

Plasmavorbehandlung für Klebebänder



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



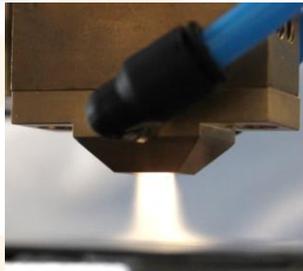
Prozessvorbereitung

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



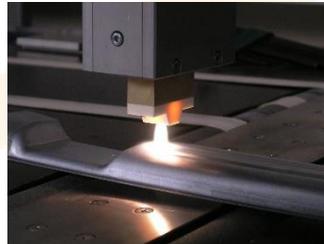
Aktivierung

Adhäsion verbessern, Benetzbarkeit erhöhen



Beschichtung

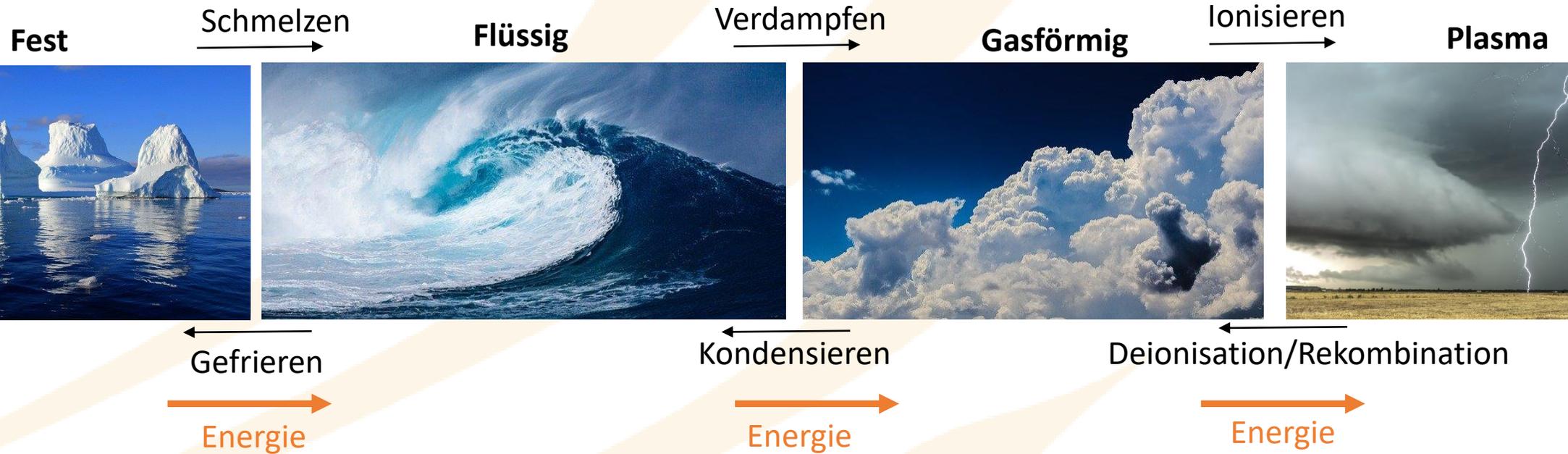
Plasmapolymerisation, dünne Schichten



Entgraten

Entfernen von Graten, Ziehfäden und scharfer Kanten nach dem Spritzguss

Was ist Plasma?



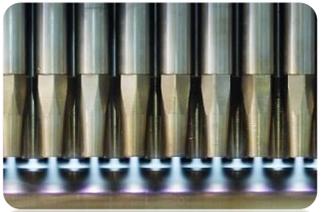
Plasma ist ein ionisiertes Gas.

Mehr als 99 % aller sichtbaren Materie im Universum sind im Plasmazustand (Wikipedia).

Atmosphärendruckplasmen TIGRES

Formen:

MEF



T-SPOT



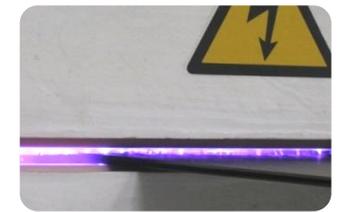
CAT



T-JET



DBD



Plasmadüsen/-jets (APPJ)

Potentialfrei

Sprühcorona/Coronajets

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

Hochspannungspotential

Atmosphärisches Plasma

Standardgeräte, allgemeiner Aufbau

Versorger

+

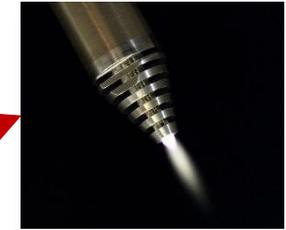
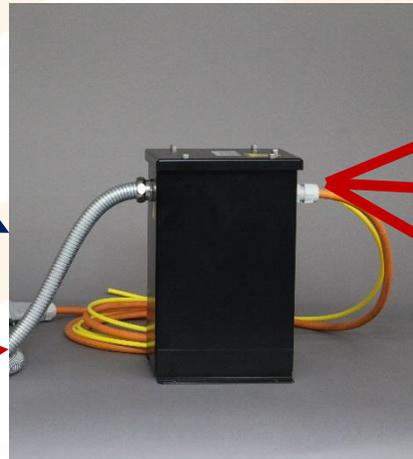
Werkzeug

Generator

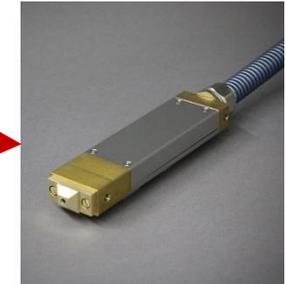
+

Trafo

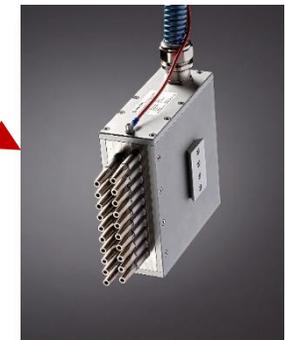
(intern / extern)



T-SPOT



CAT



MEF

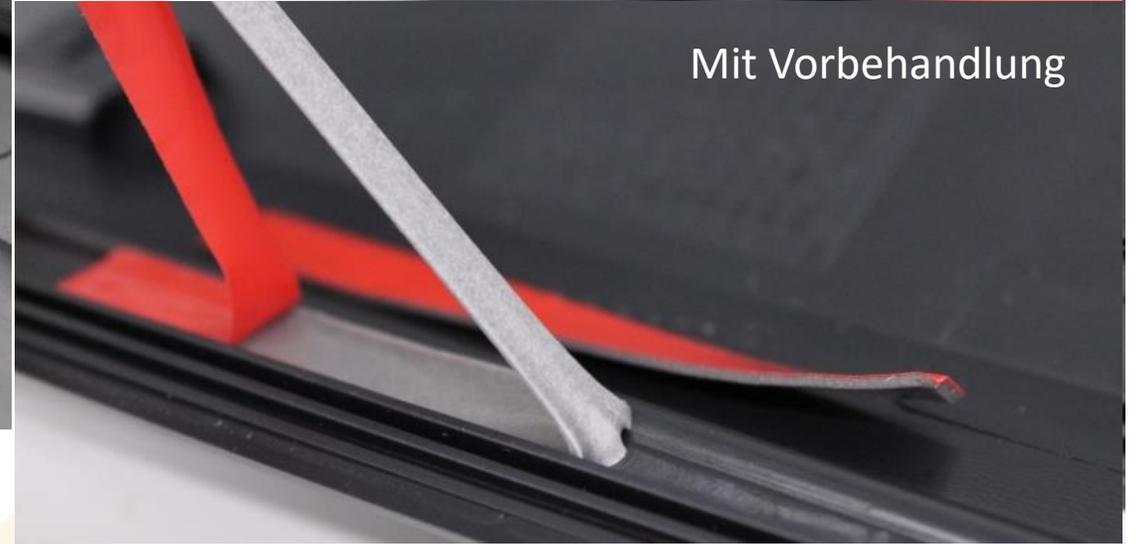
Beispiel Aktivierung PP+PE für Klebebandapplikation



Werkzeug : CAT600
Abstand : 10 mm
Geschw. : 20 m/min



Ohne Vorbehandlung



Mit Vorbehandlung

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

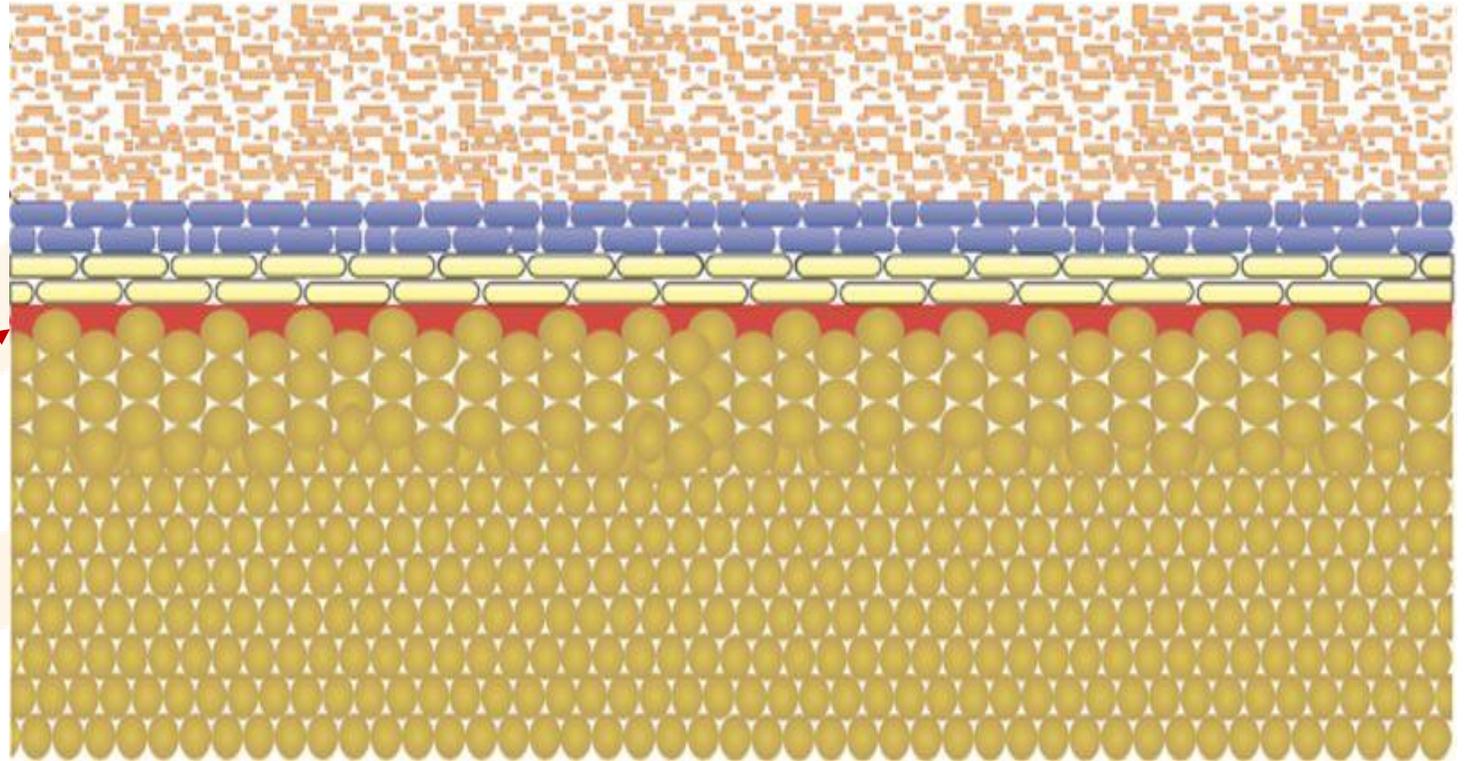


Bild: Dipl. Ing. (FH) Simone Fischer

Staubfrei

Fettfrei

Trocken

Effekte verstärken bzw.
vervielfachen sich

1. Hauptvalenzbindungen (Primärbindungen)

2. Nebervalenzbindungen (Sekundärbindungen)

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



<https://de.wikipedia.org/wiki/Van-der-Waals-Kr%C3%A4fte>

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25008078/>

3. Mechanische Verklammerung

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

4. Diffusionsvorgänge

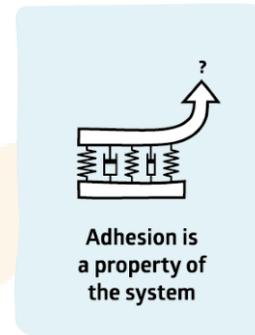
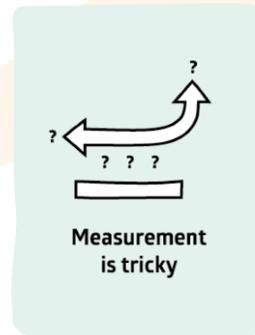
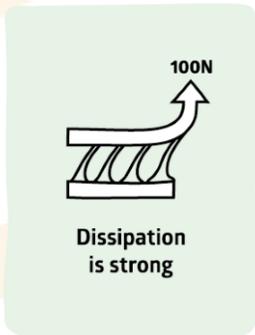
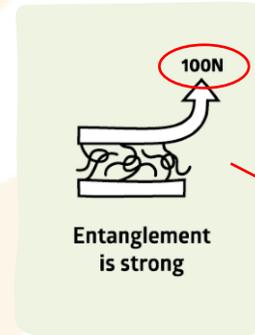
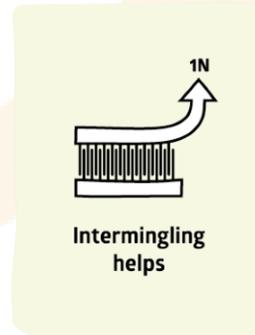
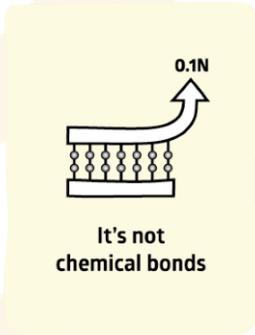
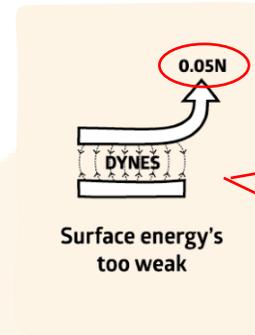
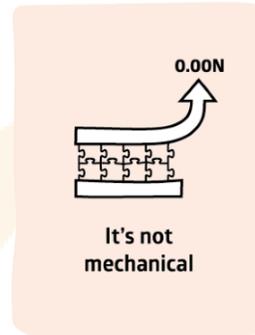
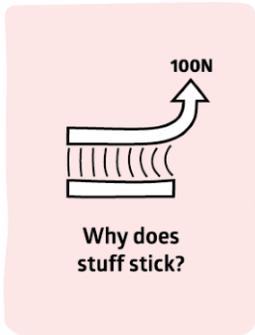
1. PVC beim Diffusionskleben
2. PS mit Cyanacrylat
3. PMMA mit UV-Klebstoff

5. Elektrische Doppelschichten

Haftungskräfte: Auswirkung der einzelnen Aspekte

Prof. Steven Abbott
PhD in Chemistry

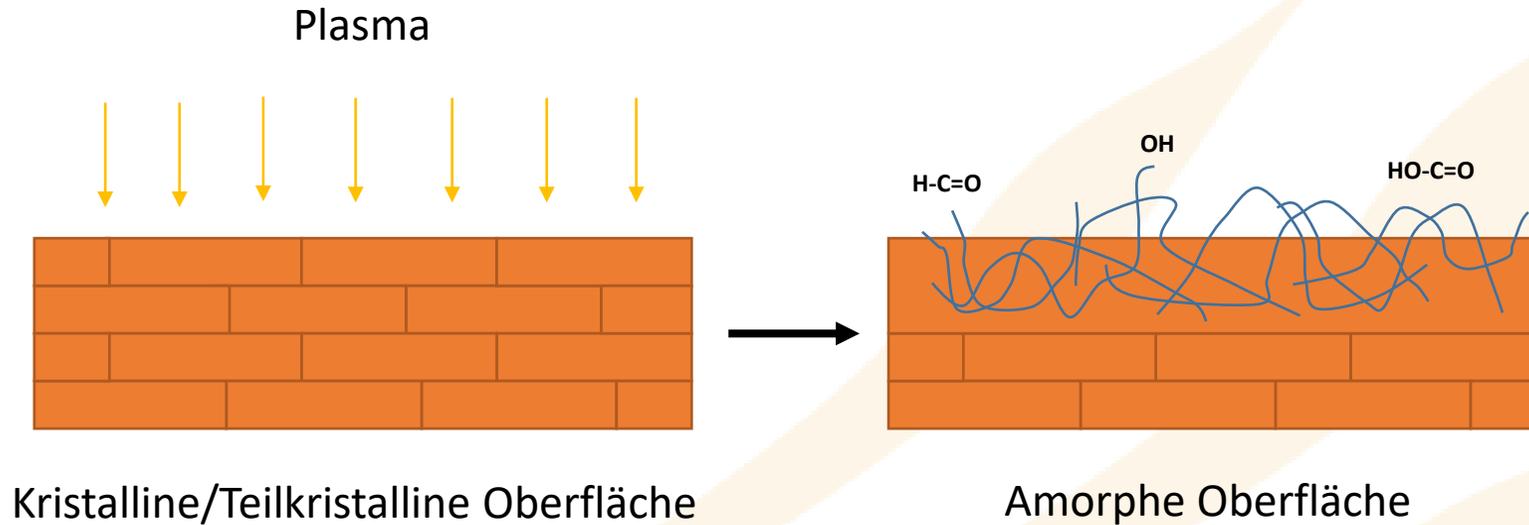
<https://www.stevenabbott.co.uk/about-prof-steven-abbott.php>



