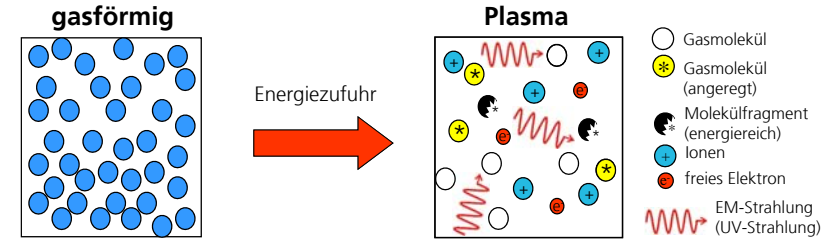


Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten von AD-Plasmen durch inline Hybridprozesse

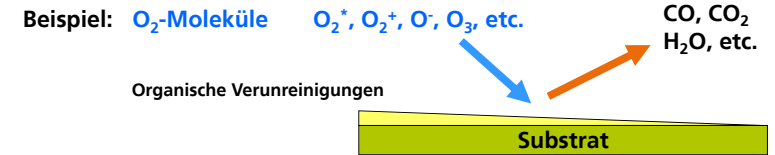
Jörg Ihde, N. Steinberg, T. Lukasczyk, T. Wübben

- Grenzen der AD-Plasma-Reinigung
- Inline Reinigungsverfahren
- Ausblick auf laufende Entwicklungen

Grundlagen der Plasma-Reinigung und Aktivierung



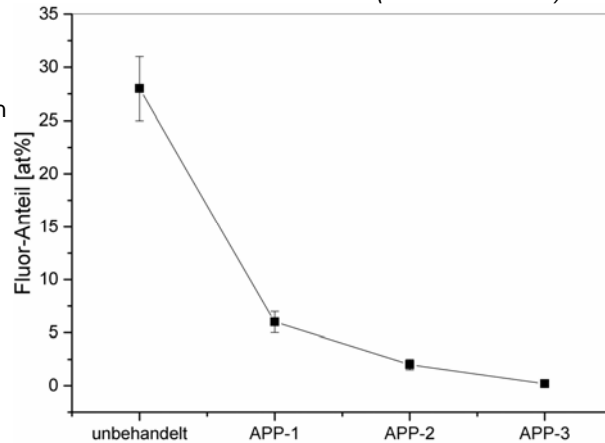
Plasma-Reinigung



VORBEHANDLUNG / AKTIVIERUNG VON FVK-O

REINIGEN VON FVK AD-PLASMA
ENTFERNUNG VON FLUORORGANIK (TRENNFOLIE)

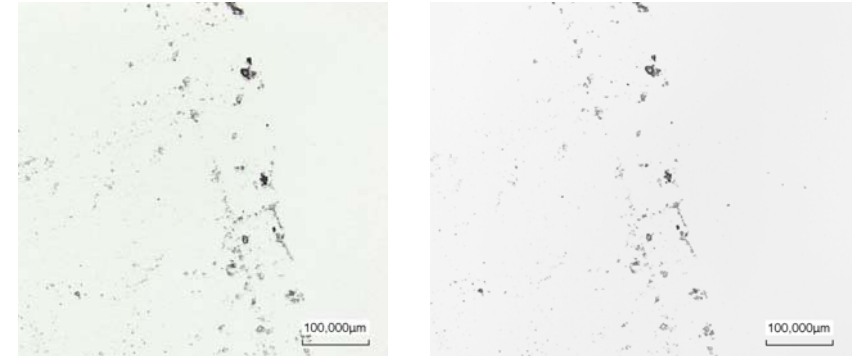
- Fluororganische Kontamination von Trennfolien kann mit AD-Plasma entfernt werden
- Effizienz hängt stark von Plasmaintensität ab



Grundlagen der Plasma-Reinigung und Aktivierung

Fingerabdrücke = organische + anorganische Rückstände (Salze)

