

---

# ANALYSE DES DESINFEKTIONSERFOLGS VERSCHIEDENER REINIGUNGSVERFAHREN UND MÖGLICHER MATERIALSCHÄDIGUNGEN, ABLEITUNG VON HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN UND KONTAKTLOSE KONTAMINATIONSDETEKTION

18.11.2021

---

Michael Thomas, Kristina Lachmann, Antje Dohse, Mareike Jänsch, Krees Nagel (Fraunhofer IST)

Linda Steinhäuser, Stephanie Gerschke, Gaby Gotzmann (Fraunhofer FEP)

Elke Schade, Jens Friedrich (Fraunhofer IWS)

Dorothea Stübing, Linda Gätjen, Tim Heusinger von Waldegge (Fraunhofer IFAM)



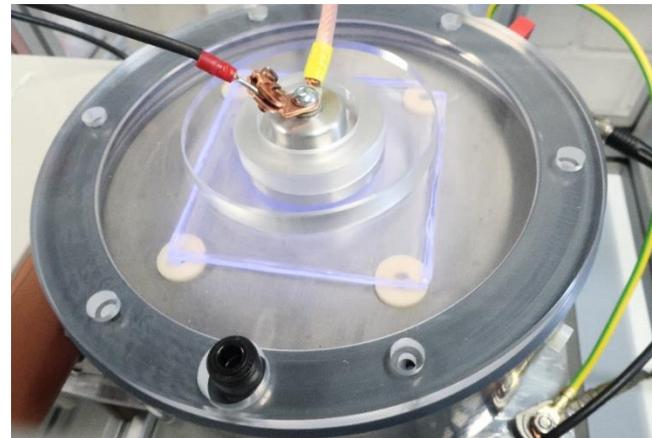
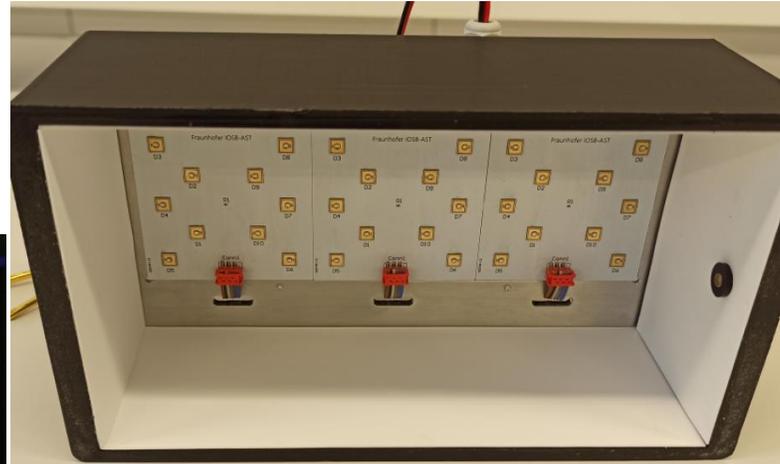
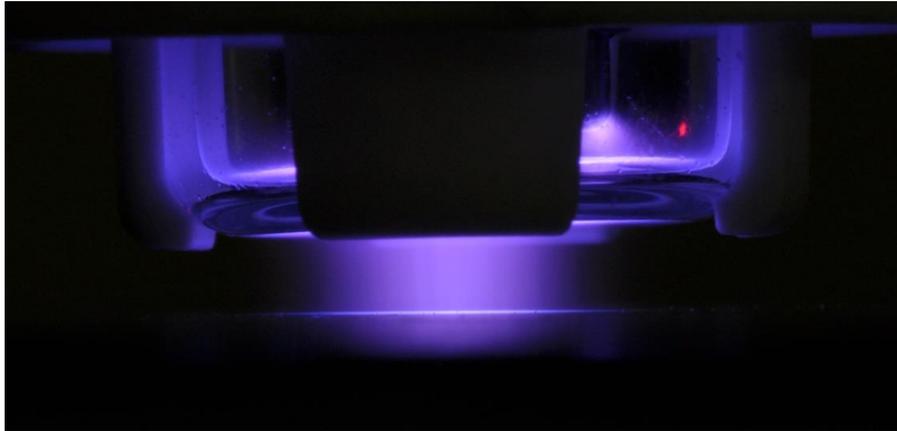
---

# AGENDA

---

- Analyse des Desinfektionserfolgs verschiedener Reinigungsverfahren
  - Keimlast im medizinischen und öffentlichen Sektor
  - keimreduzierende Wirkung
- Analyse möglicher Materialschädigungen und Ableitung von Handlungsempfehlungen
- Kontaktlose Kontaminationsdetektion

# ANALYSE DES DESINFEKTIONSERFOLGS VERSCHIEDENER REINIGUNGSVERFAHREN



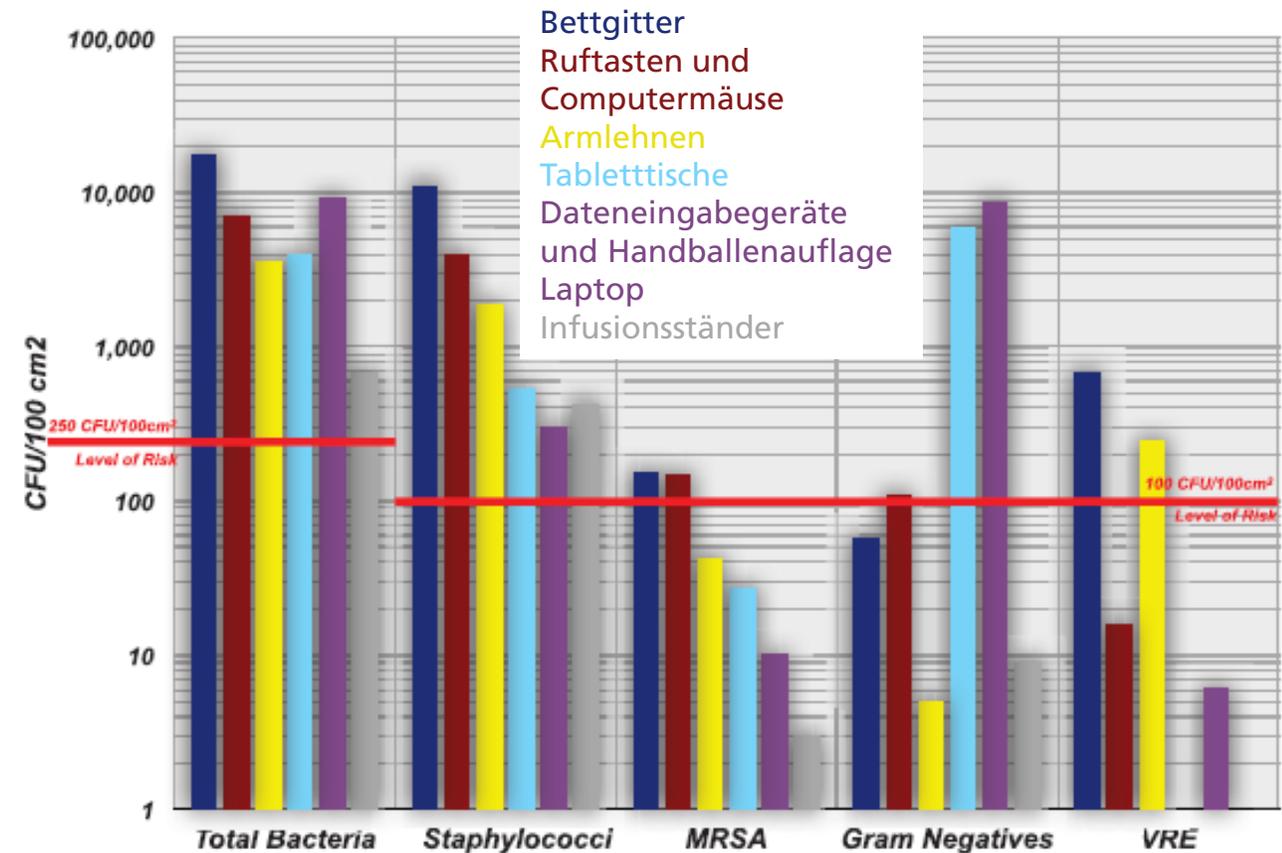
# Analyse des Desinfektionserfolgs verschiedener Reinigungsverfahren

