

Entwicklung einer Beschichtungstechnologie für Zirkonoxid-basierte Zahnimplantate

Sebastian Spange¹, Jens Moje², Andreas Frickel¹, Helena Schwebel¹

¹Fraunhofer IKTS

²Moje Keramik-Implantate GmbH & Co. KG

Einleitung

Grundlagen

Zirkonoxid hat sich aufgrund seiner hohen Biokompatibilität, ästhetischen Vorteile und mechanischen Festigkeit als vielversprechendes Material für dentale Implantate etabliert. Um die Osseointegration weiter zu verbessern, werden die Implantatoberflächen gezielt mit bioaktiven Beschichtungen wie Hydroxylapatit, Calciumphosphat oder Glaskeramik modifiziert. Solche Oberflächenmodifikationen fördern die Zelladhäsion und unterstützen eine schnellere Einheilung in den umgebenden Knochen.

Problemstellung

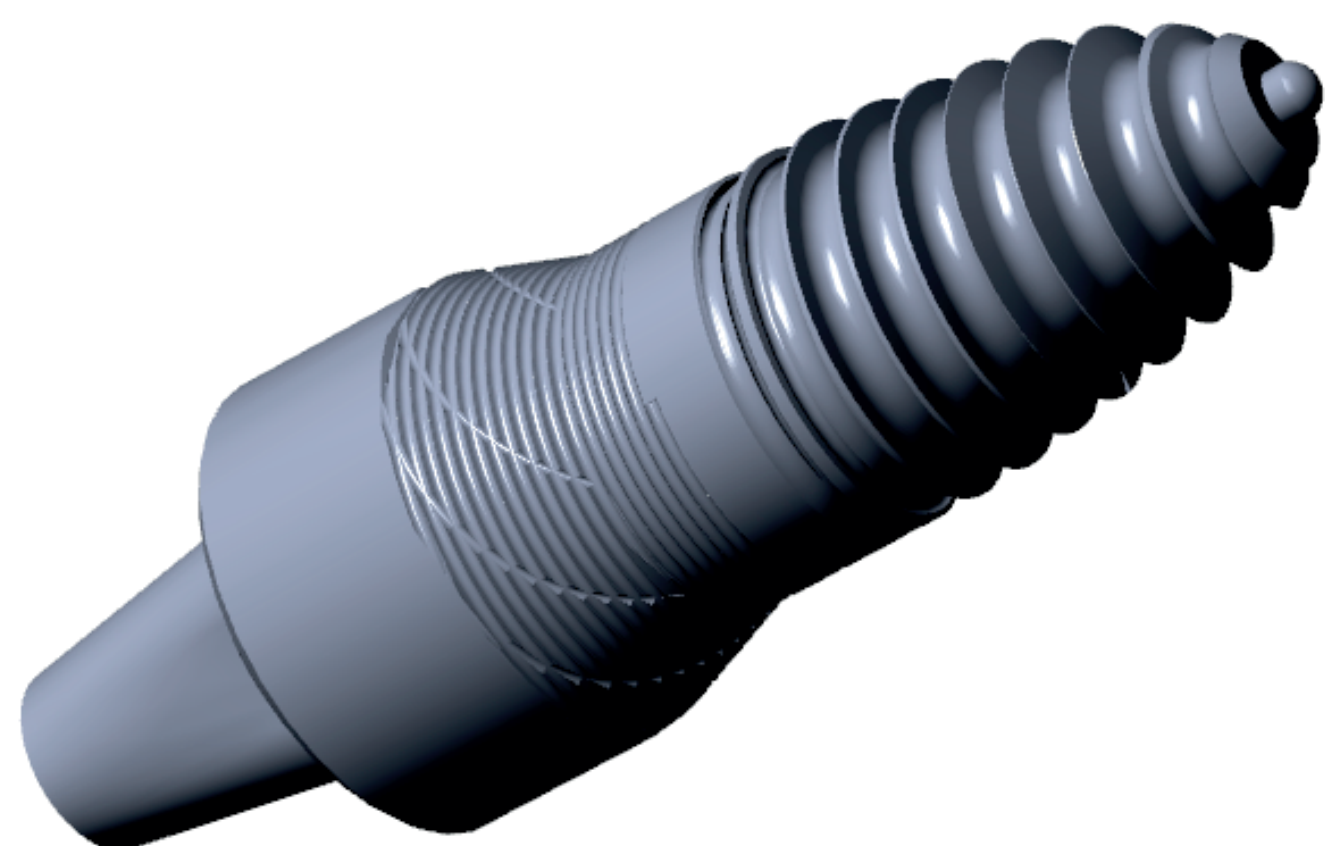
- Eine geringe dynamische Festigkeit von Implantatmaterialien kann unter zyklischer Belastung im Mundraum zu Brüchen führen und damit die Langzeitstabilität des Implantats gefährden
- Derzeit gängige Beschichtungsverfahren wie Tauch- und Pinselauftrag führen häufig zu ungleichmäßigen Schichtdicken und unzureichender Reproduzierbarkeit
- Prozessbedingte Streuungen führen zu Schwankungen in der Haftfestigkeit und in den biologischen Eigenschaften der Beschichtung, was längere Einheilzeiten zur Folge haben kann und den Behandlungserfolg verzögert