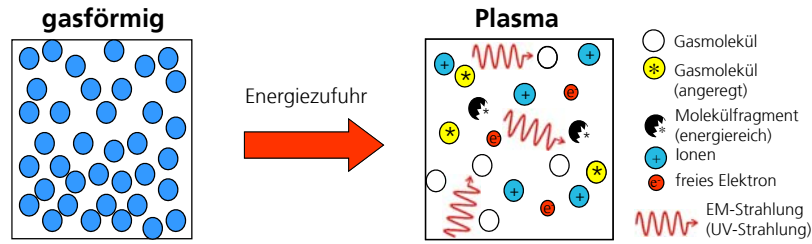
Herstellung eines Silikontest-Fingers
Applikation von Handschweißlösung nach Automobilprüfvorschrift



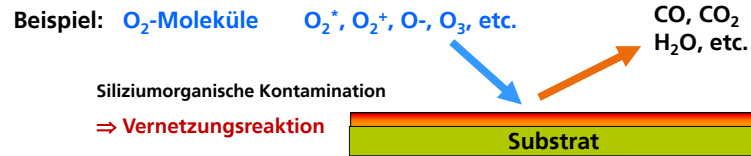
Vor AD-Plasma

Nach 10-facher Behandlung

Grundlagen der Plasma-Reinigung und Aktivierung



Plasma-Reinigung

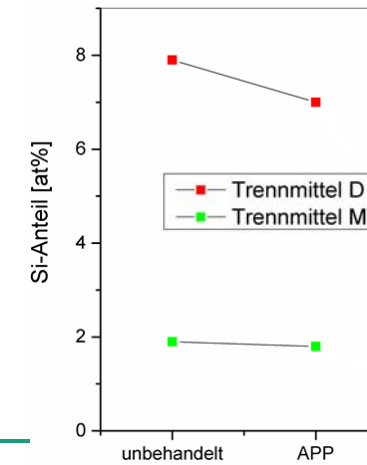


VORBEHANDLUNG / AKTIVIERUNG VON FVK-O

REINIGEN VON FVK AD-PLASMA

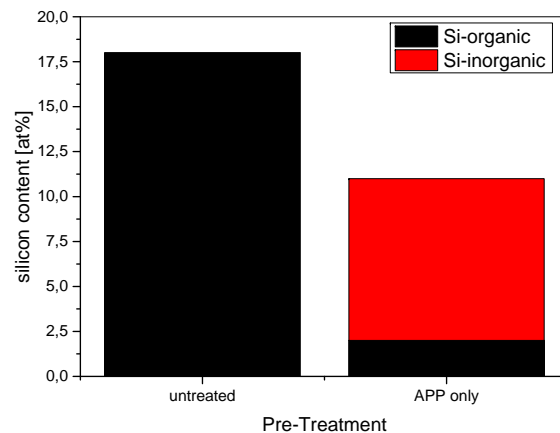
ENTFERNUNG VON SILIZIUMORGANIK (TRENNMITTEL)

- siliziumorganische Kontaminationen können mit industriellen AD-Plasmen nicht vollständig entfernt werden
- Es findet eine Konversion in Si-Ox bis etwa 5nm statt

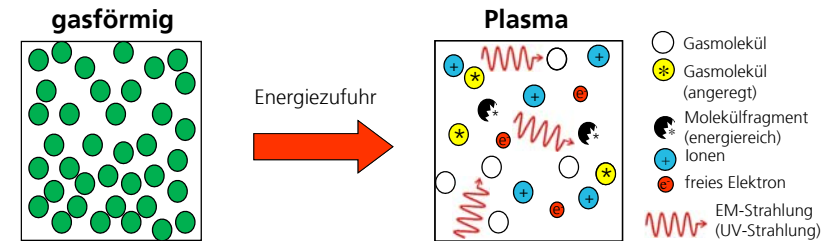


Surface Analytics by XPS

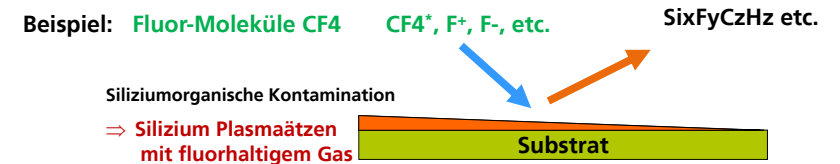
CFRP released with silicon-organic release agent