## Keimlast im medizinischen und öffentlichen Sektor

- 80 % der Infektionen durch Kontakt mit Händen/Gegenständen übertragen<sup>1</sup>

### medizinisches Sektor

- meist chemische Desinfektion von Oberflächen in Krankenhäusern und sanitären Einrichtungen
- Studie mit 1000 häufig berührten Oberflächen in Krankenhäusern: nur 47 % der Oberflächen sauber<sup>2</sup>
- Schmidt et al. 2012<sup>3</sup>:
  - Grenze: 2,5 koloniebildende Einheiten (KBE) pro cm<sup>2</sup>
  - 10 - 100 KBE/cm<sup>2</sup> auf Patientennahen Griffflächen
  - Spitzenwert: ca. 170 KBE/cm<sup>2</sup> auf Bettgittern



Bewertung der inhärenten mikrobiellen Belastung häufig berührter Gegenstände<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Koscova, J.; Hurnikova, Z.; Pisl, J.; International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(10): 2238 (2018)

<sup>2</sup> Carling, P.; Briggs, J.; Perkins, J.; Highlander, D.; Clinical Infectious Diseases, 42: 385–388 (2006)

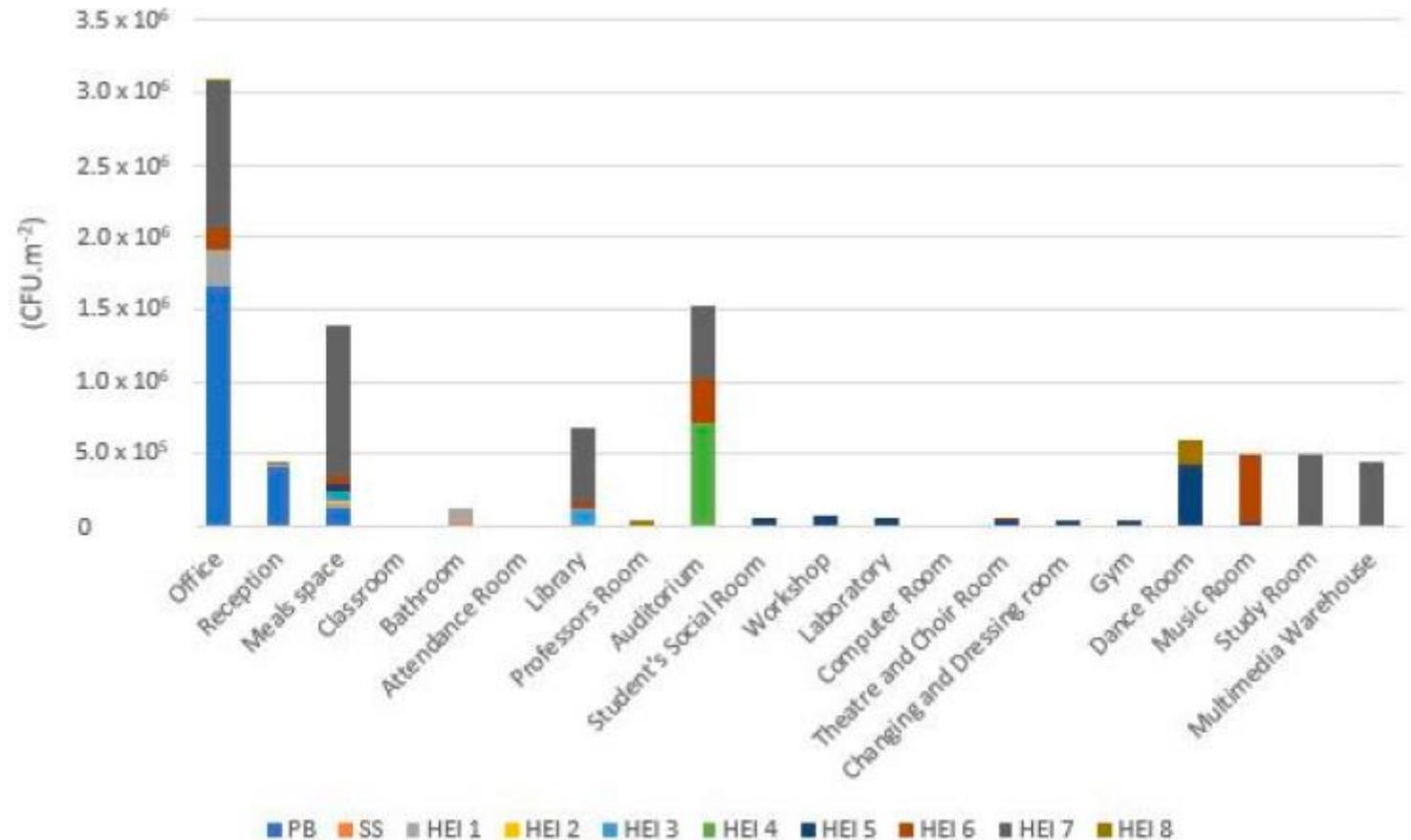
<sup>3</sup> Schmidt et al., Journal of Clinical Microbiology, 50(7): 2217–2223 (2012)

# Analyse des Desinfektionserfolgs verschiedener Reinigungsverfahren

## Keimlast im medizinischen und öffentlichen Sektor

### öffentlicher Sektor

- Viegas et al. 2021<sup>1</sup>:
  - Studie im Hochschulsektor
  - getestete Objekte: Türgriffe, Tische, Knöpfe, Mikrowelle, Kaffeemaschine, Kühlschrank, Fenster, Drucker, Computer, Wasserhähne etc.
  - Bakterienbelastung: bis zu 31.000 KBE/cm<sup>2</sup>
  - Pilzbelastung: bis zu 1.800 KBE/cm<sup>2</sup>



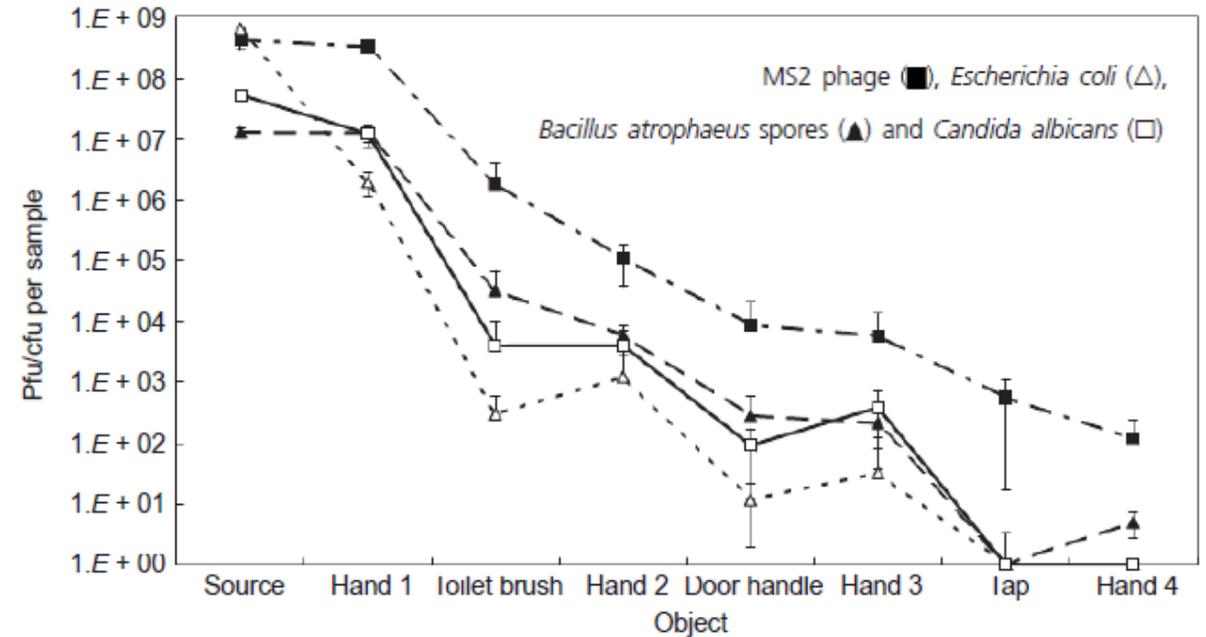
Gesamtbakterien in Oberflächenabstrichen<sup>1</sup>