Ziele

- Implantatdesignoptimierung zur weiteren Steigerung der mechanischen Stabilität
- Feinkörnige Gefügestruktur und Evaluierung neuer Rohstoffe zur Verbesserung der Materialeigenschaften
- Gleichmäßige Schichtapplikation durch ein optimiertes Beschichtungsverfahren mittels Airbrush- oder Sprühdüse
- Reduktion der Einheilzeit durch verbesserte Oberflächeneigenschaften und Bioaktivität
- **Reduktion des Kontaktwinkels der beschichteten Keramik für ein besseres Anwachsverhalten**

Implantatdesign

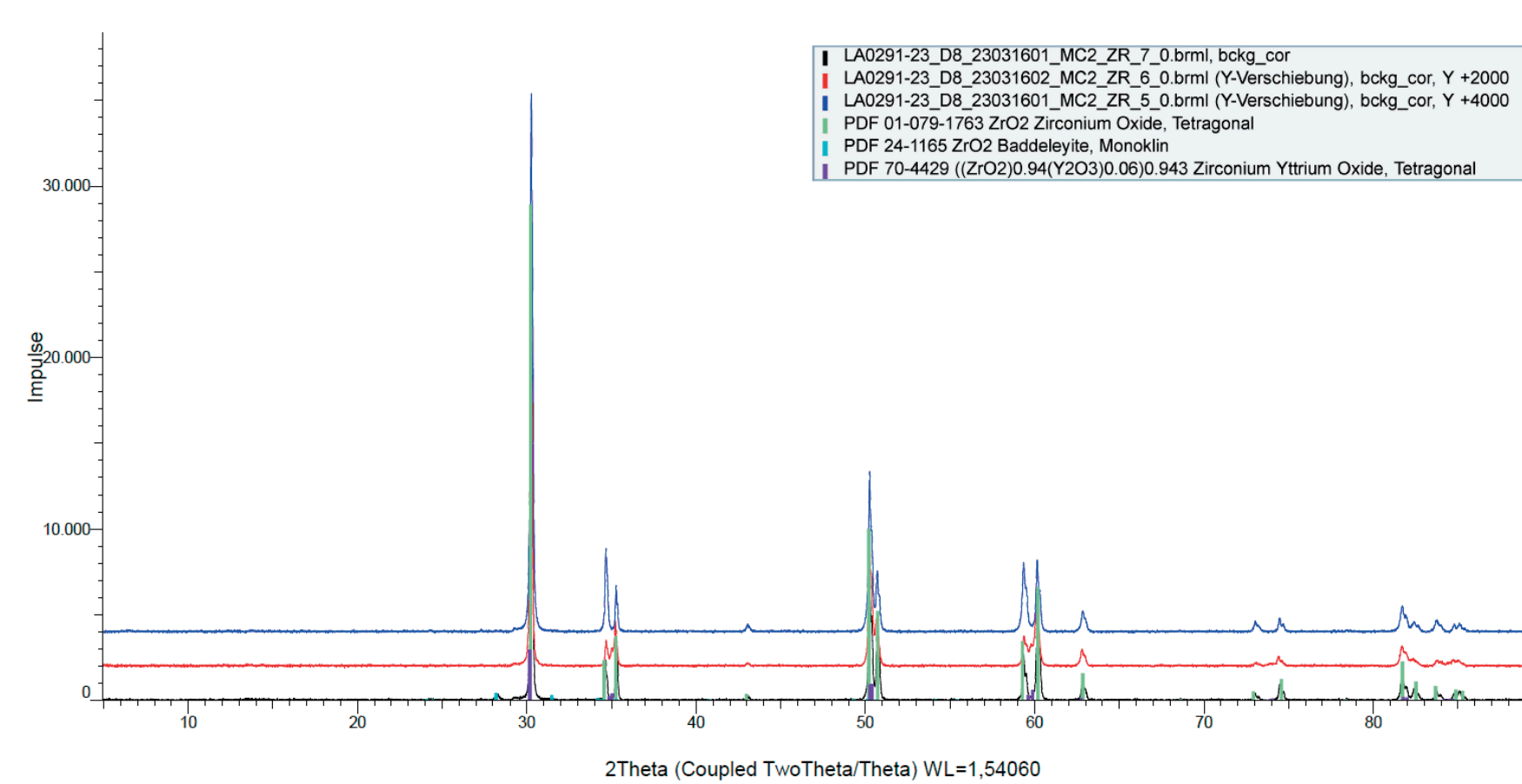
- Zur Optimierung der knöchernen Verankerung wurde das Implantat entsprechend konstruiert. Insbesondere das modifizierte Gewindedesign soll eine verbesserte mechanische Stabilität im Knochen ermöglichen
- Zusätzlich wurde auf eine Formgebung geachtet, die eine gleichmäßige Lastverteilung im umliegenden Gewebe unterstützt



