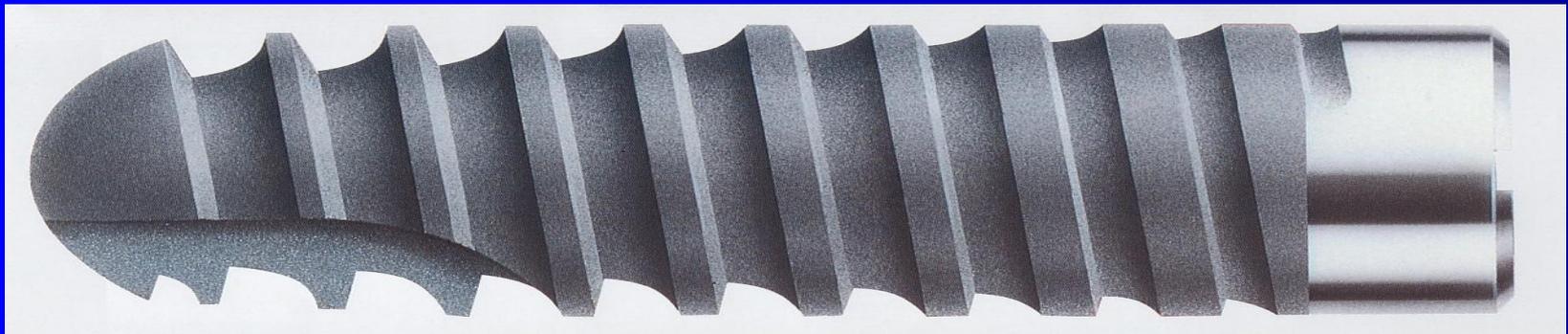


# Die Rolle der Implantatoberfläche in der Osseointegration

*Dr. Joób-Fancsaly Árpád*  
*Universitäts Dozent, PhD*



# Die Osseointegration, von zahnärztlichen Implantaten, beeinflussende Faktoren:

(Albrektsson, Bränemark, 1981)

- Implantatmaterial
- Implantatform
- Die chirurgische Technik
- Zeitpunkt der prothetischen Belastung
- **Implantatoberfläche**

## Charakteristische Eigenschaften der Implantatoberfläche:

- Material
- Reinheit
- Morphologie

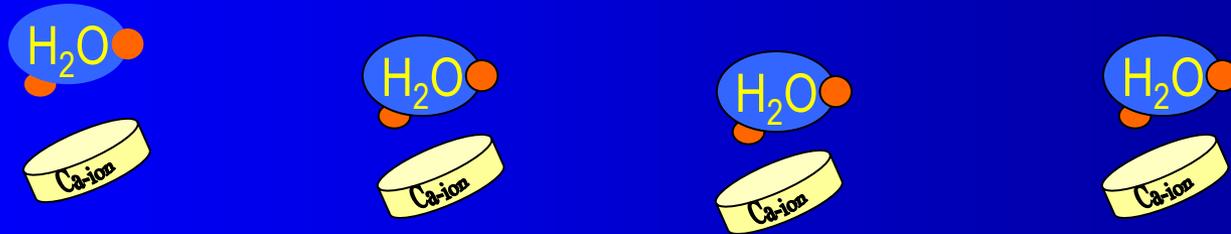
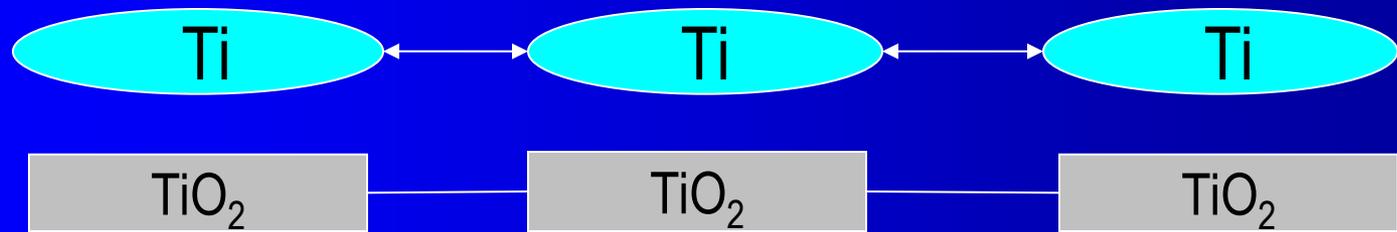


# Rolle und Aufgabe des Titan-oxids auf der Implantatoberfläche

- Das Titan-oxid auf der Implantatoberfläche ist verantwortlich für die Biokompatibilität von Titan
  - Die Dicke der Schicht beträgt 2-6 Nanometer (20-60 Å).
  - Auf der Titanoberfläche können sich 7 verschiedene Oxidarten bilden, von denen ist das  $\text{TiO}_2$  aus thermodynamischer Sicht am stabilsten.
- Die Oxidschicht an der Oberfläche hat eine bedeutende Rolle in der Entstehung der Grenzzone (interface) zwischen Implantat und Knochen.**

(Puleo és Nanci, 1999; Wataha, 1996 ; Collis, 1992; Kofstad, 1972)

# Teile der Grenzzone zwischen Implantat und Knochen



**Glykosaminoglykan**

Schicht der Serumproteine

**Knochenzellen**



## Die Reinheit der Oberfläche

- Jede Art der Verunreinigung hat eine negative biologische Auswirkung.

(Olefjord, 1993)

- Die Verunreinigungen katalysieren die Herauslösung der Ti-Ionen von der Implantatoberfläche

(Uitto és mtsai, 1997)



**Wie ist die ideale  
Oberflächenmorphologie?**

# Wie ist die Ideale Oberflächenmorphologie?

*Hulbert et al. (1972) haben vorgeschlagen, daß man die Oberfläche der zahnärztlichen Implantate poröser Gestalten soll, weil dies die Bindungsfähigkeit zum Knochen steigern soll.*

In Tierversuchen wurde nachgewiesen, dass mit einer 25 Mikrometer großen Al-Oxidpartikeln-Beschichtung der Oberfläche, nach einer Einheilzeit von 4 Wochen eine größere s.g.n. Knochen-Implanta-Verbindung zu registrieren war, als mit einer Partikelgröße von 250 Mikrometer. ([Wennerberg és mtsa, 1996](#))

Die besten Ergebnisse wurden mit einer Partikelgröße von 75 Mikrometern erreicht. ([Wennerberg és mtsai, 1998](#))

# MAKROMORPHOLOGIE

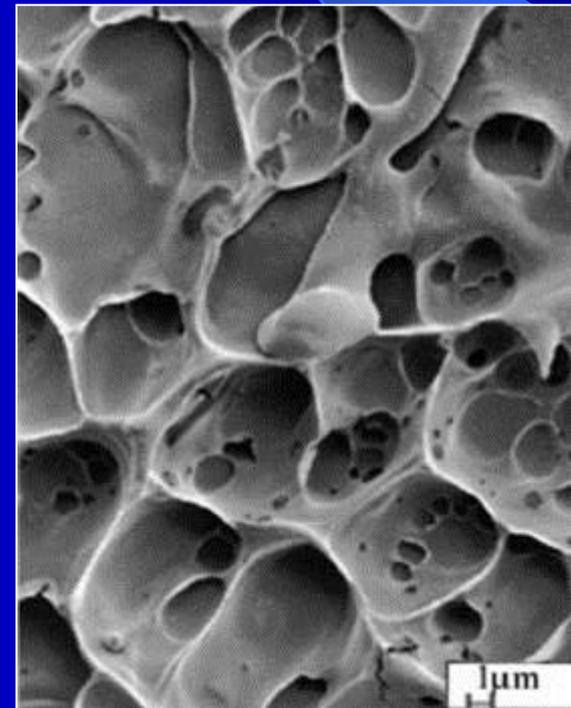
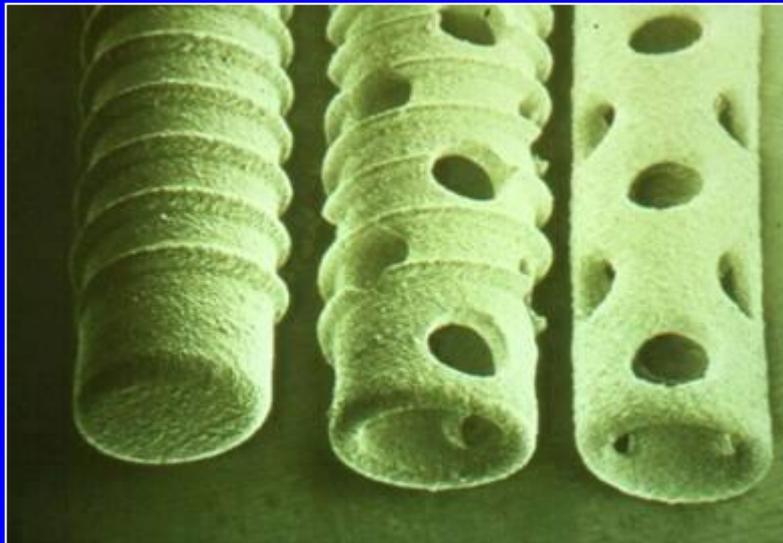
- **Biomechanisch geeignete Form**
- **Implantatumfang**