<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 %

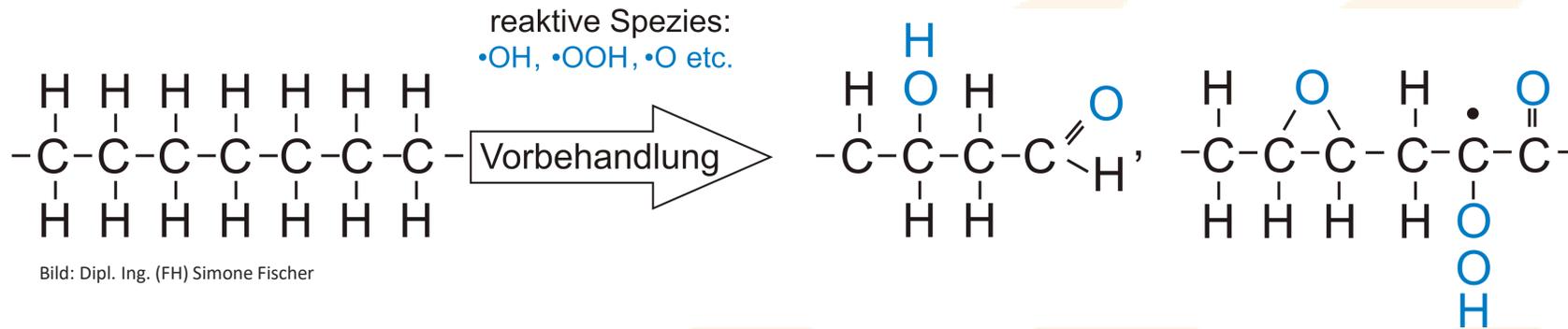
Polyethylen niedriger Dichte (PE-LD)

45...55 %

Quelle:

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

Nebenvaleanzbindungen: 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

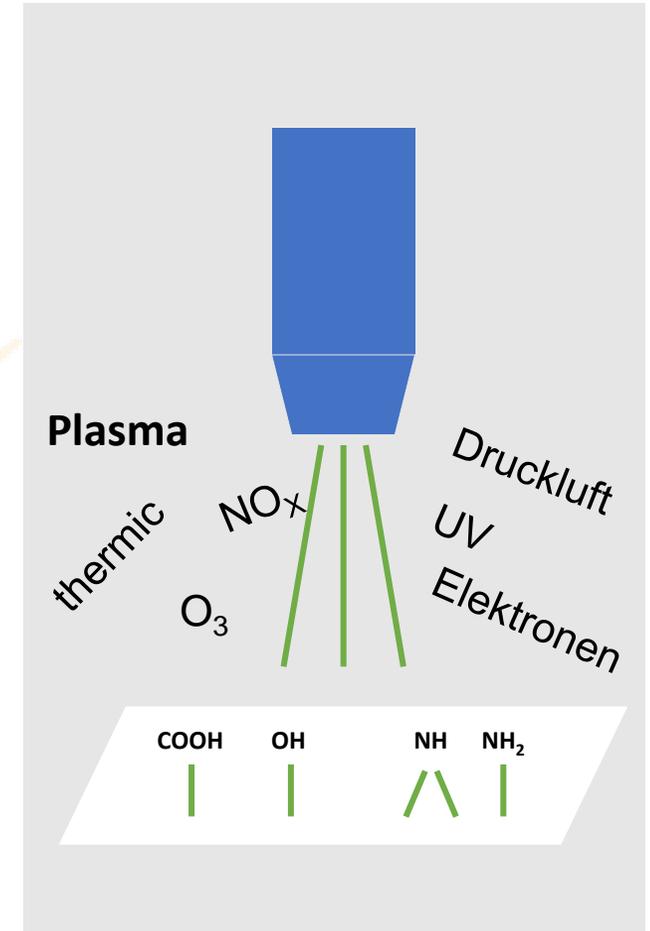


Bild: tesa SE

Wirkungsweise einer Aktivierung auf die Benetzbarkeit

Einfluss der Oberflächenaktivierung auf die Benetzbarkeit von Polymeroberflächen



Bild: Dipl. Ing. (FH) Simone Fischer

Testtinten zur Bestimmung von Oberflächenenergie



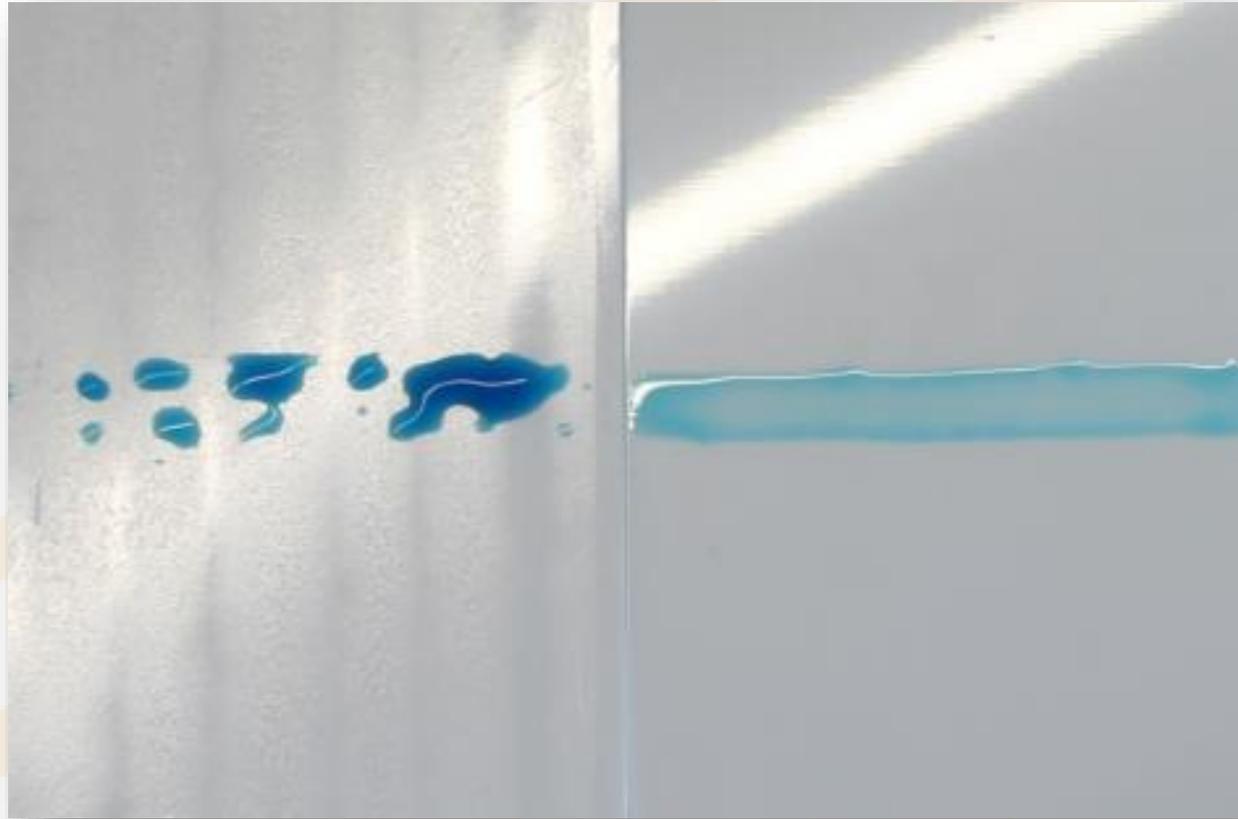
Definition:

- 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

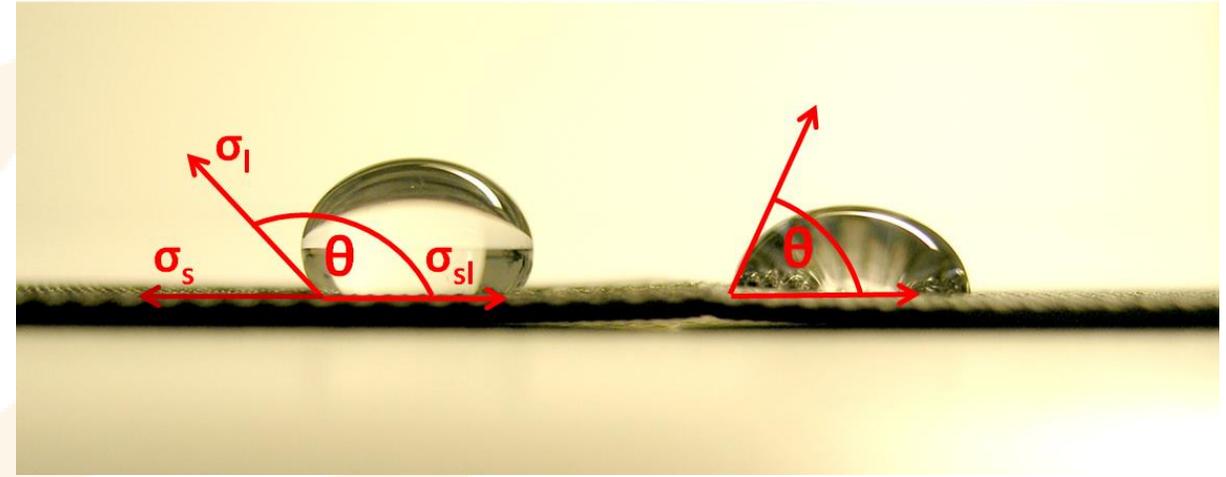
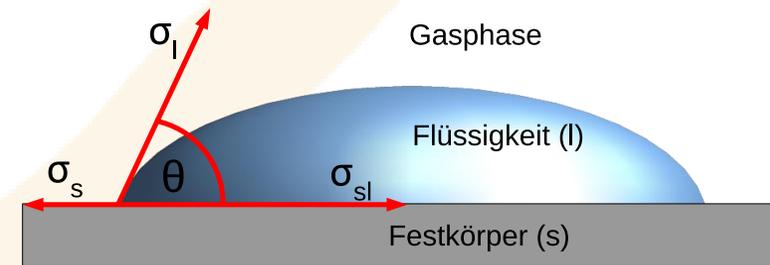


Bild: Krüss, www.mobile-surface-analyzer.com



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

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		

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

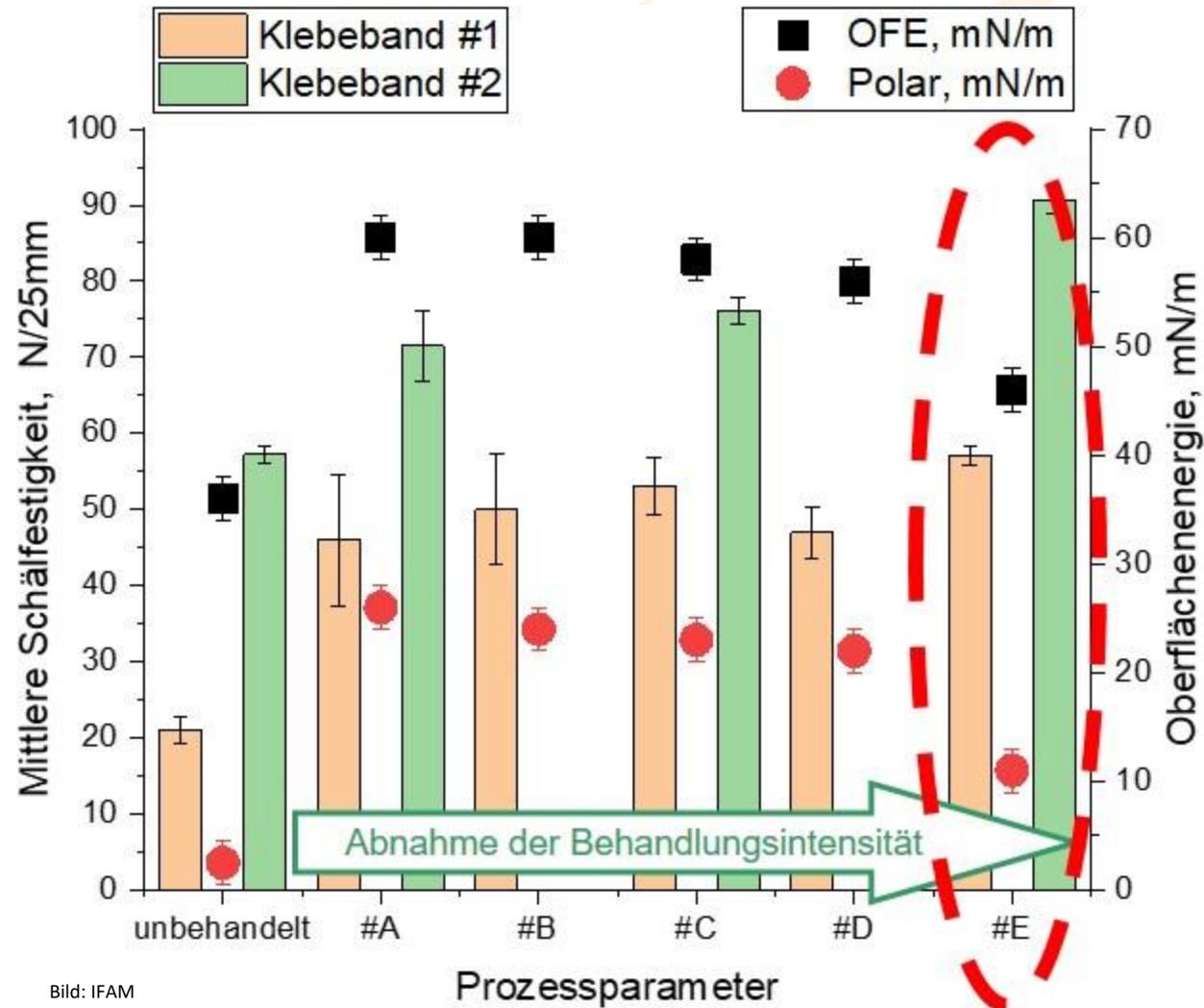
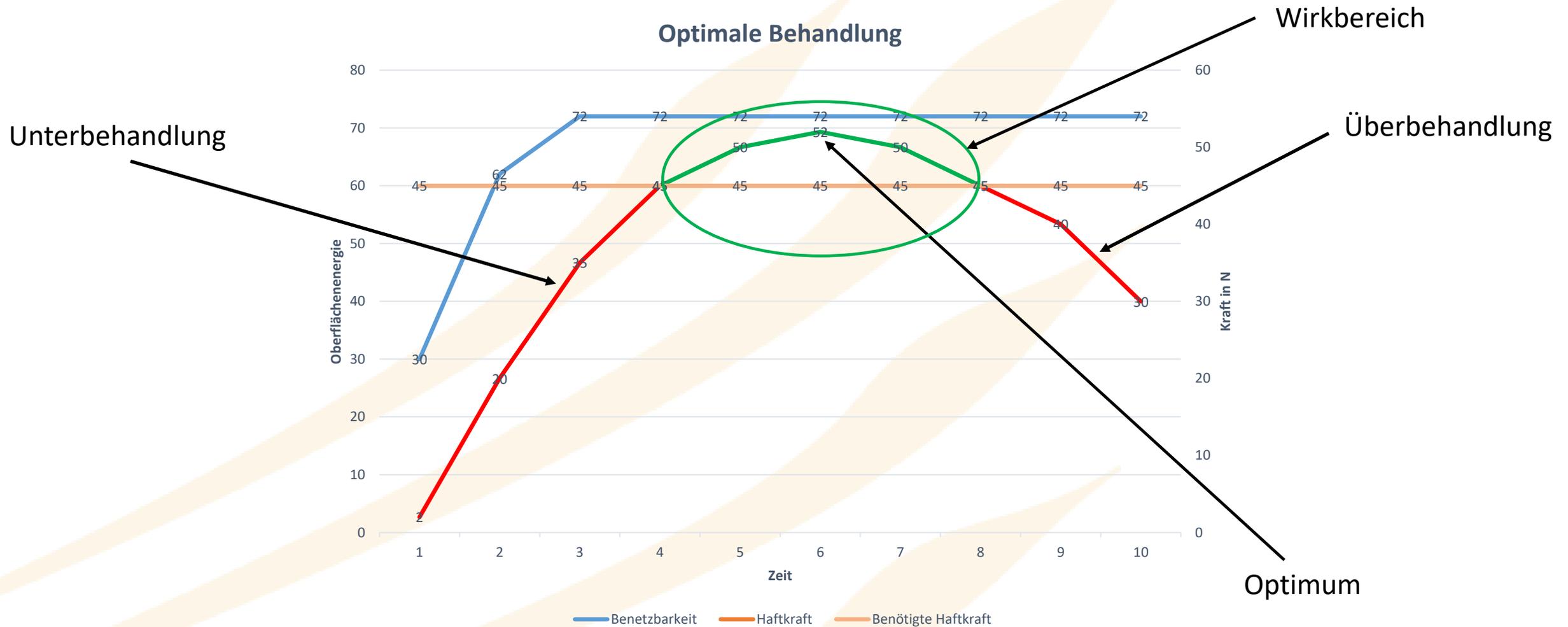


