



Universität Stuttgart

Institut für Fertigungstechnologie keramischer Bauteile



Fertigungstechnik keramischer Bauteile, Verbundwerkstoffe u. Oberflächentechnik

apl. Prof. Dr. rer. nat. Andreas Killinger

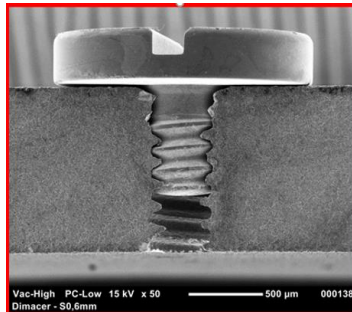
Abteilung: Hochleistungskeramik

Auswahl aktueller Forschungsaktivitäten am Institut



Erodierbare Keramiken (EDM Hartstoffbearbeitung)

Präzisionskomponenten aus hartzäher Sonder-
Keramik für den Werkzeug- und Formenbau
AiF-ZIM Projekte mit Mittelständlern



Source: IFKB Universität Stuttgart

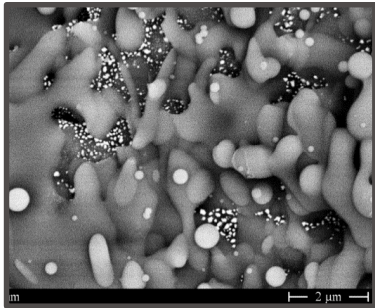
USB-LED auf Keramikssubstrat

Laserinduzierte Metallisierung von Strukturkeramik für MID „mechatronic integrated devices“

Keramikspritzguss & Additive
Manufacturing
AIF-IGF Kooperationsprojekte mit
Hahn-Schickard

Abteilung Oberflächentechnik und Schichtverbunde

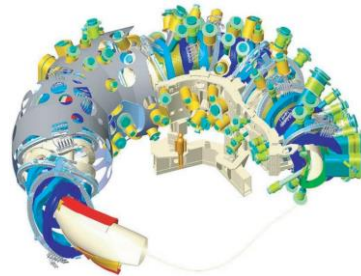
Auswahl aktueller Forschungsaktivitäten am Institut



Antibakterielle und bioaktive Oberflächen für die Prothetik

Realisierung neuartiger Drug-Delivery Konzepte

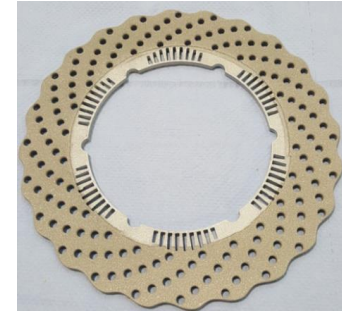
Verbesserte Verträglichkeit
Schnellerer Heilungsprozess



Fusionsreaktor

Mikrowellen-Absorberschichten in Fusionsreaktoren

Beschichtung von Reaktorkomponenten in Wendelstein und ITER



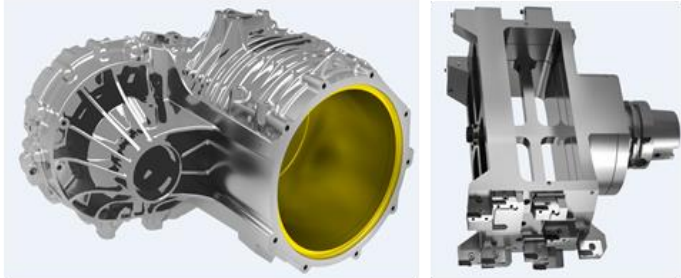
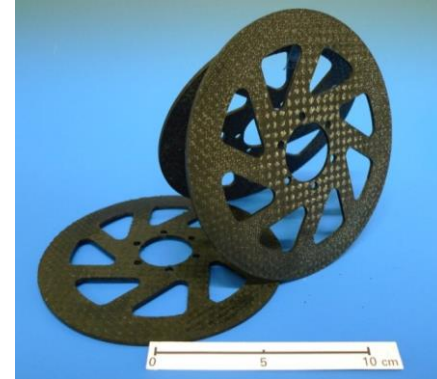
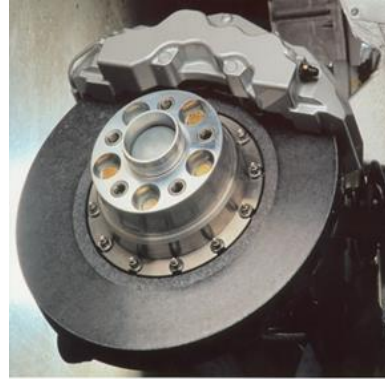
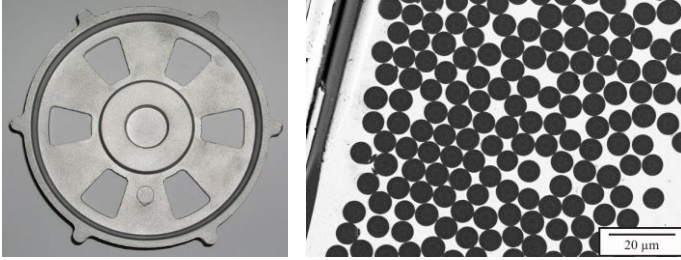
Friktionsschichten für Leichtbau-Bremsscheiben

Reduktion von Feinstaub
Leichtbau-Konzepte für e-mobility Systeme



Abteilung: Verbundwerkstoffe

Auswahl aktueller Forschungsaktivitäten am Institut



Faserverstärkte Keramiken, PDC polymerabgeleitet

**Ceramic-Composite Brake Rotor (DE 197 11831,
DE 197 11829)**

Leichtbaupotential und hohe Temperaturbeständigkeit
kostengünstige Rohstoffbasis, serientaugliche CMC-
Fertigungstechnologie für Fahrzeugbau, Luftfahrt und
Brandschutz, technische Gebäudeausrüstung

Metallmatrix-Verbundwerkstoffe (BMBF Zeral-E)