# MIKROMORPHOLOGIE

- **Oberflächenbeschichtung**
- **Oberflächenunebenheit**

*Die Makroporen* spielen hauptsächlich in der mechanischen Verbindung mit dem Knochengewebe eine Rolle, *die Mikroporen* – die geometrische Teile der Oberfläche, die kleiner sind als 100 Mikrometer – beschleunigen die Migration der Knochenzellen zur Oberfläche, diese Beobachtungen wurden an Zellkulturen nachgewiesen.

(Baier és mtsai, 1984, Brunette, D.M., 1988)



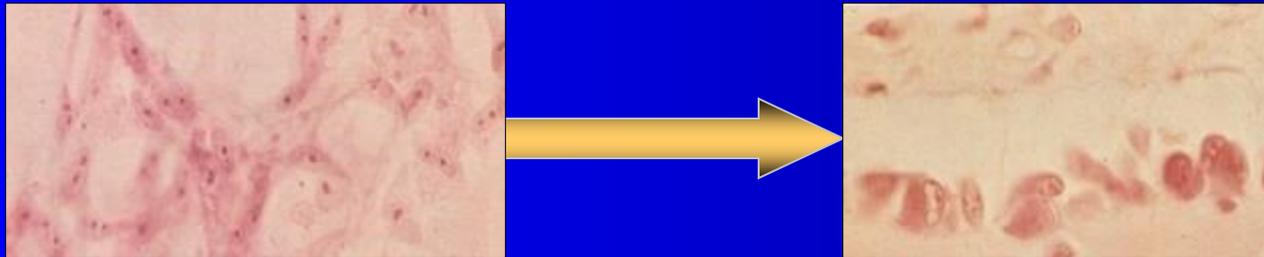
## Die Oberflächenmorphologie

Die Osseointegration ist bei Implantaten mit einer aufgerauten Oberfläche grösser, als bei der Anwendung einer glatten Oberfläche.

(Carlsson, 1999; Cochran, 1999; Gaggl, 2000; Larsson, 1994; Wennerberg, 1997)



# Die Rolle der Oberflächenmorphologie als biologischer Indikator:



- Sie hilft bei der Umwandlung der mesenchymalen Zellen zur Osteoblasten.

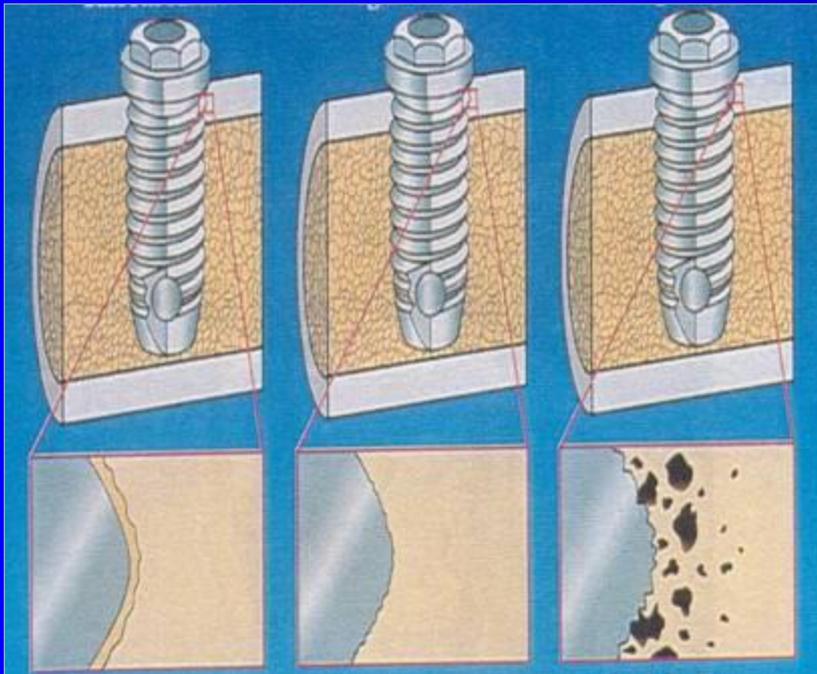
(Schwartz és mtsai, 1997)

- Sie beeinflusst die Osteoblastenproliferation, in dem sie den Fenotyp der Zellen verändert.

(Boyan és mtsai, 1998)

# Topographie der Implantatoberfläche

(Wennerberg, 2000)



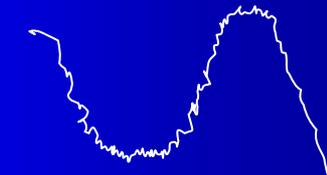
Form



Wellung



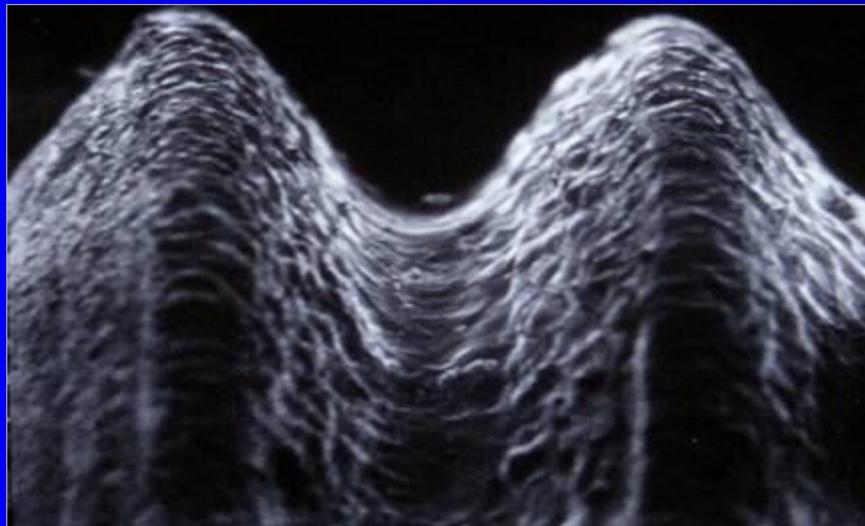
Rauigkeit



## Morphologie der Implantatoberfläche

Die Morphologie der Oberfläche bedeutet die dreidimensionale Darstellung der Rauigkeit

(Albrektsson, 1999; Wennerberg, 2000)



# Typische Parameter der Oberflächenmorphologie

*Durchschnitt der Höhenunterschiede von den Heraushebungen/ragungen der Elemente, welchen man gewöhnlich auch den **Sa** Wert bezeichnet (bei einer zweidimensionalen Untersuchung wird dieser als **Ra** Wert angegeben), außerdem der Durchschnitt der Wellenlänge (Entfernung) der Elemente, welchen man auch **Sx** Wert nennt, und zuletzt der Quotient der behandelten und nicht behandelten Oberfläche, welcher als **Sdr** Wert angegeben wird und als der so genannter Hybridwert bezeichnet wird.*

Nach Wennerberg et al. und von der Forschungsgesellschaft am meisten anerkannte Meinung nach hat als "ideal" bezeichnete Oberfläche folgende Parameter:  
**Sa= 1,4 Mikrometer, Sx= 11,6 Mikrometer,**  
**Sdr= in einem Bereich von 1,5**

(Gaggl et al., 2000, Nentwig, G.H., et al., 1994 ; Wennerberg et al., 1998, Wennerberg et al., 1999, Wennerberg et al., 2000).