Werkstoffentwicklung: Zirkonoxid

Rohstoffanmusterung

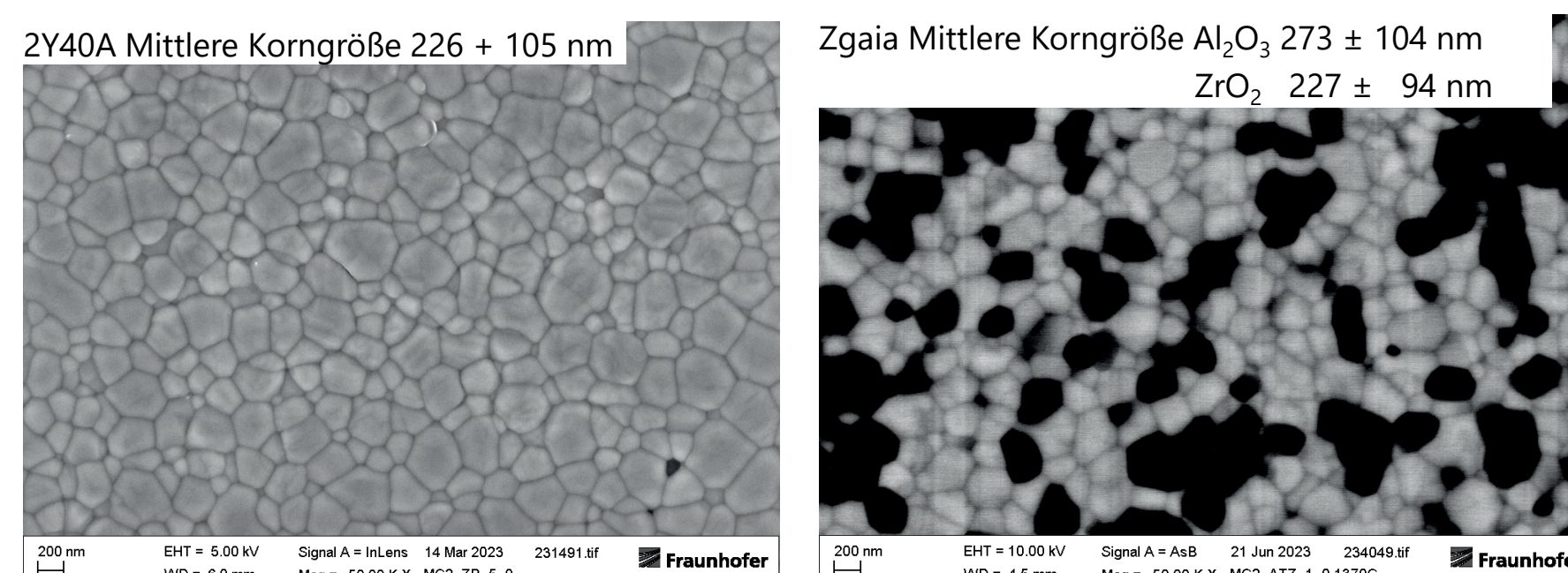
- 3 verschiedene Pulveranbieter mit unterschiedlicher Yttriumoxid-Stabilisierung der tetragonalen Phase
 - Tosoh Zgaia 1,5Y, Treibacher 2Y40A, Daiichi HSY3F-j-NA
 - Röntgenographische Untersuchung (XRD)
- Unterschiede in der Phasenzusammensetzung!