Hochsteife und leichte Konstruktionswerkstoffe auf
Aluminiumbasis mit maßgeschneiderten
thermophysikalischen Eigenschaften als
Schlüsselkomponenten der E-Mobilität

Fertigungstechnik keramischer Bauteile, Verbundwerkstoffe und Oberflächentechnik

Spezialisierungsfach für die Medizintechnik: Struktur

	Dozent	Benennung	LP	Anz. Semester	Turnus
Kernfächer					
IFKB	Kern / Killinger	Fertigungsverfahren Faser- und Schichtverbundwerkstoffe	6	2	WS/SS, SS/WS
	Kern	Grundlagen der Keramik und Verbundwerkstoffe	6	2	WS/SS
	Kern / Killinger	Neue Werkstoffe und Verfahren in der Fertigungstechnik	6	1 2	WS+SS
Kern-/Ergänzungsfächer					
IFKB	Kern / Killinger	Fertigungsverfahren Faser- und Schichtverbundwerkstoffe	6	2	WS/SS, SS/WS
IKFF	Gundelsweiler	Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik	6	2	WS/SS
IFSW	Graf	Materialbearbeitung mit Lasern	6	2	WS/SS
IMWF	Weihe	Festigkeitslehre I	6	2	WS/SS
IFKB	Kern	Grundlagen der Keramik und Verbundwerkstoffe	6	2	WS/SS
	Kern / Killinger	Neue Werkstoffe und Verfahren in der Fertigungstechnik	6	1 oder 2	WS+SS
IFKB / IFF	Killinger / Tiedje	Oberflächen- und Beschichtungstechnik	6	2	WS/SS
Ergänzungsfächer					
IFKB	Killinger	Thermokinetische Beschichtungsverfahren	3	1	WS
	Kern	Werkstoffe und Fertigungstechnik technischer Kohlenstoffe	3	1	WS+SS
	Ninz	Total Quality Management (TQM) und unternehmerisches Handeln	3	1	WS+SS
IFW	Rothmund	Grundlagen der Zerspanungstechnologie	3	1	WS+SS
IFKB		Additive Fertigung	3	1	WS
Praktikum					
IFKB	Killinger / Kern	Praktikum Fertigungstechnik keramischer Bauteile, Verbundwerkstoffe u. Oberflächentechnik	3	1	WS+SS

Das Spezialisierungsfach setzt sich aus **einem Kernfach mit 6 LP**, **einem weiteren Kern- oder Ergänzungsfach mit 6 LP** und **einem Ergänzungsfach mit 3 LP** zusammen. Hinzu kommt das **Praktikumsmodul**.

Alle wichtigen **Informationen** und **Bekanntmachungen** findet ihr auf **Ilias!!**

**Modul 32210:
Grundlagen der Keramik und Verbundwerkstoffe**

F. Kern

Vorlesung: Fertigungstechnik keramischer Bauteile I (WS)

Vorlesung: Fertigungstechnik keramischer Bauteile II (SS)

Fertigungstechnik keramischer Bauteile I + II (4SWS)

Materialien, Fertigungstechnologien, Anwendungen

Wintersemester

0. Orga und Informationen zur Vorlesung
1. Institut und Einführung
 1. Institut
 2. Einführung
2. Grundlagen Keramik
 1. Einführung keramische Werkstoffe
 1. Eigenschaften keramischer Werkstoffe
 2. Fertigungskette
 3. Theorie des Sinterns
 2. Oxidkeramiken
 1. Aluminiumoxid
 2. Zirkonoxid
 3. Nichtoxidkeramiken
 1. Siliziumkarbid
 2. Siliziumnitrid
 4. Bruchmechanik
 5. Verfahren zur Materialcharakterisierung
 6. Konstruieren mit keramischen Werkstoffen

Sommersemester

0. Orga und Informationen zur Vorlesung
3. Fertigungstechnik
 1. Rohstoffe und Masseaufbereitung
 1. Rohstoffe und Syntheseverfahren
 2. Mahltechnik
 3. Masseaufbereitung / Granulatherstellung
 4. Pulvercharakterisierung
 2. Formgebung
 1. Gießverfahren
 2. Pressverfahren
 3. Plastische Formgebung
 3. Grün- und Weißbearbeitung
 4. Wärmebehandlungen
 1. Entbindern
 2. Sintertechnik
 5. Hartbearbeitung
4. Anwendungsbeispiele

Keramik-Highlights aus dem Institut Materialentwicklung & Fertigungstechnik

Oxidkeramiken/Mischkeramiken

Medizintechnik



TZP / ZTA / ATZ

- Dental
- Orthopädie
- Kieferorthopädie
- Scaffolds

Maschinenbau



Erodierbare Keramiken

- Werkzeugeinsätze
- Schneidstempel
- Umformwerkzeuge

Mikroelektronik

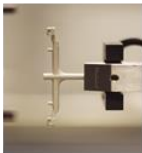


Source: IFKB Universität
Stuttgart

Laserinduzierte
Direktmetallisierung

- Molded interconnect devices
- Sensoren

Fertigungstechnik



Keramikspritzguß

- 1K/2K
- variotherm



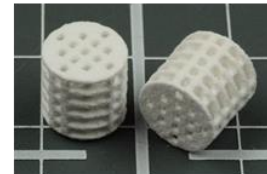
Presstechnik

Sprühgranulieren
Pressen
Zerspanen



**Non-conventional
machining**

- EDM
- Laser



Additive Manufacturing

FDC (filament)
DLP (lithography)

**Modul 13041:
Fertigungsverfahren Faser- und Schichtverbundwerkstoffe**

F. Kern (VB I) A. Killinger (VB II)

Vorlesung: Verbundwerkstoffe I:
Anorganische Faserverbundwerkstoffe (WS)

Vorlesung: Verbundwerkstoffe II: Oberflächentechnik und
Schichtverbunde(SS)

Warum Verbundwerkstoffe?