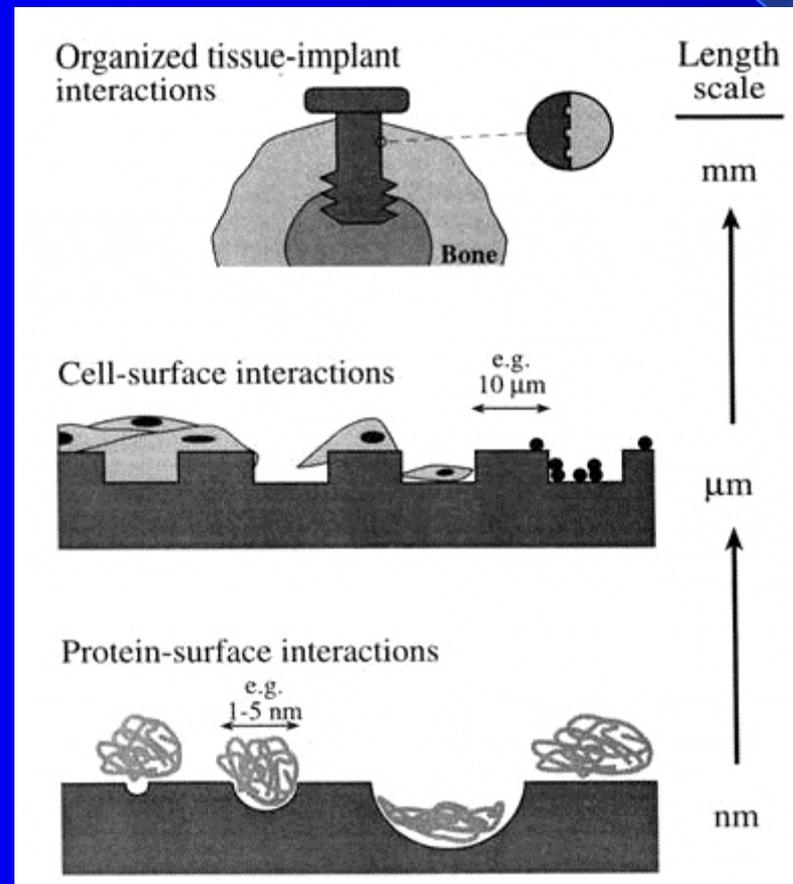
# Typische Parameter der Oberflächenmorphologie

Die Qualität der Oberfläche kann auch mit dem sogenannten *BIC* (*bone-implant contact*), *KIK* (*Knochen-Implantat-Kontakt*) Wert angegeben werden. Dieser gibt an wieviel Prozent der Implantatoberfläche in direktem Kontakt mit dem Knochen ist.

Bei entsprechender Osseointegration beträgt dieser Wert im Schnitt im Unterkiefer 40,7%, während im Oberkiefer sind es nur 37,2%.

(Piatelli és mtsai, 1997).

# Die biologische Aufgabe der Morphologie in den verschiedenen Größenbereichen



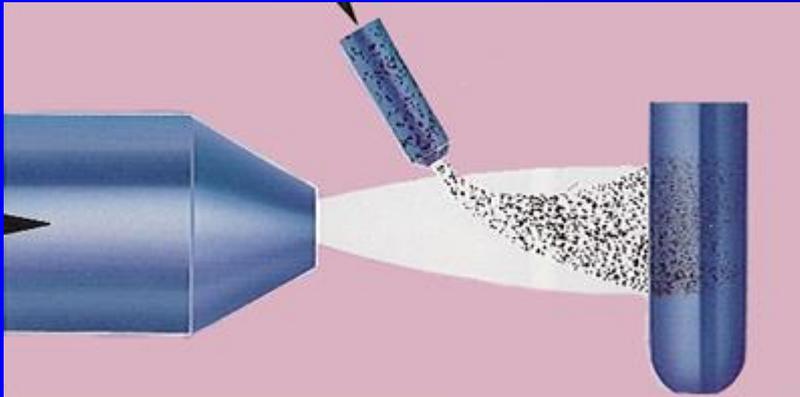
# Verfahren zur Herstellung der Oberflächenrauigkeit

- **Materialauftragen:** Plasmaspray, Beschichten mit Biomaterial, aufrauen mit kristaller Titanoxid
- **Materialabtrag:** Säureätzung, Polieren
- **Ohne Materialtransport:** gedreht, Sandstrahlen, Laserbeflächenbehandlung
- **Kombinierte Verfahren**