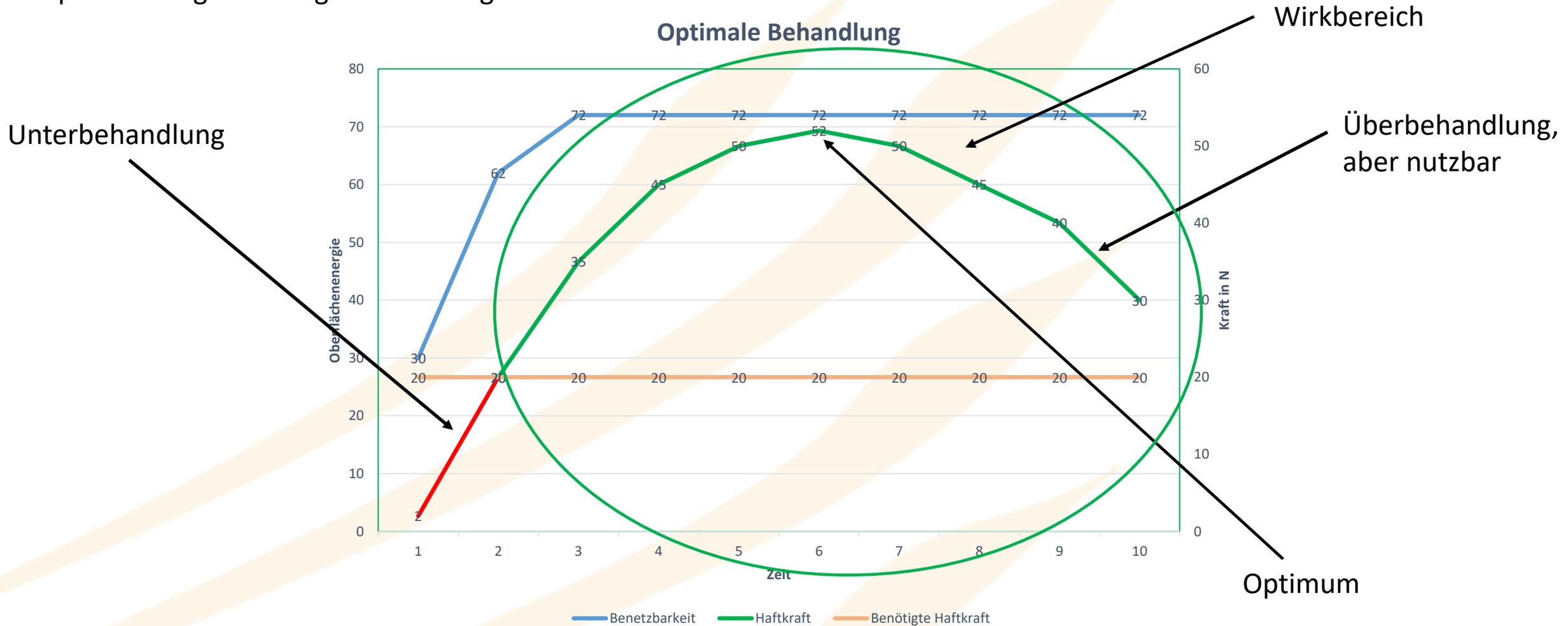
Bild: IFAM

Plasmabehandlung optimieren: Die optimale Leistungsdosis

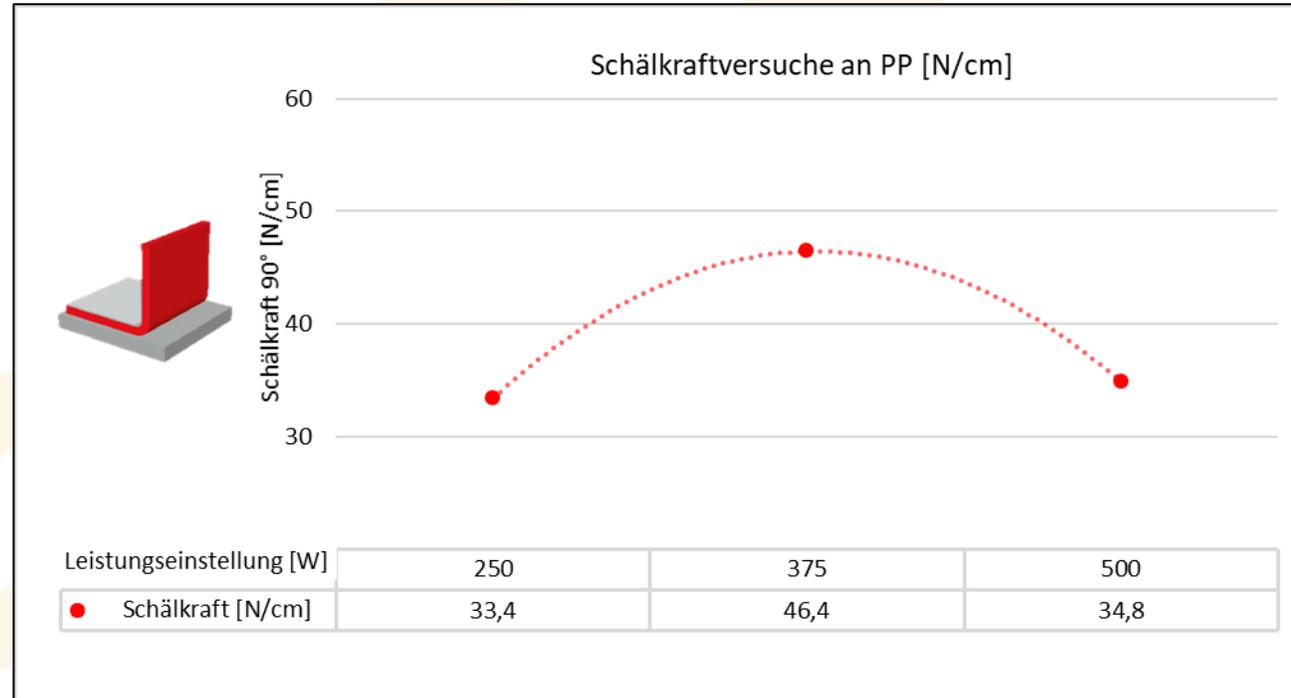
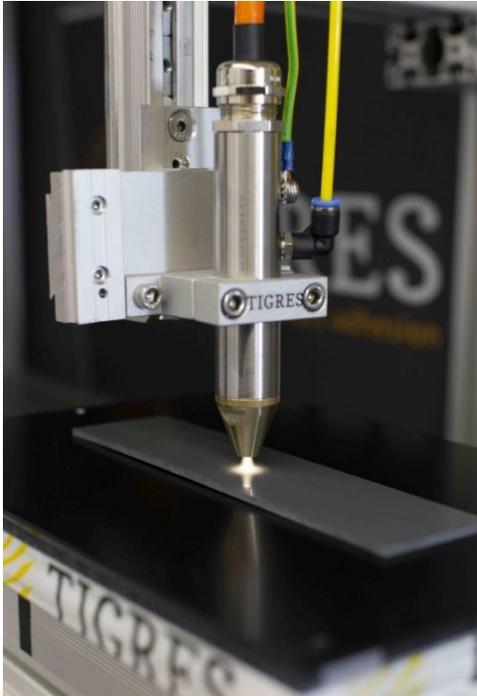


Plasmabehandlung optimieren: Die optimale Leistungsdosis

Beispiel: Niedrige Haftungsanforderung



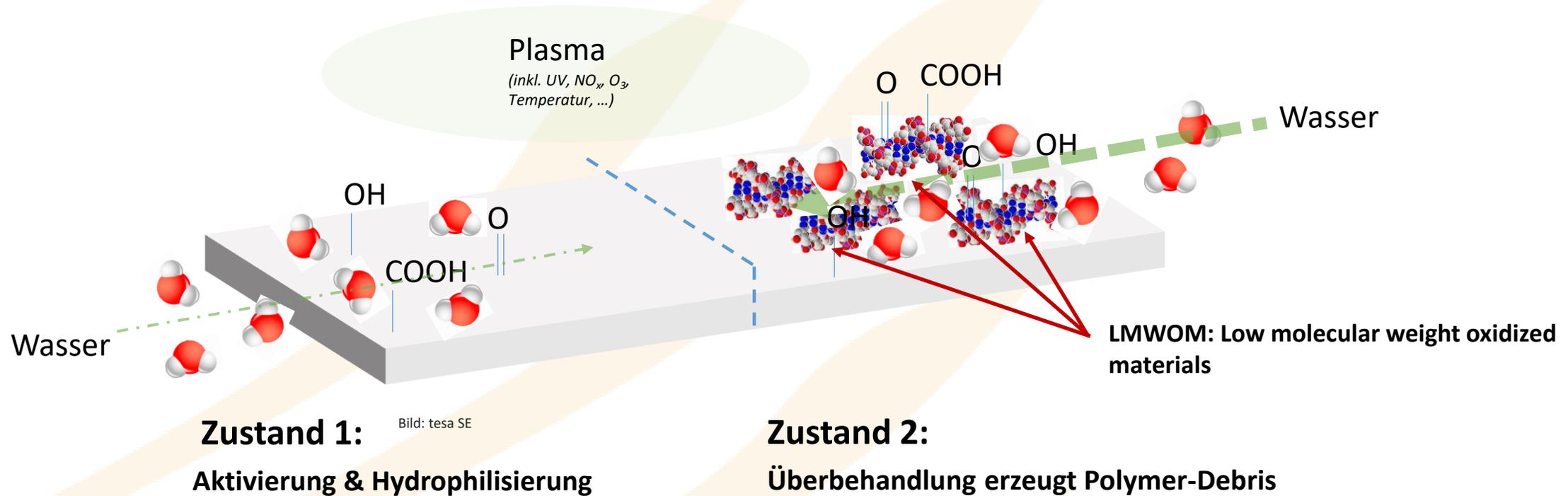
Einfluss von Leistung auf Haftung



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

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

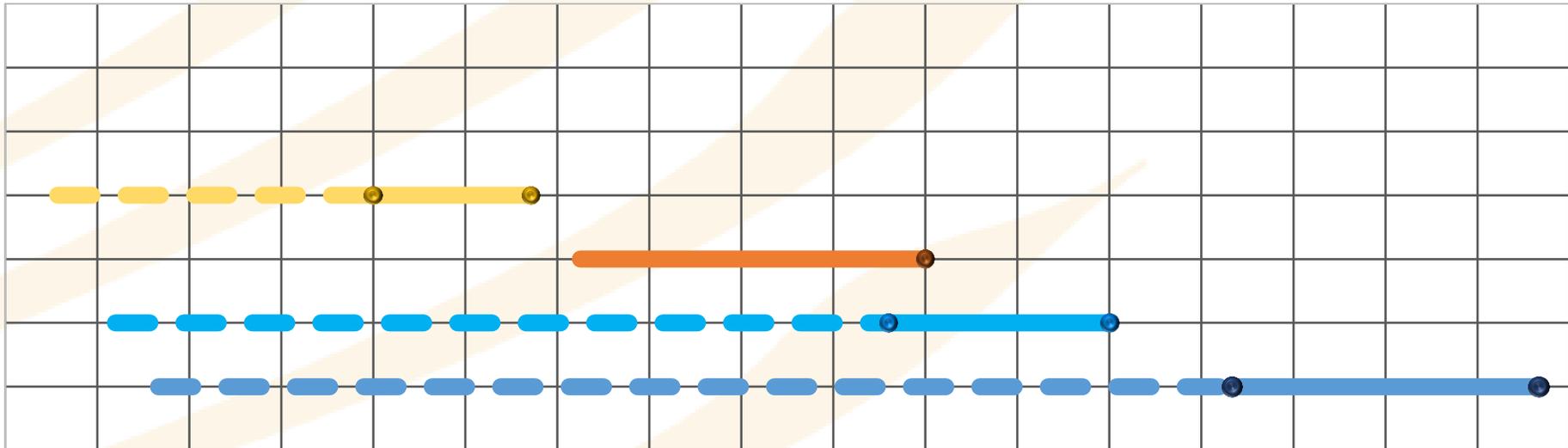


600 o. 1000 W / 12 mm
● 50 o. 83 W/mm

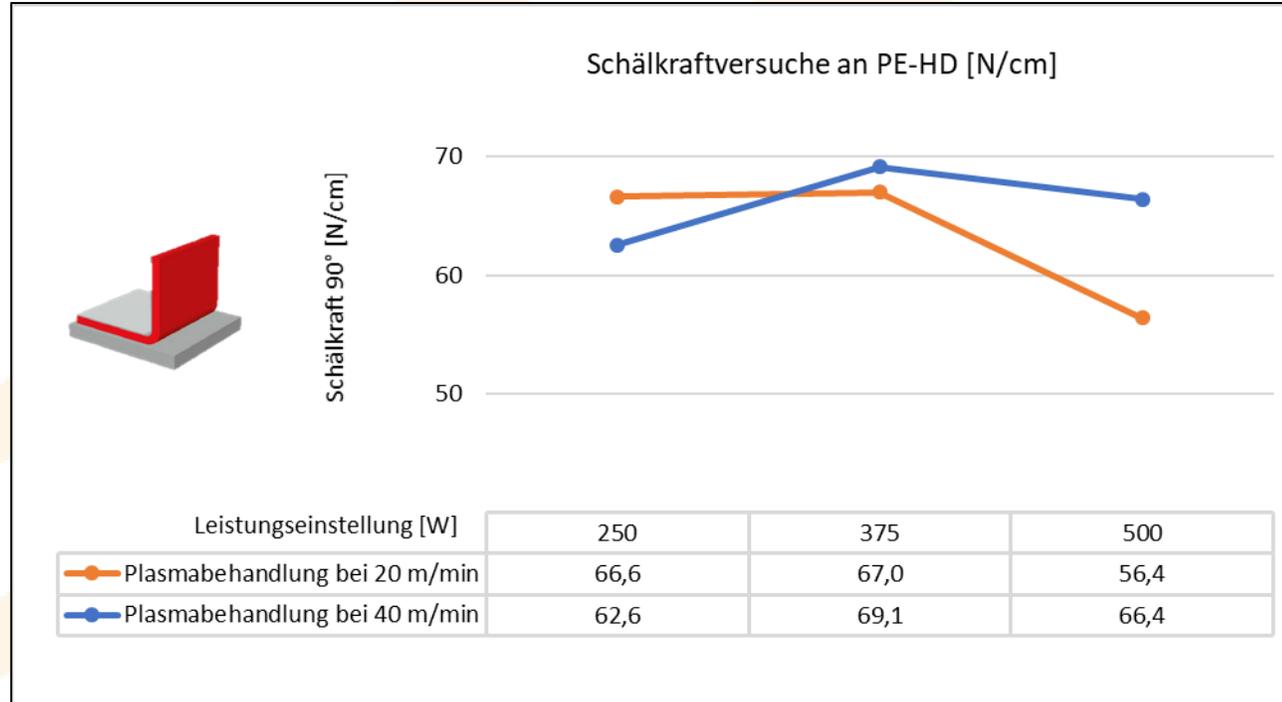
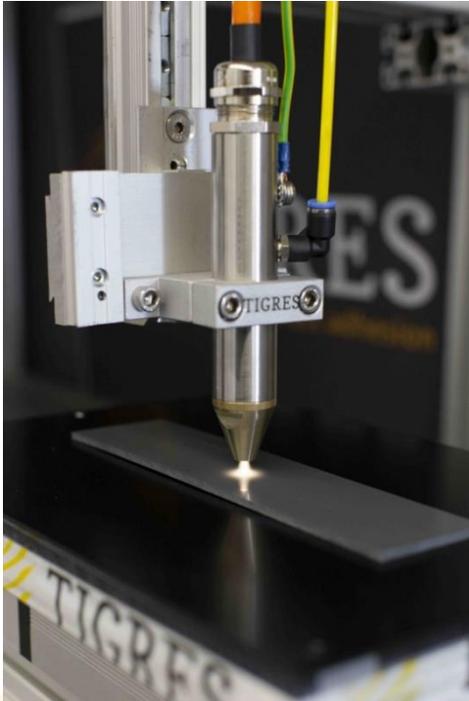
Leistungswerte angenähert (W/mm)

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



Einfluss von Leistung und Geschwindigkeit auf Haftung



Klebeband: tesa ACX^{Plus}

Fazit Oberflächenenergie

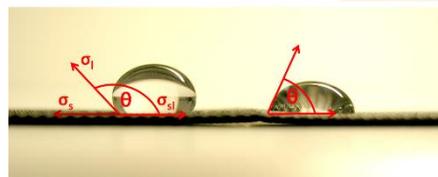
Methoden zur Vorhersage der Haftung (Bewertung auf Substrat):

Testtinten

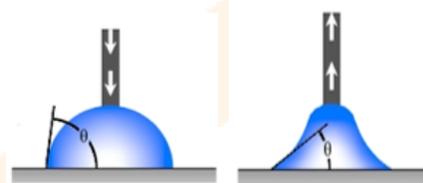


Bild: tesa SE

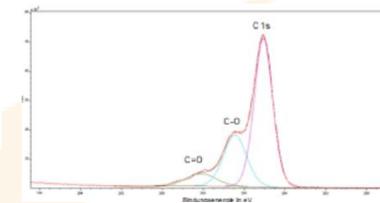
Statischer Kontaktwinkel



Dynamischer Kontaktwinkel



Analytik



Klebkraft



Zunahme der Aussagekraft

Test-Tape für Plasmavorbehandlung

Neues Produkt:

Test-Tape

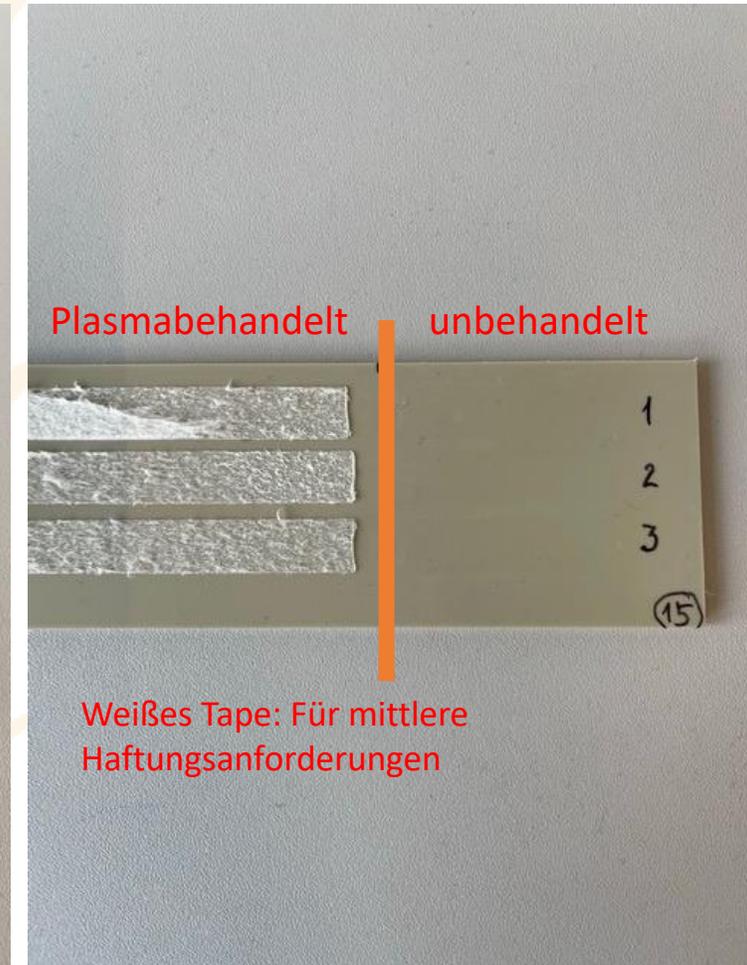
Klebebänder oder Pads mit verschiedenen kohäsiven Bruchgrenzen, um schnell die adhäsiven Verbesserungen einer Plasmabehandlung zu ermitteln.