immer komplexere Lastenhefte für hochbelastete **Strukturbauteile:**

niedrige Dichte

Leichtbaustrukturen (*Einsparung primärer Energieträger, Emissionsreduzierung - Schadstoffnormen, verbesserte Ökobilanz*)

technische Leistungsfähigkeit

mechanische Eigenschaften

(*hohe Festigkeit, E-Modul, schadenstolerantes Versagensverhalten*)

thermische und chemische Beständigkeit

tribologische Eigenschaften (*Reibungskoeffizient, Verschleiß*)



komplexe Anforderungsprofile begrenzen den Einsatz konventioneller monolithischer Bauteile

Verbundwerkstoffe – Einteilung nach Matrices

Verbundwerkstoffe mit Polymermatrix (Polymer Matrix Composites – PMC)

Einlagerung von **Partikeln** hauptsächlich zur **Erhöhung der Funktionalität** (thermo-/elektro-physikalisch, chemische Beständigkeit), aber auch aus fertigungstechnischen Gründen (Verarbeitbarkeit)

Faserverstärkung zur **Erhöhung der Festigkeit und des E-Moduls**

Verbundwerkstoffe mit metallischer Matrix (Metal Matrix Composites – MMC)

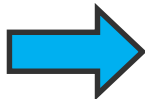
Einlagerung von **Partikeln und Fasern** vor allem in Leichtmetallmatrices zur **Erhöhung der Festigkeit und des E-Moduls** besonders bei erhöhten Temperaturen

Verbundwerkstoffe mit keramischer Matrix (Ceramic Matrix Composites – CMC)

Einlagerung von **Partikeln und Fasern** zur **Erhöhung der Schadenstoleranz** („Quasi-duktiler Bruchverhalten“)

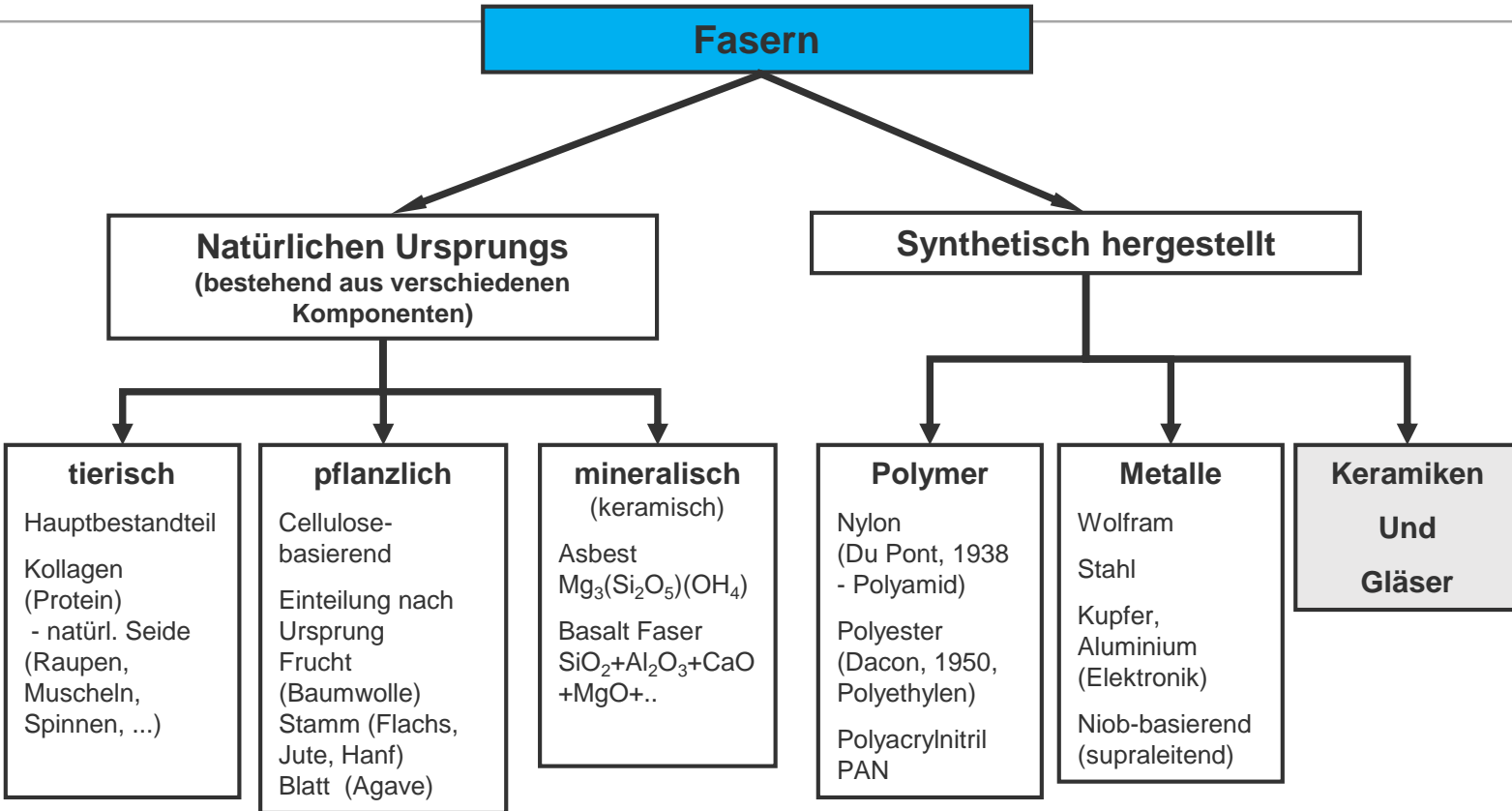
Verbundwerkstoffe mit glasartiger Matrix (Glass Matrix Composites – GMC)

Als Untergruppe der CMC



Je nach Matrix unterschiedliche Motivation für die Einbringung einer Verstärkungsphase

