gute Benetzbarkeit ist oft eine notwendige Voraussetzung für eine gute Haftung
2. Eine gute Benetzbarkeit ist noch keine hinreichende Bedingung für eine gute Haftung

Siehe auch:

<https://www.plastverarbeiter.de/106103/wie-lange-sind-plasmaaktivierte-polymeroberflaechen-offen/>

„Jedoch konnte im Rahmen der durchgeführten Versuche keine, oft postulierte, einfache Korrelation zwischen der Oberflächenenergie und Adhäsion der Klebstoffe beziehungsweise Festigkeit der resultierenden Klebverbunde festgestellt werden.“

PDF von Fraunhofer IFAM:

https://www.ifam.fraunhofer.de/content/dam/ifam/de/documents/Klebertechnik_Oberflaechen/PLATO/plastverarbeiter-2020-beitrag-fraunhofer-ifam.PDF

Was Benetzbarkeit (nicht) zeigt

Mittlere Schälfestigkeiten (DIN EN 1939) der Klebebänder für Lacksystem (I) in unbehandeltem Referenzzustand sowie bei Variation der AD-Plasmabehandlungsintensität in Korrelation zu Oberflächenenergie und Polarität.
Material: Lacksystem

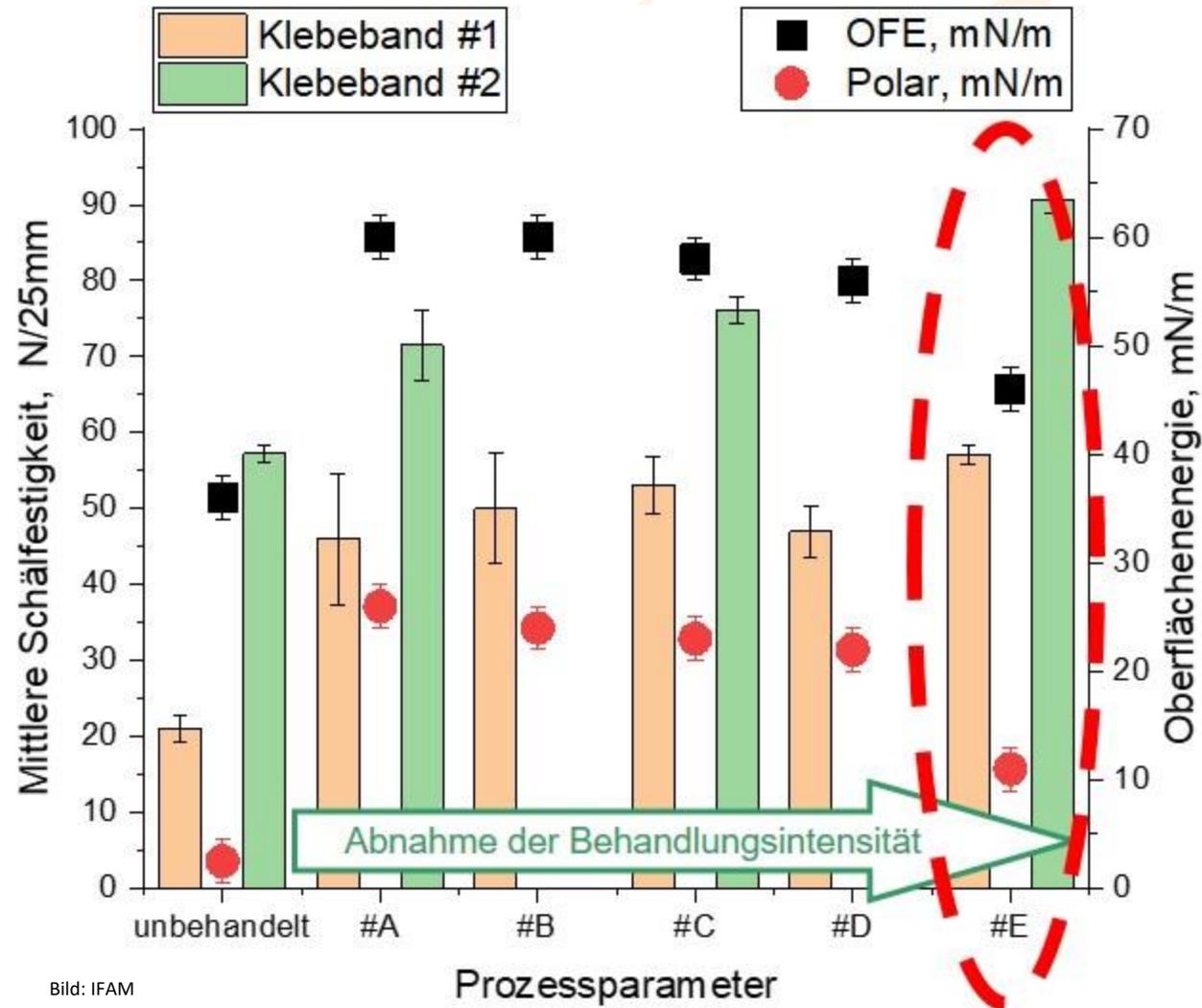


Bild: IFAM

Unzureichende Behandlung

Problem:

Benetzbarkeit nach Vorbehandlung hoch, aber NOCH keine ausreichende Haftung

Ausgangslage:

PP-Platte soll verklebt werden.

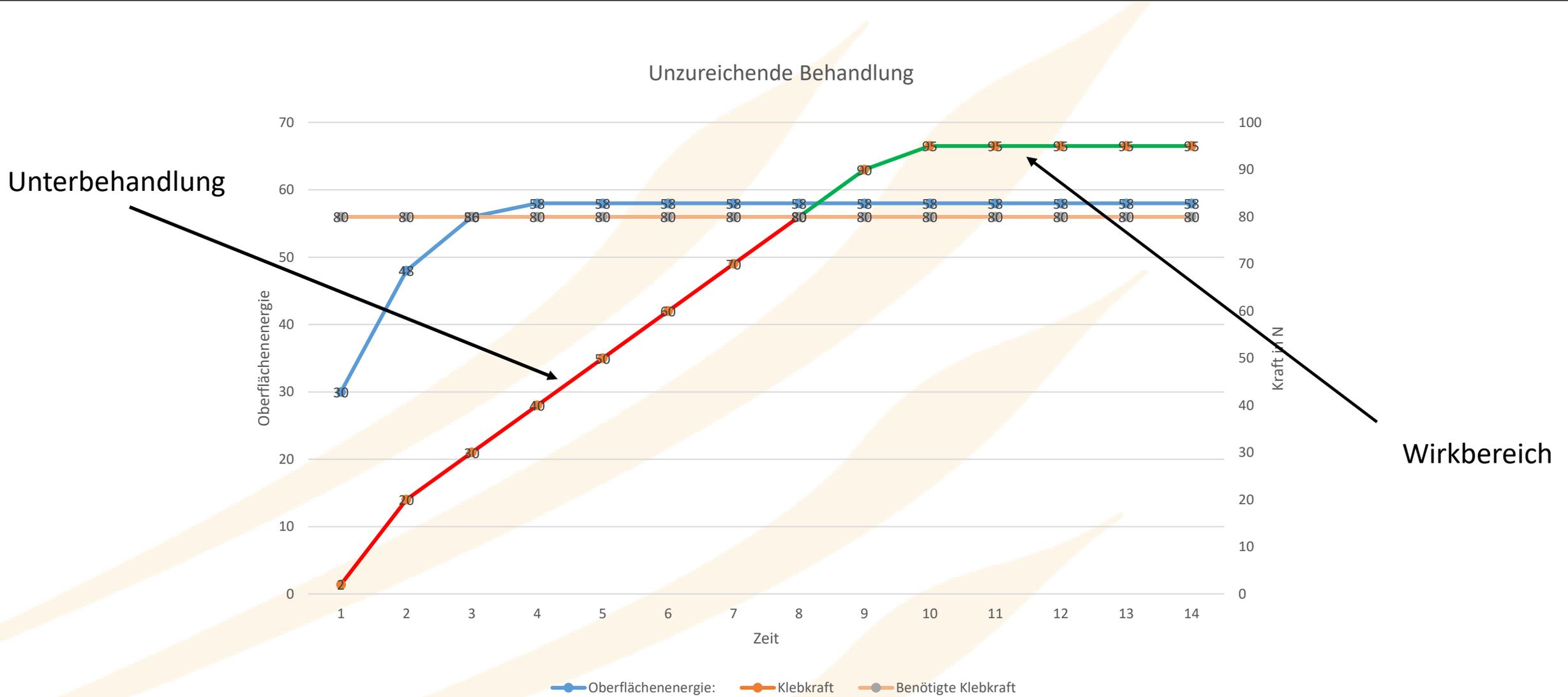
50 W/m²/min Plasma-Energieeintrag (DBD)

Benetzbarkeit hoch (>58 mN/m), aber keine ausreichende Haftung.

400 W/m²/min Plasma-Energieeintrag (DBD)

Benetzbarkeit hoch (>58 mN/m), ausreichende Haftung.

Unzureichende Behandlung



Überbehandlung

Problem:

Nach der Vorbehandlung ist die Haftung schlecht, trotz hoher Oberflächenenergiewerte

Beispiel:

PVC Folie vor dem Verkleben

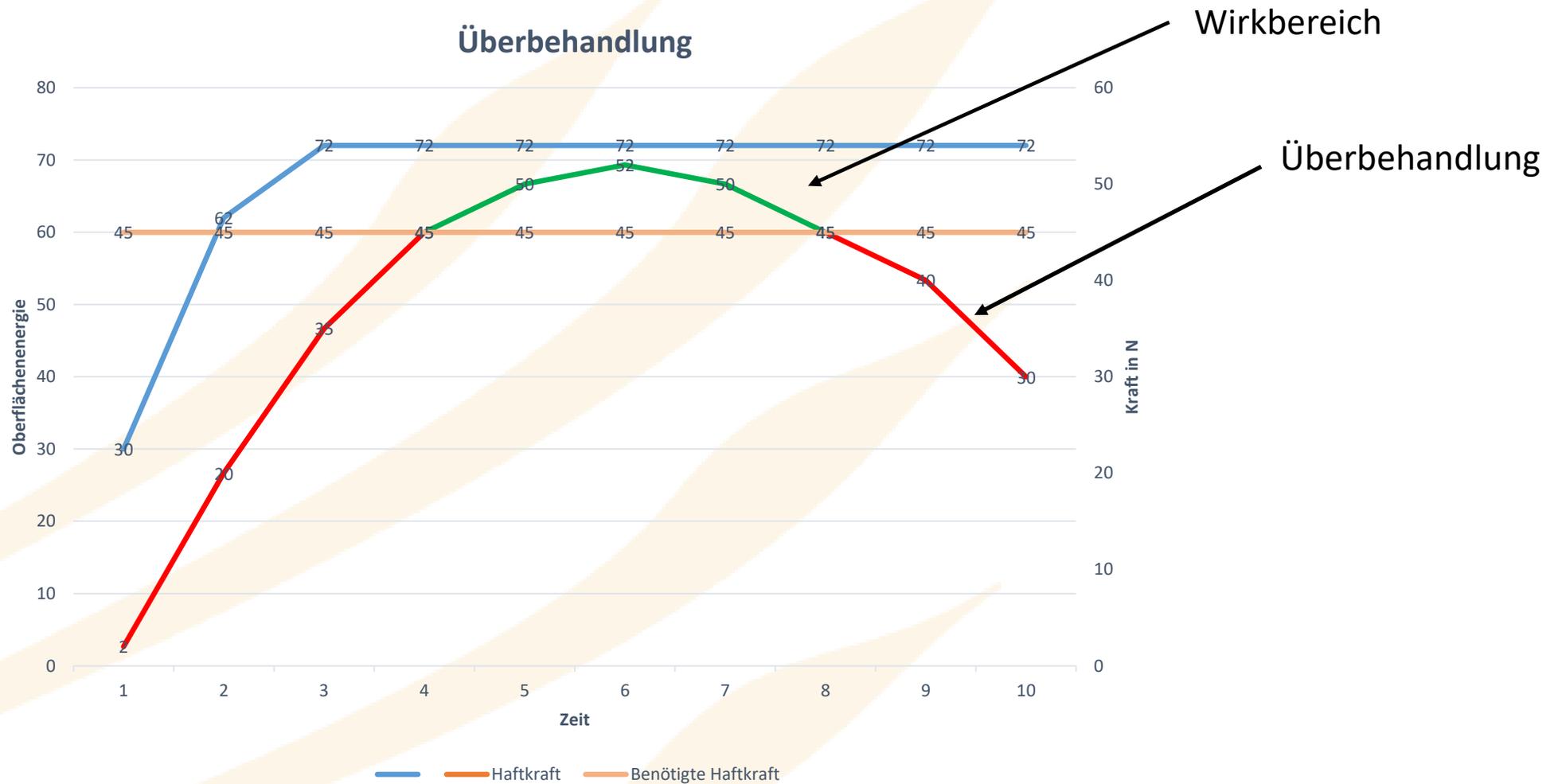
10 W/m²/min Plasmaleistung auf der Oberfläche (DBD)