Grundlagen der Plasma-Reinigung und Aktivierung



Plasma-Reinigung

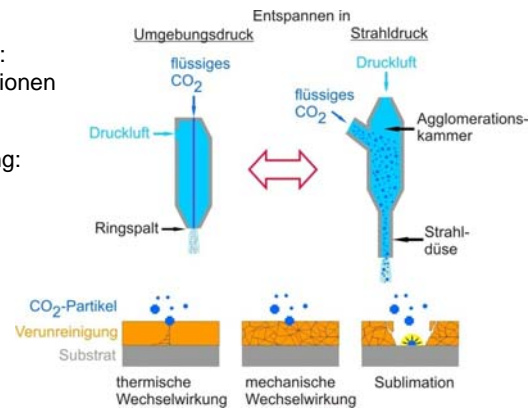


HYBRIDE-INLINE VORBEHANDLUNGSPROZESSE

REINIGEN VON FVK MIT CO₂-SCHNEE

Prinzip:

- Thermische Wechselwirkung:
Versprödung der Kontaminationen
- Mechanische Wechselwirkung:
Abrasion durch CO₂-Kristalle
- Sublimation:
„Lösungseffekt“ der
sublimierenden CO₂-Kristalle



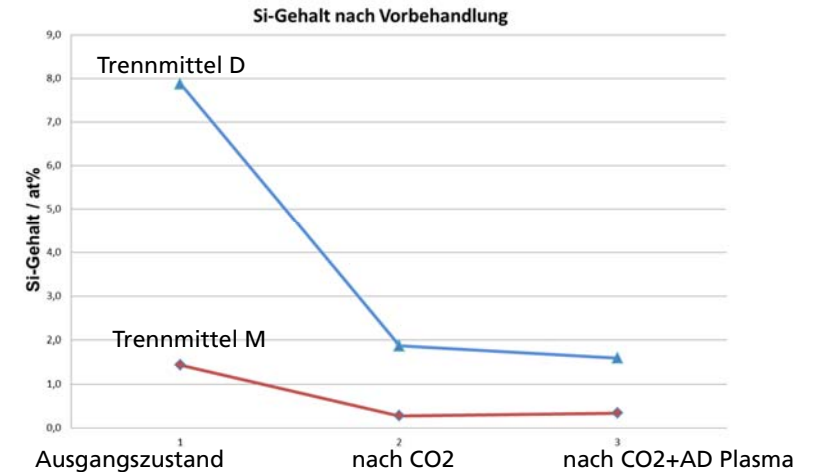
Klebtechnik und Oberflächen

© Fraunhofer IFAM

Fraunhofer
IFAM

HYBRIDE-INLINE VORBEHANDLUNGSPROZESSE

REINIGEN UND AKTIVIEREN VON FVK DURCH CO₂-SCHNEE + AD-PLASMA



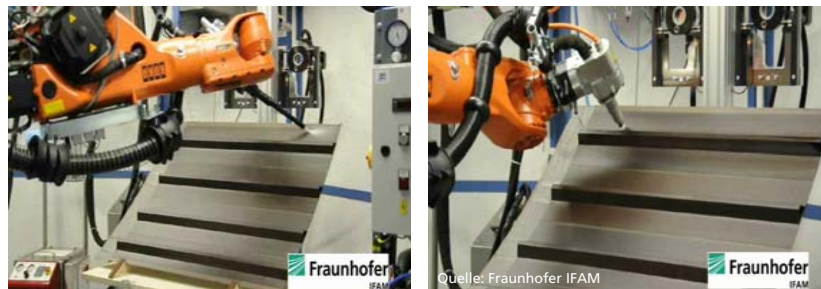
Klebtechnik und Oberflächen

© Fraunhofer IFAM

Fraunhofer
IFAM

HYBRIDE-INLINE VORBEHANDLUNGSPROZESSE

REINIGEN UND AKTIVIEREN VON FVK DURCH CO₂-SCHNEE + AD-PLASMA



Klebtechnik und Oberflächen

© Fraunhofer IFAM

Fraunhofer
IFAM

HYBRIDE-INLINE VORBEHANDLUNGSPROZESSE

VAKUUMSAUGSTRAHLEN

Prinzip:

- Der Industriesauger erzeugt einen Unterdruck innerhalb der Anlage gegenüber der Atmosphäre
- Die in das System einfließende Luft erzeugt eine Saugströmung, welche das Strahlmittel auf die behandelten Oberflächen beschleunigt
- Da sich die gesamte Anlage gegenüber der Umgebung im Unterdruck befindet, ist eine Emission von Partikeln ausgeschlossen



Klebtechnik und Oberflächen

© Fraunhofer IFAM

Fraunhofer
IFAM

Vakuumsaugstrahlen (berührungslos) Adaptive Dichtungen



Klebtechnik und Oberflächen

© Fraunhofer IFAM

Fraunhofer
IFAM

HYBRIDE-INLINE VORBEHANDLUNGSPROZESSE REINIGEN VON FVK MIT VAKUUMSAUGSTRAHLEN Oberflächencharakterisierung mittels XPS:

- X-ray Photoelectron Spectroscopy
- Bestimmung von Elementzusammensetzungen der Oberfläche



Silikon -Spezies

	C (at%)	O (at%)	N (at%)	Si (at%)	Na (at%)	Ca (at%)	Cl (at%)	F (at%)	Al (at%)
CFK 1 Referenz 1	63,1	22,6	1,8	12,4	-	-	0,2		<0,1
CFK 1 Referenz 2	63,0	22,7	1,9	12,1	-	-	0,2		<0,1
CFK 1 Korund Strahlen 1	69,4	10,6	18,9	0,7	<0,1	-	0,2		0,1
CFK 1 Korund Strahlen 3	68,7	10,9	19,0	0,8	<0,1	-	0,4		0,1

Klebtechnik und Oberflächen

© Fraunhofer IFAM

Fraunhofer
IFAM

HYBRIDE-INLINE VORBEHANDLUNGSPROZESSE REINIGEN UND AKTIVIEREN VON FVK DURCH VAKUUMSAUGSTRAHLEN + AD-PLASMA

THERMOPLASTISCHE FVK-GROßSTRUKTUREN
IN SCHIENENFAHRZEUGBAU UND LUFTFAHRT

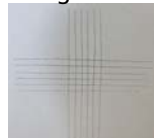
NEXT GENERATION AIRCRAFT: THERMOPLASTISCHER RUMPF
Ohne Vorbehandlung



solvent-based



water-based

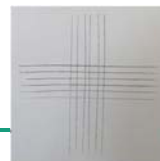


solvent-based



water-based

Saugstrahlen
+ AD-Plasma



solvent-based



water-based

LUFO V.3 Trumpf
Geliefert durch:
Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Fraunhofer
IFAM

Klebtechnik und Oberflächen

© Fraunhofer IFAM

HYBRIDE-INLINE VORBEHANDLUNGSPROZESSE REINIGEN VON FVK MIT LASER

Prinzip:

- Der fokussierte Laserstrahl entfernt die Schmutz- oder Deckschicht durch Verdampfen
- Sehr leistungsstarke, aber kurze Laserpulse verursachen sehr geringe thermische Einwirkungen auf das Basismaterial
- Das Grundmaterial transmittiert oder absorbiert die Laserstrahlen
- Prozess stark Wellenlängen und Polymer-abhängig



Klebtechnik und Oberflächen

© Fraunhofer IFAM

Fraunhofer
IFAM

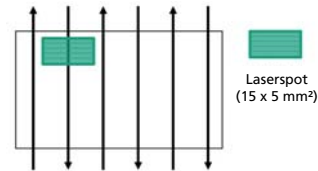
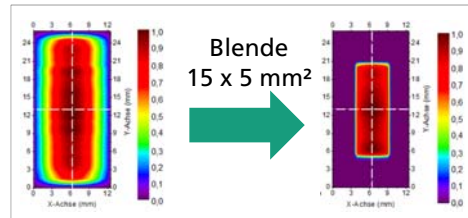
VORBEHANDLUNG / AKTIVIERUNG VON FVK-O REINIGEN UND AKTIVIEREN VON FVK MIT LASER



Foto: © Coherent

Coherent COMPexPro™ 205F(30 W)

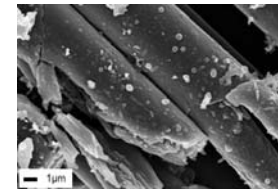
- Max. Pulsenergie: 700 mJ
- Wellenlänge: 248 nm
- Pulslänge: 25 ns
- Max. Pulsfrequenz: 50 Hz
- Flächenrate (Labor): 20 m²/h



Klebtechnik und Oberflächen

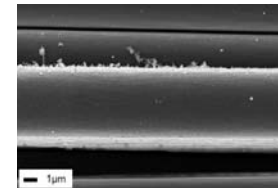
© Fraunhofer IFAM

HYBRIDE-INLINE VORBEHANDLUNGSPROZESSE REINIGEN VON FVK MIT LASER



Nd:YAG-Laser (1064 nm)
Energieeinkopplung (Absorption) primär in C-Fasern, d.h. Risiko von:

- Schädigung der C-Fasern
- ggf. unvollständiger Harz-Entfernung
- Reduzierte Festigkeiten im Verbund



UV-Excimer-Laser (KrF, 248 nm)
Energieeinkopplung (Absorption) primär in der oberen Epoxidharzschicht:

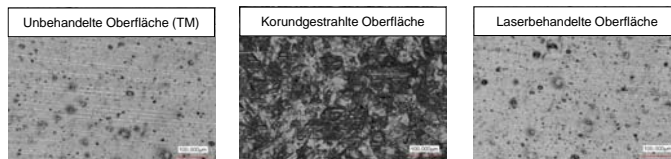
- Keine Schädigung der C-Fasern
- Materialschonender, oberflächennaher und ggf. vollständiger Harz-Abtrag



Klebtechnik und Oberflächen

© Fraunhofer IFAM

HYBRIDE-INLINE VORBEHANDLUNGSPROZESSE REINIGEN VON FVK MIT LASER



XPS-Messungen

Probe	Einheit	C	O	N	Si	Al
unbehandelt	at. %	62,08±2,8	26,04±1,1	1,1±0,6	10,7±1,5	-
korundgestrahlt	at. %	68,8±1,5	23,2±1,1	1,5±0,5	4,4±0,7	1,4±0,4
laserbehandelt	at. %	77,8±0,7	18,9±0,4	2,8±0,5	0,2±0,1	-

- Effektive Reinigung durch UV-Laseranwendung
- Abtrag kontrollierbar in 10nm Schritten
- Keine Aktivierung! Nur Reinigungswirkung!

Klebtechnik und Oberflächen

© Fraunhofer IFAM

HYBRIDE-INLINE VORBEHANDLUNGSPROZESSE REINIGEN UND AKTIVIEREN VON FVK DURCH UV-LASER REINIGUNG + AD-PLASMA

THERMOPLASTISCHE FVK-GROßSTRUKTUREN
IN SCHIENENFAHRZEUGBAU UND LUFTFAHRT

NEXT GENERATION AIRCRAFT: THERMOPLASTISCHER RUMPF
Ohne Vorbehandlung



UV-Laser
+ AD-Plasma



LUFO V.3 TRumpf
Geleitet durch:



anlässlich eines Besuchs des Deutschen Bundestages

Klebtechnik und Oberflächen

© Fraunhofer IFAM