## Literaturzusammenfassung

# Verfahren zur Herstellung der Oberflächenrauigkeit

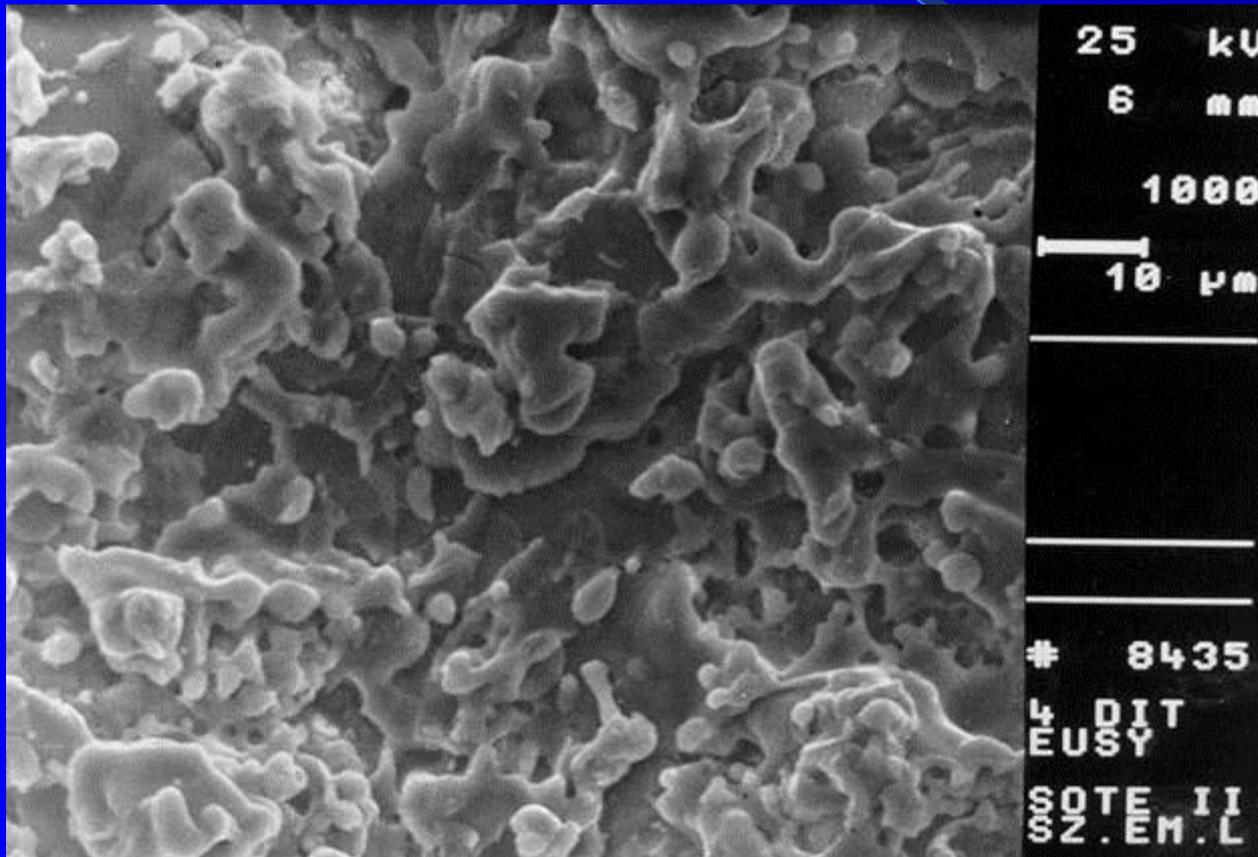
- Materialauftragen: Plasmaspray



**Dicke 20-30  $\mu\text{m}$**

**Rauigkeit  $\approx 20 \mu\text{m}$**

# Titan Plasma Spray



## Literaturzusammenfassung

# Verfahren zur Herstellung der Oberflächenrauigkeit

- Materialauftragen: Beschichten mit Biomaterial

**HYDROXYLAPATIT (HA)**  
Pentakalziumphosphat

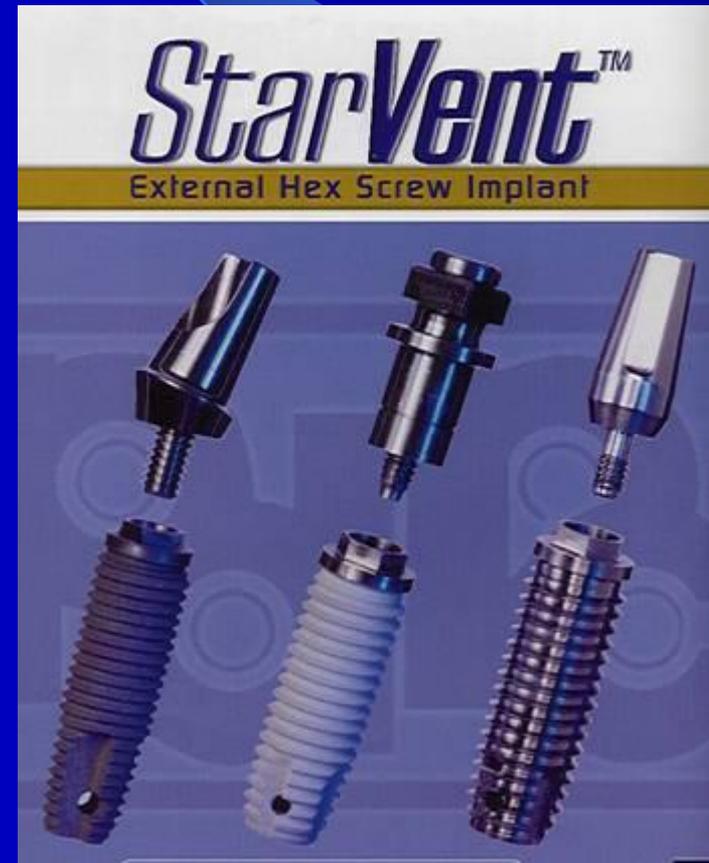
**TRIKALZIUMPHOSPHAT (TCP)**

$\text{Ca}_5/\text{PO}_4/3\text{OH}$   
Ca : P = 5 : 3

$\text{Ca}_3/\text{PO}_4/2\text{OH}$   
Ca : P = 3 : 2

**nicht  
resorbierbar**

**resorbierbar**



## Literaturzusammenfassung

# Verfahren zur Herstellung der Oberflächenrauigkeit

- Materialauftragen: aufrauen mit kristallem Titanoxid

Auf der Oberfläche der Titanimplantate hergestellte Oxidschicht, ist einer aus dem Grundmetall durch elektrochemische Verfahren vergrößerter, durch Hitzebehandlung veränderte Schicht. Die Herstellung der kristallinen Titanoxid-Schicht wird mit einer wiederholten anodischen Oxidation durchgeführt. Durch die thermische Behandlung wird die Oxidschicht auf der Titanoberfläche, von einer amorphen Struktur in eine kristalline Struktur umgewandelt.

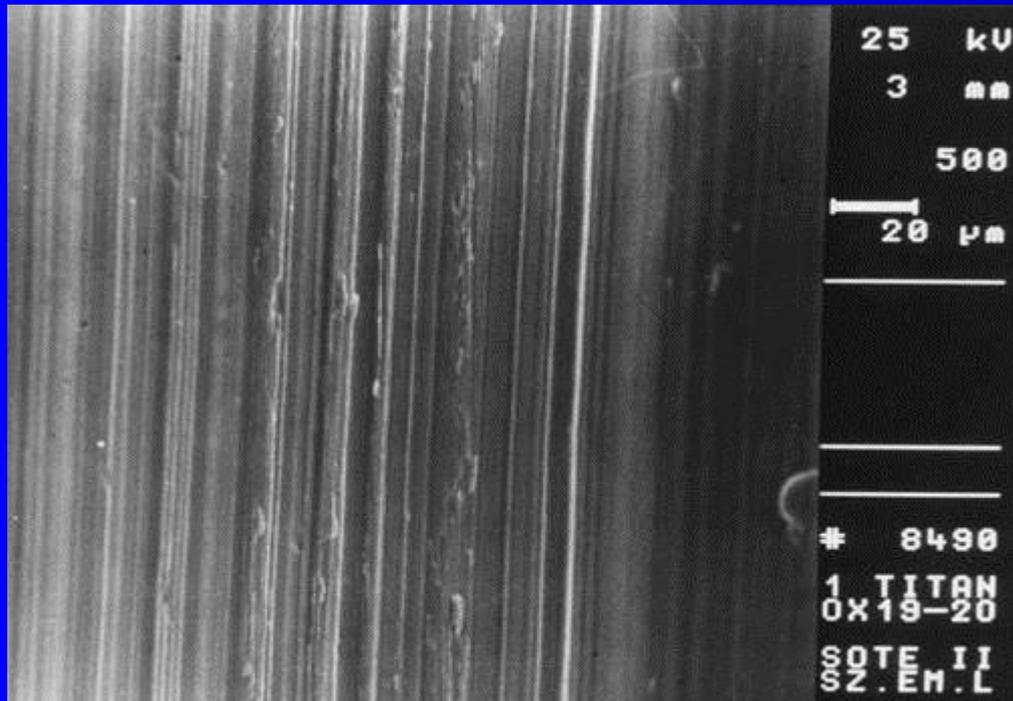
Das Wesen der Sache ist also nicht die Verdickung der auf der Titanoberfläche befindlichen Oxidschicht, welche eine amorphe, durchdringbare Schicht wäre; sondern auf der Oberfläche, aus dem Material des Titans eine neue, harte, stabile, elektrisch isolierende Schicht ( $\text{TiO}_2$ ), durch ein anodisches „Wachsen“ herzustellen.

(Lausmaa et al., 1985; Szabó et al., 1994; Szabó et al., 1999).