Fasern als Verstärkungselemente in Verbundwerkstoffen



Verstärkungsfasern

Aramidfaser



Quelle: R-G

Glasfasern



Quelle: Saint-Gobain

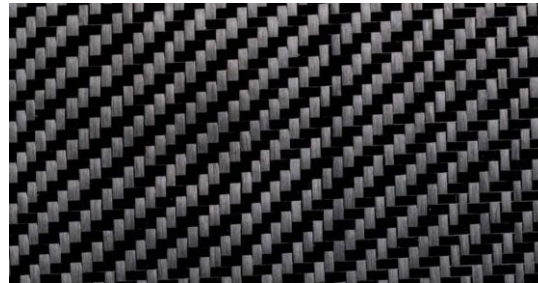
Basaltfasern



Kohlenstofffasern



Quelle: Handelsblatt



Quelle: HEXCEL

Herstellungsverfahren Faserverstärkte Bauteile (PMC, MMC, CMC)

Faserspritzen



Quelle: Bucker Kunststofftechnik GmbH

Fasernasswickeln



Quelle: EHA Composite Machinery

RTM-Verfahren



Quelle: Dieffenbach/ZF/
KraussMaffei/BMW

Autoklav-Verfahren



Quelle: Toyota Motorsport GmbH (TMG)

Flechten



Quelle: 2C Composites

Anwendungsbeispiele für Verbundwerkstoffe



Quelle: Porsche



Quelle: sep aerospatale



Quelle: araihelmets-europe.com

CFK-Zielbügel für Oberschenkel- oder Kniefrakturen



Quelle: Europ-Ray



Quelle: Batex



Quelle: Brembo.com

Faserverbundwerkstoffe in der Medizin

Nutzung der chemischen Eigenschaften des polymeren Matrixwerkstoffs

- Biokompatibilität
- Inertheit, Korrosionsbeständigkeit
- Sterilisierbarkeit

Nutzung der mechanischen Eigenschaften der Verstärkungsfaser

- hohe mechanische Kennwerte

Implantate



Prothesen

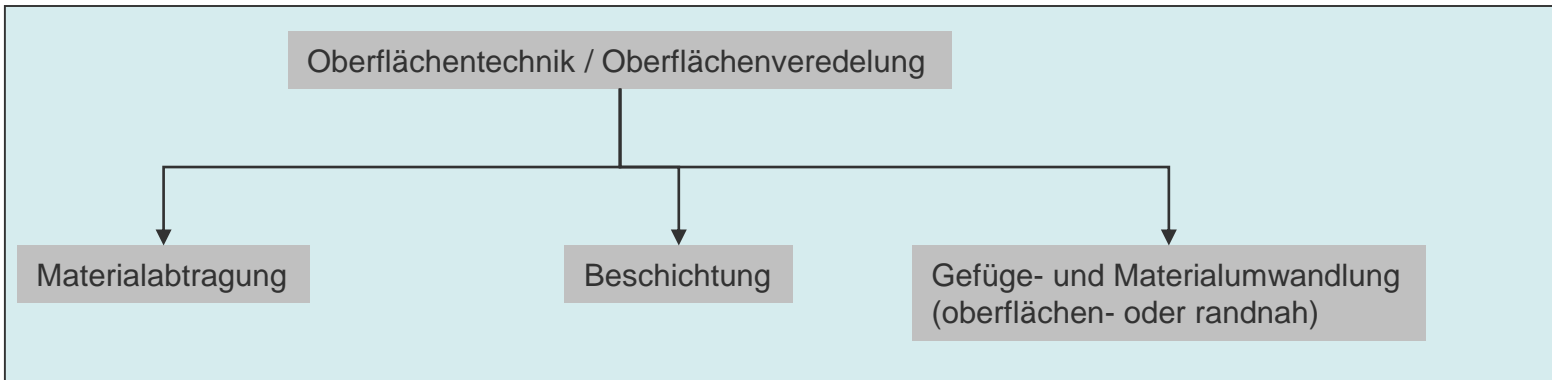


Was ist Oberflächentechnik ?

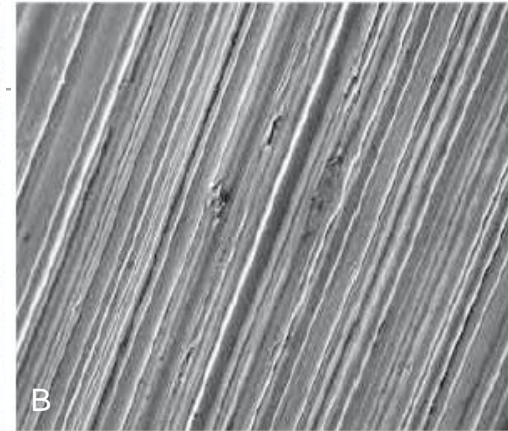
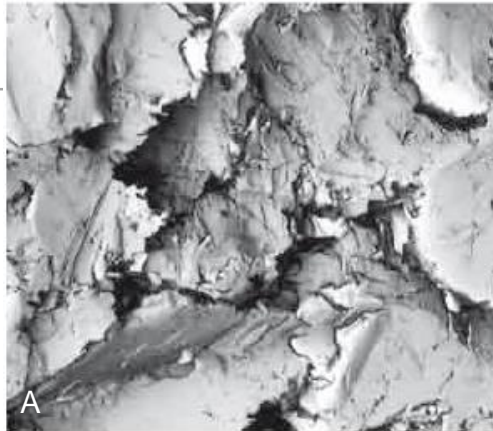
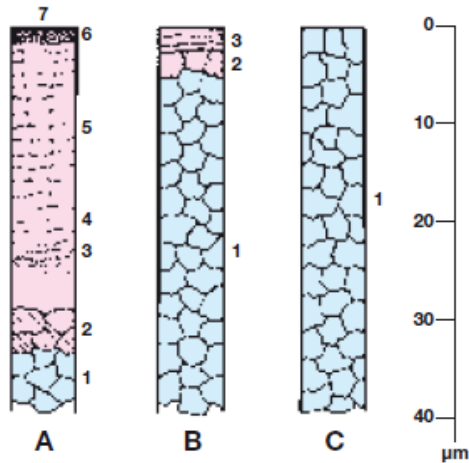
Die Oberflächentechnik umfasst...