# Analyse des Desinfektionserfolgs verschiedener Reinigungsverfahren

## Keimlast im medizinischen und öffentlichen Sektor

### öffentlicher Sektor

- Gerhardts et al. 2012<sup>1</sup>:
  - Beprobung öffentlicher Türknäufe und Geländer: 44 % von 160 mit Bakterien kontaminiert<sup>2</sup>
  - Simulation der Übertragungskette von Keimen
  - geschätzte infektiöse Virusdosis einiger Viren: 10-100 Virenpartikel



**Table 1** Transmission of micro-organisms from a source via hands to objects

|              | MS2                    |                       | <i>Escherichia coli</i> |                       | <i>Bacillus atrophaeus</i> |                       | <i>Candida albicans</i> |                       |
|--------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
|              | PFU per sample         | log <sub>10</sub> PFU | CFU per sample          | log <sub>10</sub> CFU | CFU per sample             | log <sub>10</sub> CFU | CFU per sample          | log <sub>10</sub> CFU |
| Source       | 4.20 × 10 <sup>8</sup> | 8.62                  | 6.37 × 10 <sup>8</sup>  | 8.80                  | 1.27 × 10 <sup>7</sup>     | 7.10                  | 5.23 × 10 <sup>7</sup>  | 7.72                  |
| Hand 1       | 3.23 × 10 <sup>8</sup> | 8.51                  | 1.93 × 10 <sup>6</sup>  | 6.29                  | 1.24 × 10 <sup>7</sup>     | 7.09                  | 1.19 × 10 <sup>7</sup>  | 7.08                  |
| Toilet brush | 1.81 × 10 <sup>6</sup> | 6.26                  | 2.97 × 10 <sup>2</sup>  | 2.47                  | 3.17 × 10 <sup>4</sup>     | 4.50                  | 3.94 × 10 <sup>3</sup>  | 3.60                  |
| Hand 2       | 1.09 × 10 <sup>5</sup> | 5.04                  | 1.22 × 10 <sup>3</sup>  | 3.09                  | 5.87 × 10 <sup>3</sup>     | 3.77                  | 3.97 × 10 <sup>3</sup>  | 3.60                  |
| Door handle  | 8.67 × 10 <sup>3</sup> | 3.94                  | 1.17 × 10 <sup>1</sup>  | 1.07                  | 2.80 × 10 <sup>2</sup>     | 2.45                  | 9.17 × 10 <sup>1</sup>  | 1.96                  |
| Hand 3       | 5.76 × 10 <sup>3</sup> | 3.76                  | 3.20 × 10 <sup>1</sup>  | 1.51                  | 2.10 × 10 <sup>2</sup>     | 2.32                  | 3.80 × 10 <sup>2</sup>  | 2.58                  |
| Tap          | 5.57 × 10 <sup>2</sup> | 2.75                  | <5                      | –                     | <5                         | –                     | <5                      | –                     |
| Hand 4       | 1.17 × 10 <sup>2</sup> | 2.07                  | <5                      | –                     | 5                          | 0.70                  | <5                      | –                     |

Übertragungskette und detektierbare Keimlast nach jedem Übertragungsschritt

<sup>1</sup> A. Gerhardts, A.; Hammer, T. R.; Balluff, C.; Mucha, H.; Hoefler, D.; Journal of Applied Microbiology, 112: 614–621 (2012)

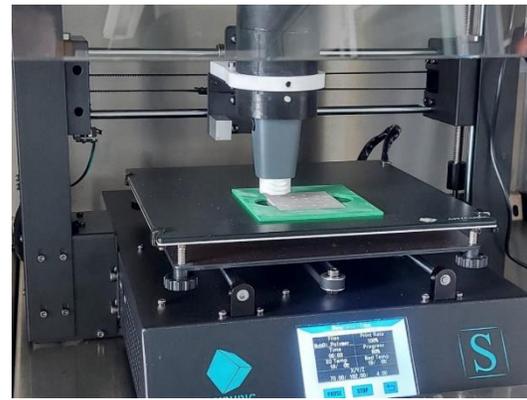
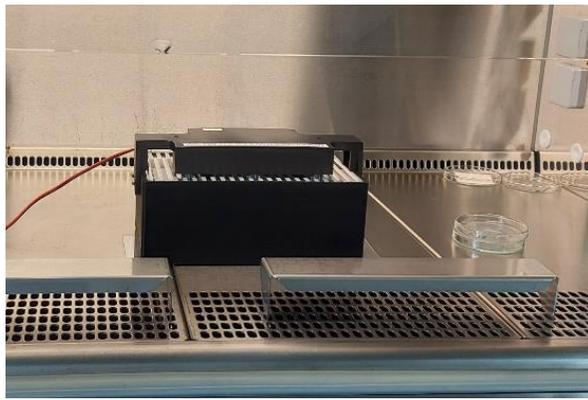
<sup>2</sup> Burton, M.; Cobb, E.; Donachie, P.; Judah, G.; Curtis, V.; Schmidt, W. P.; Int J Environ Res Public Health, 8(1):97-104 (2011)

# Analyse des Desinfektionserfolgs verschiedener Reinigungsverfahren

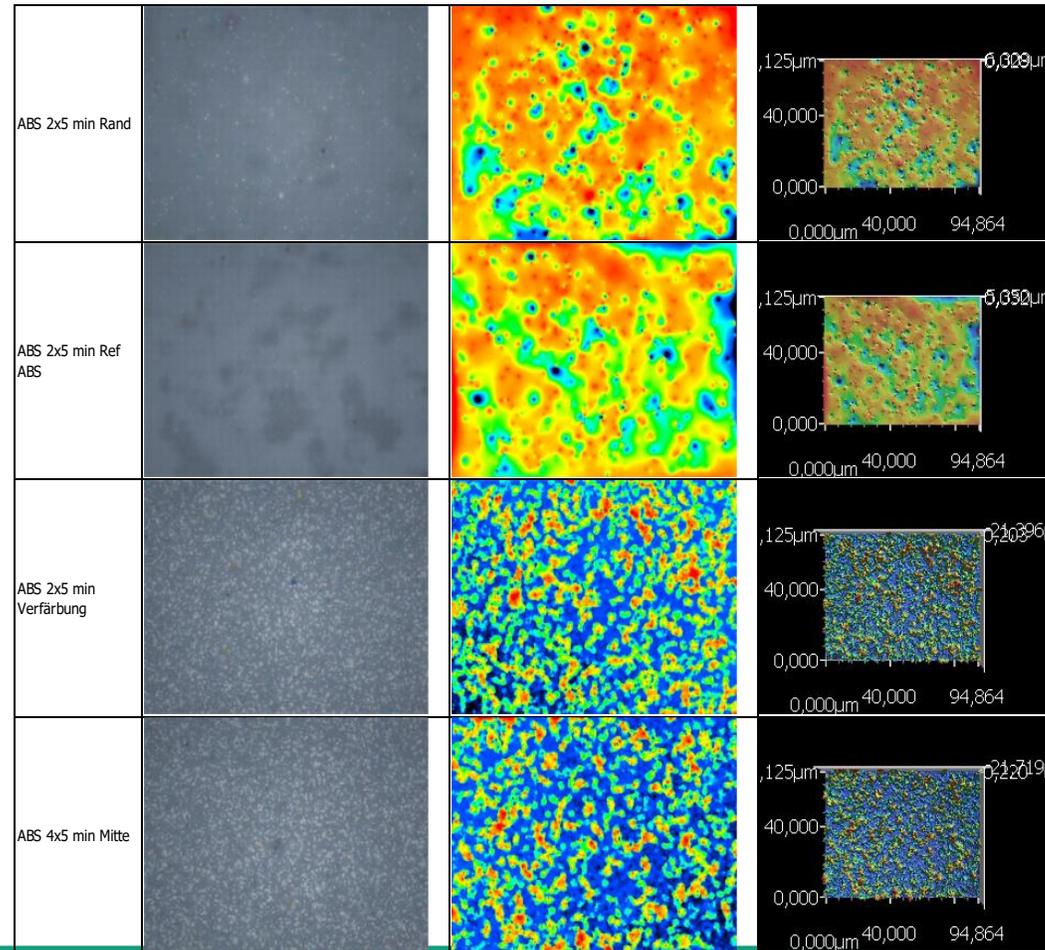
## keimreduzierende Wirkung | Zusammenfassung