## Literaturzusammenfassung

# Verfahren zur Herstellung der Oberflächenrauigkeit

- Materialauftragen: aufrauen mit kristallem Titanoxid

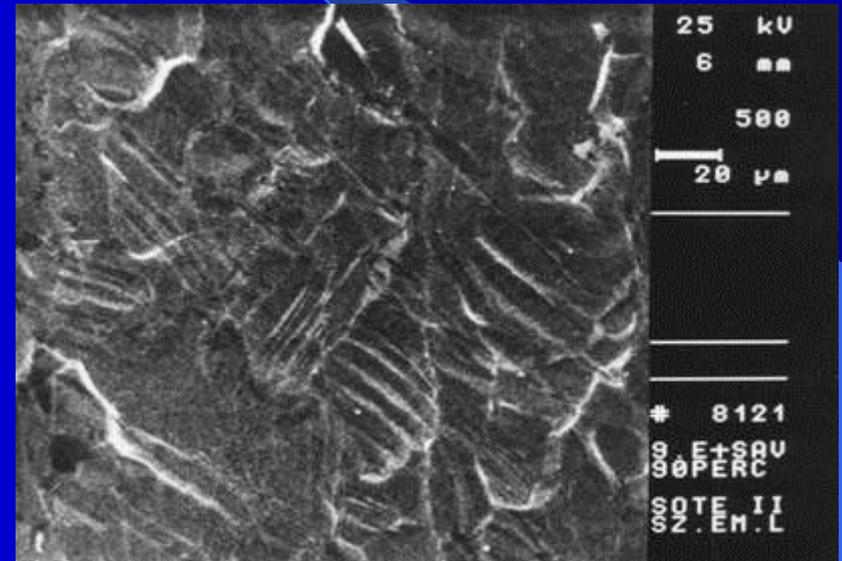


# Literaturzusammenfassung

## Verfahren zur Herstellung der Oberflächenrauigkeit

- Materialabtrag: Säureätzung

Die mit HCl – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Säuren behandelte Implantate haben ein 4x größeren Ausdrehmoment aufgewiesen als die mit gedrechselter Oberfläche. /Tierversuche/