Direkter Test der Klebeeignung der Oberfläche:

- ✓ schnelle Auswertung (Bruch ja/nein)
- ✓ skalierbare Bruchkraft über Schäume
- ✓ keine Flüssigkeiten notwendig

Wie interessant wäre das für sie?

Umfrage



Klebebänder: VITO Irmen

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?

Vielfalt an der Oberfläche

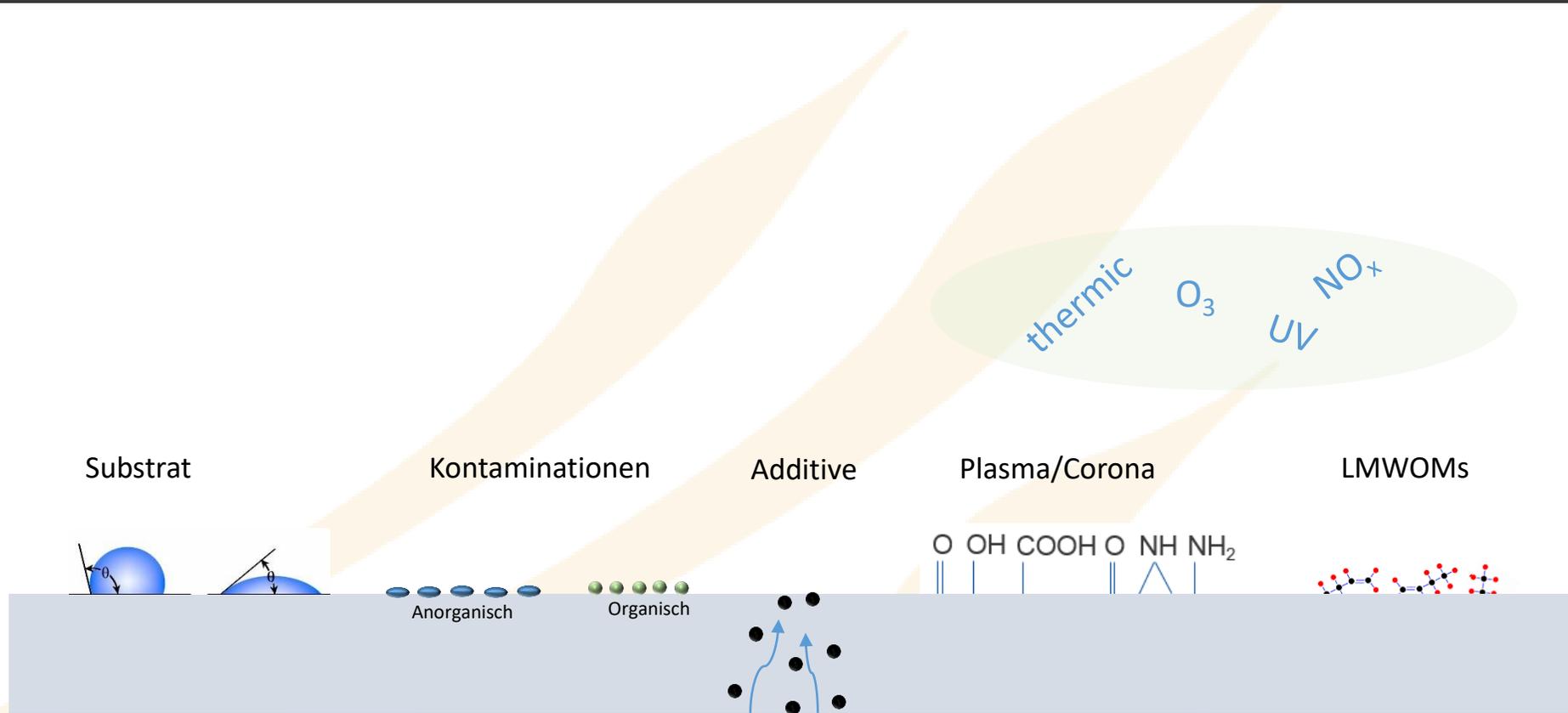


Bild: tesa SE

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/Aufrauhung



Korrekt, aber unvollständiges Bild

Die Oberfläche: Plasmawirkung auf organische Verunreinigungen

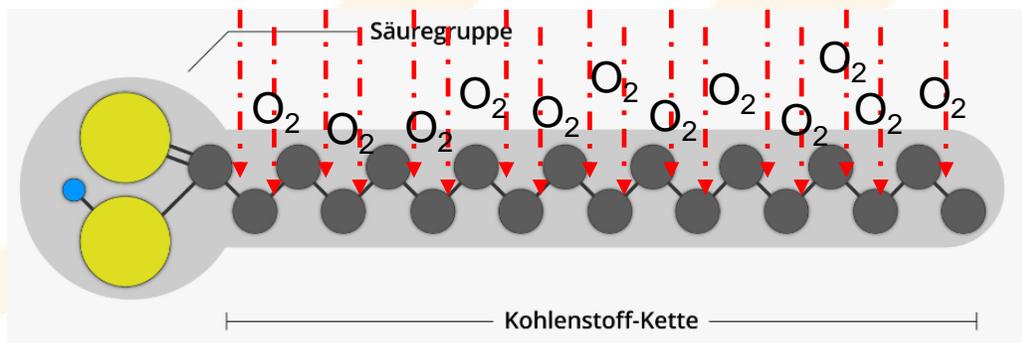
Reinigung
Kontamination: [g/m²]

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

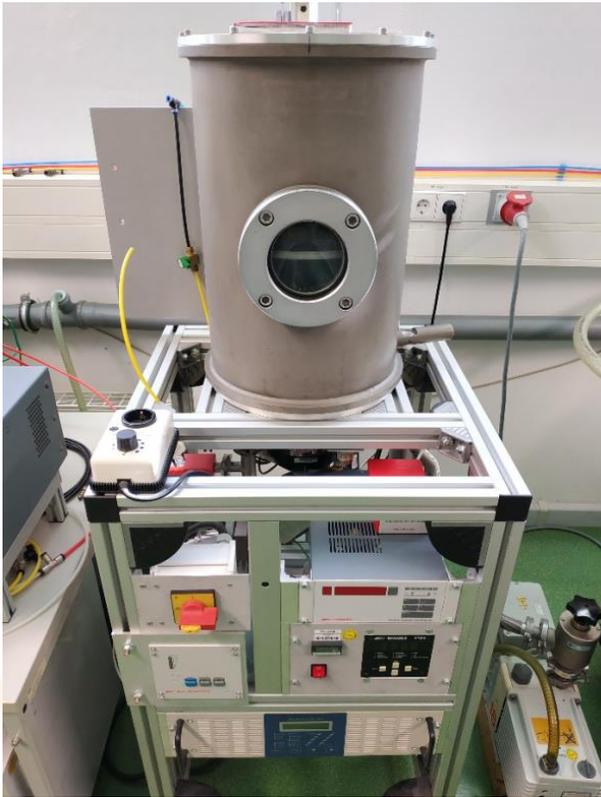


Möglich, aber bei
Atmosphärendruck
unwahrscheinlich

Die Oberfläche: Gereinigt mit Plasma

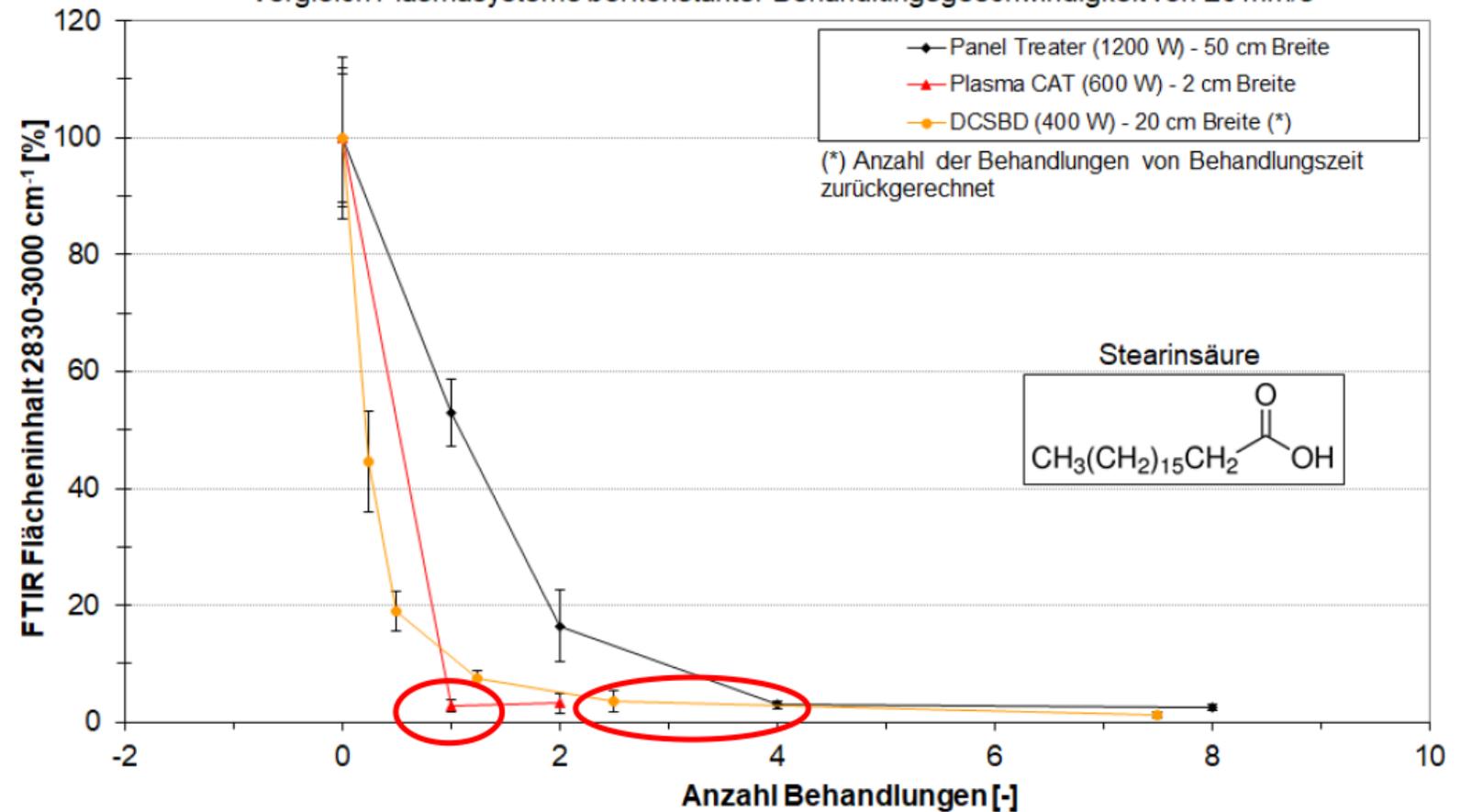
Schichtdicke
Verunreinigung ca.
100 nm

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

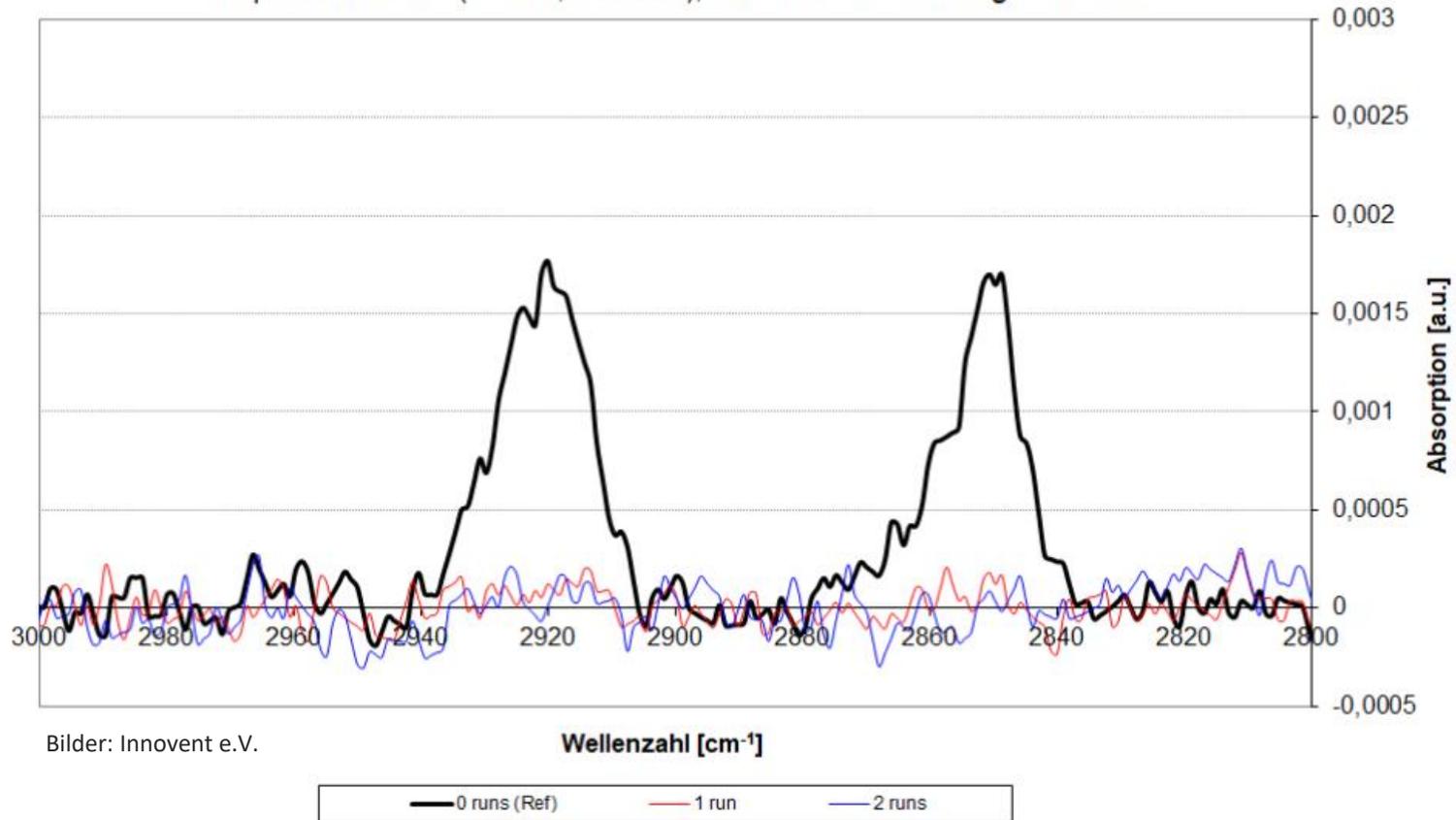


Die Oberfläche: Gereinigt mit Plasma

FTIR Spektroskopie

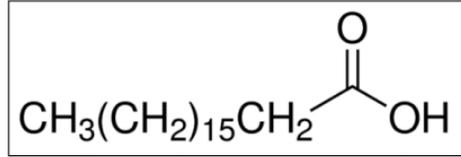
FTIR Spektroskopie an 3 mm Flachglas, Nachweis organischer Rückstände
Bsp: PanelTreater (1.2 kW, 20 mm/s), Anzahl der Behandlungen variiert

Schichtdicke
Verunreinigung ca.
100 nm



Die Oberfläche: Gereinigt vs. Plasma

Reinigung von Stearinsäure

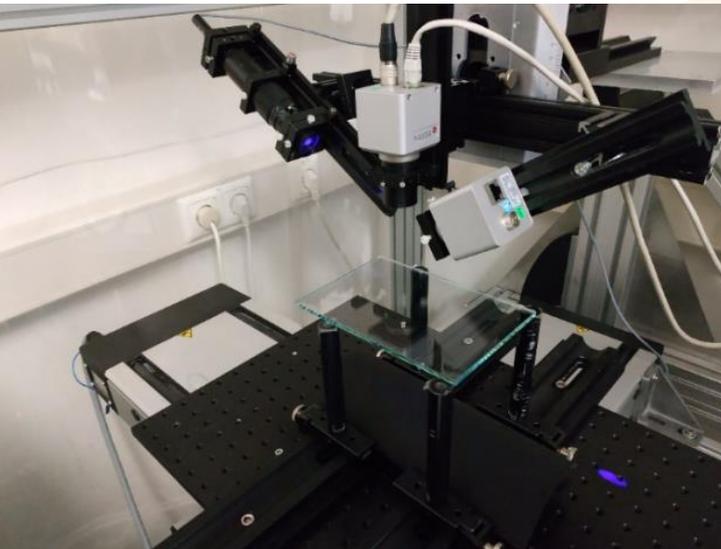


Laserabtastung

Schichtdicke

Verunreinigung ca.