| Behandlung                 | Parameter                     | Keim                      | Keimreduktion an<br>ABS, PVC und<br>Edelstahl | Bemerkung   |
|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|---|---|
| UV-C-Strahlung             | 400 J/m <sup>2</sup> , 4 s    | <i>E. coli</i>            | Bis zu 99,999 %                               | vollständige Abtötung;<br>Reduktion abhängig<br>vom Trocknungsverlust |
|                            |                               | <i>B. subtilis</i> Sporen | Bis zu 99,9 %                                 |   |
|                            |                               | Bakteriophage Q $\beta$   | Bis zu 99,99 %                                |   |
| Plasma                     | trocken, 2,5 mm/s             | <i>E. coli</i>            | < 90 %  |   |
|                            | feucht, 2,5 mm/s              | <i>E. coli</i>            | Bis zu 99 %                                   |   |
| UV-C-Strahlung +<br>Plasma | 3600 J/m <sup>2</sup> , 200 s | <i>E. coli</i>            | 99,999 %                                      |   |
|                            |                               | <i>B. subtilis</i> Sporen | 99,99 %                                       |   |
| Trockendampf               | 3 s Dampf + Absaugen          | <i>E. coli</i>            | bis zu 99 %                                   |   |

Versuchsaufbauten unter der Sterilwerkbank: UV-C, Plasma, UV-C/Plasma-Kombinationsquelle, Trockendampf (von links nach rechts)



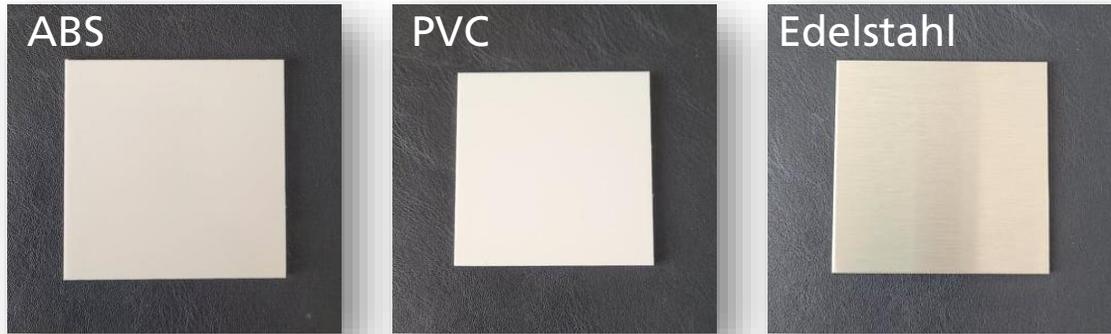
# ANALYSE MÖGLICHER MATERIALSCHÄDIGUNGEN UND ABLEITUNG VON HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN



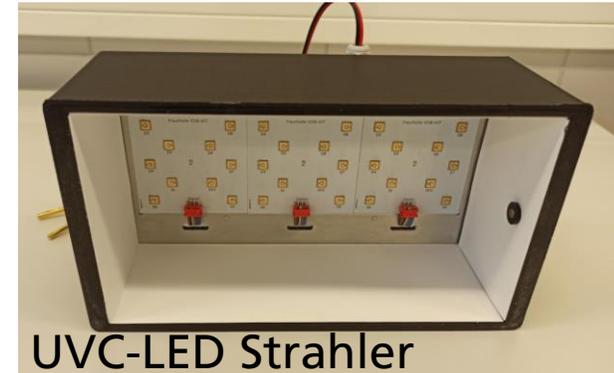
# Analyse möglicher Materialschädigungen

## Eingesetzte Materialien, Quellen und Methoden

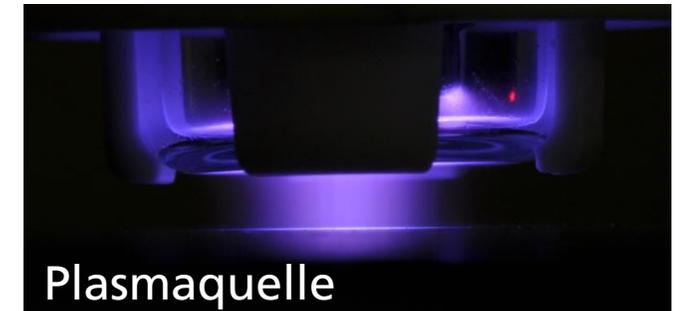
- Ausgewählte Materialien: ABS, PVC, Edelstahl



- Bislang untersuchte Reinigungsquellen

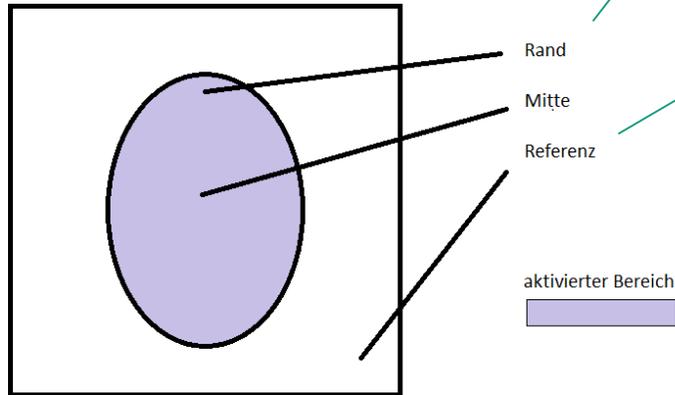


- Rauheitsmessungen mittels Laserscanning-Mikroskopie (CLSM)
- Kontaktwinkelmessungen (mit Wasser)
- Überprüfung der Reinigungswirkung über Fluoreszenzmethode