jede **kontrollierte** Veränderung von Oberflächen zu funktionalen Zwecken

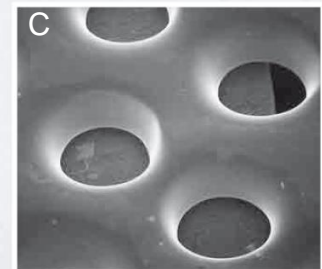
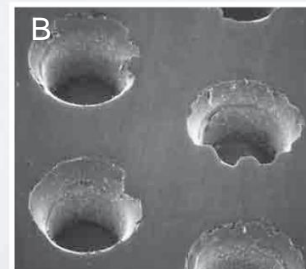
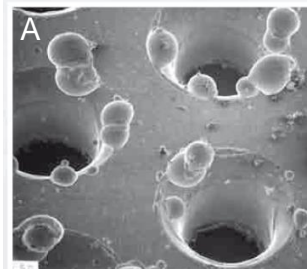
- ❖ **Materialabtragung:** Reinigung, Vorbehandlung, Schleifen, Polieren, Aktivierung ..
- ❖ **Materialabscheidung:** Beschichtungsverfahren
- ❖ **Gefüge- und/oder Materialumwandlung:**
Ändern von Stoffeigenschaften: Verdichten, Aufhärtung,
Eindiffundieren von Fremdstoffen
- ❖ **Strukturieren** von Oberflächen (Gezielte Verändern der Oberflächengeometrie)



Abtragende Verfahren: Elektropolieren



Unterschiedlich bearbeitete Cr-Ni-Stahl-Oberflächen, Vergrößerung 1000fach
 A Gestrahlt mit Korund. B Geschliffen (Korn 180)



Oberflächen eines Filterbleches WN 1.4301, Vergrößerung 50fach
 A: Ausgangszustand
 B: Geschliffen zur Grobentgratung
 C: 10 Min elektropoliert

Einfluss der Oberflächenbearbeitung auf die Tiefe der mechanisch veränderten Schicht

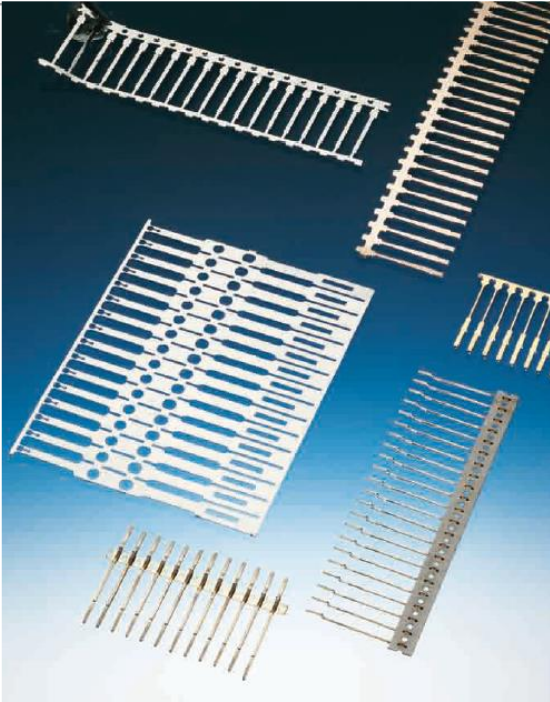
A Geschliffen **B** Gehont **C** Elektropoliert

1 Austenit
 2 Austenit und kalt verformter Ferrit
 3 Kalt verformter Ferrit
 4 Kalt verformter Ferrit und verformter Austenit
 5 Verformter Austenit
 6 Stark verformte Körner mit oxidischen Einschlüssen
 7 Verschiedene Oxide

(Nach J. Wulff, The Metallurgy of Surface Finish, Cambridge/Mass.)

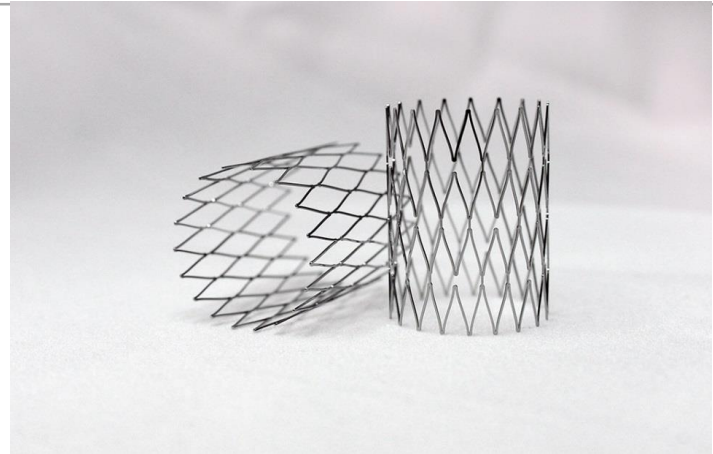
Alle Abbildungen © Firma Polygrat

Elektropolieren: Bauteilspektrum (Elektro- und Medizintechnik)



Elektropolierete Kontaktbänder aus Bronze, Neusilber, Berylliumbronze, Messing und Kupfer.

Bearbeitungsziel: Fein-Entgratung und verbesserte Galvanisierbarkeit



NiTi (Nitinol) Stents © Firma MeKo
alternativ auch aus 316L und CoCr

Die wichtigsten Beschichtungsverfahren

Lackierverfahren

Sol-Gel
Präkursorbeschichtung

Schmelztauchen

Thermisches Spritzen

Auftragsschweißen

Vakuumbeschichtung
PVD und CVD

Nach welchen Kriterien kann man die Vielzahl von Beschichtungsverfahren ordnen ?

Emaillieren

Elektrochemische Verfahren
Galvanik

Beispiel Beschichtung: Physikalische Gasphasenabscheidung (PVD)



Typische Anwendungsfelder:

Elektrotechnik, Optik, Korrosionsschutz, Photovoltaik, Halbleitertechnik, allgemeiner Maschinenbau, Medizintechnik, Automobiltechnik u. v. m.