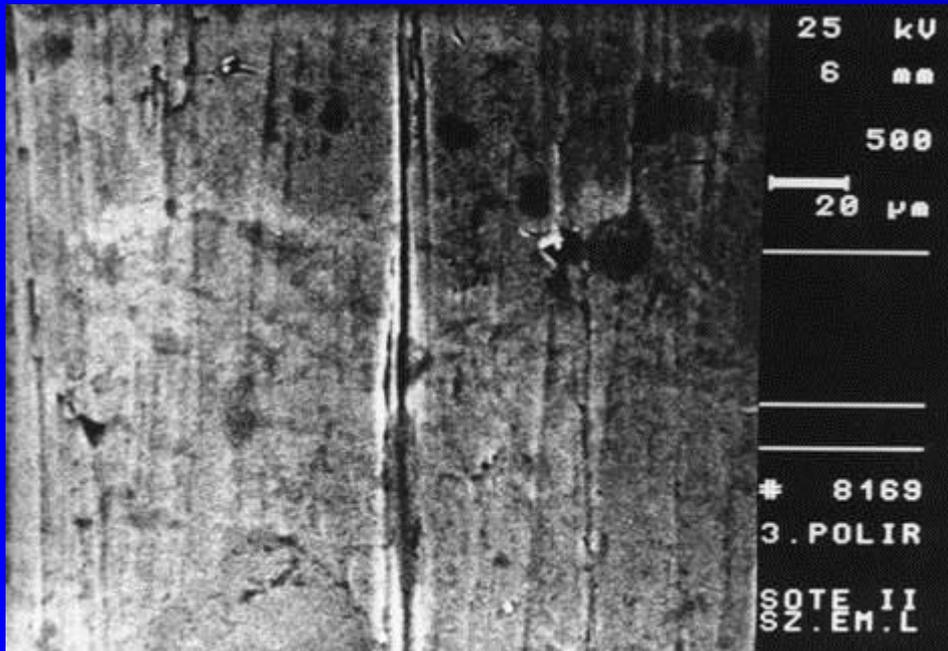


*(Klokkevold P. R. et al.: Clin. Oral Implants Res. 1997.)*

# Literaturzusammenfassung

## Verfahren zur Herstellung der Oberflächenrauigkeit

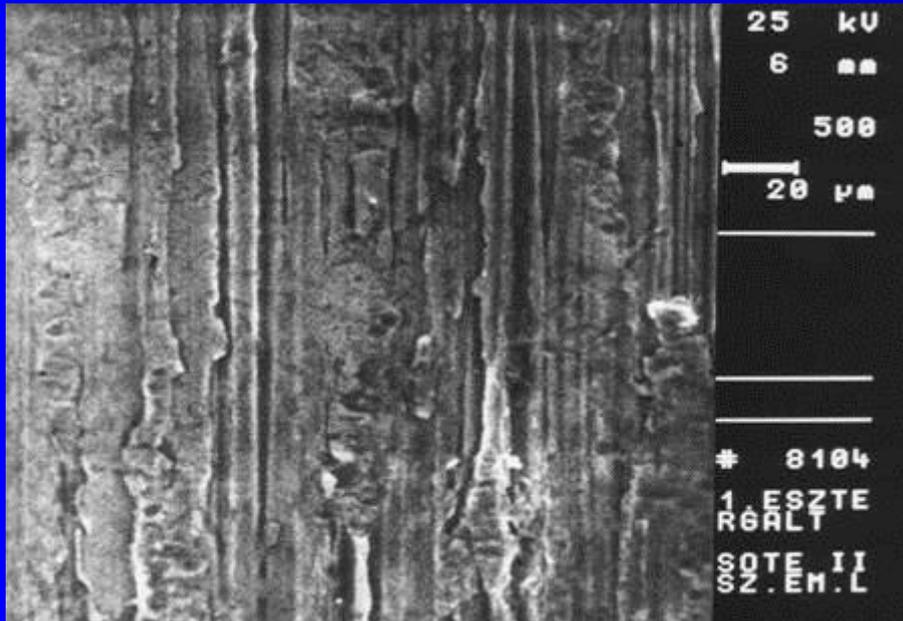
- Materialabtrag: polieren



## Literaturzusammenfassung

# Verfahren zur Herstellung der Oberflächenrauigkeit

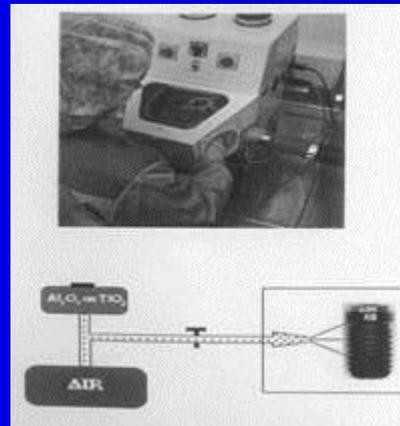
- Ohne Materialtransport: gedreht



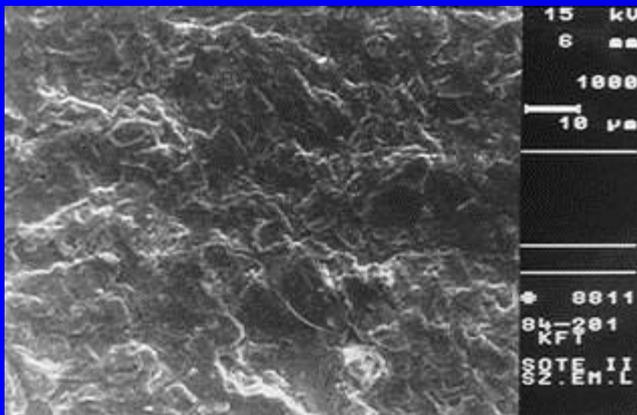
# Literaturzusammenfassung

## Verfahren zur Herstellung der Oberflächenrauigkeit

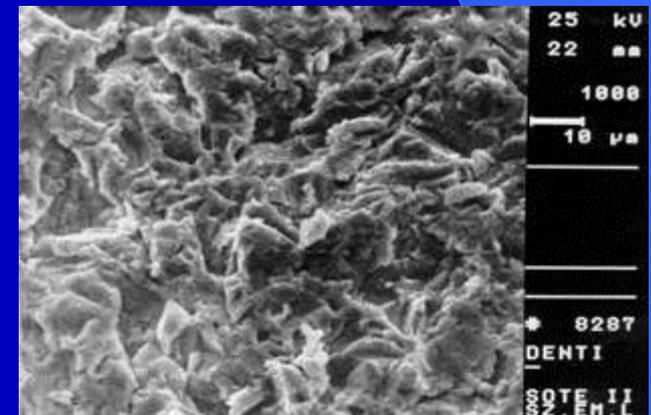
- Ohne Materialtransport: Sandstrahlen



50 $\mu$ m Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
DenTi® Implantat



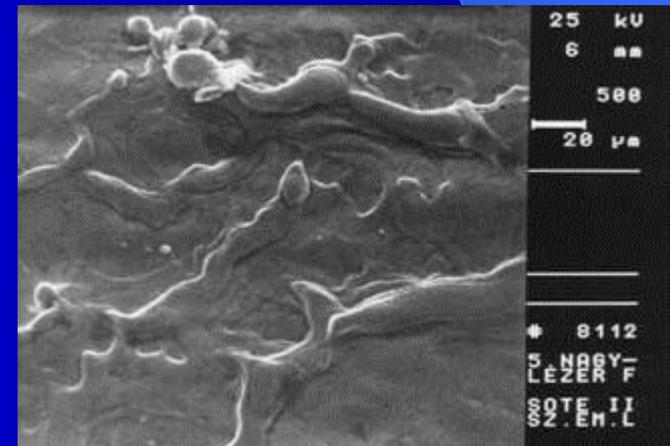
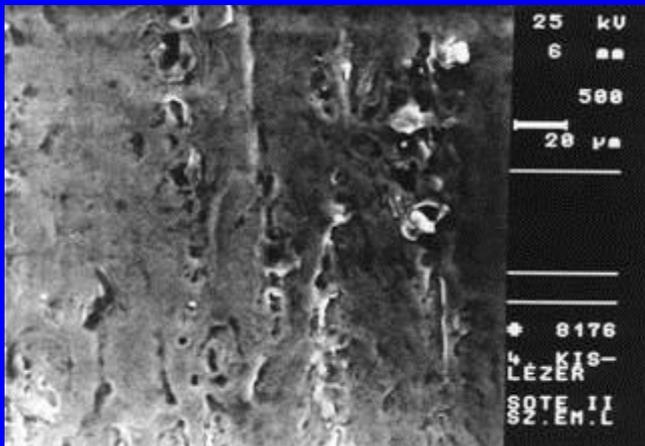
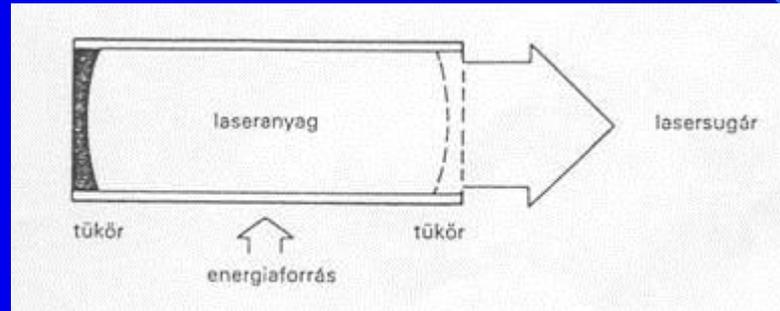
250 $\mu$ m Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
Uniplant SP® Implantat



# Literaturzusammenfassung

## Verfahren zur Herstellung der Oberflächenrauigkeit

- Ohne Materialtransport: Laserobeflächenbehandlung

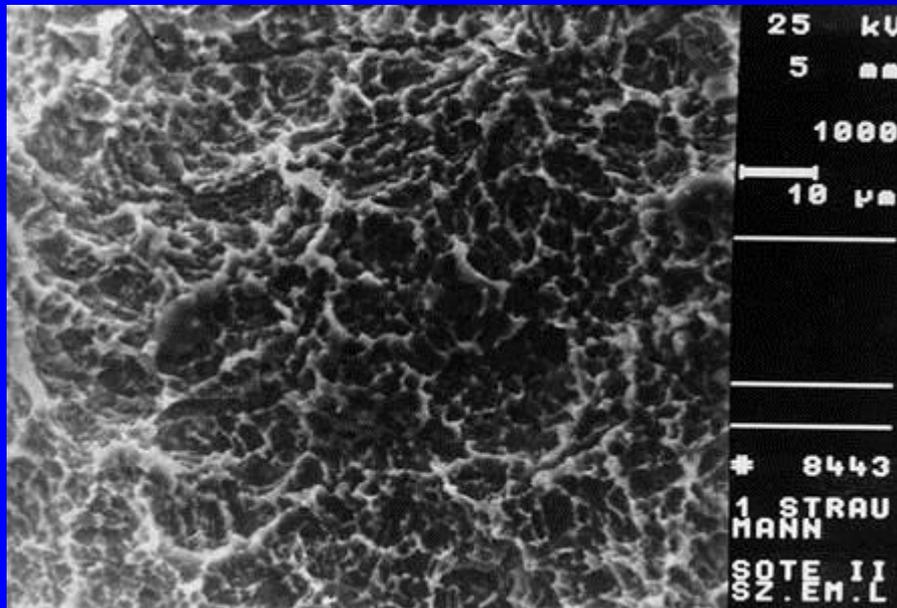


## Literaturzusammenfassung

# Verfahren zur Herstellung der Oberflächenrauigkeit

- Kombinierte Verfahren: SLA

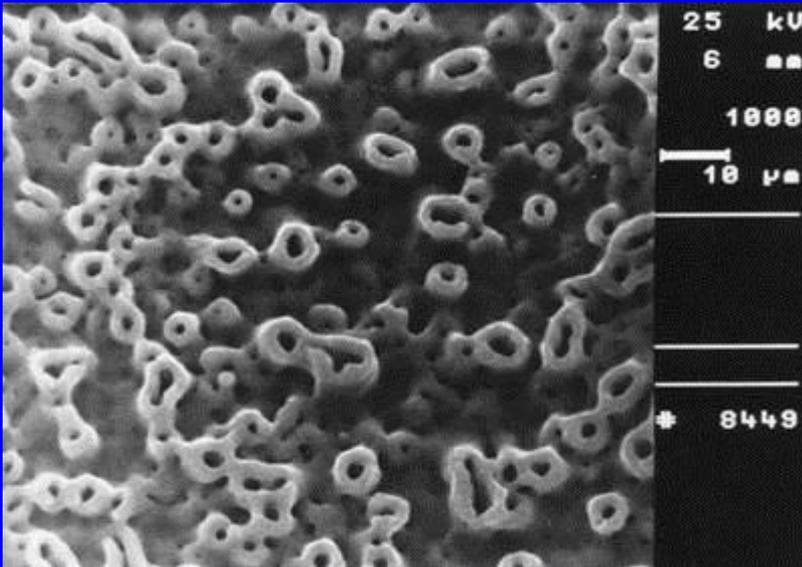
**250  $\mu\text{m}$   $\text{Al}_2\text{O}_3$  + HCl/ $\text{H}_2\text{SO}_4$   
Straumann ITI Implantat**



# Literaturzusammenfassung

## Verfahren zur Herstellung der Oberflächenrauigkeit

- Kombinierte Verfahren: Ti-Unite



# Literaturzusammenfassung

## Verfahren zur Herstellung der Oberflächenrauigkeit

### In vitro Verfahren

**MCP** (Mechanischer Kontaktprofilometer)

**XPS** (Röntgen-Fotoelektronenspektrometer)

**AES** (Auger Elektronenspektrometer)

**SIMS** (Sekunder-Ion Gewichtsspektrometer)

**SEM** (Rasterelektronenmikroskop)

Top Scan 3D

**AFM** (Atomare Kraftmikroskop)

### In vivo Verfahren

(biologischer Test)

Messen des Ausreisskraftes  
(push out test)

**Messen des Ausdrehmoments**  
(removal torque test)

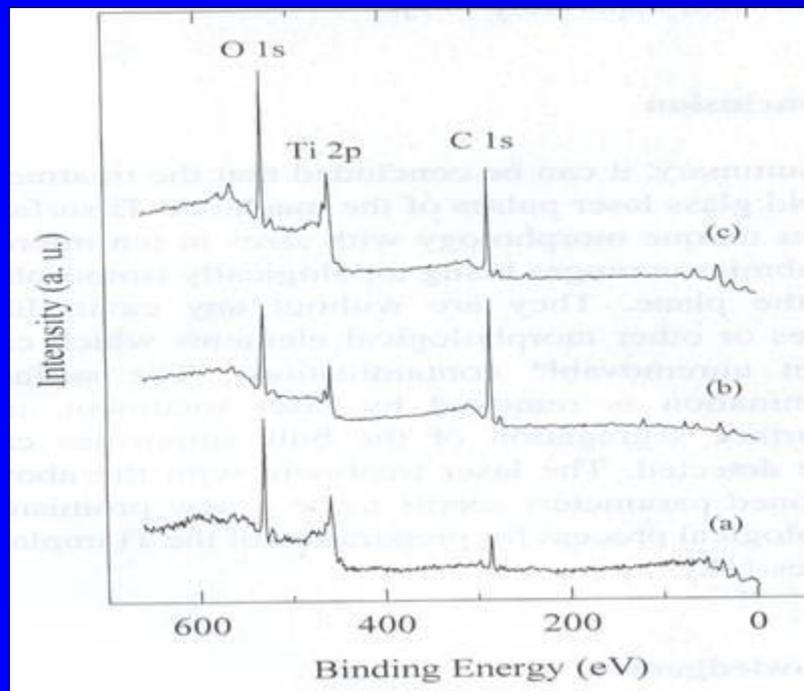
## Methoden der in vitro Verfahren

### Untersuchung der Zusammensetzung des Oberflächenmaterials mit der XPS Messung

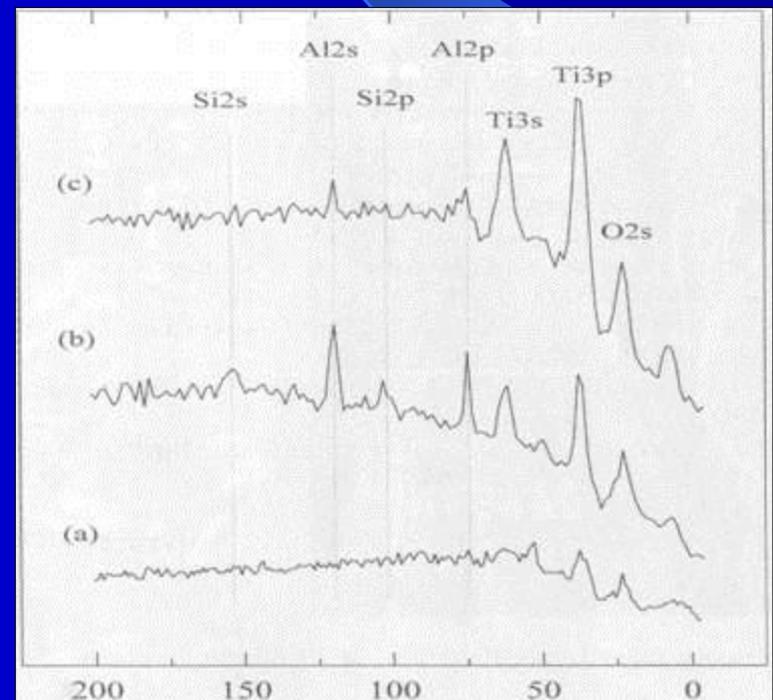
- Die Oberfläche des Testkörpers wird mit Röntgenstrahlen bombardiert, in folge dessen werden Fotoelektronen frei. Mit der Messung deren kinetisch Energie, kann man auf die materiele Zusammensetzung der Oberfläche schließen.
- Die Informationstiefe dieser Methode beträgt 1-2 Nanometer.
- Die Verunreinigung der Oberfläche kann damit auch nachgewiesen werden.

# Ergebnisse

## Unsere in vitro Untersuchungsmethoden: Untersuchung der Zusammensetzung des Oberflächenmaterials mit der XPS Messung



**XPS Bild der untersuchten Oberfläche  
in einem 0-600 eV Bereich**



**Bild der „minoren“ Komponenten  
in einem 0-200 eV Bereich**

# Unsere in vitro Untersuchungsmethoden: Mikromorphologische Untersuchungen mit SEM

- Eine der am meisten benutzten Verfahren zur Beschreibung der Oberflächenmorphologie.
- Hervorragend geeignet für vergleichende morphologische Analysen, für die Beobachtung von Verunreinigungen der Oberfläche.
- Die Aufnahmen werden in 20x, 100x, 500x, 1000x und 2000x - facher Vergrößerung angefertigt.

# Unsere in vitro Untersuchungsmethoden:

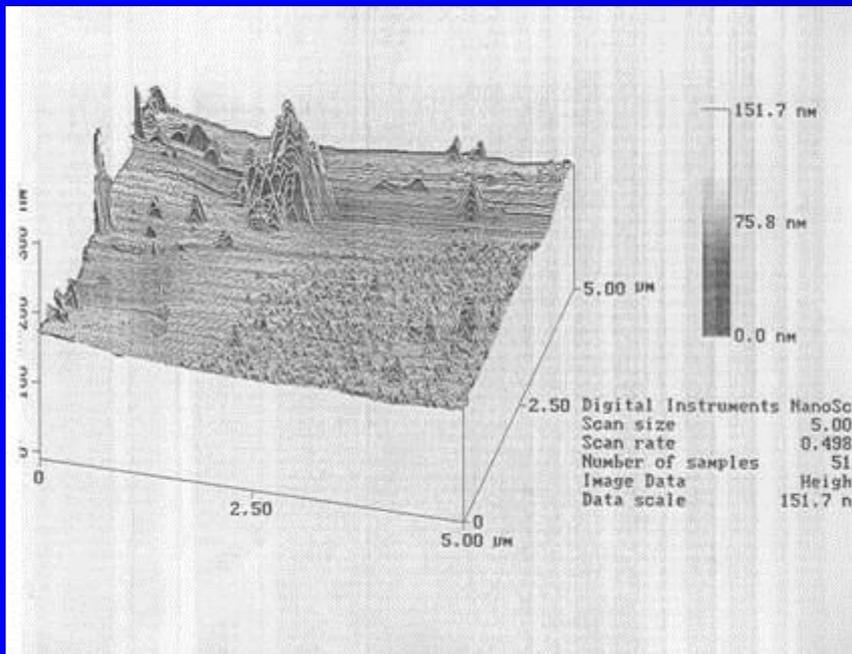
## Nanomorphologische Untersuchungen mit AFM

- Die Nanostruktur der Oberfläche wird mit Hilfe des AF Mikroskops dreidimensional dargestellt.
- An den dargestellten Diagrammen sind sogenannte „Hügelchen“ (hillock) und dendrite Strukturen zu sehen, aus deren Größe und Verhältnisse man Schlussfolgerungen auf die Oberflächenmorphologie ziehen kann.

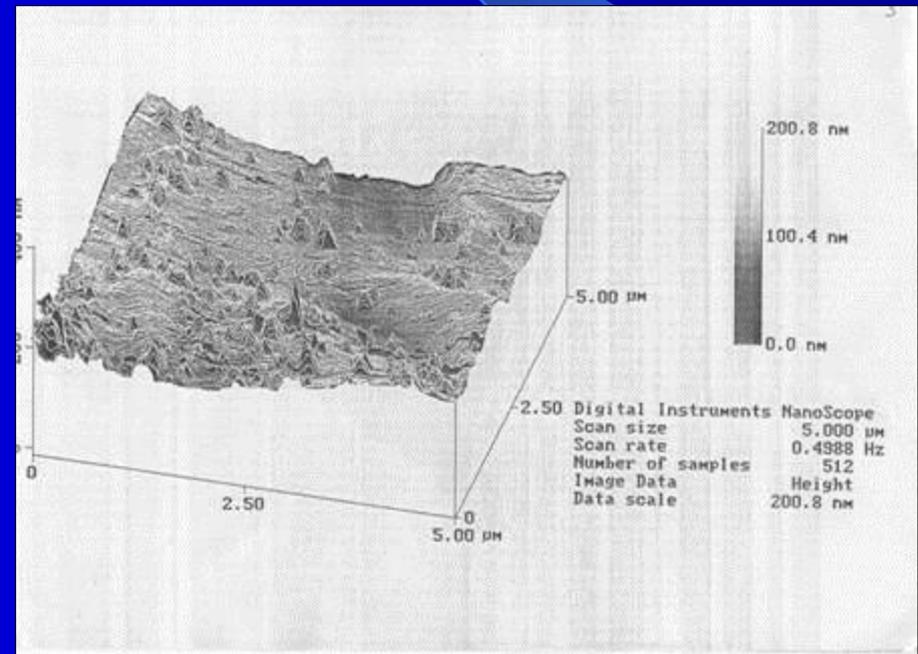
# Ergebnisse

## Unsere in vitro Untersuchungsmethoden:

### Nanomorphologische Untersuchungen mit AFM



Das AFM Bild der Oberfläche nach der Behandlung mit einem Laser von niedriger Leistung



Das AFM Bild der Oberfläche nach der Behandlung mit einem Laser von großen Leistung

# Unsere in vitro Untersuchungsmethoden:

## Histologische und Histomorphometrische Untersuchungen

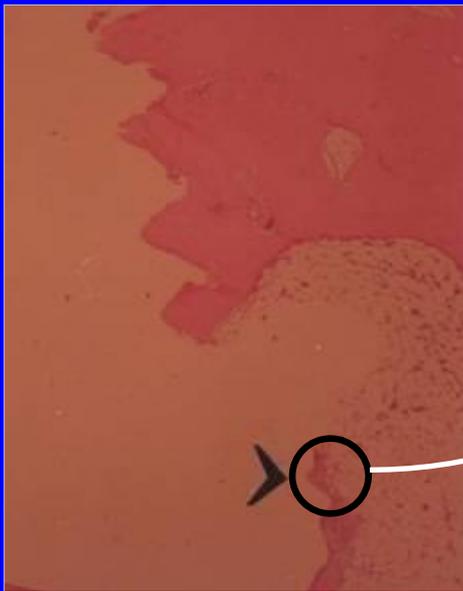
- Aus Tierversuchen gewonnenen (vom Schenkelknochen der Kaninchen) Proben, werden Querschnitte angefertigt die Histologisch verarbeitet und ausgewertet werden.
- Die histomorphometrische Untersuchungen können nach der von *Donath und Johansson* vorgeschlagenen Methode durchgeführt werden: die Bone Implant Contact Werte können mit einem sogenannten Mikrometer Okkulator gemessen werden.

(Donath, 1988; Johansson, 1991)

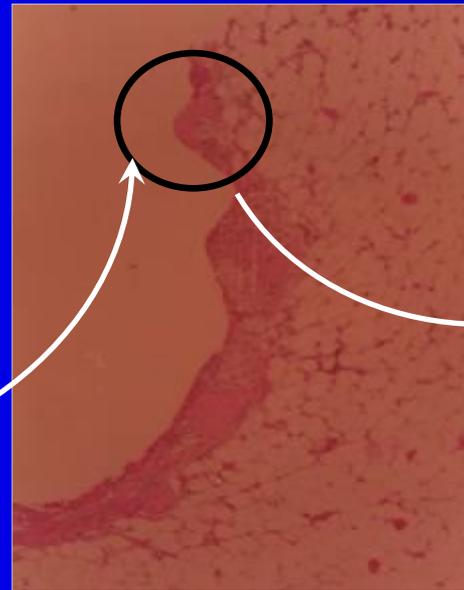
# Ergebnisse

## Unsere in vitro Untersuchungsmethoden:

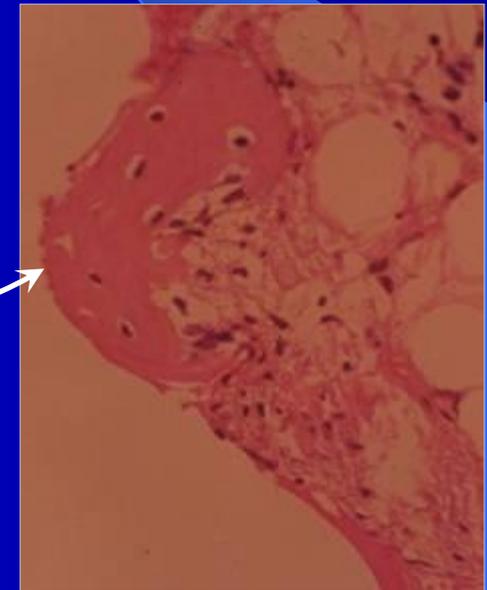
### Histologische und Histomorphometrische Untersuchungen



30x Fache Vergrößerung,  
HE Färbung



100x Fache Vergrößerung,  
HE Färbung



300x Fache Vergrößerung,  
HE Färbung

### Unsere in vivo Untersuchungsmethoden:

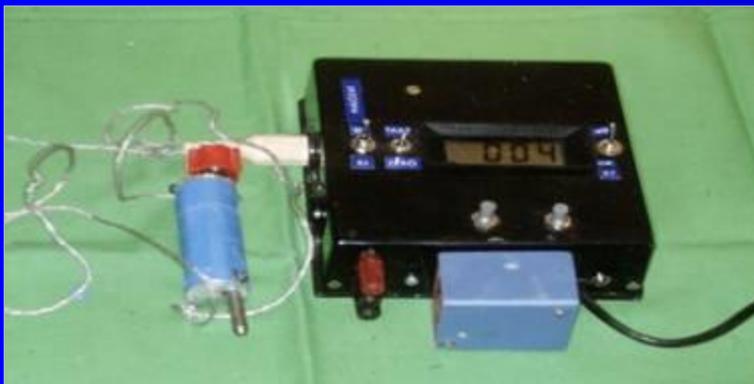
#### Messen des Ausdrehmoments (removal torque) in Tierversuchen

- Auf verschiedenen Arten oberflächenbehandelte Testimplantate werden bei weiblichen neuseeländische Kaninchen die jünger als 1 Jahr sind, in den Schenkelknochen eingesetzt. Die Tiere werden vorher mit einer 10%-igen Nembutal Lösung narkotisiert.
- Die Tiere werden nach 3 Monaten übernarkotisiert und aus den Schenkelknochen werden die Implantate mit dem dafür entworfenen Drehmomentmessgerät entfernt.
- Die für das Ausdrehen benötigte Drehmomentwerte werden festgehalten und statistisch ausgewertet (Wilcoxon próba, Einmuster t-Probe).

# Material und Methode

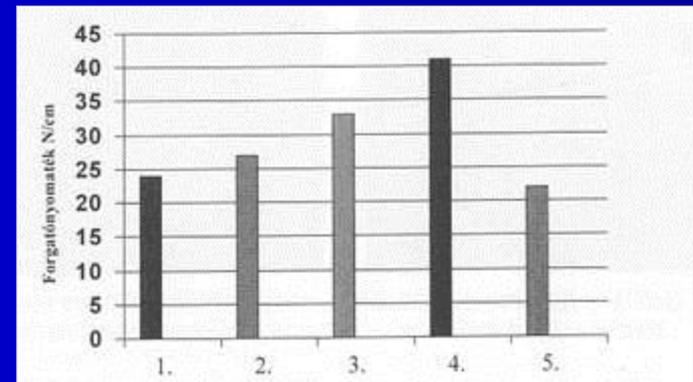
## Unsere in vivo Untersuchungsmethoden:

Testimplantate



Instrument zum messen des Drehmoments

Implantate im Knochen der Kaninchen



Statistische Auswertung