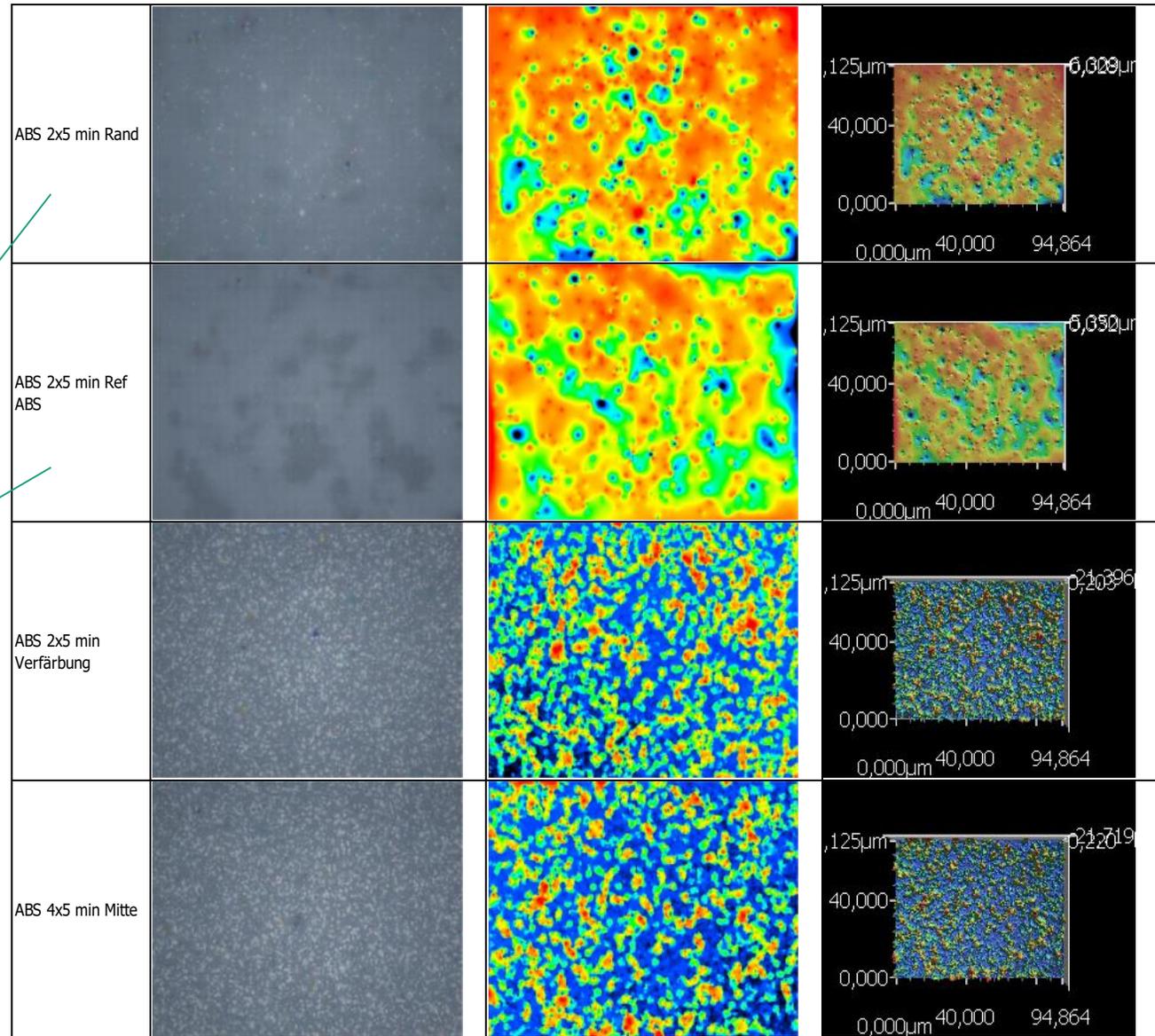


# Analyse möglicher Materialschädigungen Rauheitsmessungen mittels CLSM am Beispiel von ABS

- Änderung der Oberflächenrauheit nach Plasmabehandlung



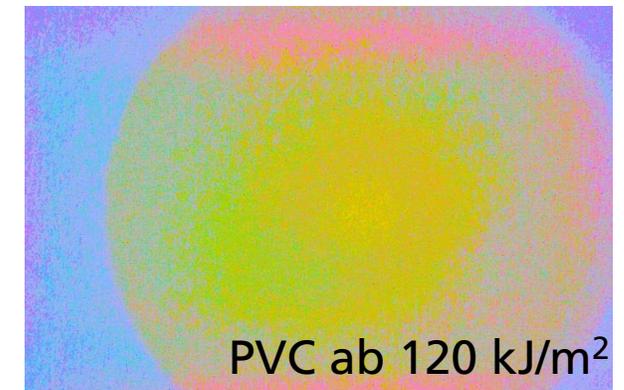
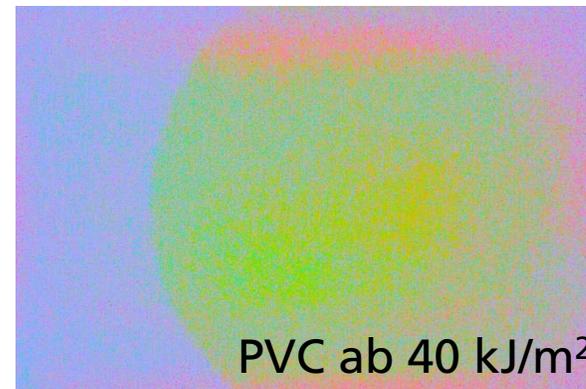
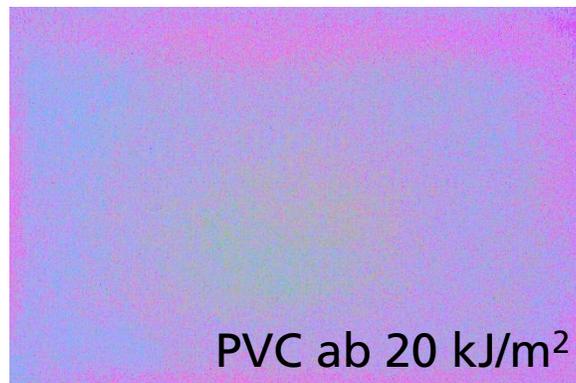
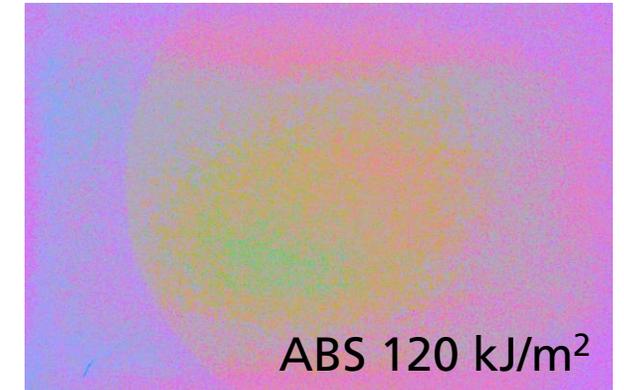
- PVC zeigt ebenfalls eine Aufrauhung, aber keine Verfärbung



# Analyse möglicher Materialschädigungen

## Schädigungen der Kunststoffoberflächen durch UV-C

- Bei UV-C-Bestrahlung keine Aufrauhung, aber dosisabhängige optische Verfärbungen
- Aufnahme mit Spiegelreflexkamera und Makroobjektiv, Anpassung der Farbskala
  - ABS ab 120 kJ/m<sup>2</sup>
  - PVC ab 40 kJ/m<sup>2</sup>