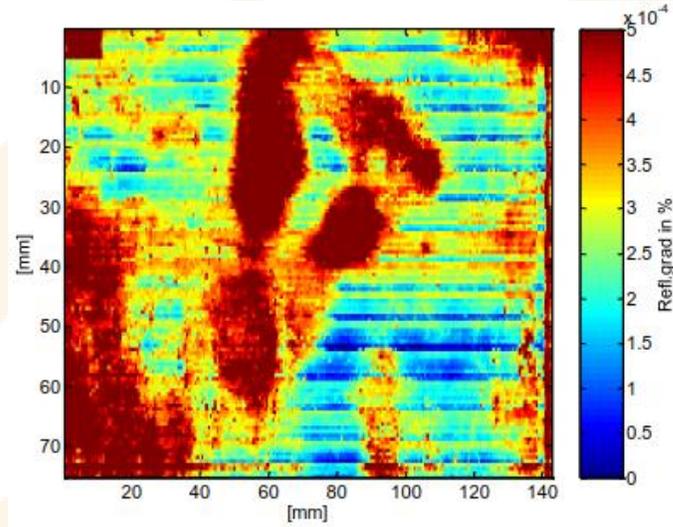
100 nm



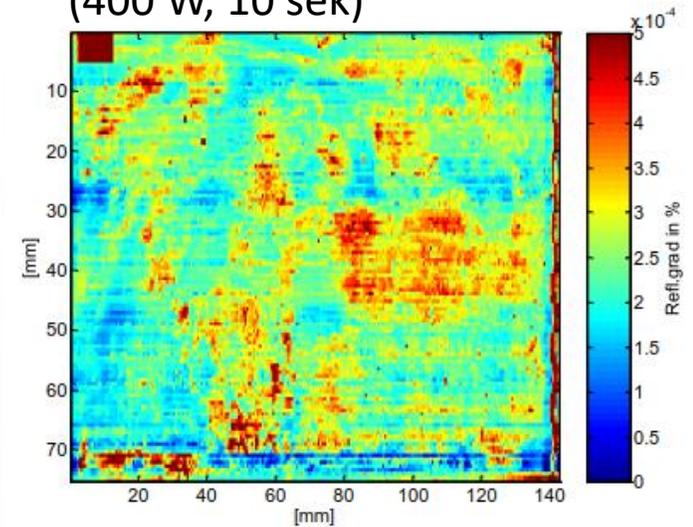
Bilder: Innovent e.V.

Flachglas ungereinigt

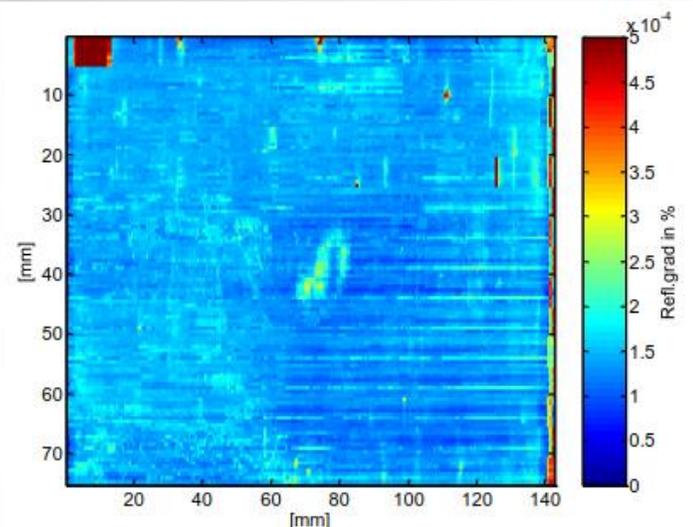
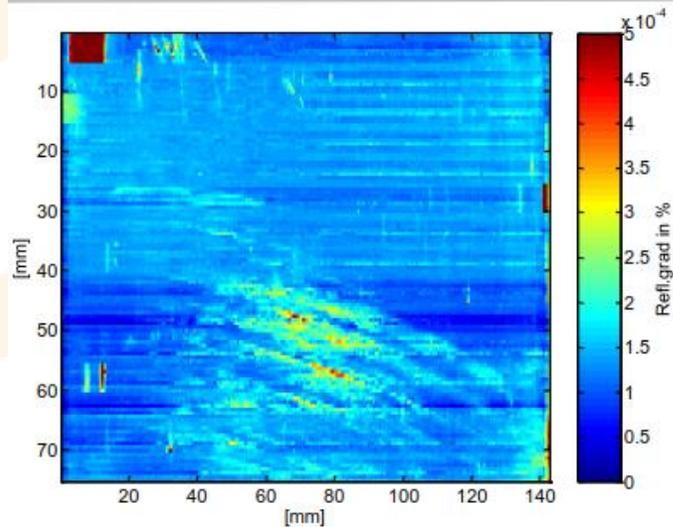
Ausgangszustand



Nach Plasmainteraktion
(400 W, 10 sek)



Flachglas gereinigt



Die Oberfläche: Gereinigt vs kontaminiert

Plasmabedingung:

TIGRES T-SPOT S2:

$v = 40 \text{ m/min}$, $d = 5 \text{ mm}$,

$\text{PWR} = 60 \%$ $r = 6 \text{ mm}$

Bruchart:

Adhäsionsbruch [A], Mischbruch [M],

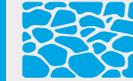
Kohäsionsbruch [K]

Klebkraftmethode:

T-Peel 90°, 300 mm/min, Aufziehzeit 3d



Polypropylen gereinigt



Polypropylen kontaminiert



Plasma & Verklebung mit ACX^{plus} 7812



Bruchart: kohäsiv



Bruchart: adhäsiv

Bilder: tesa SE

Kann die Oberflächenspannung die Klebkraft vorhersagen?

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!

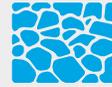
Oberflächenkontaminationen können nach der Plasmabehandlung nicht sicher über Oberflächenspannung identifiziert werden.

Bilder: tesa SE

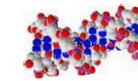
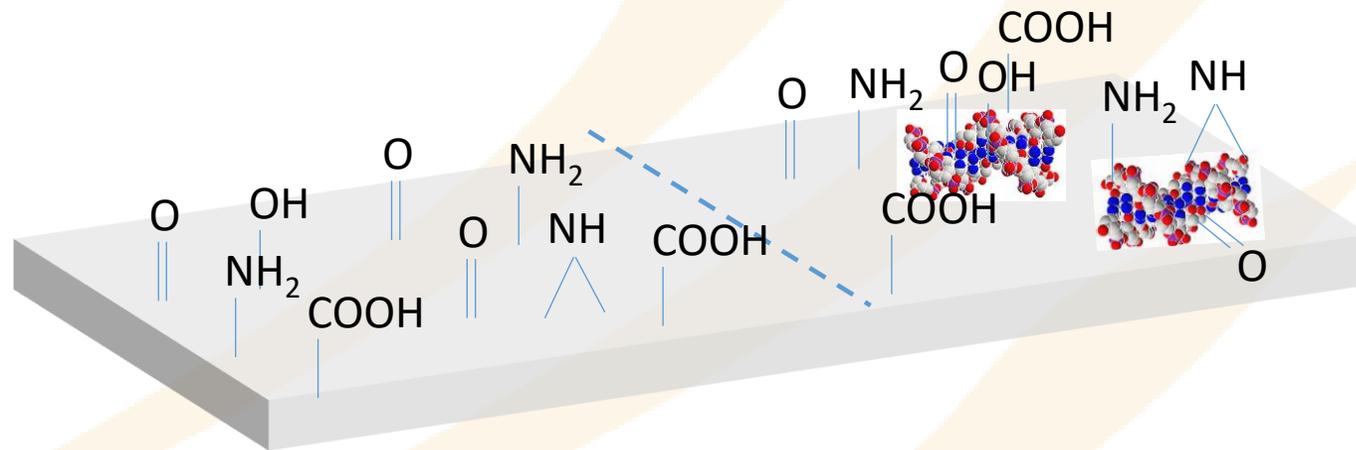
Die Oberfläche: Gereinigt vs kontaminiert



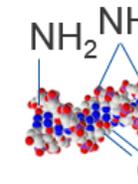
Oberfläche frei von
Kontamination



Oberfläche mit
Kontamination



= Kontamination, org. Molekül



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			

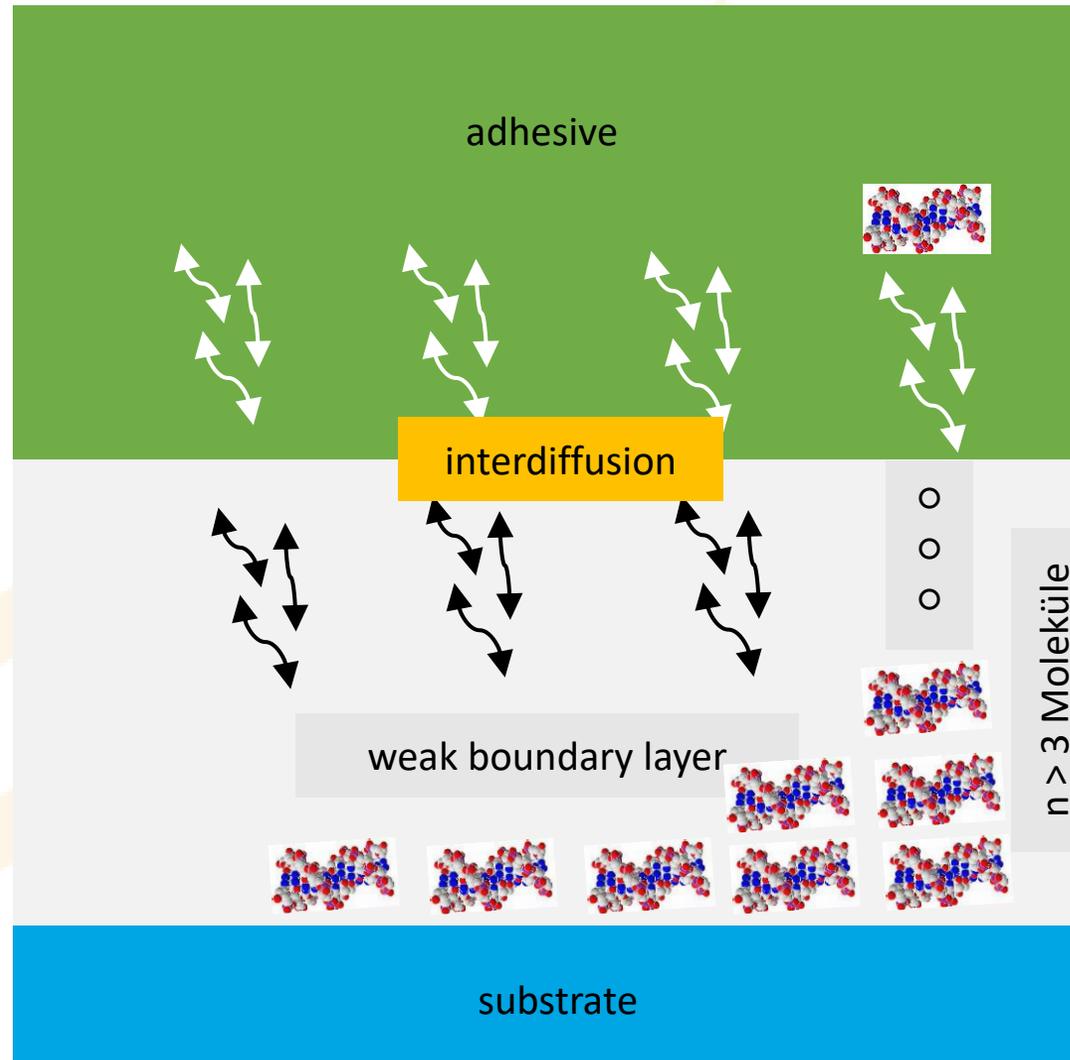
Klebebänder sind extrem empfindlich gegenüber Verunreinigungen, flüssige Systeme sind deutlich toleranter!

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“

Achtung, es gibt auch Ausnahmen, z.B. siliziumorganische Kontaminationen, die durch Plasmastärker vernetzen und dann schlechter migrieren können.

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!

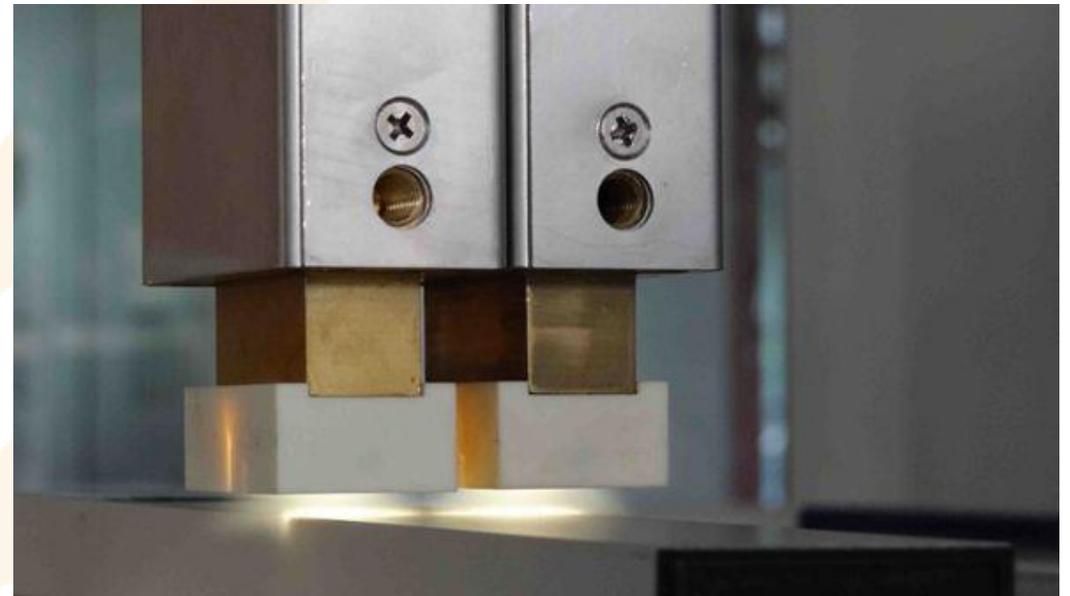
2. Elektrostatische Neutralisierung:

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

Fazit Plasma bei Verunreinigungen:

Wenn es hilft, dann ist Plasma:

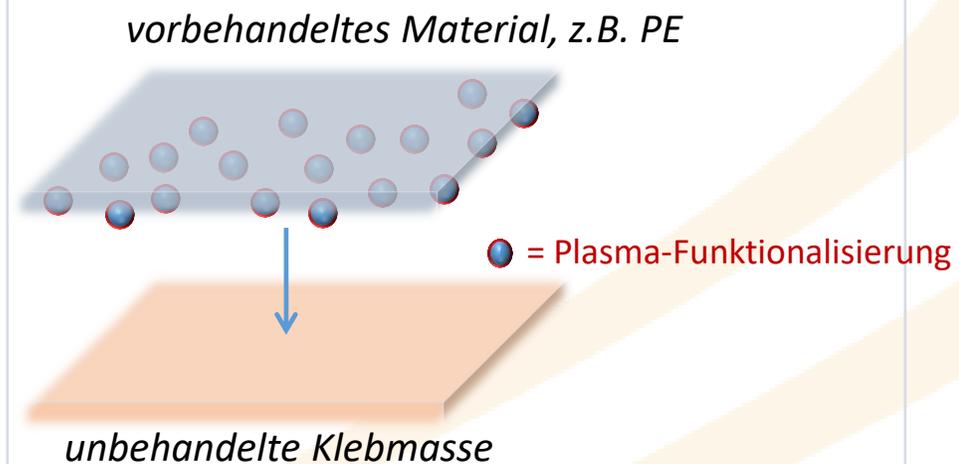
1. Einfaches, gut einsetzbares Verfahren
2. Kostengünstig
3. Reproduzierbar
4. Umweltfreundlicher



Besonderheit tesa: Klebeflächenaktivierung

Option 1: Standard-Plasmabehandlung

Einseitige Plasma-Vorbehandlung

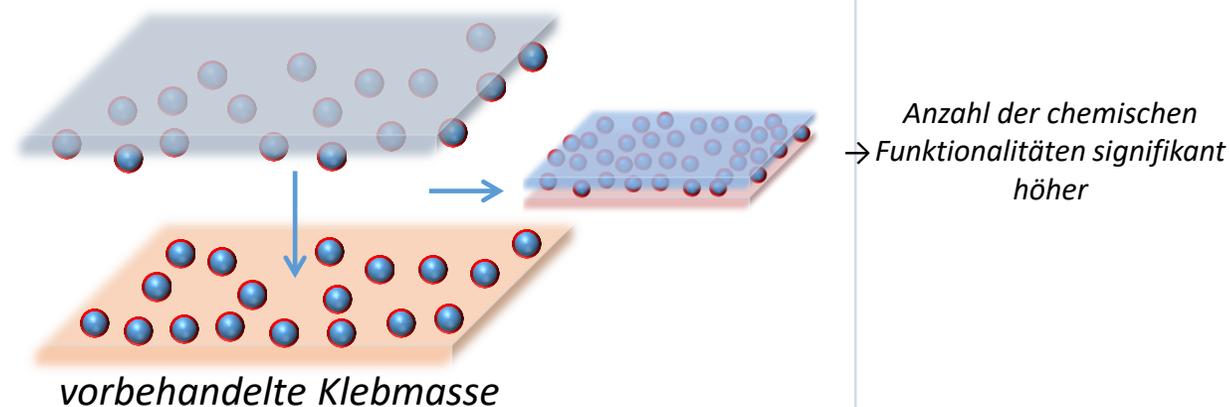


Option 2:



Beidseitige Plasma-Vorbehandlung

(Patent Application [EP2705103 \(B1\)](#))



Fundamentale Verbesserung aller Adhäsionseigenschaften

Besonderheit tesa: Klebeflächenaktivierung

Vorteile bei einer simultanen Plasmabehandlung:

- Beidseitige Vorbehandlung ermöglicht eine **höhere Anzahl** von funktionellen Gruppen
- Anwendung für ein breiteres Spektrum an **Klebmasse-Material-Kombinationen**
- Anzugszeit bei beidseitiger Behandlung reduziert von ca. 24 h auf 2-10 min (ca. 80-95 % der Klebkräfte)
- Für gleiche Haftkräfte können schmalere Klebebänder verwendet werden
- Einsatz der Plasmatechnologie bei plasma-ungeeigneten Kunststoffen (POM, PMMA, ABS, ...)
- Bei bestimmten Materialoberflächen Behandlung der Klebeseite des Tapes ausreichend
- Glasübergangstemperatur T_g bei simultaner Behandlung deutlich besser handhabbar (-50° Grad)

Die **Wechselwirkung** der plasmaaktivierten Oberfläche von Substrat und Klebmasse entscheidet über die **Qualität** einer Verklebung (z.B.: Klebkraft, Dauerhaftigkeit).