Hohe Benetzbarkeit (>72 mN/m), aber keine ausreichende Haftung

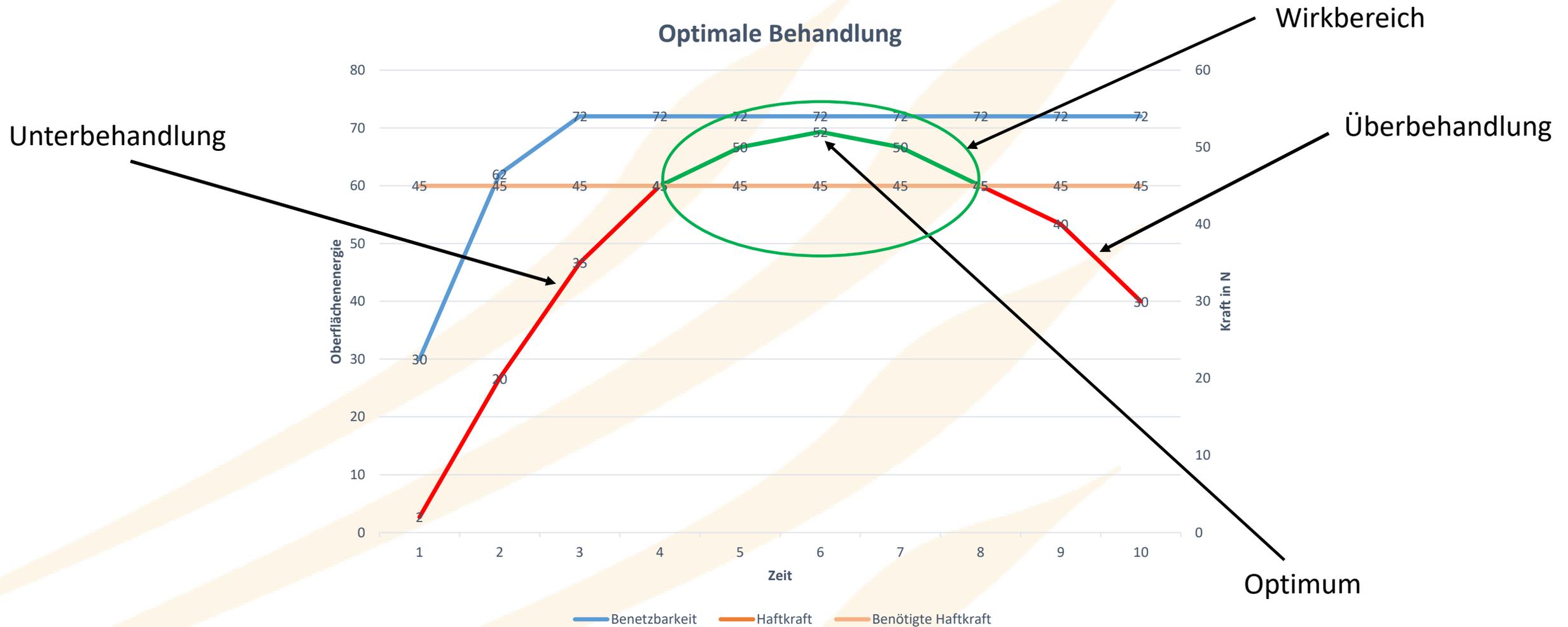
2 W/m²/min Plasmaleistung auf der Oberfläche (DBD)

Hohe Benetzbarkeit (>72 mN/m), ausreichende Haftung

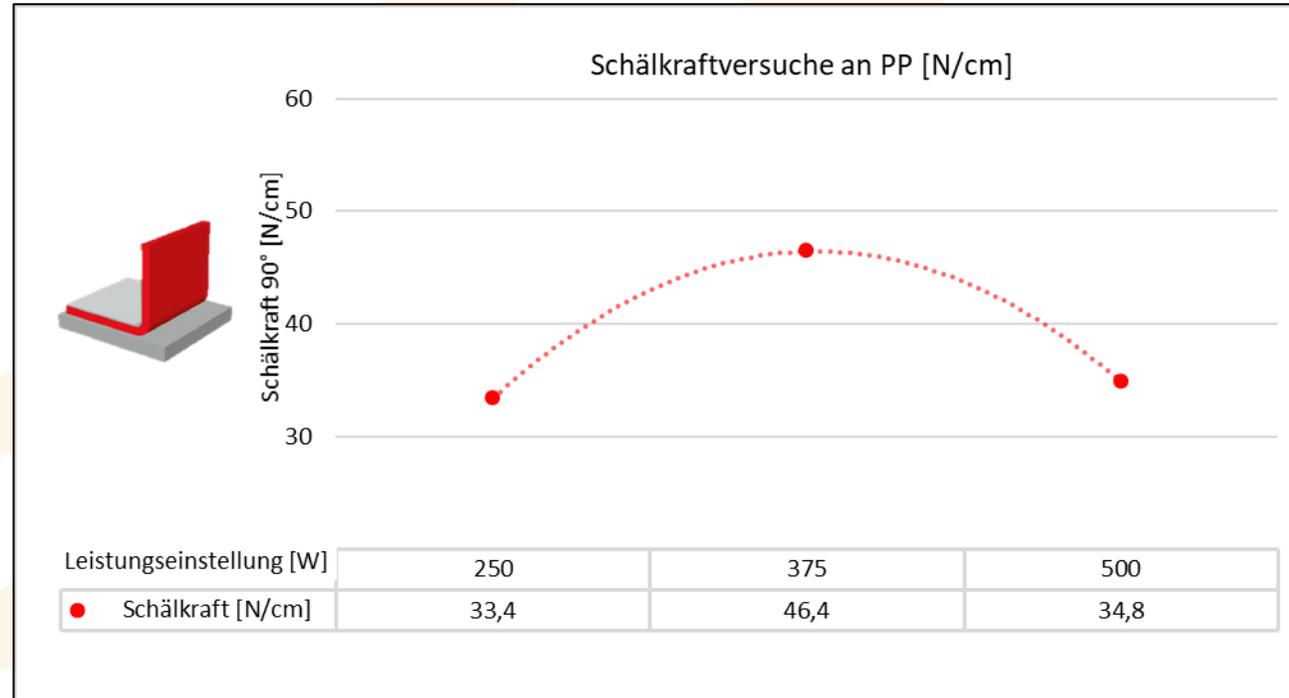
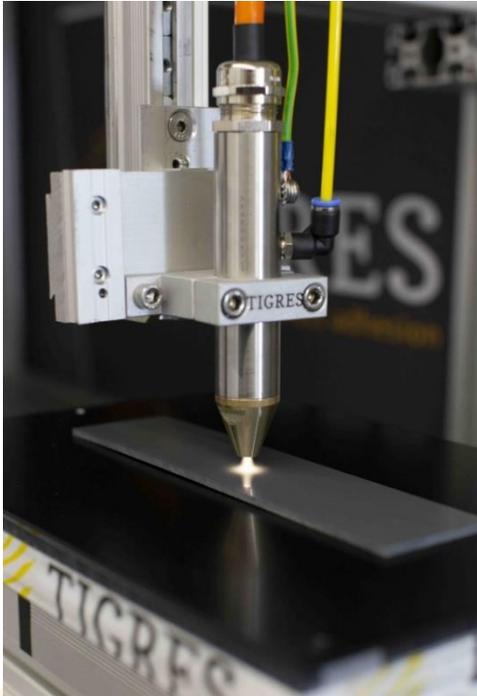
Überbehandlung



Plasmabehandlung optimieren: Die optimale Leistungsdosis



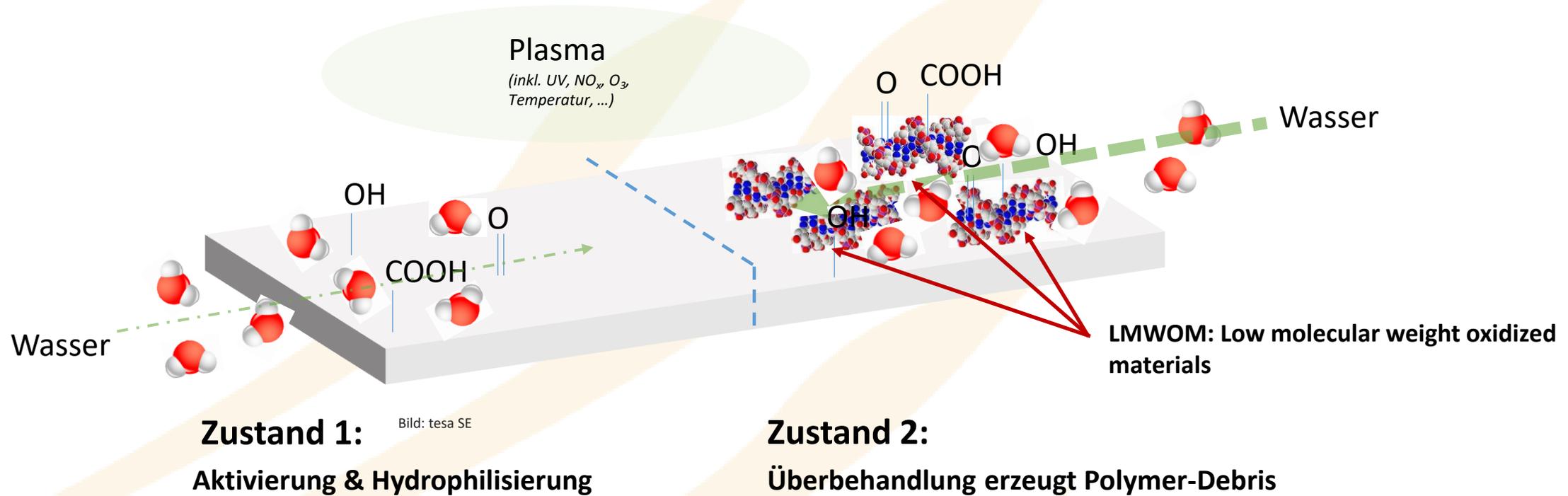
Einfluss von Leistung auf Haftung



Klebeband: tesa ACX^{Plus}

Überbehandlung

Was passiert bei Überbehandlungen?