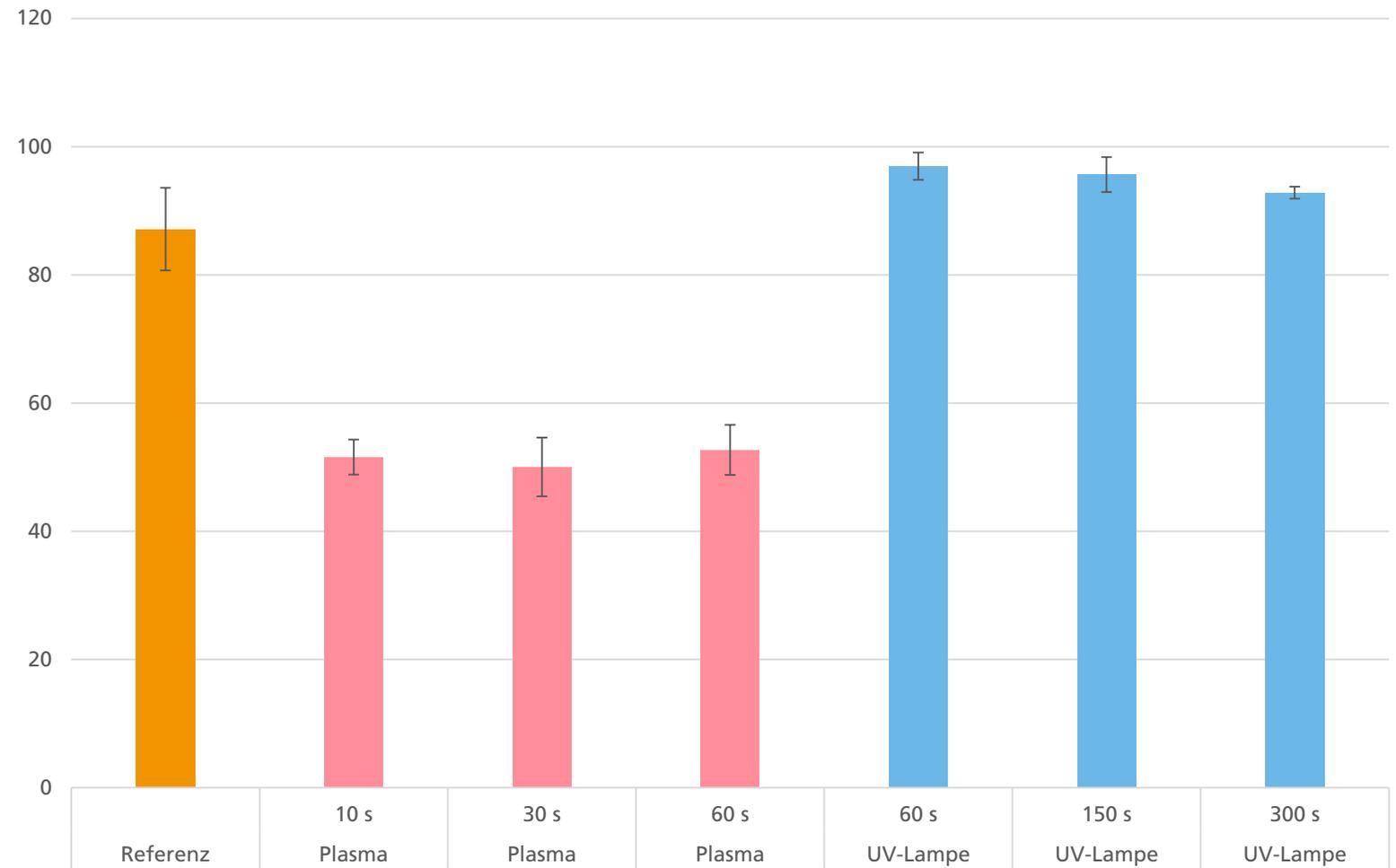


# Analyse möglicher Materialschädigungen | ABS

## Wasserkontaktwinkelmessungen

ABS - Wasserkontaktwinkel nach UV-C und Plasmabehandlung

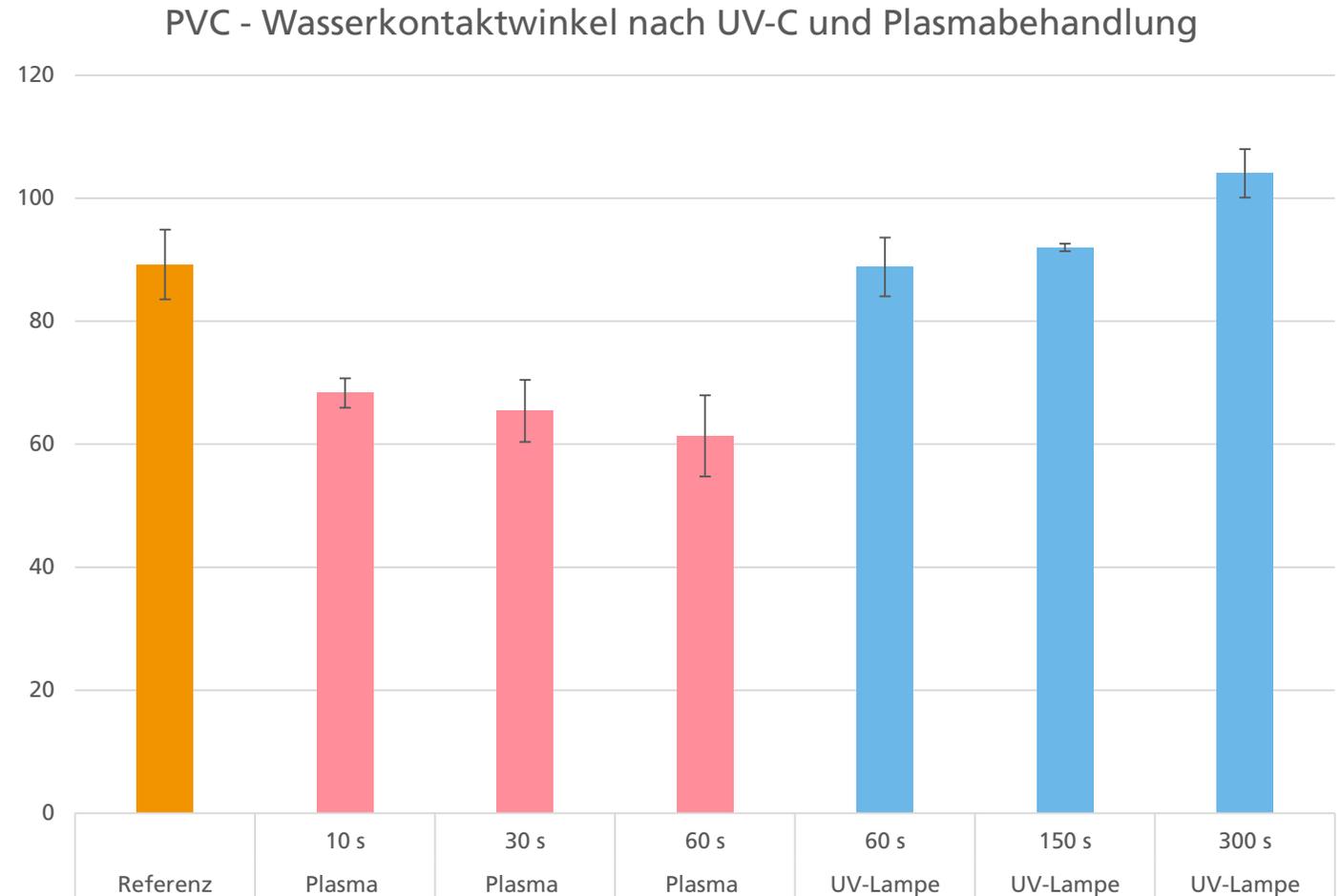
- Material: ABS
- Deutliche Hydrophilisierung durch Plasmabehandlung nach 10 s
- Bessere Benetzung für wässrige Medien
- Keine Änderung bzw. Leichte Erhöhung des Wasserkontaktwinkels durch UV-C-Behandlung



# Analyse möglicher Materialschädigungen | PVC

## Wasserkontaktwinkelmessungen

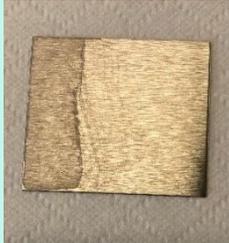
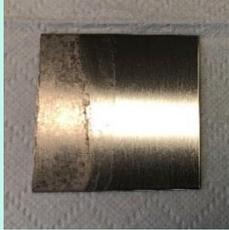
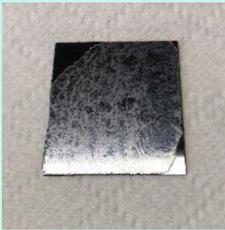
- Material: PVC
- Hydrophilisierung durch Plasmabehandlung
- Bessere Benetzung für wässrige Medien
- Keine Effekte bzw. Erhöhung des Wasserkontaktwinkels durch UV-C-Behandlung