	t-ZrO ₂	m-ZrO ₂	ZrO ₂ -Y ₂ O ₃
Zgaia 1,5 % Y	88,3	10,2	1,5
2Y40A 2,0 % Y	95,6	1,7	2,7
HSY3F-j-NA 3,0 % Y	72,4	1,0	26,6

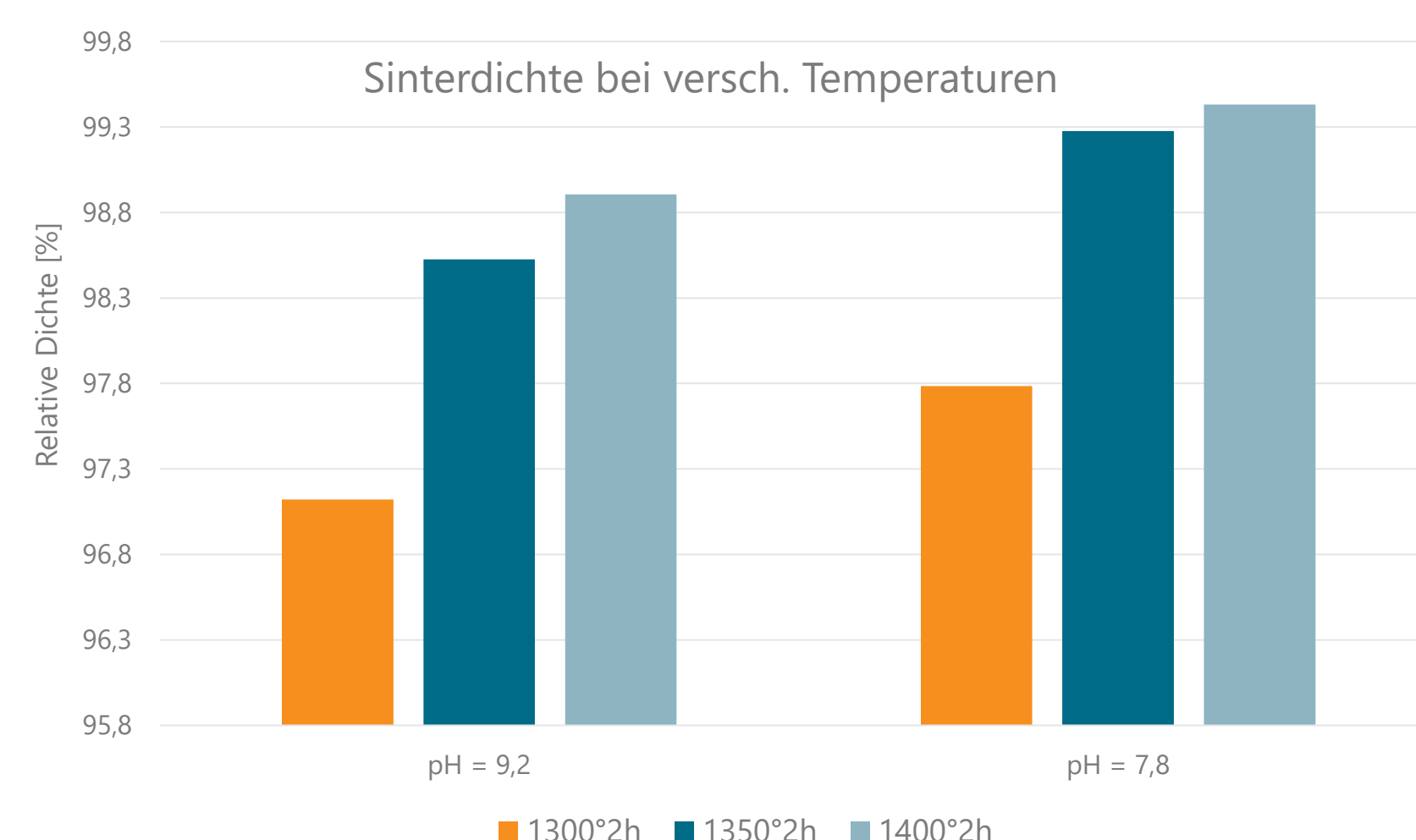
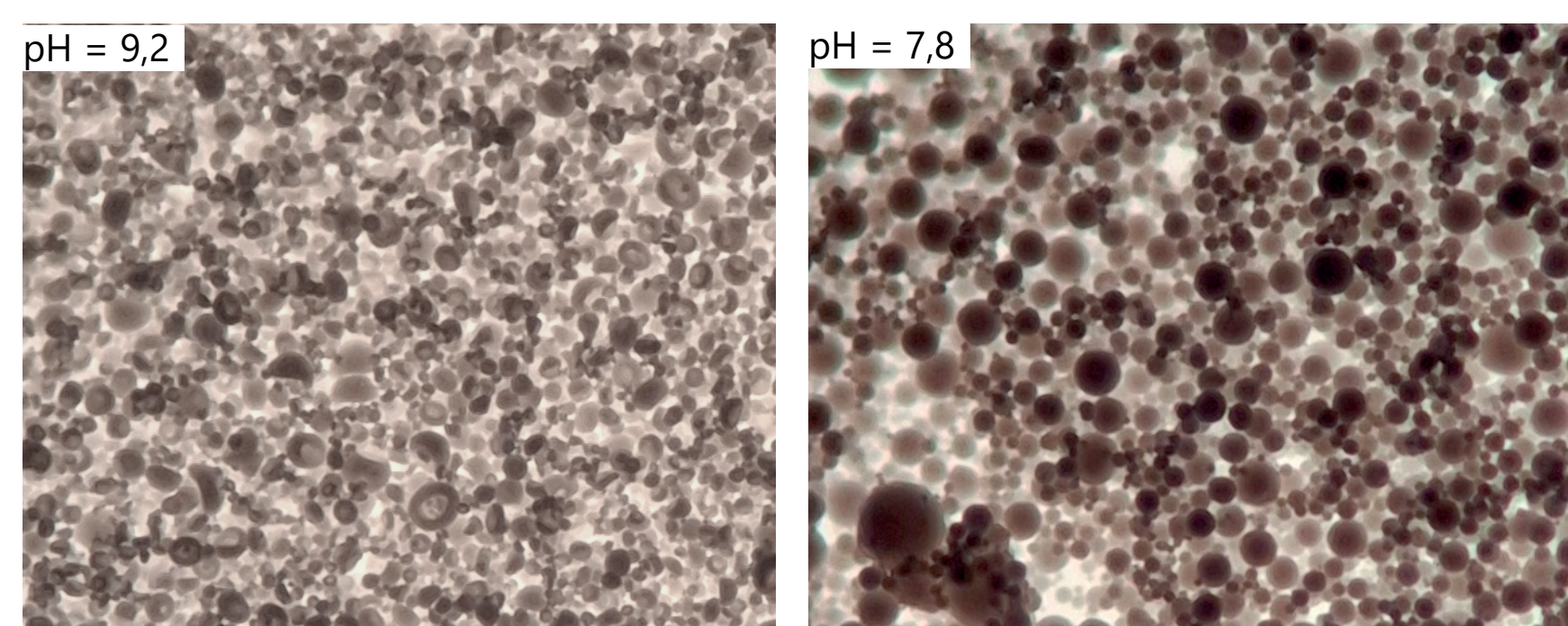
Probenherstellung

- Reines Y-ZrO₂ und ATZ
- Aufbereitung über Rührwerkskugelmühle
- Schlickerguss & Trockenpressen
- Sintern und Heißisostatisch Pressen → dichtes Gefüge



Granulatentwicklung

- Rohstoff 90 % Tosoh TZ3Y-SE 10 % Al₂O₃
- pH-Variation des Schlickers führt zu unterschiedlichen Granulatomorphologien
- pH 9,2 → Donut-Struktur
- pH 7,8 → Sphären

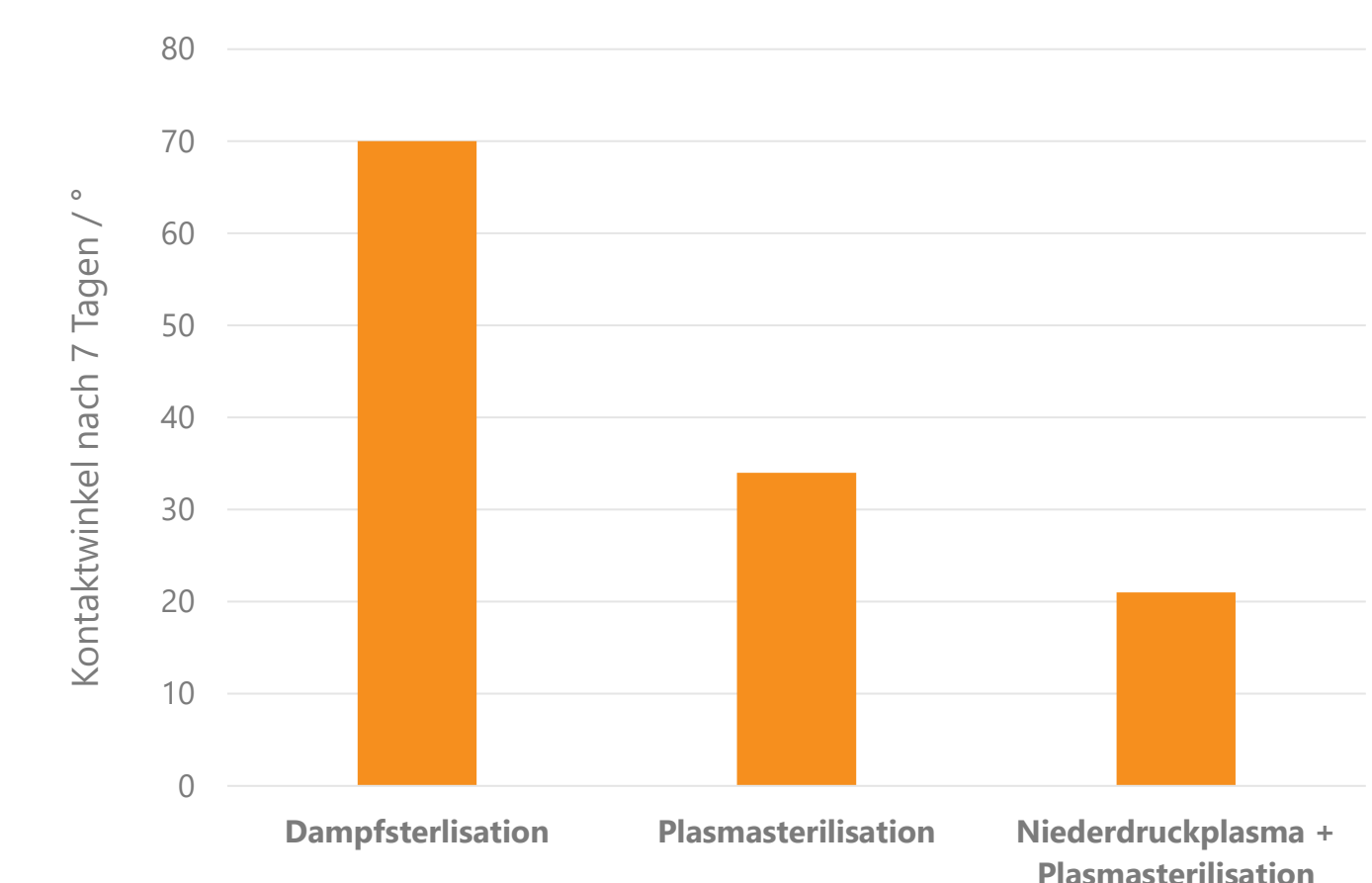


→ Bessere Verdichtungseigenschaften für Schlicker mit einem pH-Wert von 7,8

Beschichtung der ZrO₂-Keramik

Oberflächenvorbehandlung

- Niederdruckplasma (Sauerstoffplasma, 950 W)
- Plasmasterilisation (Wasserstoffperoxid, ~50°C)
- Geringerer Kontaktwinkel bedeutet eine verbesserte Benetzungsfähigkeit der Beschichtung
- Kombination der beiden Behandlungsmethoden führt zum besten Ergebnis

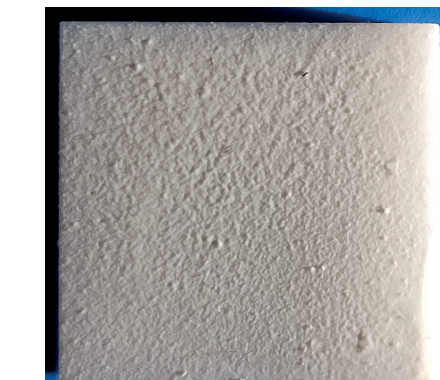


Beschichtungsverfahren

- Beschichtungsmaterial: Bioverit I
- Neben dem konventionellen Tauchverfahren (Suspension) wurde die Aufbringung über Airbrush und **Sprühdose** erprobt
- Anschließende Trocknung und Wärmebehandlung

Ergebnisse

Tauchverfahren



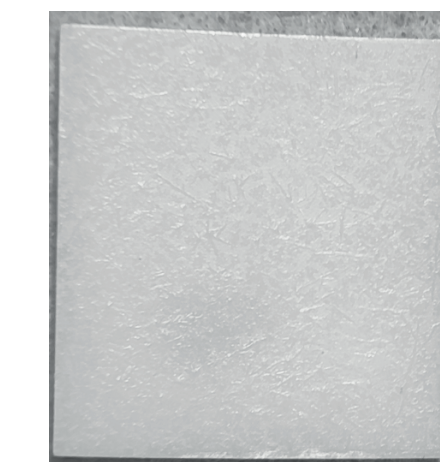
- Gradueller Verlauf der Schicht
- Hohe Rauheit
- Unzureichende Reproduzierbarkeit

Airbrush



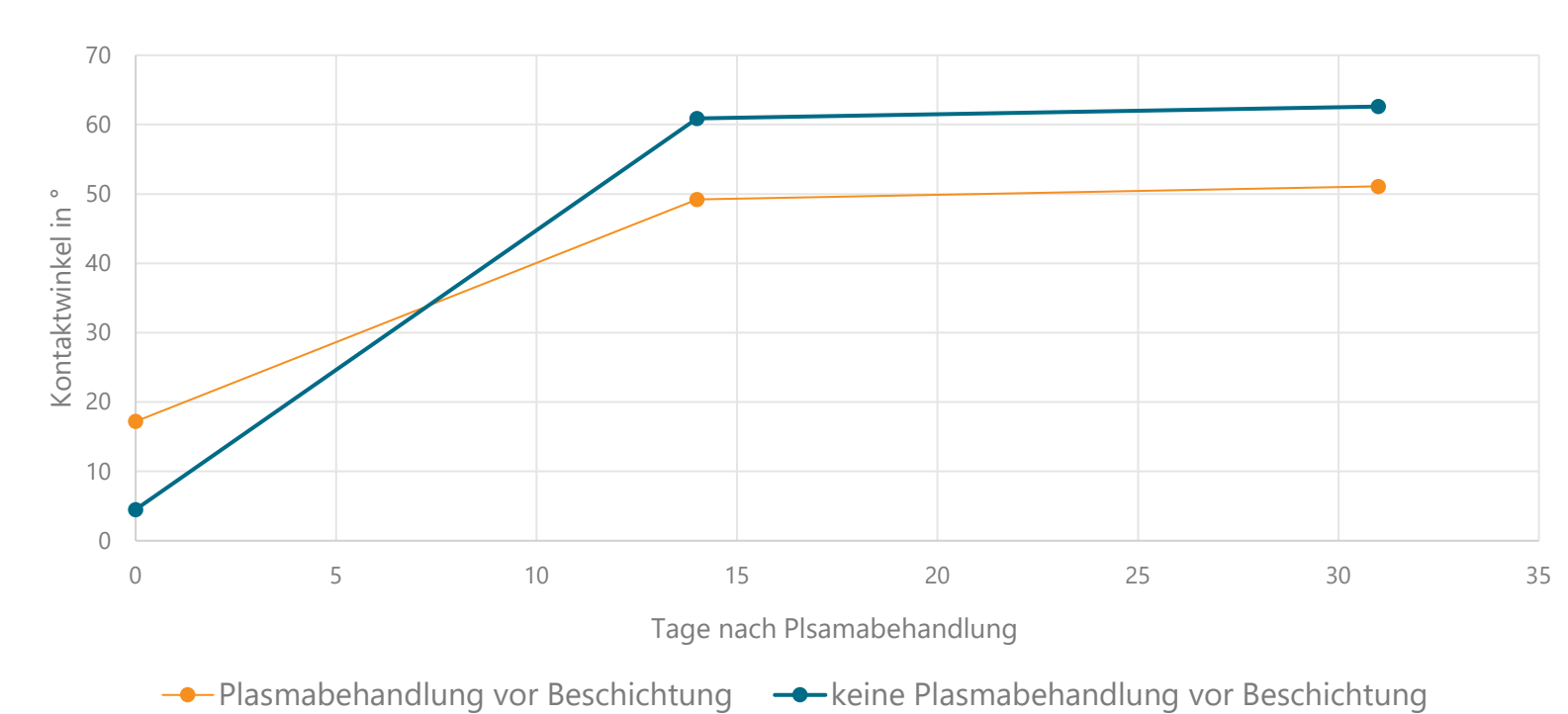
- Relativ gleichmäßiger Schichtverlauf
- Hohe Rauheit
- Reproduzierbarkeit i. O.

Sprühdose



- Homogener Schichtverlauf
- Geringe Rauheit
- Reproduzierbarkeit i. O.

Kontaktwinkelmessung nach Beschichtung (bis 31 Tage)



Fazit & Ausblick

- Positiver Einfluss von runden Granalien auf die Dichte der gesinterten ZrO₂-Keramik
- Reproduzierbarkeit und Homogenität bei Sprühdosen-Beschichtung besser als Tauchverfahren. Rauheit sollte jedoch perspektivisch aufgrund Haftwirkung erhöht werden
- Reduzierung des Kontaktwinkels kann mit einer Plasmabehandlung vor der Beschichtung reduziert werden.
- Ausblick: Adaption der Sprühbeschichtung an Implantate zur Gewährleistung einer homogenen Beschichtung bei einer Gewindestruktur