Überbehandlung führt zu hoher Oberflächenspannung, erzeugt jedoch eine

- wasserlösliche Debris (→ ermöglicht eine Feuchtehinterwanderung in eine Grenzfläche) sowie
- Degradation der Kunststoffoberfläche.

Überbehandlung

AUSWIRKUNG AUF DIE HAFTFESTIGKEIT: PP GF30 mit ACX® 7076

Genutztes Prinzip: T-JET Corona



Bruchart:

(A) Adhäsiver Bruch

(M) Mischbruch

(C) Kohäsiver Bruch

Anzahl der Behandlungen	Reinigung	T-Peel [N/cm] nach 3d/RT	Oberflächen- spannung [mN/m]	T-Peel [N/cm] nach 240h 40° C/100% rel. Feuchte sofort	T-Peel [N/cm] nach 240h 40° C/100% rel. F. - rekonditioniert
1 x	tesa cleaner	40,9 (C)	44	32,1 (M)	39,4 (C)
3 x	tesa cleaner	42,2 (C)	48	8,9 (A)	19,5 (A)

Bild: tesa SE

Klebebänder sind besonders empfindlich für Überbehandlung

Die richtige Plasmadosis entscheidet den Haftungserfolg!



TIGRES
Plasma for perfect adhesion

Wie Plasmabehandlung optimieren?

Möglichkeiten, die Plasmadosis bei zu beeinflussen:

☹️ **Abstand der Plasmadüse zum Material (bei Plasmajets)**

Nachteile:

1. I.d.R. nur sehr geringes Einstellfenster von wenigen Millimetern
2. Unpraktisch bei verschiedenen Leistungsanforderungen bei festinstallierten Düsen

😐 **Ändern der Verfahrensgeschwindigkeit von Plasmadüse oder Material**

Nachteile:

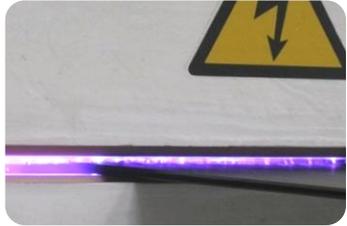
1. Prozessgeschwindigkeit/Zeit kann beeinträchtigt oder nur schwer realisiert werden (zu schnell oder zu langsam)
2. Bei einigen Verfahren nur schwer möglich (z. B. Extrusion)

😊 **Leistung der Plasmaentladung anpassen**

Vorteil: Kann direkt proportional über den Generator angepasst werden, online, bei Bedarf auch via Schnittstellen I/O und BUS

Standard Werkzeuge, Leistungswerte

DBD



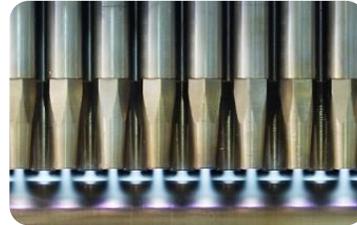
1 W / 1 mm
● 1 W/mm

T-JET



600 W / 70 mm
● 8,5 W/mm

MultiMEF



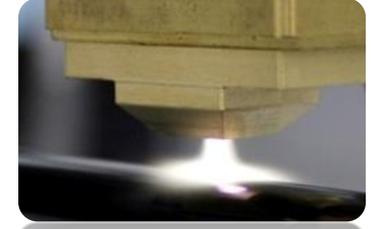
200 W / 7 mm
● 28,6 W/mm

T-SPOT



250 – 500 W / 10 mm
● 25 – 50 W/mm

CAT

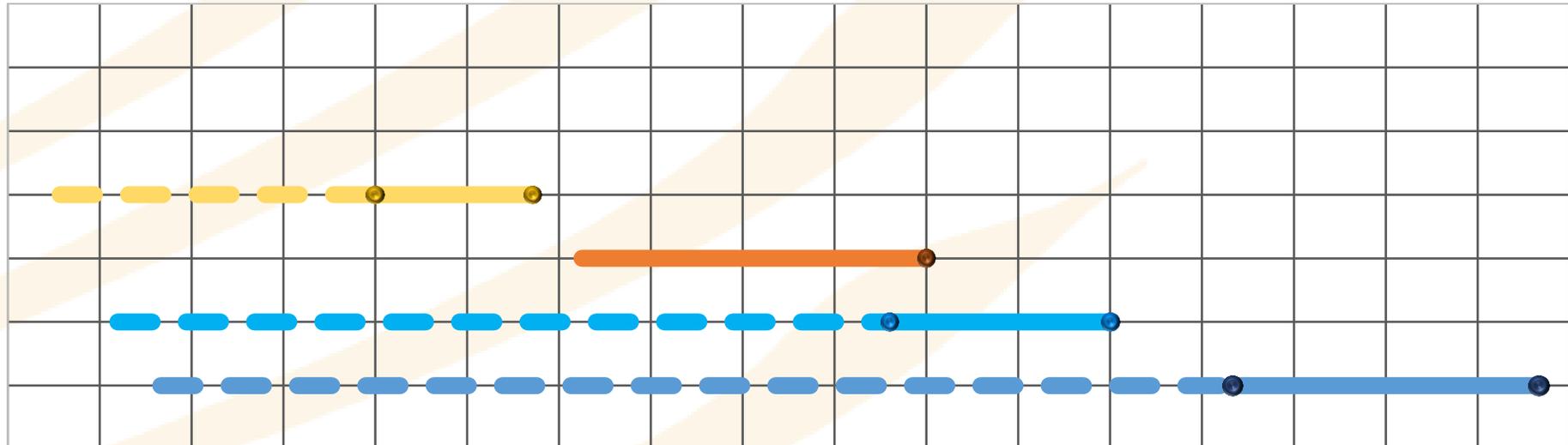


600 o. 1000 W / 12 mm
● 50 o. 83 W/mm

Leistungswerte angenähert (W/mm)

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85

- DBD
- T-JET XW
- MultiMEF EDC
- T-SPOT S3 FD
- CAT600 FD EDC
- CAT1000 FD EDC



Die richtige Plasmadosis entscheidet den Haftungserfolg!



Fazit Oberfläche

- ✓ Eine gute Benetzbarkeit/hohe Oberflächenenergie ist oft notwendig, aber nicht hinreichend und bedeutet alleine noch nicht, dass eine gute Haftung erreicht werden kann!
- ✓ Für die optimalen Haftungsergebnisse sind mehrere Testreihen sinnvoll, die den optimalen Leistungsdosis ermitteln, in Bezug auf die eigentliche Applikation
- ✓ Leistungseinstellbare Plasmageräte ermöglichen eine optimale Leistungsdosis

Tatsächliche Test der Haftung sind notwendig!

Fragen bis hierher?

Die Oberfläche: Verunreinigungen

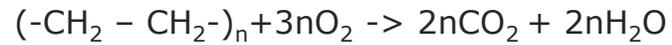
Typische Verunreinigungen auf Oberflächen:

- Öle
- Fette
- Trennmittel
- Fingerabdrücke
- Gleitmittel
- Additive
- Oxide
- Staub

Die Oberfläche: Plasmawirkung auf organische Verunreinigungen

Oxidative Prozesse:

-Oxidation von organischen Bestandteilen in die Gasphase, zu Wasserdampf, CO₂ sowie in organische Bestandteile



Kinetische Energie:

-Beschleunigung der Teilchen (+100 eV) entfernt Teilchen (Sputtern)

-Absorptionsschichten werden entfernt

Thermische/kinetische Energie:

-Hohe Plasmastrahltemperatur und Druck führen zu Reinigungseffekten

-Abtragung von Oberflächenschichten/Aufräuhung

Die Oberfläche: Plasmawirkung auf organische Verunreinigungen

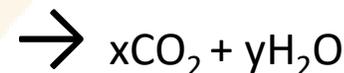
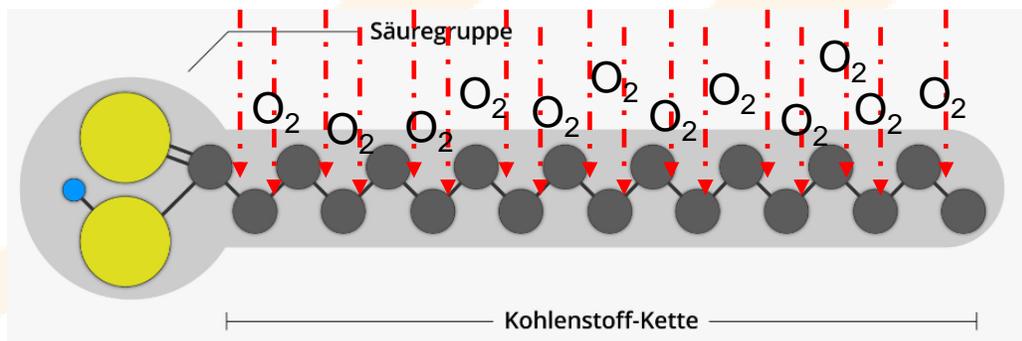
Reinigung
Kontamination: [g/m²]

Feinstreinigung
Kontamination: [mg/m² - µg/m²]

Ultra-Feinstreinigung
Kontamination: [ng/m² - Moleküle]

1 g/m² ≈ 1 µm Schichtdicke
> 6.600 Lagen Moleküle!

Molekülfragmentierung durch Plasma



Größenordnung für eine
Kohlenstoff-Einfachbindung: 0,15 nm

Bilder: tesa SE

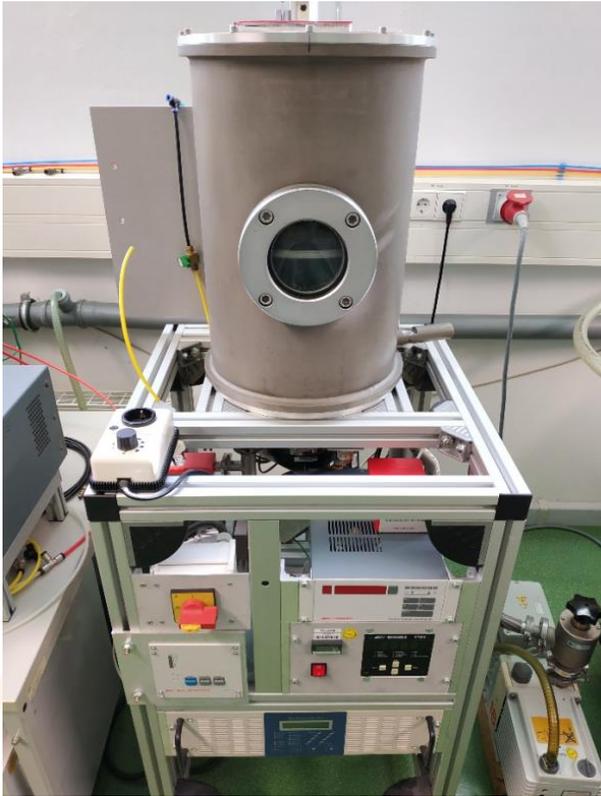


Möglich, aber vollständige
Reinigung bei
Atmosphärendruck
unwahrscheinlich

Die Oberfläche: Gereinigt mit Plasma

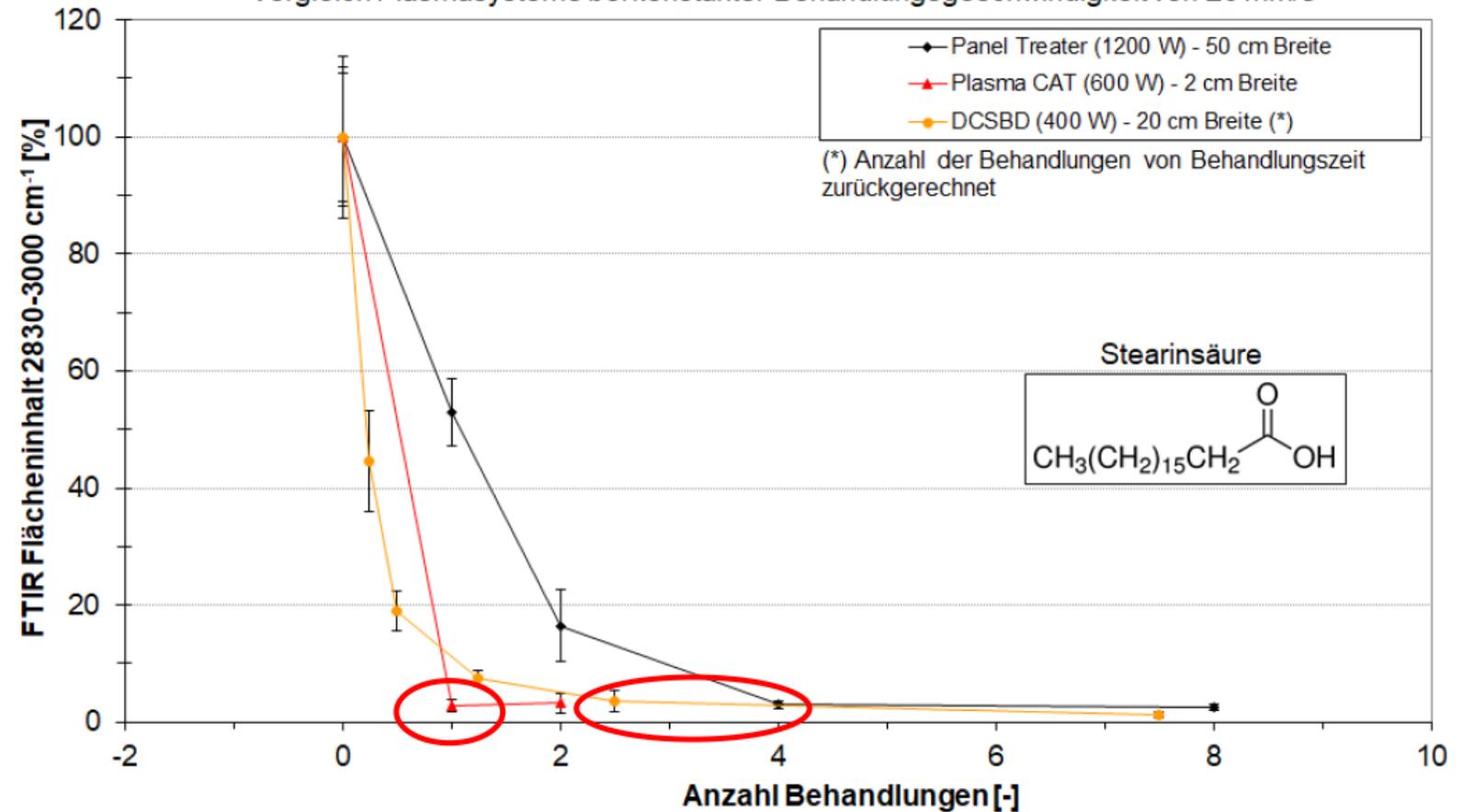
Schichtdicke
Verunreinigung ca.
100 nm

FTIR Spektroskopie



Bilder: Innovent e.V., Dr. Oliver Beier

Stearinsäureabbau an 3 mm Flachglas nach Plasmainteraktion
Vergleich Plasmasysteme bei konstanter Behandlungsgeschwindigkeit von 20 mm/s

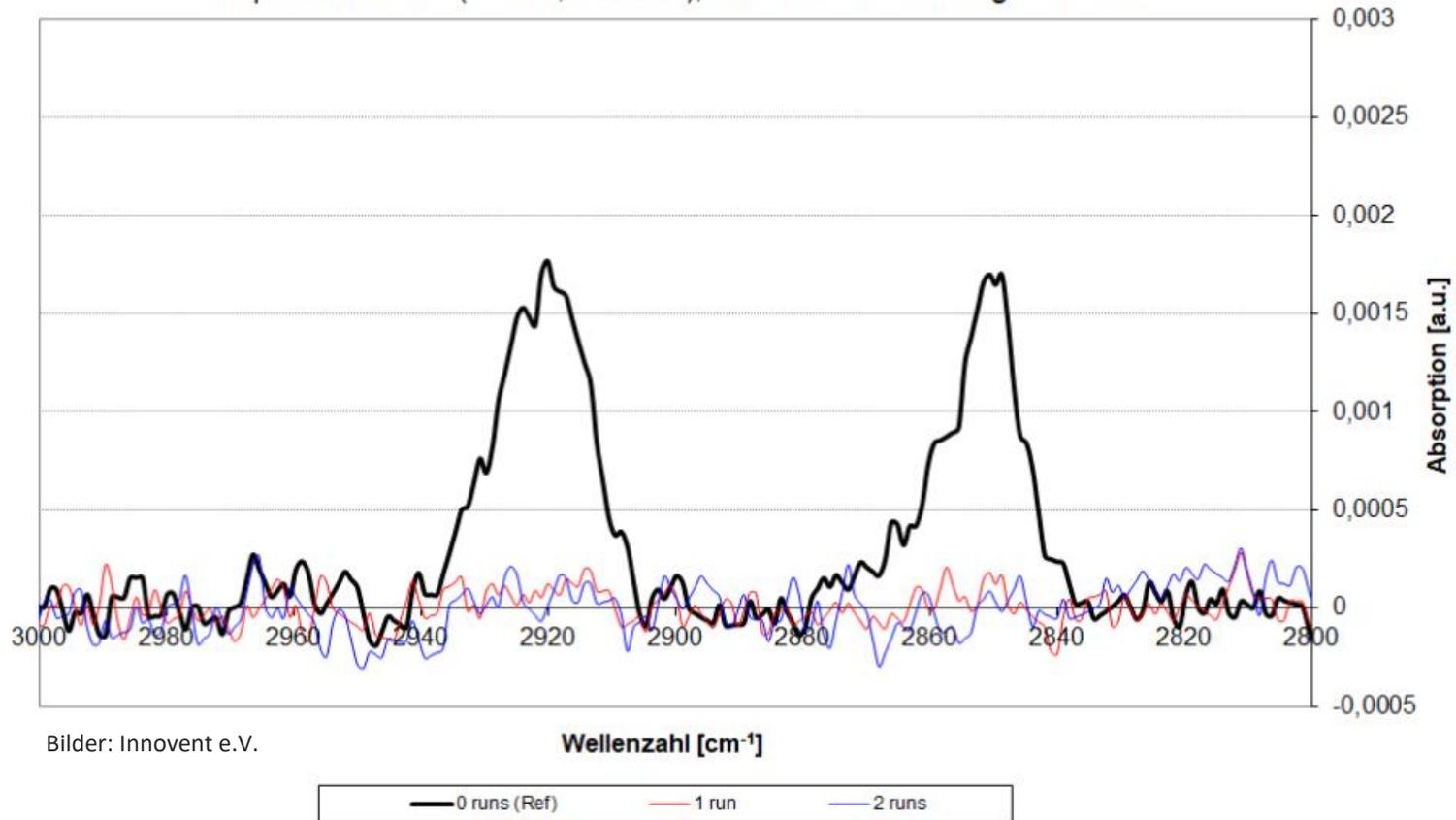


Die Oberfläche: Gereinigt mit Plasma

FTIR Spektroskopie

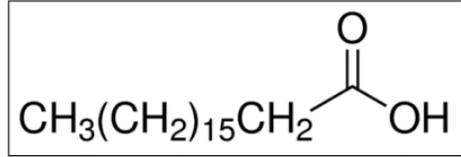
FTIR Spektroskopie an 3 mm Flachglas, Nachweis organischer Rückstände
Bsp: PanelTreater (1.2 kW, 20 mm/s), Anzahl der Behandlungen variiert

Schichtdicke
Verunreinigung ca.
100 nm



Die Oberfläche: Gereinigt vs. Plasma

Reinigung von Stearinsäure

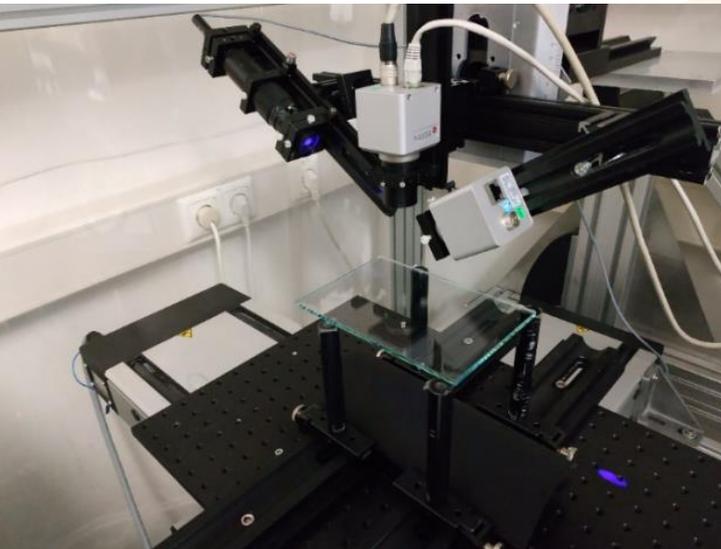


Laserabtastung

Schichtdicke

Verunreinigung ca.

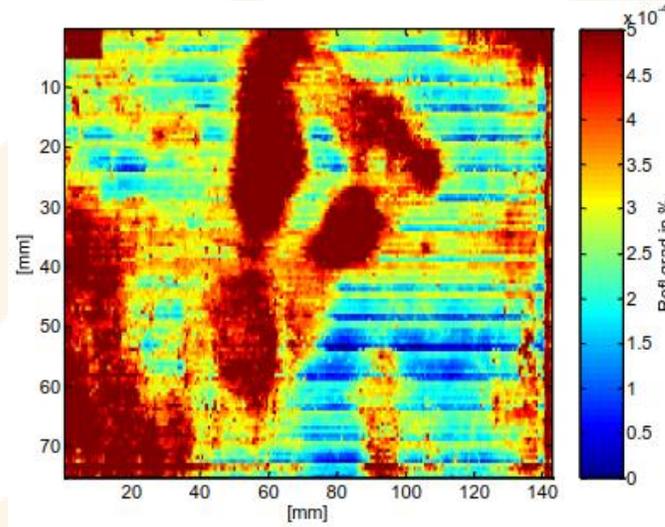
100 nm



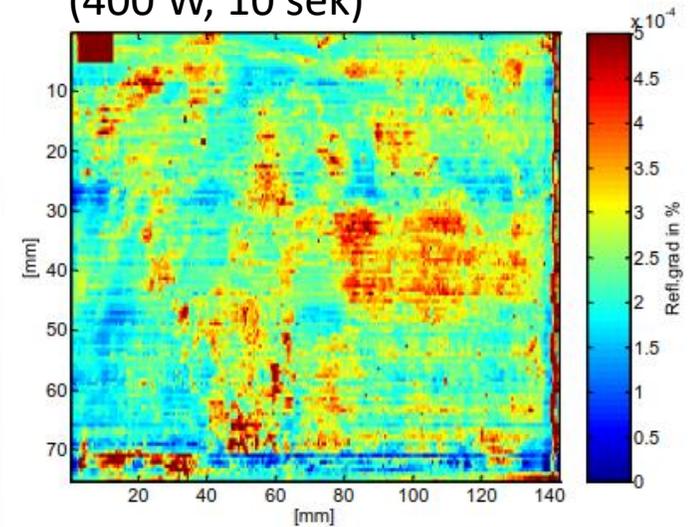
Bilder: Innovent e.V.

Flachglas ungereinigt

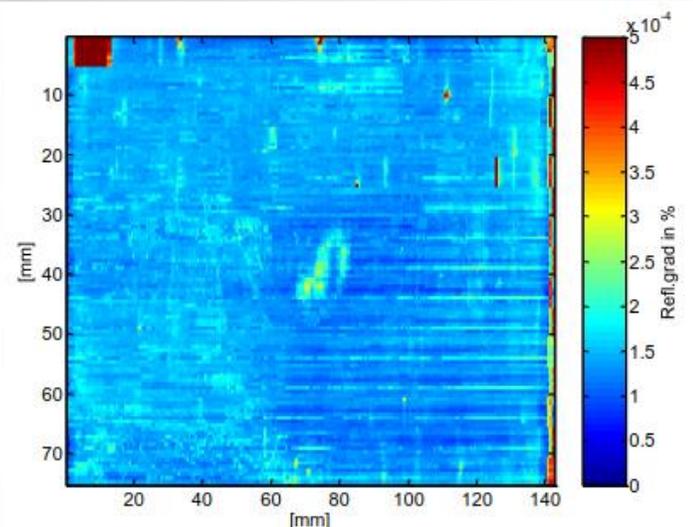
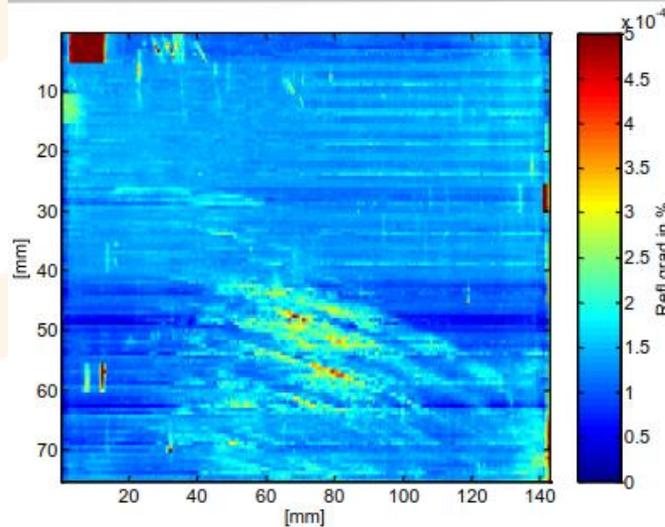
Ausgangszustand



Nach Plasmainteraktion
(400 W, 10 sek)

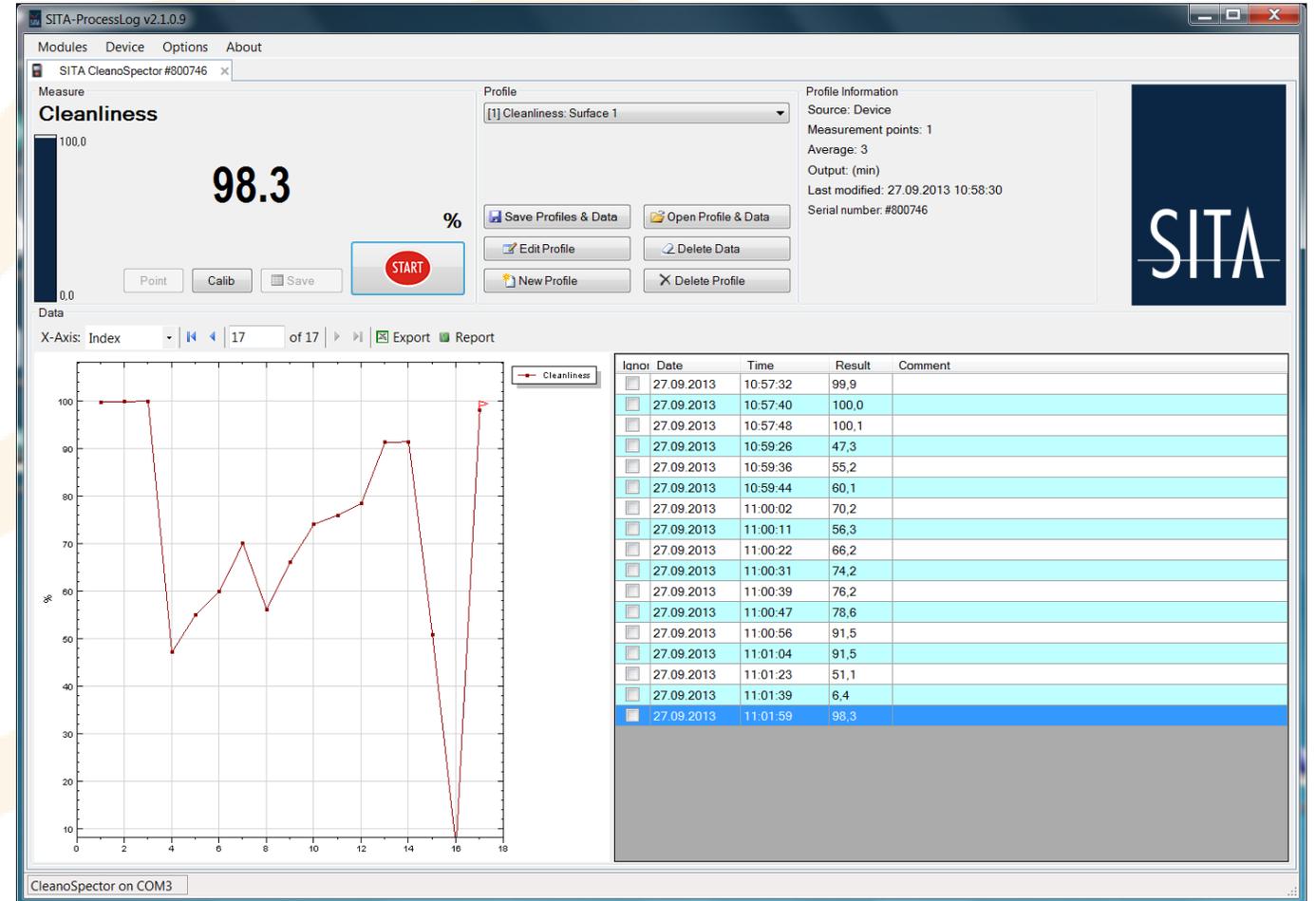
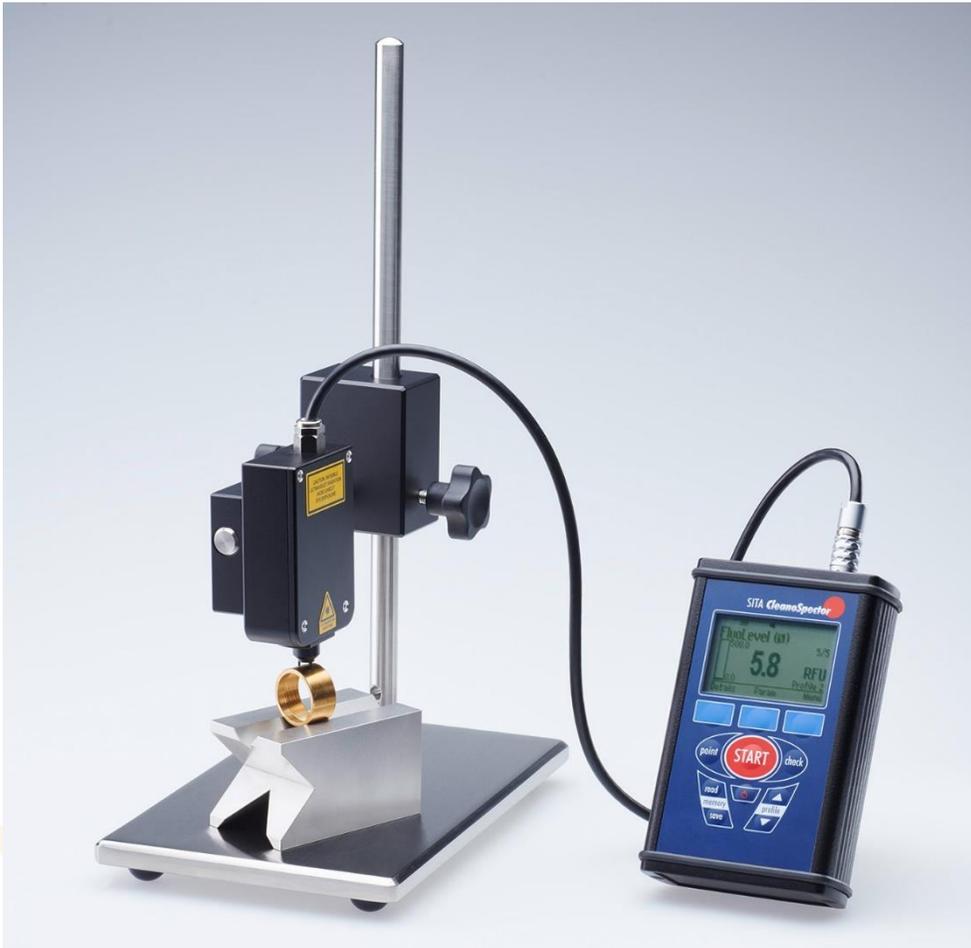


Flachglas gereinigt



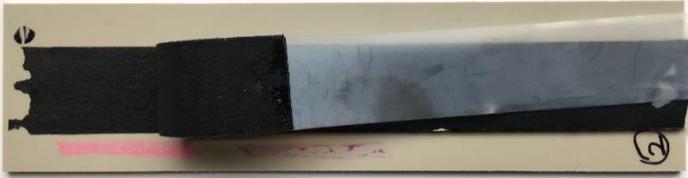
Die Oberfläche: Schichtstärke der Verunreinigung messen

Messen der Schichtstärke von organischen Verunreinigungen



Bilder: <https://www.sita-process.com/produkte/fluoreszenzmesstechnik/sita-cleanspector/>

Die Oberfläche: Gereinigt vs kontaminiert

 Polypropylen gereinigt	 Polypropylen kontaminiert
	
Plasma & Verklebung mit ACX^{plus} 7812	
	
Bruchart: kohäsiv	Bruchart: adhäsiv
Kann die Oberflächenspannung die Klebkraft vorhersagen?	

Bilder: tesa SE

Die Oberfläche: Gereinigt vs kontaminiert

Bedingung	Oberflächenspannung [mN/m]	Klebkraft T-Peel 90° [N/cm]	Bruchart
Polypropylen gereinigt [mit Isopropanol]	30	12	A ^[100%]
Polypropylen gereinigt & plasmavorbehandelt	→ 44	→ 78	K ^[100%]
Polypropylen kontaminiert [Silikonsystem PDMS – 1h Blocklagerung 40°C]	< 30	5	A ^[100%]
Polypropylen kontaminiert & plasmavorbehandelt	→ > 48	→ 9	A ^[100%]

Plasmabedingung: TIGRES T-SPOT S2: v = 40 m/min, d = 5 mm, PWR = 60 % r = 6 mm
Bruchart: Adhäsionsbruch [A], Mischbruch [M], Kohäsionsbruch [K]
Klebkraftmethode: T-Peel 90°, 300 mm/min, Aufziehzeit 3d



Die Klebkraft korreliert nicht hinreichend mit der Oberflächenspannung!

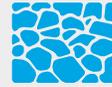
Oberflächenkontaminationen können nach der Plasmabehandlung nicht sicher über Oberflächenspannung identifiziert werden.

Bilder: tesa SE

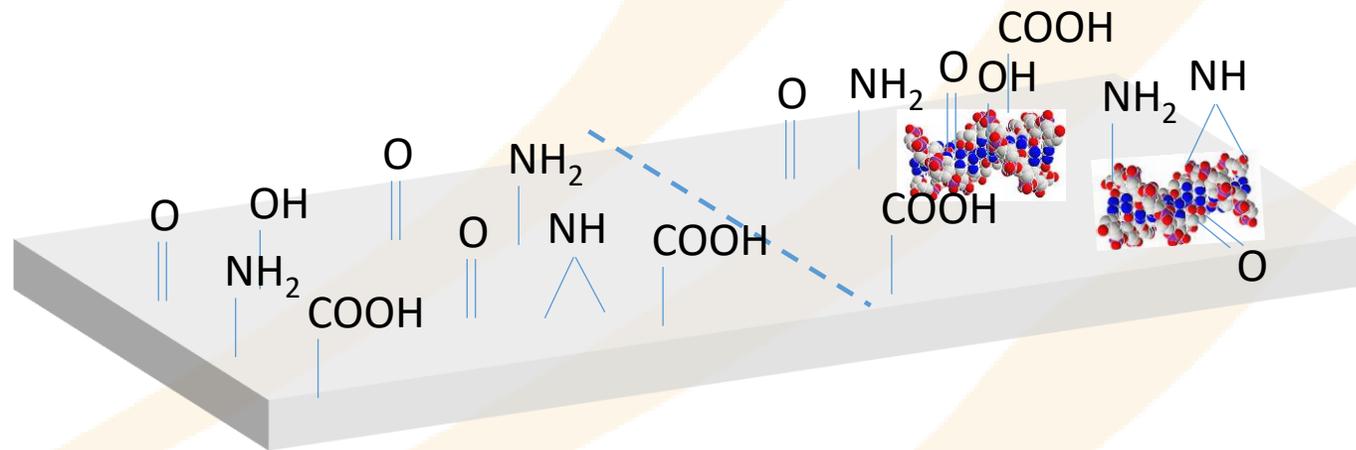
Die Oberfläche: Gereinigt vs kontaminiert



Oberfläche frei von
Kontamination



Oberfläche mit
Kontamination



Bilder: tesa SE



Gereinigte Oberflächen werden durch Plasma funktionalisiert.

Auch Kontaminationen werden funktionalisiert und zeigen hohe Oberflächenspannungen.

Dies ist kein Hinweis für eine gute Verklebung bzw. auf eine Reinigung der kontaminierten Oberfläche.

Warum wird Plasma für Reinigung eingesetzt?

Die Oberfläche: Gereinigt vs kontaminiert

Bedingung	Oberflächenspannung [mN/m]	Klebkraft T-Peel 90° [N/cm]	Bruchart
Polypropylen gereinigt [mit Isopropanol]	30	12	A ^[100%]
Polypropylen gereinigt & plasmavorbehandelt	44	78	K^[100%]
Polypropylen kontaminiert [Silikonsystem PDMS – 1h Blocklagerung 40°C]	< 30	→ 5	A ^[100%]
Polypropylen kontaminiert & plasmavorbehandelt	> 48	→ 9	A ^[100%]
Plasmabedingung: TIGRES T-SPOT S2: v = 40 m/min, d = 5 mm, PWR = 60 % r = 6 mm Bruchart: Adhäsionsbruch [A], Mischbruch [M], Kohäsionsbruch [K] Klebkraftmethode: T-Peel 90°, 300 mm/min, Aufziehzeit 3d			

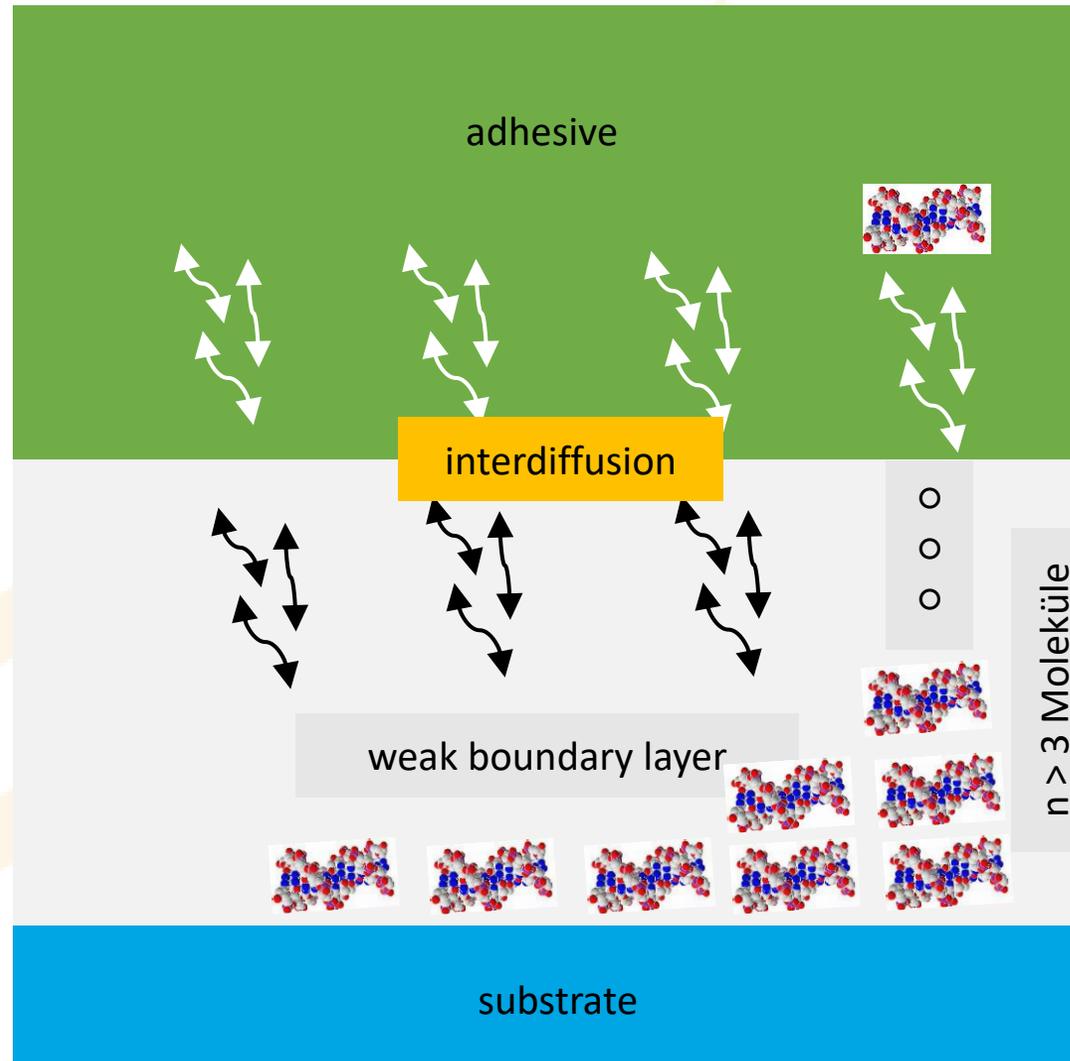
Klebebänder sind extrem empfindlich gegenüber Verunreinigungen, flüssige Systeme sind deutlich toleranter!

Warum hilft Plasma in manchen Fällen?

These Interdiffusion



Diffusion in das Bulk der Klebmasse erforderlich!



Bilder: tesa SE



Die Interdiffusion hängt stark von der Kontamination und Rezeptur der Klebmasse ab.

siehe auch:
IGF-Vorhaben-Nr. 16.030 N
DVS-Nr: 08.051
Einsatz rationaler partieller Reinigungsverfahren zur Verbesserung der Raumtemperatur-Klebarkeit beölter und umgeformter Feinbleche - „Ratioclean“

POLYMER-KONTAMINATION-INTERDIFFUSION

Für den industriellen Einsatz wird versucht, den Fertigungsprozess so zu steuern, dass der Verbund kohäsiv versagt, d.h. dass $\langle a_c^* \rangle > \langle a_c^\# \rangle$ und somit die Volumendefekte im Klebstoff den Versagensmechanismus dominieren. Durch eine nicht optimale Reinigungswirkung oder eine ineffektive bzw. unvollständige Aktivierung der Oberfläche ist es möglich, dass die Grenzfläche geschwächt wird und $\langle a_c^\# \rangle$ anwächst. Für $\langle a_c^\# \rangle > \langle a_c^* \rangle$ initiieren die Grenzflächendefekte den adhäsiven Versagensprozess. Haftungsvermindernde Kontaminationen auf der Grenzfläche, wie z.B. bestimmte Tiefziehöle oder Trennmittel können durch darauf abgestimmte Klebstoffsysteme inkorporiert und dadurch die Adhäsionswirkung verbessert werden (Peschka 2011). Sind die Kontaminationen jedoch nicht bekannt und können durch den Klebstoff nicht aufgenommen werden, weil sie ggf. in zu großer Menge vorhanden sind, wirken sie als Defekte auf der Oberfläche und bewirken eine schlechte oder auch extrem geringe Anbindung des Klebstoffs an die Oberfläche. Dies zeigt sich dann durch die Veränderung des Versagensmechanismus von kohäsivem zu adhäsivem Versagen. Letzteres geht in der Regel mit einer abnehmenden Festigkeit unter statischer Belastung sowie mit einer Verkürzung der Lebensdauer unter zyklischer Belastung einher (Kötting 1992).

Frömmel 2013, Untersuchungen zum mechanischen Verhalten von Klebverbindungen unter Berücksichtigung von Grenzflächendefekten, Institut für Werkstoffkunde/Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik/ Universität der Bundeswehr München

<https://d-nb.info/104320718X/34>

Wo hilft Plasma bei Verunreinigungen?

- ❖ Flüssige Systeme wie Klebstoffe, Tinten und Farben können ggf. aktiviertes organisches Material absorbieren
- ☹ Feste oder pastöse Systems wie Klebebänder können nur sehr bedingt aktiviertes organisches Material absorbieren

Fazit Reinigen mit Plasma: Ja, aber...

1. Reinigung/Entfettung:

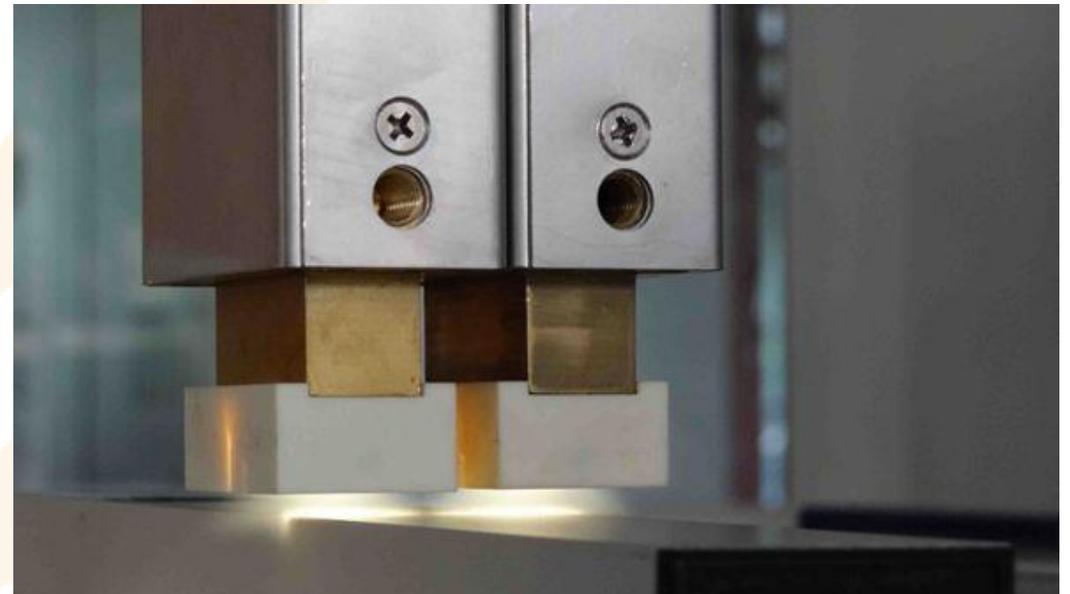
- Ja, aber: Entfernung/Hydrophilisierung dünnere Schichten von organischen Bestandteilen (Feinstreinigung, vor allem im Niederdruckplasma). Testen der Applikation zwingend erforderlich!

2. Elektrostatische Neutralisierung:

- Kunststoffe ziehen keinen Staub mehr an bzw. können leicht gesäubert werden

Fazit Plasma bei Verunreinigungen: Wenn es hilft, dann ist Plasma:

1. Einfaches, gut einsetzbares Verfahren
2. Kostengünstig
3. Reproduzierbar
4. Umweltfreundlicher



Lebensdauer der Vorbehandlung

Die Liegezeit bzw. Lebensdauer der Vorbehandlung kann zwischen **Minuten** (Silikone) und **Jahren** (PS) betragen.

Üblicherweise **Tage bis Wochen**. Muss immer im Einzelfall getestet werden.

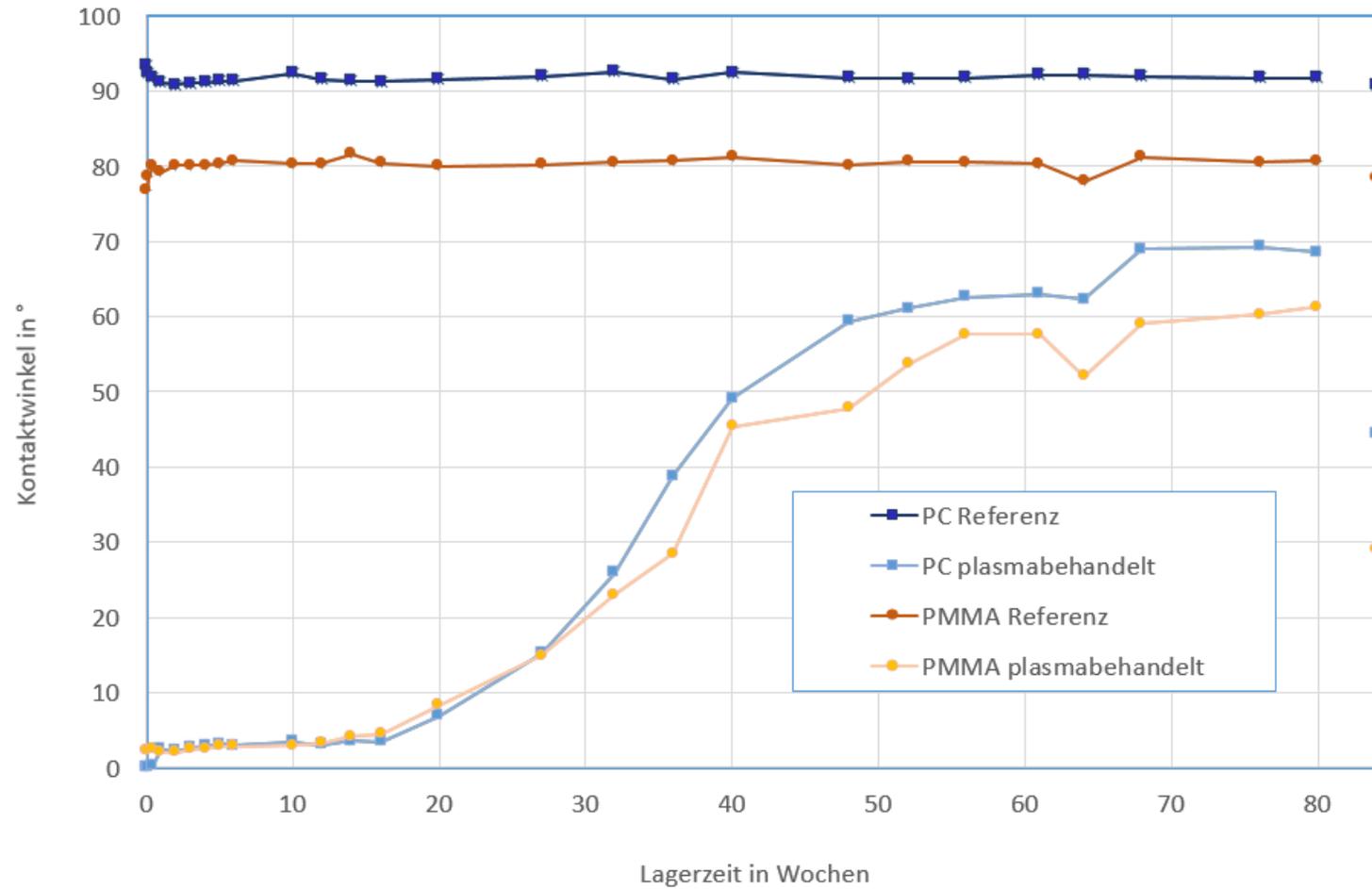
Optimal sofort nach der Behandlung!

Einflussfaktoren:

- Material
 - Kettenbewegung
- Lagerung (Bemusterung: Verpacken in Alufolie!)
- Anwendung
- Behandlungsmethode
 - Plasma versus Flamme
 - Photonen, Brownsche Molekularbewegung
- Zusatzstoffe (Antistatika, Gleitmittel etc.)
- Alter des Polymers bei der Behandlung
- Luftfeuchtigkeit
- Temperatur
- Etc.

Wenn möglich sollte die Verarbeitung unmittelbar nach der Behandlung erfolgen

Lebensdauer der Vorbehandlung



Quelle: Innovent e.V.

Plasma ist nicht Plasma

Verschiedene Plasmaarten können sehr unterschiedlich wirken

Unterschiede sind u.a.:

- Frequenz der Anregungsspannung
- Material der Elektroden (DBD)
- Temperatur des Plasmas
- Behandlung im Primär oder Sekundärplasma
- Entstehende Radikale
- Entstehende Reaktionsprodukte (O^3 , NO_x etc.)
- UV-Anteile
- Behandlungsprozesse brauchen Zeit, d.h. 2 x 500 W können bessere Ergebnisse bringen als 1 x 1.000 W
- Etc.

Die Leistungsdosen können daher, bei vergleichbarem Ergebnis, für verschiedene Systeme sehr unterschiedlich sein



Übersicht Verfahren zu Material

Verbesserung von Haftung							Legende:
Methode	DBD	T-Jet	CAT	T-Spot	MEF	O ³	gut
Behandlungsgas	Luft	Luft	Luft	Luft	Luft	Luft	mittel
Material							schlecht
PE	gut	gut	gut	gut	gut	gut	
PEX	schlecht	mittel	gut	gut	gut		
PP	gut	gut	gut	gut	gut	gut	
PC	gut	gut	gut	gut	gut	gut	
PMMA	gut	gut	gut	gut	gut	gut	
PEEK	schlecht	schlecht	mittel	mittel	mittel		
PET	gut	gut	gut	gut	gut	gut	
PS	gut	gut	gut	gut	gut	gut	
POM	schlecht	schlecht	mittel	mittel	mittel		
ABS	gut	gut	gut	gut	gut	gut	
ABS/PC	gut	gut	gut	gut	gut	gut	
PA	mittel	mittel	gut	gut	gut		
PA 6.6	mittel	mittel	gut	gut	gut		
SAN			gut	gut	gut		
PVC	mittel	mittel	gut	gut	gut		
Fluorpolymere:							
FEP	mittel	mittel	schlecht	schlecht	schlecht		
PVDF							
ETFE	mittel		mittel	mittel	mittel		
PFA	mittel		schlecht	schlecht	schlecht		
PTFE	mittel		schlecht	schlecht	schlecht		
Elastomere							
Silikon	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel		
TPE	schlecht	mittel	schlecht	schlecht	schlecht		
TPU			schlecht	schlecht	schlecht		
EPDM	gut	mittel	gut	gut	gut		
PUR	gut	gut	gut	gut	gut		
Gummi	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel		
gummi elasticum	mittel		mittel	mittel	mittel		
Weitere:							
UV-Beschichtung	gut	gut	gut	gut	gut		
Pulverlack	gut	gut	gut	gut	gut		

Material, bei dem meist nur eine Technik funktioniert

meist ein zufriedenstellendes Ergebniss

kann ein zufriedenstellendes Ergebniss erzielen, oft auch nicht.

meist kein zufriedenstellendes Ergebniss

Wachse und mikronisiertes PE kann Haftung verschlechtern

Übersicht Verfahren zu Material – Reinigung und Reduktion

Reinigung/Oxidation:				
Verfahren	DBD	CAT	T-Spot	MEF
Behandlungsgas	Luft	Luft	Luft	Luft
Metalle:				
Edelstahl	gut	gut	gut	gut
Alu	gut	gut	gut	gut
Chrom	gut	gut	gut	gut
Kupfer	mittel	mittel	mittel	mittel
Silber				

Reduktion:				
Verfahren	DBD	CAT	T-Spot	MEF
Behandlungsgas	N+H	N+H	N+H	N+H
Metalle:				
Alu	schlecht	schlecht	schlecht	schlecht
Kupfer	mittel	mittel	mittel	mittel
Silber	mittel	mittel	mittel	mittel

Legende:	
gut	meist ein zufriedenstellendes Ergebniss
mittel	kann ein zufriedenstellendes Ergebniss erzielen, oft aber auch nicht.
schlecht	meist kein zufriedenstellendes Ergebniss

Formiergas = N + ca. 2-5 % H

TIGRES Plasma testen: Vor Ort, mit Versuchsgeräten, im Labor

Versuche vor Ort:

Wir kommen auch zu Ihnen! Versuche vor Ort mit Versuchsgeräten, um direkt in oder an der Linie zu testen.

Mietsysteme:

Mehr als 20 Mietsysteme stehen zur Vermietung für Tests bei Kunden zur Verfügung

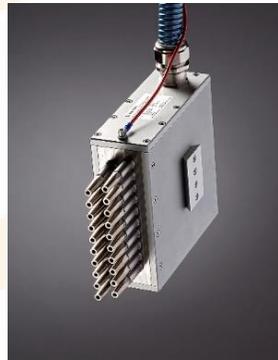
T-SPOT



CAT



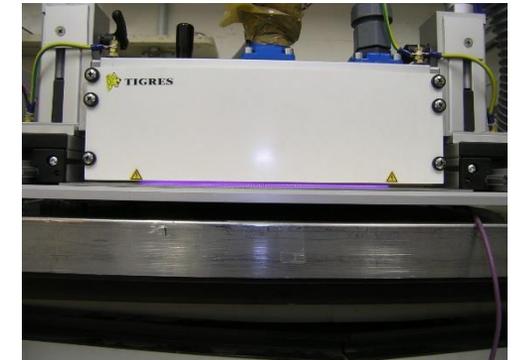
MEF



T-JET



DBD

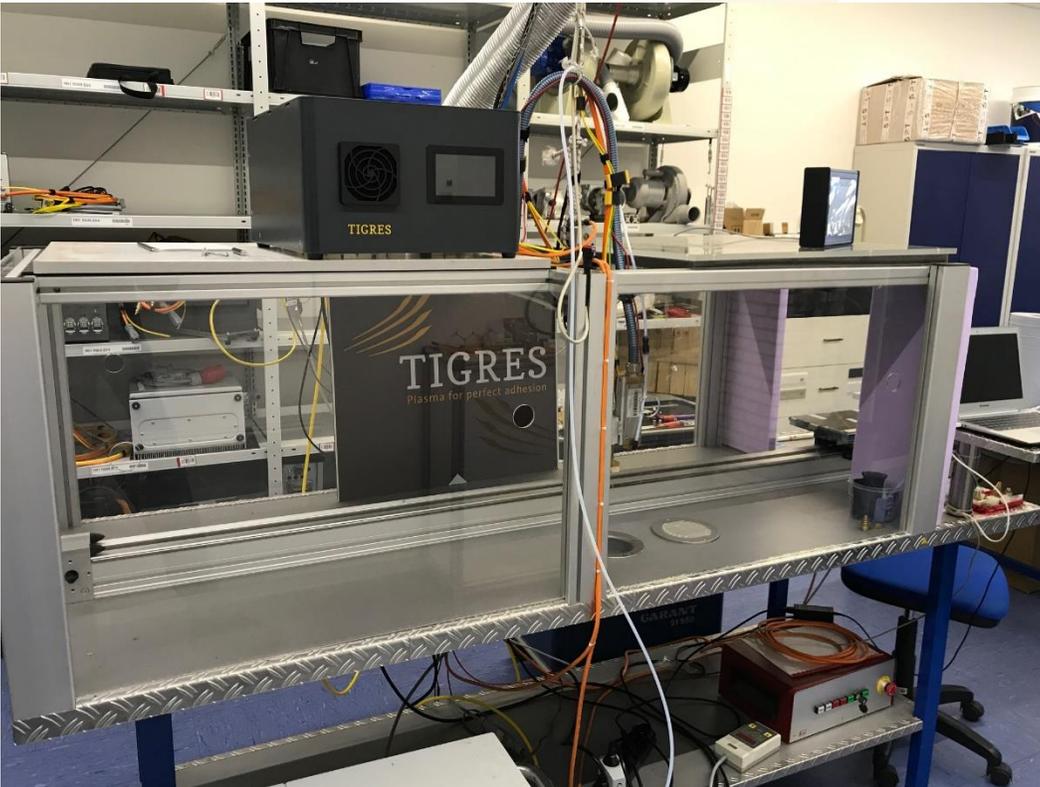


TIGRES Plasma testen: Vor Ort, mit Versuchsgeräten, im Labor

Materialproben bemustern:

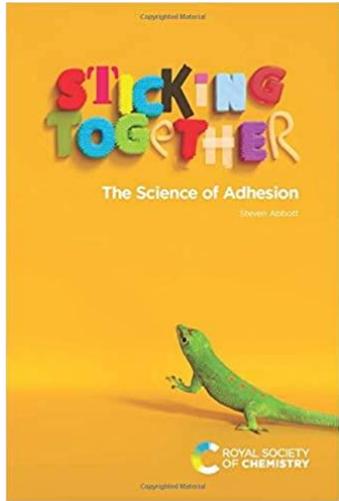
Test von Materialproben/Kleinserien im TIGRES-Labor: Professionelle Bemusterungen:

Aktivierung, Reinigung, Entgraten und Beschichtung mit Plasma



TIGRES: Empfehlung Literatur

Fachbuch in englisch von Prof. Steven Abbot, PhD in Chemie:



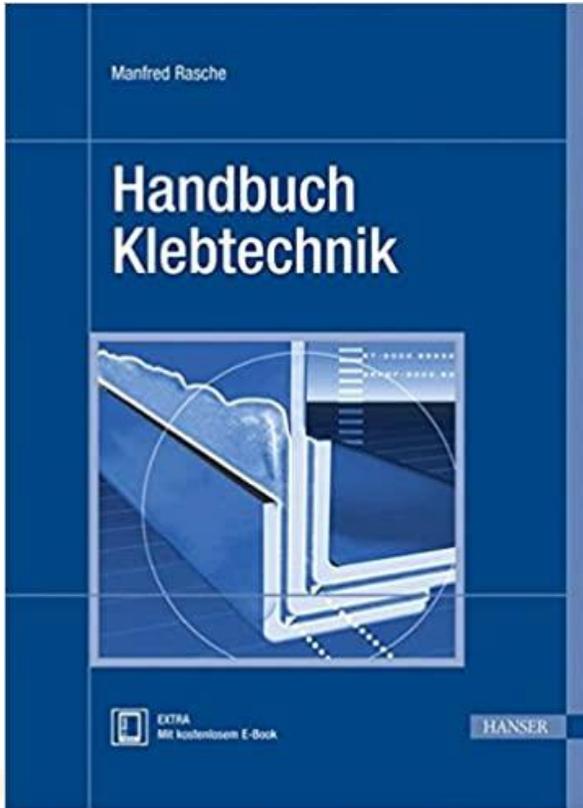
<https://amzn.to/3ppgWRE>

Alle Fachbücher in englisch von Steven Abbot:

<https://www.stevenabbott.co.uk/books.php/>

TIGRES: Empfehlung Literatur

Fachbuch in deutsch von Prof. Dr.-Ing. Manfred Rasche:



<https://amzn.to/3oXGchS>

TIGRES: Weitere Webinare

Nächstes Webinar am:

6.7.21, 14 Uhr Deutsch

7.7.21, 16 Uhr Englisch

Plasmavorbehandlung für eine perfekte Bedruckung:

Digitaldruck

Inkjetdruck

Tampondruck

Siebdruck

Flexodruck

Etc.

Anmeldung Webinare:

<https://www.tigres-plasma.de/de/webinare>



TIGRES: Weitere Veranstaltungen mit Vorträgen von TIGRES

Weitere spezifische Vorträge von TIGRES bei der Veranstaltungen mit:

ISGATEC®
Dichten. Kleben. Polymer.

8-9.6.2021 (Onlineveranstaltung)

Klebebänder für industrielle Anwendungen

Technik. Potenziale. Praxis.

Wer Klebebänder anhand Erfahrung aus dem privaten Gebrauch beurteilt, unterschätzt das Potenzial dieser Verbindungstechnologie für den industriellen Einsatz. Schon heute sind Klebebänder Möglichmacher für Produktinnovationen in vielen Anwendungen und Branchen. Diese Möglichkeiten sind vielfach nicht bekannt und genau hier setzt dieses Online-Forum mit seinem Themenspektrum von Technik über Projektierung bis zur Praxis an.

28-29.9.2021

Elektronische Komponenten prozesssicher abdichten, vergießen und kleben

Trends. Dosiertechnik. Praxis.

Die meisten elektronischen Komponenten, z.B. für E-Mobility-Anwendungen werden ohne einen prozesssicheren Verguss, Auftrag einer Dichtung und/oder eines Klebstoffes langfristig nicht wie gewünscht funktionieren. Hier setzt dieses Online-Forum an und zeigt den Teilnehmer:innen von der Entwicklung über Projektmanagement bis zur eingesetzten Technik auf, welches die Stellschrauben für ein prozesssicheres Dosieren im Kontext zur Mobilität von heute und morgen sind.

<https://www.tigres-plasma.de/de/unternehmen/messen-events> (10 % Rabatt bei Anmeldung über TIGRES)

TIGRES: Weitere Veranstaltung

Weitere Veranstaltungen mit TIGRES:

38. ak-adp-Workshop:

**Zukunftsarena Plasmatechnik
Bedürfnisse – Trends – Visionen**

15-16.6.21

Präsenzveranstaltung in Jena mit Onlineteilnahmemöglichkeit:

[Anmeldung: https://www.ak-adp.de/38-ak-adp-workshop/](https://www.ak-adp.de/38-ak-adp-workshop/)



TIGRES: Weitere Webinare

Verbinden Sie sich mit TIGRES bei LinkedIn für Ankündigungen und fachbezogene Infos rund um das Thema Plasmavorbehandlung.



Kanal TIGRES GmbH

<https://www.linkedin.com/company/tigresgmbh>

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:

Peter van Steenacker



+49 4176 948 7728

Steenacker@tigres.de

[LinkedIn](#)

Tigres GmbH

Sandhagenweg 2

21436 Marschacht



TIGRES

Plasma for perfect adhesion

Made in Germany

www.tigres-plasma.de

tigres@tigres.de

Tel. +49 4176 948 77 0