Besonderheit tesa: Beid- und einseitige Aktivierung

Mit Klebeband K1

(Plasmabehandlung nach Verfahren PV1, Verklebung sofort nach Behandlung)

[0172]

Tabelle 11

Klebeband K1 Behandlung:	Klebkraft [N/cm]			
	PP	PET	CFK	KTL
PV1	45,53	47,10	38,16	37,58
ohne Behandlung	3,95	9,61	7,16	3,97
nur Untergrund behandelt	17,71	12,11	12,47	14,81
nur Klebmasse behandelt	2,98	25,85	37,16	36,98

https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?FT=D&date=20180926&DB=EPODOC&locale=en_EP&CC=EP&NR=2705103B1&KC=B1&ND=4

Oberflächenenergie Material: Polare Werkstoffe

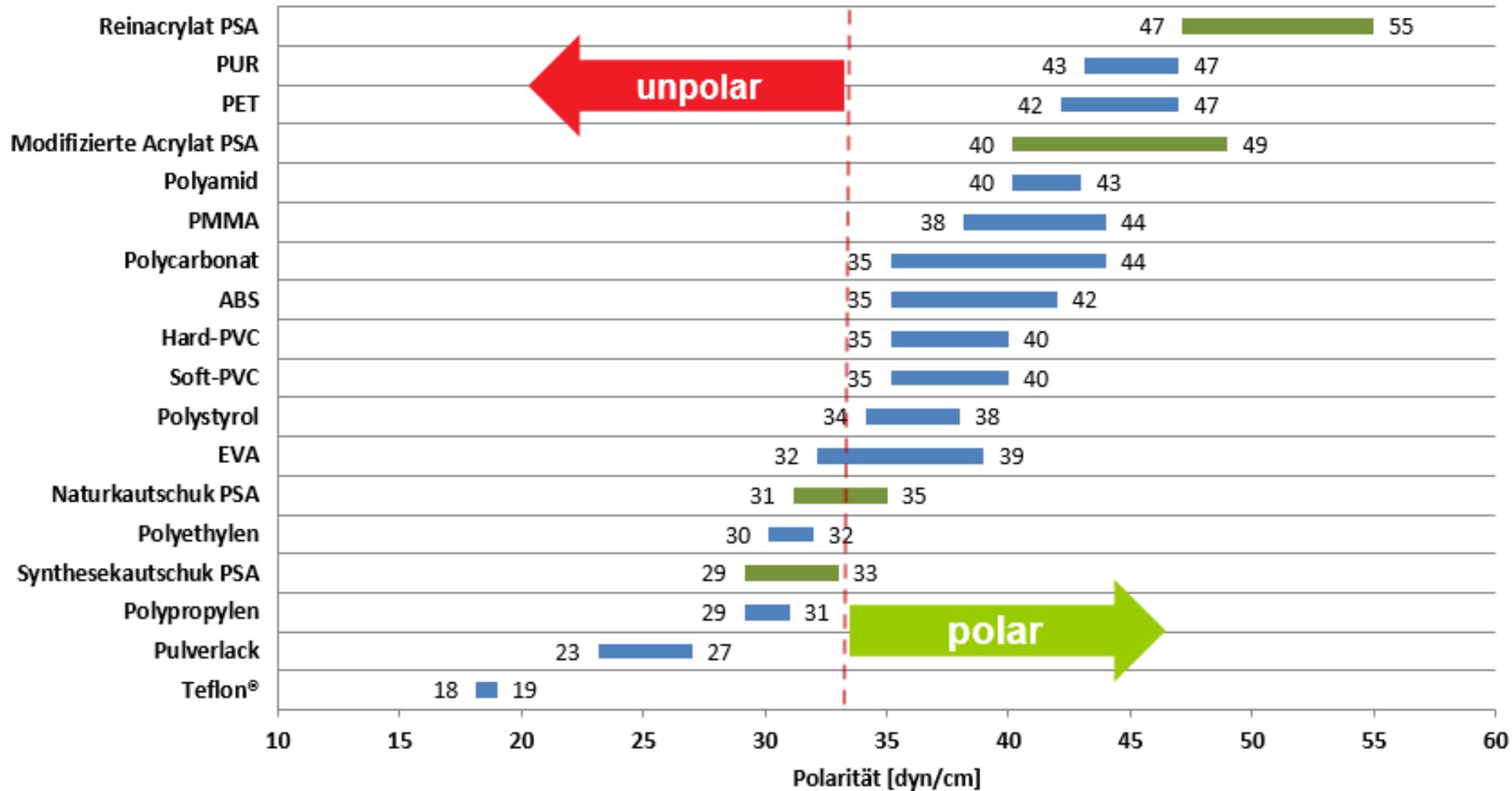


Bild: tesa SE

Besonderheit tesa: Klebeflächenaktivierung ABS

Tabelle 9
Klebkraft [N/cm]

	Klebeband	Behandlung	EPDM	PE	ABS	ASTM-Stahl	Lack 1	Lack 2
20	K1	PV1	42,16	42,98	42,55	44,41	39,99	40,54
		Nichts behandelt	1,93	0,62	13,70	5,38	3,21	4,87
		Nur Substrat behandelt	5,78	5,78	3,90	5,30	4,44	4,25
		Nur Klebmasse behandelt	1,10	0,71	11,47	43,22	2,85	4,00
25	K2	PV1	35,69	17,05	33,97	33,26	26,71	30,82
		Nichts behandelt	1,95	1,78	11,90	12,39	6,34	10,70
		Nur Substrat behandelt	18,61	14,16	13,66	13,19	12,61	12,19
		Nur Klebmasse behandelt	0,96	1,93	8,75	19,54	6,35	8,11
30	K3	PV1	87,53	76,85	84,87	84,65	81,76	83,81
		Nichts behandelt	3,11	2,38	38,11	49,67	11,91	30,21
		Nur Substrat behandelt	61,65	64,85	43,25	73,14	37,47	39,20
		Nur Klebmasse behandelt	3,63	2,80	65,86	83,01	5,57	26,45
35	K4	PV1	68,61	62,80	71,62	71,53	74,18	73,36
		Nichts behandelt	1,62	2,07	12,52	25,74	8,66	17,27
		Nur Substrat behandelt	30,42	28,05	30,63	32,55	33,2	33,17
		Nur Klebmasse behandelt	3,36	2,02	10,27	69,17	9,63	17,57
40	K5	PV1	39,25	30,17	37,80	39,38	38,20	38,10
		Nichts behandelt	0,69	0,63	9,95	28,25	2,15	17,17
		Nur Substrat behandelt	24,04	22,69	25,70	30,90	24,69	27,37
		Nur Klebmasse behandelt	0,60	0,56	1,51	38,74	2,15	2,76

https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?FT=D&date=20180926&DB=EPODOC&locale=en_EP&CC=EP&NR=2705103B1&KC=B1&ND=4

Besonderheit tesa: Sofortklebekräfte durch beidseitige Behandlung

Tabelle 14
Klebkraft [N/cm]

Klebeband	Behandlung	Lagerzeit nach Verklebung vor der Messung wie angegeben, bei 23°C/ 50%rF	EPDM	PE	ABS	ASTM-Stahl	Lack 2
K1	ohne	3 Tage	1,93	0,62	13,70	5,38	4,87
	PV1	5 min	45,99	37,27	25,65	32,32	29,17
	PV1	3 Tage	42,16	42,98	42,55	44,41	40,54
K3)	PV1	5 min	19,09	25,10	17,72	14,37	23,07
	PV1	3 Tage	35,69	17,05	33,97	33,26	30,82
	ohne	3 Tage	3,11	2,38	38,11	49,67	30,21
	PV1	5 min	51,63	47,82	86,45	90,37	84,82
	PV1	3 Tage	87,53	76,85	84,87	83,01	83,81
K5	ohne	3 Tage	0,69	0,63	9,95	28,25	17,17
	PV1	5 min	21,09	34,47	42,90	43,74	42,59
	PV1	3 Tage	39,25	30,17	37,80	39,38	38,10

https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?FT=D&date=20180926&DB=EPODOC&locale=en_EP&CC=EP&NR=2705103B1&KC=B1&ND=4

Besonderheit tesa: Plasmaabstände zur Oberfläche

Tabelle 15

Untergrund	Klebeband	Prozessgas	Abstand zur Klebemasse- oberfläche [mm]	Abstand zur Oberfläche des Untergrunds [mm]	F [N/cm]
ASTM-Stahl	K2	ohne Behandlung	-	-	10,70
ASTM-Stahl	K2	Luft	5	8	33,14
ASTM-Stahl	K2	Luft	8	8	35,85
ASTM-Stahl	K2	Luft	11	8	33,69
ASTM-Stahl	K2	Luft	14	8	32,87
ASTM-Stahl	K2	Luft	17	8	32,67
PP	K3	ohne Behandlung	-	-	4,48
PP	K3	N2	5	6	83,55
PP	K3	N2	11	12	82,63
PP	K3	N2	17	18	82,86
PP	K3	Luft	5	6	79,85

https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?FT=D&date=20180926&DB=EPODOC&locale=en_EP&CC=EP&NR=2705103B1&KC=B1&ND=4

Besonderheit tesa: Plasmaabstände zur Oberfläche

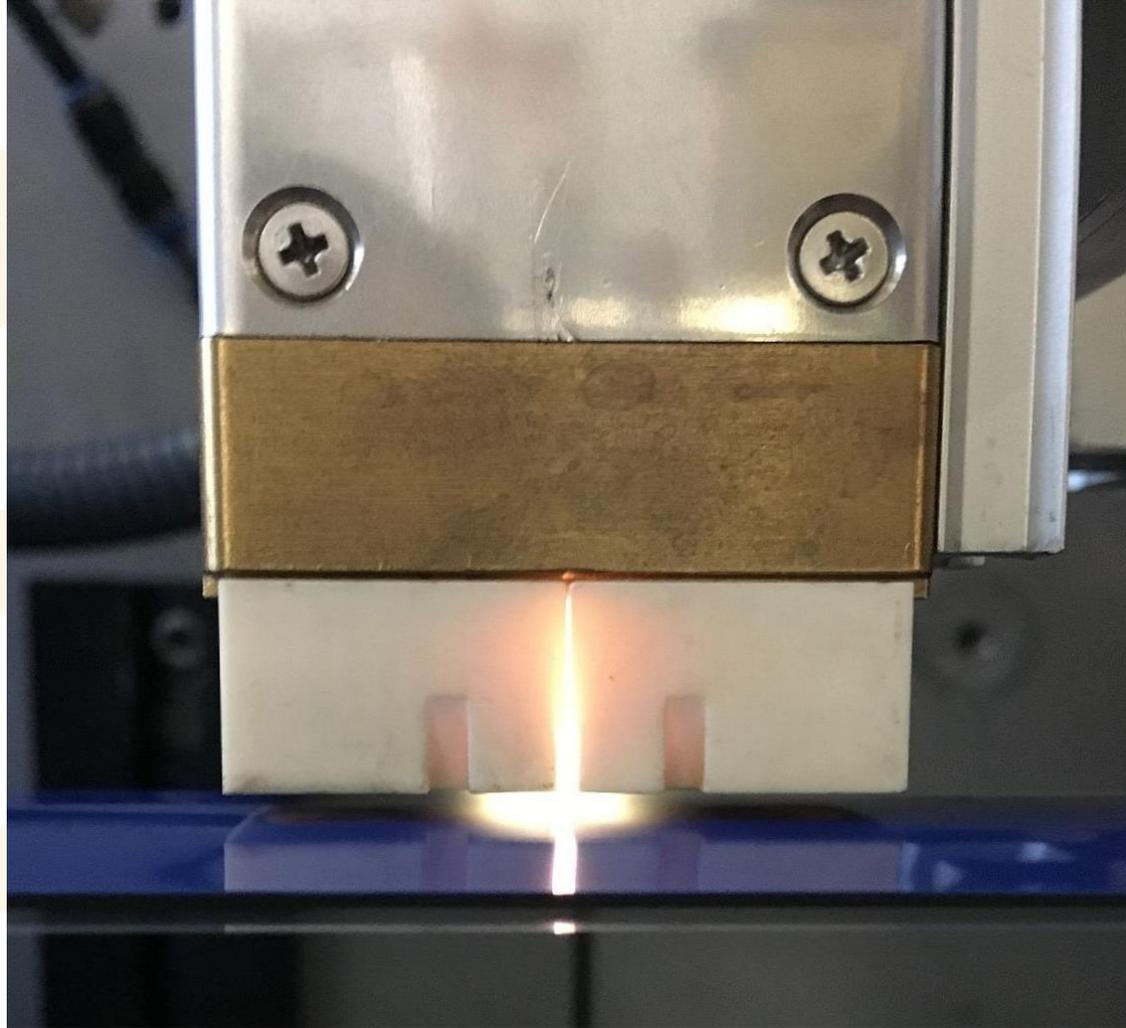
Untergrund	Klebeband	Prozessgas	Abstand zur Klebemasse- oberfläche [mm]	Abstand zur Oberfläche des Untergrunds [mm]	F [N/cm]
PP	K3	Luft	8	9	83,90
PP	K3	Luft	11	12	83,21
PP	K3	Luft	17	18	57,52

[0184] Hier wird nachgewiesen, dass das Verfahren robust ist gegen Variation von Abständen und Betriebsgas. Das Prozessfenster ist überraschend groß.

[0185] Bemerkenswerterweise kann bei Betrieb mit N₂ ein größerer Behandlungsabstand genutzt werden als mit Luft.

https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?FT=D&date=20180926&DB=EPODOC&locale=en_EP&CC=EP&NR=2705103B1&KC=B1&ND=4

Besonderheit tesa: Klebeflächenaktivierung

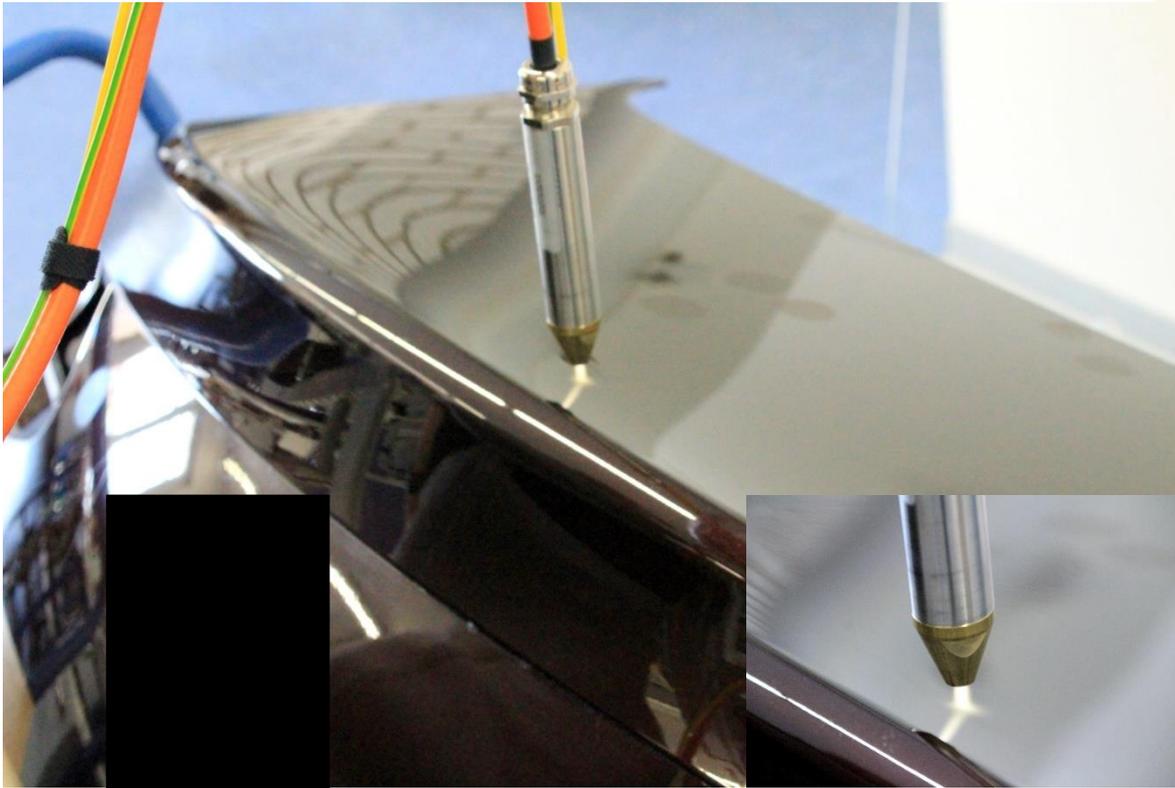


Besonderheit Tesa: Klebeflächenaktivierung



Werkzeug T-SPOT, Applikationen

Applikation



Werkstoff und Klebefläche müssen evtl. mit verschiedenen Leistungen behandelt werden

Werkzeug T-SPOT, Applikationen Konsumgüterindustrie

Elektronikprodukte verkleben

Bisher oft Primer im Einsatz

- Teuer
- Umweltschädlich und gesundheitsgefährdend
- Applikation aufwändig und wartungsintensiv

Plasmabeschichtung als Ersatz teuer, aufwändig und wartungsintensiv

Alternative simultane Plasmabehandlung

- Einfacher und sauberer Prozess
- Günstig
- Umweltfreundlicher (Klimaneutral möglich)
- Sichere Reproduzierbarkeit
- Volle Überwachung aller prozessrelevanten Parameter



Photo by [Denis Cherkashin](#) on [Unsplash](#)

Gesamtfazit Plasmabehandlung für Klebebandverklebung

Oberflächenqualität:

- ✓ Die zu verklebende Oberfläche ist idealerweise trocken, fettfrei und staubfrei

Plasmadosis:

- ✓ Eine gute Benetzbarkeit/hohe Oberflächenenergie ist 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

Reinigung:

- ✓ Reinigung mit Plasma ist zum Teil möglich, muss aber im Haftungsergebnis geprüft werden

Höchste Haftkräfte und Sofortklebkraft, auch bei schwierigem Material

- ✓ Doppelseitige Vorbehandlung auf tesa-Klebebändern ermöglicht erheblich höhere Klebkräfte und deutlich kürzere Aufziehzeiten, auch bei schwierigen Materialien

Lebensdauer der Vorbehandlung

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

Üblicherweise **Tage bis Wochen**. Im Einzelfall zu prüfen!

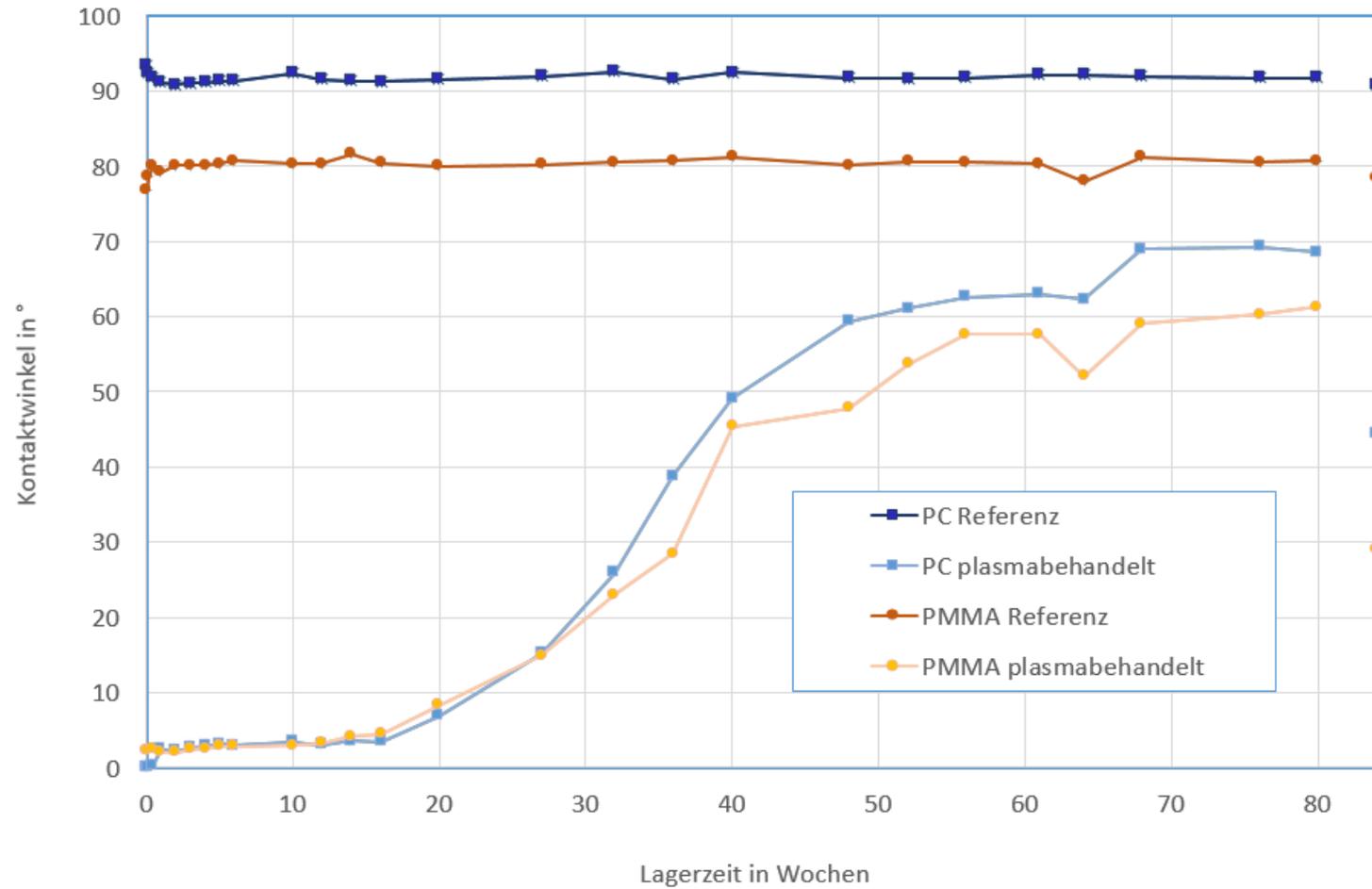
Optimal sofort nach der Behandlung!

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.

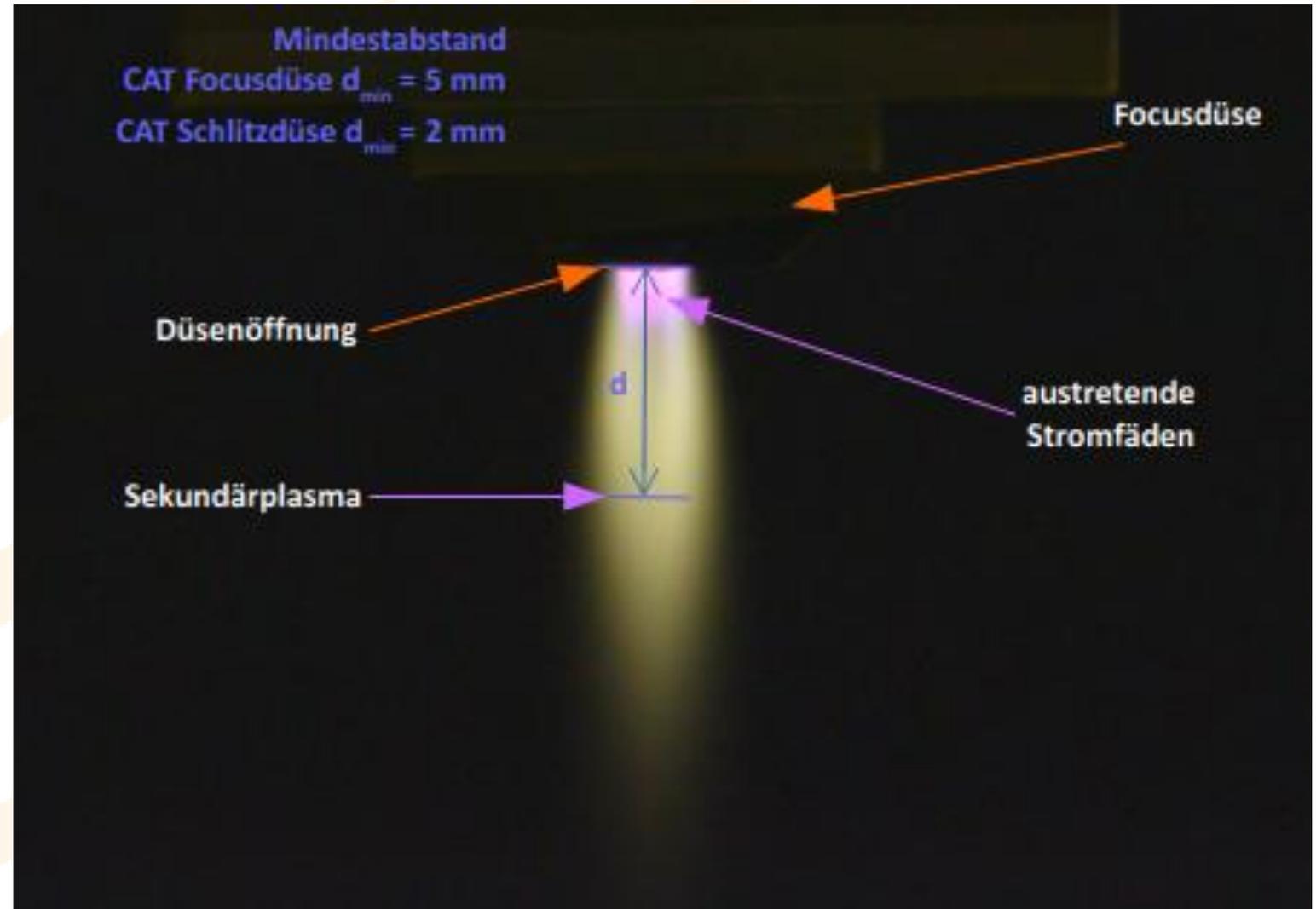
Plasma ist nicht Plasma

Verschiedene Plasmaarten können sehr unterschiedlich wirken

Unterschiede sind u.a.:

- Frequenz der Anregungsspannung
- Material der Elektroden
- 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

Werkzeug T-SPOT

Plasmaleistung:

Ca. **250 - 500 W pro Düse**,
(ca. 375 – 500 W für Schlitzdüse SD)

Düsen sind austauschbar

HS-Kabellänge: 2 m

Druckluft:

30 l/min pro Düse

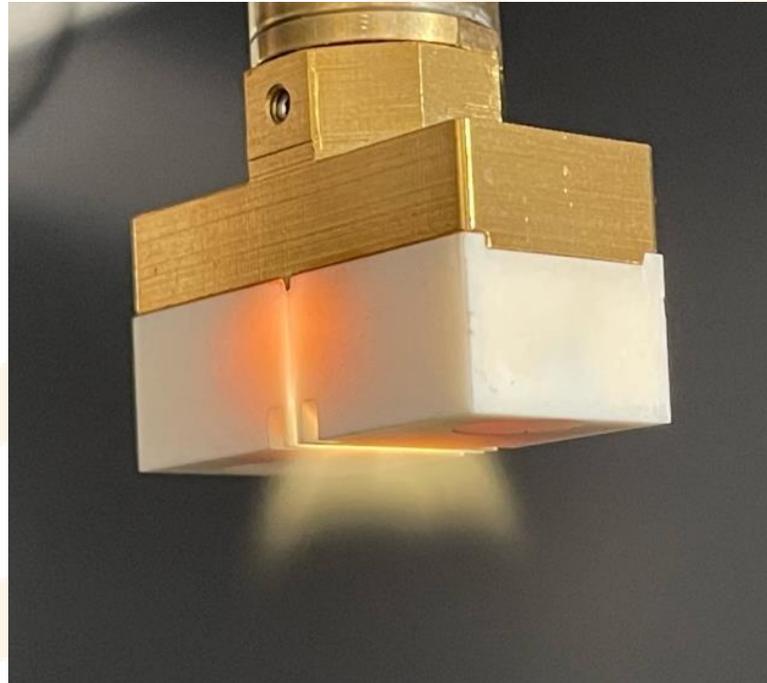
Gewicht:

Ca. **200 g**, Fokusedüse (FD)

Ca. **315 g**, Schlitzdüse (SD)

Lebensdauer Elektrode:

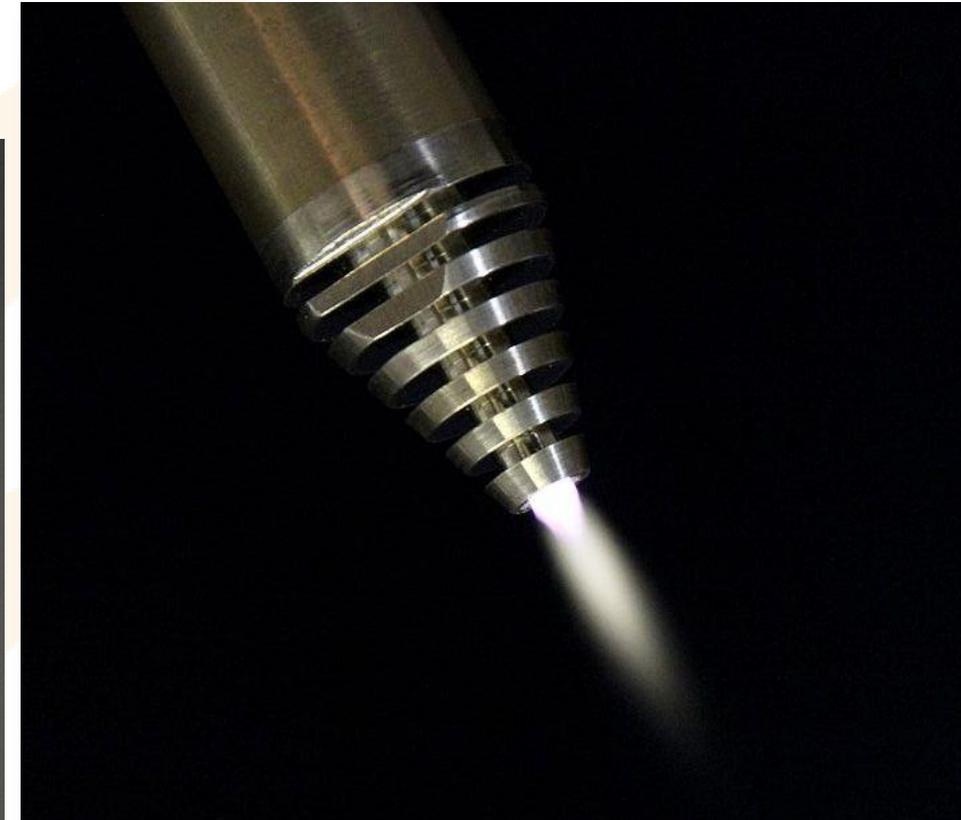
bis über **3.000 h**



Behandlungsbreite Schlitzdüse:

Bis zu 25 mm pro Kopf

Behandlungstiefe: Ca. 1-8 mm



Behandlungsbreite Fokusedüse:

Ca. 8-12 mm pro Kopf

Behandlungstiefe: Ca. 5-12 mm

T-JET, freistrahlend

Gegenelektrodenfreie Corona-Behandlung T-JET

Behandlungsgeschwindigkeit bis **ca. 20 m/min**

Standardversion:

400 W/Düse

keine Druckluft

Behandlungsbreite: ca. 50 mm

XW Version:

600 W/Düse

Keine Druckluft

Behandlungsbreite: ca. 70 mm



T-JET: Klebebandapplikation

DOLLBERG Maschinenbau GmbH

Walter-Frese-Straße 23

D- 42799 Leichlingen

Tel.: +49 2175-1809 794

Tel.: +49 2175-1809 795

Fax: +49 2175-1800 399

Mail: info@dollberg-maschinenbau.de

www.dollberg-maschinenbau.de

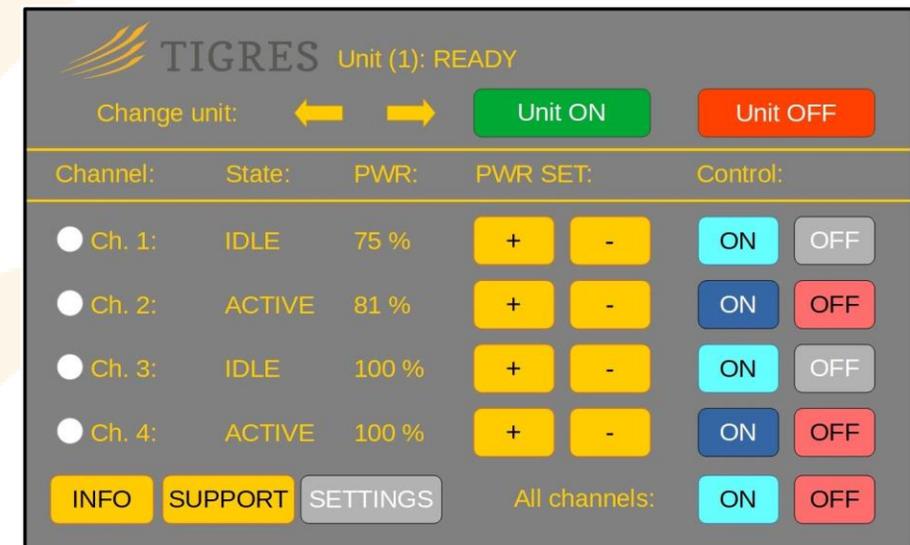


Video: Dollberg Maschinenbau GmbH

Generatoren M-Serie für CAT/T-SPOT

Kompakter und modularer Generator M1, M2 und M4

- ✓ Bis zu **vier CAT/T-SPOT Düsen je Generator**, Mischung von Düsen möglich
- ✓ je Düse **individuell regel- und steuerbar**, auch während **laufendem Prozess**
- ✓ **Intuitive Bedienung** über Touchpanel, externes Panel optional verfügbar, zentrale Steuerung mehrerer Generatoren
- ✓ Hohe Prozesssicherheit durch **Überwachung aller relevanten Systemwerte**, auch **für jede Einzeldüse**
- ✓ Effizientes Troubleshooting durch **detaillierten Fehlerspeicher mit Funktionalitätsanalyse und Klartextanzeige**
- ✓ Offene, interoperable **online Prozessüberwachung über BUS**
- ✓ **Fernwartung/Monitoring** mit Remote Service Unit RSU



Prozesszuverlässigkeit: Echte Leistungsregelung

Schlüsselmerkmal #1: Echte Leistungsregelung für jeden Plasmakopf

Der M-Generator regelt jeden Plasmakopf individuell mit einem closed loop controller.

Der Controller misst nicht nur die Plasmaleistung, sondern **regelt die Plasmaleistung in einem definierten Prozessfenster.**

Der Controller schaltet das Plasma ab, wenn der eingestellte Sollwert nicht erreicht wird.

Was wird geregelt?

✓ Strom

Wie wird geregelt?

Die Frequenz regelt den Strom

Überwacht:

✓ Versorgungsspannung

Prozesszuverlässigkeit: Echte Leistungsüberwachung mit SQL

Schlüsselmerkmal #2: Echtzeitüberwachung durch SQL (System Quality Index)

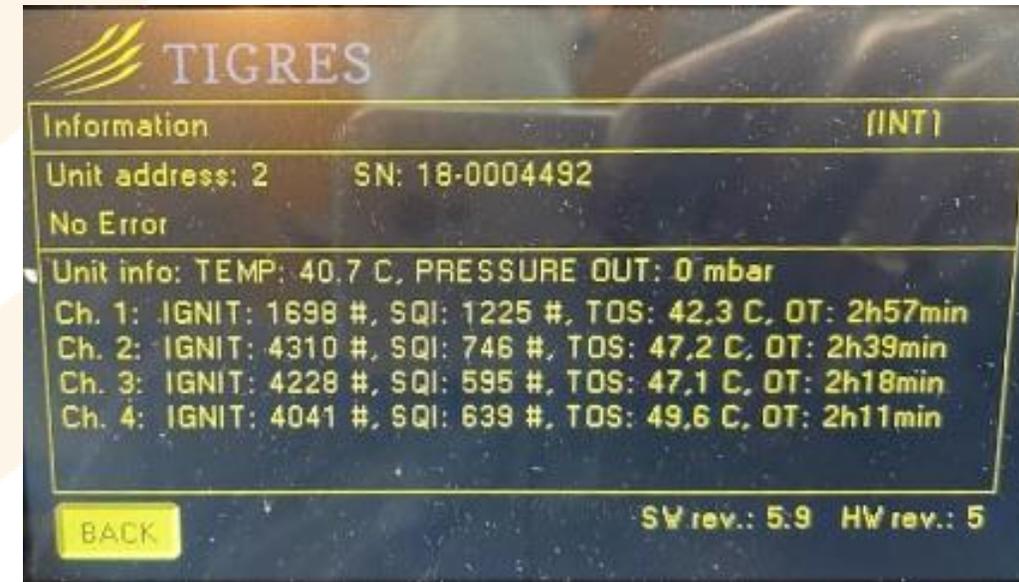
Der M-Generator **regelt die Plasmaentladung** und **kalkuliert** aus dem Regelverhalten **einen SQL Faktor**.

Aus den Werten von 1 und 3 wird der SQL Faktor berechnet:

1. Istwert DC-Strom Endstufe
2. Arbeitsfrequenz (regelt den DC-Strom)
3. Sollwert Regelgröße: Eingabe über Display/Interface (z. B. 500 W)
4. (Primärstrom, Verstärkerstrom) Zw. Endstufe und Trafo, Primärseite des Trafos (Messen und Abschalten, „Luft fehlt“)

Der Grenzwert des SQL kann für die jeweilige Anforderung über Display/BUS eingestellt werden.

(Sehr niedrig für sehr sensible Prozesse (z. B. Dichtungen), sehr hoch für sehr robuste Prozesse (z.B. Inkjetdruck in der Extrusion))



Beispiel: Elektroden sind verschlissen und fangen an zu „sprottern“. SQL steigt ca. um Faktor 3-4 an.

Prozesszuverlässigkeit: Echte Leistungsüberwachung mit SQI

Schlüsselmerkmal #2: Echtzeitüberwachung durch SQI (System Quality Index)

SQI:
Grenzwerte je nach Bedarf für
jeden Kanal (Düse) individuell
einstellbar

The screenshot shows the TIGRES control interface for adjusting SQI cycle limits. The title is "SQI cycle limits". It lists four channels with their current and target limits, and provides controls to adjust and save the values.

	Old limit:			New limit:	
Channel 1:	(3000)	+	-	3250	SAVE
Channel 2:	(3000)	+	-	3000	SAVE
Channel 3:	(3000)	+	-	3150	SAVE
Channel 4:	(3000)	+	-	3000	SAVE

BACK

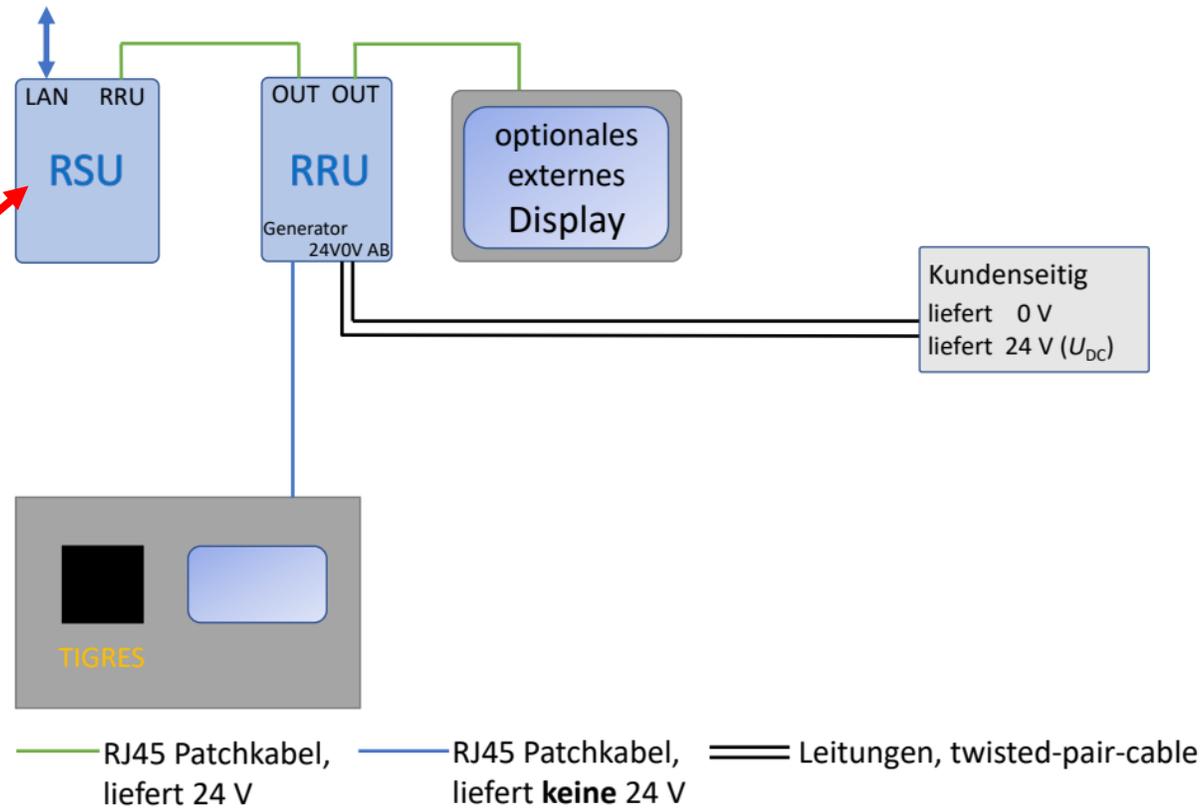
Fernwartung mit Remote Service Unit RSU in Echtzeit

TIGRES RSU (Remote Service Unit)

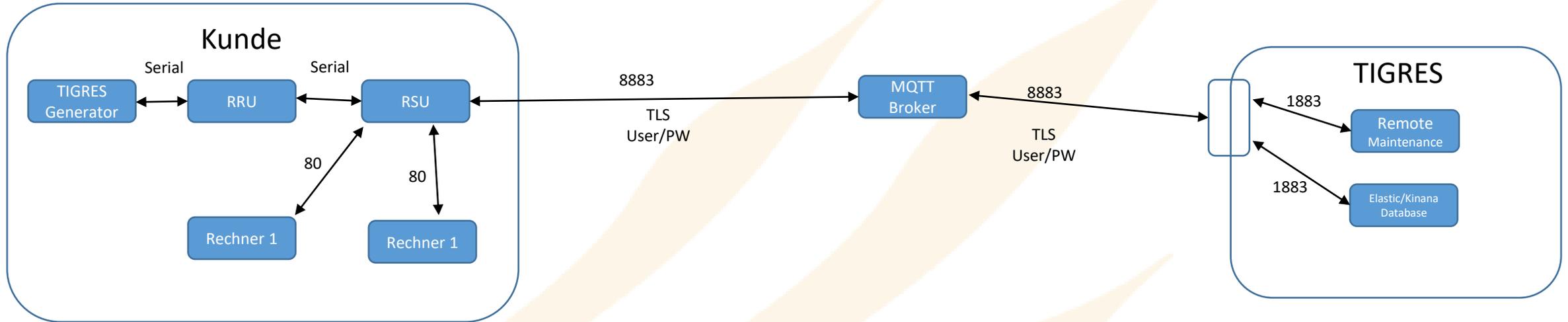
Ermöglicht Online Prozessüberwachung

Für:

- ✓ Inbetriebnahme
- ✓ Diagnose
- ✓ Fernwartung
- ✓ Serviceunterstützung
- ✓ Parametrierung
- ✓ Datenerfassung



Fernwartung mit RSU



- RSU liefert Daten ausschließlich an TIGRES nach Installation über Zustand des Generators
- Zugriff auf Generator ausschließlich durch TIGRES, nur durch Kundenfreigabe

RSU = Remote Service Unit, GateKeeper/Fernwartungsmodul
RRU = Round Robin Unit, Switch box
ACU = Analog Control Unit

TIGRES Labor, Versuchsgeräte, Tests etc.

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 30 Mietsysteme stehen zur Vermietung für Tests bei Kunden zur Verfügung

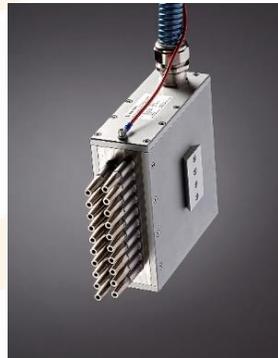
T-SPOT



CAT



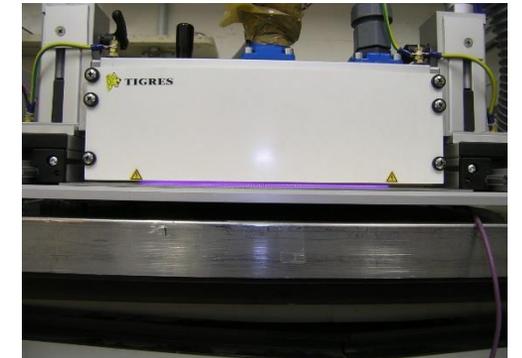
MEF



T-JET



DBD

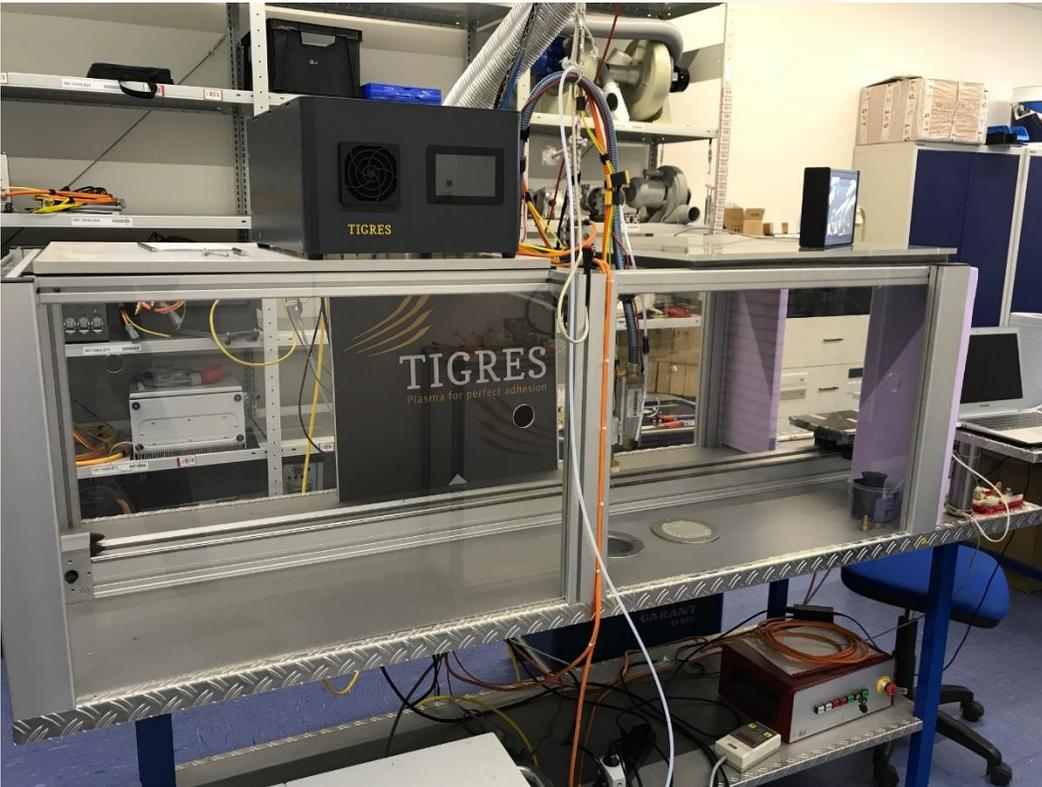


TIGRES Labor, Versuchsgeräte, Tests etc.

Materialproben bemustern:

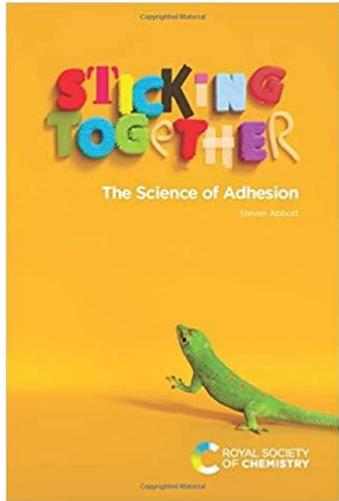
Test von Materialproben/Kleinserien im TIGRES-Labor: Professionelle Bemusterungen:

Aktivierung, Reinigung, Entgraten und Beschichtung mit Plasma



TIGRES: Empfehlung Literatur

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



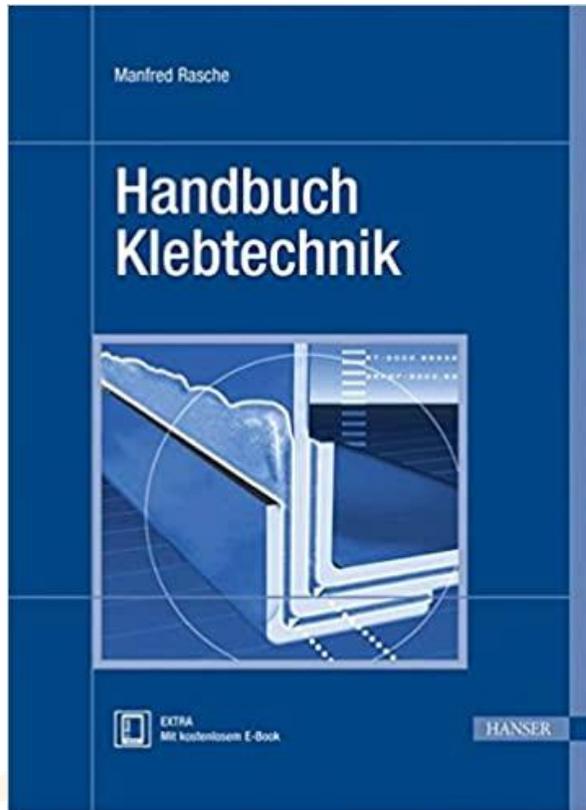
<https://amzn.to/3ppgWRE>

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>

Alle bereits abgehaltenen Webinare können sie oder Kollegen jederzeit nochmal anschauen unter:

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



TIGRES: Weitere Informationen über LinkedIn

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



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