# Analyse möglicher Materialschädigungen | Edelstahl

## Kontamination der Oberfläche durch Triglyceride

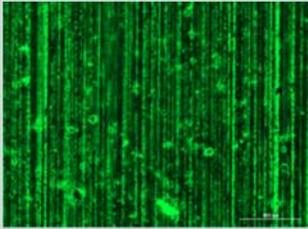
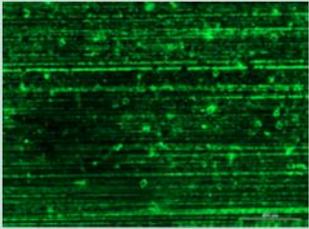
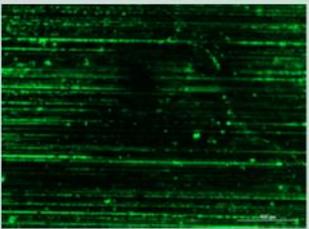
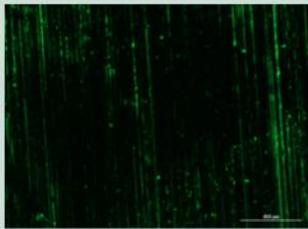
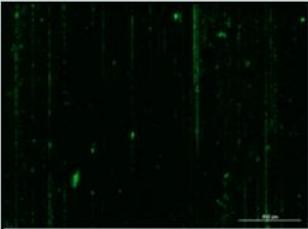
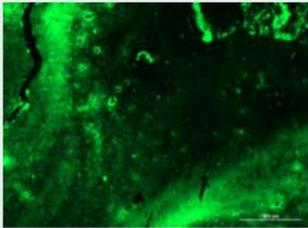
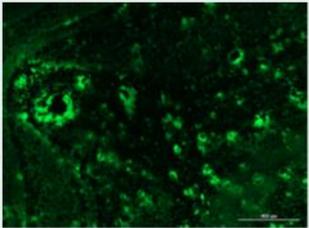
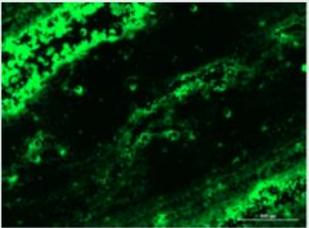
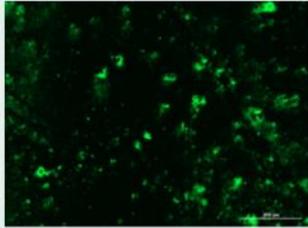
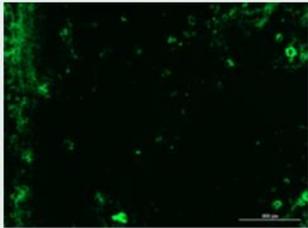
- Reinigungsuntersuchungen auf Edelstahl durch Kontamination mit Triglycerid (=Tristearin) + Fluorescein
  - Methodenentwicklung zur Kontamination der Oberfläche (Konzentration des Tristearins und Fluoresceins, Auswahl eines geeigneten Lösungsmittel)
  - Kontamination der Oberfläche durch definierte Beprobung mit Triglycerid-Gemisch → Verdampfung des Lösungsmittels
  - Bestimmung der Fluoreszenz
  - Reinigungsversuche mit Plasma
  - Bestimmung der Fluoreszenz

|   | Edelstahl   | Siliziumwafer   |
|---|---|---|
| 0,1-wt%<br>Tristearin + 1 mg<br>Fluorescein |   |   |
| 0,1-wt%<br>Tristearin + 5 mg<br>Fluorescein |  |  |

# Analyse möglicher Materialschädigungen | Edelstahl

## Kontamination der Oberfläche durch Triglyceride | Reinigungseffekte

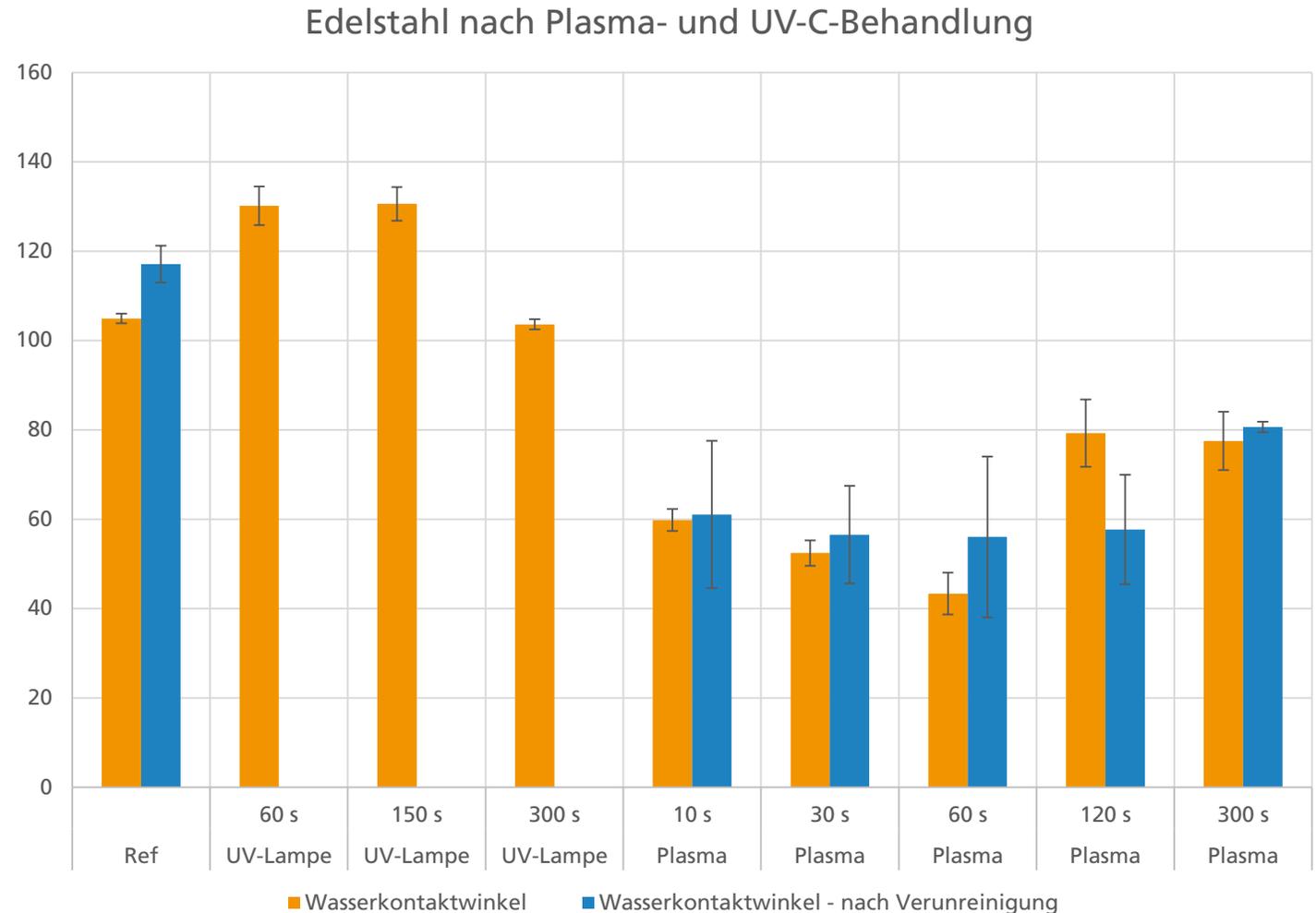
- Nachweis des Reinigungseffekts durch Fluoreszenzuntersuchungen nach Plasmabehandlung
- 0,1-wt% Tristearin + 1 mg Fluorescein in Chloroform

| Zeit [s]      | 10  | 30   | 60  | 120   | 300   |
|---------------|---|--|---|---|---|
| Edelstahl     |    |    |    |    |    |
| Siliziumwafer |  |  |  |  |  |