Typische Stoffsysteme:

Metalle, Nichtoxidkeramiken, Oxidkeramiken, organische Polymere, Halbleiter, amorphe Kohlenstoffe und viele weitere Sonderwerkstoffe

- Verfahren zur Herstellung von Dünnschichten (100 nm – einige μm)
- Benötigt Vakuumkammer (Fein- Hochvakuum)
- Industrieller Standard

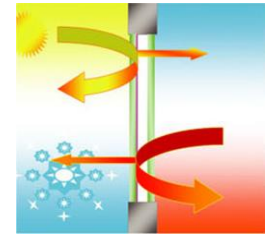
Anwendungsbeispiele PVD: Bohrwerkzeuge und Architekturglas



Wärmedämmung / Lichtschutz auf Architekturglas



■ low ϵ - glass "



VON ARDENNE

Aufbau einer low ϵ - glass Schicht

Dünnschichtverfahren in der Medizintechnik

Knie-Implantate

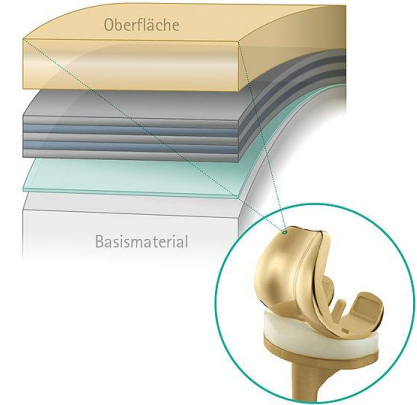


Titan-Nitrid (TiN) oder Titan-Niob-Nitrid (TiNbN)

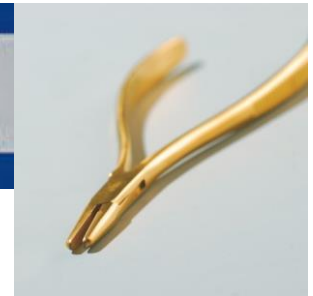
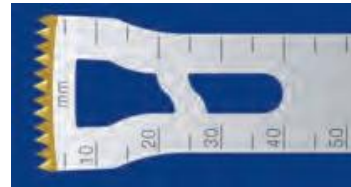


Farbgebung zur Kennzeichnung

Knie-Implantate
ZrN-CrN-CrCN



- Implantat-Beschichtung: korrosionsbeständig, biokompatibel, tribofunktional z. B. TiN, TiNbN, ZrN-CrN-CrCN
- DLC-Beschichtung für Stents
- TiN auf Operationsbestecken etc.
- Verfahrensvarianten: ARC, MS, PA-CVD



Medizinische Geräte

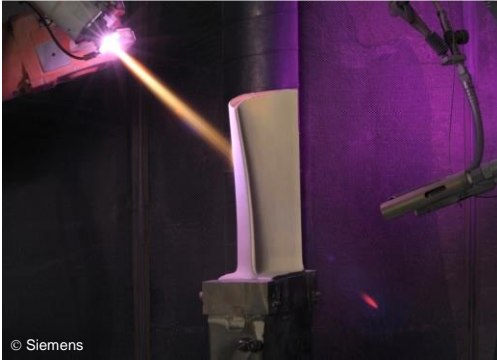
**Modul 32500:
Neue Werkstoffe und Verfahren in der Fertigungstechnik**

A. Killinger (I) F. Kern (II)

Vorlesung: Thermokinetische Beschichtungsverfahren

Vorlesung: Werkstoffe und Fertigungstechnik technischer Kohlenstoffe

Thermokinetische Beschichtungsverfahren (Thermisches Spritzen)



Typische Anwendungsfelder:
Allgemeiner Maschinenbau, Automobiltechnik, Aerospace,
Energietechnik, Korrosions- und Verschleißschutz, elektrische
Funktionsschichten, **Medizintechnik** u. v. m.

Typische Stoffsysteme:
Metalle (Fe, Ni, Co –Basis, Al, Zn, Cu ...), Oxidkeramiken, einige
Karbide (z. B. B_4C), Cermets (z. B. WC-Co, CrC-NiCr),
Thermoplasten, **CaP-Keramiken**, Gläser

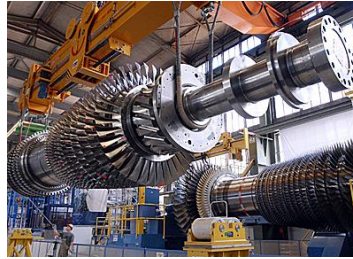
Spritzzusätze in Form von Pulvern, Draht, Stab oder als Suspension,
im Spritzprozess Überführung in **schmelzflüssige Phase**.

Besonderheiten: Einziges (einstufiges) Verfahren, welches oxidkeramische Dickschichten aufbringen kann.
Thermisch induzierte Eigenspannungen möglich !

Spritzen von Calciumphosphatkeramiken für Gelenkimplantate

Thermokinetische Beschichtungsverfahren

Anwendungsfelder



Mechanischer Verschleißschutz & Korrosionsschutz im Maschinenbau

Reparaturschichten

Haftvermittler

Wärmedämmschichten & Funktionsschichten Im Turbinenbau

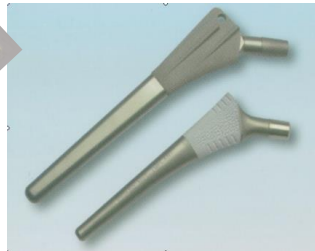
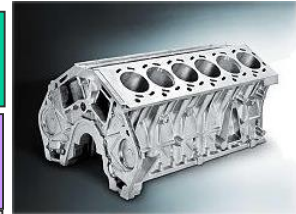
Schichten für medizintechnische Anwendungen

Sonderanwendungen z. B. Kerntechnik, Sensorik usw.

Elektrische Funktionsschichten

Tribologische Funktionsschichten

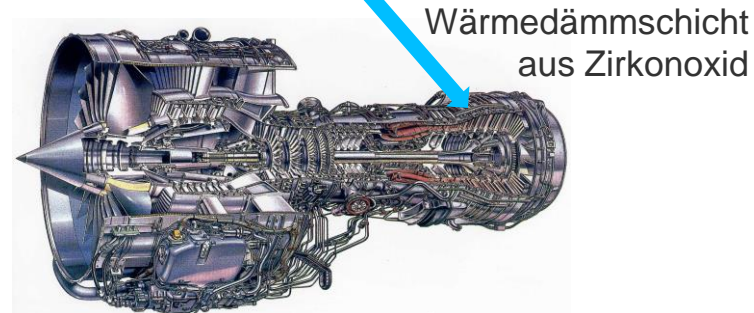
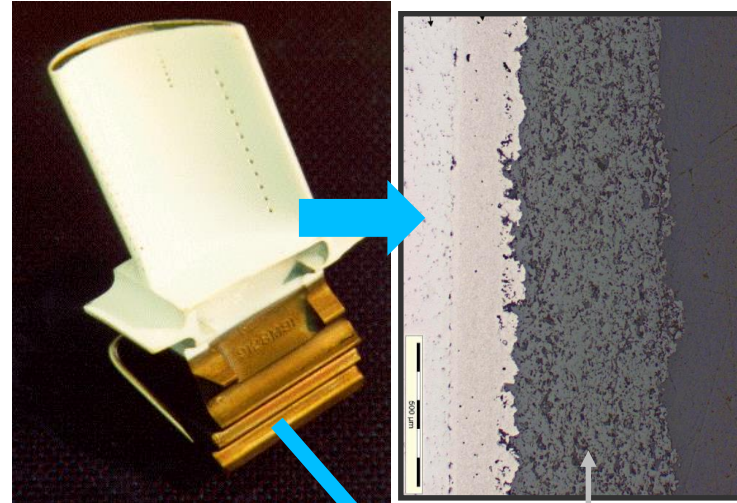
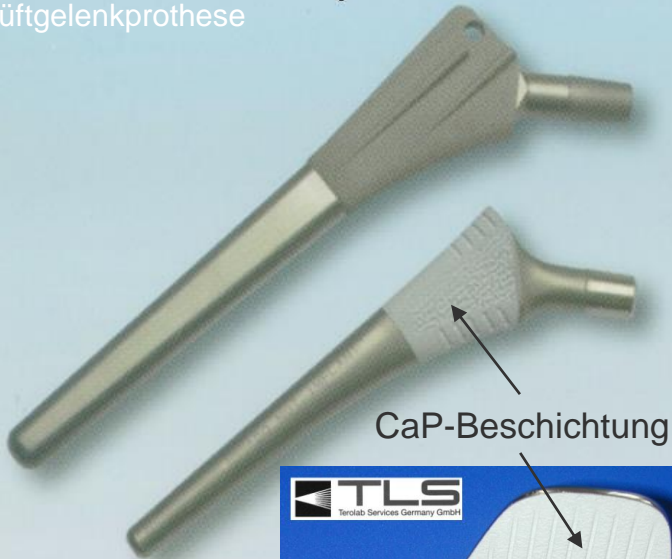
Abraables, Einlaufschichten



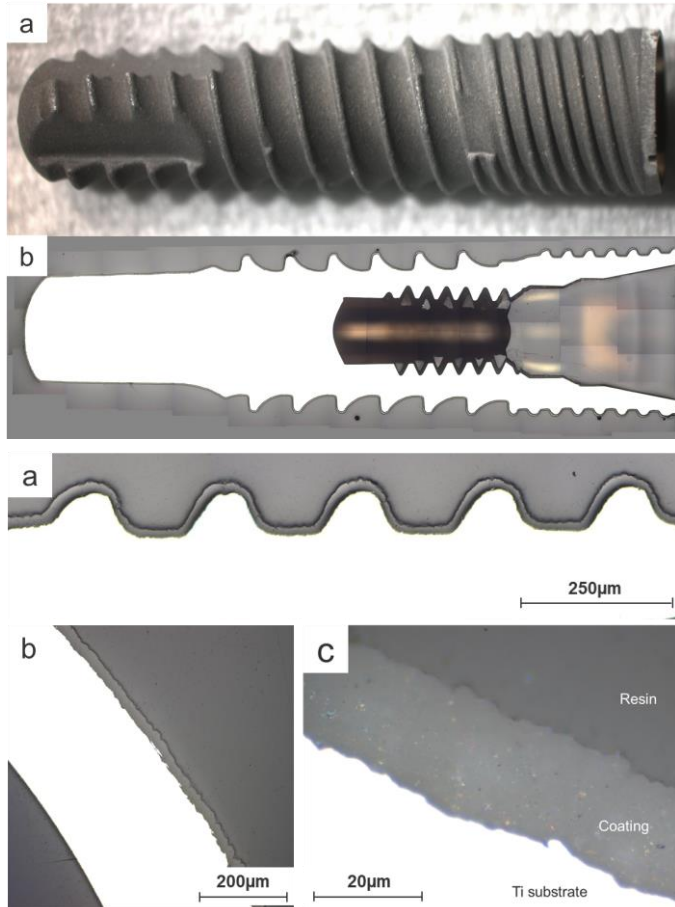
Anwendungsbeispiele Thermisches Spritzen