# Analyse möglicher Materialschädigungen | Edelstahl

## Kontamination der Oberfläche durch Triglyceride | Reinigungseffekte

- Referenz zeigt vergleichsweise hohen Wasserrandwinkel → Verunreinigung?
- Deutliche Hydrophilisierung durch Plasmabehandlung
- Mit Tristearat verunreinigte Proben lassen sich sehr gut mittels Plasma reinigen



# Analyse möglicher Materialschädigungen

## Zusammenfassung

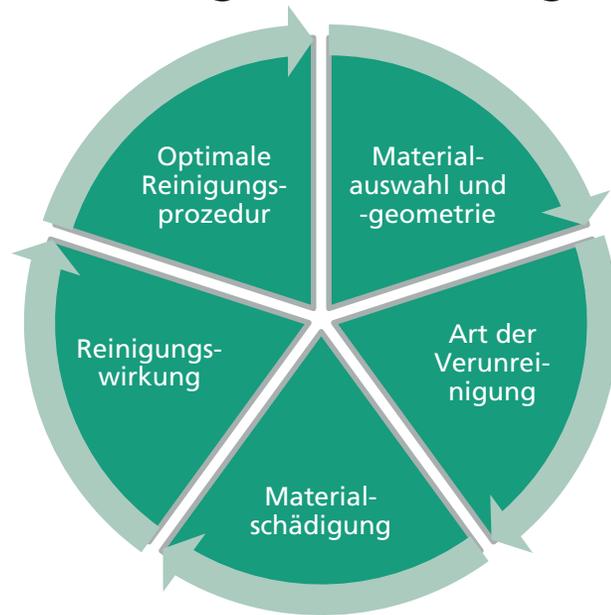
- Plasmabehandlung
  - Verbessert die Benetzung der Oberfläche
  - Zu lange Behandlungen erhöhen die Rauheit bei Polymeren (Schädigung)
  - Entfernt schnell organische Kontaminationen wie Fette oder Öle
- UV-C-Behandlung
  - Keine Veränderung der Rauheit, aber dosisabhängige Verfärbungen der Kunststoffe
  - Leichte Verringerung der Benetzung
  - Keine Entfernung organischer Kontaminationen wie Fette oder Öle

# Analyse möglicher Materialschädigungen und Ableitung von Handlungsempfehlungen

## Ausblick

### ■ Nächste Schritte

- Untersuchung der Schädigung von nasschemischen Reinigungsprozessen
- Optimierung der Reinigungsprozeduren in Abstimmung mit den mikrobiellen Ergebnissen
- Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Auswahl der Reinigungswerkzeuge



Kombination von verschiedenen Reinigungswerkzeugen für effiziente Reinigung bei minimaler Materialschädigung  
Abhängigkeit von Effizienz, Tiefenwirkung, Schädigung, Behandlungszeit, Sicherheit, usw.

# KONTAKTLOSE KONTAMINATIONSDETEKTION



# Kontaktlose Kontaminationsdetektion

## Detektionsverfahren des Kontaminationsgrads

- kontaktbasierte Verfahren, z.B. über ATP-Messung, Abklatsch, Abstrich etc.
- UV-basierte, d.h. optische Detektionsverfahren durch Fluoreszenzanregung
- Spektroskopie-basierte Verfahren durch VOC-Messung

} berührungslose  
Verfahren

# Kontaktlose Kontaminationsdetektion

## VOC-Messung

- VOC = flüchtige organische Verbindungen (engl. volatile organic compounds)
- Versuchsablauf:
  - Verkeimung Nähragar mit Bakterien/Sporen (*E. coli*, *B. subtilis*)
  - Messung leere Petrischale, Nähragar und Nährmedium (Blindmessung)
  - Messung Emission der verkeimten Nähragarplatten

### VOC-Messgerät (PID):

Tiger von ISM

Misst leicht flüchtige, organische

Verbindungen:

Hier als Summe-VOC

1ppb – 50 ppm  
(+/- 1 ppb)



# Kontaktlose Kontaminationsdetektion

## VOC-Messung

### ■ Ergebnis:

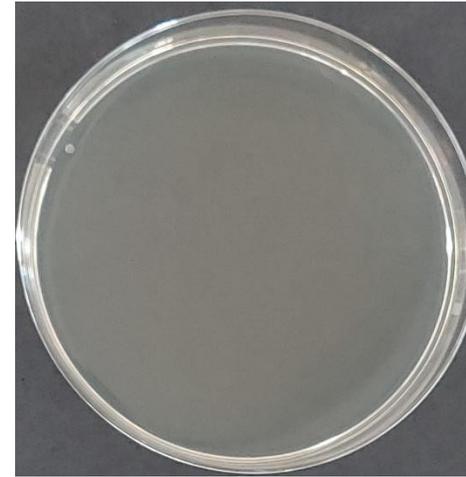
- Petrischale (leer): 0,08...0,3 ppm
- Nähragar: 0,1...0,3 ppm
- Nähragar + Nährmedium: 0,2...0,3 ppm

- Nähragar + Nährmedium + *E. coli*:

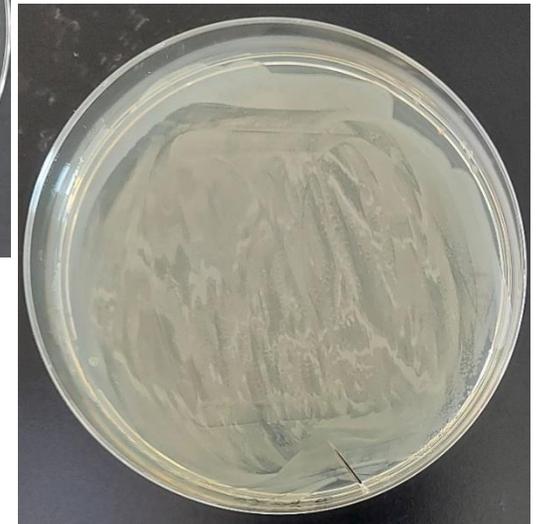
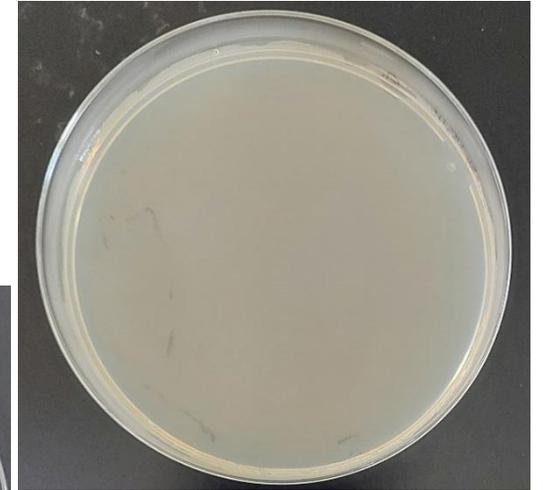
1....5 ppm, Mittelwert 1,6 ppm

- Nähragar + *B. subtilis*:

0,4...1 ppm (örtliche Abhängigkeit)



unverkeimte Agarplatte



Bakterienrasen *B. subtilis*  
(oben) *E. coli* (unten)

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

**Gibt es Fragen?**

**Prof. Dr. Michael Thomas**

Abteilungsleiter

Grenzflächenchemie und adaptive Haftsyste

Fraunhofer-Institut für Schicht- und  
Oberflächentechnik IST

Bienroder Weg 54E

38108 Braunschweig

Mail: [Michael.Thomas@ist.fraunhofer.de](mailto:Michael.Thomas@ist.fraunhofer.de)

Tel.: +49 531 2155-525

**M.Sc. Linda Steinhäüßer**

Doktorandin

Medizinische und biotechnologische Applikationen

Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik,  
Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP

Winterbergstraße 28

01277 Dresden

Mail: [Linda.Steinhaeusser@fep.fraunhofer.de](mailto:Linda.Steinhaeusser@fep.fraunhofer.de)

Tel.: +49 351 2586-357