Medizintechnik und Fluggasturbine

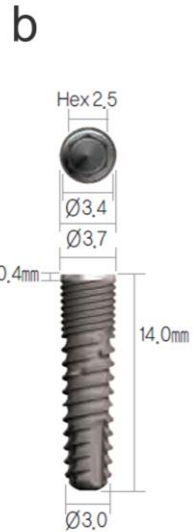
Hüftgelenkprothese



Oberflächen- und Beschichtungstechnik



Hydroxylapatitbeschichtung auf Zahnimplantat



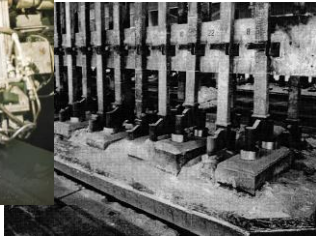
Schichtstruktur Gewindeoberfläche

Werkstoffe und Fertigungstechnik technischer Kohlenstoffe

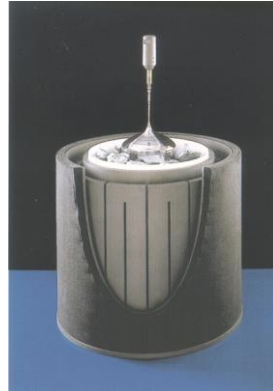


Quelle: SGL

Elektroden

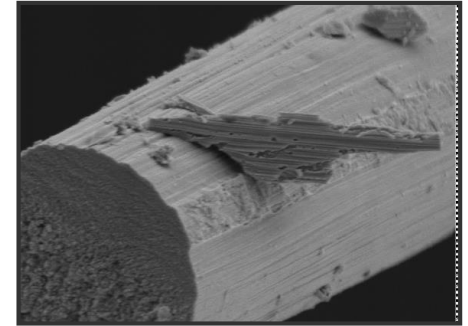


Quelle: Anodes, R&D Carbon



Quelle: SGL

Feinkorngraphit



C-Fasern und Faserbeschichtungen



Quelle: VB II, Gadow

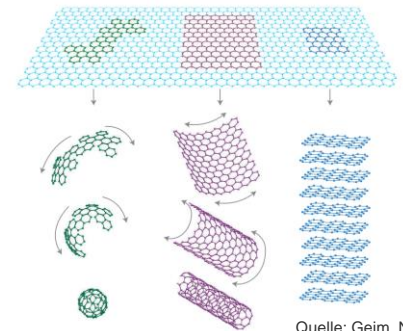
Carbon-Carbon-Composites



Quelle: St. Jude Medical

Herzklappen

Graphit / Pyrokohlenstoff



Quelle: Geim, Nature 2007

CNTs & Graphen

**Modul 32510:
Oberflächen- und Beschichtungstechnik (OB)**

A. Killinger (I) O. Tiedje (II)

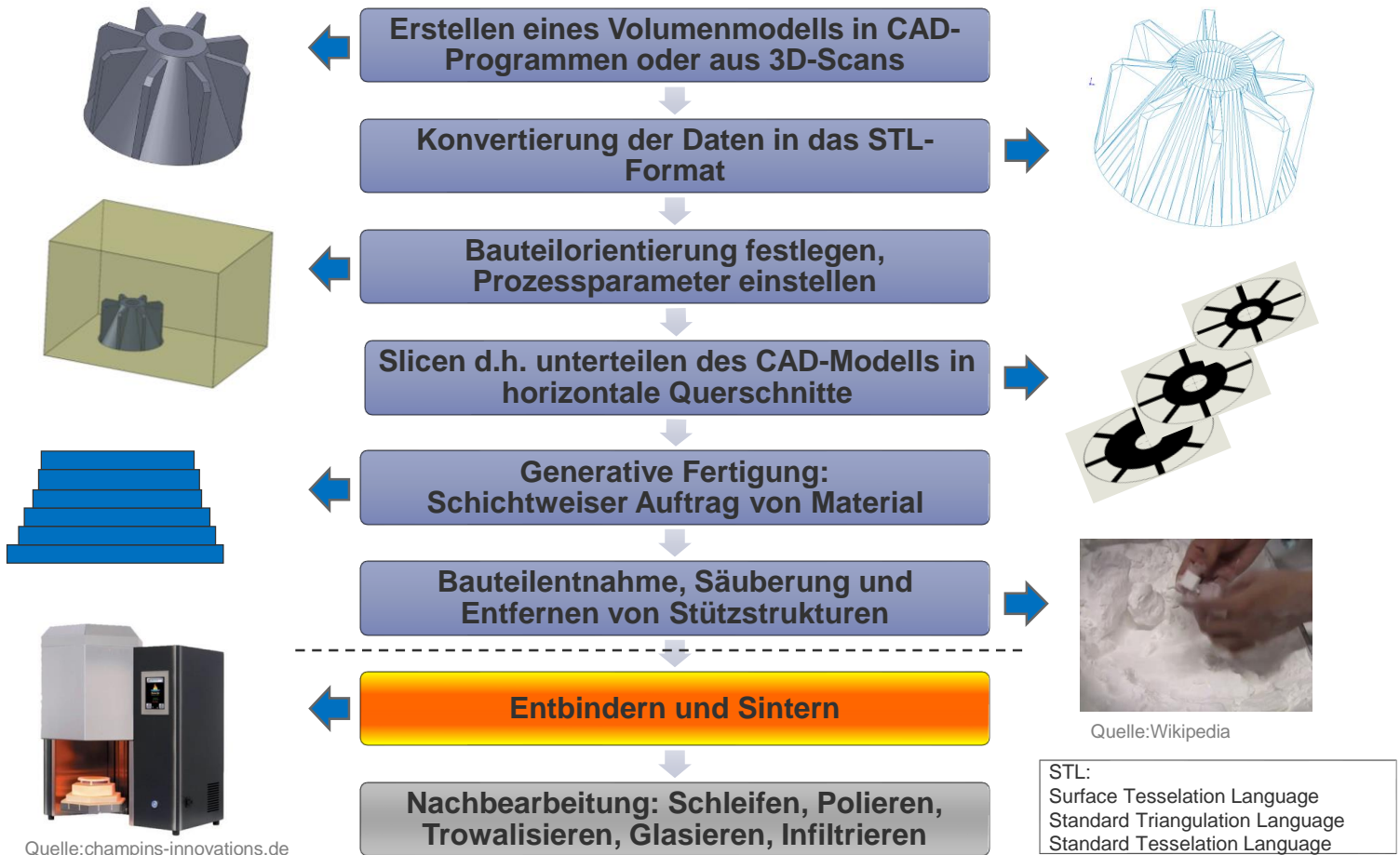
Vorlesung: OB I: Thermokinetische Beschichtungsverfahren

Vorlesung: OB II Lackierverfahren

Modul 74200: Additive Fertigung

F. Kern

Prozessschritte der generativen Formgebung von Keramik-Bauteilen



**Modul 32530:
Total Quality Management (TQM) und unternehmerisches Handeln**

F. Kern / P. Ninz



Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit