

2. Mitteldeutsches Forum 3D-Druck in der Anwendung

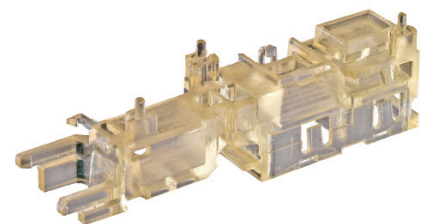


Protonetz



Tagungsband

- Digitalisierung in der Produktion der Zukunft
- Life Science - vernetzte Strukturen
- Gestaltung, Leichtbau, Ressourcen



Mit Unterstützung der:



3D-Druck in der Anwendung

HTWK Leipzig, 27. Mai 2015

Karl-Liebknecht-Straße 134, Nieperbau

Für die Redebeiträge, die Beiträge zur Kooperationsbörse, die freundliche Unterstützung der Veranstaltung und die Beiträge zum Tagungsband bedanken sich die Organisatoren

Peter Schulze

Günter Ganß

Kathrin Schaper-Thoma

Bernd Schmidt

Hartmut Stabler

„3D-Druck in der Anwendung“

Inhaltsverzeichnis der Referate

Plenarsektion	Seiten
Industrie 4.0 – Additive Fertigung in der Fabrik der Zukunft	6 - 54
Die Entwicklung von ECM-analogen 3D-Biointerfaces für die Biologie und Medizin	55 - 87
Sektion 1	
Anwendung generative Verfahren in der Fahrzeugfertigung	89 - 102
Erhöhung der Prozesssicherheit beim Strahlschmelzen	104 - 127
3D Mikrodruck von Metallen – Stand und Perspektiven	129 - 161
Herstellen von Großteilen mittels Robotertechnik	162 - 171
Qualitätsoptimierung durch prozessintegrierte 3D-Messung	173 - 200
Auf dem Weg zur nativen Kennzeichnung additiv gefertigter Produkte?	202 - 232
Sektion 2	
Innovative Behandlungskonzepte für Gelenkknorpelschäden durch Regenerative Medizin	234
Design und 3D-Druck von Ripple-Filtern für die Raster-Scan-Bestrahlung in der Partikeltherapie	236 - 277
3D-Druck von Biomaterialien für den Knochenersatz	280
Kontrollierte Protein-Immobilisierung und -Freisetzung von Kunststoff-Oberflächen	283
3D-Druck revolutioniert die Medizin - Fakten und Visionen	285 - 319
Generative Verfahren für medizinische Simulatoren	321 - 339
Sektion 3	
Statisch, Parametrisch, Dynamisch - Integration von kostengünstigen 3D-Drucktechniken in den architektonischen Entwurfsprozess	341
Rapid Prototyping im Industrial Design Prozess	343 - 344
Von der Datengrundlage zu Landschafts- und Architekturmodellen	346 - 350
3D-Druck von Polymeren – Möglichkeiten und Grenzen - Verfahren im Vergleich	353 - 383
Feingussunikate und –kleinserien über additive Modelle	385 - 392



Lebenslauf
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolf-Michael Scheid

- 1965 - 1971 Nach Kaufmannsgehilfenprüfung als Industriekaufmann in einem Maschinenbau-Unternehmen Studium des Wirtschaftsingenieurwesens mit Schwerpunkt EDV/Automatisierungstechnik an der TU Berlin (Dipl.-Ing.)
01. 06. 1971 - 30. 09. 1971 Wiss. Assistent für EDV im Fachbereich Kybernetik der TU Berlin
01. 10. 1971 - 31. 03. 1975 Projektingenieur und Projektmanager für Planung und Anlagenrealisation bei DEMAG Systemtechnik GmbH, Hagen
01. 04. 1975 - 31. 12. 1978 Wiss. Assistent am Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen der Universität Dortmund (Prof. R. Jünemann)
09. 02. 1979 Promotion an der Fakultät Maschinenbau der Universität Dortmund (Dr.-Ing.)
01. 01. 1979 - 30. 04. 1991 SIEMAG-Gruppe, verschiedene Aufgaben, zuletzt als Geschäftsführer Alleinverantwortung für 2 Sparten an den Standorten Leichlingen/ Rheinland und Netphen bei Siegen
01. 05. 1991 - 31. 07. 1993 Geschäftsführer IMB Logistik-Systeme GmbH, Falkensee bei Berlin
01. 08. 1993 - 03. 1995 Geschäftsführer, MAN GHH Logistics GmbH, Heilbronn, Spartenver-31. Verantwortung an den Standorten Heilbronn und München
01. 04. 1995 Beginn der Tätigkeit als Universitätsprofessor, Leiter des Fachgebiets Fabrikbetrieb, Leiter des Instituts für rechnerunterstützte Produktion der Fakultät für Maschinenbau (IRP)
- Sonstiges Jeweils mehrmonatige Aufenthalte in Großbritannien, Japan, Nigeria, Polen
- Rund 300 Vorträge und Veröffentlichungen im In- und Ausland, so auch USA, Schweden, Finnland Großbritannien, Frankreich, Russland, Ungarn, Tschechei überwiegend zu Themen der innerbetrieblichen

Logistik (Intralogistik), aber auch betriebsübergreifender Systeme, in Industrie, Handel und Dienstleistung sowie auf Flughäfen, ERP-Auswahl und ERP-Einführung

Patente im Bereich Materialflusstechnik

Leiter des Fachausschusses „Logistiksysteme und Logistikmanagement“ der VDI GPL Gesellschaft Produktion und Logistik 2006 - 2014
(frühere Bezeichnung: Fachbereich Logistik (A1) der VDI – FML)

Mitglied des Beirats der VDI GPL

Mitglied im VDI

Vorsitzender des Vorstands der Gesellschaft für integrierte rechnerunterstützte Produktion e.V.

Mitglied in der WGTL Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik e.V.

Mitglied in der Bundesvereinigung Logistik e.V. BVL

Mitglied im Bundesverband Materialwirtschaft Einkauf Logistik e.V. BME

Mitglied im Verband Deutscher Wirtschaftsingenieure e.V. VWI

Mitglied im Fachbeirat der LOGIMAT Stuttgart

Mitglied der Jury „Bestes Produkt der LOGIMAT“

Schiedsgutachter für Logistik-IT und Intralogistik beim Deutschen Schiedsgericht Logistik

Industrie 4.0

-

Additive Fertigung in der Fabrik der Zukunft

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolf-Michael Scheid

„Es gilt das gesprochene Wort“ heißt es häufig. Ganz besonders gilt dies für Vorträge. Reicht man für einen Vortrag die vorbereiteten Folien einer PPT-Präsentation ein, so sind diese für den Betrachter, der den Vortrag nicht gehört hat, häufig wenig aussagekräftig, um nicht zu sagen, missverständlich.

Aus diesem Grund soll hier sozusagen ein „Begleittext“ zur PPT-Präsentation entstehen.

Der Vortrag eröffnet eine Tagung, in der der geballte Sachverstand dessen vertreten ist, was aktuell unter „additive Fertigung“ (oder in populären Zeitschriften unter 3 D-Druck) zusammengefasst wird. Der Autor will diese Verfahren nicht erläutern, schon gar nicht ein neues Verfahren „erfinden“ oder propagieren.

Er will zeigen, wie sich die neuen Dinge in die Fabrik der Zukunft einordnen und welche Konsequenzen dies für künftige Fabrikstrukturen (Organisation, Materialfluss, Gebäude etc.) hat. Da die aktuell absehbaren Veränderungen der Fabrik derzeit unter „Industrie 4.0“ subsummiert werden, darf auch dieser Begriff - ein Schlagwort auch heute noch weitgehend ohne Inhalt !? - nicht fehlen.

Begonnen werden soll mit „Fabrik der Zukunft“.

In seiner Zeit als leitender Mitarbeiter der SIEMAG-Gruppe hat der Autor beginnend 1979 jeweils zur Industrie-Messe Hannover mit Schwerpunkt CeMAT in Hannover ein Symposium zu Fragen von Produktion und Logistik veranstaltet.

Beim Symposium 1979 ging es beispielsweise darum, welche Auswirkungen die seinerzeit neu gefassten Arbeitsstättenrichtlinien auf Fabrikbauten hatten (am Beispiel des BOSCH-Ersatzteilzentrums Karlsruhe) und ob Unfallschutz und Produktivität konträre oder gar komplementäre Zielsetzungen sein könnten. Sie können komplementär realisiert werden!

1987 lud der Autor Prof. Dr. Günter Spur, gefeiert als „Vater der Fabrik der Zukunft“ ein, zu diesem Thema zu sprechen. Im gleichen Jahr hat der Autor seinen ersten PC gekauft, mit Software seinerzeit eine Investition von knapp 20 000 DM. Im Unternehmen hatte er den Übergang von festverdrahteten Logiken zur SPS, den Übergang vom Zeichenbrett zum CAD (in Mechanik und Steuerungstechnik) sowie die Gründung einer eigenen Gruppe für Prozessrechentchnik durchgeführt.

Die Zuhörer in Hannover waren begeistert. Spur war nicht nur rhetorisch ein Genie, er hatte Visionen! Oder erkannte er nur das, was folgerichtig absehbar war? „Auch Ihr Meister wird morgen am PC arbeiten“ war einer seiner damals eher futuristisch klingenden Sätze.

Schaut man sich einige Aussagen an, betrachtet man angepeilte Zeitachsen und angedachte Verbesserungen, so kann heute nach knapp 3 Jahrzehnten gesagt werden, so futuristisch war das nicht.

Springen wir zur Modellfabrik des CIM TT Thüringen von 1994 zurück (oder aus Sicht 1987 voraus), so kann man sehen, dass all die Elemente, die momentan unter „Industrie 4.0“ diskutiert werden, bereits vorhanden waren und im praktischen Betrieb funktionierten.

Was nicht vorhanden war, aber seit Jahren ständig auch für die industrielle Anwendung vervollkommen wird, ist „plug and play“, sind universellere Schnittstellen.

Was Spur nicht ahnte, war die Entwicklung der additiven Fertigung. Obwohl der Satz

„Die Darstellungsform grafischer Informationen wandelt sich beispielsweise von der Werkstattzeichnung zu einem rechnerinternen Werkstückmodell“

gesprochen vom Mitgründer des ExAPT-Vereins ja aus heutiger Sicht ein wesentliches Element der Anwendung generativer Verfahren darstellt. Implizit sind damit auch Änderungen in der Aufgabe und vor allem Denkweise des Konstrukteurs angesprochen.

Das Zusammenspiel von Technik, Mensch, Organisation und sich verändernde Prioritäten bei der Produktionsplanung und –steuerung (heute „ERP“) hat Spur gut vorausgesehen. Es wird uns weiter beschäftigen und die Umgestaltung der Produktion beeinflussen.

All das haben wir seinerzeit unter dem Begriff CIM Computer integrated manufacturing, später unter digitale Fabrik zusammengefasst. Daran wird (weltweit) weiter gearbeitet. Im März dieses Jahres zeigte Dr. Geckler vom Bereich „Planungssysteme und digitale Fabrik“ der Volkswagen AG, wie unter dem Ziel der Energieeinsparung etwa beim Robotereinsatz im Rohbau zugleich die Produktivität der Roboter erhöht wurde.

Neue Forderungen führen zu neuem Denken. Das gilt neben dem Thema Energie und neuer Materialien auch für die Frage der demografischen Veränderungen und ihrer Auswirkungen.

Hier sollen Aspekte genannt werden, die sich dann ergeben, wenn aus „stand alone“-Systemen der additiven Fertigung integrale Bestandteile der neuen Fabrik werden.

Soll ich den Bauraum meiner „Maschine“ stets maximal ausnutzen oder gibt es abhängig von Auftragsdurchlaufzeiten (gesetzt durch den Markt) und Rüstzeiten im Einzelfall „Optima“, die kleiner sind? Wie identifiziere ich aus einer Vielzahl möglicherweise einander sehr ähnlicher in einem Arbeitsgang gefertigten Teile, die mit Vorrang gewünscht? Kann ich eine automatisierte Vereinzelung durchführen? Muss zwischengelagert werden? Wie? Kann eine weitgehend automatisierte Qualitätskontrolle durchgeführt werden? Ergibt sich die Notwendigkeit von Nacharbeit?

Dies sind nur einige wenige Fragen, die sich stellen. Es bietet sich an, diese Fragen im Verbund zwischen Maschinenhersteller, Anwender und Wissenschaft anzugehen – Verbundprojekte!

Hier gibt es Handlungsbedarf, vor allem, wenn der Standort Deutschland (Mitteldeutschland) gestärkt werden soll. Wir könnten die ersten sein!

Darüber wird leider wenig gesprochen, über Industrie 4.0 viel.

Betrachten Sie die öffentliche Meinung, so wird nahezu jegliche angestrebte Aktivität mit „Industrie 4.0“ etikettiert. Die Verlautbarungen des BMBF und des Wirtschaftsministeriums, die gemeinsam 200 Mio € Fördermittel bereitstellen, sind bemerkenswert vage.

Warum gibt es nach CIM und digitaler Fabrik mit ihren permanenten Aufgaben und dem noch lange nicht erreichten Zielen ein neues Schlagwort, das deren Inhalte letztlich nur in „neue Schläuche“ füllt.

Am Beispiel des Internet der Dinge haben wir bestimmte Aspekte untersucht. Wie besetzt man neue Begriffe (oder schafft man sie auch selbst?) und ist so als erster (einziger?) an den Futtertrögen? Alle sprechen vom fairen Wettbewerb. Wird der wirklich gewollt, in Wirtschaft und Wissenschaft? Bei Service-Robotern und Elektromobilität werden auch Dinge quasi neu erfunden, die es schon einmal gab. Dank neuer Begriffe und Internet ist dieses Wissen aber verschüttet.

Was lernen wir daraus? Gegen den Strom zu schwimmen ist schwierig. Schwimmern Sie mit und etikettieren Sie all Ihre sinnvollen Vorhaben unter „Industrie 4.0“. Vielleicht haben Sie eine Chance, an den (zunächst) 200 Mio € zu partizipieren. Es wäre sinnvoll angelegtes Geld.

Industrie 4.0

-

Additive Fertigung in der Fabrik der Zukunft

Univ.-Prof. Wolf-Michael Scheid
Technische Universität Ilmenau

Email: wolf-michael.scheid@tu-ilmenau.de



Leipzig 27.05.2015

Hinweise vorab

- Über additive Fertigung , 3 D-Druck, rapid prototyping, rapid manufacturing
wissen Sie mehr als ich

Dennoch

- interessiert mich dieses Thema, seit ich 1995 meine erste Begegnung mit dem „rapid prototyping“ am Beispiel der Stereolithografie hatte

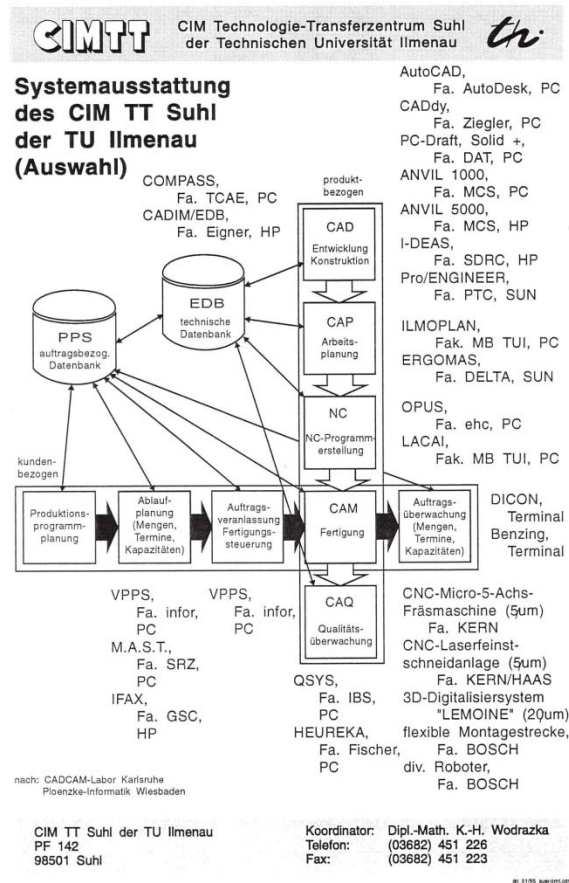
Dennoch

- interessiert mich dieses Thema, seit ich 1995 meine erste Begegnung mit dem „rapid prototyping“ am Beispiel der Stereolithografie hatte
- Die Vision des Ingenieurs
 - die Losgröße 1 in gleicher oder kürzerer Zeit
 - und zu gleichen oder geringeren Kosten

als ein vergleichbares Massenprodukt herzustellen ist alt

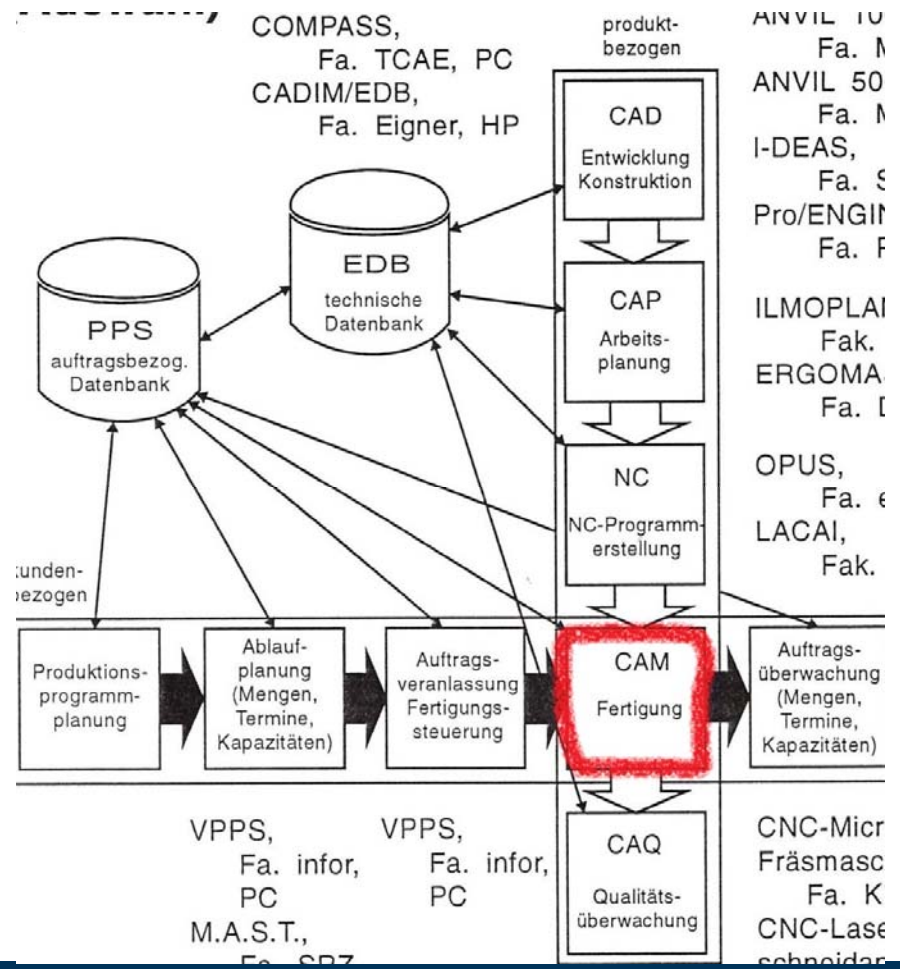
CIM TT an der TU Ilmenau

auch die Schnittstelle (Nahtstelle) zwischen Produktentwicklung und Fertigung/Montage



CIM TT

- Neue Fertigungsverfahren (z.B. Stereolithografie)
- Integration aller an Produktentwicklung, Fertigung und Montage beteiligter Prozesse
- Focus auch auf PPS/ERP
- Modellfabrik





TECHNISCHE UNIVERSITÄT
ILMENAU
Fak. für Maschinenbau
FG Fabrikbetrieb

DI M.Kögler
th
TECHNISCHE UNIVERSITÄT
ILMENAU

Funktionen

- Auftrag als Variantenkonstruktion anlegen (CAD)
- Auftrag im PPS/ERP anlegen - etwa SAP
- Materialentnahme lagerhaltige Teile (Vorfertigung)
- Bestückung Werkstückträger
- Generierung Fahrauftrag (Materialflussrechner/Transponder)
- Generierung NC-Programme (Bearbeitung)
- Generierung Roboter-Programme (Handling)
- Qualitätskontrolle (Bestückung Werkstückträger)
- BDE-System

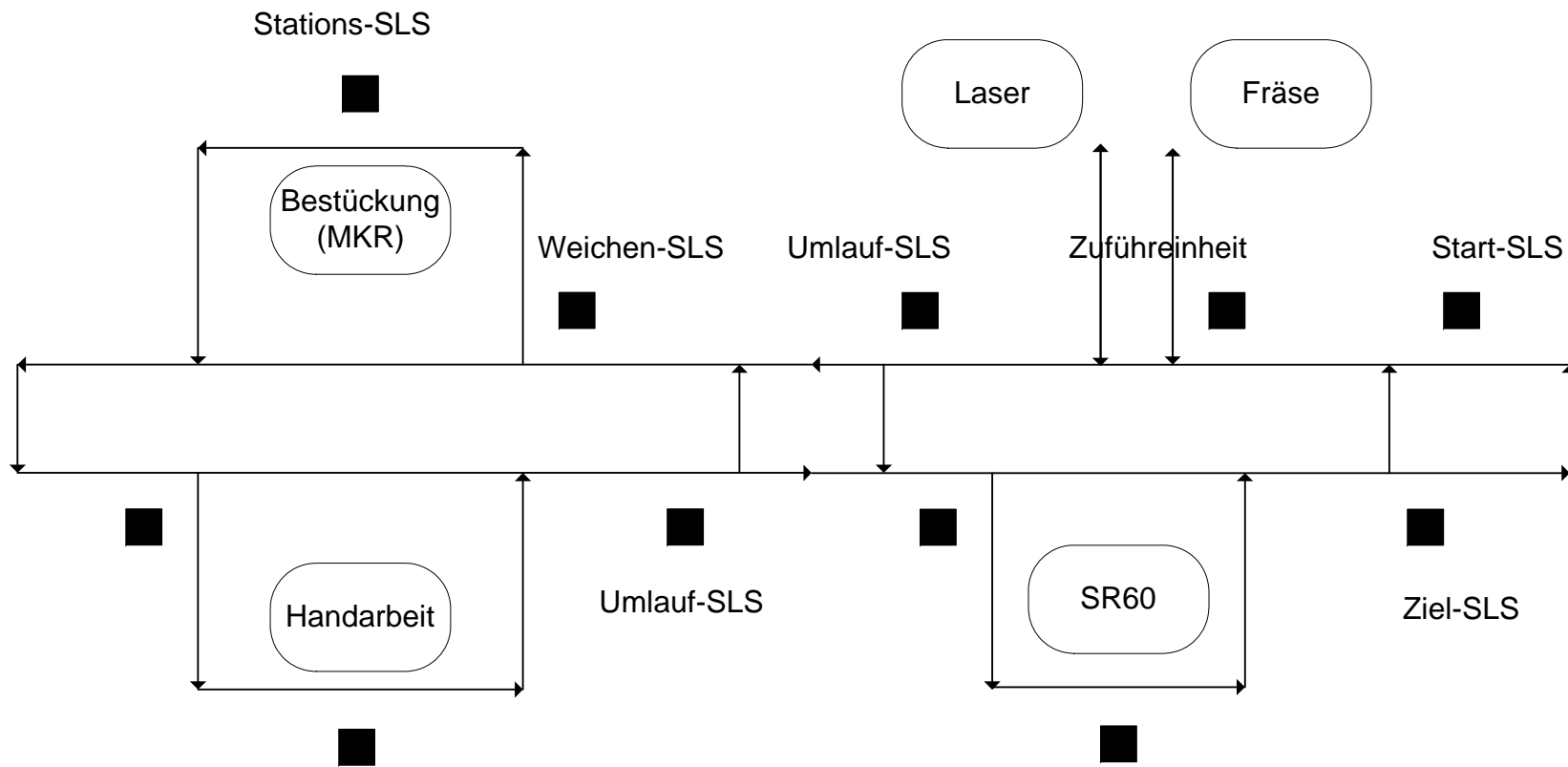
Modellfabrik 1994


Informationsverarbeitung voll integriert
- keine Diskette, kein Papier

FMS Flexible Manufacturing System mit
automatisierten und manuellen Arbeitsplätzen

Mechanik, Transponder tendenziell veraltet

Funktionalität „state of the art“ – im Industrieinsatz
auch heute noch eher Zukunft



- 
- Über **additive Fertigung** , 3 D-Druck, rapid prototyping, rapid manufacturing
 - wissen Sie mehr als ich
 - und **Industrie 4.0** ?

Hinweise vorab

- Über **additive Fertigung** , 3 D-Druck, rapid prototyping, rapid manufacturing
- wissen Sie mehr als ich
- und **Industrie 4.0** ?

Lassen Sie mich zunächst einiges zur **Fabrik der Zukunft** sagen !

SIEMAG Symposium 1987
Hannover-Messe Industrie 03.04.1987
Günter Spur, Strukturen künftiger Fabrikssysteme



Prof. Dr.-Ing. Günter Spur

* 28.10.1928 † 20.08.2013

1965 Leitung, Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb, TU Berlin

1976, Gründer, Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK

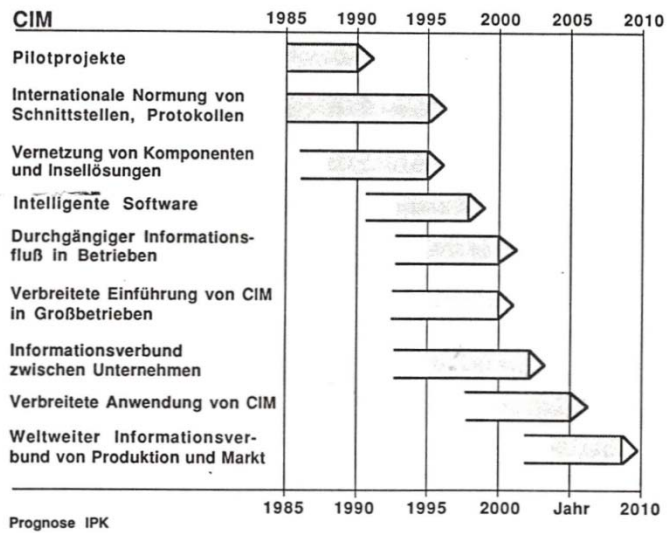
Emeritierung 1997

1991 – 1996 Gründungsrektor TU Cottbus

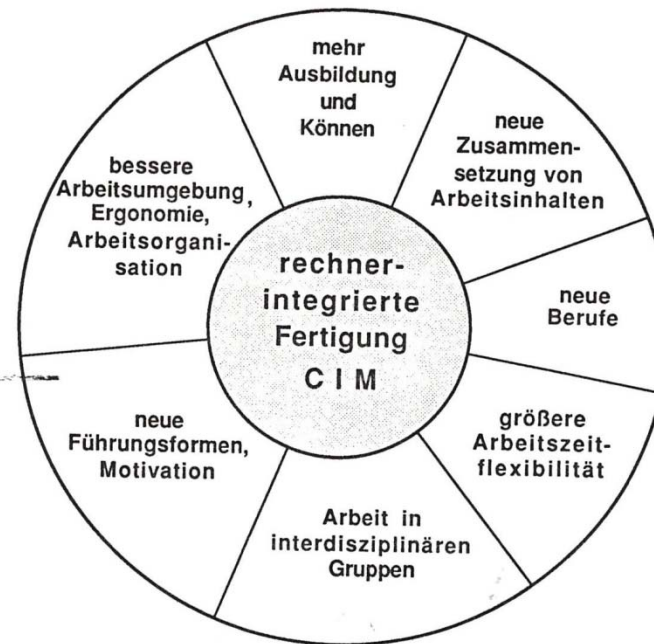
Neben Opitz/Aachen und Simon/Berlin Gründer des exapt-Vereins

Mitinitiator von acatech

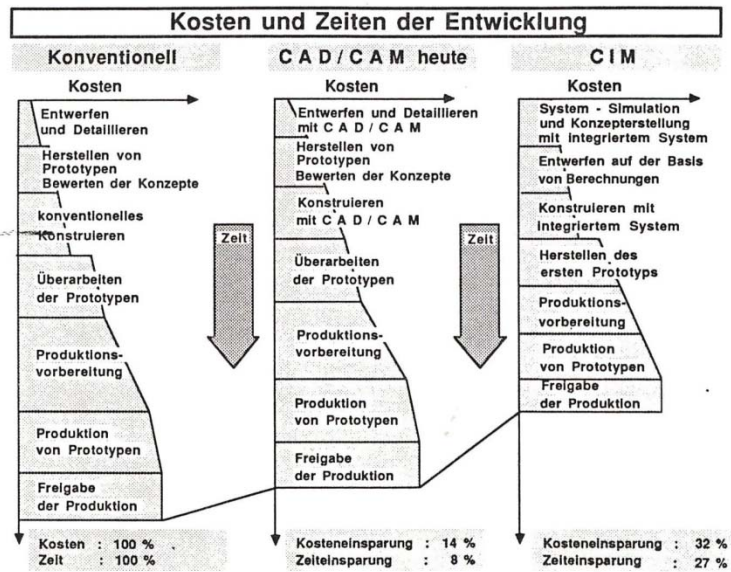
„Vater der Fabrik der Zukunft“



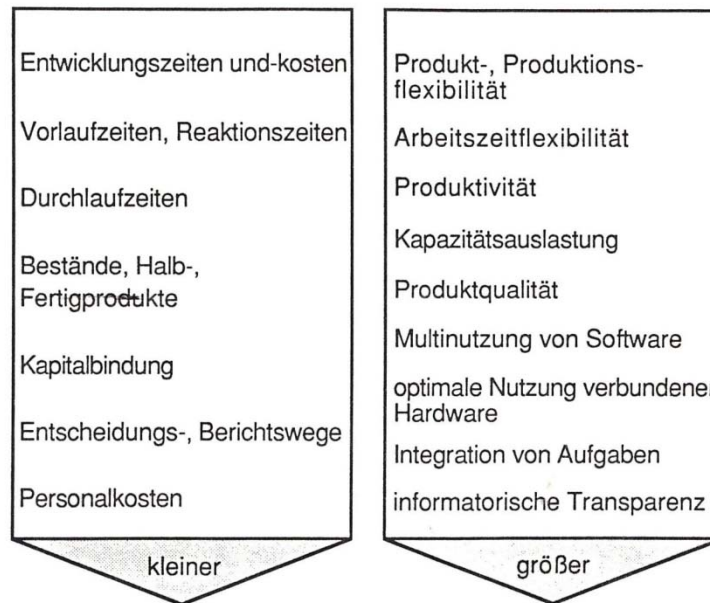
EINFÜHRUNGSZEITEN DER RECHNERINTEGRIERTEN FERTIGUNG




VERÄNDERUNG DER ARBEIT DURCH CIM




VERGLEICH KONVENTIONELLER UND RECHNERINTEGRIERTER
PRODUKTENTWICKLUNG;



VORTEILE DER RECHNERINTEGRIERTEN FERTIGUNG

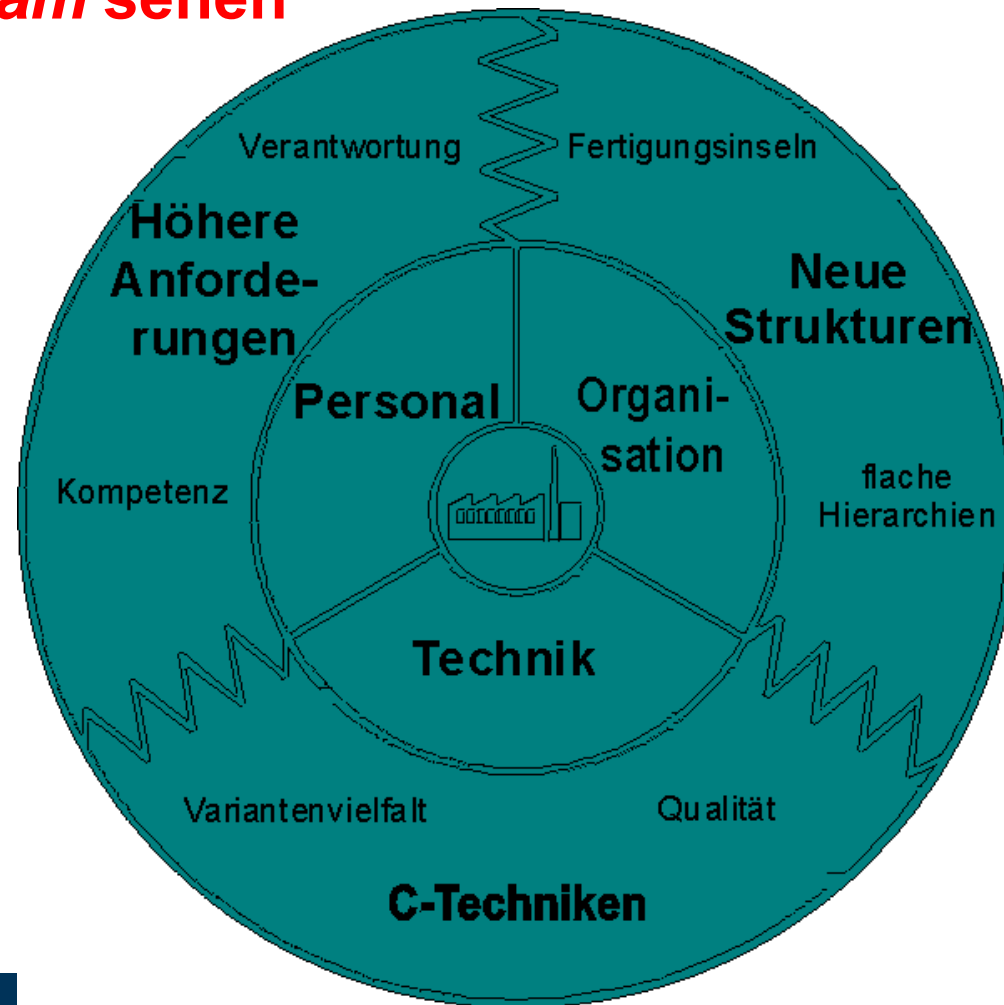
- 
- Wird die Flexibilität eines integrierten Informationssystems ergänzt durch ebenso flexible Fertigungsanlagen, so erhalten wir eine Produktion, die unabhängig von der Losgröße wirtschaftlich fertigen kann.
 - Die Produktion lässt sich daher mit enger Anpassung an die Nachfrage fahren.
 - In einer solchen Produktion wird die Kostendegression durch Erhöhung der Stückzahlen eine geringere Rolle spielen. Im Vorteil sind vielmehr Unternehmen, die viele verschiedene Produkte im Wechsel wirtschaftlich herstellen können.

- Wird die Flexibilität eines integrierten Informationssystems ergänzt durch ebenso flexible Fertigungsanlagen, so erhalten wir eine Produktion, die unabhängig von der Losgröße wirtschaftlich fertigen kann.
- Die Produktion lässt sich daher mit enger Anpassung an die Nachfrage fahren.
- In einer solchen Produktion wird die Kostendegression durch Erhöhung der Stückzahlen eine geringere Rolle spielen. Im Vorteil sind vielmehr Unternehmen, die viele verschiedene Produkte im Wechsel wirtschaftlich herstellen können.
- Die Darstellungsform grafischer Informationen wandelt sich beispielsweise von der Werkstattzeichnung zu einem rechnerinternen Werkstückmodell.

- 
- Hinter der data-driven-factory, der datengetriebenen Fabrik, steht das Wissen der Mitarbeiter, stehen Kenntnisse des Menschen, stehen die Erfahrung und die Fähigkeit und besonders die Kreativität des Menschen.
 - Somit ist CIM auch als strategische Weiterentwicklung des Produktionsbetriebes aufzufassen, das in einer Art Top-down-Entwicklung vom Management nach unten getragen werden muss. Andererseits wird ohne die Kopplung zur Basis ein wirkliches Zusammenwachsen der Integrationsbemühungen nicht möglich sein.
 - Lassen sich wesentliche CIM-Potentiale erschließen, wie

eine Verkürzung der Produktentwicklungszeiten
eine Verkürzung der Auftragsdurchlaufzeiten
eine betriebliche Simultanplanung


Technik, Organisation und Mensch *gemeinsam sehen*





Zielsetzungen, die mit PPS-Systemen erreicht werden sollen


<u>Ziel</u>	<u>1991</u>	<u>1995</u>	<u>2005</u>
Termintreue	61%	82%	84%
Flexibilität	37%	72%	88%
Kapazitätsauslastung	26%	49%	48%
Durchlaufzeiten	24%	67%	64%
Bestände	17%	67%	72%

Bewußtseinswandel !!!

- 
- CIM wird nach AWF (Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung e.V.) wie folgt definiert:
 - **CIM beschreibt den integrierten EDV-Einsatz in allen mit der Produktion zusammenhängenden Betriebsbereichen.**
 - dass **der Erfolg** des EDV-Einsatzes vor allem auch **durch** die sie nutzenden **Mitarbeiter beeinflusst** wird
 - Quelle: Eversheim, Kompendium „Organisation in der Produktionstechnik“ , 1997
Bd. 1 „Grundlagen“, VDI, 1996, S. 261

- 
- Computer Integrated Manufacturing (**CIM**) bezeichnet die **integrierte Informationsverarbeitung für betriebswirtschaftliche und technische Aufgaben eines Industriebetriebs.**
 - Das bedeutet die Verwirklichung der Integrationsidee EDV-Einsatz und rechnergestützter Informationsfluss in allen mit dem Fabrikbetrieb zusammenhängenden Bereichen.
 - Quelle: Eversheim, Bd. 3 „Arbeitsvorbereitung“, 1997, Springer-VDI, S. 263 f.

- 
- Während sich CIM im engeren Sinne auf die Belange der Produktion (Manufacturing) konzentriert, geht ein umfassenderes CIM-Verständnis darüber hinaus.
 - **Demnach schließt CIM auch die Gestaltung der zwischen- und überbetrieblichen Informationsflüsse mit ein. Damit hat CIM die gesamte Logistikkette unter dem Fokus der informationsflusstechnischen Integration zum Gegenstand.**
 - Wenngleich die Relevanz der CIM-Intention unstrittig ist, verzeichnet der CIM-Begriff einen erheblichen Bedeutungsverlust (Mertens 1995), welcher sich vorrangig durch die häufig anzutreffende, **leichtfertige Gleichsetzung von CIM mit vollständiger Automatisierung** erklärt.
 - Dies ist jedoch nicht generell zwingend und stellt eine Fehlinterpretation des CIM-Ansatzes dar.

- 
- Wo stehen wir heute ?
 - add-ons: Feinplanung rechnergestützt
 - pro-aktives Handeln: Simulation als Hilfsmittel, Szenarien untersuchen
 - Systematisches Herangehen an Teilaspekte (Logistik, Materialflusssysteme, Identifikationssysteme)
 - **Rapid Manufacturing**
 - Die Integration ist immer noch mehr ein Ziel als betriebliche Wirklichkeit



VDI-Richtlinie 4499, Blatt 1, Grundlagen zur digitalen Fabrik, Februar 2008

- Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen - u.a. der Simulation und der dreidimensionalen Visualisierung -, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden.
- Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt.

Additive Fertigung und die Fabrik der Zukunft

- RP wird zur „normalen“ Werkzeugmaschine
- statt „stand alone“ Integration in Fertigungs- und Montageabfolgen
 - automatisierte und eher manuelle Arbeitsplätze
 - Überlegungen zu neuen Abläufen
 - zu Automatisierungsmöglichkeiten
 - zum erforderlichen Umfeld (bspw. Konstruktion)

Fragestellungen

- Einordnung in Abläufe und Layout
- Materialver- und Entsorgung (insbesondere bei Materialwechsel, automatisiert, Reinigung etc.)
- Vereinzeln/Entwirren, Identifizieren
- Support o.ä. entfernen
- Ausschuss, Nacharbeit (QS)
- Weiterbearbeitung (bspw. automatisiert einspannen)
- Zwischenlagerung

Optimieren

- Rüstzeiten, Ausbeute, Taktfolgen, Puffer
- ERP
- Betriebszeitmodelle
- Geeignete RP-Verfahren
- Automatisierung \leftrightarrow Manuell
- Notfallstrategien, Instandhaltung
- Neue Montageverfahren (andere Freiheitsgrade des Konstrukteurs)

Das könnten Forschungsthemen sein, etwa für Verbundprojekte


- automatische Supportentfernung
- technische Kunststoffe (Metall zu teuer)
- einfache Materialwechsel


- preiswert
- sicher
- Unterstützung vom Hersteller erforderlich ?



Das könnten Forschungsthemen sein, etwa für Verbundprojekte


- automatischer Wechsel Bauplattform
- Reinigung, Identifikation der Teile, Montage

- 
- Über **additive Fertigung** , 3 D-Druck, rapid prototyping, rapid manufacturing
 - wissen Sie mehr als ich
 - **Fabrik der Zukunft**
 - und **Industrie 4.0 ?**

- 
- Über **additive Fertigung** , 3 D-Druck, rapid prototyping, rapid manufacturing
 - wissen Sie mehr als ich
 - **Fabrik der Zukunft**

Die Zukunft beginnt jetzt, in diesem Augenblick !

- und **Industrie 4.0** ?



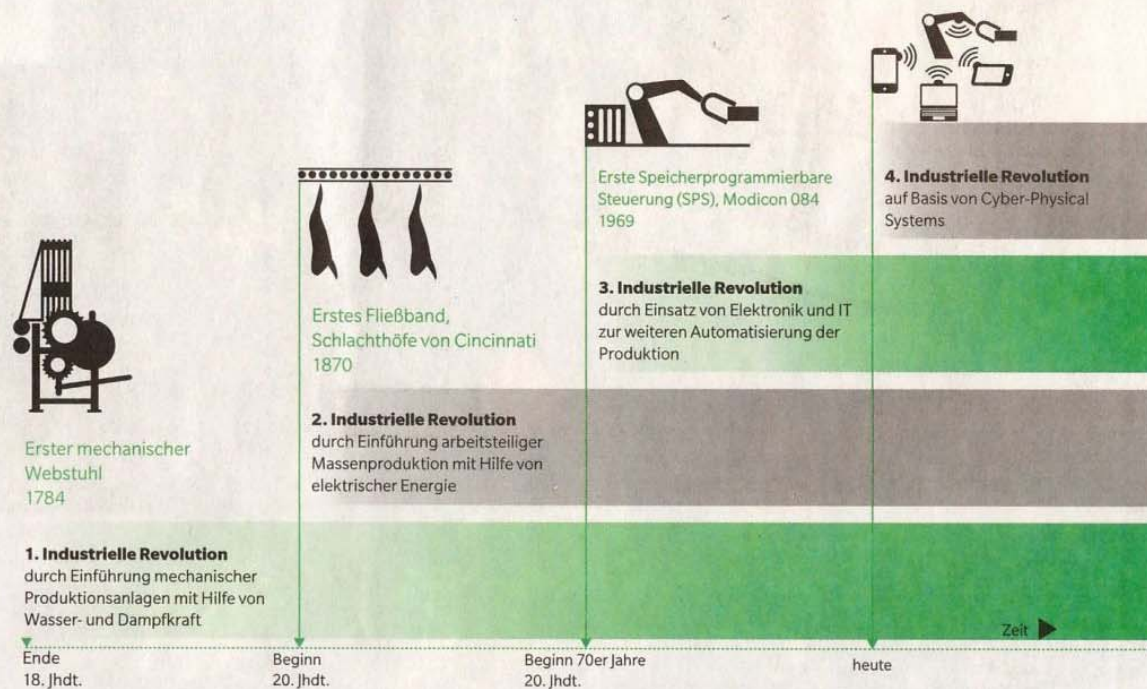
Wenn Prof. Eckstein von der TH Darmstadt 1992, vor genau 23 Jahren, in einer Prognose zur Entwicklung der Fabrik schreibt, er erwarte für 2000 bis 2010 die weltweite Vernetzung von Markt und Produktion, so werden wir diese Aussage nicht finden, wenn wir die Stichworte **Globalisierung** oder **Supply Chain Management** eingeben, obwohl er vermutlich dies gemeint hat, weil es bei Extrapolation der vor 23 Jahren erkennbaren Entwicklungen so zu erwarten war.

Die Delphi-Studie von 1998 kennt übrigens den Begriff **eCommerce** noch nicht.

Industrie 4.0: Erhebliche Investitionen erforderlich

Die Vernetzung von realer und digitaler Welt erreicht die Wirtschaft. Industrie 4.0 heißt diese Vision. Sie soll Deutschland wettbewerbsfähig halten. *Von Andreas Knoch*

DIE VIER STUFEN DER INDUSTRIELLEN REVOLUTION



in Deutschland zurzeit schlicht und einfach an der notwendigen digitalen Infrastruktur. Der Breitbandausbau in ländlichen Regionen – Voraussetzung für eine stärkere Vernetzung – kommt nur schleppend voran. Wenn Firmen mit ihren internationalen Kunden nicht einmal problemlos kommunizieren können, sind die industriellen Zukunftsträume 4.0 ganz weit weg.


Verlust von Datensouveränität

Ein kritischer Faktor ist zudem die Datensicherheit. Maßgeschneiderte Cyberangriffe auf die unternehmerischen „Kronjuwelen“ wie Entwicklungspläne oder Kalkulationen seien vor allem für kleinere Mittelständler ein großes Problem, sagt Hans-Georg Maaßen, Präsident des Bundesamts für Verfassungsschutz. Entsprechend zugeknöpft geben sich viele Firmen beim Stichwort Vernetzung. Hinzu kommt, dass Unternehmen bei der Analyse und Nutzung von Daten Gefahr laufen, den Anschluss zu verlieren. Unternehmen wie Google oder Amazon, die sich in immer mehr Bereichen des täglichen Lebens zwischen Hersteller und Endkunde drängeln, sind auf diesem Feld meilenweit voraus. „Der Verlust der Datensouveränität ist ein Risiko. Die Firmen müssen aufpassen“

Das **Zukunftsprojekt Industrie 4.0** zielt darauf ab, die deutsche Industrie in die Lage zu versetzen, für die Zukunft der Produktion gerüstet zu sein. Sie ist gekennzeichnet durch eine starke Individualisierung der Produkte unter den Bedingungen einer hoch flexibilisierten (Großserien-) Produktion. Kunden und Geschäftspartner sind direkt in Geschäfts- und Wertschöpfungsprozesse eingebunden. Die Produktion wird mit hochwertigen Dienstleistungen verbunden. Mit intelligenteren Monitoring- und Entscheidungsprozessen sollen Unternehmen und ganze Wertschöpfungsnetzwerke in nahezu Echtzeit gesteuert und optimiert werden können.

Die deutsche Industrie hat jetzt die Chance, die vierte industrielle Revolution aktiv mitzugestalten. Dabei lassen sich neuartige Geschäftsmodelle und erhebliche Optimierungspotenziale in Produktion und Logistik erschließen. Mit dem Zukunftsprojekt Industrie 4.0 wollen wir diesen Prozess unterstützen.

Quelle: BMBF



Die Bundesregierung hat Vorschläge aus diesem Expertenkreis schon vorab aufgegriffen und setzt seither die Forschungsagenda Industrie 4.0 um. Das BMBF hat für diese Forschungsarbeiten bisher Fördermittel in Höhe von über 120 Millionen Euro bewilligt. Die Forschungsarbeiten werden in Themenfeldern verfolgt, zu denen bisher sieben Förderbekanntmachungen veröffentlicht wurden. Das Bundeswirtschaftsministerium engagiert sich zudem ebenfalls in der Forschungsförderung mit Fördermitteln bis zu 80 Millionen Euro. Parallel dazu hat sich das Bundeswirtschaftsministerium insbesondere auf den Schwerpunkt Standardisierung und Regulierung konzentriert.

Quelle: BMBF, 2015

AUS FORSCHUNG SCHNELLER IN DIE PRODUKTION

Die Bundesministerin für Bildung und Forschung, Johanna Wanka:
„Industrie 4.0 wurde 2011 aus der Forschung heraus als Zukunftsprojekt formuliert. Heute ist das Konzept der Maßstab für den zukunftsfähigen Umbau der deutschen Industrie. Industrie 4.0 muss jetzt den Weg in die Praxis finden. Dazu ist eine verstärkte Koordinierung aller Beteiligten notwendig, aber auch konkrete Beispiele aus der Praxis für die Praxis. Das Bundesforschungsministerium treibt daher den Transfer aus der Forschung in die Werkshallen gezielt voran“

Quelle: Bundesministerin Prof. Dr. Johanna Wanka auf der Hannover-Messe 2015



Industrie 4.0

-

Additive Fertigung in der Fabrik der Zukunft

Und warum muss alles noch einmal neu erfunden werden, als Zielsetzung ?

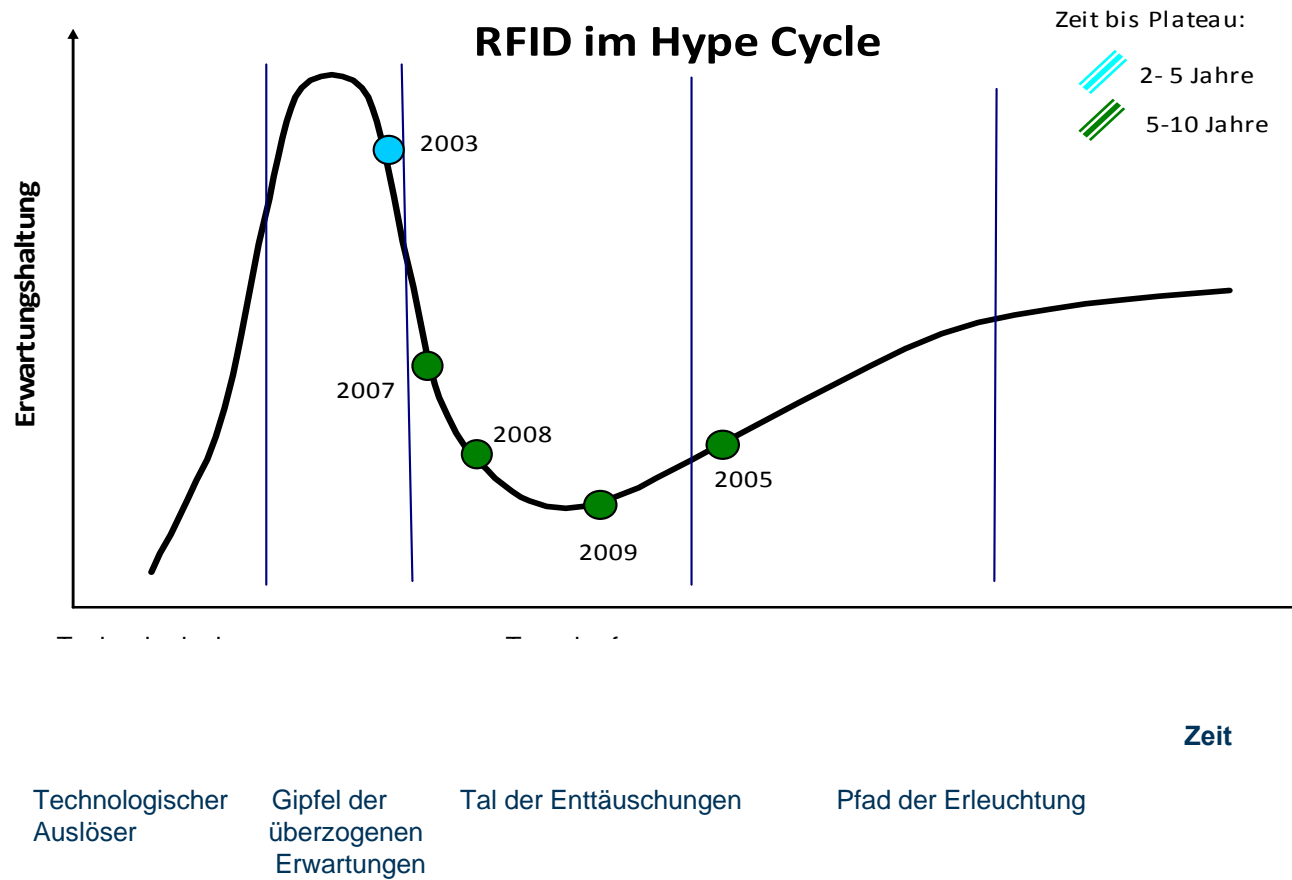
Leipzig 27.05.2015

Gesellschaftliche Akzeptanz stellt häufig ein zentrales Erfolgskriterium für neue Technologien dar, sodass ein positiver Grundtenor einer Innovation in den Medien die Marktdurchdringung unterstützen kann.¹⁶⁶ Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Innovation öffentliche Fördermittel erhält bzw. sich seitens der Politik um entsprechende rechtliche Rahmenbedingungen gekümmert wird, ist bei einer öffentlich akzeptierten und legitimierten Innovation viel wahrscheinlicher.¹⁶⁷

166 Vgl. Waldherr, A., Gatekeeper, Waldherr, A.: Gatekeeper, Diskursproduzenten und Agenda- Setter- Akteursrollen von Massenmedien in Innovationsprozesse in: Adam, S.; Pfetsch, B.: Massenmedien als politische Akteure: Konzepte und Analysen, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, S. 179.

Quelle: Diplomarbeit Isabel Lange, Internet der Dinge – Vision und Wirklichkeit, Ilmenau, 29.07.2010

Kommen wir zu spät ?



Quelle: Diplomarbeit Isabel Lange, Internet der Dinge - Vision und Wirklichkeit, TU Ilmenau, September 2010

Industrie 4.0

-

Additive Fertigung in der Fabrik der Zukunft

Mein Rat an Sie:

Industrie 4.0 betreiben Sie offenbar seit langem, Sie sind permanent in der Zukunft, auch morgen und übermorgen

Bilden Sie Konsortien, nutzen Sie die scheinbar neuen Begriffe und bedienen Sie sich an den Futtertrögen - derzeit 200 Mio €!



Tabellarischer Lebenslauf

Herr Prof. Dr.-Ing. Klaus Liefeith

- 1956 geb. am 27.07.1956 in Sollstedt, Landkreis Nordhausen, Bundesrepublik Deutschland
- 1977 - 1982 Studium der Technologie, Mechanik und Materialwissenschaften am Technischen Institut der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena
- 1982 Abschluss als Diplomingenieur; Prädikat „Sehr Gut“
Thema der Diplomarbeit:
Ermittlung des komplexen Elastizitätsmoduls von Gläsern
- 1982 - 1986 Wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Mechanik des Technischen Institutes der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena,
- 1988 Promotion A zum Dr.-Ing. auf dem Gebiet der Technischen Grundlagenwissenschaften; Prädikat „Summa cum laude“
Thema der Dissertation:
Ein Beitrag zur Bestimmung der Temperatur- und Frequenzabhängigkeit mechanischer und elektrischer Kennwerte optischer Gläser
- 1987 - 1991 Projektleiter für Materialforschung im Bereich der Bioverfahrenstechnik und der Biotechnologie im Zentrum für wissenschaftlichen Gerätebau der Akademie der Wissenschaften
- seit 1992 Leiter des Fachbereiches Biowerkstoffe am Institut für Bioprocess- und Analysenmesstechnik e.V. (iba) Heilbad Heiligenstadt (Landesforschungseinrichtung des Freistaates Thüringen)
- Hauptarbeitsfeld
Wechselwirkungsphänomene zwischen biologischen Systemen und technischen Materialoberflächen
- 2009 Bestellung zum Professor im Namen des Freistaates Thüringen durch die TU Ilmenau mit dem Lehrgebiet „Biofunktionale Oberflächen und Strukturen“

Mitglied zahlreicher wissenschaftlicher Organisationen:

DGM, DGBM, ESB, Thüringer AG Biomaterial, Gesellschaft für Technische Biologie und Bionik (GTBB)

Vorsitzender der Thüringer AG Biomaterial e.V.

Leiter des Fachausschusses „Oberflächen und Beschichtungen in der Bio- und Medizintechnik“ der Europäischen Forschungsgesellschaft für dünne Schichten (EFDS)

zwei Kinder: Thomas Liefeith, geb. am 25.09.1982, Diplomkaufmann
Teresa Liefeith, geb. 29.10.1989, Studentin der Amerikanistik an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Kurzreferat:

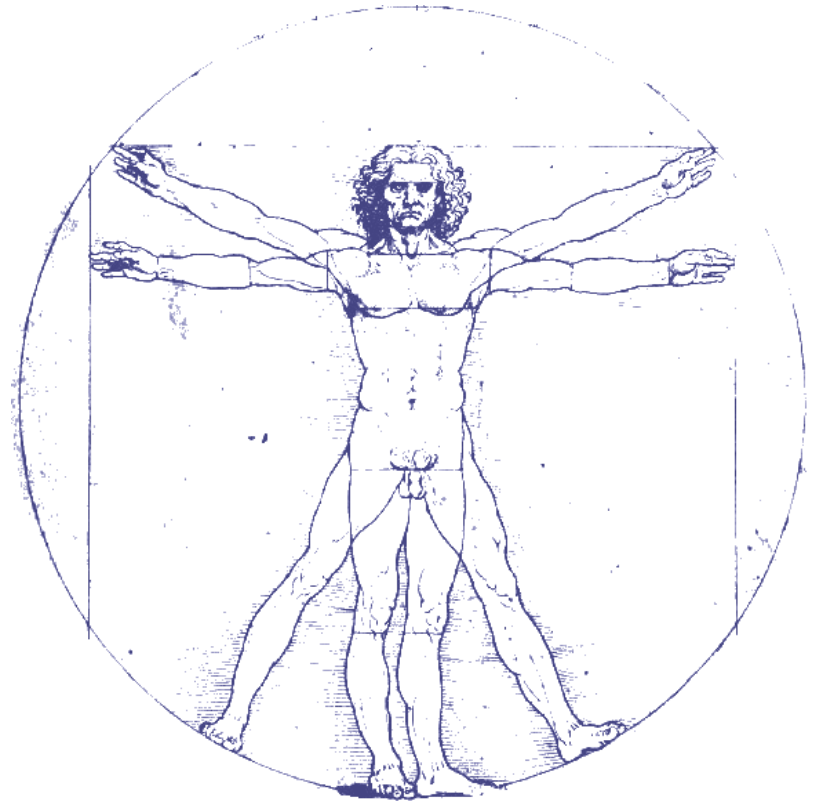
Die Entwicklung von ECM-analogen 3D – Biointerfaces für die Biologie und Medizin

Klaus Liefeith, Institut für Bioprozess- und Analysenmesstechnik e.V., 37308 Heilbad Heiligenstadt (iba)

Aufgrund der demographischen Entwicklung im Hinblick auf eine zunehmend alternde Bevölkerung kommt der Nachfrage nach operativen Rekonstruktions- und Wiederherstellungsstrategien von erkrankten, verletzten oder altersbedingt degeneriertem Gewebe eine ständig wachsende Bedeutung zu. Zu den vielversprechendsten Lösungen zur Geweberegeneration zählt die sich schnell entwickelnde Disziplin des Tissue Engineerings. Diese Technik soll es ermöglichen, geschädigtes Gewebe zu regenerieren oder wiederherzustellen ohne dabei nur sehr beschränkt verfügbare Transplante bzw. Spenderorgane in Anspruch zu nehmen. Das Tissue Engineering gilt generell als ein Teilgebiet der Regenerativen Medizin.

Im Allgemeinen unterscheidet man hier zelluläre und azelluläre Therapieansätze. Die grundsätzliche Herangehensweise beim Tissue Engineering basiert auf dem Konzept, das in der Regel autologe Zellen auf einem biofunktionellen Zellträger (Scaffold) kultiviert werden, der einerseits als temporäre Vorlage für ein neues Gewebewachstum fungiert und andererseits eine physiologische Zelldifferenzierung einschließlich einer natürlichen ECM-Produktion initiieren soll, um dann in den Defekt implantiert zu werden. Mit der Zwei-Photonen-Polymerisation (2PP) steht ein maskenfreies Rapid Prototyping Verfahren zur Verfügung, mit dem geeignete photosensitive Polymere, wie verschiedene Copolymere des Systems DL-Laktid ϵ Caprolacton-Methacrylat strukturiert werden können, um eine optimale Matrixarchitektur und geeignete mechanische und biochemische Eigenschaften einer artifiziellen ECM bereitstellen zu können. Hierbei können trotz einer möglichen Ortsauflösung von < 100 nm bereits heute Scaffolds im Zentimeterbereich mit maßgeschneiderten mechanischen Eigenschaften hergestellt werden, die für die Entwicklung von künstlichem Gewebe prädestiniert sind. Voraussetzung dafür war die Entwicklung von kommerziell tauglicher Anlagentechnik durch die TETRA Gesellschaft für Sensorik, Robotik und Automation mbH mit Sitz in Ilmenau.

Development of ECM-analogous 3D-Biointerfaces for Biology and Medicine



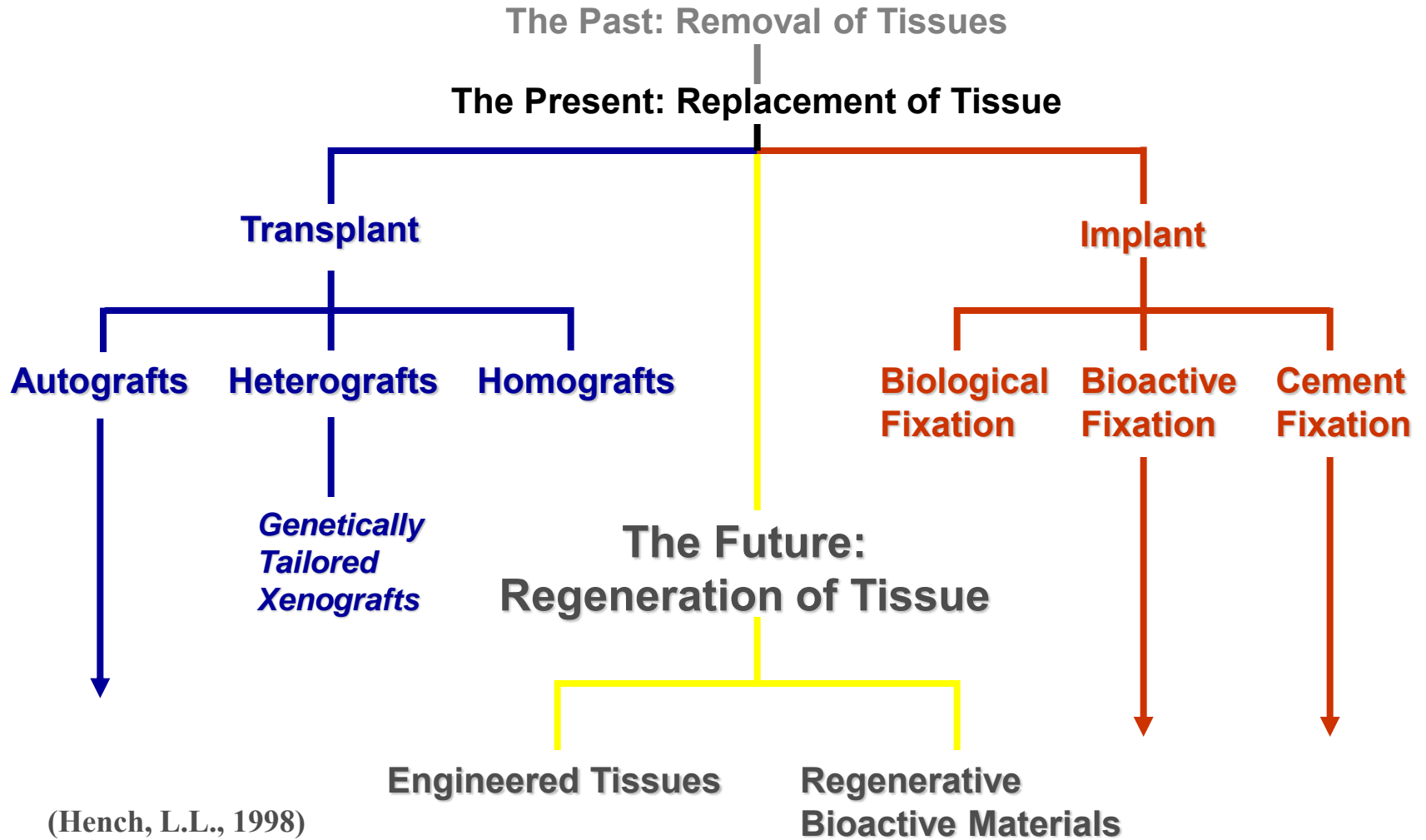
Klaus Liefeith

Institute for Bioprocessing and Analytical Measurement Techniques
Heilbad Heiligenstadt / Department of Biomaterials

Contents:

- 1. Regenerative Medicine & Organ Transplantation**
- 2. Rapid Prototyping & Two Photon Polymerization**
- 3. The LCM – Platform & Two Photon Polymerization**
- 4. Functional Biointerfaces based on Two-Photon-Polymerisation**
- 5. Development and Testing of an Industrial 2PP-Facility**
- 6. Conclusions & Outlook**

Historical Development



21st Century Challenges for Biomaterials

The development during the 20th century resulted in a greatly increased life expectancy.

As a consequence we will have tens of millions of people aged between 60 and 100 in the 21st century!

➔ A progressive path of deterioration starts from the age of 30 involving all tissues and organs.

➔ Replacement of aged, diseased or damaged tissues by today's biomaterials / implants has become routine but many factors lead to progressive loss of devices (15-50% failure over a 10-30 year lifetime).

**Stiffness
mismatch**

Fatigue

Wear

**Interface
failure**

REGENERATION vs. REPLACEMENT

21st Century Challenges for Biomaterials

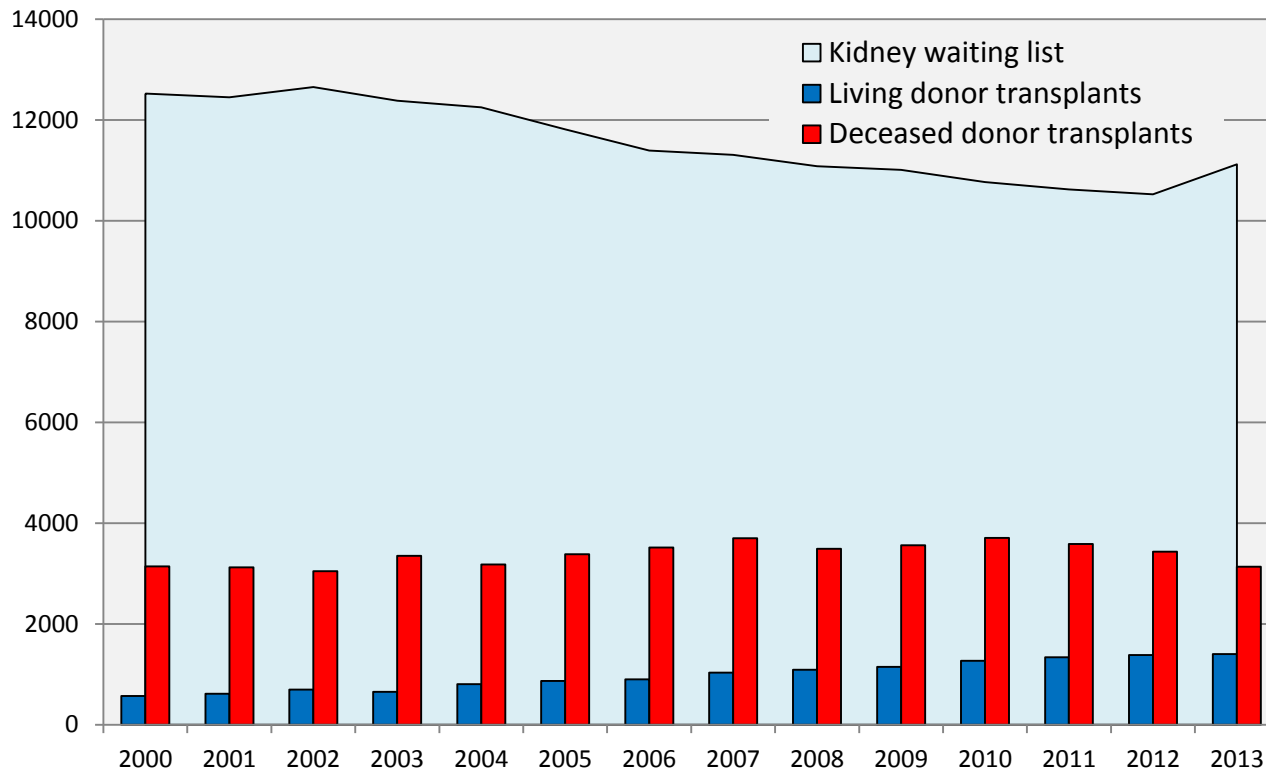


Eurotransplant

Annual Report 2013

Eurotransplant International Foundation

Dynamics of the Eurotransplant kidney waiting list and transplants between 2000 and 2013



21st Century Challenges for Biomaterials

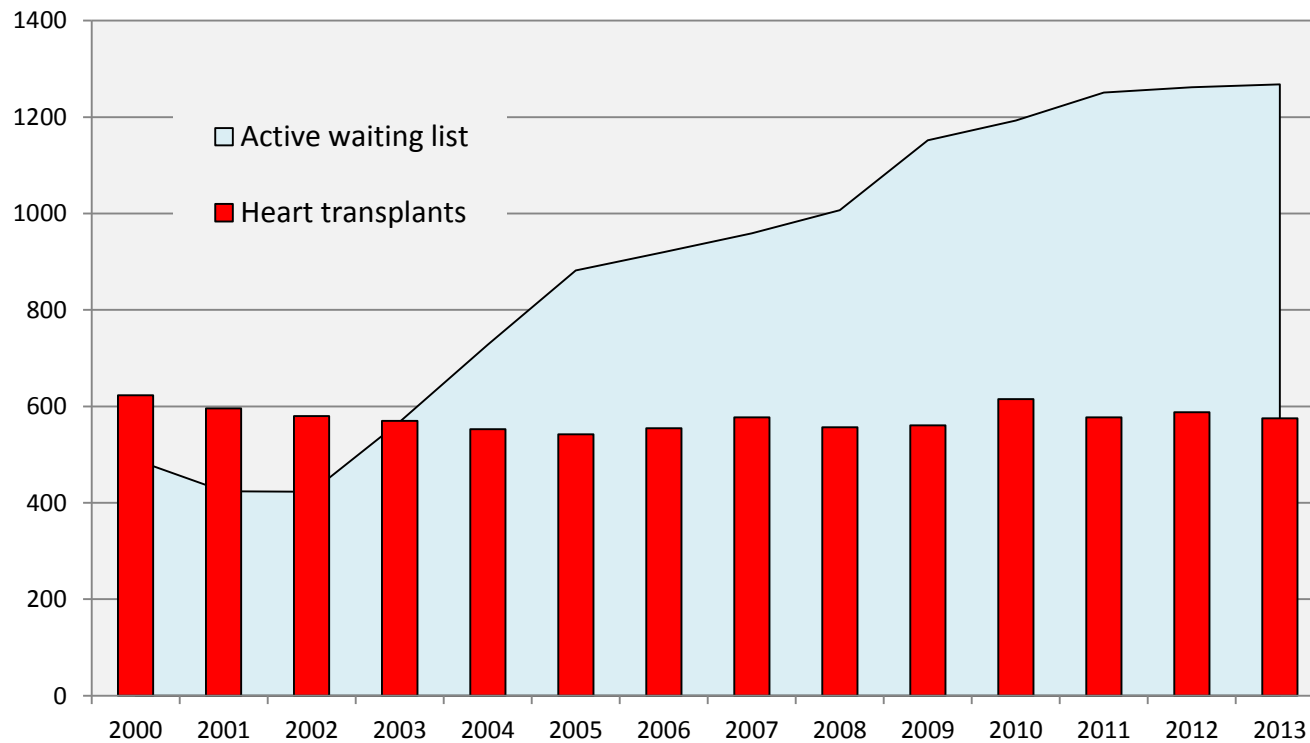


Eurotransplant

Annual Report 2013

Eurotransplant International Foundation

Dynamics of the Eurotransplant heart waiting list and transplants between 2000 and 2013

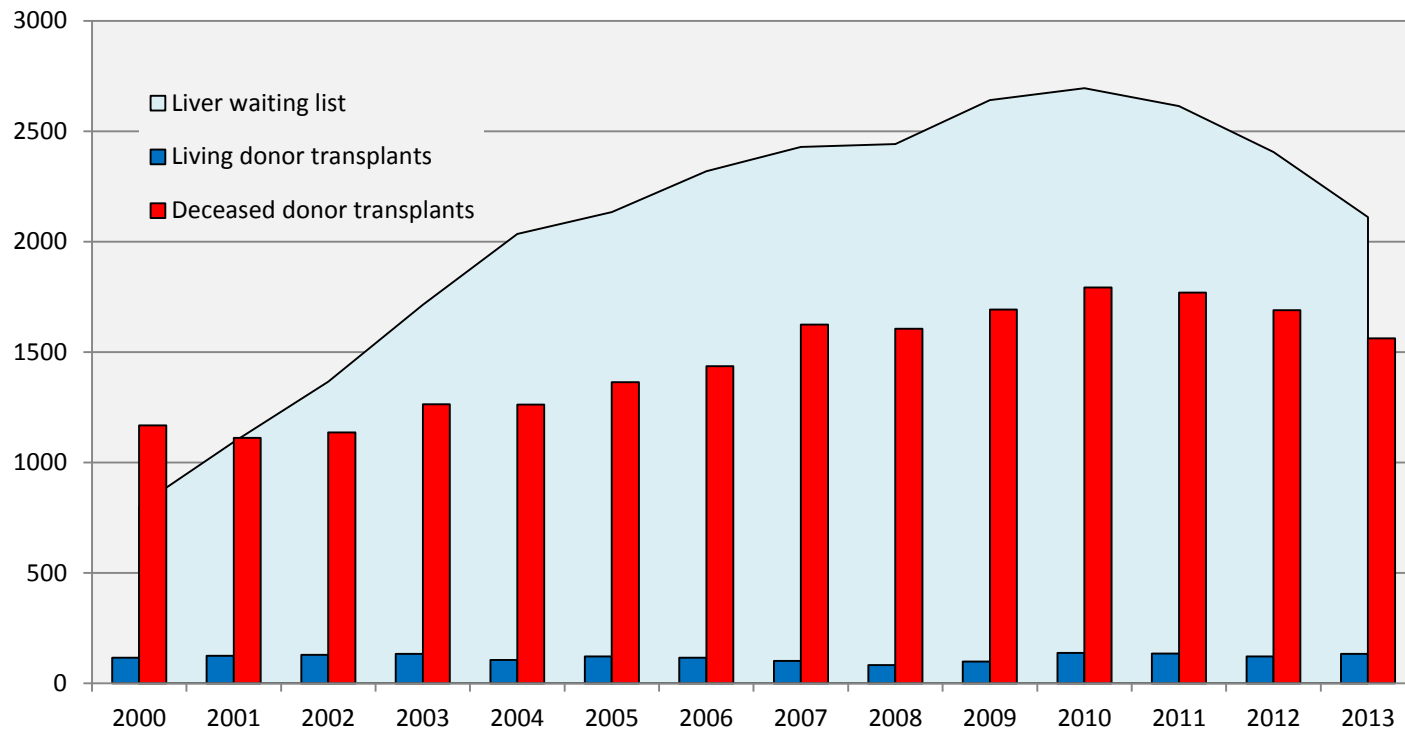


21st Century Challenges for Biomaterials

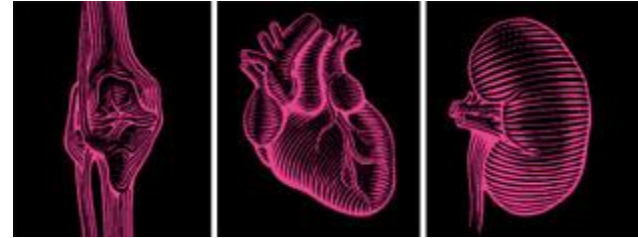


Annual Report 2013
Eurotransplant International Foundation

Dynamics of the Eurotransplant liver waiting list and transplants between 2000 and 2013



Red Market: Organ Price Points



HEARTS

Price: Legal: \$997,700 / Illegal: \$119,000

Source: Legal: Deceased donors / Illegal: Chinese prisoners

LIVERS

Price: Legal: \$557,000 / Illegal: \$157,000

Source: Legal: Living donors, deceased donors / Illegal: Executed prisoners, Filipino slum-dwellers

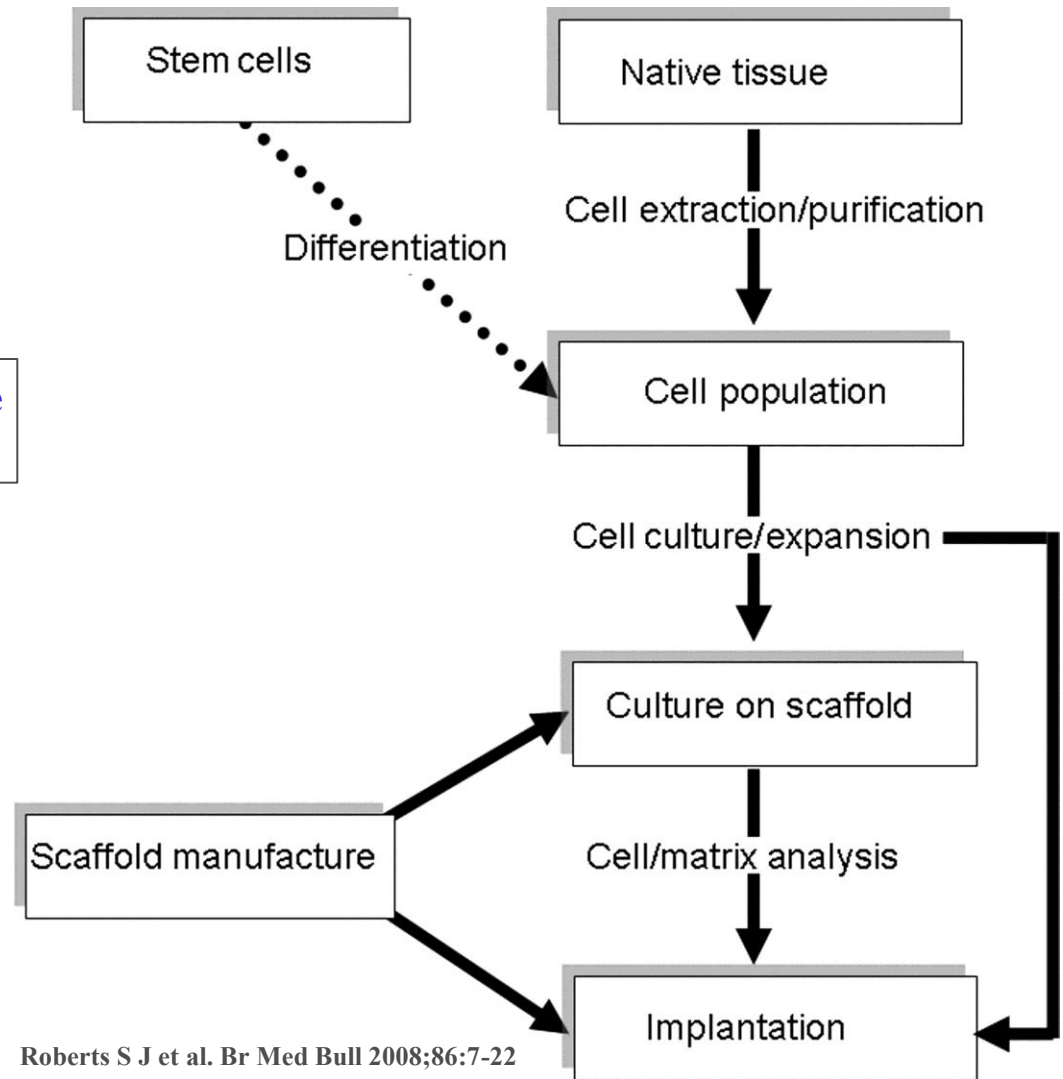
KIDNEYS

Price: India: \$15,000 / China: \$62,000 / US: \$262,900

Source: Legal: Living donors, deceased donors / Illegal: Paid donors, executed prisoners

Scott Carney, The Red Market, 2011.

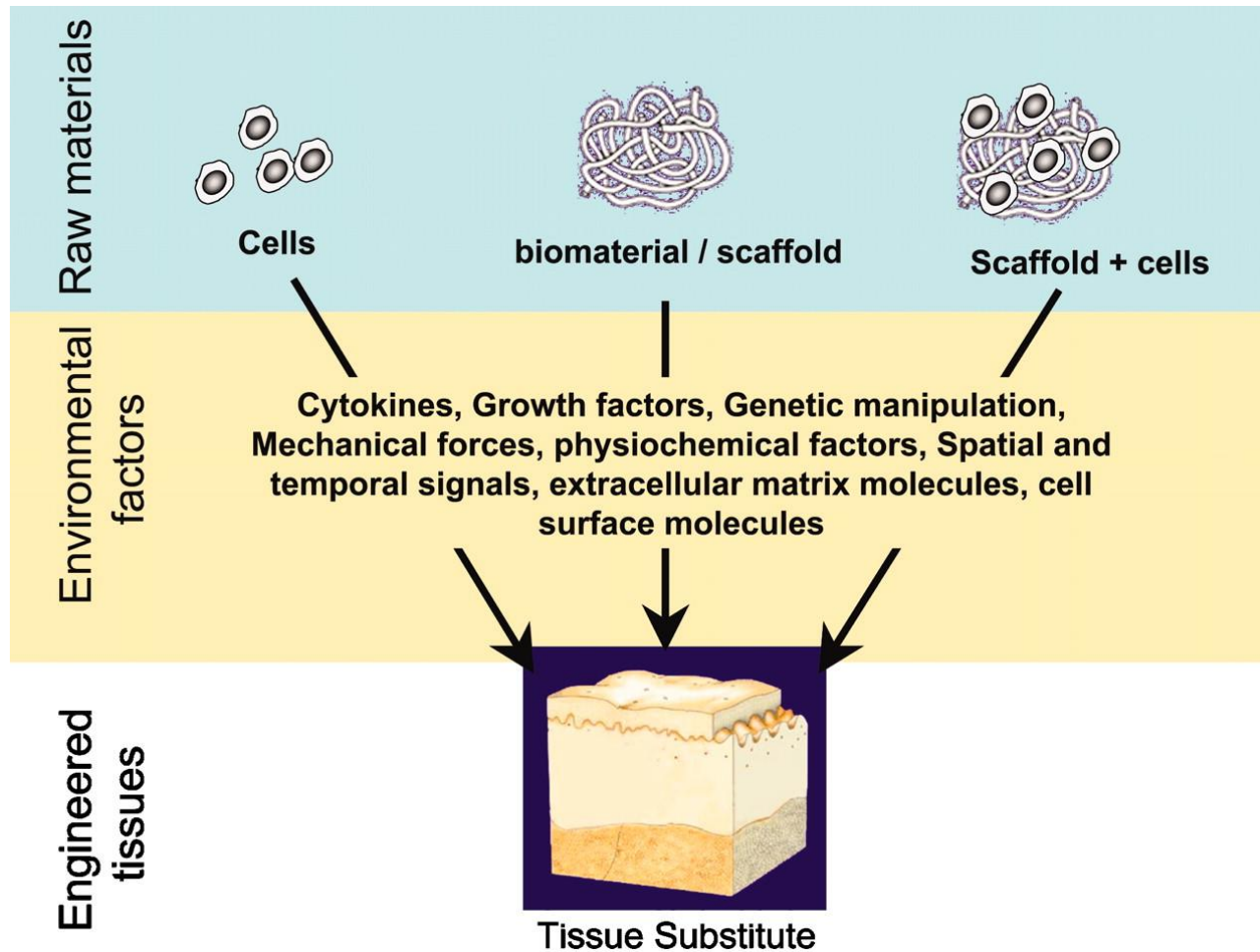
Definition of Tissue Engineering



Schematic diagram demonstrating the theory behind Tissue Engineering:

Roberts S J et al. Br Med Bull 2008;86:7-22

Definition of Tissue Engineering



Khademhosseini, A. et al. PNAS 2006;103:2480-2487

Definition of Tissue Engineering

Some properties an ideal scaffold should have:

- (1) be biocompatible and bioactive, promoting osteogenic cell attachment and bone formation**
 - (2) act as a template for bone growth and therefore have an interconnected porous structure**
 - (3) resorb safely in the body and have a controllable degradation rate**
 - (4) exhibit mechanical properties similar to that of the host bone**
 - (5) have a fabrication process which allows the scaffold to be shaped to fit a range of defect geometries and be up-scalable for mass production**
- and**
- (6) be sterilizable and meet the regulatory requirements for clinical use**

Rapid Prototyping & Two Photon Polymerization

Prototyping Process Comparison

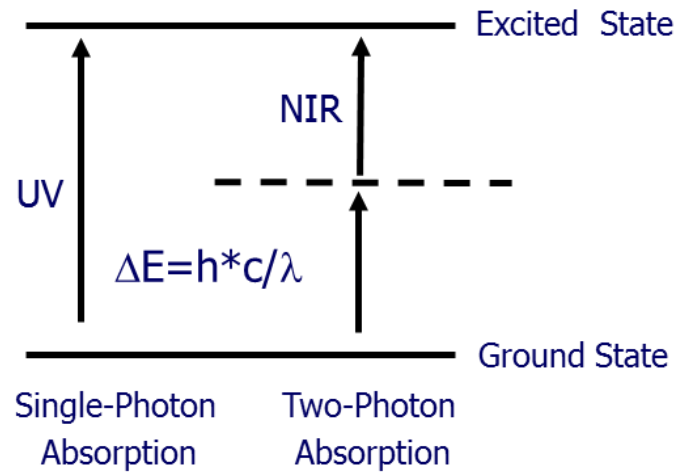
Process	Description	Strength	Finish	Typical Layer Thickness	Example Materials
SLA	Stereolithography	Laser cured polymer	17.2 – 68.9 (MPa)	Good Additive layers	0.051 – 0.152 mm „Thermoplastic -like“ photopolymers
SLS	Selective Laser Sintering	Laser sintered powder	36.5 – 77.9 (MPa)	Fair / Good Additive layers	0.102 mm Nylons, Metals
FDM	Focused Depositioning Molding	Fused extrusions	35.9 – 67.6 (MPa)	Fair Additive layers	0.127 – 0.330 mm ABS, PC, PC/ABS, PPSU
3DP	Three Dimensional Printing	Liquid binder inkjet printed onto powder	Low	Fair Additive layers	0.089 – 0.203 mm Plaster-based powder / Liquid binder
Pjet	Poly-Jet	UV-cured jetted polymer	49.6 – 60.3 (MPa)	Good Additive layers	0.015 – 0.300 mm Acrylic based photopolymers Elastomeric polymers
CNC	Computer Numerical Controlled (Machining)	Machined using CNC mills	20.7 – 137.9 (MPa)	Excelent subtractive machined (smooth)	Engineering grade thermoplastic / aluminium
RIM	Rapid Injection Molding	Injection moulded using aluminium tooling	21.4 – 137.9 (MPa)	Excelent Moulded smooth (or with selected texture)	Engineering grade thermoplastic

Rapid Prototyping & Two Photon Polymerization

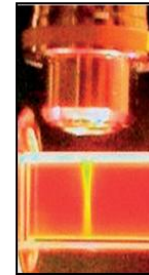
Prototyping Process Comparison

Attribute	SLA	SLS	FDM	3DP	Pjet	CNC	RIM
Quantity	-	-	-	-	-	0	+
Complexity	+	+	+	+	+	0	+
Surface Finish	0	0	-	-	0	+	+
Material Choice	0	-	-	-	-	0	+
Material Stability	-	0	+	-	-	+	+
Color	-	-	0	+	-	-	+
Tolerance	-	-	-	-	-	+	+
Speed	+	+	+	+	+	+	0
Price – Low Volume	+	+	+	+	+	0	-
Price – High Volume	-	-	-	-	-	-	+
		Good	+	Fair	0	Poor	-

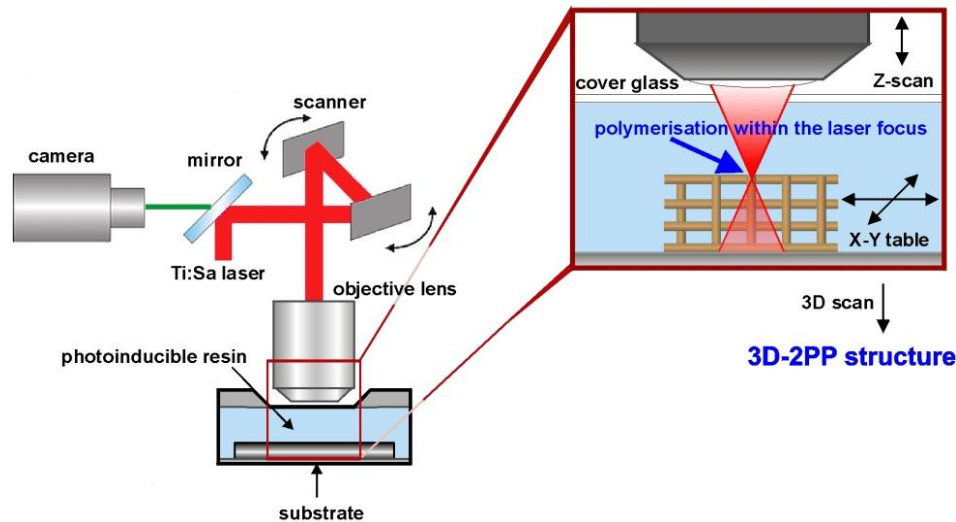
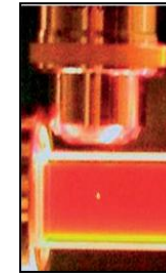
Rapid Prototyping & Two Photon Polymerization



Single-Photon Absorption

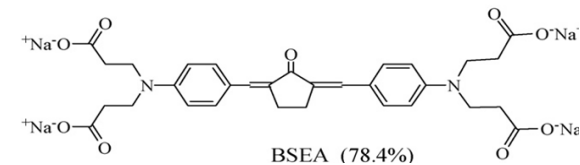


Two-Photon Absorption



NIR-Ti:Sa Femtosecond Laser

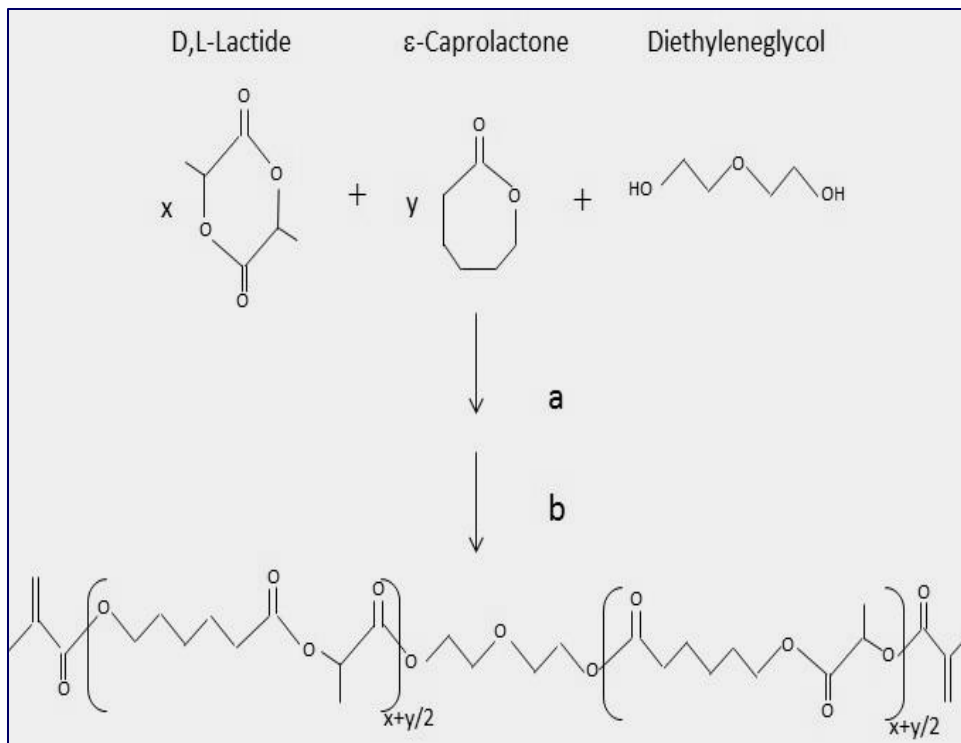
- $\lambda = 720 - 900 \text{ nm}$
- 80 MHz Repetition Rate
- Focus Volume (Voxel) $\lambda/2 \ 500 \text{ nm}$
- typical writing velocities 1,000-5,000 $\mu\text{m/s}$;
Max. 30,000 $\mu\text{m/s}$



- Optimized two-photon absorber (0.1 %)
Wan X, Zhao Y, Xue J, Wu F, & Fang X (2009)
Journal of Photochemistry and Photobiology A:
Chemistry 202(1):74-79.

The LCM – Platform for Two Photon Polymerization

Macromonomers were synthesized using diethylene glycol (DEG) as an initiator for the ring opening polymerizations of D,L-lactide and ϵ -caprolactone and combinations of the two monomers:



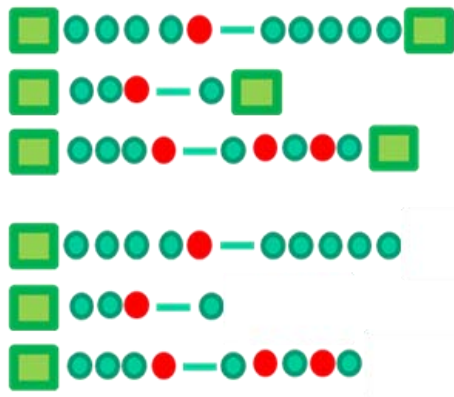
1st step (a):

- Ring-opening polymerization
- Monomers D,L-Laktide, ϵ -Caprolactone
- Initiating alcohol diethylene glycol
- Catalyst stannous ethylhexanoate
- 130°C, 6h

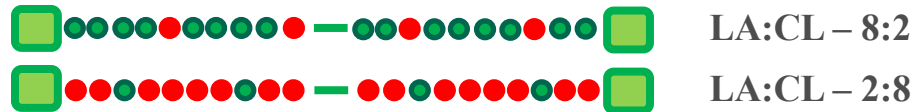
2nd step (b):

- Methacrylation
- Methacryloylchloride + Triethylamine
- 0°C, 2h ; stirred overnight
- Purification by precipitation in hexane





The LCM – Platform for Two Photon Polymerization



Establishment of a Biopolymer-Platform based on changed initial molar ratios of LA:CL in the feed:

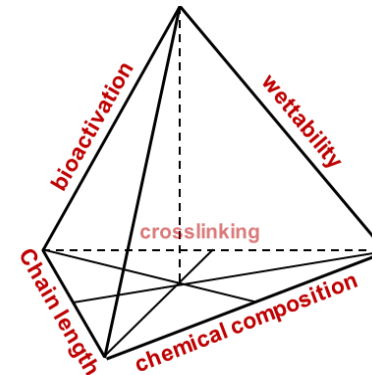


Extension of the Biopolymer-Platform by mixing of two-sided methacrylated macromonomers with one-sided methacrylated macromonomers while retaining the LA:CL ratio:

-  Lactide (LA)
-  Caprolactone (CL)
-  Diethylene glycol (DEG)
-  Methacrylate



System solution:



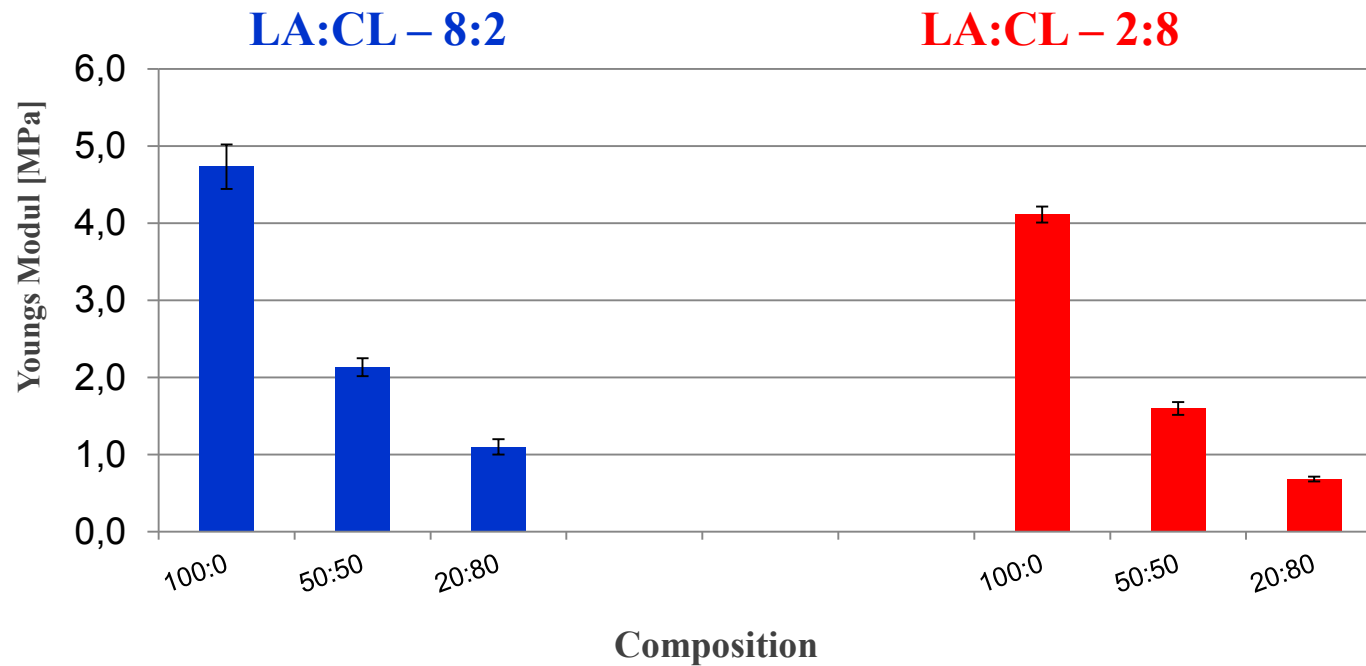
Regenerative Medicine needs 'tailor-made':

- i. Hydrophobicity
- ii. Stiffness
- iii. Degradation Kinetics

The LCM – Platform for Two Photon Polymerization

Extension of the Biopolymer-Platform by mixing of two-sided methacrylated macromonomers with one-sided methacrylated macromonomers for two representative LA:CL ratios:

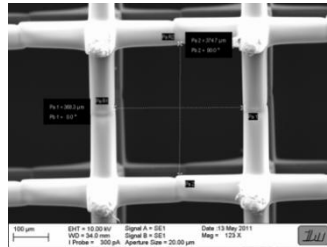
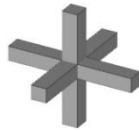
Addition of mono-methacrylated macromonomers by 50% and 80%!



The LCM – Platform for Two Photon Polymerization

STL-Files and 2PP-Structures:

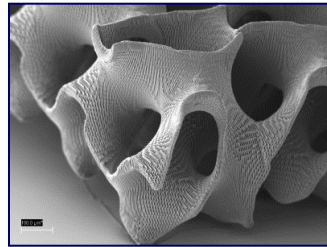
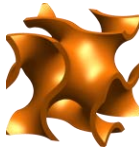
Cubic Lattice



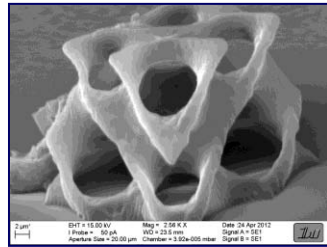
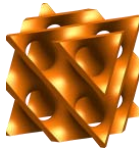
TPMS-Structures

(Triple Periodic Minimal Surfaces)

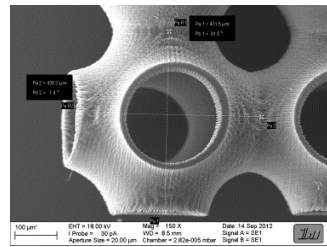
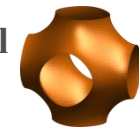
Gyroid-Model



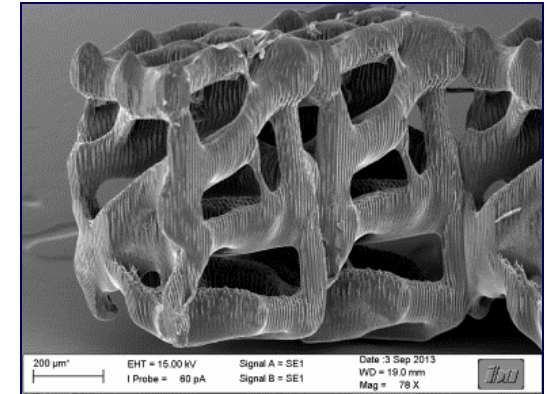
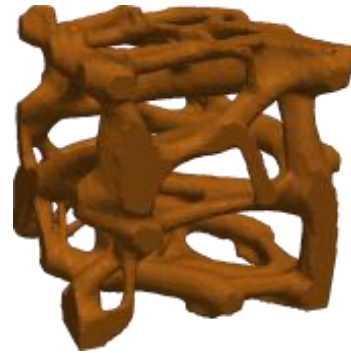
Diamond-Model



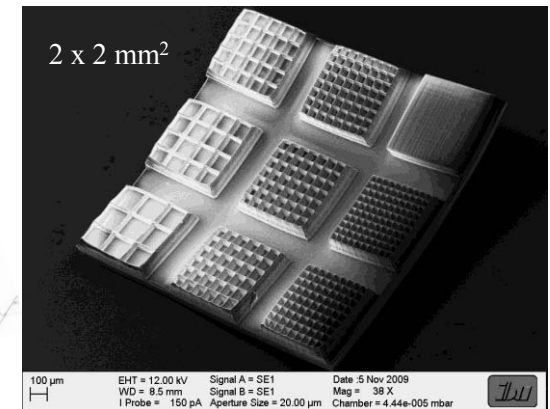
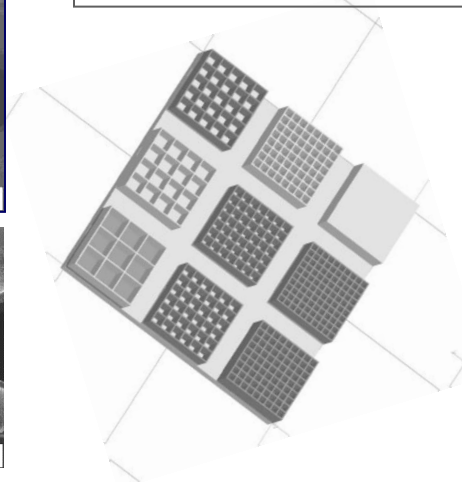
Schwarz P-Model



Trabecular Bone Structure

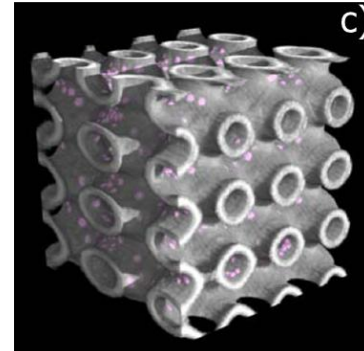
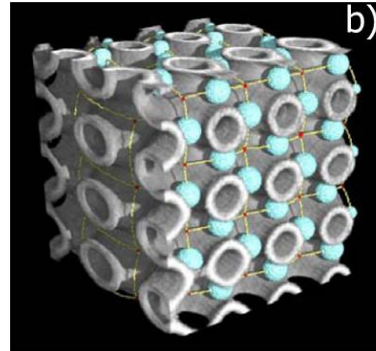
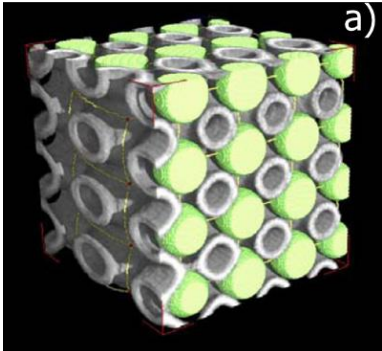


Topography – Chip [Topo-Chip]



The LCM – Platform for Two Photon Polymerization

Scheme of the modulation sizing (8 mm^3) the pores by fitting maximized balls into it. The structures were generated by μCT .



Superposition of the maximal inscribed spheres used for the characterization of:

- a) pores
- b) throats (size of interconnects)
- c) walls

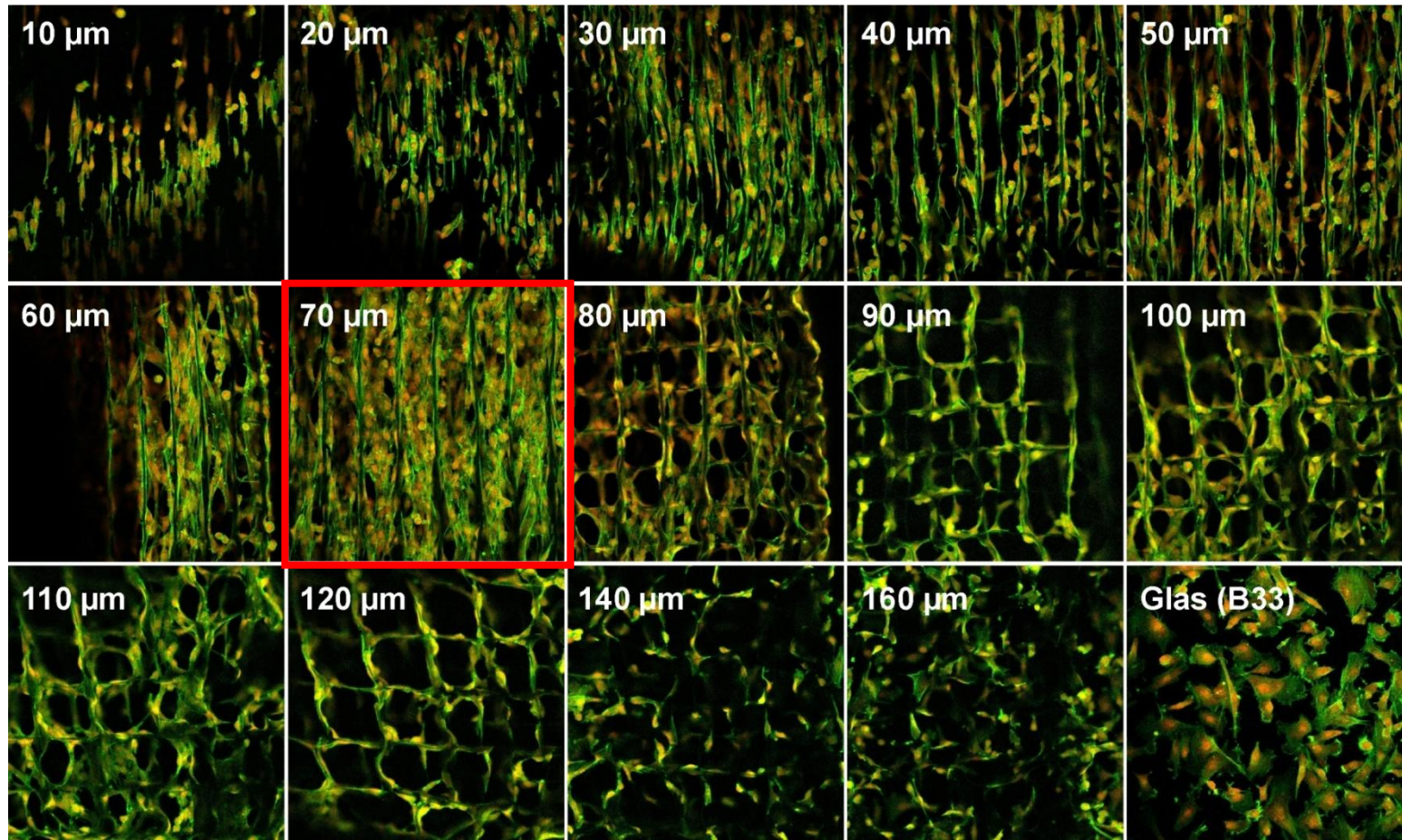
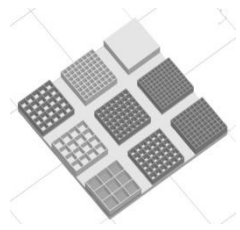
Parameter	Value
Volume Density	0.353
Specific Surface Area	9.353 mm^{-1}
Pore size	$300 \pm 40 \mu\text{m}$
Throat size	$130 \pm 30 \mu\text{m}$
Wall size	$70 \pm 10 \mu\text{m}$

C. Dullin, SISSA,
Trieste, Italy



Functional Biointerfaces based on Two-Photon-Polymerisation

Influence of the structure on the cellular reaction of bovine chondrocytes seeded on a Topo-Chip:



Structure



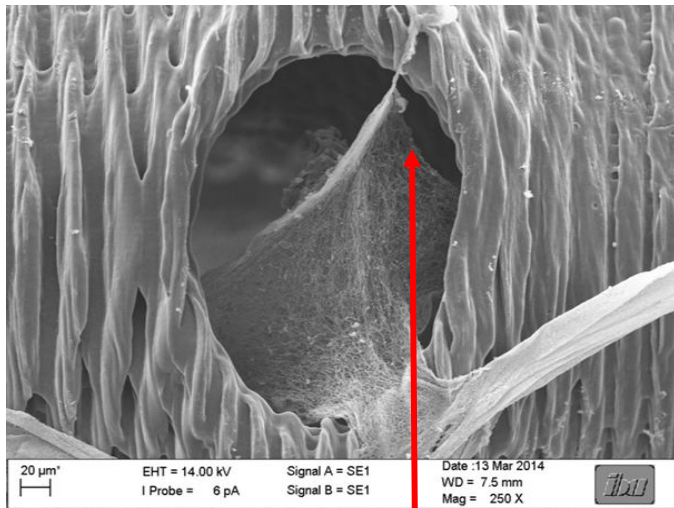
Property



Correlation

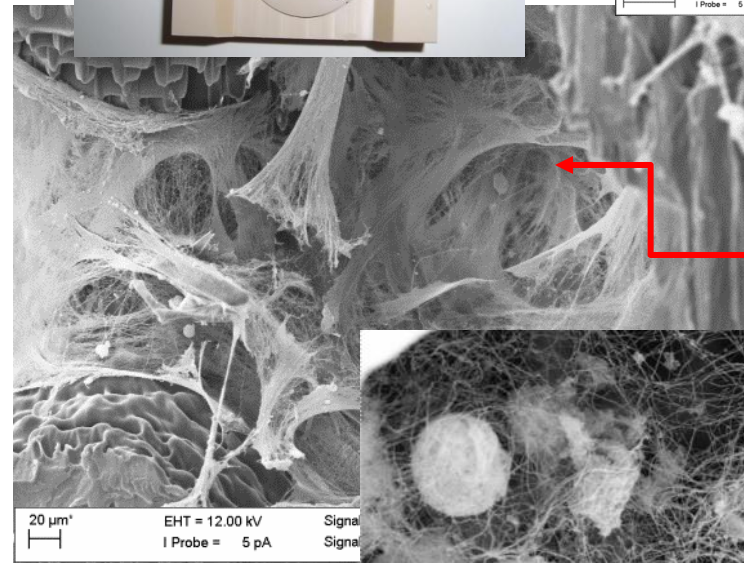
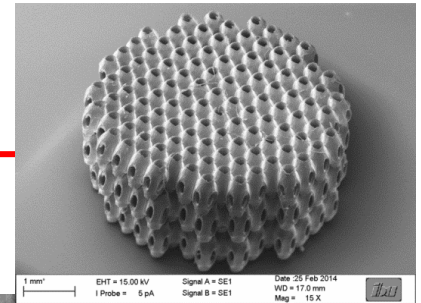
Functional Biointerfaces based on Two-Photon-Polymerisation

Cell Cultivation of Bone Progenitor Cells within a BioMEM equipped with a Schwarz P-Scaffold

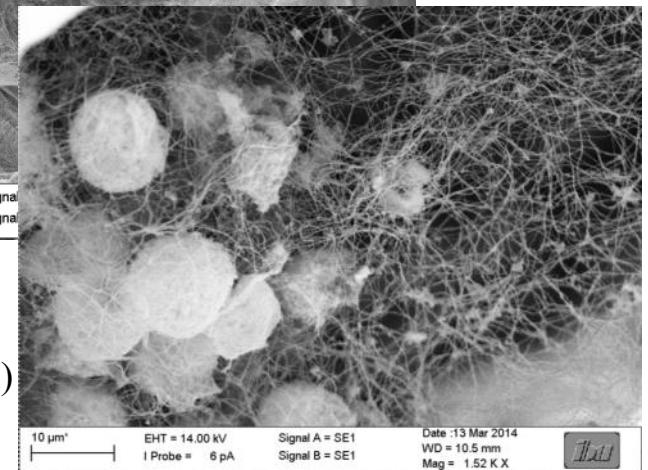


Collagen + Cells

Successful Immobilisation of MC3T3 E1 Cells producing Collagen (ECM) within a Schwarz-P-Structure (duration: 7d, without loss of viability).



3D – Cell Culture



Functional Biointerfaces based on Two-Photon-Polymerisation: Bioinspired Strategies to improve the Therapy of Bone & Cartilage Defects

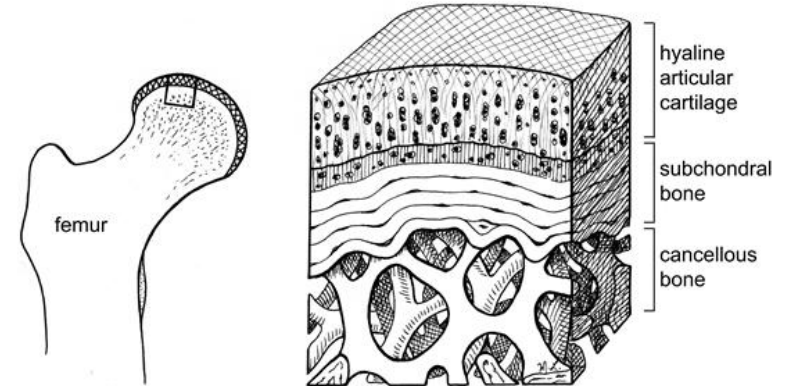
Arthritis, in any of its manifestations has prevalence rates around the world of between 14 and 18%.

These diseases are characterised by cartilage degradation, bone sclerosis and synovial inflammation which currently lead to an irreversible loss of joint function.

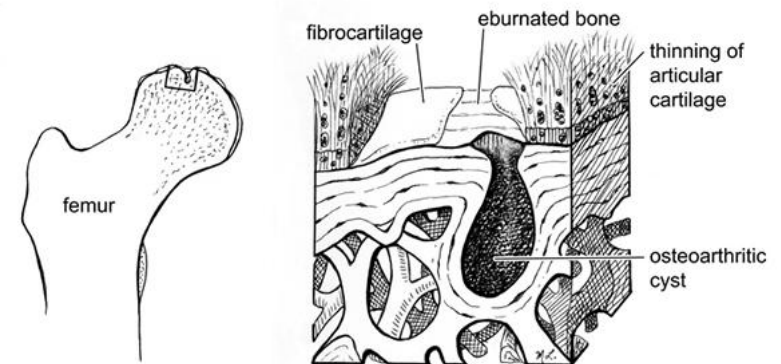


Intra-operative image of a full-thickness articular cartilage defect of the knee. Courtesy of Karl F. Almqvist, MD, PhD

Hyaline articular cartilage & bone - normal

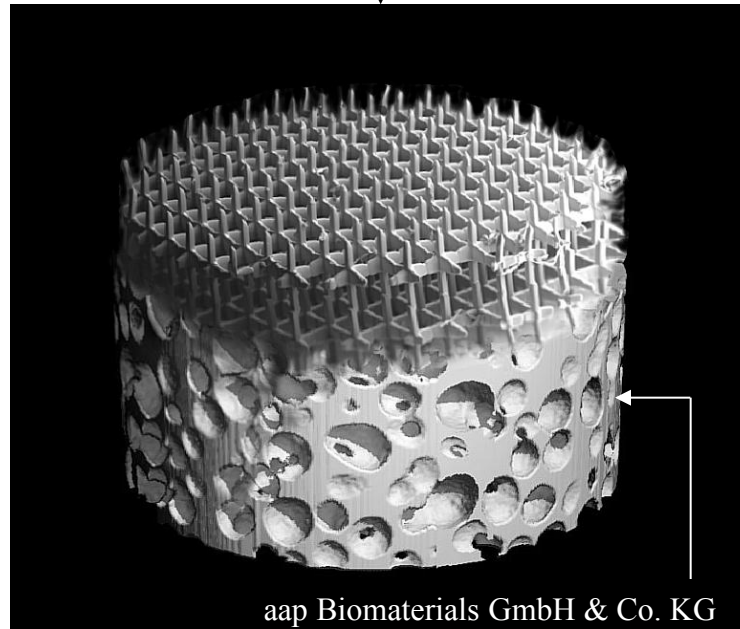
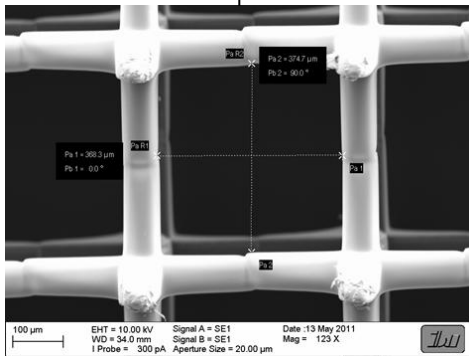
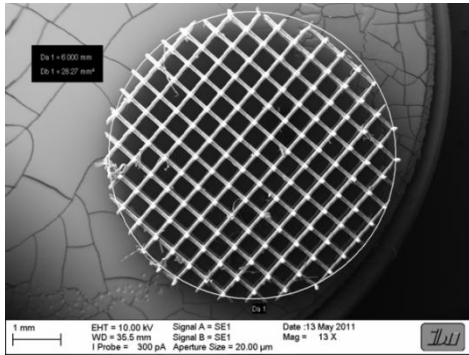


Hyaline articular cartilage & bone - Arthritic



Functional Biointerfaces based on Two-Photon-Polymerisation: Bioinspired Strategies to improve the Therapy of Bone & Cartilage Defects

Development of biphasic Tissue Substitutes based on Two-Photon-Polymerisation (2PP)



Chondrophase
[PEG400-UDMA]

Osteophase
[CaP-Ceramic]

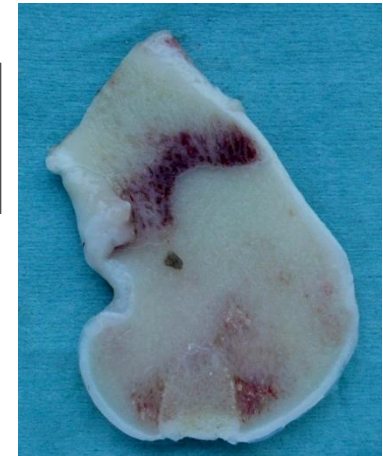
Functional Biointerfaces based on Two-Photon-Polymerisation: Bioinspired Strategies to improve the Therapy of Bone & Cartilage Defects

**Validation of biphasic Tissue Substitutes by an
Animal Experiment (12 weeks):**

Osteophase – Formation of new Bone Tissue

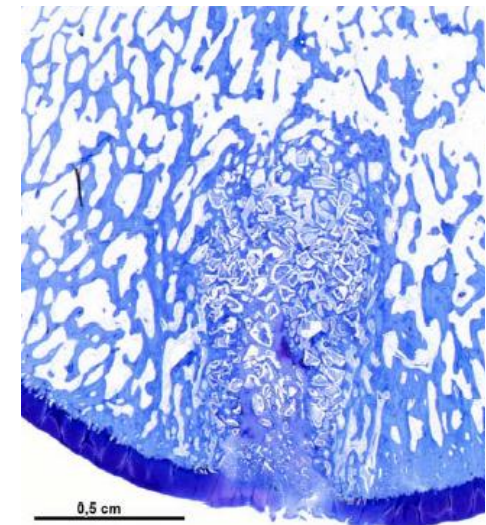
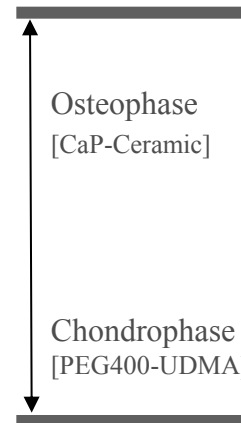
Chondrophase – Formation of Hyaline Cartilage
and Granulation Tissue

Histological Studies are performed
by examining cells and tissues by
sectioning and staining, followed by
examination under a microscope!



**Univ.-Prof. Dr. Dr. Dr. h.c. R. Schnettler
Dr. I. Schleicher**

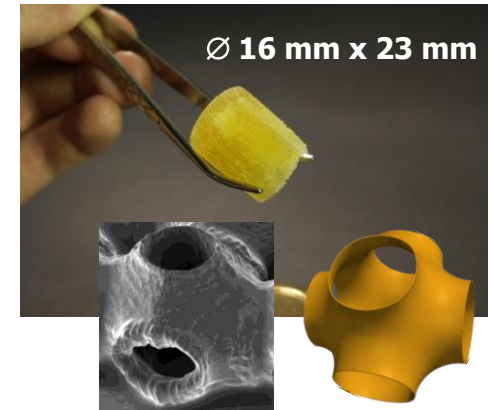
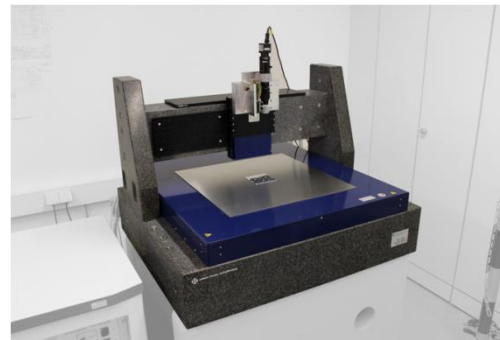
Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie
Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH
Standort Gießen
Rudolf-Buchheim-Str. 7
35385 Gießen



Development and Testing of an Industrial 2PP-Facility

Solutions for 3D - Cell Culture

- TETRA Gesellschaft für Sensorik, Robotik und Automation mbH / Ilmenau
- Industrial 2PP



Technology

Resolution is down to the nanometer range thanks to exclusive dynamic parameters in this driving technology.

The advanced error compensation and very flat architecture result in path accuracy better than one micrometer.

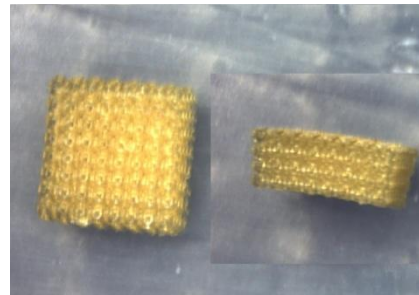
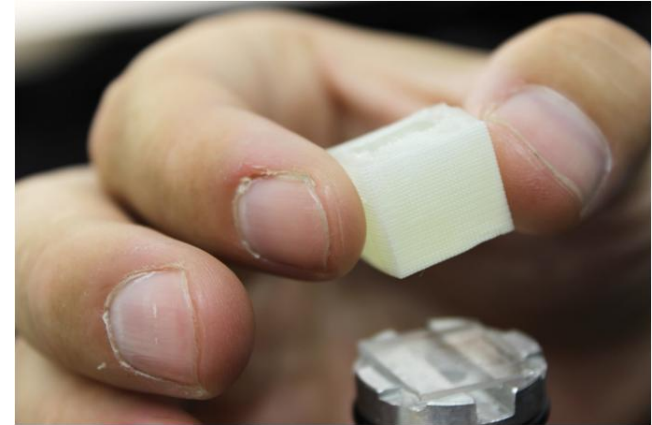
- travel range 200 x 200 mm²
- position resolution 0,0025 μm
- repeat accuracy 0,2 μm
- worldwide leading dynamics parameters

Development and Testing of an Industrial 2PP-Facility

Up-Scaling

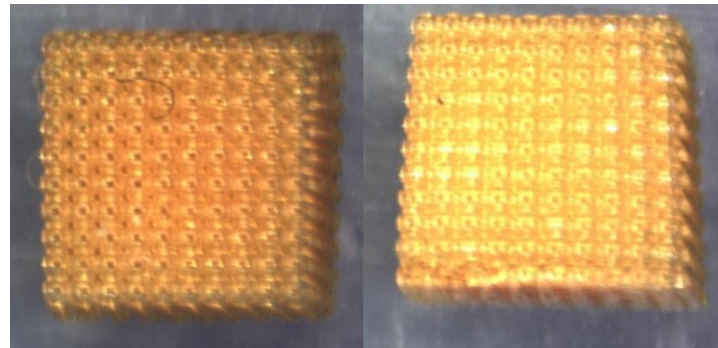
Two-Photon produced structures are limited in Z-direction by the focal distance of the objective, which varies around 2 mm. The new device bypasses this limit and allows writing in cm-dimensions.

- 3D framework structures
- cm - sized
- μ - resolution
- handling
- use as implants



nominal size: 4 x 4 x 2 mm³
cell array: 8 x 8 x 5 unit cells

320 unit cells
~ 3,0 h writing

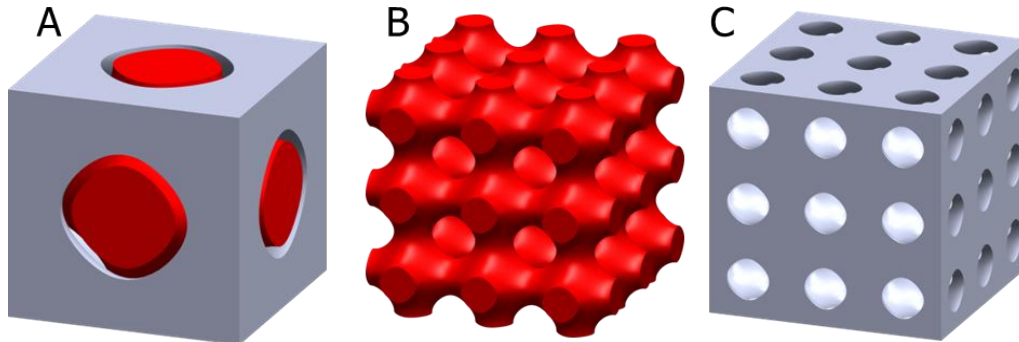


nominal size: 5 x 5 x 5 mm³
cell array: 10 x 10 x 11 unit cells

1,100 unit cells
~ 9,5 h writing

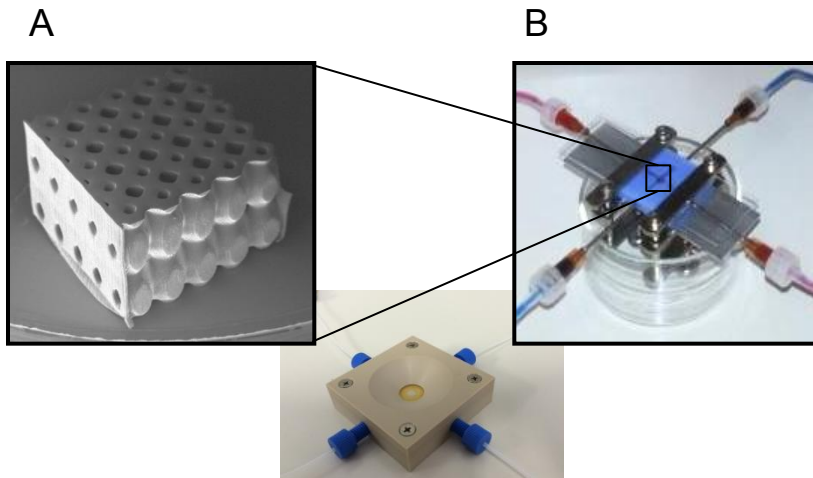
Conclusions & Outlook

BioMEMs equipped with “Two Compartment Scaffolds” for Cell Cultivation and Media Transport (Nutrient Supply + Waste Removal).



A Breakthrough in Scaffold Production:

(A) Half spaces divided by the Schwarz P surface (unit cell).
(B and C) multiplied (3 x 3 x 3) half spaces of the Schwarz P surface scaffold).

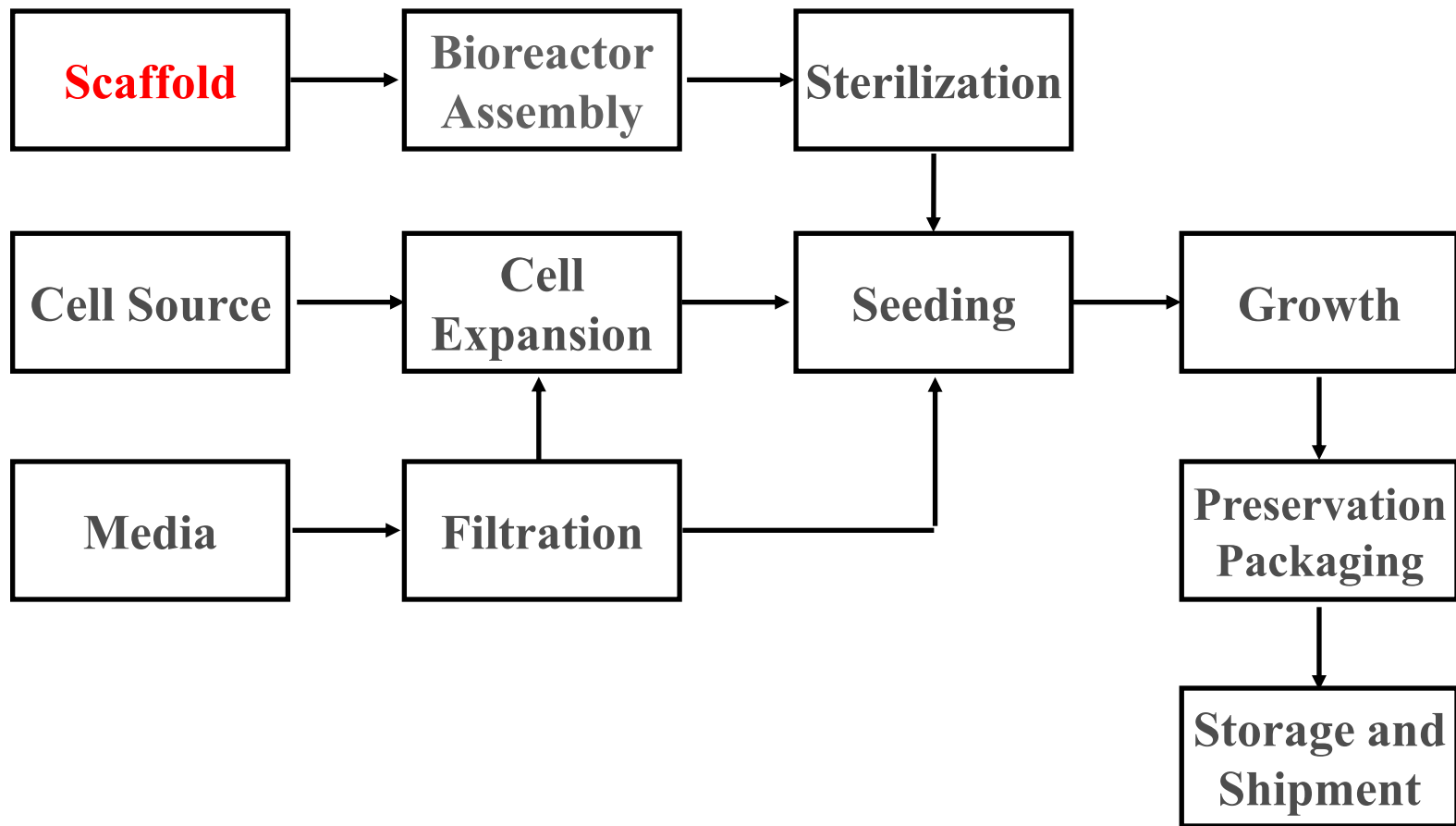


A Breakthrough in Scaffold Production:

(A) Both compartments were produced by means of the 2PP-process using modified STL-Files.
(B) Both compartments can be used as discrete cultivation chambers separated by a tailor-made wall structure.

Conclusions & Outlook

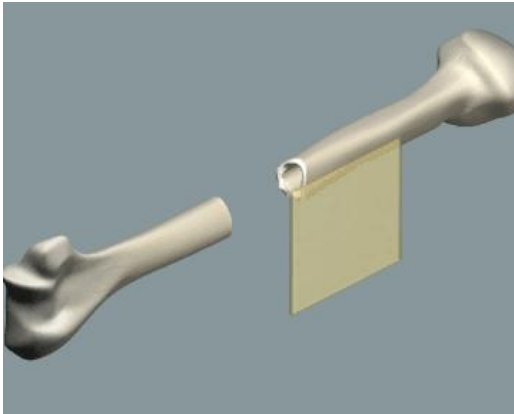
Generalized Process Flowsheet:



Conclusions & Outlook

Case Studies showing the Perspective:

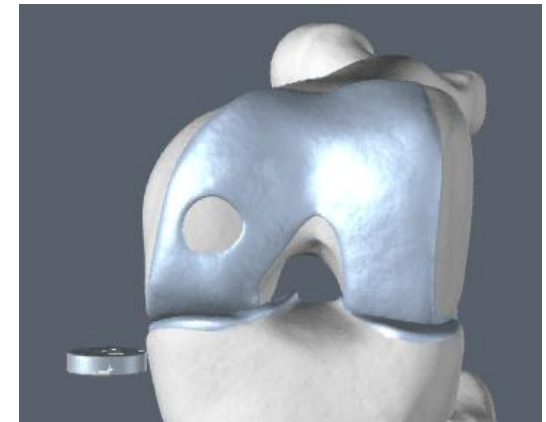
Healing bone fractures



Healing skull fractures



Healing of cartilage defects

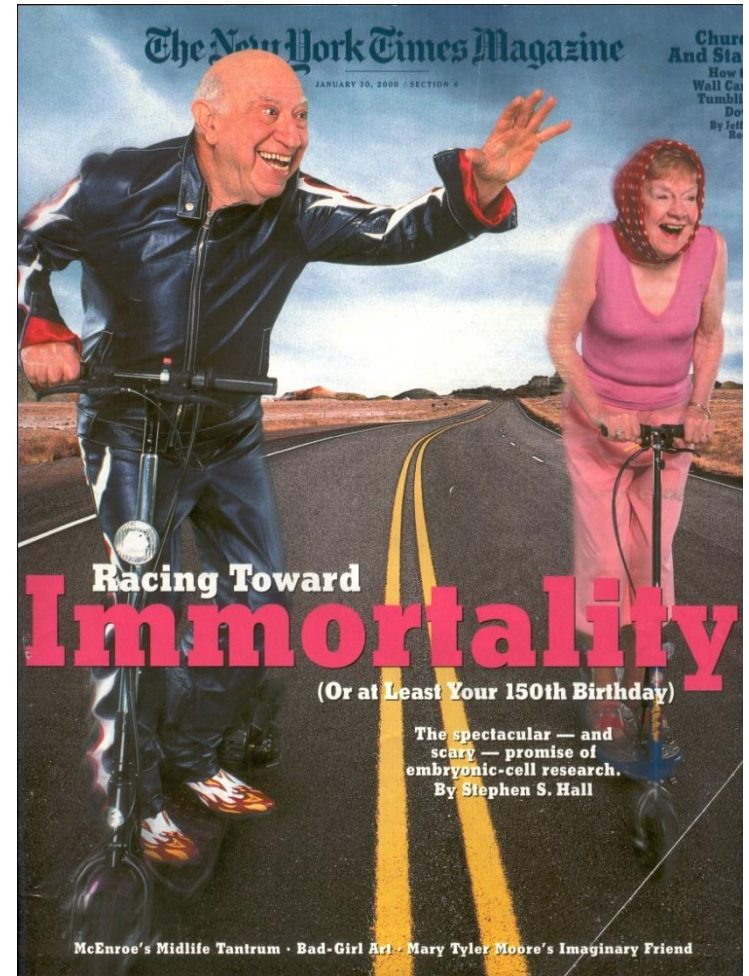


Acknowledgement

This research project has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under grant agreement N°. 263363.



The Author thanks the 'TETRA Gesellschaft für Sensorik, Robotik und Automation mbH' for the cooperation and the technical support.



The New York Times, January 30, 2000



Thanks for your attention!

Institute for Bioprocessing and Analytical
Measurement Techniques e.V.

Department of Biomaterials
37308 Heilbad Heiligenstadt

Tel. +49 - (0) 3606-671 500
klaus.liefeith@iba-heiligenstadt.de



Kurzbiografie

Daniel Schäfer



Geboren am 24.06.1968 in Stuttgart

- 1994 Dipl.-Ing. Maschinenbau, Universität Stuttgart
- 1994 Trainee; AUDI AG, Neckarsulm
- 1995 Planer, Karosseriebau-Finish; AUDI AG, Neckarsulm
- 1997 Leiter Fertigungsplanung Karosserie-Montage; AUDI AG, Neckarsulm
- 1998 Leiter Produktion Türen/Klappen, Abgasanlagen und Kleinteile; AUDI AG, Neckarsulm
- 2000 Vorentwicklung Produktionstechnologien; BMW AG, München
- 2001 Produktionsstrategie MINI; BMW AG, München
- 2004 Leiter Produktion Bodengruppe, Logistik und Steuerung Karosseriebau; BMW Group, Oxford, UK
- 2007 Leiter Werkstrukturplanung, Produktionssteuerung und Fahrzeugdistribution; BMW AG, Dingolfing
- 2010 Leiter Produktionskonzept BMW i; BMW AG, München
- 2014 Leiter Montage; BMW AG, Leipzig



BMW Group Werk Leipzig, Montage,
Daniel Schäfer, 27.05.2015.

ANWENDUNG GENERATIVER VERFAHREN IN DER FAHRZEUGFERTIGUNG.

**FACHFORUM „3D DRUCK IN DER ANWENDUNG“ HTWK LEIPZIG.
27.05.2015.**

**BMW
GROUP**
Werk Leipzig

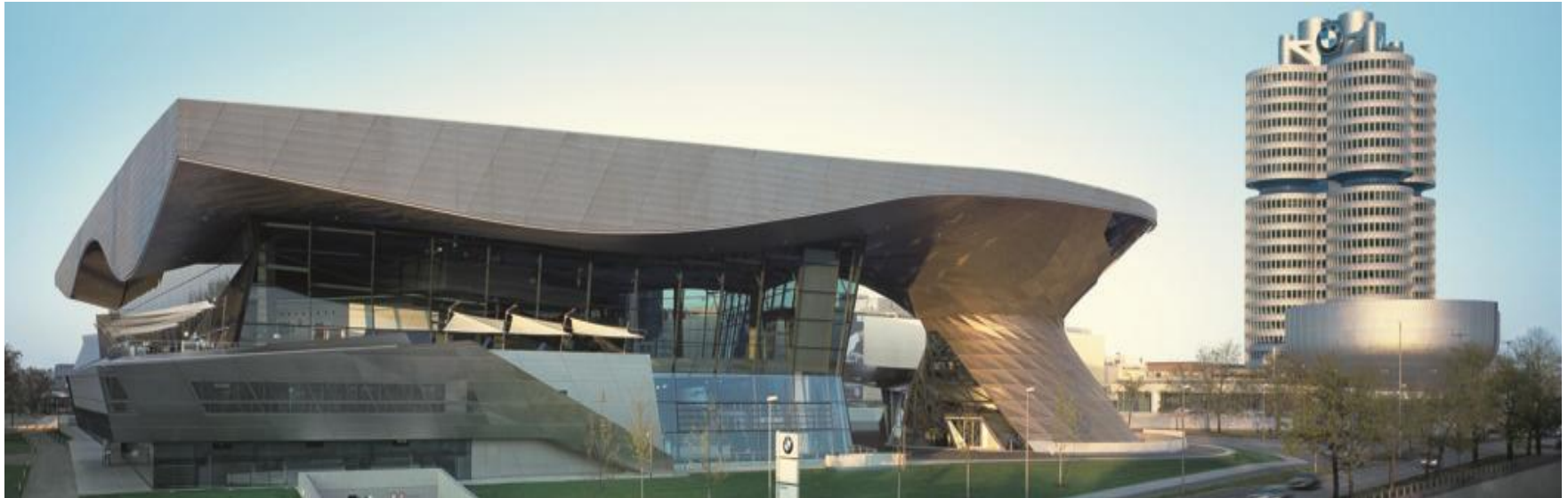


ANWENDUNG GENERATIVER VERFAHREN IN DER FAHRZEUGFERTIGUNG.

Agenda:

- I. Vorstellung der BMW Group und Montage am Standort Leipzig.
- II. Vorteile der Additiven Fertigung.
- III. Der „Hype Cycle“ nach Gartner.
- IV. Rapid Technologies.
- V. Anwendungsbeispiele.
- VI. Ausblick.

DIE STRUKTUR DER BMW GROUP. GESCHÄFTSFELDER.



Automobile

BMW
MINI
Rolls-Royce

Motorrad

BMW Motorrad

Dienstleistungen

BMW Group Financial Services
Bavaria Wirtschaftsagentur
DriveNow

DAS GROBE GANZE. DER DREIKLANG VON MARKEN, MÄRKTEN, MENSCHEN.



Marken

BMW
MINI
Rolls-Royce
BMW i
BMW M
BMW Motorrad

Märkte

Verkaufsdaten 2014

BMW Automobil: 1.811.719
BMW Motorrad: 123.495
MINI: 302.183
Rolls-Royce: 4.063

Menschen

Mitarbeiterzahlen 2014

Weltweit:
116.324

BMW GROUP WERK LEIPZIG. HOCHFLEXIBLE PRODUKTION SETZT NEUE MAßSTÄBE.



BMW GROUP WERK LEIPZIG. PRODUKTION „MADE IN LEIPZIG“.



BMW 1er 5-Türer. BMW 2er Cabrio. BMW 2er Coupé. BMW 2er Active Tourer. BMW X1.



BMW i3.



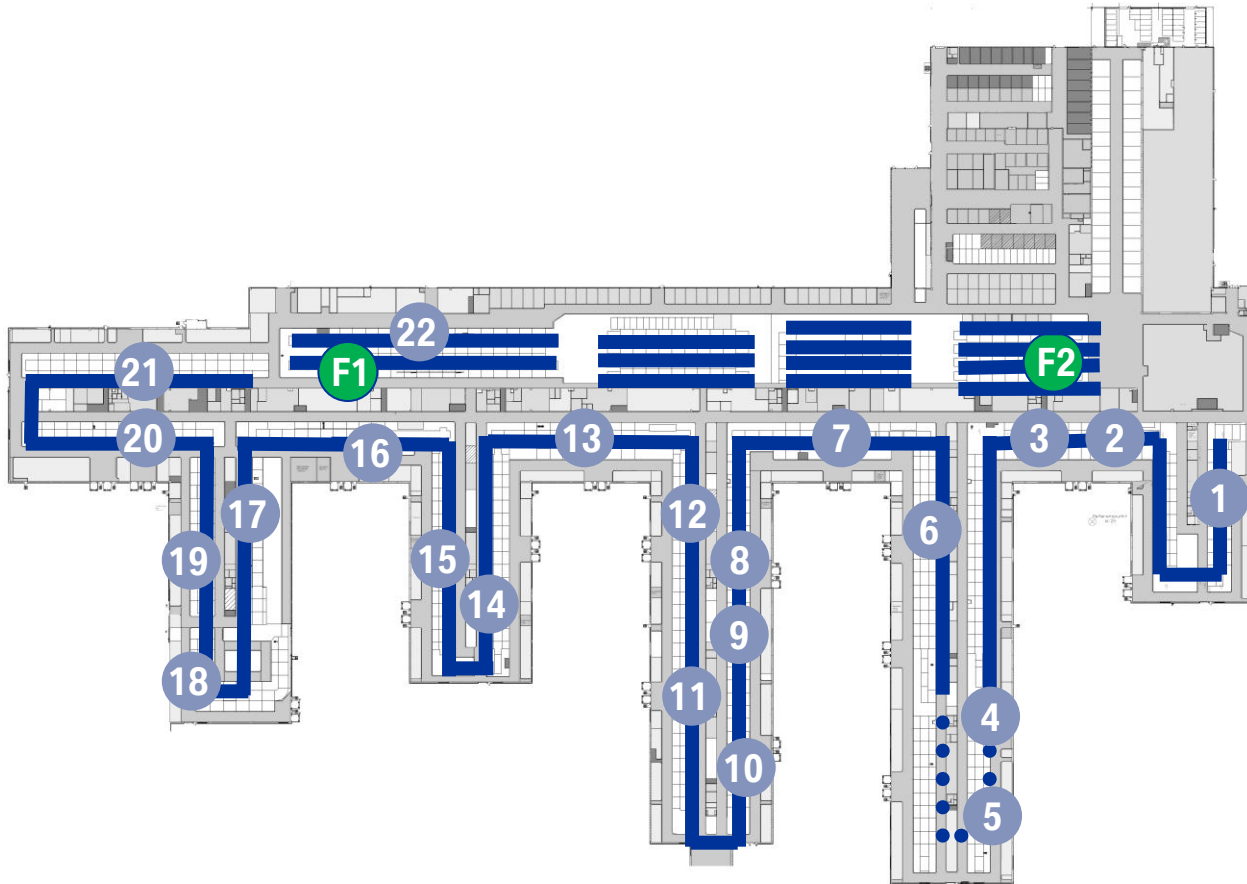
BMW i8.

Arbeitsplätze auf dem Werksgelände:
über 6.000 (inkl. Dienstleister und Lieferanten), 4.700 bei BMW.

BMW WERK LEIPZIG – MONTAGE.



BMW WERK LEIPZIG – MONTAGE. VERBAUREIHENFOLGE.



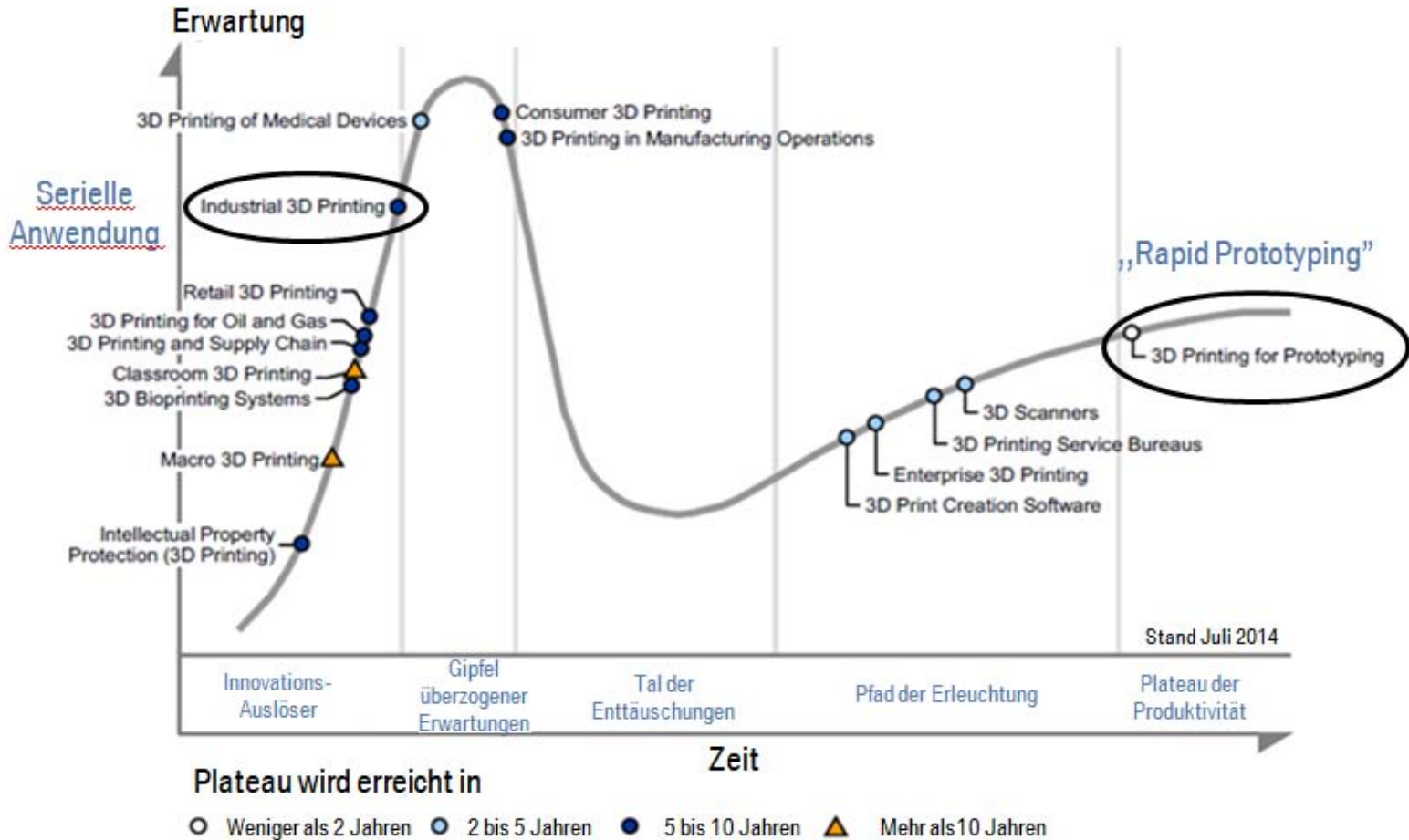
WARUM ADDITIVE FERTIGUNG? (POTENZIELLE) VORTEILE.

- „Wohlers Report 2014“ ermittelt für den 3-D-Druck Markt mit Geräten, Werkstoffen, Software, Lasern und Dienstleistungen einem **Wert von 3,07 Milliarden Dollar**. Stabile Wachstumsrate von 3,5 Prozent.
- Paradigmenwechsel in der Produktion. In Frage stellen von Outsourcing und Offshoring.



Quelle: Roland-Berger-Studie, 2013.

DER „HYPER CYCLE“ (GARTNER).

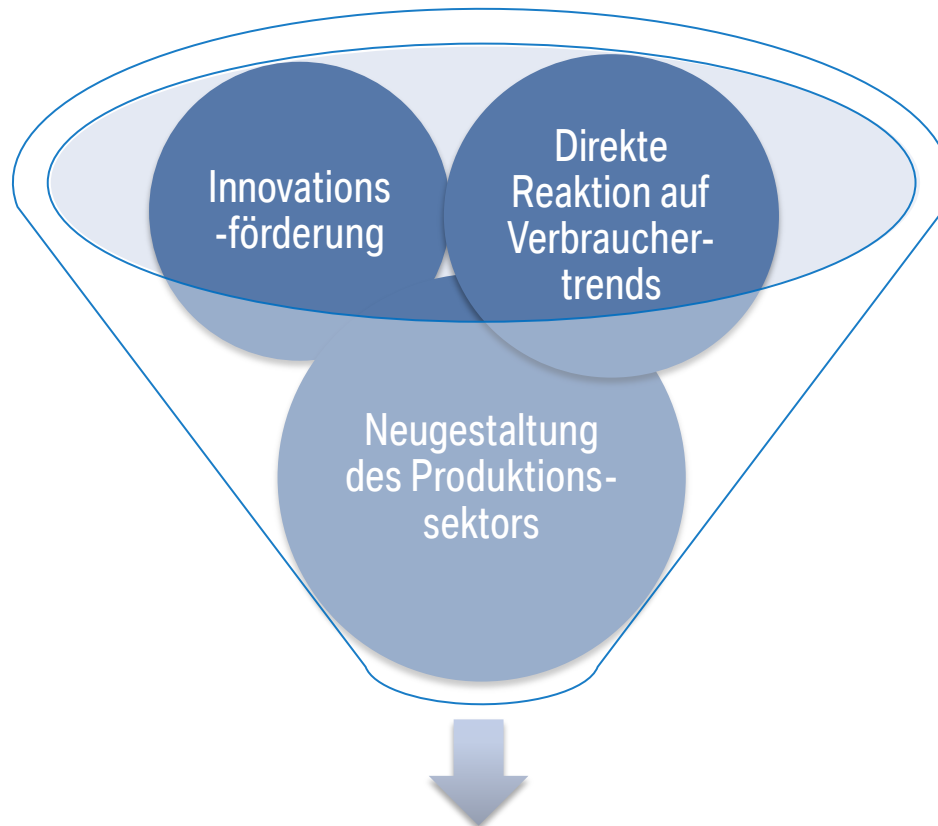


BMW GROUP WELTWEIT. ZUSAMMENARBEIT MIT DER FORSCHUNG.

Die BMW Group ist weltweit mit Forschungs-, Entwicklungs- und Produktionsstandorten vertreten. Zusammen mit Zulieferern, Universitäten und Forschungseinrichtungen arbeiten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an Ideen, zukunftsweisenden Trends und Technologien.



AUSBLICK UND PERSPEKTIVEN DER ADDITIVEN FERTIGUNG.



Vervierfachung des Marktvolumens in den kommenden 10 Jahren.*

Massenfertigung ⇒ dezentralisiertes „Hochleistungshandwerk“?



BMW Werk Leipzig, Montage,
Daniel Schäfer, 27.05.2015.

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT.

WWW.BMW-WERK-LEIPZIG.DE

**BMW
GROUP**
Werk Leipzig



ANHANG UND QUELLEN.

- Bildmaterial: interne Quellen BMW.
- <http://www.gartner.com/newsroom/id/2825417>.
- Harvard Business Manager Edition 2/2015.
- Wohlers Report 2014: [wohlersassociates.com](http://www.wohlersassociates.com).
- http://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland_Berger_Additive_Manufacturing_20131129.pdf.
- *http://www.rolandberger.de/expertise/branchenexpertise/engineered_products_high_tech/Grosses_Potenzial_fuer_Additive_Manufacturing.html.

Robert Kahlenberg



Gebürtig in Weimar (Jahrgang 1989),
studierte Laser und Optotechnologien an der Ernst Abbe Hochschule Jena (2008-2014)
mit den Abschlüssen Bachelor of Engineering und Master of Engineering.
Seit 2011 als wissenschaftliche Hilfskraft und ab
2014 als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am ifw Jena,
in der Arbeitsgruppe Additive Fertigung mit Schwerpunkt selektive Laser Melting.

Wissenschaftliche Schwerpunkte:

Erschließung und Qualifizierung neuer Werkstoffe für den SLM-Prozess, Technologie- und
Anwendungsentwicklung sowie Technologische Beratung und Technologietransfer.

Erhöhung der Prozesssicherheit beim Strahlschmelzen

Obwohl der Laserstrahlschmelzprozess an sich robust ist, können gegenwärtig in den seltensten Fällen Betriebszeiten von 6.000 Stunden und mehr pro Jahr mit einer Strahlschmelzanlage realisiert werden. Daher ist der Druck seitens der Industrie enorm, die Prozessstabilität und damit die Betriebsstunden pro Jahr zu steigern. Als Ergebnis von mehreren Forschungsprojekten sowie eigenen Verbesserungen konnte mit geringem Aufwand die Anzahl der Prozessabbrüche bzw. der Bauteilfehler (z. B. kurzfristige auftretende hohe Porosität im Bauteil) signifikant reduziert werden. Die Maßnahmen und Empfehlungen betreffen unter anderem die Pulverlagerung und deren Überwachung, das Prozessgas von der Gaszuführung bis zur Filterung sowie die Überwachung von Prozessrandbedingungen. Beginnend mit der Eingangskontrolle, bei der sowohl Zusammensetzung als auch Partikelgrößenverteilung und –form zu prüfen sind.



Abbildung 1: Prüfverfahren für Qualitätssicherung Pulver

Ist die Pulverqualität hinreichend gut, sind weitere Faktoren für einen robusten Prozess zu beachten. Dies betrifft unter anderem den Zusammenhang zwischen Luftfeuchtigkeit und Lagerung des Pulvers. Das Pulver sollte trocken gelagert und vor Luftfeuchtigkeit geschützt werden. Insbesondere ist dies zu beachten, wenn das Metallpulver in der Anlage verbleibt und die Anlage steht. Bezüglich der Luftfeuchtigkeit ist weiterhin festzuhalten, dass aktiv die Quellen für ein Einbringen in die Laserstrahlschmelzanlage berücksichtigt werden müssen. Dies betrifft sowohl die Gasbehälter als auch die Gasleitungen und die Filterelemente. Im Beitrag werden die Veränderungen sowie Empfehlungen vorgestellt und deren Umsetzung an verschiedenen Anlagen präsentiert.

Einflussfaktoren und Qualitätssicherung beim Strahlschmelzen

M.Eng Robert Kahlenberg



Gliederung

- **Pulver** (Werkstoffeingangskontrolle und Lagerungsbedingungen)
- **Umgebungsbedingungen** (Pulververänderungen)
- **Prüfen der Bauteileigenschaften** (mechan. Kennwerte, Gefüge)

Werkstoffeingangskontrolle

Verpackung – Unterschiede:

- Behälterart
- zusätzliche Dichtung im Verschluss / Folienbeutel
- abgepackt unter Schutzatmosphäre
- mit oder ohne Trockenbeutel



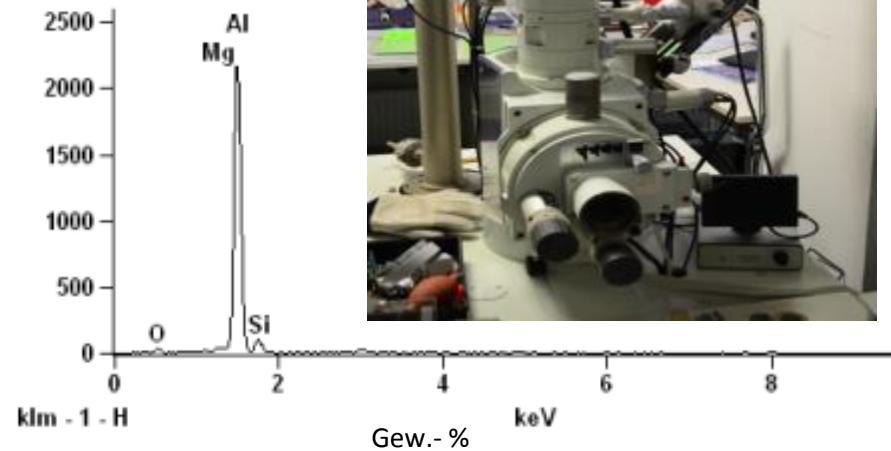
Empfehlungen Pulver

Chemische Zusammensetzung **vor** Einsatz der Charge prüfen!



Mobil: XRF, RFA
Röntgenfluoreszenzanalyse

Skalierung, Counts: 2157

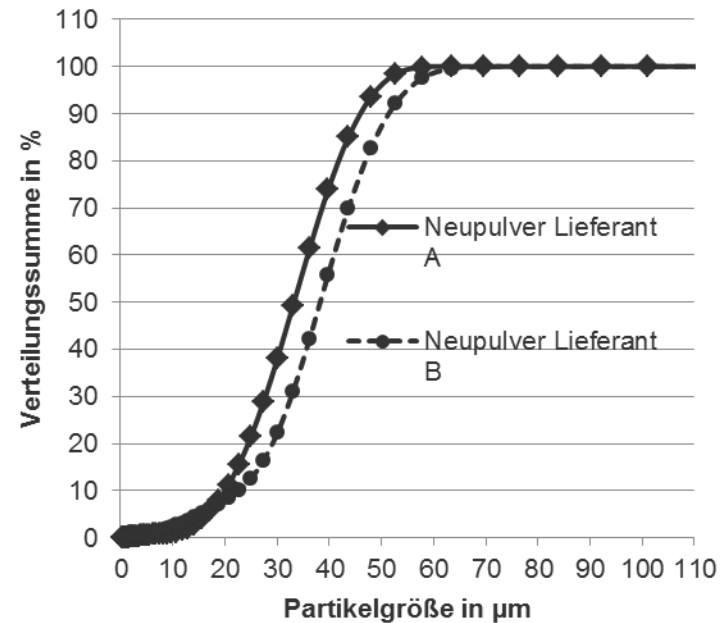
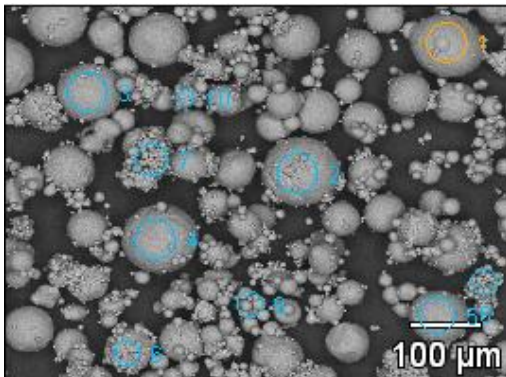
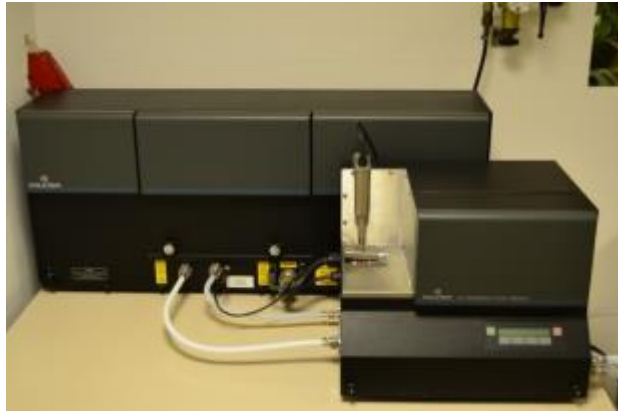


	Mg-K	Al-K	Si-K
<i>Pulver AlSi10Mg(6)_pt1</i>	0.29	89.28	10.43
<i>Pulver AlSi10Mg(6)_pt2</i>	0.10	86.36	13.54

Stationär: (Funkenspektroskopie)
EDX Energiedispersive Röntgenspektroskopie

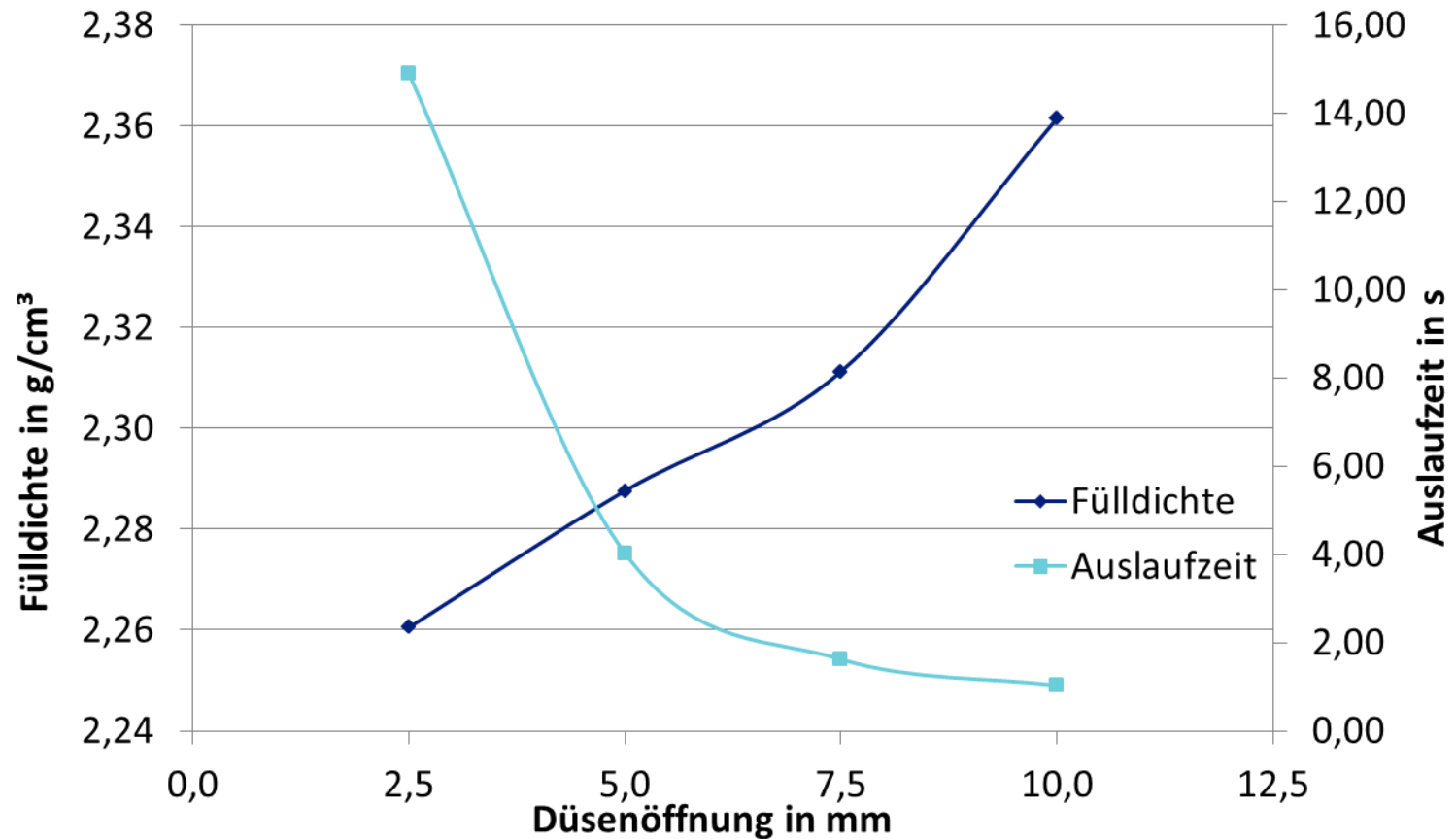
Empfehlungen Pulver

Partikelform und -fraktion vor Ersteininsatz prüfen



Mikroskopie (Licht-, Elektronen-)
Partikelanalyzer (Laserbeugung, Bildverarbeitung)

Pulvercharakterisierung



Empfehlungen Pulver

Pulver **vor** Ersteinsatz sieben (Verschleppen von Verunreinigungen)

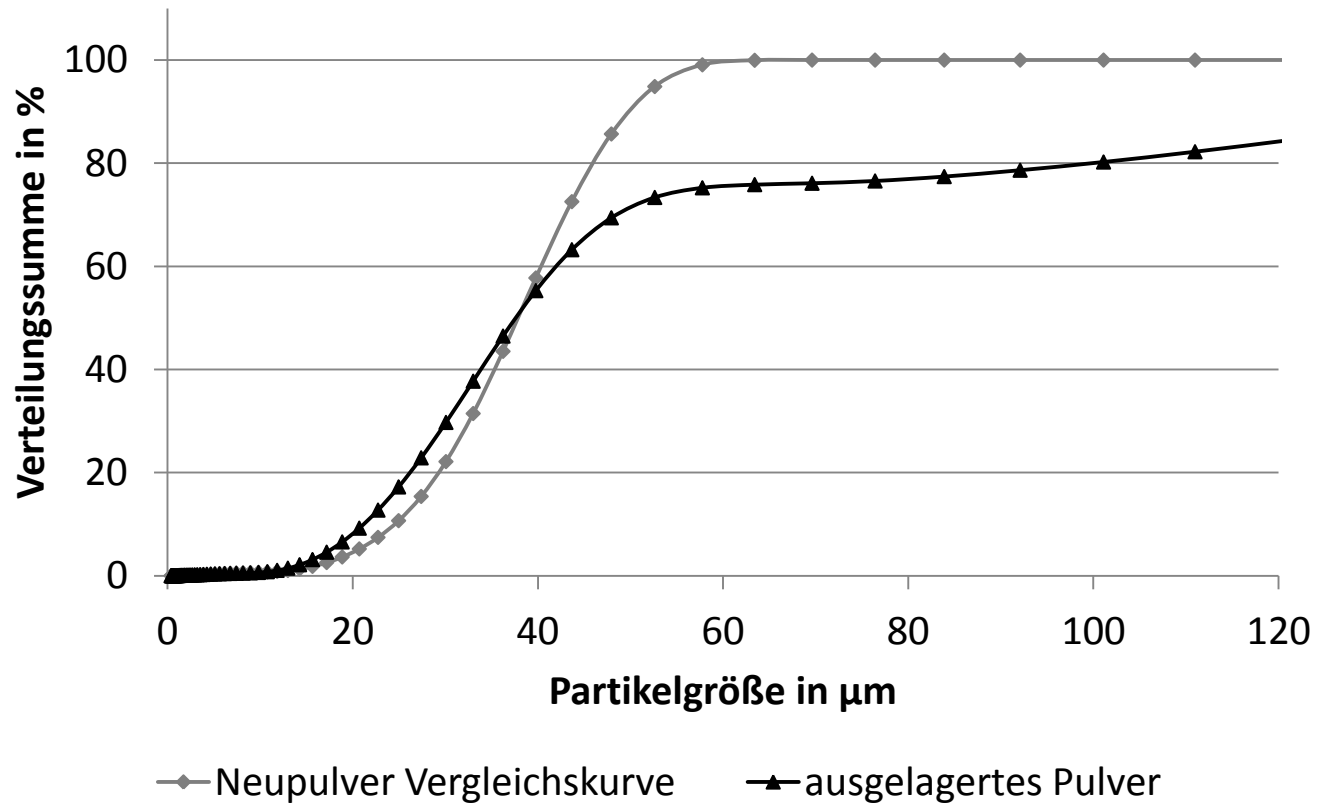


Empfehlungen Pulver

Pulver trocken lagern (falls es in Anlage verbleibt, eindringen von Umgebungsatmosphäre verhindern, z. B. ständige Druckbeaufschlagung, Pulver trocknen)



Pulvercharakterisierung ausgelagertes Pulver



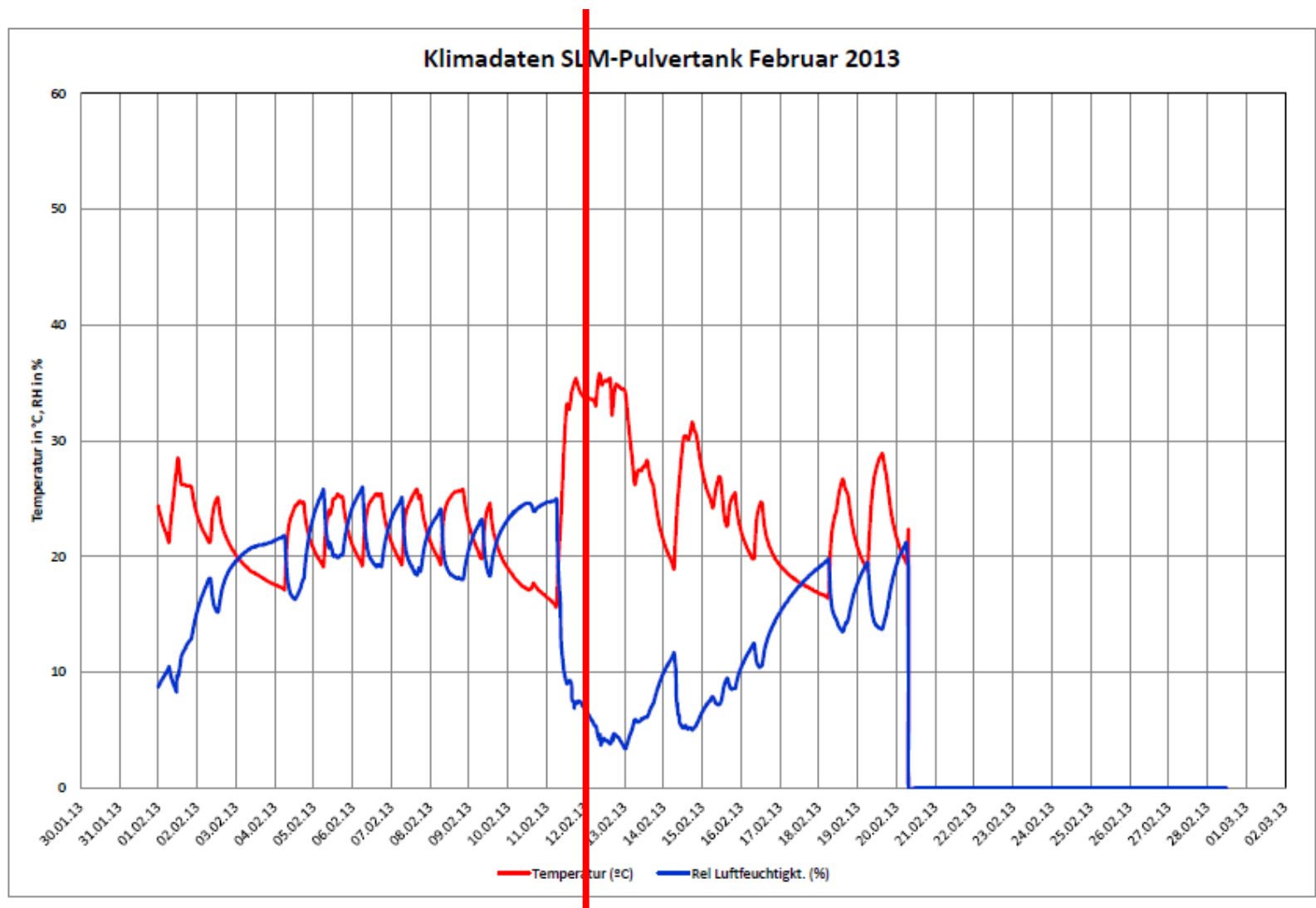
Partikelgrößenverteilung: Laserbeugung

Umgebungsbedingungen



Datenlogger

Klimadaten

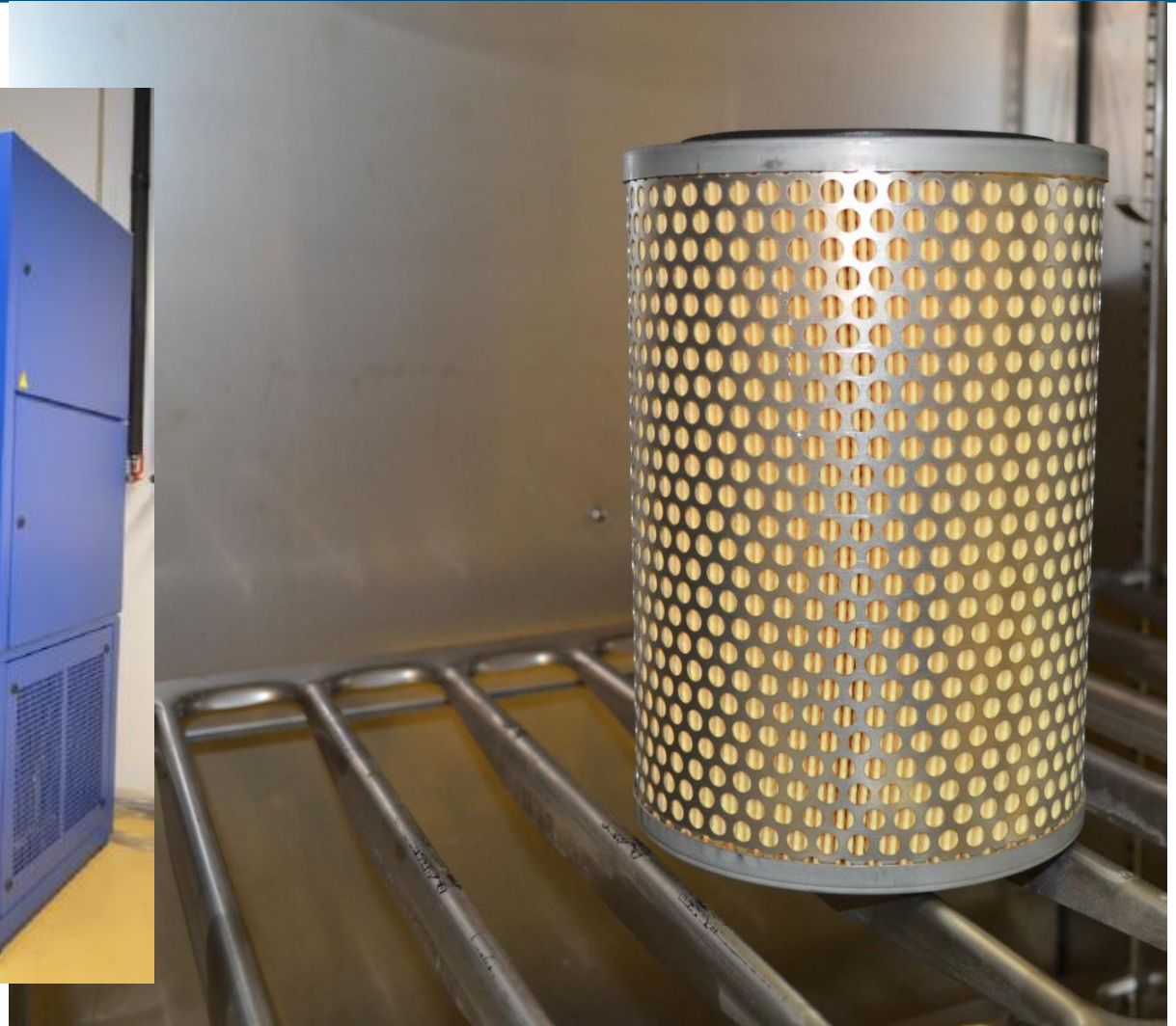


Filter



Wasseraufnahme bei 25° C / 59 % Luftfeuchte in 24 h: 100 g !

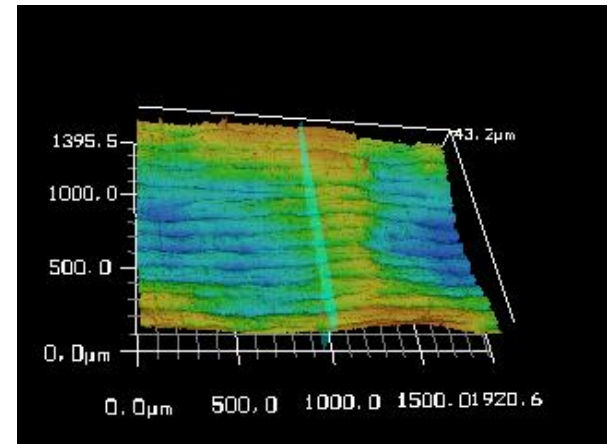
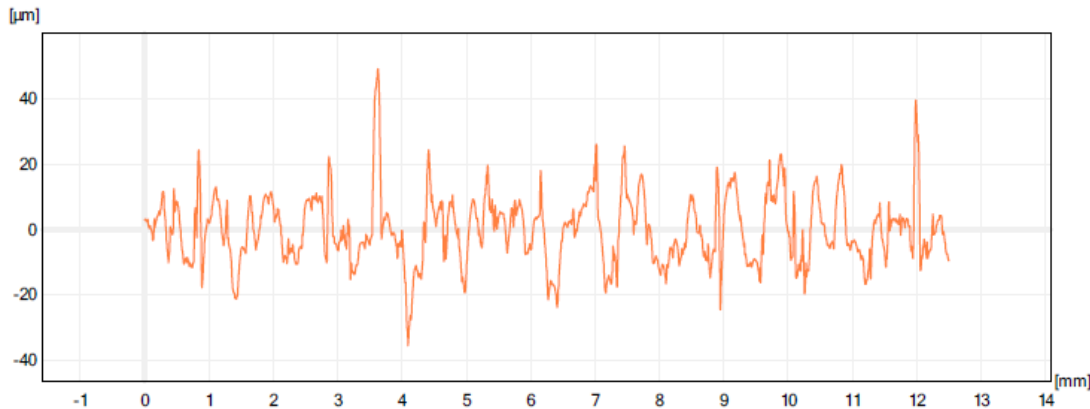
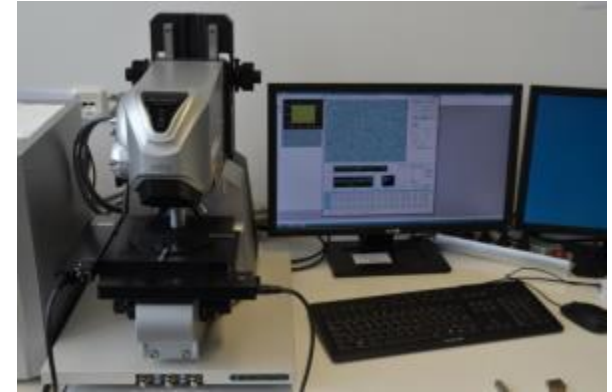
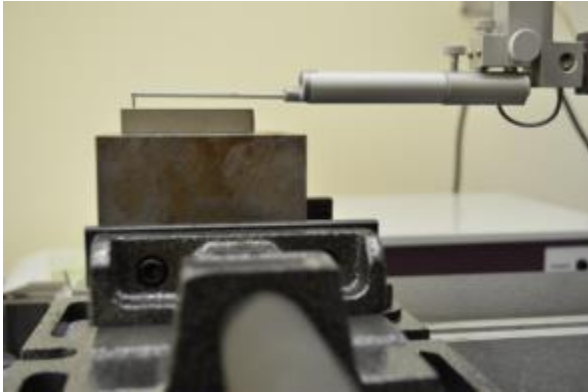
Filter “ausheizen”



Empfehlungen Filter

- Filter weisen eine große Oberfläche auf
 - Aufnahme von Feuchtigkeit
 - erhöhte Porosität im Bauteil
- Filter trocken lagern (u. a. Trockenbeutel)
- Filter vor Ersteinsatz “ausheizen” um aufgenommene Feuchtigkeit wieder abzugeben
- Feuchtigkeit in der Anlage bestimmen und aufzeichnen

Prüfen der Bauteileigenschaften – Oberfläche



2D:
Tastschnittgerät

3D:
Optische Systeme / (Tastschnittgerät)

Prüfen der Bauteileigenschaften – Zusammensetzung



Funkenspektroskopie

EDX-Analyse

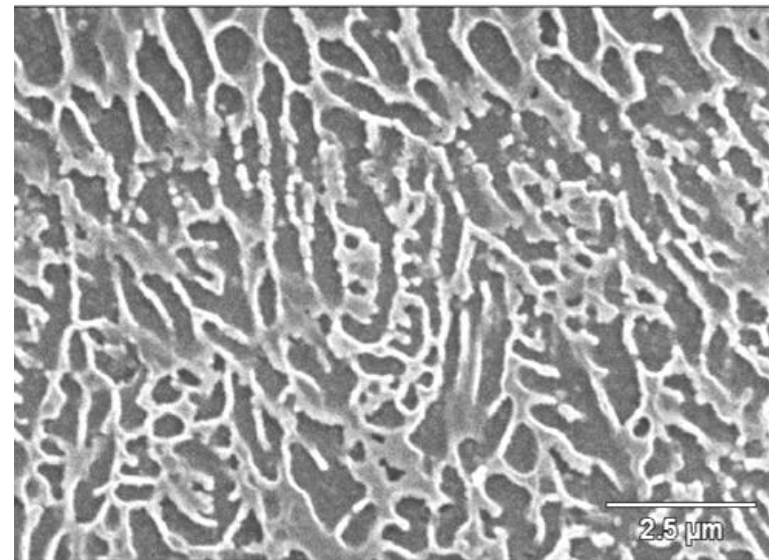
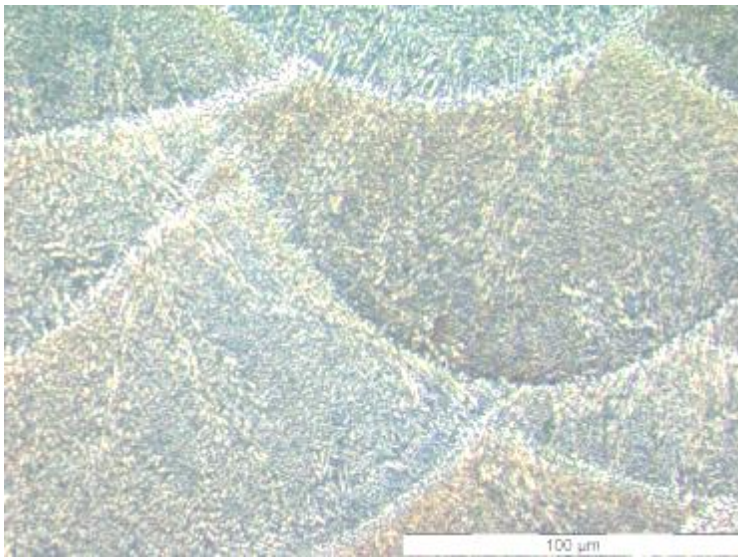
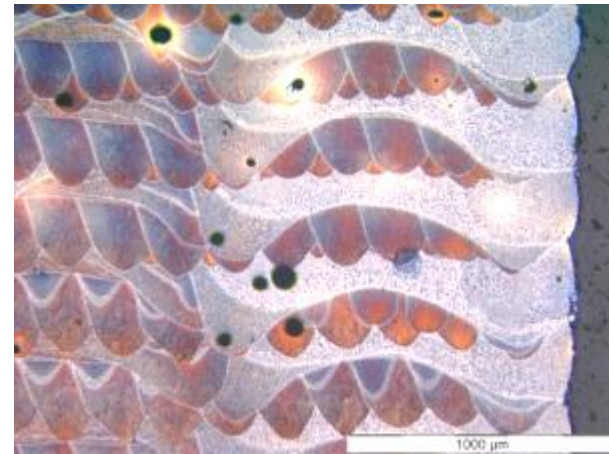
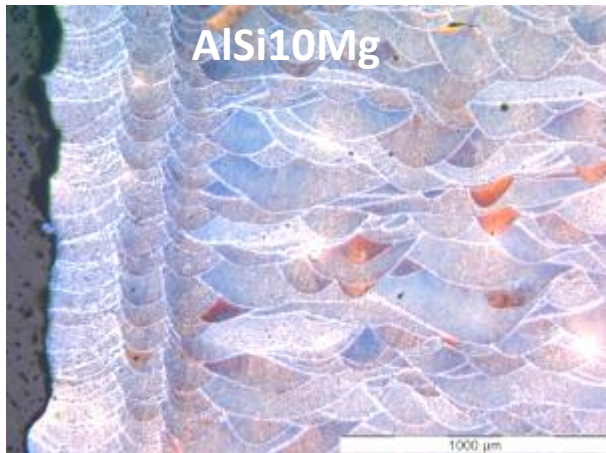
XRD-Analyse

→ Elementbestimmung

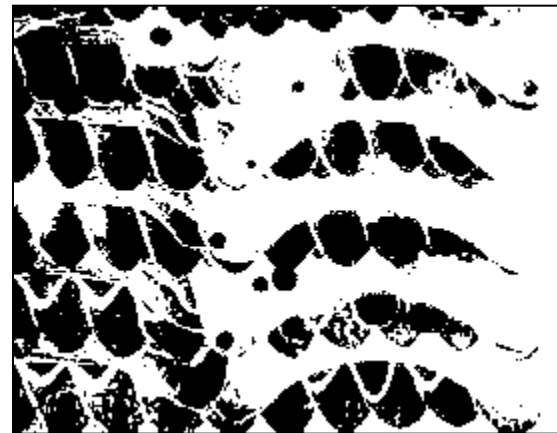
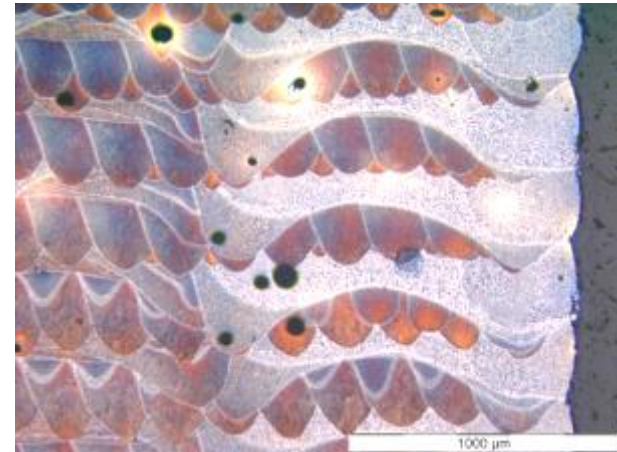
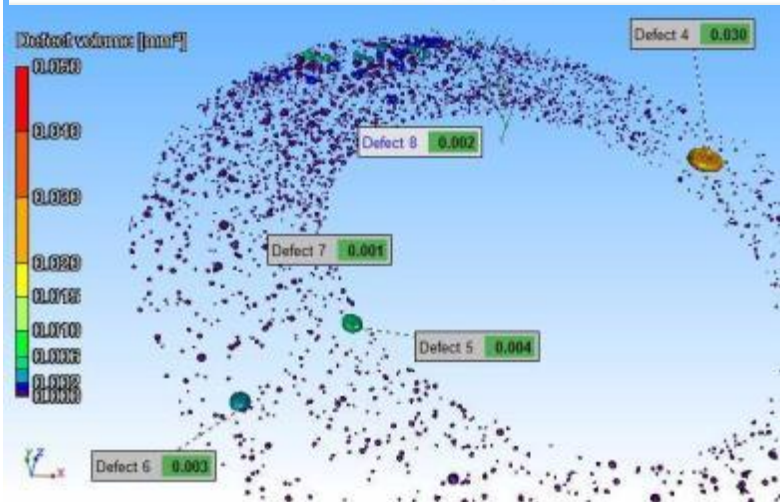
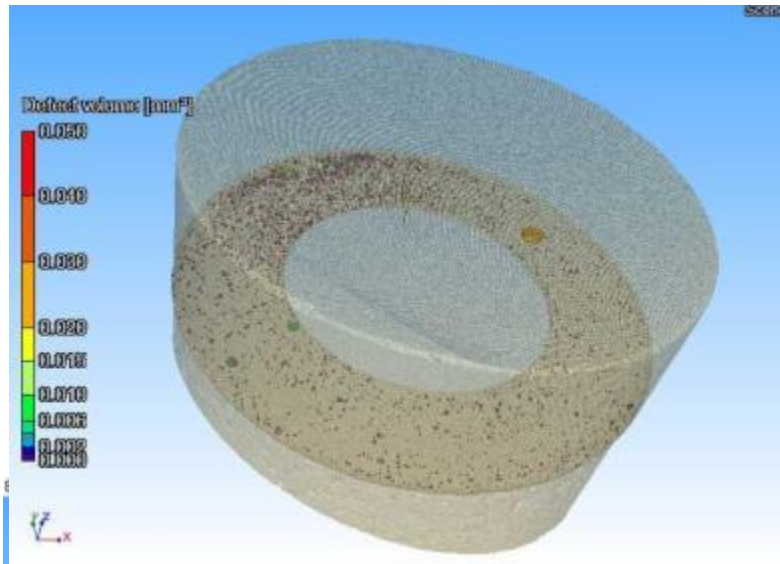
→ Elementbestimmung

→ Phasenbestimmung

Prüfen der Bauteileigenschaften – Gefügeanalyse

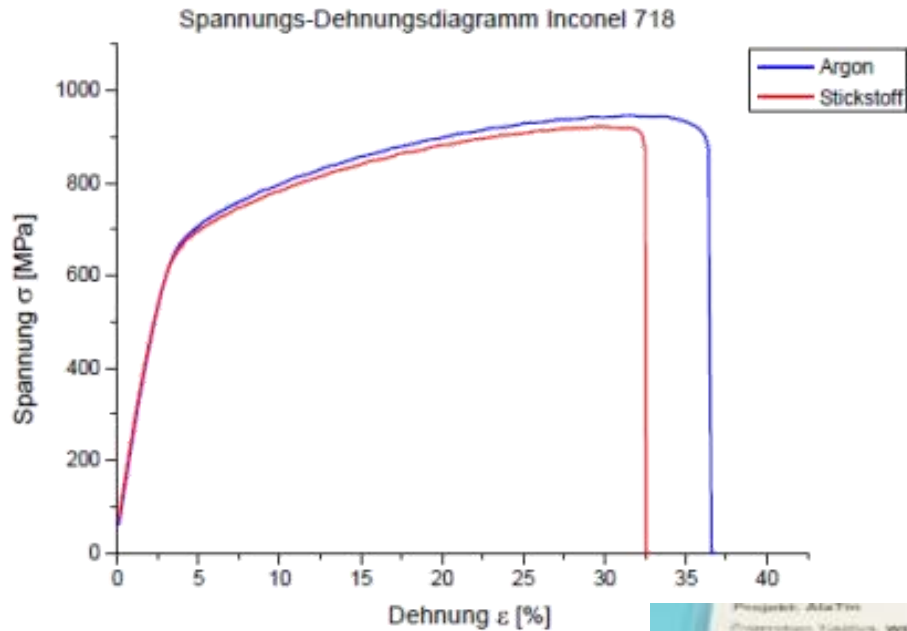


Prüfen der Bauteileigenschaften – Porosität



Visuelle Bestimmung an Gefügaufnahme (2D)
Computertomographie (3D)
Dichtebestimmung nach Archimedes (3D)

Prüfen der Bauteileigenschaften – Zug-/Druckfestigkeit

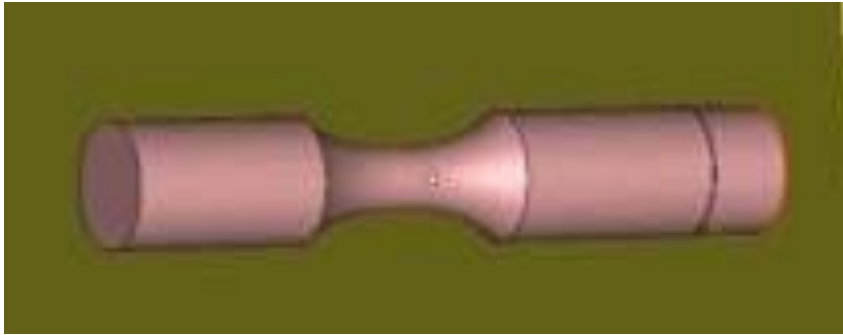


Quasistatische Belastung:

- Dehngrenze
- Zugfestigkeit
- Bruchdehnung
- Analyse der Bruchfläche



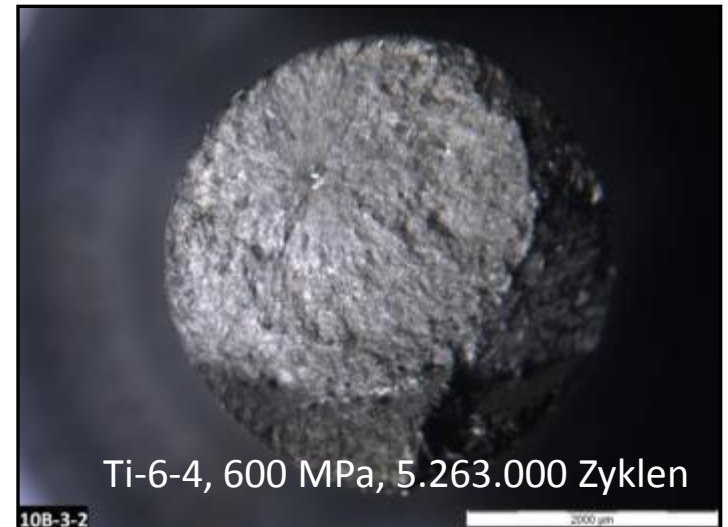
Prüfen der Bauteileigenschaften – Dauerfestigkeit



Nennkraft dynamisch:	+/- 10 kN
Nennkraft statisch:	+/- 7 kN
Frequenz:	0 ... 100 Hz
Max. Weg:	max. 60 mm
Max. Prüfraumhöhe:	887 mm
Temperierkammer:	-70°C bis +350°C

Zyklische Belastung:

- Zyklenzahl / Spannung
→ Wöhlerkurve, Dauerfestigkeit
- Analyse der Bruchfläche



Zusammenfassung

- Sowohl Eingangskontrolle als auch kontinuierliche Überwachung des Pulverzustands in der Produktion notwendig
- Umgebungsbedingungen beeinflussen Pulver und Prozess
→ Überwachung sinnvoll
- Empfehlungen für Pulverlagerung, Filterlagerung und –wechsel
- Bestimmen der Kennwerte für Oberflächengüte und Festigkeit im Einbauzustand, nicht an Normproben mit bearbeiteten Oberflächen

Danksagung

Die Ergebnisse entstanden in verschiedenen Forschungsvorhaben, unter anderen im Vorhaben 2012 FGR 0012, welches mit Mitteln des Freistaates Thüringen und aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds gefördert wurde, sowie in den IGF-Vorhaben 16669 BR / 1 und 00.415 Z der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, welche über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert wurden.



Kontakt Daten

Günter-Köhler-Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung GmbH
Otto-Schott-Str. 13
D-07745 Jena
Internet: <http://www.ifw-jena.de>

M.Eng Robert Kahlenberg
Tel.: +49 3641 204 195
Fax: +49 3641 204 110
E-Mail: rkahlenberg@ifw-jena.de



Kurzvita

Name: Ebert

Vorname: Robby

Jahrgang: 1961

Ausbildung: Dipl.-Physiker

Beruflicher Werdegang:

seit 1989 wiss. Mitarbeiter in der Laserforschung;

von 2001 bis 2004 Projektkoordinator im Verbundforschungsprojekt
„Vakuum SLS“;

von 2006 bis 2011 Projektleiter Nachwuchsforschergruppe „Rapid
Microtooling mit laserbasierten Verfahren“

Derzeitige Tätigkeiten:

Projektmanager Laserinstitut Hochschule Mittweida

Geschäftsführer LIM Laserinstitut Mittelsachsen GmbH

3D Mikrodruck von Metallen - Stand und Perspektiven

Robby Ebert, André Streek, Frank Ullmann, Matthias Horn, Stefan Gronau, Martin Erler, Lars Hartwig, Udo Löschner, Horst Exner

Für das 3D Mikrodrucken von Metall wird am Laserinstitut Hochschule Mittweida seit 2001 das Lasermikrosinterverfahren (anfangs als „Vakuum SLS“ bezeichnet) untersucht und ständig weiter entwickelt. Mit der Zeit sind zahlreiche spezielle Technologievarianten und Kombinationen daraus entstanden. Zum 2,5 D Mikrodrucken auf beliebig geformten Oberflächen wird seit 2006 das Micro Cladding Verfahren entwickelt. Als Besonderheit werden bei beiden Verfahren Lasereinwirkzeiten kleiner als eine Mikrosekunde und Scanner zur schnellen Strahlablenkung eingesetzt.

Zur Erhöhung der Auflösung des Lasersinterverfahrens bis in den Mikrobereich wurden zunächst der Fokusedurchmesser des Laserstrahles, der Pulverkorndurchmesser und die Schichtdicke des gerakelten Pulvers ausgehend vom Stand der damaligen Technik entsprechend verkleinert. Dabei stellte sich heraus, dass die Schüttdichte des Pulvers mit kleiner werdenden Korngrößen überproportional abnahm bis zu Werten unter 20%. Dies führte zu einer schlechten Rakelbarkeit des feinen Pulvers mit normalen geraden Klingen und zur Bildung von losen Schmelzperlen bei Bestrahlung mit cw-Laserstrahlung.

Die erste Lösung fand sich in einer kleinen Ringrakel (patentiert) zum Aufbringen der dünnen Pulverschichten und der Verwendung von kurzen Laserpulsen im ns-Bereich, die durch Rückstoßeffekt und Plasmadruck zu einer guten vertikalen Vernetzung der bestrahlten Bereiche führten. Die neuartige Verfahrensvariante wurde Lasermikrosintern genannt. Die Intensität im Laserfokus wird dabei so eingestellt, dass es zu einer geringfügigen Verdampfung der Pulveroberfläche kommt, die Pulslänge wiederum muss so bemessen sein, dass die Pulsenergie ausreicht, um einen Mikro-Schmelzpool zu erzeugen. Durch Variation von Fokusedurchmesser und Pulsenergie kann der Prozess an die verschiedenen metallischen Pulvermaterialien angepasst werden. Je nach Bestrahlungsstrategie mit quasi stochastisch verteilten Pulsen kann die Werkstoffdichte von porös bis dicht eingestellt werden. Die generierten Teile sind weitgehend spannungsfrei.

Eine zweite Lösung für den Umgang mit dem feinen Pulver war eine zusätzliche mechanische Verdichtung des Pulvers. Damit konnten zunächst mit überlappenden Pulsen dichte Körper generiert werden. Als Weiterentwicklung entstand eine neue patentierte Rakelmaschine. Mit dieser können nun erstmals im Mikrobereich auch cw-Laser genutzt werden. Daraus ist die neue Technologie Mikro-SLM entstanden. Mit ihr können dichte Bauteile generiert werden. Die Technologie ist aktuell Gegenstand der Forschung, ebenso wie die Einbindung von Messprozessen in den Bauprozess.

Perspektivisch soll die neue Rakelmaschine mit einem ultraschnellen Polygonspiegelscanner verknüpft und so ein Hochrate-Mikro-SLM Verfahren mit Bauraten von mehreren $10 \text{ cm}^3/\text{h}$ realisiert werden. Vorversuche mit Scangeschwindigkeiten von bis zu 150 m/s waren bereits 2009 erfolgreich. Durch eine hohe Laserleistung von über 1 kW und den daraus resultierenden hohen Intensitäten sowie kurzen Einwirkzeiten von $< 500 \text{ ns}$ verschmilzt auf diesem Weg das Mikro-SLM-Verfahren mit dem Lasermikrosintern. Bis zur praktischen Anwendbarkeit sind allerdings noch zahlreiche technische Probleme wie eine ultraschnelle Lasersteuerung zu lösen.

Am Ende soll ein kompakter und schneller 3D Metalldrucker mit hoher Auflösung für die digitale Produktion zur Verfügung stehen.



DIE HOCHSCHULE MIT 140JÄHRIGER TRADITION

„3D Mikrodruck von Metallen – Stand und Perspektiven“

Robby Ebert, André Streek, Frank Ullmann, Matthias Horn, Stefan Gronau,
Martin Erler, Lars Hartwig, Udo Löschner, Horst Exner



2. Mitteldeutsches Forum - 3 Druck in der Anwendung, 27.05.2015



3D Mikrodruck von Metallen – Stand und Perspektiven

AS1

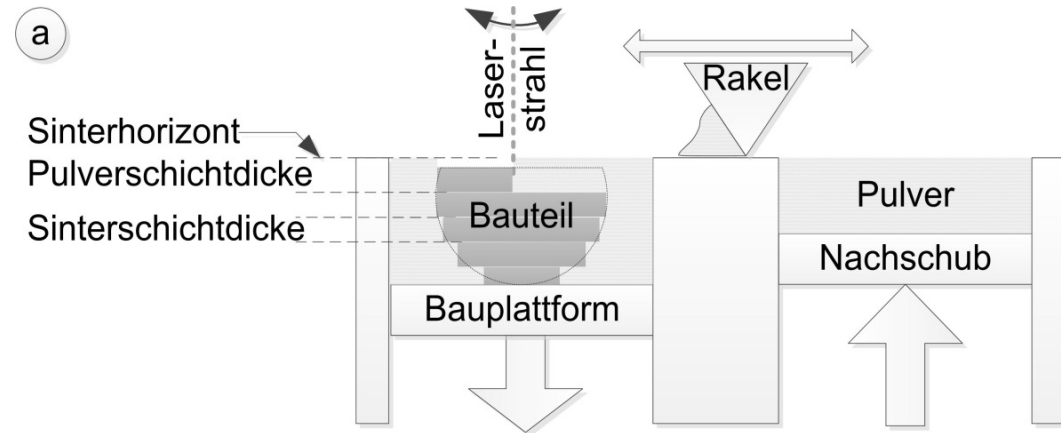
- **Gliederung**
 - Grundlagen (allg., verteilte Laserpulse)
 - verteilte Laserpulse – Resultate
 - Grundlagen (Pulververdichtung)
 - überlappende Laserpulse – Resultate
 - angepasste Technologien – Resultate
 - Micro Cladding
 - Neue Entwicklungen
 - Integrierte Messprozesse
 - Mikro-SLM mit cw-Laser
 - Perspektiven
 - Hochrate-Mikro-SLM
 - Zusammenfassung



Grundlagen

■ SLS / SLM Allgemein

- generierendes Freiformverfahren - d.h. Bauteilform ist werkzeugunabhängig
- durch schichtweisen Aufbau Erzeugung von Hinterschneidungen und Kavitäten
- Auflösung minimal 80µm
- cw – Faserlaser / CO₂-Laser
- Produktionsverfahren (Metall: Zahnkäppchen)

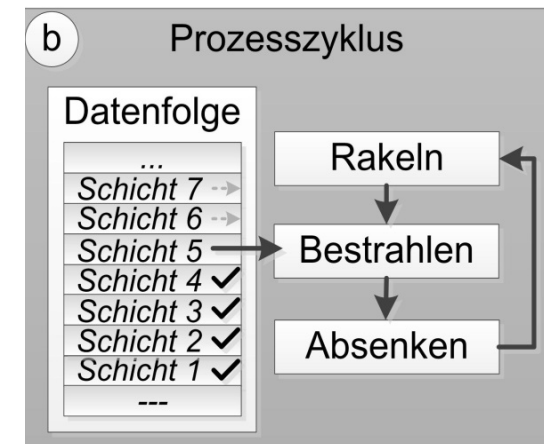


■ Ablauf

- Absenken der Bauplattform
- Rakeln einer Pulverschicht
- Selektives Verfestigen (Sintern / Schmelzen) mit dem Laser
- ...

■ Materialien

- Kunststoff
- Metall
 - SLM
- Formsand
- Spezielle Keramik



Quelle: LHM (Streek)

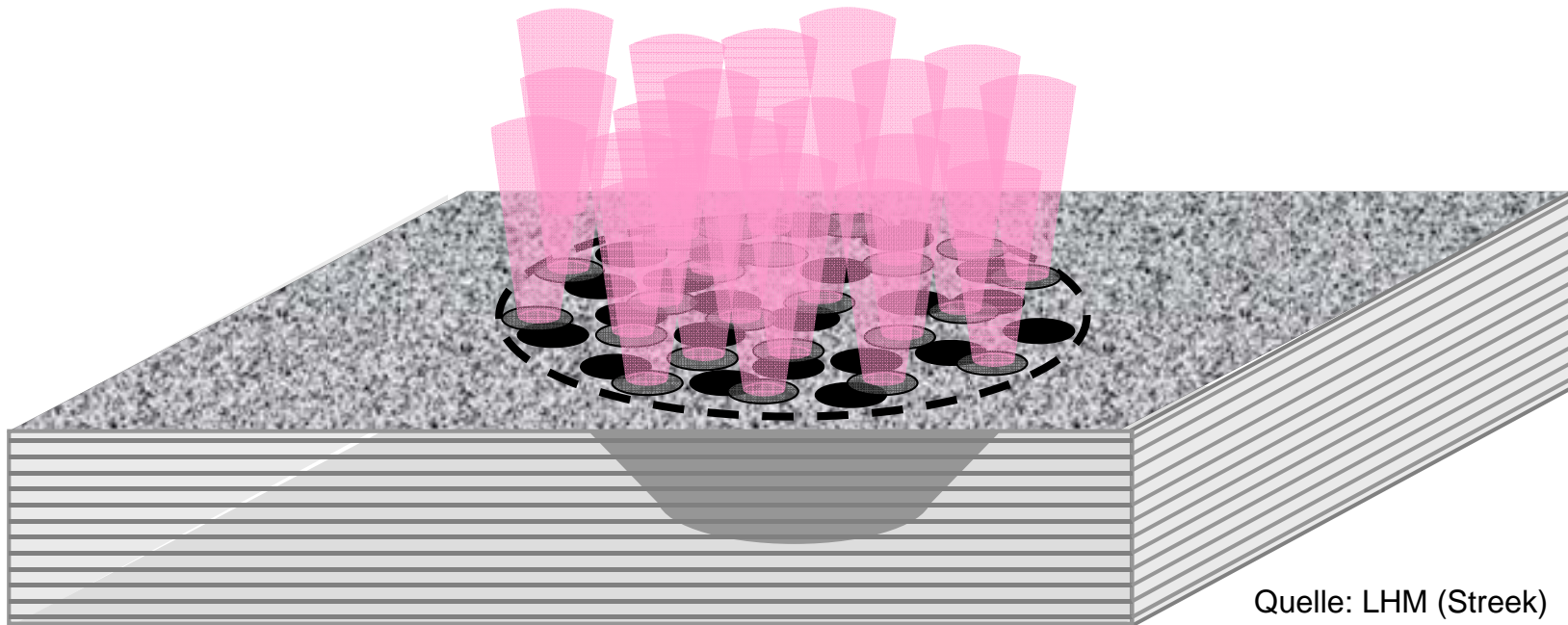
Grundlagen



- Motivation zur Entwicklung eines SLS - Verfahrens für den Mikrobereich
 - Höhere Auflösung (Medizintechnik, Feinmechanik, Mikrosystemtechnik, ...)
 - Größere Materialvielfalt
- Erfordernisse
 - Dünne Pulverschichten ($< 10 \mu\text{m}$)
 - Feines Pulver (Korndurchmesser $< 10 \mu\text{m}$)
 - Hohe Fokussierung ($d < 50 \mu\text{m}$)
- Resultat
 - lose Pulverschichten (Schüttdichte $< 20\%$)
 - nicht zusammenhängende Schmelzperlen
- **Lösungen**
 - **1. “punktweises” selektives Lasersintern mit kurzgepulster hochintensiver verteilter Laserstrahlung (Nd:YAG- oder Faserlaser) – Lasermikrosintern**
 - **2. Pulververdichtung, Einwirkung von überlagerten Pulsen oder cw – Laserstrahlung (Monomode – Faserlaser = Mikro – SLM)**
 - **3. Hohe Scangeschwindigkeit – Hochrate Mikro - SLM**

Grundlagen

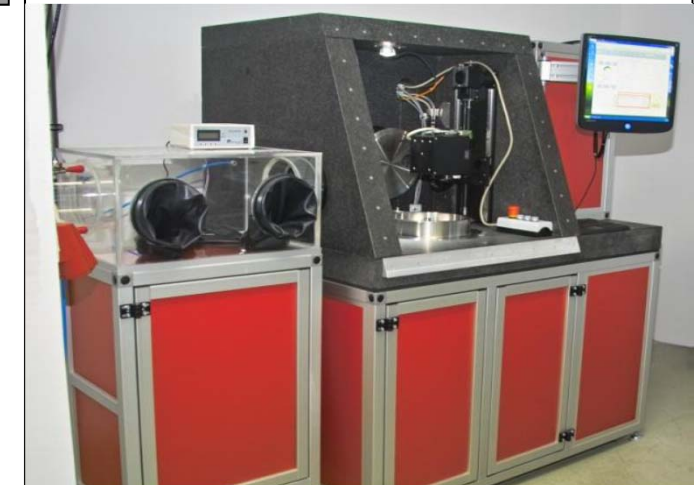
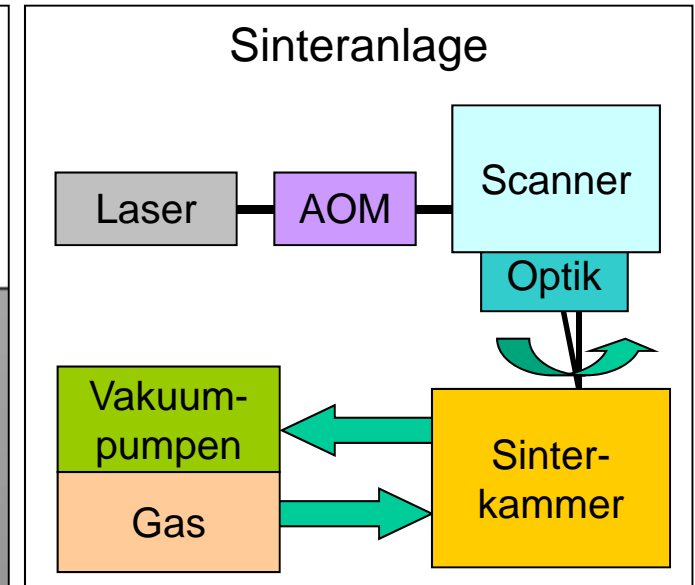
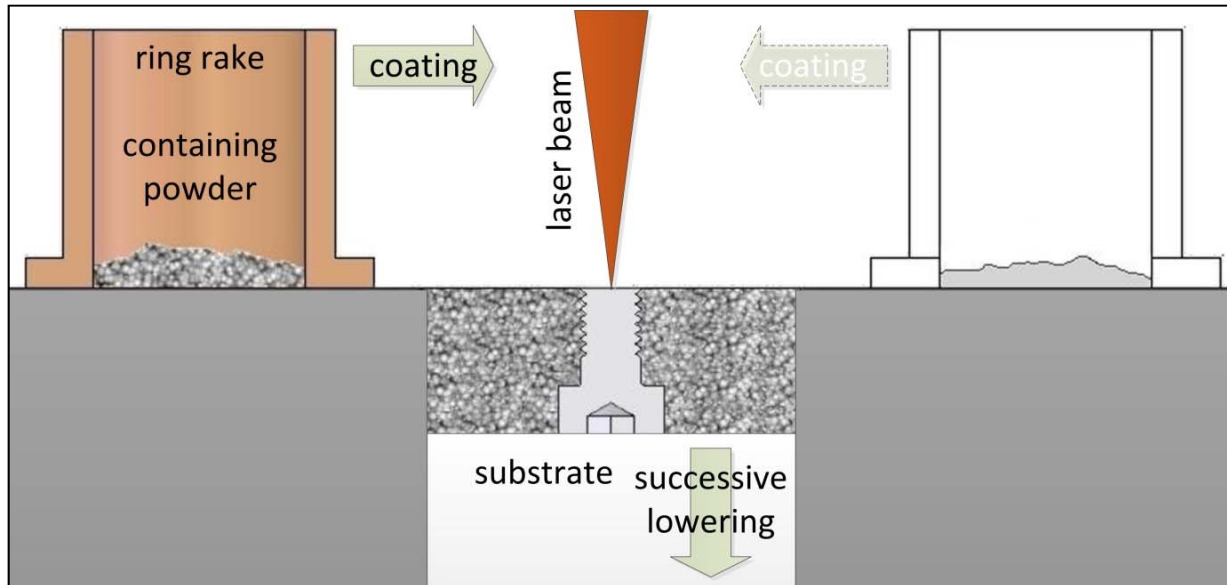
- **1. Lösung:** verteilte hochintensive Laserpulse
- quasi-stochastische Verteilung und Überlappung einzelner Sinterpunkte
- sehr gute vertikale Vernetzung durch Plasmadruck und Rückstoß
- gute laterale Vernetzung durch partielle Überlappung
- Resultate:
 - kurzreichweitiger thermaler Stress, nahezu verzugsfreie Bauteile
 - Bauteildichte zwischen 40 und 90% (einstellbar, materialabhängig)
 - **Lasermikrosintern**



Quelle: LHM (Streek)

Grundlagen

Prozessbeschreibung Lasermikrosintern



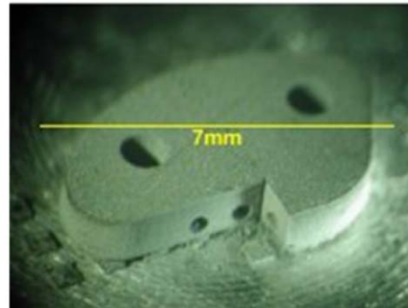
Quelle: LHM (Streek)

- Edelstahl-, Wolfram-, Molybdän-, Platinpulver, ... (Korngröße 0,1 – 5 μm)
- Sinterkammer mit patentierter Ringrakel
- Hochfokussierte Laserstrahlung ($d_{86} = 25 - 40 \mu\text{m}$)
- Intensive Laserpulse ($\tau_H < 500 \text{ ns}$, $P_{av} < 50 \text{ W}$, $I_{av} > 10^7 \text{ Wcm}^{-2}$)
- Höhe der Bauraumabsenkung und Dicke der resultierenden Sinterschicht 1 - 3 μm (vertikale Auflösung)

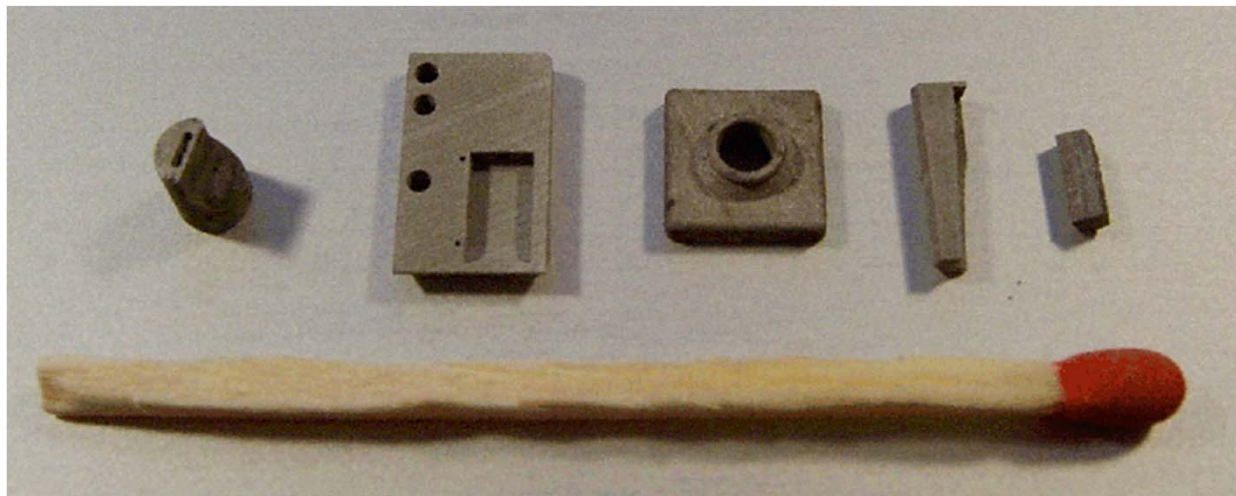
Verteilte Laserpulse - Resultate



- Wolframpulver – Korngröße $< 1 \mu\text{m}$; He – Schutzgasatmosphäre
- Sinterschichtdicke $1 \mu\text{m}$
- Pulsabstand $75 \mu\text{m}$, 8 Überfahrten, quasistochastische Verteilung
- Bauteildichte 40% bis maximal 80% einstellbar
- div. Mikrowerkzeuge generiert



Quelle: LHM (Hartwig)

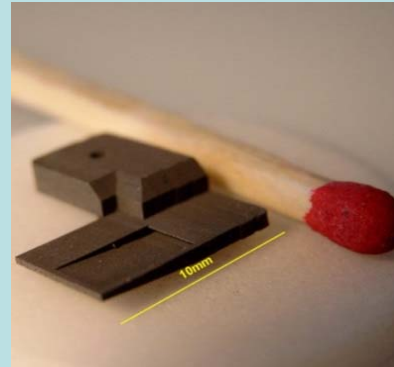
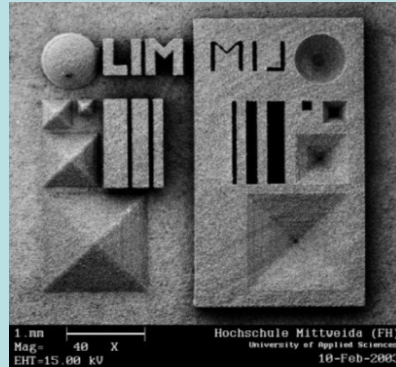


Verteilte Laserpulse - Resultate



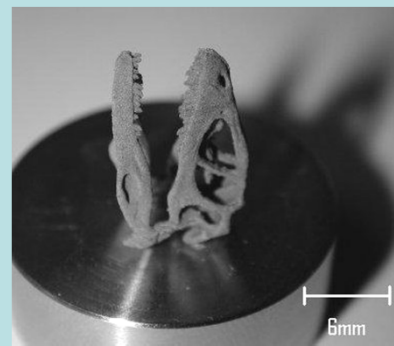
- Weitere Beispiele

Wolfram



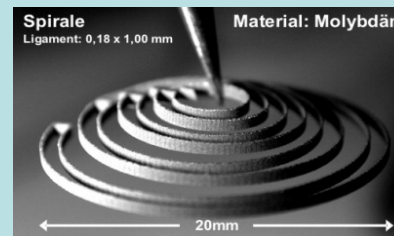
Wolfram

Silber/Kupfer



Edelstahl

Silber



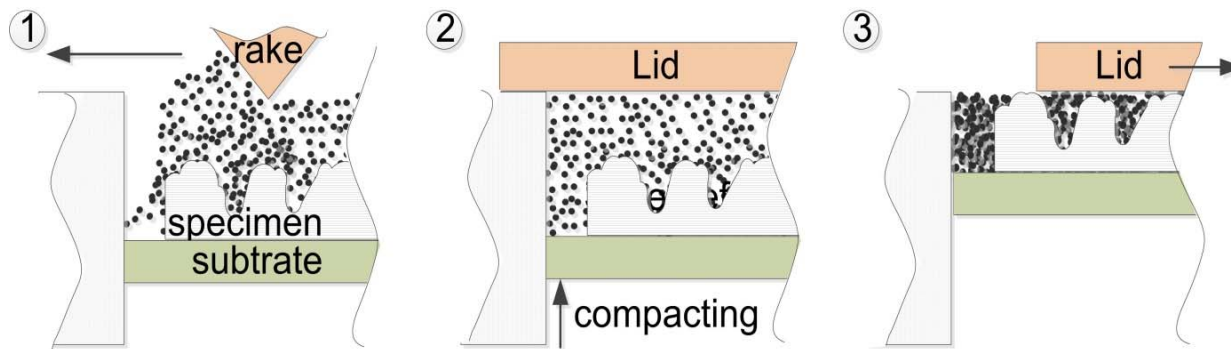
Molybdän

Quelle: LHM (Hartwig, Streek)

Grundlagen



- **2. Lösung:** Mechanisches Pressen zur Pulververdichtung vor der Bestrahlung
- erlaubt Verwendung von überlappenden Pulsen mit geringeren Intensitäten
- Bauteildichte > 90% erreichbar



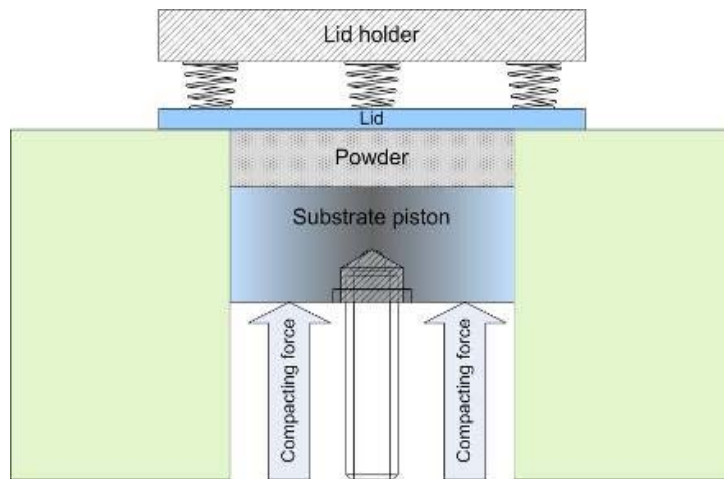
Quelle: LHM (Streek)

- 1: Pulver rakeln
- 2: Bauraum abdecken und Pulver pressen
- 3: Bauraum öffnen und sintern

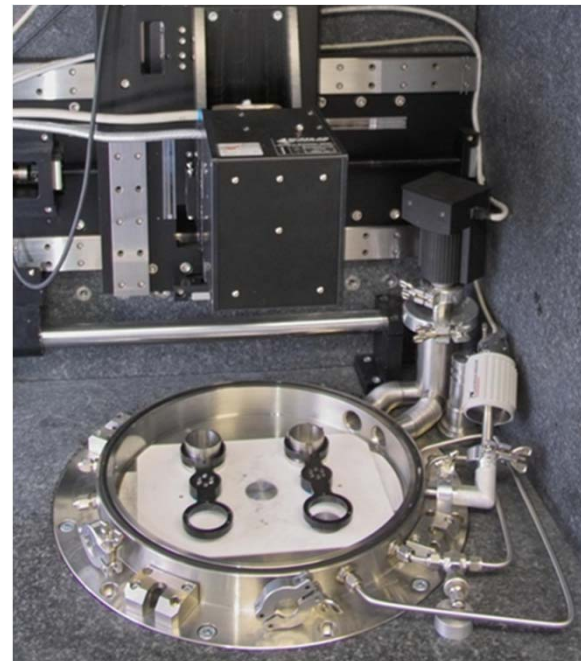
Grundlagen



- Technische Lösung: Pulververdichtung mit Bauraumabdeckung
 - Rel. Schüttdichte Molybdän-Pulver 0,19
 - Rel. Dichte im Pulverbett nach Kompaktierung 0,30 - 0,35



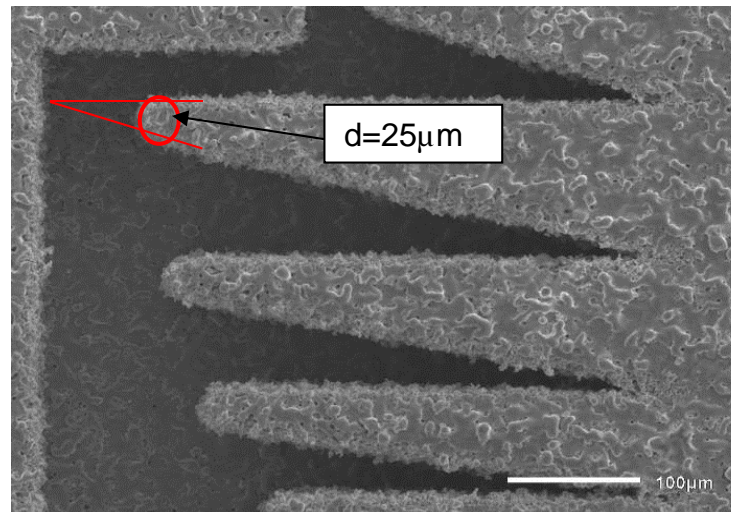
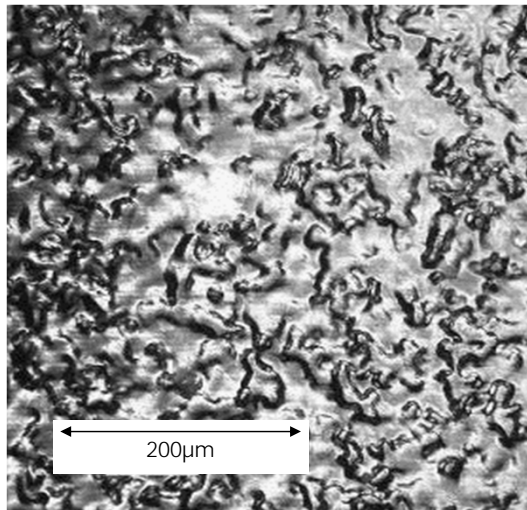
Quelle: LHM (Streek)



Überlappende Laserpulse - Resultate



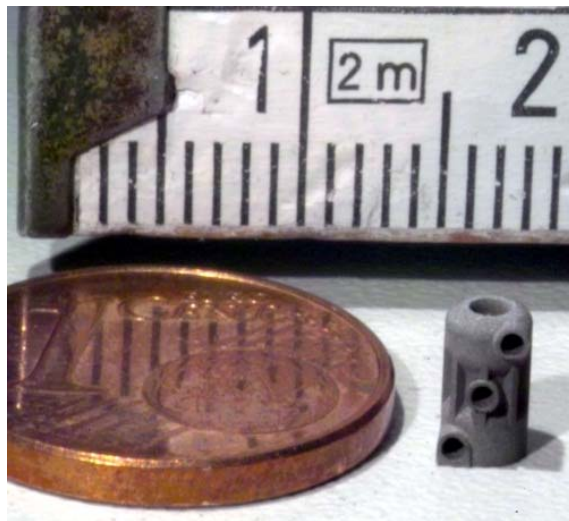
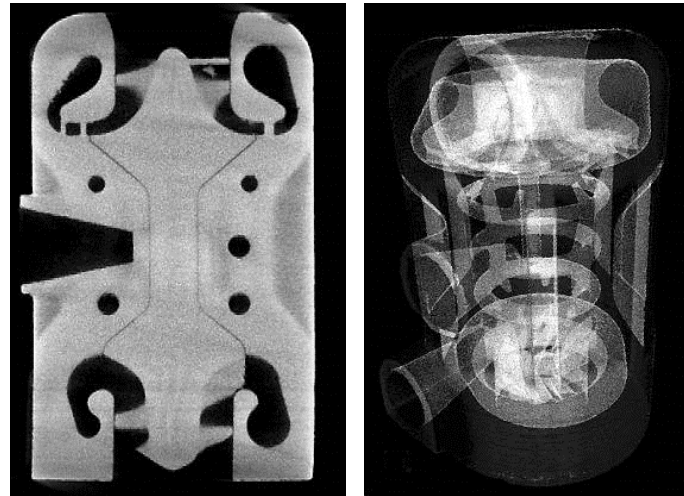
- Ergebnisse – Molybdän
 - relativ glatte Oberflächen
 - hohe Auflösung



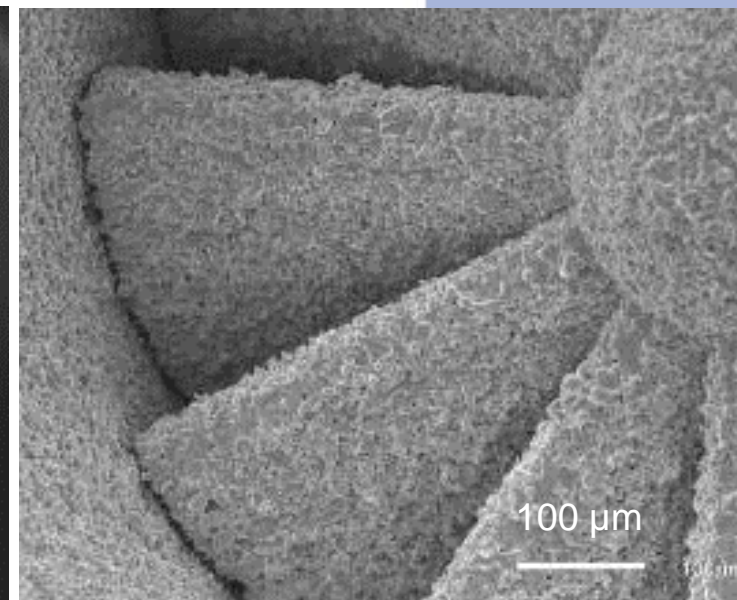
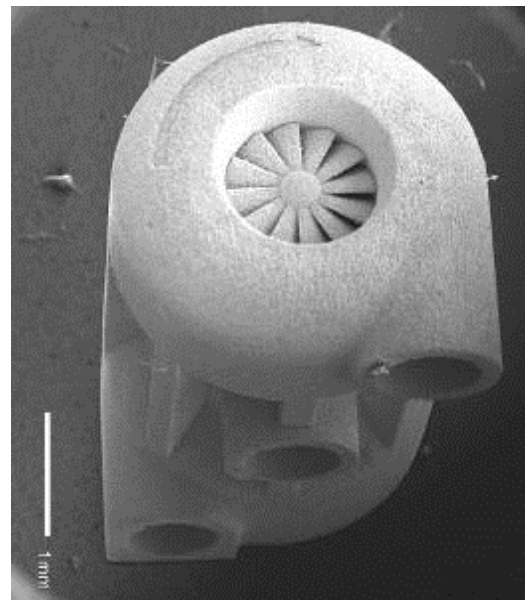
Quelle: LHM (Streek)

Überlappende Laserpulse - Resultate

- Ergebnisse – Molybdän
 - Mikro-Turbolader
 - Höhe 5 mm, Durchmesser 3 mm
 - Dichte ca. 97%
 - Poren $< 3 \mu\text{m}$ (Nano-CT)
 - innere Struktur ausgebildet
 - Mikroschlitz vorhanden



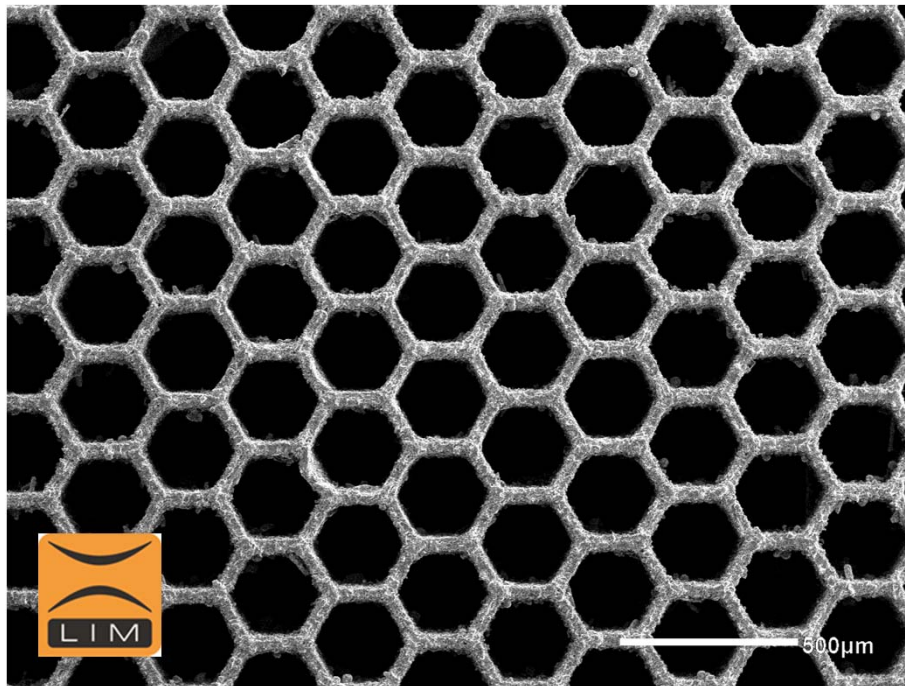
Quelle: LHM (Streek)



Überlappende Laserpulse - Resultate



- Ergebnisse – Edelstahl
 - Mikro-Gitter
 - Edelstahl 1.4404, Korngröße 5µm
 - Geometrischer Pulsabstand 5 µm
 - Höhe 1 mm, Stegbreite 50 µm

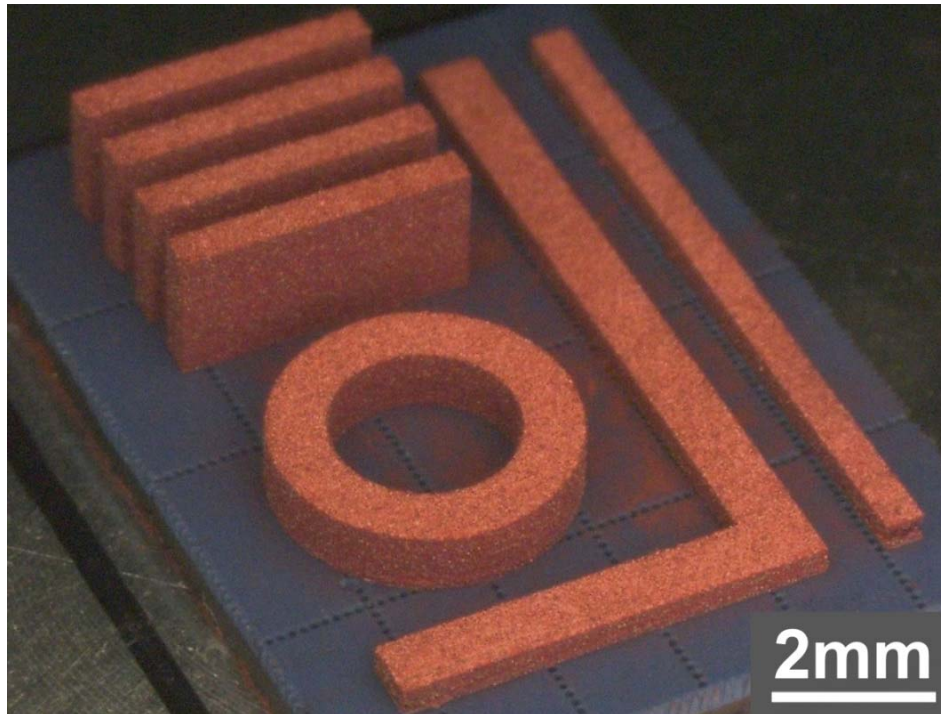


Quelle: LIM Laserinstitut Mittelsachsen GmbH (Gronau)

Überlappende Laserpulse - Resultate



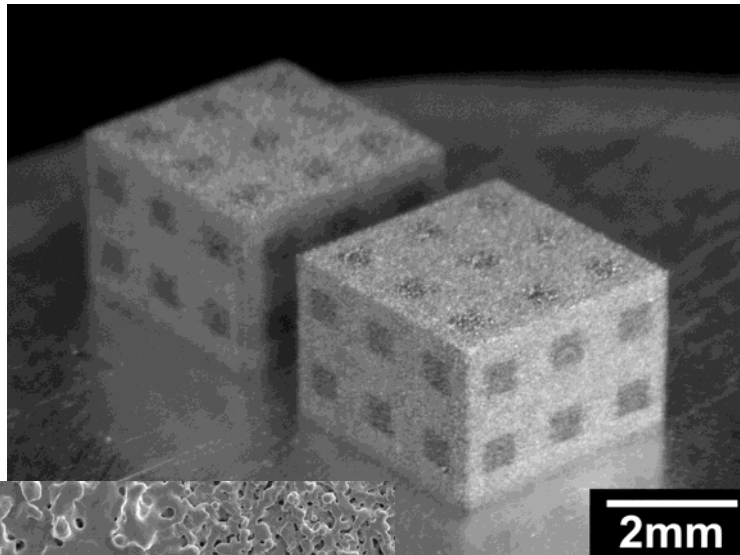
- Ergebnisse – Kupfer
 - Leiterbahnstrukturen auf LTTC-Leiterplattenmaterial
 - Kupfer, Korngröße 4 μm
 - Geometrischer Pulsabstand 6 μm , Linienabstand 25 μm



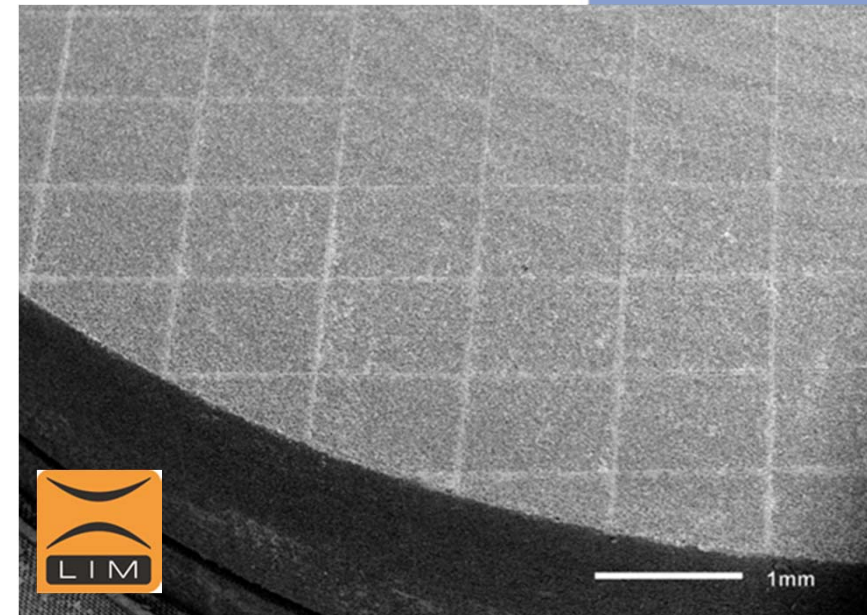
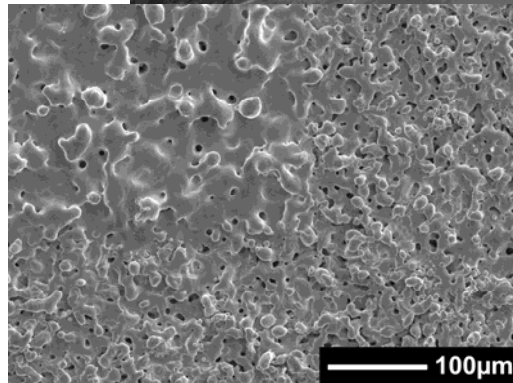
Quelle: LHM (Ullmann)

Angepasste Technologien - Resultate

- Überlappende und nicht überlappende Laserpulse
 - dichte und poröse Bereiche



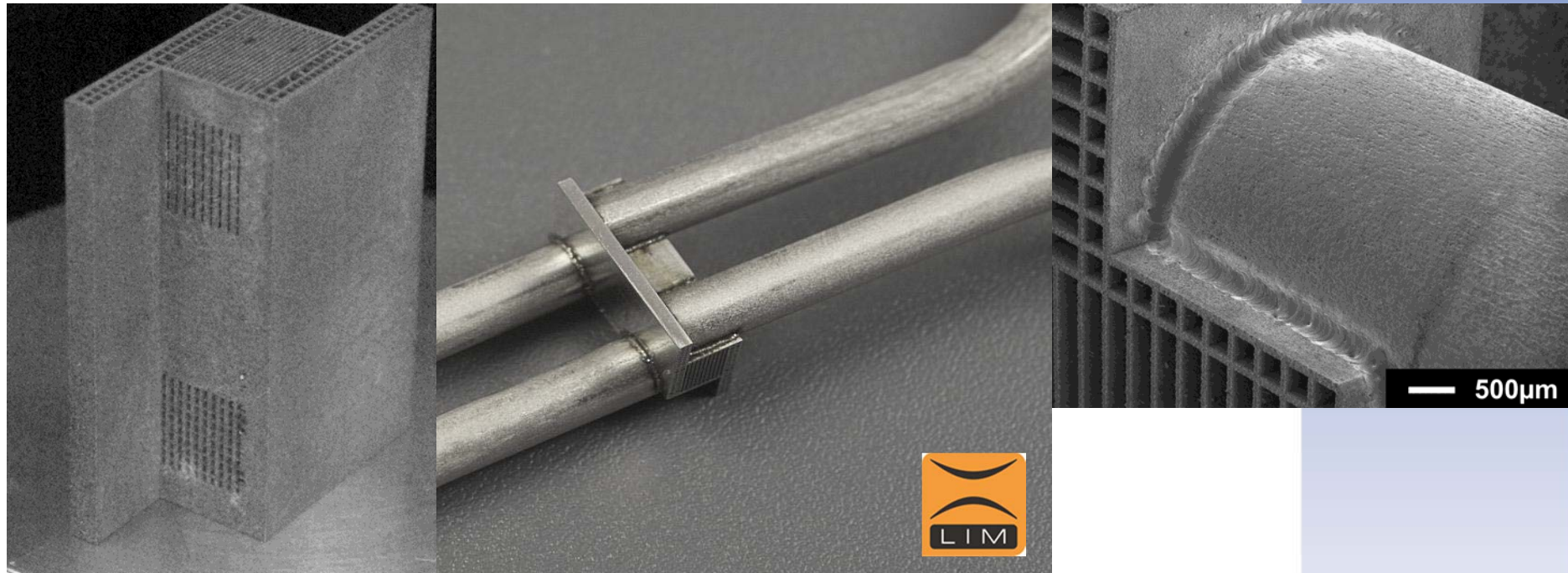
Quelle: LHM (Ullmann)



Quelle: LIM Laserinstitut Mittelsachsen GmbH (Ullmann)

Angepasste Technologien – Resultate

- Hochaspekt - Strukturen
 - Mikro-Wärmeübertrager / komplexe innere Struktur
 - überlappende Pulse
 - Spannungen / Risse an massiven Gehäusen nach Bauhöhe von 300µm
 - Lösung durch mit verteilten Schweißpunkten verbundene Schalen

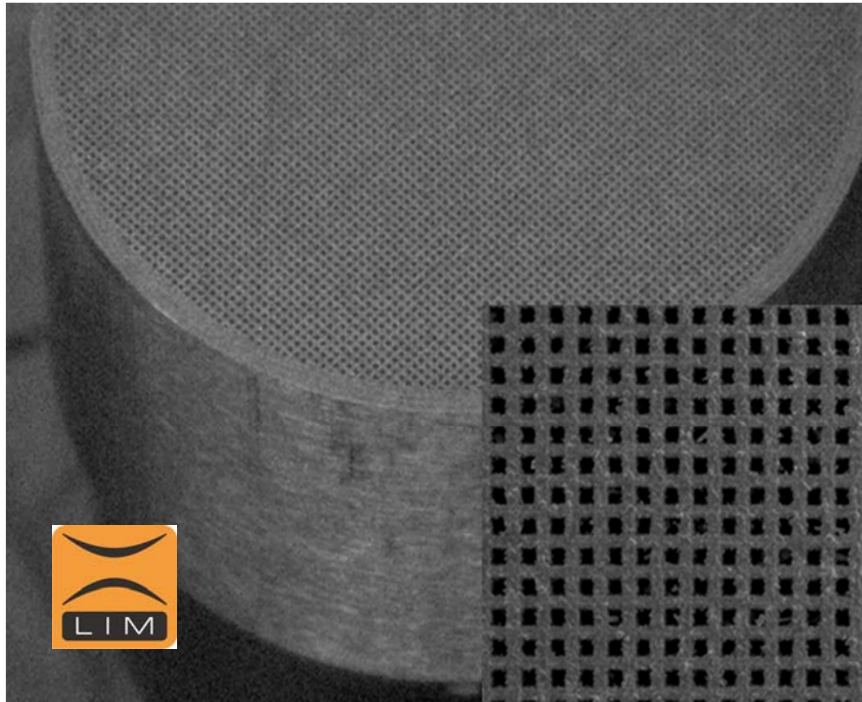


Quelle: LIM Laserinstitut Mittelsachsen GmbH (Ullmann)

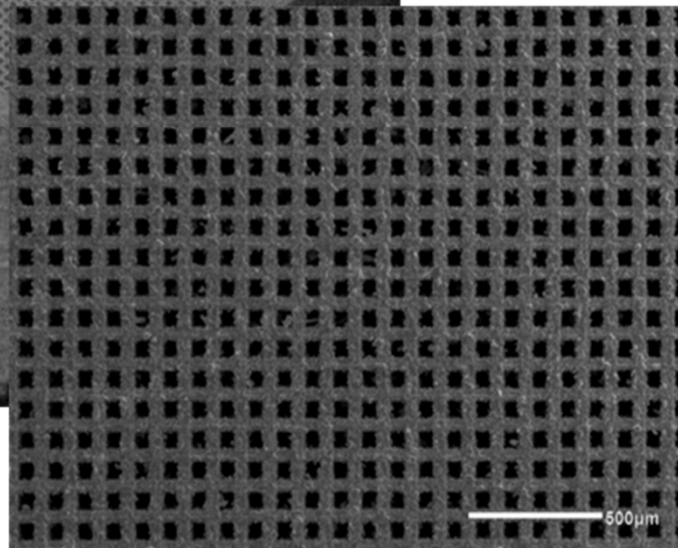
Angepasste Technologien - Resultate



- Hochaspekt - Strukturen
 - Mikro-Filter
 - Bauhöhe 5 mm, 7.000 Löcher
 - Aspektverhältnis 1 : 100



Quelle: LIM Laserinstitut Mittelsachsen GmbH (Ullmann)



Angepasste Technologien - Resultate

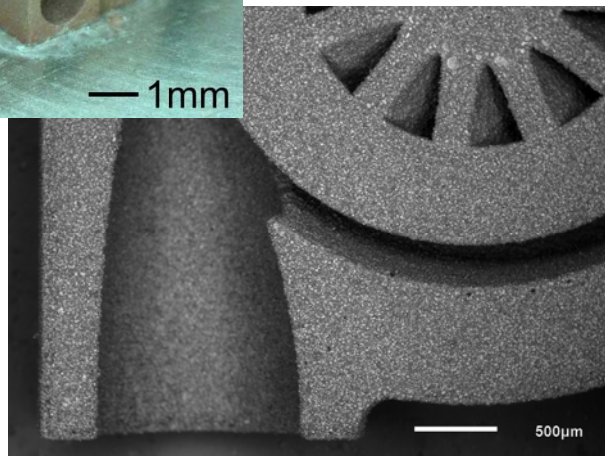
- Cermet – Materialien
 - Gemisch aus Metall und Keramik, Kombination der Eigenschaften
 - überlappende Pulse, stochastisch angeordnete Sinterflächen

Kupfer + Mullit-Keramik

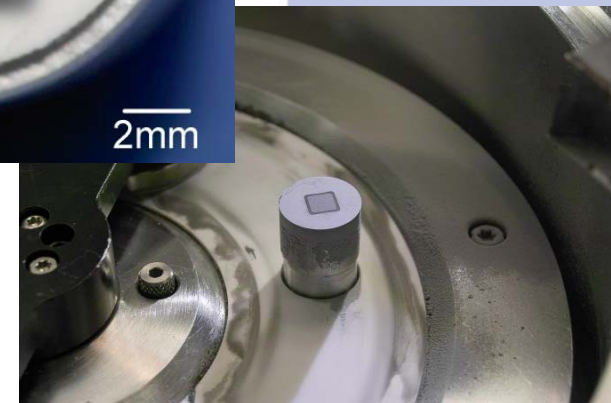
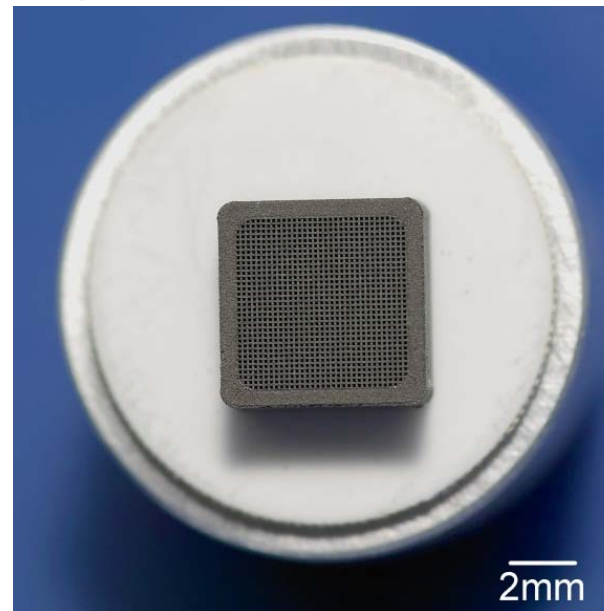


Quelle: LHM (Horn)

— 1mm



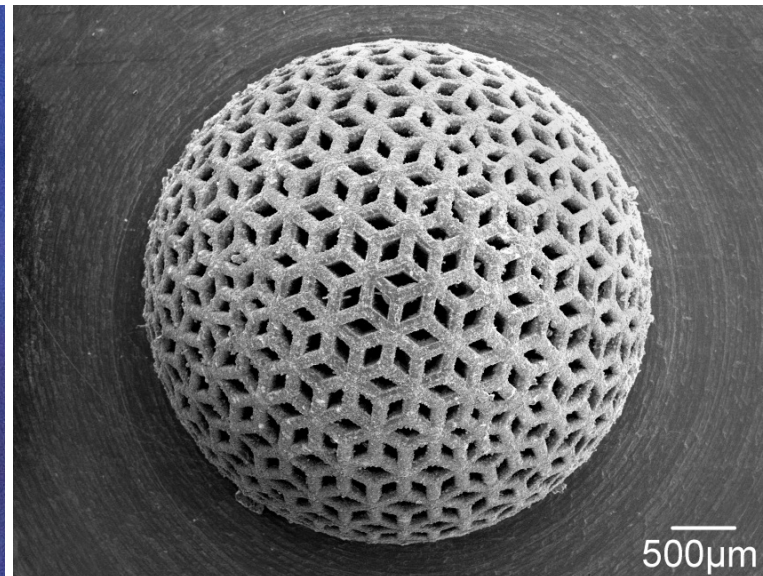
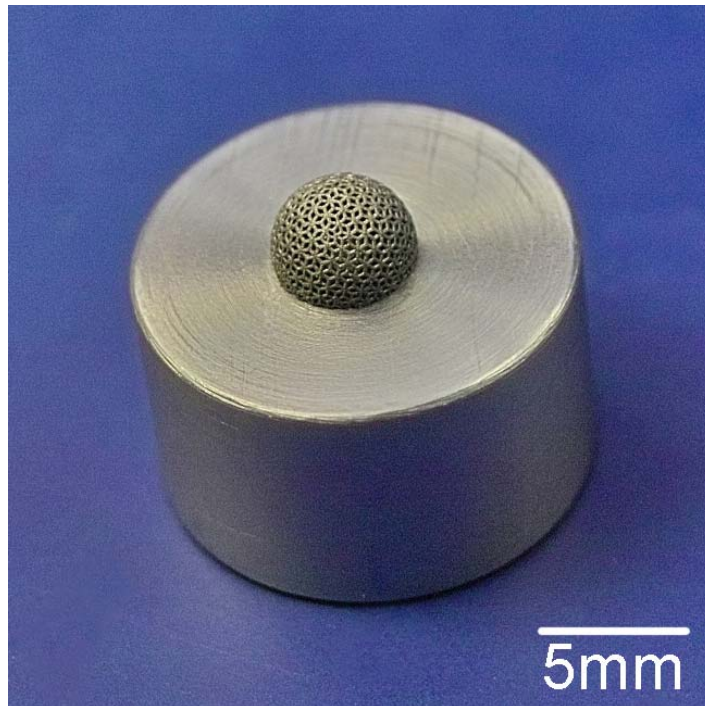
Molybdän + Mullit-Keramik



Angepasste Technologien - Resultate

- Cermet - Materialien

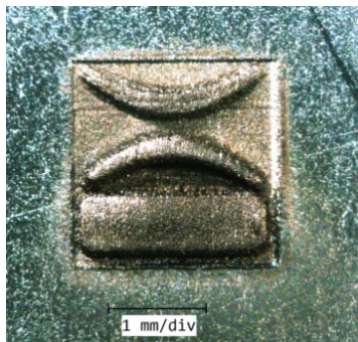
Edelstahl + Siliziumcarbid - Keramik



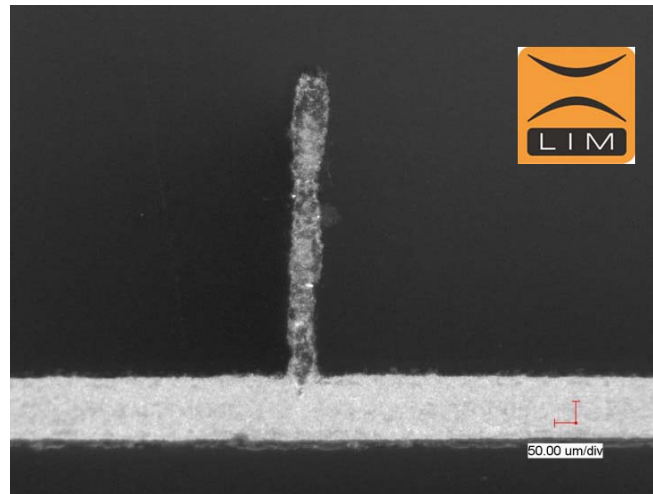
Quelle: LHM (Horn)

Micro Cladding

- Drucken auf beliebig geformte Oberflächen
 - Pulverzufuhr mittels Düse
 - pulsweises (“punktweises”) selektives Micro Cladding mit kurzgepulster hochintensiver Laserstrahlung (Faserlaser)
 - schnelle Strahlablenkung mit Scanner
 - geringe Substratbelastung
 - Wände oder 2,5 D Strukturen
 - derzeit Weiterentwicklung zum Hochrate-Verfahren



Quelle: LHM (Erler)



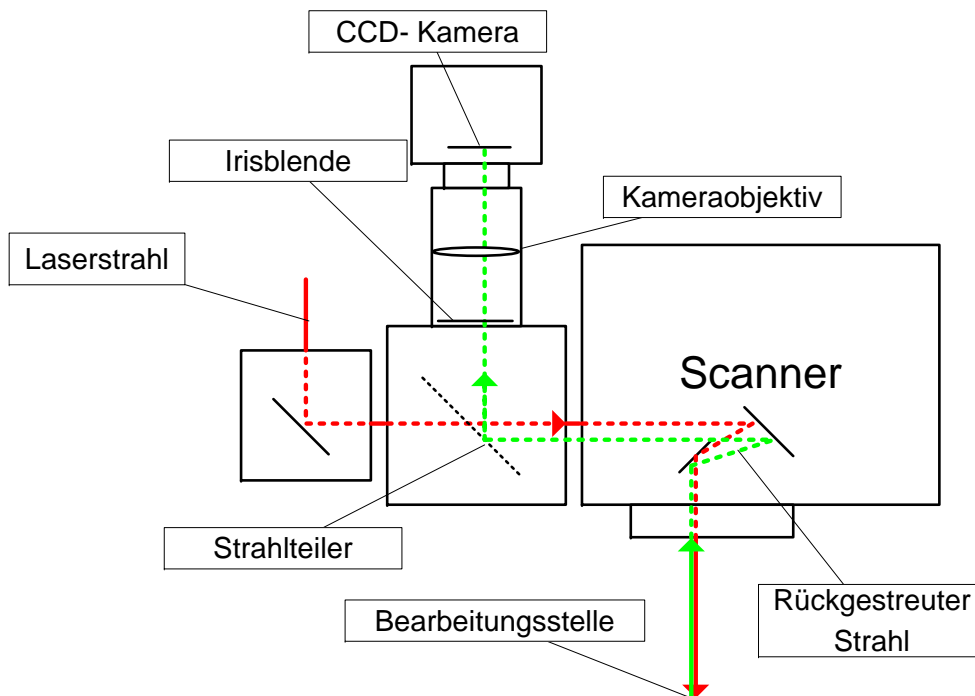
Quelle: Laserinstitut Mittelsachsen e.V. (Erler)



Quelle: LHM (Erler)

Neue Entwicklungen

- Integration von Messtechnik

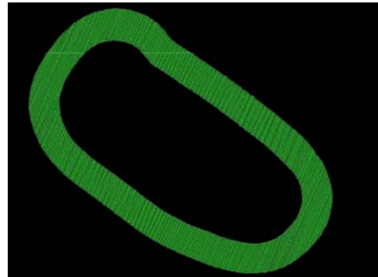


Quelle: LHM (Streek)

Neue Entwicklungen

- Integration von Messtechnik

vorgegebene
Struktur



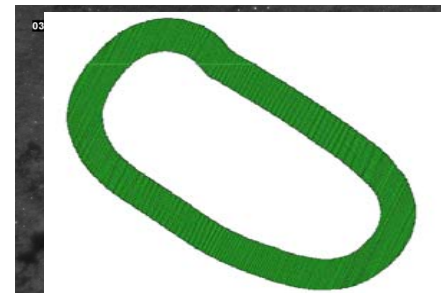
gesinterte
Struktur



Quelle: LHM (Streek)



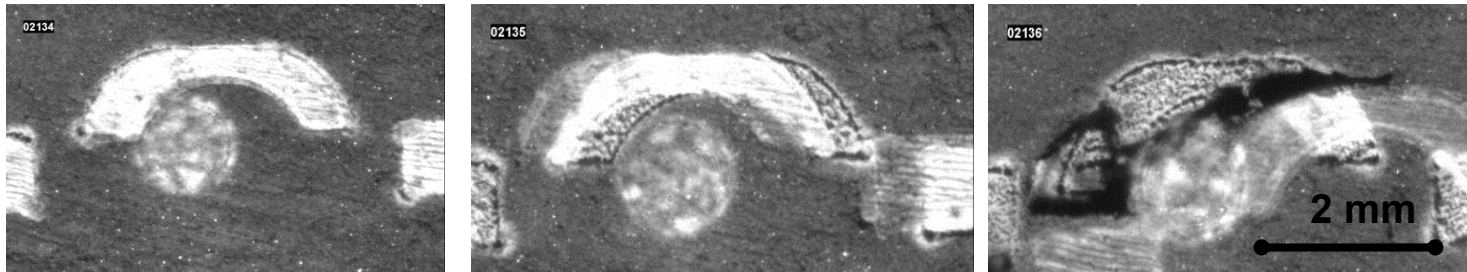
Insitu-Vergleich



- Überprüfung der gesinterten Kontur bzw. Füllung auf Ihre Integrität
- Fehler in der aktuellen gesinterten Schicht können sofort erkannt und mit der nächsten Schicht behoben werden
 - Erhöhung Prozesssicherheit

Neue Entwicklungen

- Integration von Messtechnik



Material: SiO
Höhe: 2,13 mm
Schichten: 2130

- Abriss des Bauteiles deutlich durch Verschiebung im Pulver sichtbar

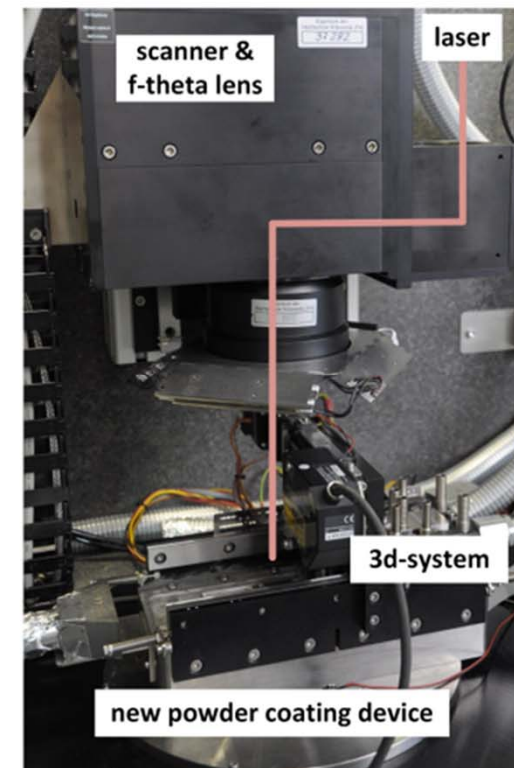
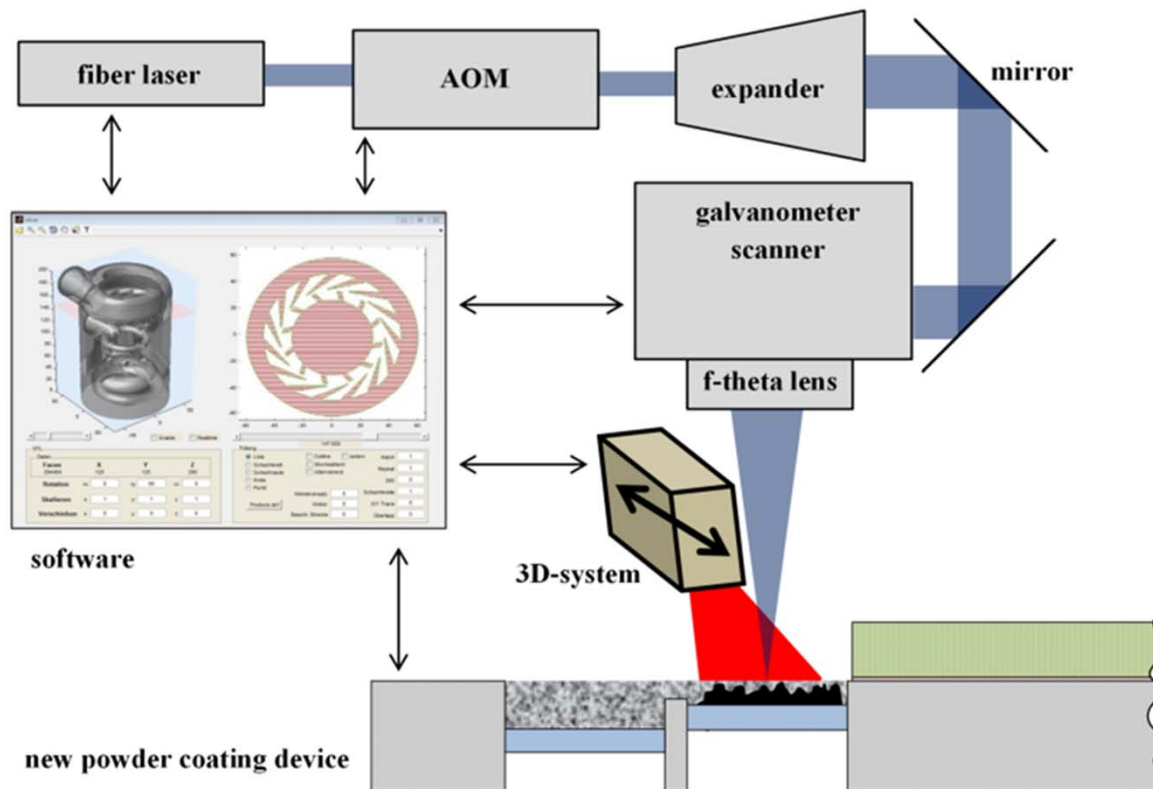


Miniaturgreifarm - Abriss bei Bauhöhe
2,1 mm von 7 mm

Quelle: LHM (Streek)

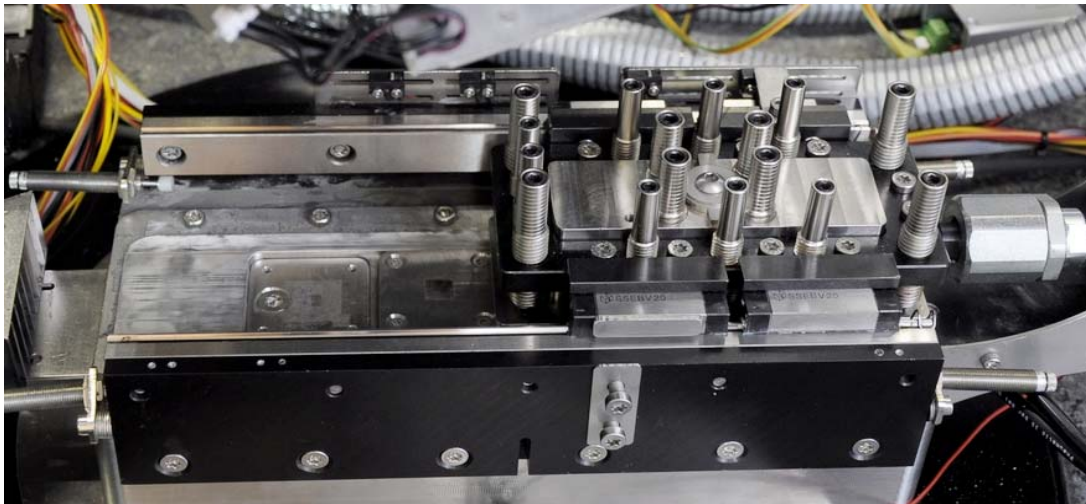
Neue Entwicklungen

- **Mikro – SLM** mit cw - Laser und neuartiger Rakelmaschine

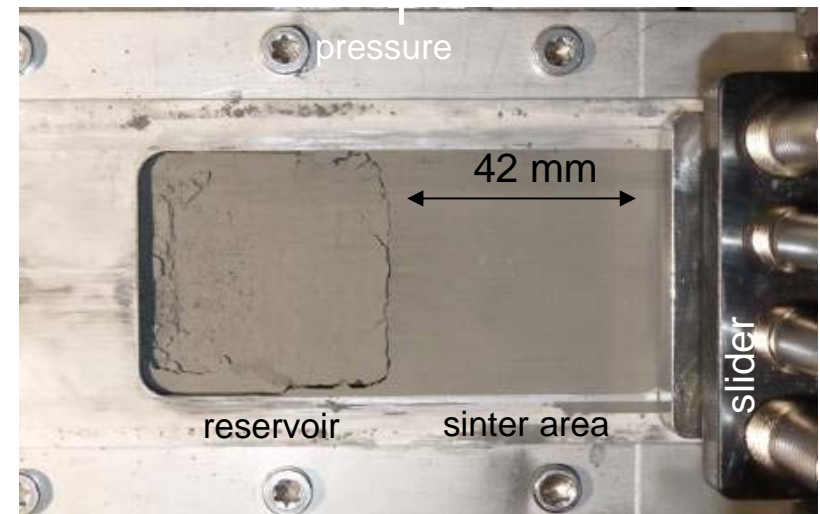
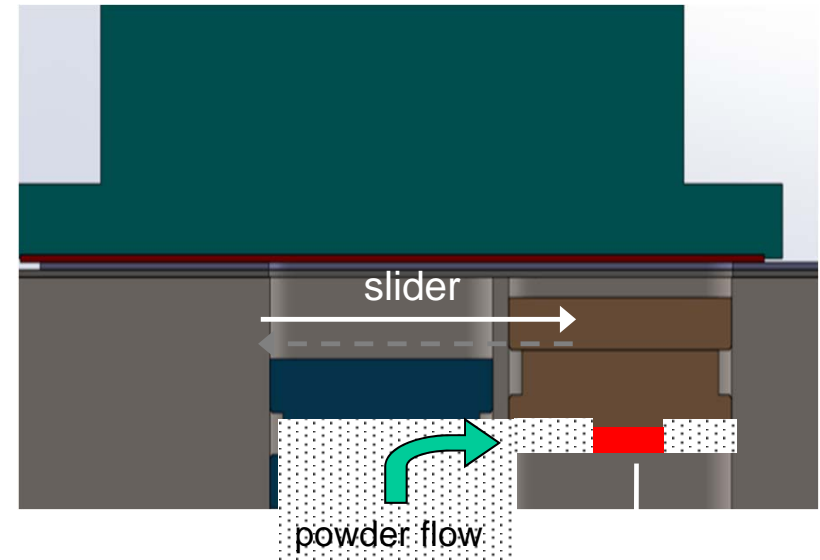
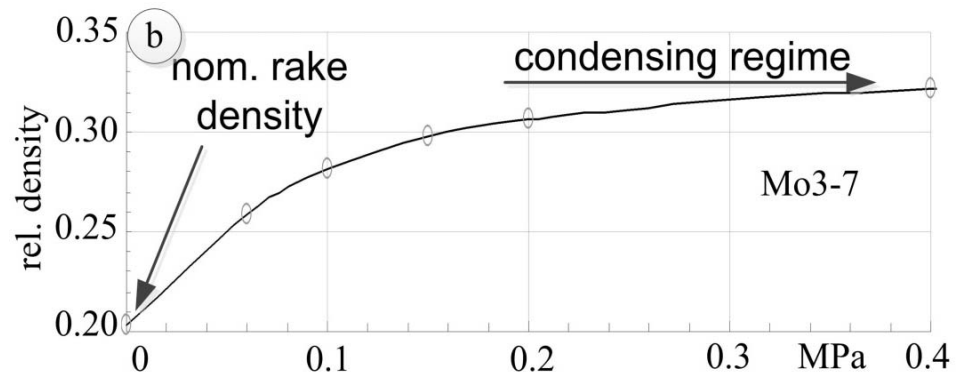


Quelle: LHM (Streek)

2. Lösung: Pulververdichtung mit patentierter Rakelmaschine



- Pulver wird unter hohem Druck aufgebracht
 - Pulver wird ab einem bestimmten Druck fließfähig!
- Druck ist mittels Pneumatikzylinder einstellbar
- Druck bis 1 MPa erzeugbar (Pulverdichtung bis 50%)

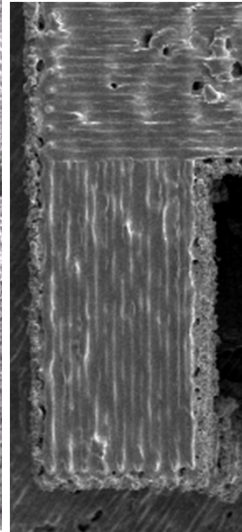
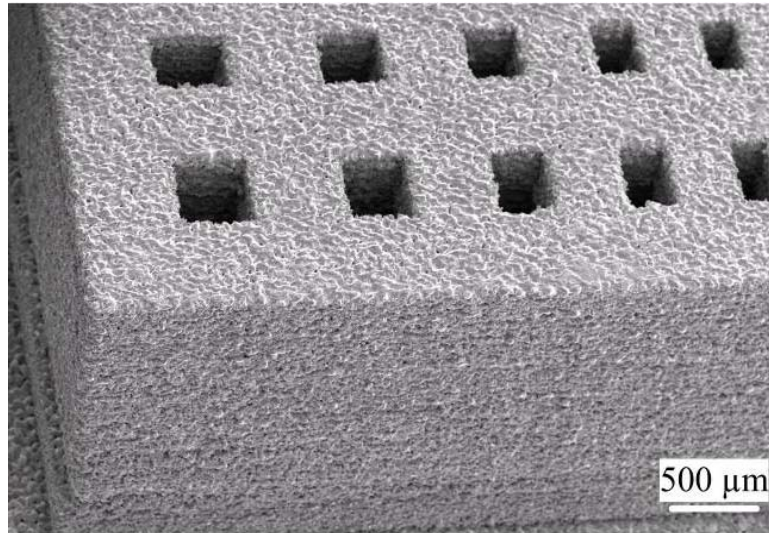


Verdichtetes Pulver (Druck abgelassen)

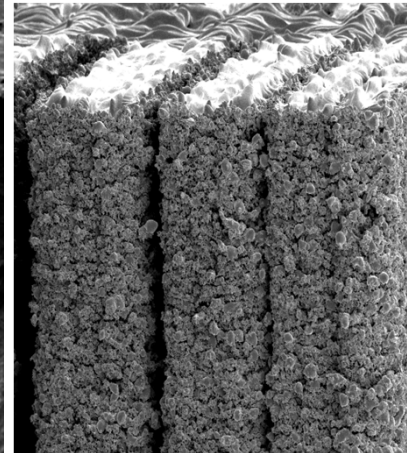
Quelle: LHM (Streek)

Neue Entwicklungen

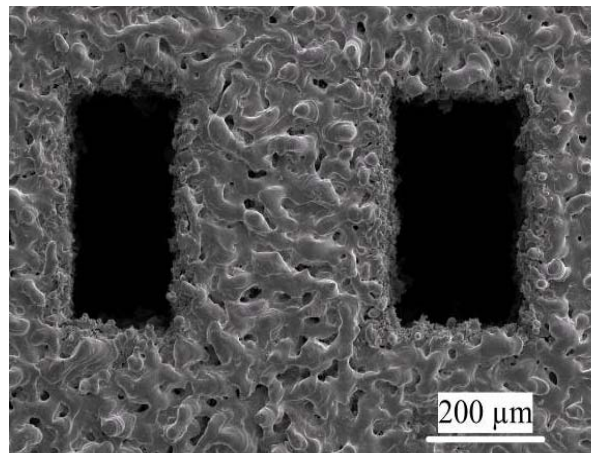
- Mikro – SLM von Molybdän



Quelle: LHM (Streek)

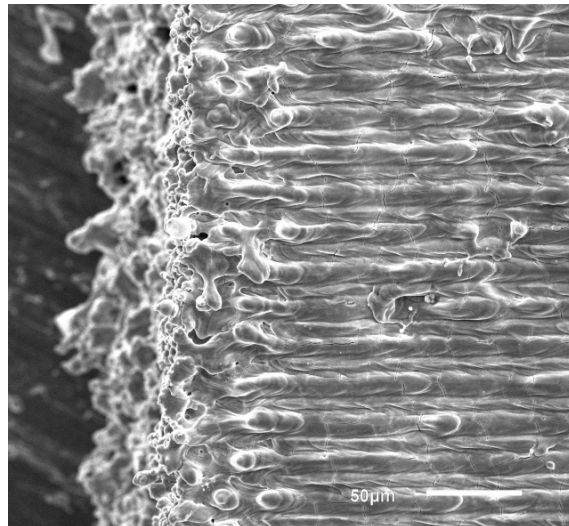


cw - Laserleistung 400 W
Pulverkorngroße 3 – 7 µm
Fokusbereich 40 µm
Schichtdicke 10 µm
Anpressdruck 1 MPa
Sinterdichte 98 %



Neue Entwicklungen

- Mikro – SLM von Wolfram



cw - Laserleistung 400 W
Pulverkorngröße ca. 15 µm
Fokusbereich 40 µm
Scangeschwindigkeit 15 m/s

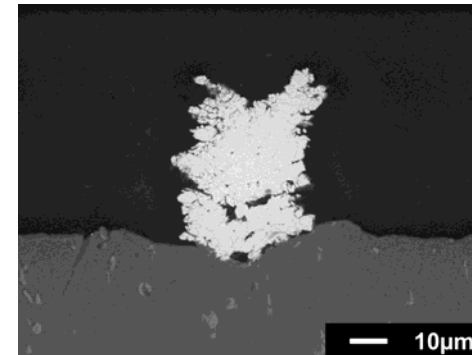


Quelle: LHM (Streek)

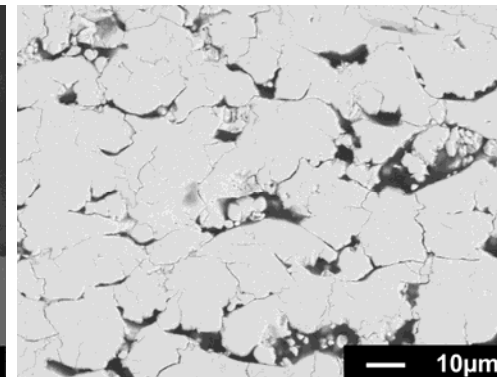
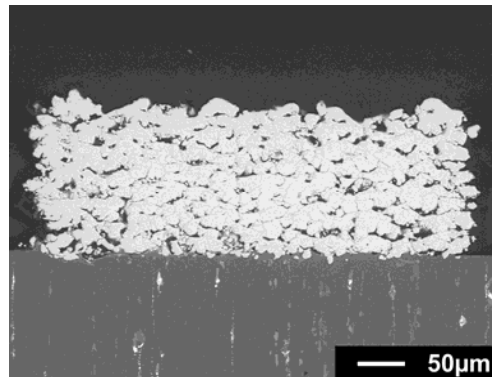
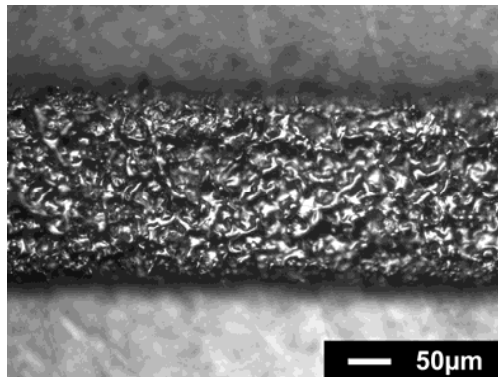
Perspektiven

■ 3. Lösung: Hochrate Mikro – SLM

- erste Ergebnisse bereits 2009
- Patent für Verfahren erteilt
- hohe Auflösung, besser $40\mu\text{m}$!
- gute vertikale Anbindung bei 50 Überfahrten (Zustellung je $2\mu\text{m}$)



P = 300 W, v = 150 m/s, Einzellinie



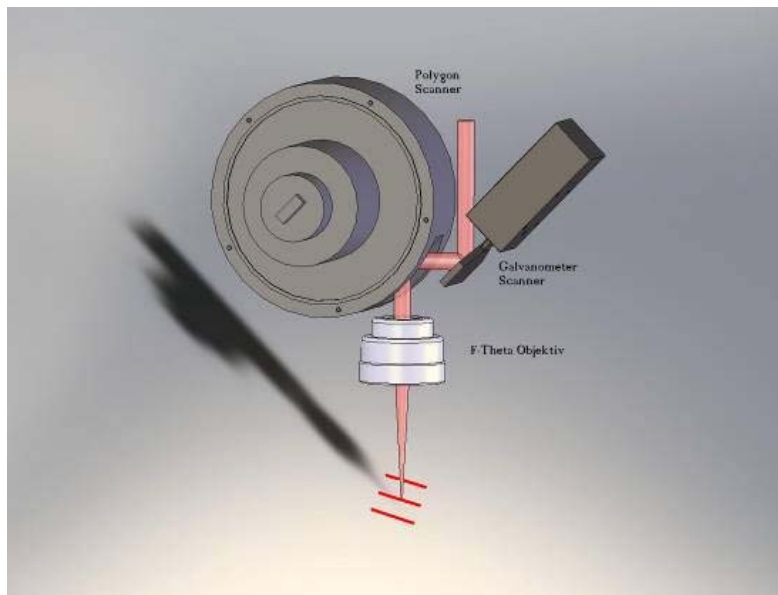
P = 1.000 W, v = 150 m/s, 10 Scan Querschliff: P = 665 W, v = 75 m/s, 25 Scan, Def. 1,0 mm

- Sintern mit hoher Intensität und Scangeschwindigkeit möglich (Einwirkzeit 500 ns)
- geschmolzene Oberfläche, Restporosität

Quelle: LHM (Ullmann, Hartwig)

Perspektiven

- Hochrate Mikro – SLM
 - Verwendung von Polygonspiegelscanner, cw-Laser mit schneller Strahlschaltung und schnellem Pulveraufzug
 - anzustrebende Prozessparameter:

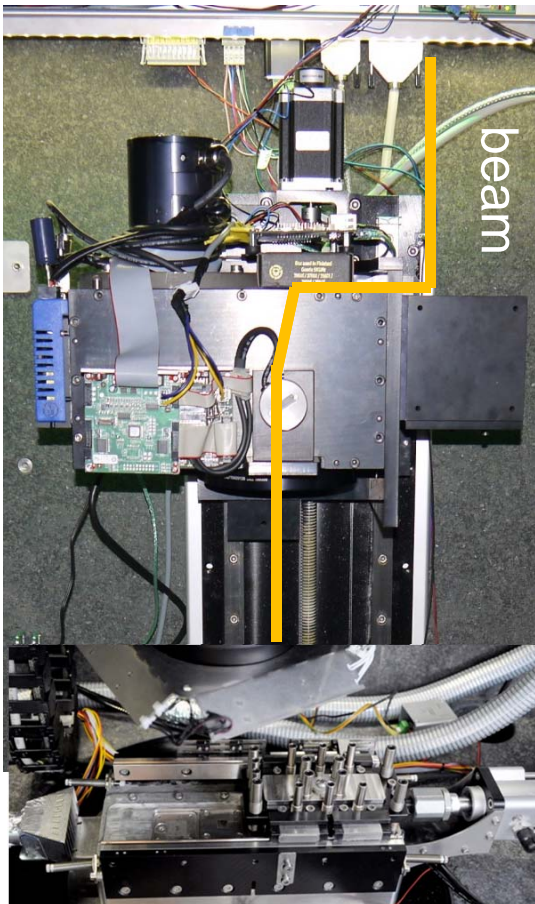


- Scangeschwindigkeit 100 m/s
- Spurabstand 30 μm
- Fläche 100 cm^2
 - > Bestrahlungszeit 330 ms
- Annahme: Rakelzeit = Bestrahlungszeit
 - > 1,5 Rakelvorgänge pro s
- Schichtdicke 2,5 μm
 - > **Baurate 14 cm^3 / h bei gleichzeitig hoher Auflösung**

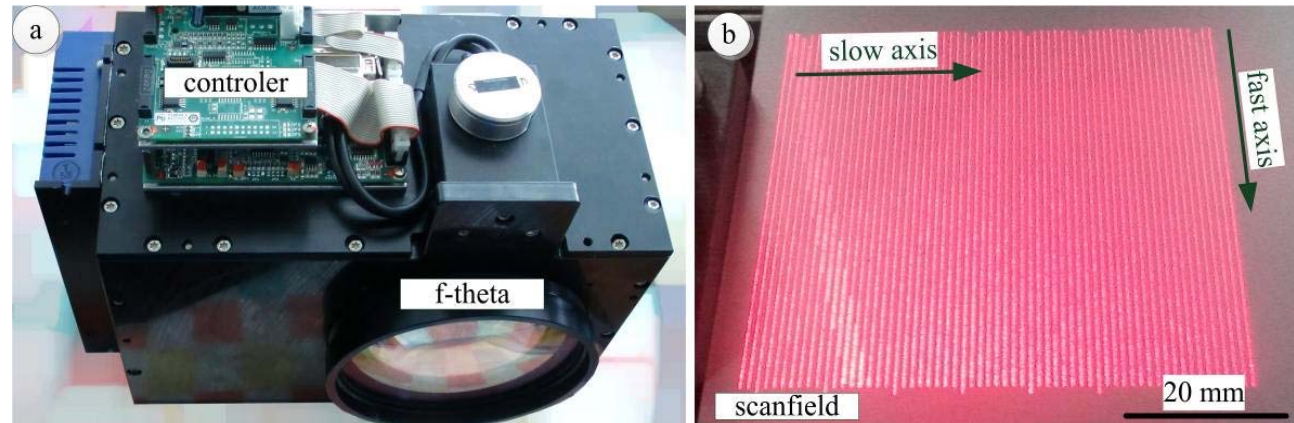
Quelle: LHM (Gruner)

Perspektiven

- Hochrate Mikro – SLM
 - Kombination Rakelmaschine + Polygonspiegelscanner



Quelle: LHM (Streek)



- Scangeschwindigkeit bis zu 1.000 ms^{-1} , Scanfeldgröße $300 \times 300 \text{ mm}^2$

Laserquelle und optische Strahlführung:

- cw Monomode – Faserlaser, Leistung $> 1 \text{ kW}$
- Apertur 30 mm
- Fokusbereich $35 \mu\text{m}$
- Schnelle Strahlschaltung mit AOM (derzeit bis 1 MHz)

Zusammenfassung

- Problemlösung für geringe Pulverdichte
 - Verteilte Pulse + Ringrakel
 - Pulververdichtung (Rakelmaschine)
 - Überlappende Pulse und Mikro-SLM mit cw-Laserstrahlung
 - Micro Cladding
 - Große Materialpalette
 - u.a. hochschmelzende Metalle
 - Cermets
 - diverse Edelstähle
 - Molybdän mit relativer Sinterdichte von $> 97\%$
 - miniaturisierter Turbolader als Technologiedemonstrator
 - Forschung
 - Integration von Messtechnik
 - Höhere Auflösung
 - Hochrate – Verfahren mit Polygonspiegelscanner
- **Ziel: 3D Druckmaschine für Metall (digitale Produktion)**



3D Mikrodruck von Metallen – Stand und Perspektiven



Industrialisierung

- Lasermikrosintern: 3D Microprint GmbH
 - 09126 Chemnitz, Technologiecampus 1
 - Geschäftsführer: Joachim Göbner, Tino Petsch

- Micro Cladding: Laservorm GmbH
 - 09648 Altmittweida, Südstraße 8
 - Geschäftsführer: Thomas Kimme

Danksagung

- Umfangreiche Förderung durch verschiedene BMBF / BMWi / SMWK/EU – Förderprogramme

Information: **9. Mittweidaer Lasertagung 19./20.11. 2015**

www.lasertagung-mittweida.de





Kurzvita

Dr.-Ing. Martin Schilling

Dr.-Ing. Schilling wurde am 1954 in Apolda geboren.

1975 begann er sein Studium der Elektrotechnik an der damaligen Technischen Hochschule Ilmenau.

Nach erfolgreicher Promotion absolvierte er 1983/84 ein Zusatzstudium der Anorganischen Chemie am Moskauer Chemisch Technologischen Institut.

1984 wechselte er in das Forschungszentrum des damaligen Kombinat Carl Zeiss in Jena und wurde zunächst Mitarbeiter in der Vorlaufforschung, anschließend Referent beim Forschungsdirektor und war ab 1986 Mitarbeiter des Stellvertretenden Generaldirektors für Mikroelektronik.

Ab Februar 1990 war er als technischer Direktor von ELSO, einem Hersteller von Elektroinstallationsmaterial tätig.

Im Mai 1993 gründete Dr. Schilling ein Ingenieurbüro für die Entwicklung von technischen Komponenten und Herstellung von Prototypen.

1996 verlegte er den Betrieb nach Oberspier bei Sondershausen.

1997 wurde ein Werkzeug- und Formenbau und

2002 ein Betrieb für die Herstellung von Spritzgussteilen gegründet.

Seit 1993 ist Dr. Martin Schilling auf dem Gebiet des Additiv Manufacturing aktiv tätig.

Dr. Martin Schilling engagiert sich als Sprecher im Nordthüringer Kunststoffnetzwerk AufFAHRT .

.

ABSTRACT

„Herstellen von Großteilen mittels Robotertechnik“

Schilling, Martin; Fa. 3D-Schilling, Sondershausen

Der Einsatz von Robotertechnik in der additiven Herstellung von Kunststoffteilen eröffnet neue Möglichkeiten in Bezug auf Teilegrößen, Baugeschwindigkeiten, Optimierung der Bauteilfestigkeiten und auch hinsichtlich der Vielfalt der zum Einsatz kommender Kunststoffe. Ziel des Einsatzes der Robotertechnik war es, einen möglichst großen Gestaltungsspielraum für Komponenten (Bauraum, Extruder, 3D-Bahnerzeugung) zu erhalten und für eine neue Teilequalität zu nutzen.

Es wird anhand eines entwickelten Extruders gezeigt, dass in der Kunststofftechnik typische Standardmaterialien auf Basis Granulat zum Einsatz kommen können. Die in der Spritzgusstechnik möglichen Hart-Weich-Kombinationen lassen sich nachvollziehen. Farbwechsel im Teil sind möglich.



Der Bauraum des FDM-Roboters wird durch den jeweiligen Robotertyp bestimmt. Es ist durchaus denkbar, dass der Bauraum mehrere Meter beträgt. Es wurde mit Hilfe eines Kuka-Roboters ein schwimmfähiges Kanu in zwei Teilen aufgebaut, wobei jedes einzelne Teil eine Bauhöhe von 1,60m aufweist. Ein wesentlicher Vorteil des Einsatzes der Robotertechnik besteht darin, dass der Roboter einen Extruder frei im Raum bewegen kann und damit echte 3D-Bahnen fahren kann. Durch die tatsächliche 3D-Umsetzung des Teileaufbaus ist es möglich, festigkeitsoptimierte Bauteile herzustellen. Festigkeitsoptimiert heißt, dass die Schichtanordnung gemäß eines vorgegebenen Kraft- und Momentenflusses erfolgen kann.

Es wird ein Ausblick gegeben, wie eine weitere Vorgehensweise für den Einsatz der Robotertechnik bei der Herstellung von Kunststoffgroßteilen möglich wäre, aber es wird auch auf Einschränkungen hingewiesen, die der Einsatz der Robotertechnik mit sich bringen kann.

„Herstellen von Großteilen mittels Robotertechnik“

Schilling, Martin; Fa. 3D-Schilling, Sondershausen

Einführung

Der Einsatz von Robotern in der additiven Herstellung von Kunststoffteilen eröffnet neue Möglichkeiten in Bezug auf Teilegrößen, Baugeschwindigkeiten, Optimierung der Bauteilfestigkeiten und auch hinsichtlich der Vielfalt der zum Einsatz kommender Kunststoffe. Ziel des Einsatzes der Robotertechnik ist es, einen möglichst großen Gestaltungsspielraum für Komponenten (Bauraum, Extruder, Mess- und Steuermodule, 3D-Bahnerzeugung) zu erhalten und diese für eine neue Teilequalität zu nutzen. Roboter bieten die Möglichkeit, die additive Fertigung in komplexe Produktionsprozesse zu integrieren.

1. Ausgangssituation

Mit der Auslieferung der ersten Stereolithografiemaschinen 1988 begann die Ära der computergestützten generativen/additiven Fertigung (AM). Bis zur Jahrtausendwende wurden die heute gebräuchlichen grundlegenden Verfahren entwickelt (Abbildung 1 nach American Society for Testing and Materials, Standardisierungsausschuss F42: Definition von AM Prozessen und Kategorien).

	Vat photopolymerisation	Material extrusion	Powder bed fusion	Binder jetting	Material jetting	Directed energy deposition
Polymere, Polymerblends	x	x	x	x	x	
Composite	x		x	x	x	
Metalle			x	x	x	x
Metall Legierungen						x
Keramik	x		x	x		
Feingussmodelle	x	x	x	x	x	
Sandgussformen und Kerne	x		x	x		

Abbildung 1: Prozess /Material-Matrix (LOM-Verfahren wurde nicht aufgeführt)

Mit jährliche Wachstumsraten von ca. 25% (siehe Wohlers Report 2012, 2013, 2014) hat der Markt für AM rasant entwickelt. Eines der erfolgreichsten Verfahren ist das Extrusionsverfahren. Dieses ist meist unter den Namen "Fused Deposition Modeling" (FDM) bekannt. Da dies jedoch ein vom Verfahrensentwickler „Stratsys“ namensrechtlich geschützter Begriff ist, spricht man auch vom „Fused Filament Fabrication (FFF)“ oder vom „Fused Layer Modeling (FLM)“. Extrusionsverfahren sind industriell bedeutsam: Sie kommen sowohl als Kunststoff-Extrusionsverfahren als auch als Extrusionsverfahren für physikalisch oder chemisch aufbereiteten Pasten oder Schäume zum Einsatz.

Das thermische Kunststoff-Extrusionsverfahren wird zumeist in „Digital Fabricators“ (kurz Fabber), oder umgangssprachlich auch als „3D-Drucker“ bezeichnet verwendet. Dabei wird präfabriziertes drahtförmiges Arbeitsmaterial zumeist auf Rollen aufgewickelt („Filament“), mittels eines Fördereinzugsmechanismus (= „Filament Feeder“) zum Druckkopf (= „hot end“) befördert. Dort wird es aufgeschmolzen Kunststofffaden konturgerecht Schicht für Schicht aufeinander gelegt. Der Faden schmilzt dabei auf die darunter liegende Struktur auf. Überhänge werden mit einer Stützkonstruktion aus einem anderen Material, das meist wasserlöslich ist, abgestützt. Mit dem Verfahren lassen sich unterschiedliche thermoplastische Kunststoffe verarbeiten.

Der Erfolg der Extrusions-Verfahrens begründet sich dadurch, dass bei dem Verfahren auf Kunststoffbad oder Pulverbett verzichtet wird und kein Laser oder Ablenkeinheiten benötigt werden. Es können eine Vielzahl von Materialien, auch unterschiedlichster Farben verarbeitet werden, die Maschinen sind günstig und effizient herstellbar.

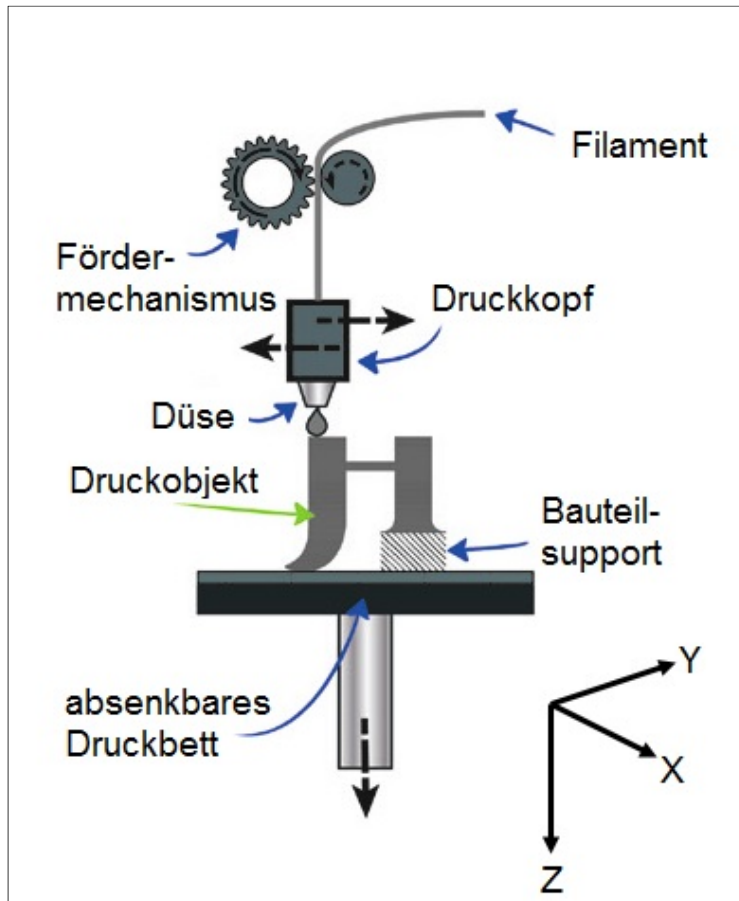


Abbildung 2: schematische Darstellung FDM-Verfahren (Quelle: angelehnt an Horsch /1/)

Die Bauräume der kommerziell verfügbaren Anlagen sind sehr unterschiedlich: Mit dem Fortus 900mc hat Stratasys eine Produktionsmaschine am Markt, die in einem Bauraum von 914 x 610 x 914 mm sehr präzise Teile herstellen kann, 11 verschiedene Materialien sind dabei möglich /2/. Der bisher für den Privatverbraucherbereich geltende größte 3D-Drucker „GigaBot“ hat Bauraummaße von 600mm x 600mm x 600mm (X-, Y-, Z-Achse). Auf der Basis von Fügen und Nachbearbeiten sind auch mit wesentlich kleineren Druckern Großteile möglich.

Alle käuflich angebotenen Anlagen arbeiten gegenwärtig fast ausschließlich in einem 2 1/2 D-Verfahren: Ausgehend von einer Ebene werden die Teile Schicht um Schicht aufgebaut. Die Festigkeit der entstehenden Teile wird durch die Platzierung / Lage des Teiles im Bauraum bestimmt. Das entstehende Bauteil ist anisotrop, die mechanischen Eigenschaften in Aufbaurichtung sind andere als die in der jeweiligen Ebene ermittelten Eigenschaften.



Abbildung 3: FDM-Teil im 2 ½ D-Verfahren hergestellt

2. Robotertechnik in der additiven Fertigung

Roboter sind aus der industriellen Fertigung nicht mehr wegzudenken. Mit der Entwicklung entsprechender Software (z.B. Toplas der FA. Mebitec) ist es möglich, Roboter offline-programmierte Maschinendaten zur Umsetzung zu übergeben und diese wie CNC-Maschine agieren zu lassen. Damit kann die im additiven Manufacturing gewohnte Arbeitsweise, der offline-Programmierung des Bauprozesses realisiert werden. Basis für die offline-Programmierung des Roboters sind 3D-Daten, die die Form des Teiles beschreiben. In die offline-Programmierung gehen ebenso bahnplanungsrelevante Eingangsgrößen ein:

- Schichtstärken
- Materialeigenschaften, z.B. Schwindung des Materials
- Bauraumtemperatur.

Die Daten der Bahnplanung werden in einem Postprozessorschritt auf die konkrete Maschine, den konkreten Roboter zugeschnitten und dann an die Robotersteuerung übergeben.

Der Roboter realisiert die Relativbewegung zwischen Extruderdüse und Bauteil. Im vorliegenden Fall führt der Roboter den Extruder und das Bauteil ist feststehend.

Ein langfristiges Ziel ist es, mit der Robotertechnik festigkeitsoptimierte Bauteile herzustellen. Mit dem Übergang vom 2 ½ D-Verfahren zu einem echten 3D-Verfahren ist es möglich mechanische Eigenschaften entsprechend den konstruktiven Vorgaben zu realisieren. Im Unterschied zur formgebundenen Herstellung kann das Verfahren den Kraft- und Momentenfluss bereits bei der Teilerzeugung optimal Rechnung getragen werden, da weder Entformung noch Fließlängen berücksichtigt werden müssen. Es muss kein Kompromis zwischen Simulation und Herstellbarkeit eingegangen werden.

3. Granulatextruder

Eine Zielstellung der durchgeführten Arbeiten war es, Kunststoffe wahlfrei und mit hoher Produktivität additiv zu verarbeiten. Unter diesen Gesichtspunkten wurde ein Granulatextruder konzipiert und gebaut. Im Extruder wird Kunststoffgranulat schrittweise plastifiziert und gefördert, so dass der Kunststoffaden an der Düse bereit steht.

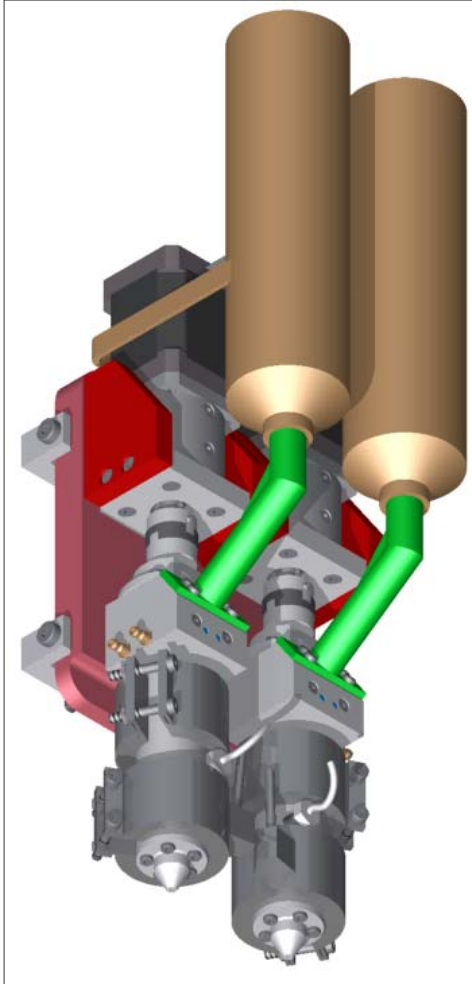


Abbildung 4: Darstellung eines Mehrkomponenten Extrudersystems nach Leander Schmidt

Der Extruder kann verschiedenen Ausführungen haben. In Abbildung 4 wird ein bei 3D-Schilling entwickeltes Mehrkomponenten-Extrudersystem dargestellt. Mit den Extrudern können alle gebräuchlichen Thermoplaste verarbeitet werden. Die Anlage / die Extruder sind so ausgelegt, dass unterschiedliche thermoplastische Materialien parallel oder nacheinander verarbeitet werden können. Damit ist die Herstellung von Teilen auf Basis von Multimaterialsystem möglich:

- Teile mit Hart-Weichkomponenten
- Farbige Teile (mit durchgefärbten Schichten)
- Teile mit transluzenten und klaren Bereichen
- Teile mit örtlich definierten Leitfähigkeiten (Leitbahnen)
- Teile mit definierten Glas- oder Kohlefaserverteilung.

Durch die Möglichkeiten während des Bauprozess die Extrusionseinheiten und / oder die Düsen zu wechseln, können Eigenschaften der Kunststoffteile gezielt im Bauprozess erzeugt werden. Je nach Auslegung des Extruders und der Düsen sind verschiedenste Schichtstärken möglich.

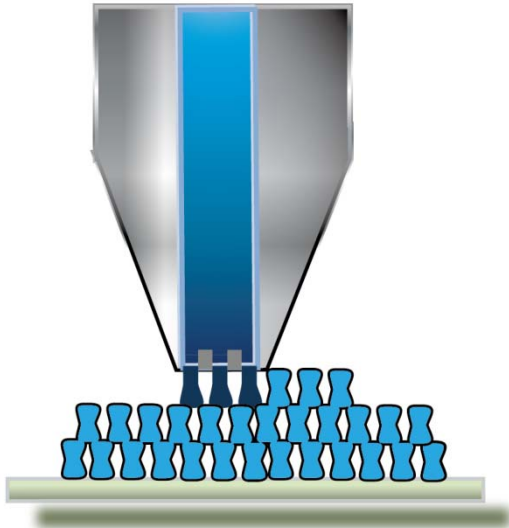


Abbildung 5: Mögliche Düsengeometrie für Leichtbau

4. Ergebnisse bisheriger Arbeiten

Im Rahmen der Voruntersuchungen wurden verschiedene Granulatextruder gebaut, die auf einem Knickarm-Roboter montiert unterschiedliche Materialien extrudierten. Dabei wurde der Extruder bewegt und das aufzubauende Teil war ortsfest. Es wurden einfache Strukturen aufgebaut (Bälle, Gefäße, Leuchtenkörper), z.T. mit Materialkombinationen Hart – Weich. Farbwechsel wurden flexibel per Hand vorgenommen. Als Materialien wurden bisher verarbeitet: PP, PS, ABS, PC, TPE und Kombinationen dieser Materialien. Die eingesetzten Extruder arbeiteten kontinuierlich, es wurden Auftragsraten bis zu 1,5kg Material pro Stunde realisiert.

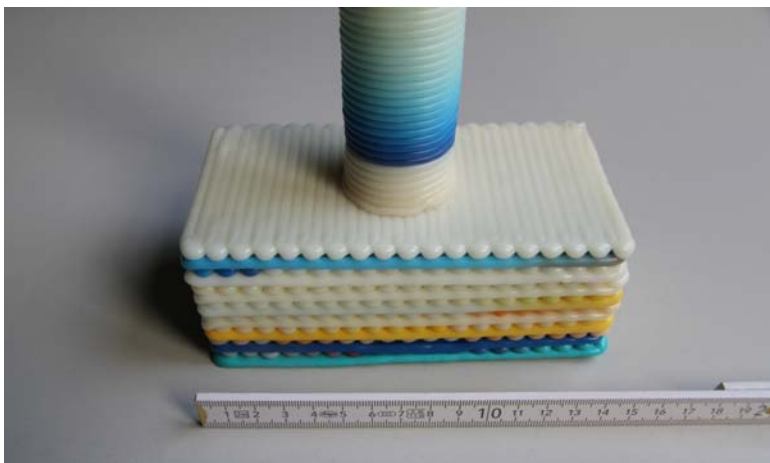


Abbildung 6: Massives Kunststoffelement

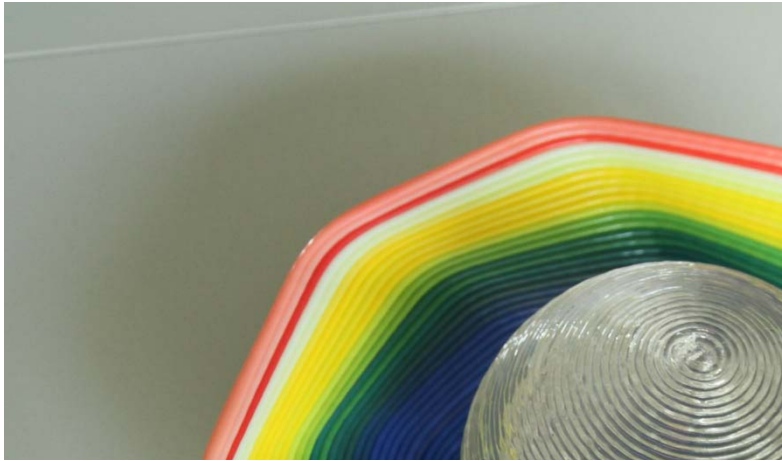


Abbildung 7: 2K-Teil mit diversen Farben



Abbildung 8:

Das bisher größte gebaute Teil ist ein Kajak. 3,20m lang, 18 kg schwer, Bauzeit 12h pro Hälfte

Der eingesetzte Extruder arbeitete kontinuierlich, es wurden Auftragsraten von 1,5kg Material pro Stunde erzielt. T

5. Zusammenfassung

Mittels Robotertechnik wurde im Extrusionsverfahren eine Vielzahl von Großteilen hergestellt. Das Potential der Technik/des Verfahren konnte bisher jedoch nur zu einem Bruchteil erschlossen werden. Schwerpunkte weitere Arbeiten sind:

- Übergang zu einem echten 3D-Verfahren vollziehen
- Simulation von Kraft- und Momentfluss und Umsetzen der Ergebnisse in die Bahnplanung
- Verbesserung der lokalen Temperierung des Bauraumes

- Integration der Qualitätsüberwachung und -steuerung
- Realisieren von weiteren Bearbeitungsschritten während des Schichtaufbaus.

Es zeichnet sich aber ab, dass die gewählte Herangehensweise es möglich macht, mit entsprechenden Roboterbasierten Anlagen einem breiten Anwendungskreis zu erschließen.

/1/ F. Horsch, 3D-Druck für alle. Der Do-It-Yourself-Guide. 2. Aufl., München: Carl Hanser Verlag, 2014

/2/ <http://www.stratasys.com/de/3d-drucker/production-series/objet1000-plus#content-slider-1>

/3/ M. Schilling, C. Schilling, Machen Fabber alles möglich?, Vortrag anlässlich des 7. Merseburger Rapid Prototyping Forums am 10.10.2013 in Merseburg



Herr Eric Forkel B. A.,

Jahrgang 1989

studierte Betriebswirtschaftslehre mit den Schwerpunkten Unternehmenslogistik und Informationslogistik/ERP-Systeme an der WHZ.

Er absolvierte mehrere Praktika und Werkstudententätigkeiten bei regionalen produzierenden Unternehmen und betreute dabei mehrere IT- sowie Logistikprojekte.

Studienbegleitend konnte sich Herr Forkel als SAP-Berater (Associate Business Foundation & Integration with SAP ERP 6.0 EHP5) qualifizieren.

Seit 2013 ist Herr Forkel als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Wirtschaftsinformatik unter der Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Christian-Andreas Schumann angestellt. Darüber hinaus tätig er Lehraufträge an der WHZ.

Im Rahmen von Forschungsprojekten bearbeitet er verschiedene projektbezogene Arbeitspakete zu seinen Forschungsschwerpunkten Interoperabilität und Semantik im Kontext logistischer Systeme.

Herr Forkel wird Mitte 2015 sein betriebswirtschaftliches Studium mit dem Schwerpunkt Logistik als Master of Arts abschließen und in die Promotionsphase übergehen.

Qualitätsoptimierung durch prozessintegrierte 3D-Messung

Christian-Andreas Schumann¹, Eric Forkel¹, Thomas Klein¹

¹Westfälische Hochschule Zwickau, Institut für Management und Information

Referent: Eric Forkel

Kurzreferat

Das Streben nach Verbesserung der Qualität sowohl der eigenen Produkte als auch des dafür notwendigen Wertschöpfungsprozesses ist eine elementare Aufgabe moderner Unternehmen. Durch die ständige Optimierung von Produkt und Prozess kann die Wettbewerbsfähigkeit langfristig gesichert werden.

Um Optimierungen zielgerichtet durchzuführen und die Ergebnisse automatisiert zu kontrollieren, wird ein 3D-Messsystem vorgestellt. Dieses dreidimensionale, optische Messsystem erfasst die Oberfläche mit dem Verfahren der Stereofotografie. Die mathematischen Berechnungen der einzelnen Bilder zu einem dreidimensionalen Bild erfolgen durch die Anwendung der Photogrammetrie. Ein wesentlicher Vorteil des Systems ist der modulare Aufbau. Die Grundeinheit besteht aus einem Multi-Camera-System (MCS) mit zwei Kameras und einem Projektor, welcher für die erforderliche Streifenprojektion dient. Diese Grundeinheit kann nun beliebig erweitert werden, so dass beispielsweise ein MCS 48 mit 24 Stereo-Kamera-Einheiten eine Fläche von 1500 mm * 1500 mm * 300 mm vermessen kann. Durch die flexible Anordnung der Kamera-Module können nahezu alle Oberflächenformen und -dimensionen vermessen werden. Das System erreicht dabei eine Genauigkeit von ca. 30 µm über den gesamten Messbereich. Des Weiteren zeichnet sich das System durch seine Schnelligkeit aus – so kann bspw. eine Autotür in weniger als einer Minute vermessen werden. Der prinzipielle Ablauf einer Messung sowie die benötigte Hardware werden im Vortrag verdeutlicht.

Aufgrund der hohen Flexibilität des Systems sowie der Möglichkeit der Prozessintegration resultieren viele Einsatz- und Anwendungsbereiche. Zwei dieser Bereiche sollen im Kontext von Forschungsansätzen präsentiert werden.

Zum einen wird ein Forschungsprojekt vorgestellt, in welchem Produkte mittels dem 3D-Messsystem anhand von spezifischen Merkmalen identifiziert werden sollen. Darüber hinaus soll das System Informationen über den jeweiligen Zustand des Produktes liefern.

Zum anderen wird eine Einsatzmöglichkeit im Bereich Automotive, insbesondere bei der Karosserieherstellung veranschaulicht. Die Betrachtung eines interdisziplinären Ansatzes wird den Teilnehmerinnen und Teilnehmern zur Diskussion gestellt.

Abschließend erfolgt eine kurze Vorstellung der Verbindung von Augmented Reality und 3D-Druck.



Westsächsische Hochschule Zwickau
University of Applied Sciences



Qualitätsoptimierung durch prozessintegrierte 3D-Messung

Christian-Andreas Schumann, Eric Forkel, Thomas Klein

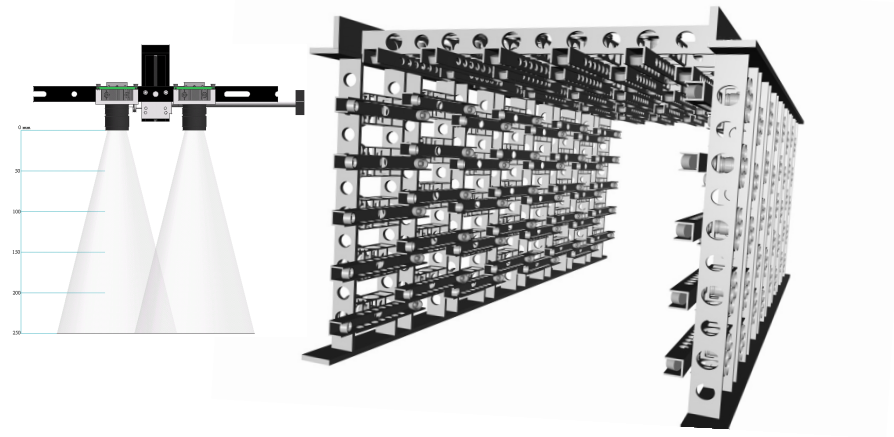
Westsächsische Hochschule Zwickau
Institut für Management und Information



2. Mitteldeutsches Forum
3D-Druck in der Anwendung

27.05.2015

1. Einführung
2. Technologie
3. Neuartige Anwendungen für Prozessintegration: Forschungsansätze
4. Augmented Reality in Verbindung mit 3D-Druck

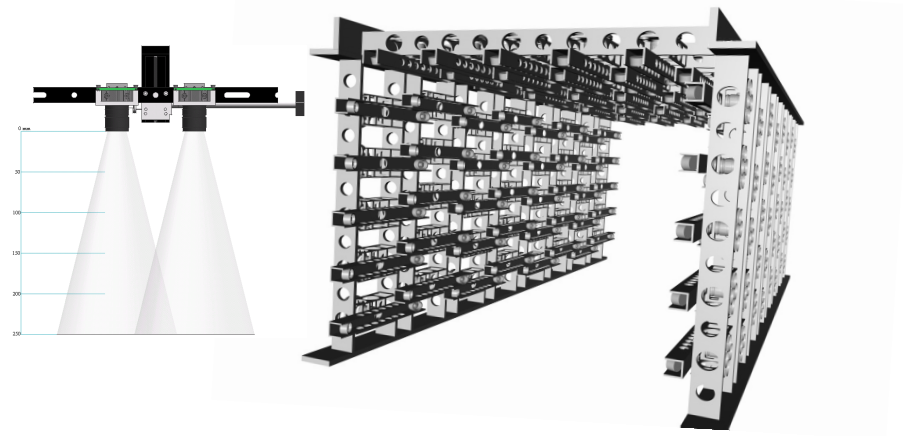


1. Einführung

2. Technologie

3. Neuartige Anwendungen für Prozessintegration: Forschungsansätze

4. Augmented Reality in Verbindung mit 3D-Druck



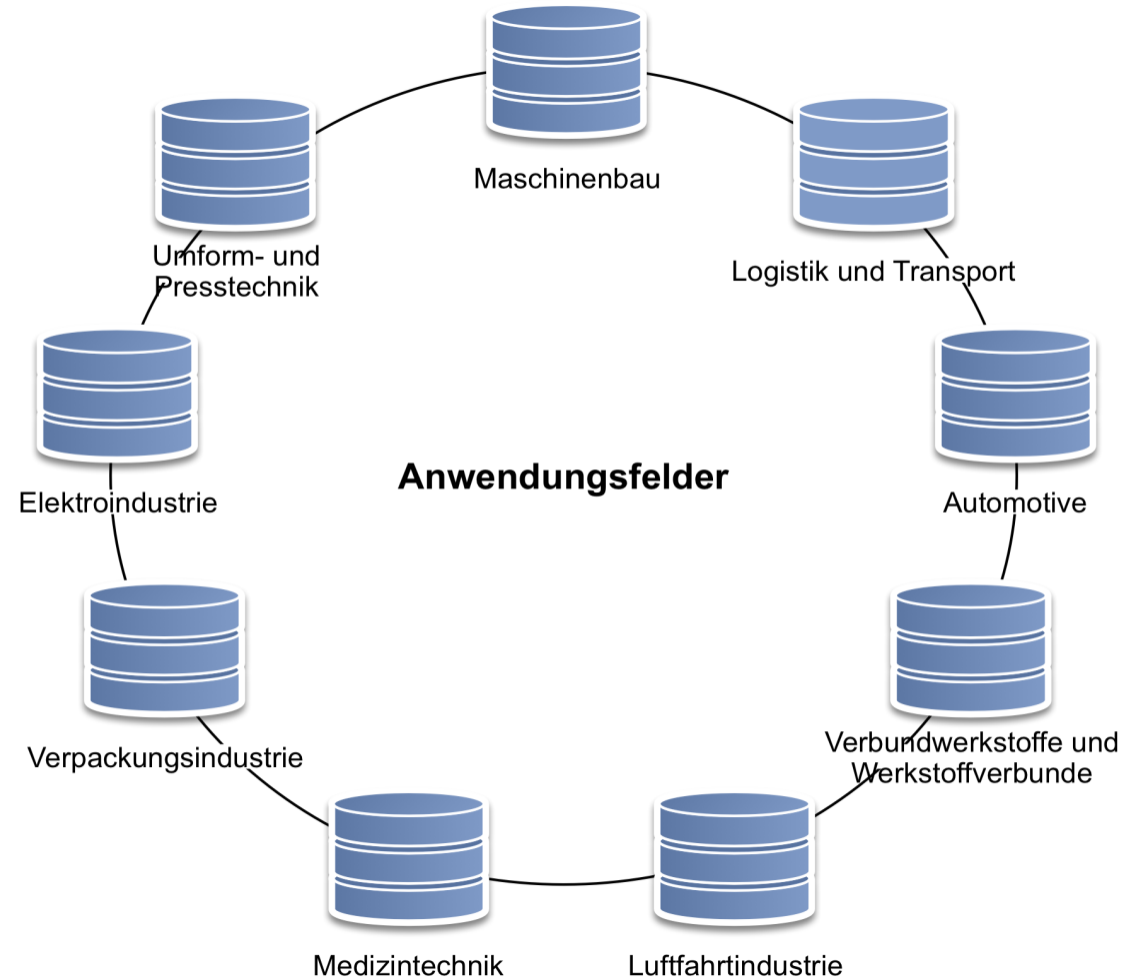
3D-Messungen mit Stereo-Kamera-System

- Neue Entwicklung für die Messung von Oberflächen-, Form- und Lagetoleranzen
- Alternative zu aktuell weit verbreiteten Messgeräten wie Koordinatenmessgeräten
- System besitzt bereits Praxisreife
- Mögliche kommende Änderungen konzentrieren sich auf die Software

Anwendungsfelder

➤ Trend:

Messgeräte, die innerhalb einer Fertigungslinie **kontinuierliche** und gesamtheitliche Messungen von Werkstücken verschiedener Größen durchführen können

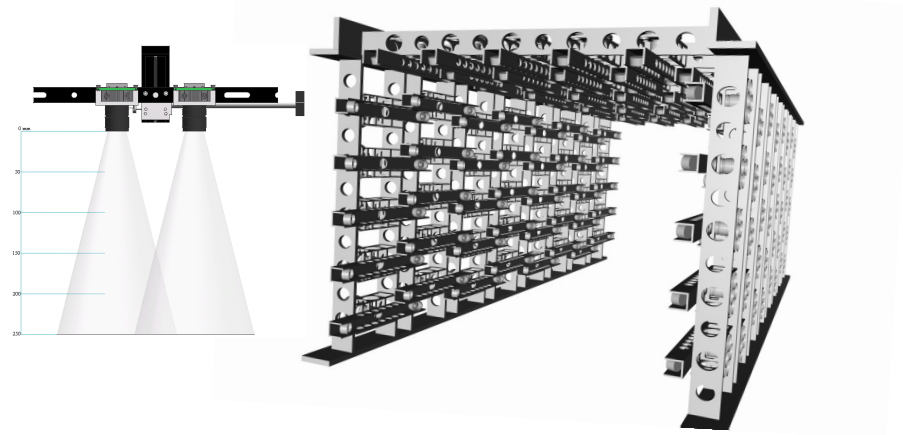


1. Einführung

2. Technologie

3. Neuartige Anwendungen für Prozessintegration: Forschungsansätze

4. Augmented Reality in Verbindung mit 3D-Druck





Die Technologie

- Die Systemtechnologie beruht auf dem Verfahren der Stereofotografie und der Fotogrammetrie, um dreidimensionale Informationen zu gewinnen und aufzubereiten
- Durch den modularen Aufbau der Messanlage ist es möglich, eine nahezu endlose Anzahl an Kamerapaaren miteinander zu verbinden und somit auch große Oberflächen zu scannen
- Ein Projektor projiziert Streifenmuster auf das Messobjekt
- Die Kameras erfassen das Messobjekt in einer Bildsequenz und anschließend erfolgt mittels Fotogrammetrie die Erzeugung einer Punktwolke
- Die Analyse der erzeugten Punktwolke vereinfacht und beschleunigt den Abgleich gegen CAD-Referenzdaten



Die Möglichkeit für prozessintegrierte Messung ergeben sich aus:

- ✓ Flexible Messraumgrößen
- ✓ Keine Notwendigkeit für Oberflächenreferenzpunkte
- ✓ Hohe Messgeschwindigkeit
- ✓ Messungen in der Fertigungslinie
- ✓ Einfache Vergrößerung des Messraumes, auch bestehender Systeme
- ✓ Genauigkeit des Systems kann an die Prozessanforderungen angepasst werden und damit auch die Messgeschwindigkeit optimieren
- ✓ Automatisierte Analyse und Auswertung möglich
- ✓ Verfügbarkeit von Standardsystemen und kundenspezifischen, integrierten Messsystemen



Vorteile

- ✓ Prozesskontrolle in nahezu Echtzeit
- ✓ Nachvollziehbarkeit und Identifikation von Fehlerquellen
- ✓ Reduzierung der Herstellkosten
 - kurze Reaktionszeiten im Fehlerfall
 - signifikante Verringerung von Ausschuss und Nacharbeit
 - Sicherstellung von gleichbleibender Qualität auch bei Loswechsel
- ✓ Verringerung zeitlicher Aufwände und Manpower
 - hohe Messgeschwindigkeiten
 - Möglichkeit zur automatisierten Quellenanalyse und Fehlerauswertung
- ✓ Kontinuierliche Qualitätskontrolle im Prozess
- ✓ Direkter Vergleich von Messdaten mit Qualitätsparametern
- ✓ **Produktidentifizierung möglich**

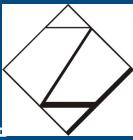
Standardsystem

Das Scannersystem ist modular aufgebaut und nahezu unbegrenzt erweiterbar.

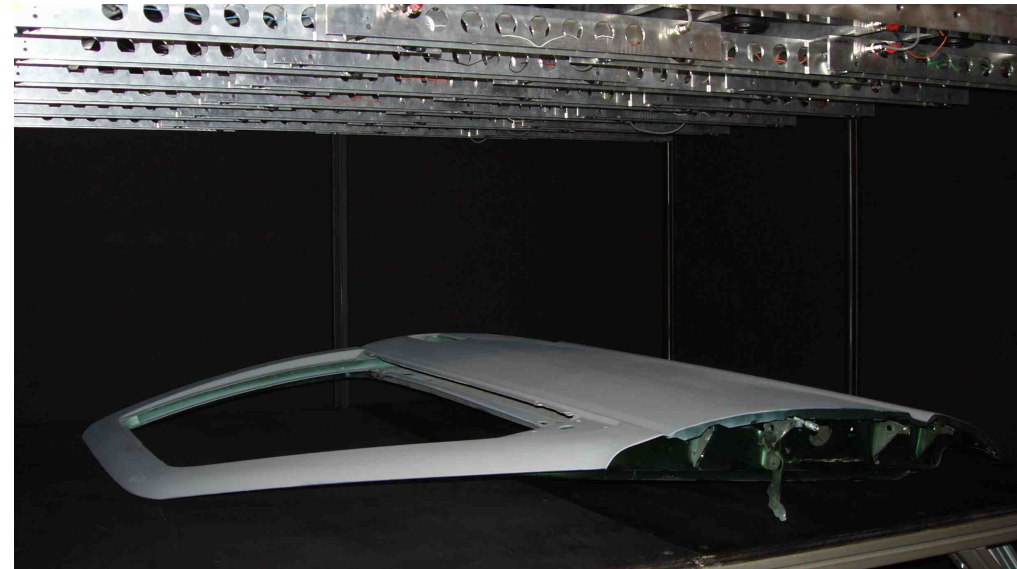
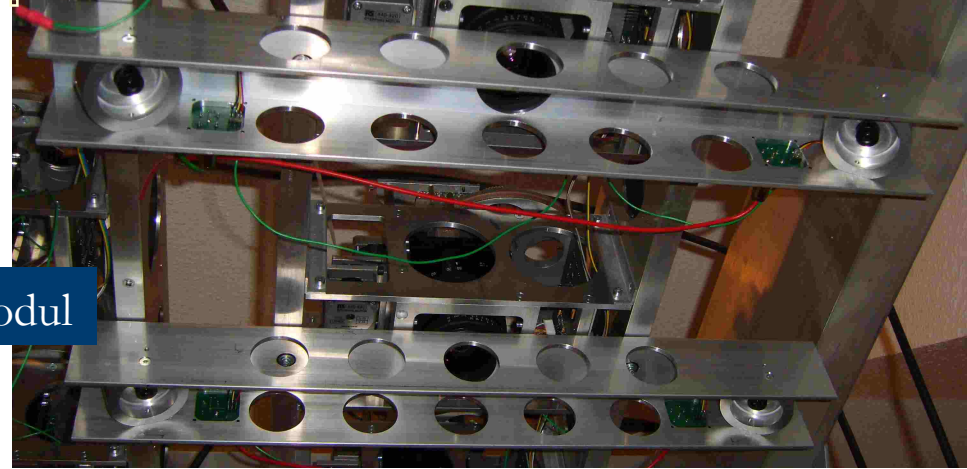
➔ z. B. **24er Stereo-Camera System** ermöglicht einen 3D-Messraum von 1500mm x 1500mm x 300mm

➔ z. B. **48er Stereo-Camera System** ermöglicht einen 3D-Messraum von 3000mm x 1500mm x 300mm

- Genauigkeit: 30 μm
- Wiederholgenauigkeit: 2 μm



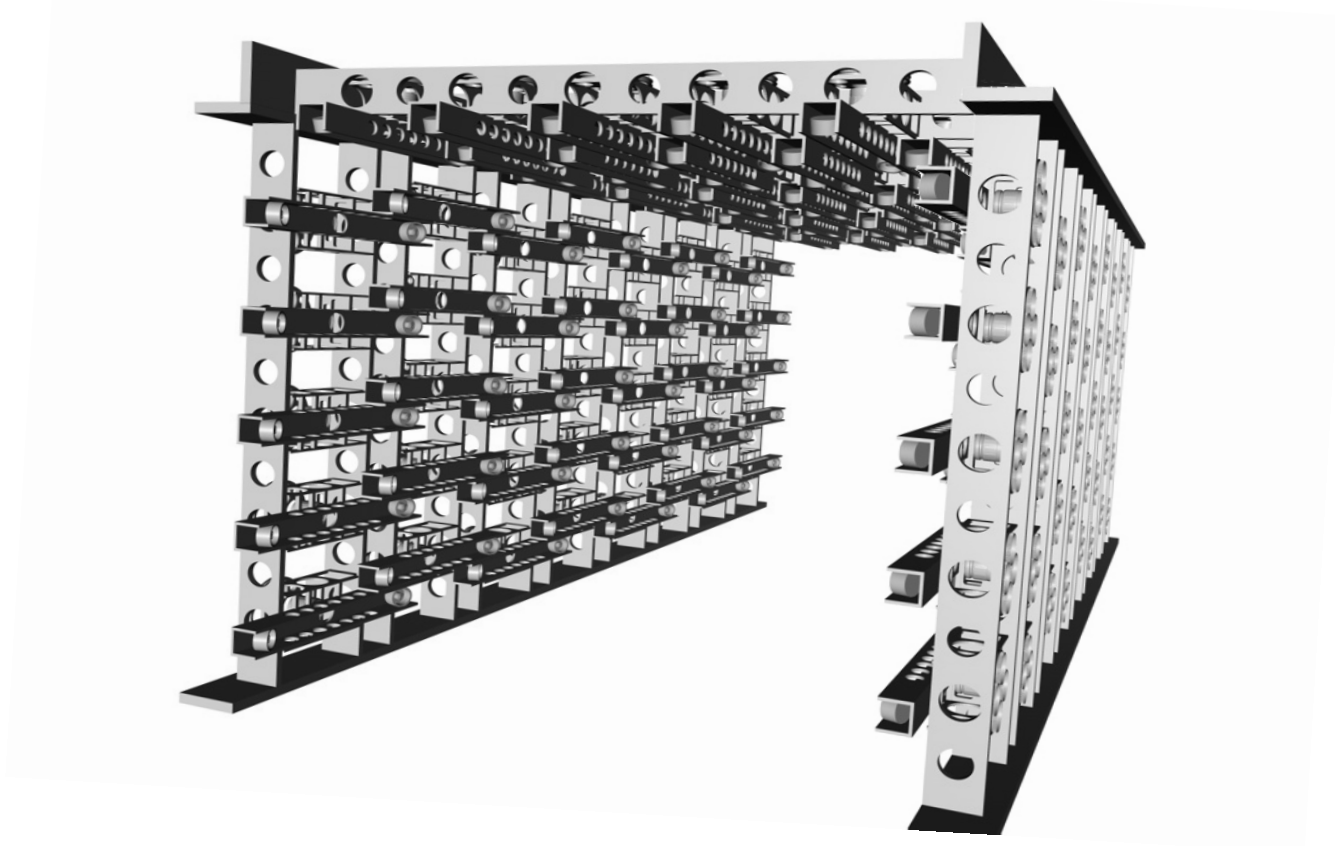
Stereo-Camera-Modul



Messtisch
und Messobjekt

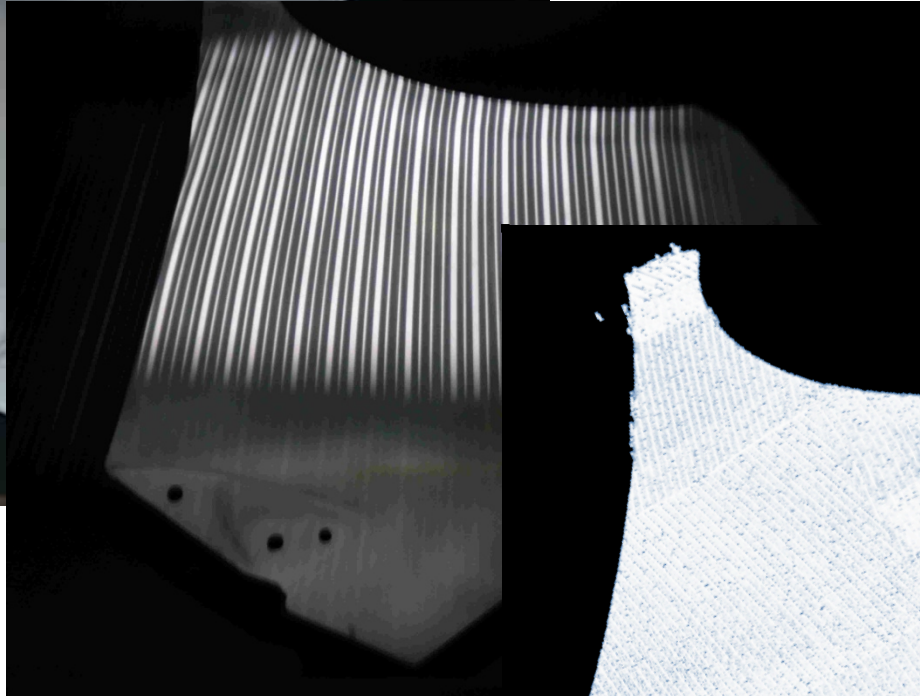


Beispiel für eine Kameramatrix: Multi-Camera-System als Tunnel



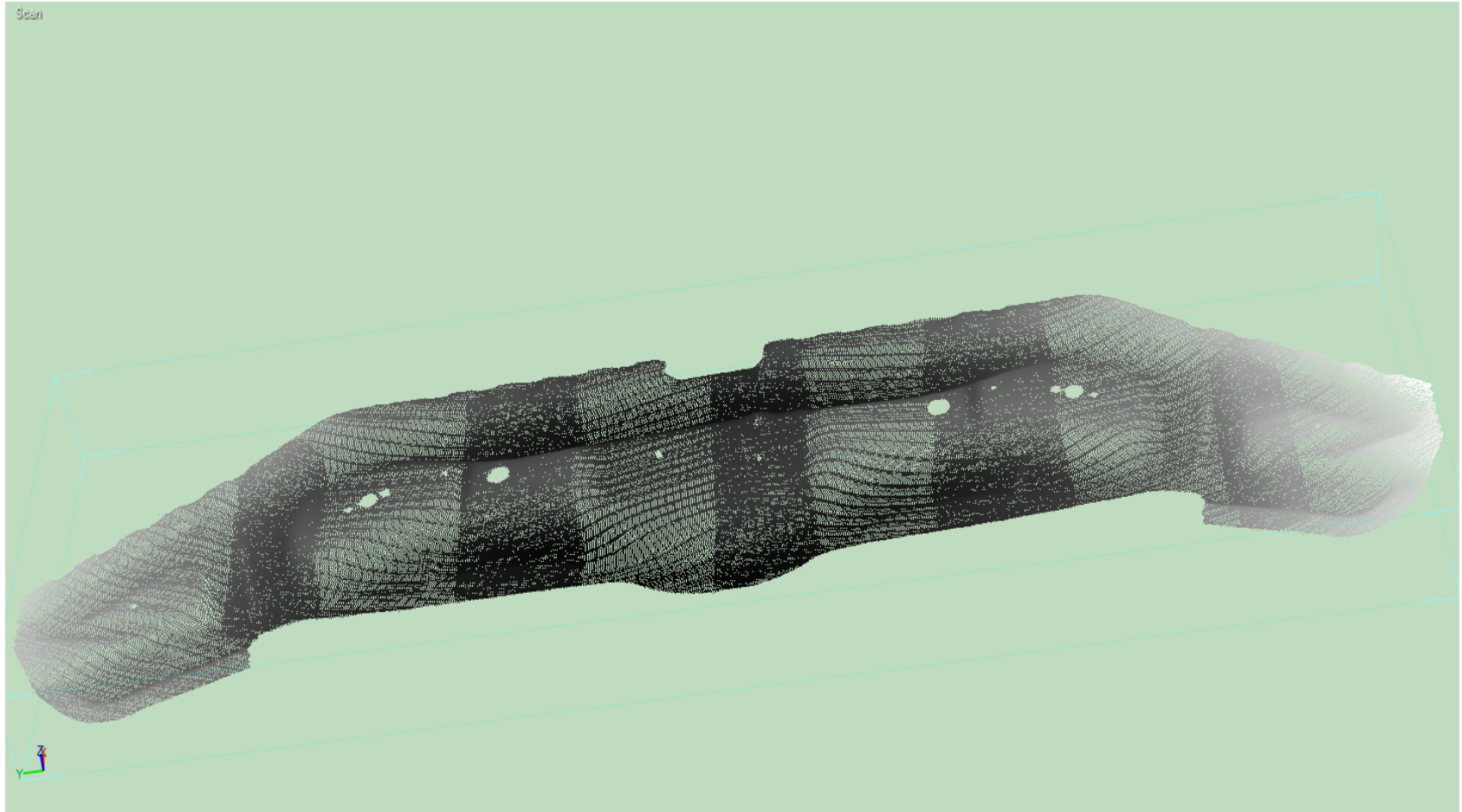


Projektion der Streifenmuster
auf der Oberfläche

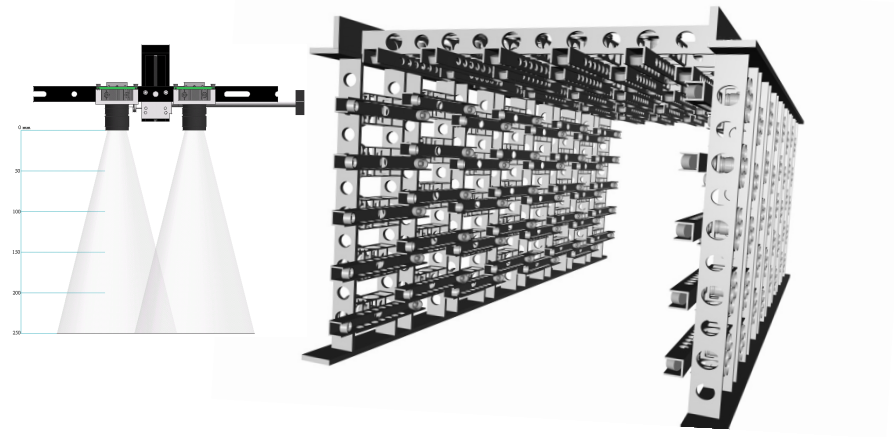


Generierte Punktwolke





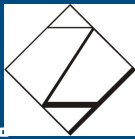
1. Einführung
2. Technologie
- 3. Neuartige Anwendungen für Prozessintegration:
Forschungsansätze**
4. Augmented Reality in Verbindung mit 3D-Druck





Neuer Ansatz: Produktidentifikation mittels 3D-Messung

- ✓ Automatische prozessintegrierte Produktidentifikation
- ✓ Identifikation von Fehlern, Beschädigungen und Varianten
- ✓ Kopplung mit Lagerhaltungssoftware und/oder ERP-System
- ✓ Initialisierung von notwendigen Folgeprozessen, z.B. Sortierung, Reparatur oder Lagerung



Idee: Identifikation von Transportpaletten

- ✓ Unternehmen handelt mit Paletten
 - Einkauf → Aufbereitung und Reparatur → Verkauf
- ✓ Umschlag ca. 1000 Paletten pro Tag
- ✓ ca. 80 verschiedene Paletten im Umlauf

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



<http://us.123rf.com/400wm/400/400/clauidivizia/clauidivizia0908/clauidivizia090800071/5385845-stapel-paletten-over-white-background.jpg>; 02.10.13



<http://img.falkenhahn.eu/presse/pressematerial/falkenhahn-world-palette-perspektive-21x11-cmyk.jpg>; 02.10.13



Problemstellung

- Unternehmen verliert den Überblick
- Unzureichende Informationen über:
 - Bestände
 - Beschädigungsgrad
 - Status von Reparaturen
 - Bestellungen für Reparaturmaterial
- Keine Prozessautomatisierung



Steigende Kosten





Ansatz und Ziele

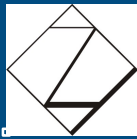
- Identifikation von Paletten mittels Multi-Camera-System
 - alle Paletten werden mit dem System vermessen
 - Messdaten werden mit Referenzdaten (z. B. CAD) abgeglichen
 - Identifikation anhand von Übereinstimmung definierter Merkmale
- Generierung von Informationen zum Zustand und Beschädigungsgrad



Daraus ergibt sich die Möglichkeit zu entscheiden, ob die Palette verkaufsfähig, reparaturbedürftig oder zu entsorgen ist.

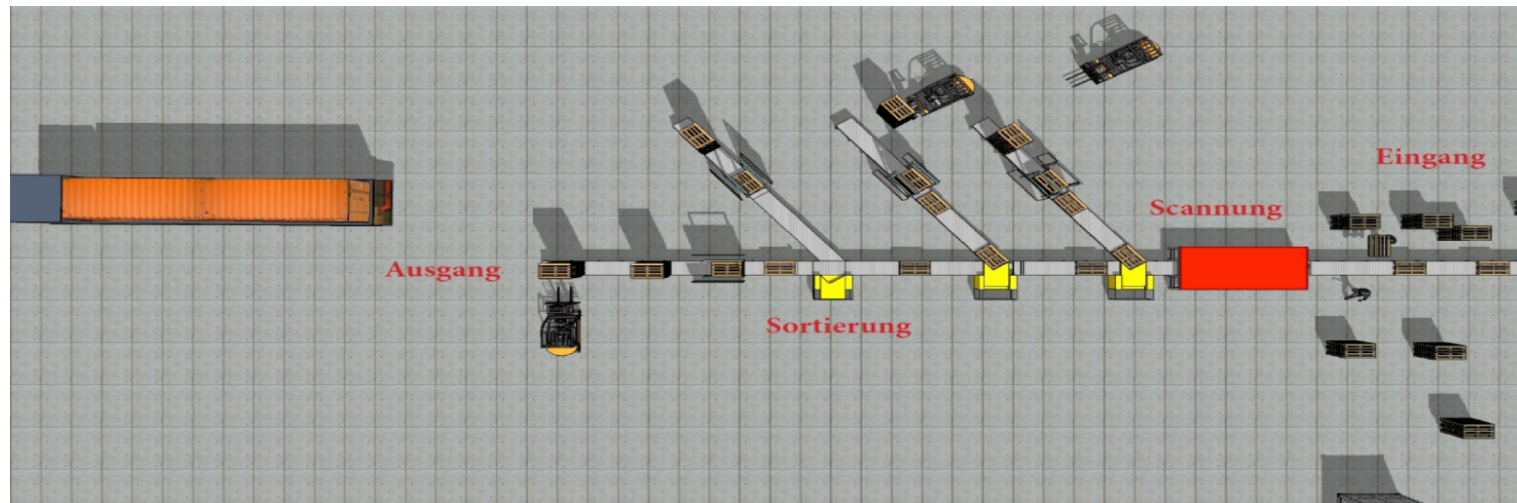


Automatisierte Entscheidungsunterstützung

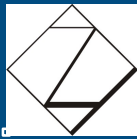


PROZESS AUTOMATION

- Gewonnene Daten können zur zunehmenden Automatisierung genutzt werden
- Weiteres Ziel ist die Entwicklung spezifischer integrierter und ganzheitlicher Logistikkonzeptionen



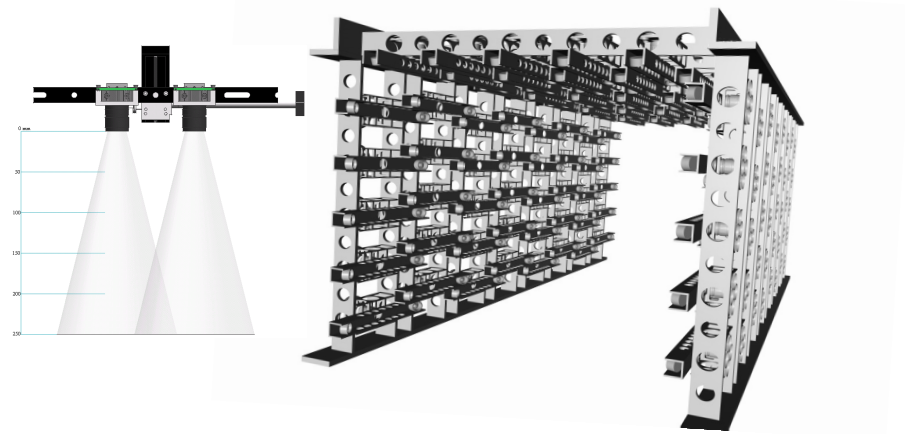
Antrag ZIM: GFal e.V., Berlin



Automotive Sektor

- Karosseriebau ist von einer Vielzahl von Messungen geprägt
- Der integrierte und automatisierte Umgang mit messobjektspezifischen Daten im Bereich Umformtechnik und Karosseriebau birgt hohe Potentiale
- 3D-Messungen mittels Stereofotografie und Fotogrammetrie ermöglichen solche automatisierten und integrierten Messmethoden sowie das Datenmanagement
- Ganzheitlicher Forschungsansatz notwendig, um ein dafür notwendiges Informationsmanagementsystem zu entwickeln
 - ✓ Umformtechnik
 - ✓ Arbeitswissenschaft
 - ✓ Wirtschaftsinformatik
 - ✓ Datenmanagement

1. Einführung
2. Technologie
3. Neuartige Anwendungen für Prozessintegration: Forschungsansätze
- 4. Augmented Reality in Verbindung mit 3D-Druck**





Forschungsprojekt: FMstar

Facility Management mithilfe semantischer Technologien und Augmented Reality

Different file formats

Media interruptions

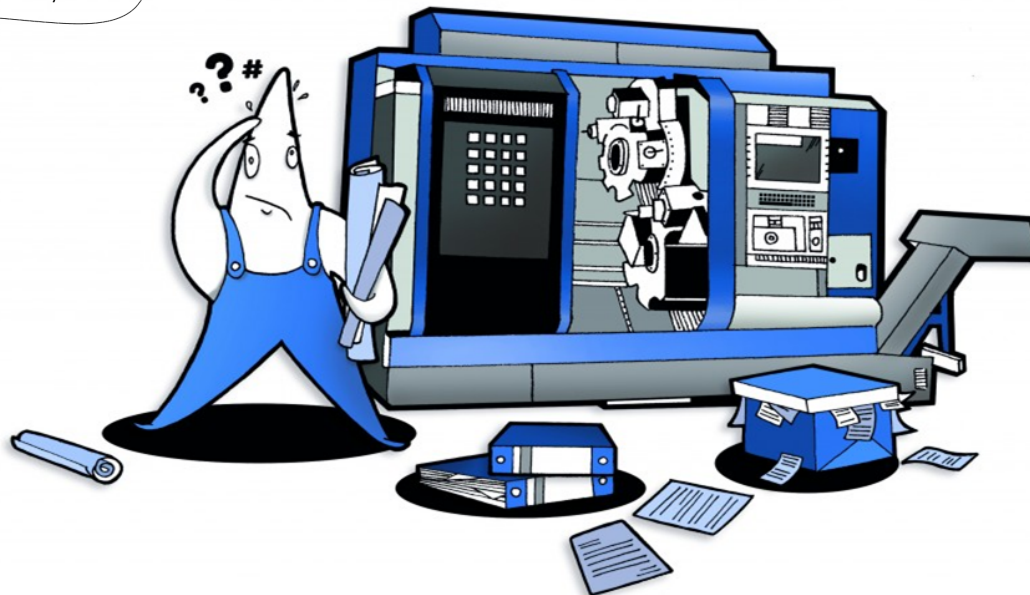
Availability of planning data

Several planning partners

Complexity

Dynamics

Actuality of data



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

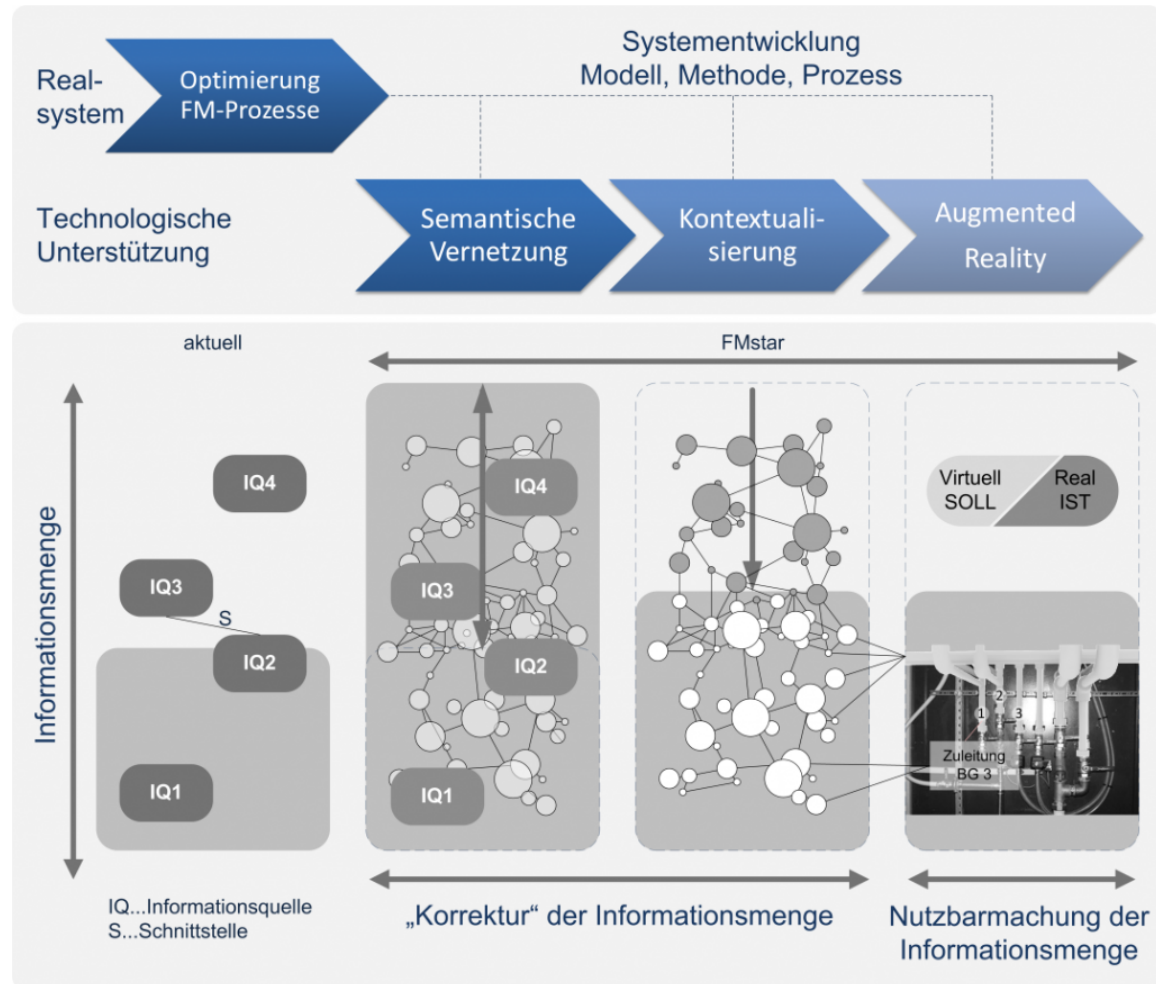


© Nadine Rothe 2013

Forschungsprojekt: FMstar

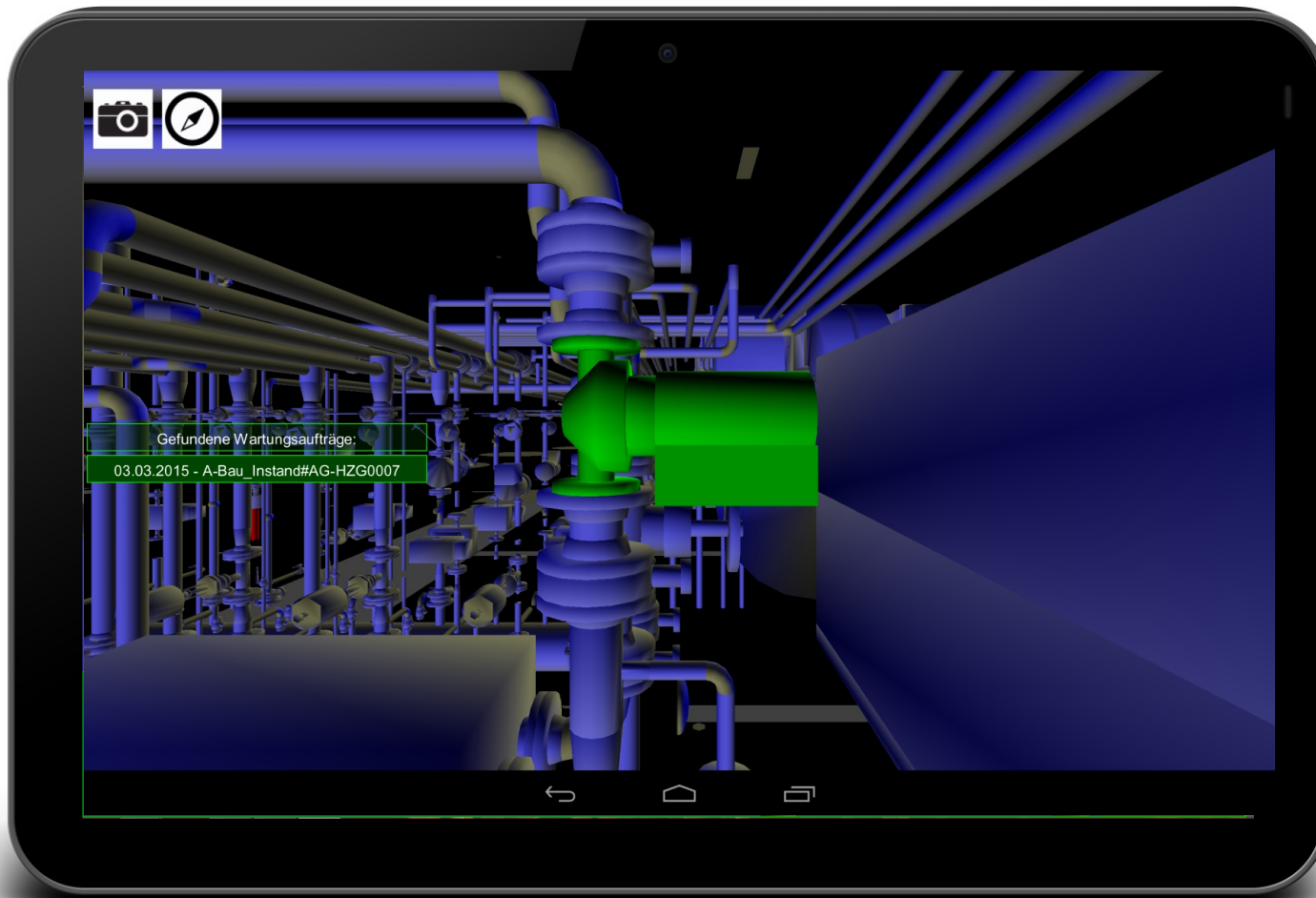
Facility Management mithilfe semantischer Technologien und Augmented Reality

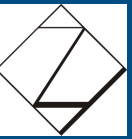
Forschungsansatz



Forschungsprojekt: FMstar

Facility Management mithilfe semantischer Technologien und Augmented Reality





Haben Sie Fragen



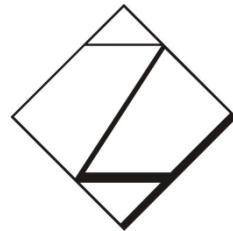
eric.forkel@fh-zwickau.de

christian.schumann@fh-zwickau.de



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Partner



Lebenslauf



PERSÖNLICHE ANGABEN

Name **Moritz Adrian Heß**
Geburtsdaten 17. November 1986, Schweinfurt
Familienstand ledig, keine Kinder
Berufswunsch Master of Science (Maschinenbau)

AUSBILDUNG

10/2013 – 07/2015 Studium **Master of Science** (Maschinenbau)
Technische Universität Ilmenau
Fachrichtung: Produktionstechnik

10/2008 – 09/2013 Studium **Bachelor of Science** (Maschinenbau)
Technische Universität Ilmenau
Fachrichtung: Produktion und Logistik

09/2007 – 05/2008 Zivildienst beim Bayerischen Roten Kreuz in Bad Neustadt a. d. Saale

09/1998 – 06/2007 Allgemeine Hochschulreife
Gymnasium Bad Königshofen
Leistungskurse Mathematik und Physik

BERUFLICHE ERFAHRUNGEN

07/2008 – 08/2008 Grundpraktikum für das Maschinenbaustudium
Schindler Handhabetechnik GmbH & Co. KG

04/2012 – 10/2012 Fachpraktikum im Bachelorstudium
Daimler AG in der Abteilung „Logistik- und Programmplanung“

KENNTNISSE UND INTERESSEN

EDV CAD-Software (Autodesk Inventor, Solid Edge, CATIA V5)
Programmiersprachen (C#, C++, LabView)
Gute Kenntnisse in MS Office
DGQ Quality Systems Manager - Junior

Sprachen Deutsch Muttersprache
Englisch sicher in Wort und Schrift (B2)
Chinesisch Grundkenntnisse (A1)
Französisch Grundkenntnisse (Schulkenntnisse)
Italienisch Grundkenntnisse (A1)
Spanisch Grundkenntnisse (A1.1)

Persönliche Interessen Spfr. Herbstadt (Fußballabteilung)
TC Rot-Weiß Bad Königshofen e.V. (Tennisabteilung)

Bad Königshofen, 07.05.2015

Moritz Heß

Franzosengraben 12
97631 Bad Königshofen

Telefon: 0157 57962920
E-Mail: moritz.hess@tu-ilmenau.de

Auf dem Weg zur nativen Kennzeichnung additiv gefertigter Produkte?

Die größten Schlüsselbegriffe im Zusammenhang mit Industrie 4.0 sind Individualität, Flexibilität und Schnelligkeit, um die ganz eigenen Kundenvorstellungen in einem angemessenen Zeitrahmen produzieren zu können. Das bedarf anpassungsfähige Produktionssysteme und Maschinen, die jederzeit das zu fertigende Objekt austauschen können. Die vernetzte Fabrik geht aber noch weiter. Indem die Produkte mit automatischen Identifikationsmerkmalen ausgestattet werden, herrscht ein ständiger Datenaustausch zwischen Maschine und Produkt, der dafür sorgt, dass richtig reagiert wird. Auf diese Weise entsteht eine komplett neue Produktionslogik, die dafür sorgt, dass die Produkte eindeutig identifizierbar und jederzeit lokalisierbar sind. Durch die sich verändernden Anforderungen an die Produktionstechnik gewinnen die generativen Fertigungsverfahren an Bedeutung. Mit ihnen lassen sich alle Erwartungen der neuen industriellen Revolution erfüllen. Trotz intensiver Forschungsarbeit in den letzten Jahren ist die additive Fertigungstechnik allerdings noch nicht ausgereift. Mit der Problematik, das Produkt mit einer Identifikationskennung zu versehen, beschäftigt sich diese Präsentation.

Im Rahmen einer Patentrecherche werden technische Lösungen für die Herstellung nativer, unverlierbarer (lebenslanger) und für das menschliche Auge unsichtbarer Identifikationsmerkmale für additive gefertigter Erzeugnisse vorgestellt. Die Kennzeichnung soll dabei dauerhaft mit dem zu identifizierbaren Objekt verbunden sein und im selben Arbeitsgang erstellt werden. Auch sollte geprüft werden, ob das Markieren unter verschiedenen Randbedingungen, wie zum Beispiel dem Einsatz von Kunststoff oder Metallwerkstoffen, funktioniert. Das Anbringen der Identifikationsmerkmale muss zwar nicht vollautomatisch, aber notwendigerweise in den Fertigungsprozess integriert sein.



TECHNISCHE UNIVERSITÄT ILMENAU
Fakultät Maschinenbau/Fachgebiet Fabrikbetrieb

Thema:

Auf dem Weg zur nativen Kennzeichnung additiv gefertigter Produkte?

Verfasser:

B. Sc. Moritz Heß

Studiengang:

Maschinenbau

Gliederung

1. Einleitung – 4. Industrielle Revolution?
2. Generative Fertigungsverfahren & Industrie 4.0
3. Generative Fertigungstechnik - Begriffe
4. Patentrecherche
 - 4.1 Optoelektronische Identifikation
 - 4.2 Fluoreszenzmarkierung
 - 4.3 Kontrastmittel
 - 4.4 RFID
 - 4.5 Magnetismus
5. Quellenverzeichnis

1. Einleitung – 4. Industrielle Revolution?

Aktuelle Situation:

Am Übergang zwischen 3. und 4. Industrieller Revolution

Zukunftsziel:

„Internet der Dinge“ schaffen um einen autonomen Informationsaustausch zwischen Produkt und Maschine zu gewährleisten

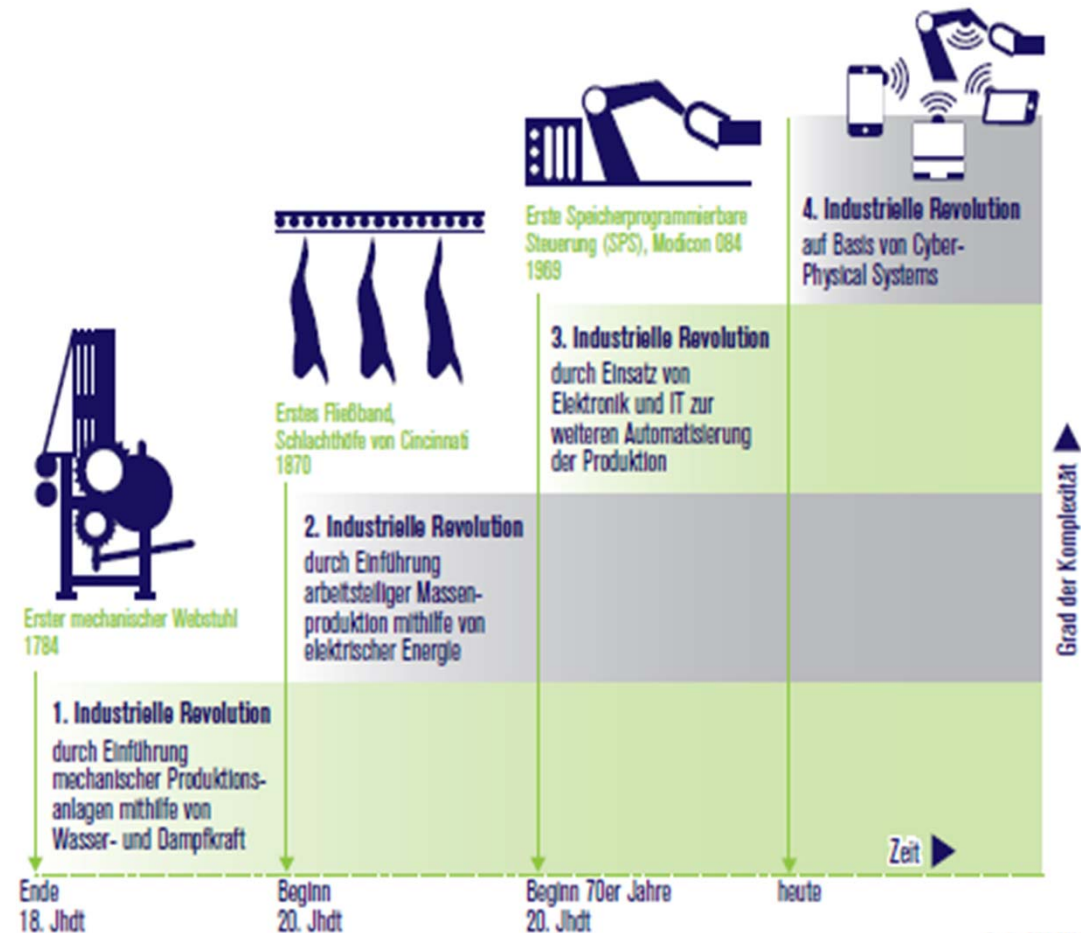


Abb. 1: Die 4 Stufen der Industrialisierung [BVZ 15]

Quelle: [3DI 14], [ACA 15], [BVZ 15]

1. Einleitung – Vision Industrie 4.0

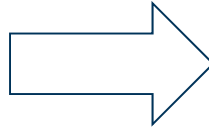
- Schlüsselbegriffe:
 - Individualität, Flexibilität, Schnelligkeit
- Entstehen von Cyber-physischen Systemen (CPS), die auf Produktionsebene Smart Factories erschaffen
- In Smart Factories existiert neue Produktionslogistik
- Smart Products sind
 - Jederzeit lokalisierbar und eindeutig identifizierbar
 - Haben Kenntnis über ihren aktuellen Zustand
 - Können auf Veränderung reagieren (Transportweg)

Quelle: [3DI 14], [ACA 15], [BVZ 15]

2. Generative Fertigungsverfahren & Industrie 4.0

Neue Anforderungen an Produktionstechnik

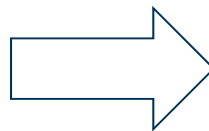
- Identifizierbarkeit
- Lokalisierbarkeit



Charakteristisches Merkmal bei der additiven Fertigung

- Kundenindividuelle Prothesen sind an Nutzer angepasst und können mit Kennzeichnung versehen werden

- Flexibilität

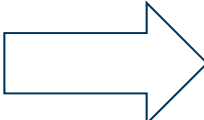
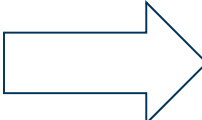
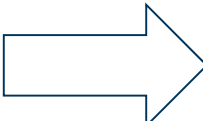


Produzieren einer Vielzahl an Produkten auf derselben Fertigungsanlage

Quelle: [3DI 14]

2. Generative Fertigungsverfahren & Industrie 4.0

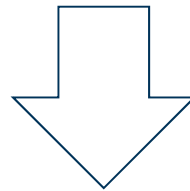
Neue Anforderungen an Produktionstechnik

- Wachsende Produktkomplexität  Erzeugen von Hinterschneidungen, Hohlräumen und überhängenden Materialien
- Leichtbau  Materialeinsparungen durch höheren Gestaltungsaufwand möglich
 - z. Bsp. kein Vollmaterial
- Definieren von Standards  VDI 3404, ASTM F 2792

Quelle: [3DI 14]

3. Generative Fertigungstechnik - Begriffe

- Additive Fertigung = Aneinanderfügen einzelner Schichten
- Generative Fertigung
 - Automatisieren- das additive Schichtbauprinzip (computergesteuert → CAD-Daten)
 - Entstehen der Form und der Stoffeigenschaften



Additive und Generative Fertigungsverfahren sind nur bei der Betrachtung der entstehenden Geometrie identisch

Quelle: [GEB 13], [DIN 8580]

3. Generative Fertigungstechnik - Begriffe

- Additive Manufacturing = international anerkannter Fachbegriff für generative Fertigungsverfahren
 - Genormt in Deutschland: VDI 3403
 - In USA: ASTM F 2792
- 3D-Printing:
 - Fälschlicherweise durchgesetzter Begriff
 - Leicht zu erklären
 - Nicht mit Fertigungstechnik „3D Drucken“ zu verwechseln

Quelle: [GEB 13]

3. Generative Fertigungstechnik - Begriffe

- R-Technologien: → kein Überbegriff, sondern Anwendungen der generativen Fertigungstechnik
 - Rapid Prototyping: schichtweiser Aufbau von Mustern und Prototypen
 - Rapid Manufacturing: Herstellen von konkurrenzfähigen Bauteilen/Kleinserien
 - Rapid Tooling: schnelles Herstellen von Werkzeugen für um- und urformende Fertigungsverfahren

Weitere Begriffe: Additive Layer Manufacturing (ALM)
 Solid Freeform Manufacturing (SFM)
 Desktop Manufacturing (DMF)

Quelle: [GEB 13]

4. Patentrecherche

- Technische Lösungen für die Herstellung gekennzeichnete additiv gefertigter Erzeugnisse
- Gründe und Forderungen für eine Kennzeichnung
 - Nativ (im gleichen Arbeitsgang hergestellt)
 - Unverlierbar (lebenslang mit Bauteil verbunden)
 - Unsichtbar
 - Individuell
 - Fälschungssicher
 - Automatisiert und in Fertigungsprozess integriert
 - Einfaches Erkennen und Verifizieren

4. Patentrecherche

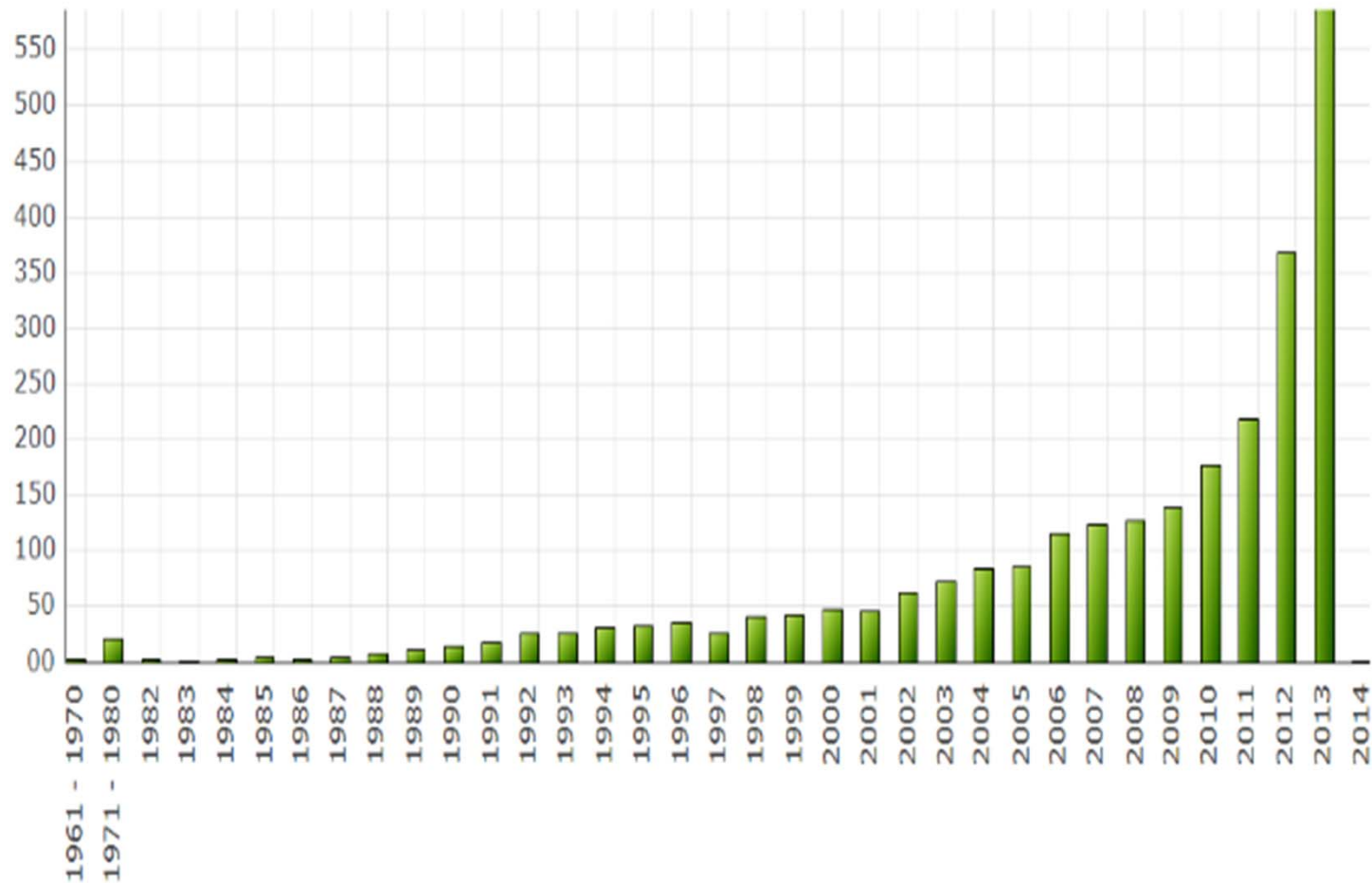


Abb. 2: Zunahme der veröffentlichten Patente im Bereich der generativen Fertigungstechnik [TEC 15]

Quelle: [TEC 15]

4. Patentrecherche - Vorgehensweise

- Datenbank PatBase
- Verwenden von Patentklassen (IPC)
 - Gießen von Metallen (B22D)
 - Verarbeiten von Metallpulver (B22F)
 - Vorbereiten oder Vorbehandeln der zu verformenden Masse (B29B)
 - Formen oder Verbinden von Kunststoffen (B29C)
 - Untersuchen oder Analysieren von Stoffen durch Bestimmung ihrer chemischen oder physikalischen Eigenschaften (G01N)
 - Erkennen von Daten (G06K)

4. Patentrecherche – optoelektronische Identifikation

1. Patent: WO2014154353 A1

- Verfahren zur Herstellung eines 3D-Bauteiles mit einem individuellen Kennzeichnungselementes
- Kennzeichnung an Bauteiloberfläche
 - Öffnungs- oder Lochmuster
 - Binäre Kodierung (Öffnung= binäre 1; kein Öffnung = binäre 0)
 - Anordnung in Matrixform (1 Mio verschiedene Bauteile auf 1 cm²)
 - 1-2 Aufbauschichten hoch

Quelle: Schutzrecht WO1

4. Patentrecherche – optoelektronische Identifikation

- Variante:
 - Verschlüsselung anhand der Form oder Größe der Öffnungen
 - Kreisrunde oder langgestreckte Öffnungen
 - Verschiedengroße Öffnungen
- Wichtig um notwendigen Kontrast zu erzielen → Öffnungen als Durchbruch durch das komplette Kennzeichnungselement
- Auswertung der Lochmuster über Kamera mit Autofokus-Funktion in Kombination mit Durch- oder Auflichtmikroskop
- Jedem Binärcode ist genau ein Bauteil zugeordnet

Quelle: Schutzrecht WO1

4. Patentrecherche – optoelektronische Identifikation

2. Patent: DE102009015327

- Kennzeichnung über Direct Part Marking (DPM)
 - Individuelle Kennzeichnung in Form eines optisch lesbaren Codes
 - Transformation des Codes in ein Relief
 - Integration des Reliefs auf das zu fertigende Objekt
 - Kombination aus Stütz- und Bauteilmaterial
 - Optimal: farblich unterschiedliche Werkstoffe
 - Oder: Verwenden von Materialien mit unterschiedlichen Reflexionseigenschaften → Auslesen über Infrarot-Lesegerät

Quelle: Schutzrecht DE1

4. Patentrecherche – optoelektronische Identifikation

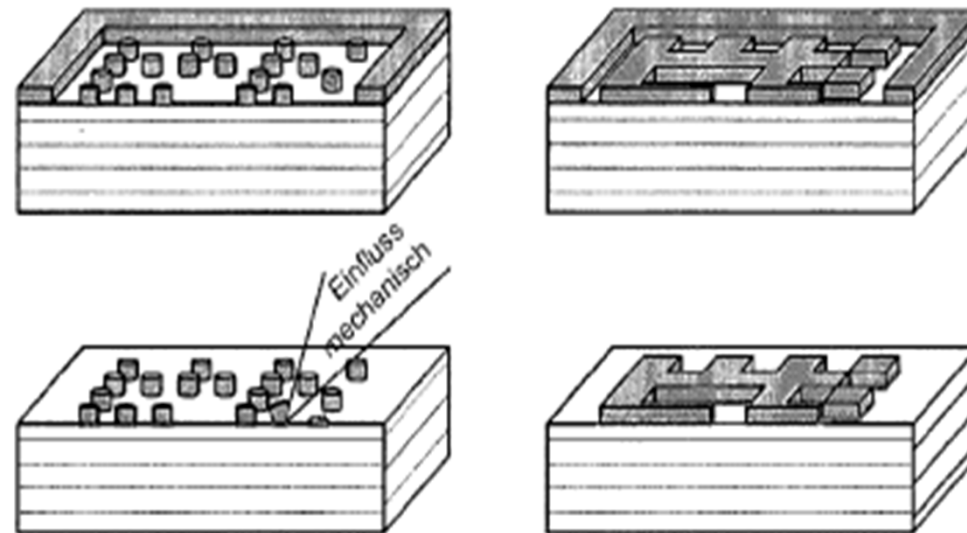


Abb. 3: Bauteil mit individueller Kennzeichnung mit DPM-Verfahren hergestellt [Schutzrecht DE1]

Quelle: Schutzrecht DE1

4. Patentrecherche – Fluoreszenzmarkierung

DE102012024771

- Fluoreszierender Stoff in Form eines 1D- oder 2D-Codes
- Nur unter UV-Belichtung erkennbar
- Bei Bestrahlung wird der Fluoreszenzfarbstoff angeregt und leuchtet auf
- Über Sensor aufnehmen und Informationen mit Datenbank abgleichen

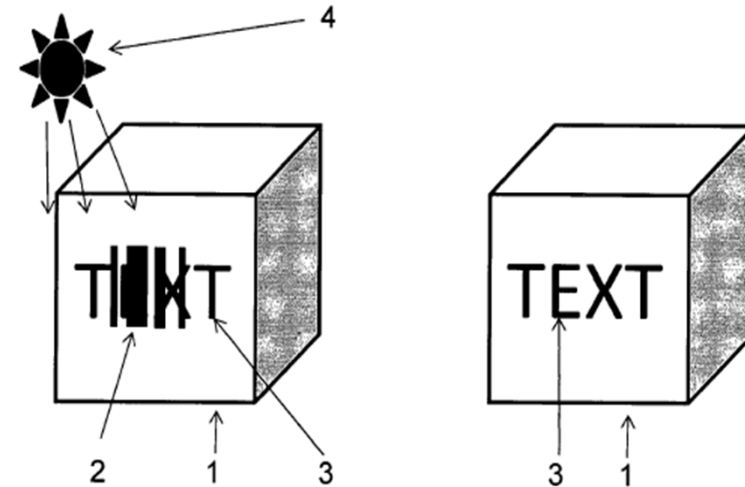


Abb. 4: Fluoreszierender Code auf Bauteil [Schutzrecht DE2]

(Anregungswellenlänge muss im Spektrum enthalten sein)

Quelle: Schutzrecht DE2

4. Patentrecherche – Kontrastmittel

1. Patent: DE102009043597A1

- Markierung durch
 - Einbetten andersartigen Materials
 - Verstecken von 2D- oder 3D-Strukturen im Bauteil
 - stochastische oder deterministische Variation der Herstellungsparameter
 - Integrieren eines porösen Gefüges
- Dichteschwankungen in das Bauteil integriert

Quelle: Schutzrecht DE3

4. Patentrecherche – Kontrastmittel

1. Markierung durch Einbetten andersartigen Materials

FIG 1

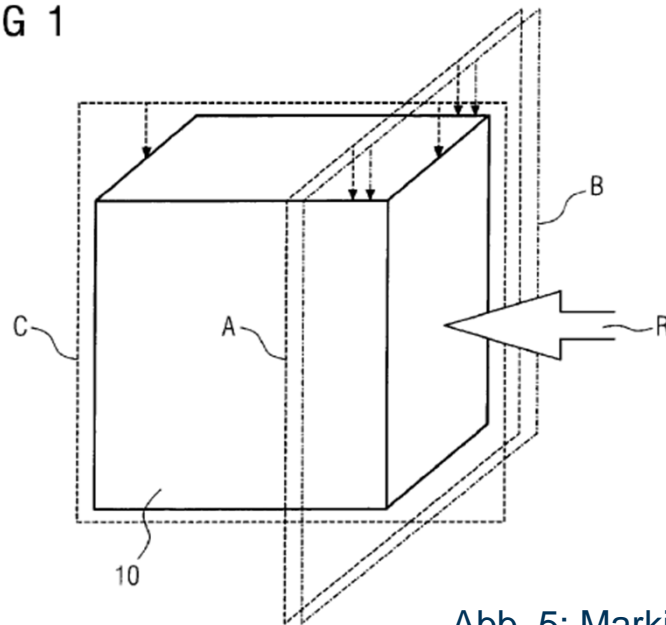


FIG 2

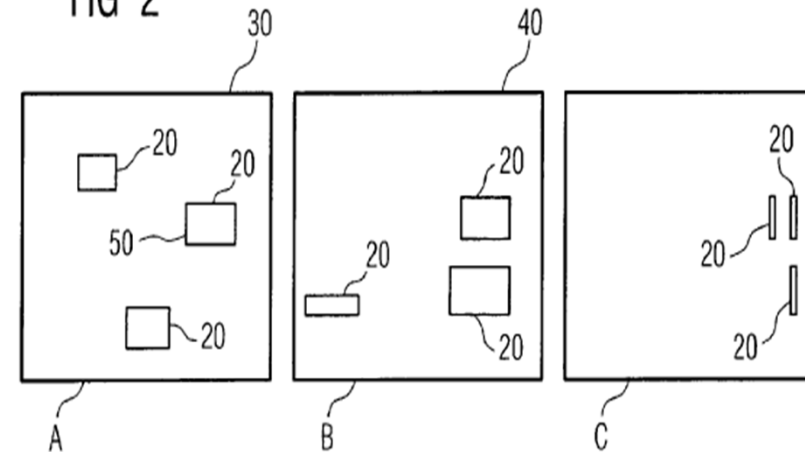


Abb. 5: Markierung durch Magnetmaterial [Schutzrecht DE3]

Quelle: Schutzrecht DE3

4. Patentrecherche – Kontrastmittel

2. Verstecken von 2D- oder 3D-Strukturen im Bauteil

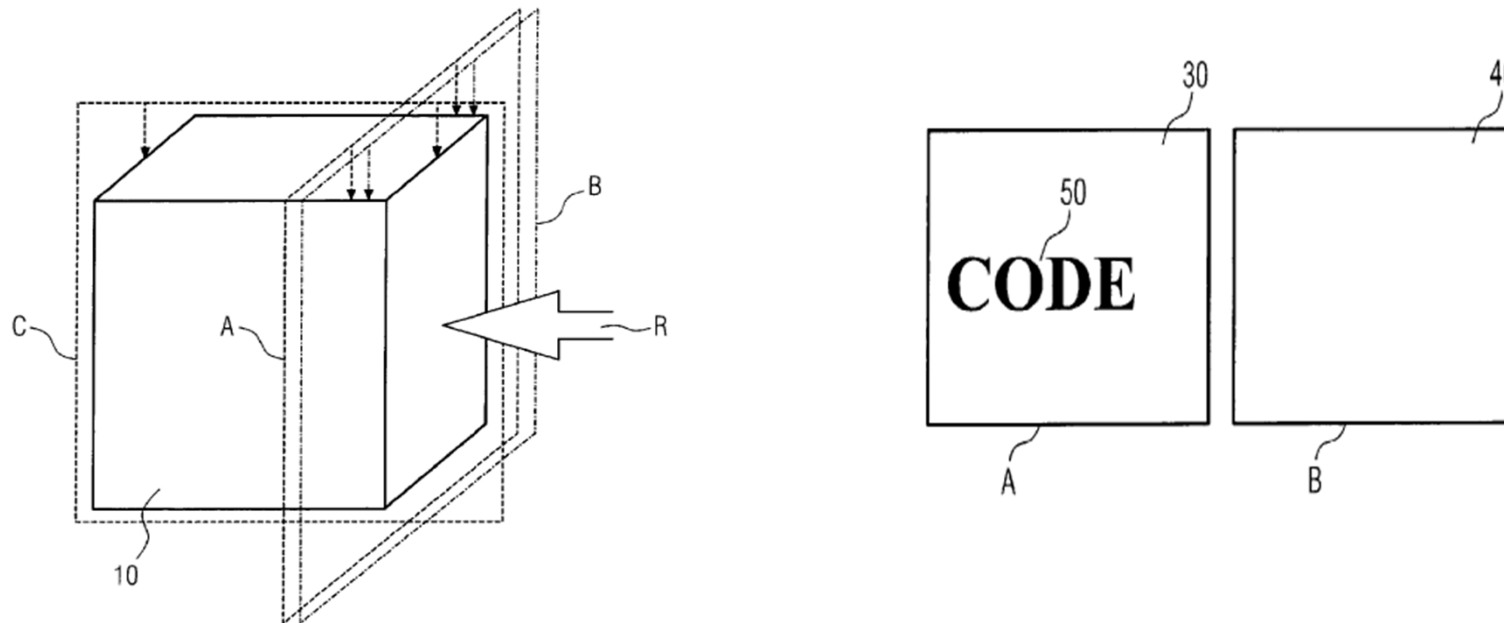


Abb. 6: Einsatz von unbehandeltem Material zur Kennzeichnung [Schutzrecht De3]

Quelle: Schutzrecht DE3

4. Patentrecherche – Kontrastmittel

3. Markierung durch stochastische Variation der Herstellungparameter und Integrieren von porösem Gefüge

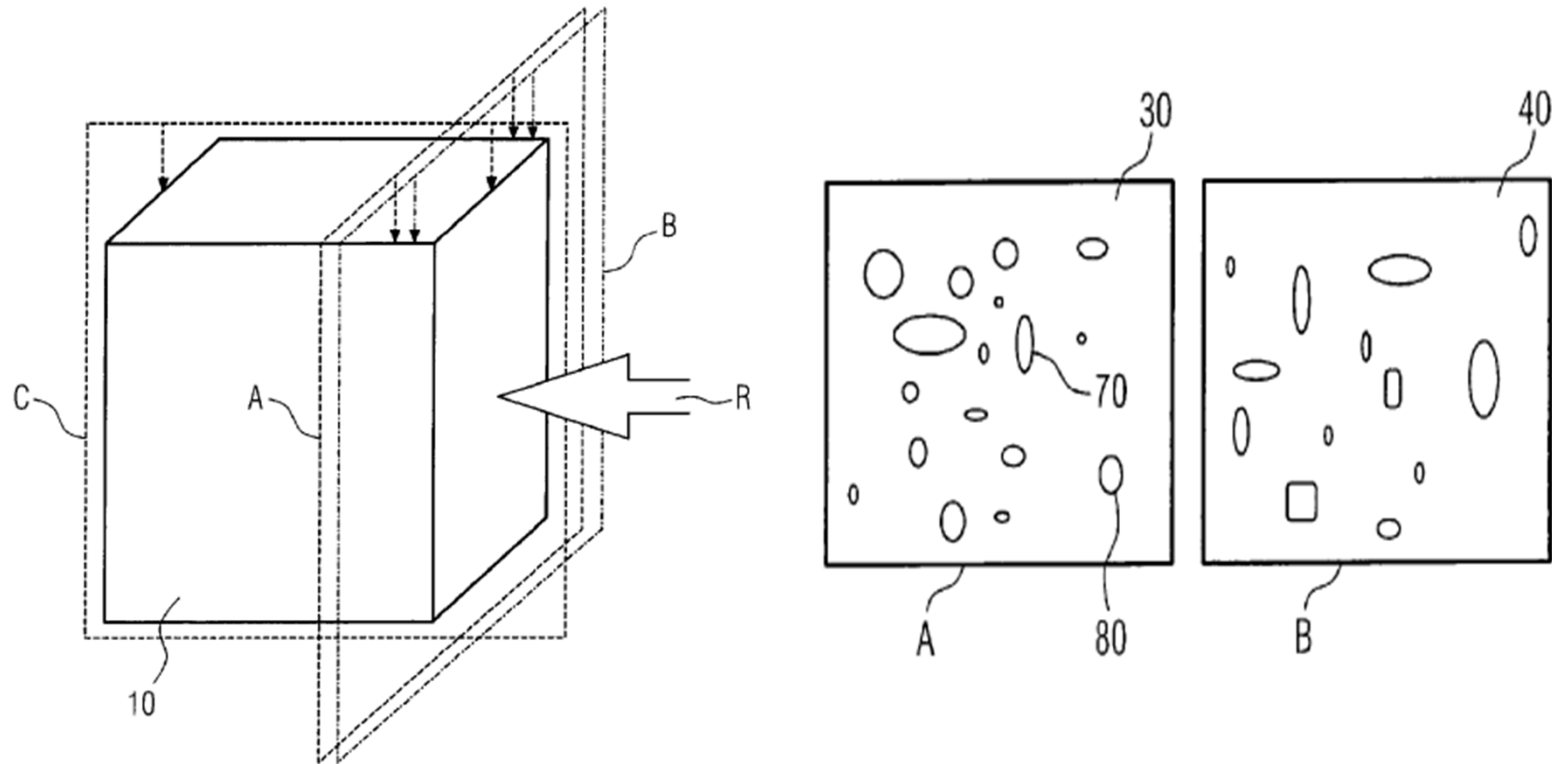


Abb. 7: Markierung durch poröses Gefüge [Schutzrecht DE3]

Quelle: Schutzrecht DE3

4. Patentrecherche – Kontrastmittel

2. Patent: DE102008058177

- Verfahren zur Identifizierung von Lasersinterpulvern
- Bisher: aufwendige Pulveranalysen durchführen um alle Bestandteile eines Pulvergemisches herauszufinden
- Idee:
 - Vermischen des Basispulvers mit einem Markierungspulver im Verhältnis 90:10
 - Homogene Verteilung → auch kleine Proben identifizierbar
 - Markierungsstoff: farblose lumineszierende Substanz

Quelle: Schutzrecht DE4

4. Patentrecherche – Kontrastmittel

- Markierungspulver
 - Sehr temperaturbeständig
 - Salze seltener Erden (Oxide, Oxi-Sulfide, Fluoride)
 - Dotierung mit anderen Elementen der seltenen Erden um gewünschte Lumineszenz zu erreichen
- Identifizierung
 - Untersuchen des emittierten Lichtes (Wellenlänge, Intensität)
 - Vergleich mit Werten aus einer Datenbank
 - Genaue Analyse welcher Markierungsstoff in welchem Verhältnis verwendet wurde

Quelle: Schutzrecht DE4

4. Patentrecherche – RFID

US 8858856

- RFID-Transponder während des Fertigungsprozesses in das Bauteil integrieren
- Passive RFID-Tags wie HF- oder UHF-Transponder (pillenförmig, dünnschichtig)
 - An Schichtdicke orientieren
- In CAD-Modell einen Hohlraum für Transponder vorsehen
 - Nicht mit Stützmaterial füllen

Quelle: Schutzrecht US1

4. Patentrecherche – RFID

- Während des Fertigungsprozesses muss ein Haltepunkt programmiert werden
- Manuelles oder Automatisches Einlegen des RFID-Transponder
- Erzeugen der restlichen Bauteilschichten

Quelle: Schutzrecht US1

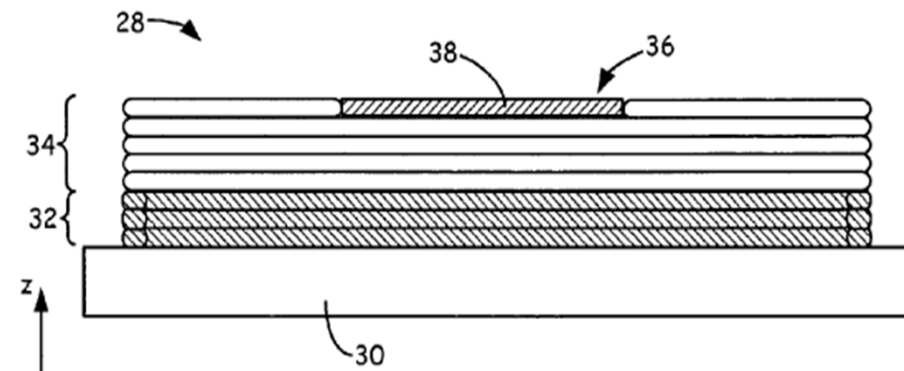


Abb. 8: Integrierter dünnschichtiger RFID-Transponder [Schutzrecht US1]

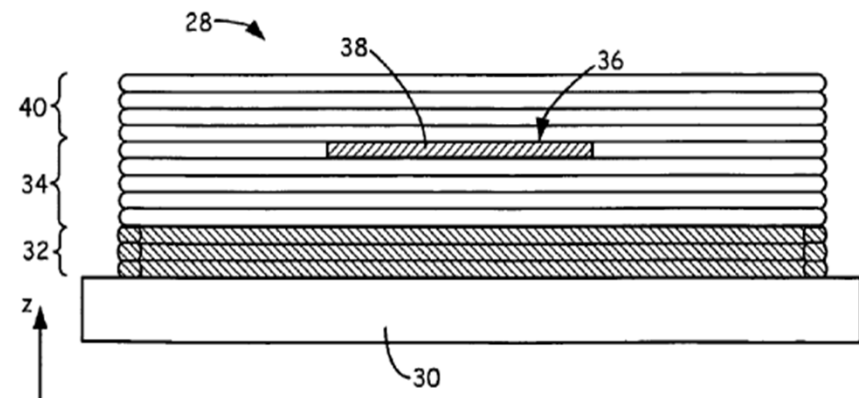


Abb. 9: Komplettes Bauteil mit integriertem RFID-Tag [Schutzrecht US1]

4. Patentrecherche – Magnetismus

EP1675040A1

- Versetzen des Pulvergemisches mit magnetisierbaren Körnern ($<1\mu\text{m}$)
- Wahllos angeordnet
- Kodierung durch Aussetzen des Bauteiles in ein Magnetfeld \rightarrow Ausrichten nach Orientierung

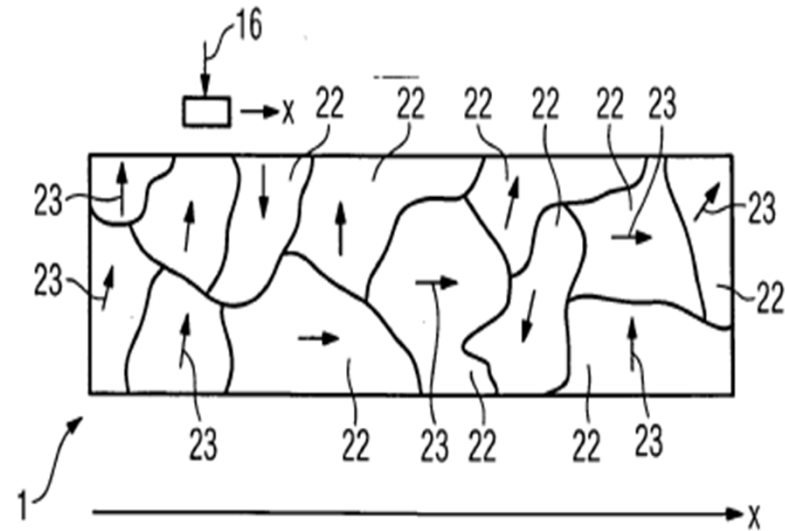


Abb. 10: Bauteil aus magnetisierten Körnern [Schutzrecht EP1]

Quelle: Schutzrecht EP1

4. Patentrecherche – Magnetismus

- Durch Auslesen über einer Hall-Sonde ergibt sich eine individuelle Magnetisierungskennlinie
- Zuordnung mit Zahlenwerten möglich
- Anordnung in Segmente (wie Barcode)
- Jedem Segment wird ein Wert zugeordnet oder verschiedenartig magnetisiert

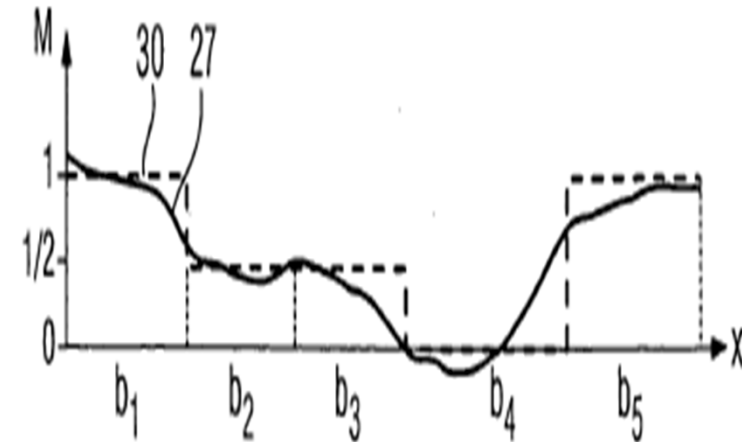


Abb. 11: Magnetisierungskennlinie
[Schutzrecht EP1]

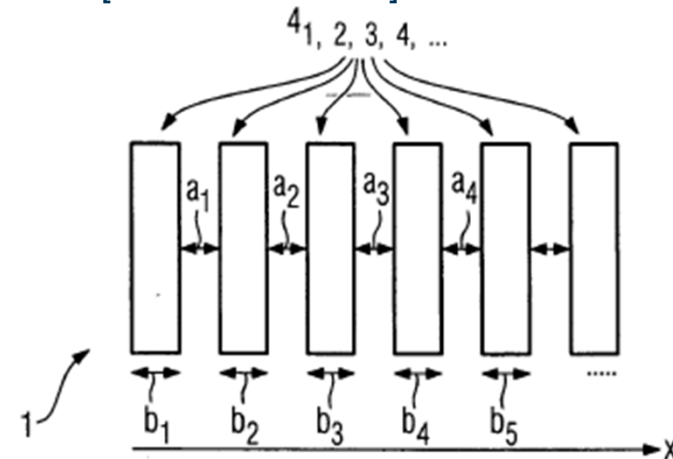


Abb. 12: Markierung In Barcode-Form
[Schutzrecht EP1]

5. Quellenverzeichnis

- [3DI 14] Mitteldeutsches Forum Rapid Technologien: *3D-Druck & Industrie*. Tagungsband Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, Jena 2014
- [ACA 15] Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, 2013, letzter Zugriff:28.04.2015
http://www.bmbf.de/pubRD/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf
- [BVZ 15] Plattform Industrie 4.0, BITKOM, VDMA, ZVEI
letzter Zugriff: 28.04.2015
<http://www.plattform-i40.de/>
- [DIN 8580] DIN 8580, September 2003. *Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung*
- [GEB 13] Gebhardt, Andreas: *Generative Fertigungsverfahren*.
Carl Hanser Verlag, München 2013
- [TEC 15] 3D-Printing Technology Insight Report, letzter Zugriff: 28.04.2015
<http://www.patentinsightpro.com/techreports/0214/Tech%20Insight%20Report%20-%203D%20Printing.pdf>

5. Quellenverzeichnis

- Schutzrecht DE1 Schutzrecht DE102009015327 A1 (23.9.2010). Technische Universität Ilmenau. Pr.: DE20091015327 20090320
- Schutzrecht DE2 Schutzrecht DE102012024771 A1 (18.06.2014). Klippstein, Markus. Pr.: 10 2012 024 771.0
- Schutzrecht DE3 Schutzrecht DE102009043597 A1 (07.04.2011). Siemens Aktiengesellschaft. Pr.: 10 2009 043 597.2
- Schutzrecht DE4 Schutzrecht DE102008058177 A1 (24.06.2010). EOS GmbH Electro Optical Systems. Pr.: 10 2008 058 177.1
- Schutzrecht EP1 Schutzrecht EP1675040 A1 (28.06.2006). Siemens Aktiengesellschaft. Pr.: 04030731.6
- Schutzrecht US1 Schutzrecht US8858856 B2 (14.10.2014). Stratasys Inc. Pr.: US2009 0173443
- Schutzrecht WO1 Schutzrecht WO2014154353 A1 (02.04.2014). Fit Fruth Innovative Technologien GmbH. Pr.: 10 2013 103 249,4 28



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!



Kurzvita:

Dr. Ronny M. Schulz

Jahrgang 1977,

studierte Chemieingenieurwesen und promovierte
2008 für das Fachgebiet Biochemie mit dem

Thema

*„Advanced Tools for Articular Cartilage Tissue Engineering: Bioreactors, Monitoring,
Scaffolds, and Defect Model“.*

Derzeitige Forschungsgebiete fokussieren sich auf zelltherapeutische Ansätze zur
Behandlung von Gelenkknorpeldefekten sowie auf die Durchführung von
zulassungsrelevanten Studien zur Nicht-Klinik und Qualität von Arzneimitteln für neuartige
Therapien (ATMPs).

Kurzreferat zum Vortrag:

Innovative Behandlungskonzepte für Gelenkknorpelschäden durch Regenerative Medizin

Große, vollschichtige Knorpeldefekte heilen nicht spontan und die bestehenden Therapien führen nicht zu einer dauerhaften Regeneration des geschädigten Gewebes. Daher liegt der Fokus auf schonenden und qualitativ hochwertigen Zelltherapien mit Hilfe körpereigener Stammzellen (MSCs), welche u.a. die Eigenschaft besitzen Gelenkknorpel bilden zu können. Dabei wurde die gezielte Differenzierung von MSCs zu Knorpelzellen zunächst in einem eigens entwickelten Bioreaktor unter möglichst physiologischen Bedingungen untersucht. Die darauf folgenden Wirksamkeitsstudien im relevanten Großtiermodell konnten eine erfolgreiche Regeneration von fokalen Knorpelschäden zeigen. Weitere Tiermodelle für die Untersuchung der Sicherheit also zum Nachweis der Tumorigenität und Biodistribution wurden ebenfalls unter Einhaltung der „Guten Labor Praxis“ (GLP) etabliert. In Zukunft soll eine erste klinische Studie der Phase II die Unbedenklichkeit, die grundsätzliche Machbarkeit, sowie die Wirksamkeit einer solchen stammzellbasierten Knorpeltherapie im Patienten untersucht werden.

Eine Weiterentwicklung dessen erlaubt die direkte Herstellung und Implantation des Knorpeltransplantates im Rahmen einer intraoperativen, einseitigen Zelltherapie. Hierbei werden die Stammzellen schonend und in einer für die jeweilige Indikation ausreichenden Anzahl schnell und effizient isoliert werden. Die rechtlichen Rahmenbedingungen solcher sog. *Bed-Side* Therapien wurden unlängst in *Pharmarecht* durch Timo Faltus und Ronny Schulz publiziert.

Wie schnell Matrix-basierte, 3D-gedruckte und mit Zellen besiedelte Biomaterialien in die Klinik kommen können, zeigte ein aktuelles Beispiel der Universität von Michigan (Ann Arbor, USA) anhand der lebensbedrohlichen Atemwegsverengung (Tracheobronchomalazie) bei Säuglingen. In *Bioengineering* publizierten Morrison und Kollegen 2015 eine Fallserie anhand von drei Säuglingen, die mit Hilfe eines resorbierbaren, 3D-gedruckten Polycaprolacton-Transplantates, welches auch mitwächst, erfolgreich behandelt werden konnten.

Lebenslauf und Qualifikationen

Dr. rer. nat. Uli Weber (geb. 15.03.1966, Ingolstadt)



Familienstand

- Verheiratet und zwei Kinder (8 und 11)

Akademischer Werdegang

1986-1992 Studium der Physik an der Technische Hochschule Darmstadt

1992-1996 Doktorarbeit - Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt
(Promotion 1996)

1996-2001 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Schwerionentherapie-Projekt der GSI in Darmstadt (Post-Doc)

2001 - 02/2015 Technische Projektleitung und Entwicklungsarbeiten für Partikeltherapie-Projekte:

2001 – 2003:

Projektentwickler für die Rhön-Klinikum AG (delegiert zu ACCEL-Instruments in Bergisch-Gladbach, heute VARIAN Medical Systems)

2003 – 2006:

Technischer Projektleiter am Universitätsklinikum Heidelberg für das HIT-Projekt

2006 – Feb. 2015:

Rhön-Klinikum AG und Universitätsklinikum Marburg

Technischer Leiter der Partikeltherapie-Zentrums Marburg (PTZ) und

Prokurist (seit 2011) der PTZ GmbH

EDV-Kenntnisse

- Programmiersprachen: Sehr gute Kenntnisse in C/C++, Pascal, Visual-Basic/VBA (MS)
- Datenauswertungs- und Mathematik-Software: Sehr gute Kenntnisse in Mathematica, MATLAB, gnuplot
- Betriebs-Systeme: Gute Kenntnisse in MS Windows und MS Office, UNIX, Linux

Besondere Qualifikationen

- Fach- und Sachkunde-Anerkennung für Strahlenschutz in der Medizin (Partikeltherapie) und Technik
- Fachanerkennung Medizin-Physik-Experte
- Absolvierter Studiengang Medizinische Physik

ABSTRACT

„Design und 3D-Druck von Ripple-Filtern für die Raster-Scan-Bestrahlung in der Partikeltherapie“

Weber, U.¹; Bliedtner, J.²; Brick, U.³; Bauch, U.²; Möhwald, M.²; Schilling, M.⁴; Toke, P.¹; Simeonov, Y.¹; Trautmann, C.⁵; Zink, K.¹

¹Technische Hochschule Mittelhessen Gießen; ²Ernst-Abbe-Hochschule Jena; ³Fa. BURMS, Jena; ⁴Fa. 3D-Schilling, Sondershausen; ⁵GSI Helmholtzgesellschaft Darmstadt

Einleitung:

Der sogenannte Ripple-Filter (RiFi) wird für das Raster-Scanning-Verfahren in der Ionenstrahl-Therapie benötigt. Die Ionenstrahl-Therapie ist ein hochmodernes und sich weiter verbreitendes Verfahren in der Strahlentherapie und Onkologie, das sich dadurch auszeichnet, dass außerhalb des Zielvolumens (Tumor), also im Normalgewebe und in den Risikoorganen deutlich weniger Dosis appliziert wird als bei der konventionellen Strahlentherapie mit Photonen und Elektronen. Dies wird ermöglicht durch das inverse Dosisprofil von Protonen- und Ionenstrahlen mit dem sogenannten Bragg-peak am Ende der Reichweite. Dieser Bragg-peak ist ein sehr scharfes Dosismaximum, das über das Raster-Scanning-Verfahren möglichst homogen über das Zielvolumen verteilt werden muss.

Der RiFi ist ein statisches Element im Strahlengang vor dem Patienten, das bei dem Ionenstrahl eine leichte Energiemodulation bewirkt, so dass der Bragg-peak in der Tiefe etwas breiter wird. Dadurch wird die Raster-Scan-Bestrahlung schneller und effizienter. Ohne Ripple-Filter würde z.B. die Bestrahlung mit Kohlenstoff-Ionen um einen Faktor 2-3 mal länger dauern, weil die Anzahl der Energieschritte beim Raster-Scanning 2-3 mal höher sein müsste, um die Bragg-peaks in der Tiefe zu einem homogenen Spread-out-Bragg-peak (SOBP) überlagern zu können. Kürzere Bestrahlungszeiten reduzieren generell das Risiko von Dosisabweichungen durch intrafraktionelle Bewegungen und deren resultierende „Interplay-Effekte“ (Interferenz der Raster-Scanning-Bewegung mit der Organbewegung). Der RiFi in seiner bisherigen Form (1D) wird seit 1997 an verschiedenen Ionenstrahl-Therapie-Anlagen mit Raster-Scan-Bestrahlung angewandt.

Neues Design des Ripple-Filters:

Bislang wird ein Ripple-Filter in einem aufwendigen und teuren Fräsvorgang hergestellt, bei dem jede einzelne Rille (ca. 200 Rillen) präzise gefräst werden muss. Der Vorgang ist problematisch und dauert für einen einzelnen RiFi bis zu drei Werkstattdagen, in der eine CNC-Fräsmaschine belegt wird. Die mögliche Konturkomplexität ist darüber hinaus eingeschränkt und wird durch die Zugänglichkeit des Fräswerkzeuges bestimmt.

Bei der neuen Methode werden die Ripple-Filter im Stereolithografie-Verfahren (SLA) hergestellt. Die Rapid-Prototyping Methode ermöglicht zusätzliche Freiheitsgrade beim Design der Feinstruktur des Ripple-Filters, die dazu benutzt wurde, von der Rillen-Form auf eine 2D-periodische „Noppenform“ umzusteigen. Dieses Design hat bei gleicher Modulationsstärke im Vergleich zum Rillendesign eine deutlich geringere Massenbelegung und verbessert damit die unerwünschte laterale Streuung. Zudem können die Ripple-Filter (bei der erforderlichen feinen lateralen Periodenstruktur 1,5 mm) auch mit höherer Modulationsstärke hergestellt werden, was in dem bisherigen Fräsprozess nicht möglich war. Damit können auch beim Raster-Scanning auch Abstände von 4-6 mm ermöglicht werden,

wodurch die Bestrahlungszeit, Genauigkeit und Patientenkomfort weiter gesteigert werden kann.

Die klinisch zu verwendenden Ripple-Filter haben eine Baugröße von typisch 220x220 mm² mit einer Bauhöhe von 3-7 mm. Die einzelnen Pins sind periodisch ($\lambda=1.5$ mm) angeordnet. Die Herstellung der Ripple-Filter erfolgt meist in einem SLA-Prozess mit 50 μ m Schichtdicke. Die Genauigkeitsanforderungen liegen ebenfalls in der Größenordnung von 50 μ m. Die besonderen Herausforderungen bei der Herstellung der RiFis bestehen in der Maßeinhaltung der einzelnen Pins (insbesondere im Bereich der Löcher, Spitzen und Kerben) und in der Einhaltung der Bauhöhe und Gleichmäßigkeit der Pin-Form über die gesamte Fläche. Darüber hinaus müssen sehr große Datenmengen der CAD-Daten (typ 50.000 Pin mit etwa 1000 Dreiecksfacetten pro Pin) bewältigt werden.

Ergebnisse

Die neuen 2D Ripple-Filter wurden mit einem Ionenstrahl präzise vermessen und die Modulationseigenschaften bestimmt. Er zeigt sich, dass die neuen 2D-Filter bessere klinische Eigenschaften (stärkere und definiertere Modulation mit höherer Einsparung bei der Bestrahlungszeit und eine geringere unerwünschte laterale Aufstreuung) als die alten gefrästen 1D Ripple-Filter besitzen.

Design und 3D-Druck von Ripple-Filtern für die Raster-Scan-Bestrahlung in der Partikeltherapie

Uli Weber

Co-Autoren:

***Jens Bliedtner² , Uwe Bauch² , Michael Möhwald² ,
Uwe Brick³ ,
Martin Schilling⁴ , Kerstin Schilling⁴ , Peter Schön⁴ ,
Christina Trautmann⁵ ,
Toke Printz-Ringbaek¹ , Yuri Simeonov¹ und Klemens Zink¹***

¹Technische Hochschule Mittelhessen Gießen ; ²Ernst-Abbe-Hochschule Jena; ³Fa. BURMS, Jena;
⁴Fa. 3D-Schilling Prototypen GmbH, Sondershausen; ⁵GSI Helmholtzgesellschaft Darmstadt

Technische Hochschule Mittelhessen (THM) - University of Applied Sciences

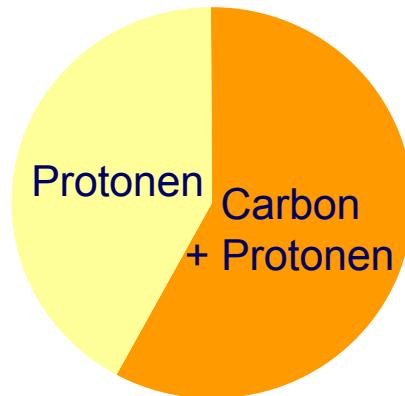
Kooperatives und vernetztes Projekt (AiF ZIM) mit interdisziplinärer Zusammenarbeit




Großflächige Objekte mit feiner Periodizität und definierter mikroskopischer Zellform, am Beispiel "Ripple-Filter" und feinperiodischen optischen Elementen

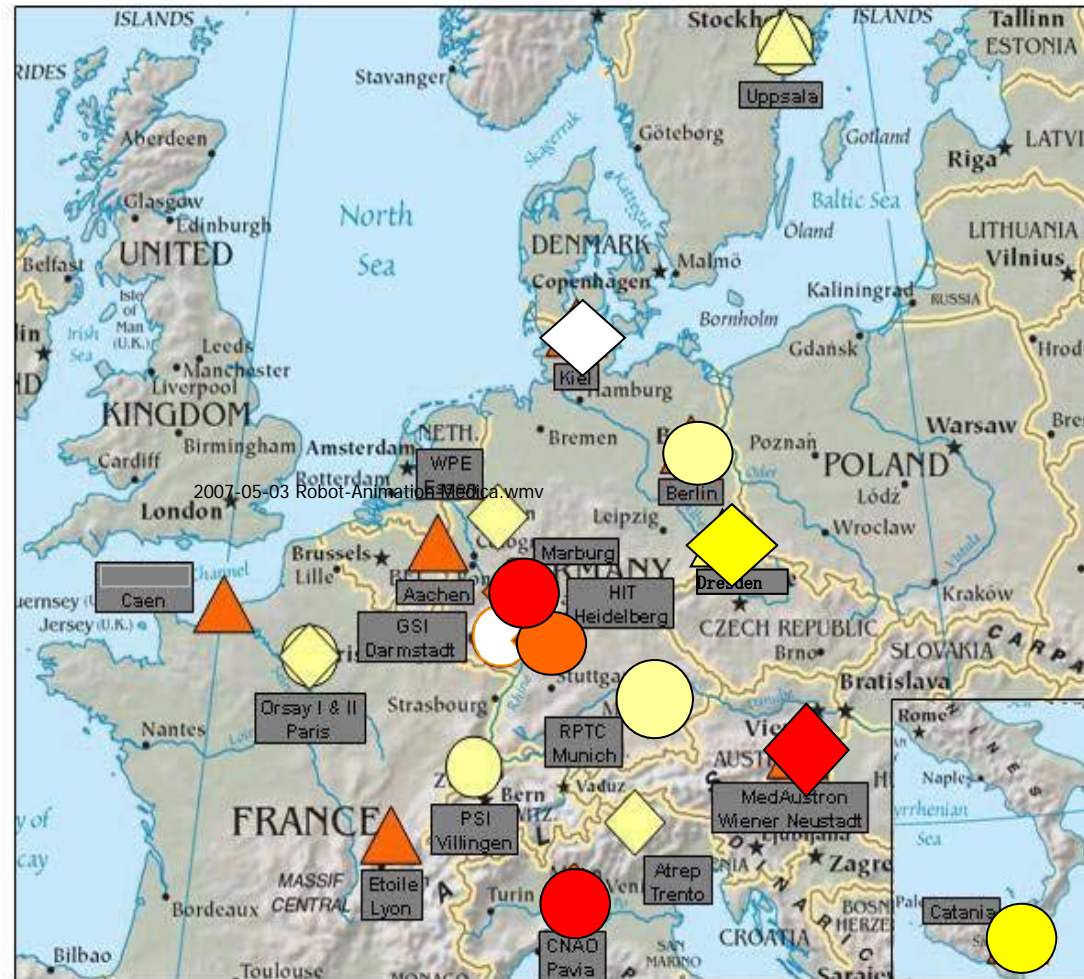
- **3D-Schilling Prototypen GmbH – Sondershausen**
 - Koordination Gesamtvorhaben
 - 3D-Druck und Abformungsprozess für großflächige feinperiodische Objekte
- **Fa. BURMS - Jena**
 - Entwicklung 3D-Druck für großflächige feinperiodische Objekte
- **Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, FB SciTec**
 - Vermessung und Qualitätssicherung der feinperiodischen Objekte
 - feinperiodische optische Elemente
- **Technische Hochschule Mittelhessen, IMPS - Gießen**
 - Design und medizinphysikalische Vermessung

Stellenwert der Partikeltherapie

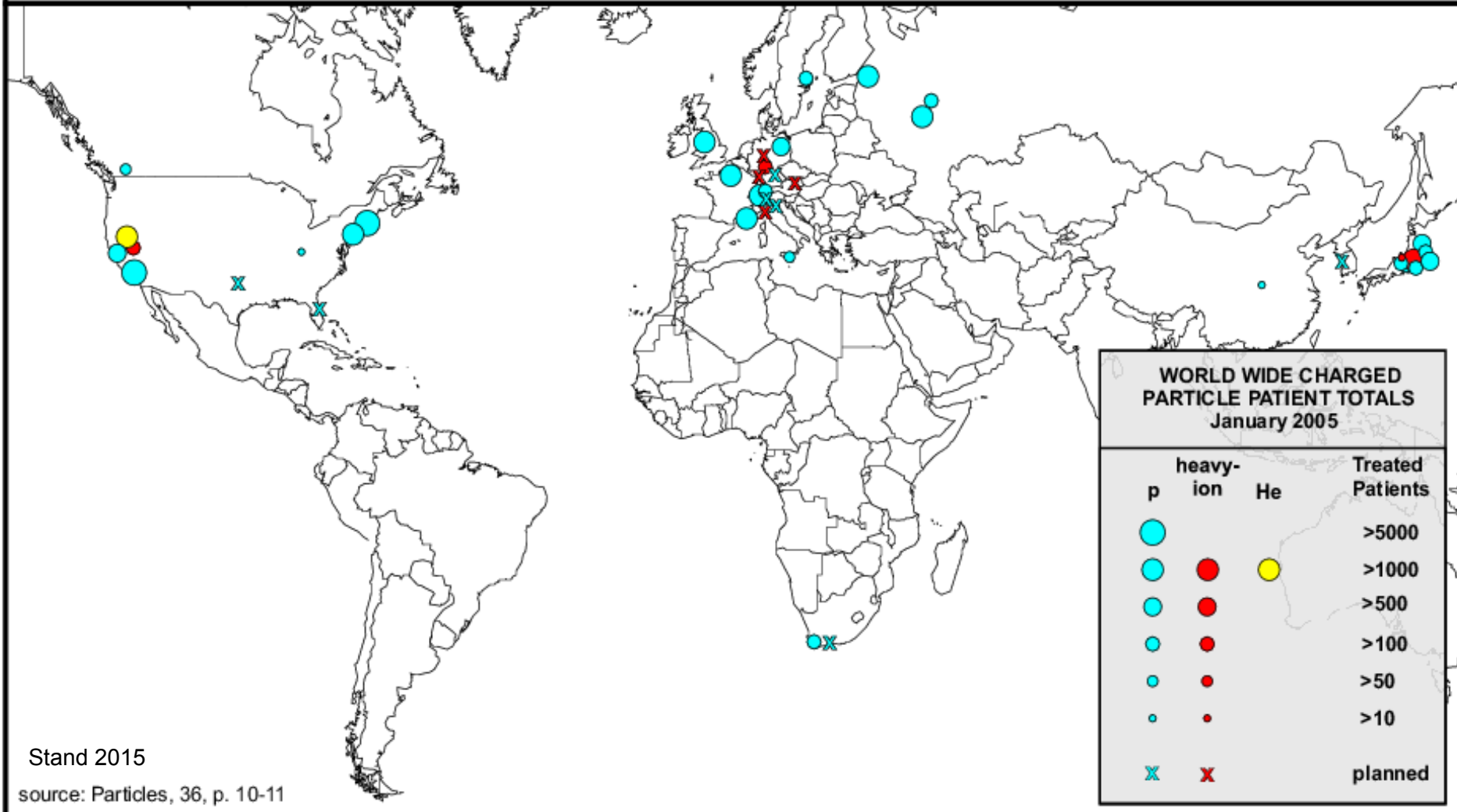
Zentren in Europa



-  in Betrieb
-  im Bau
-  geplant

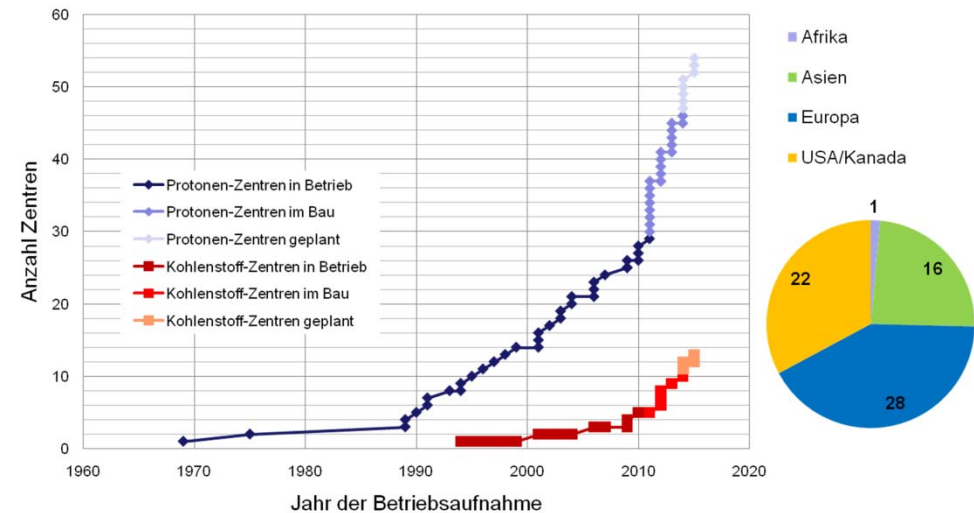
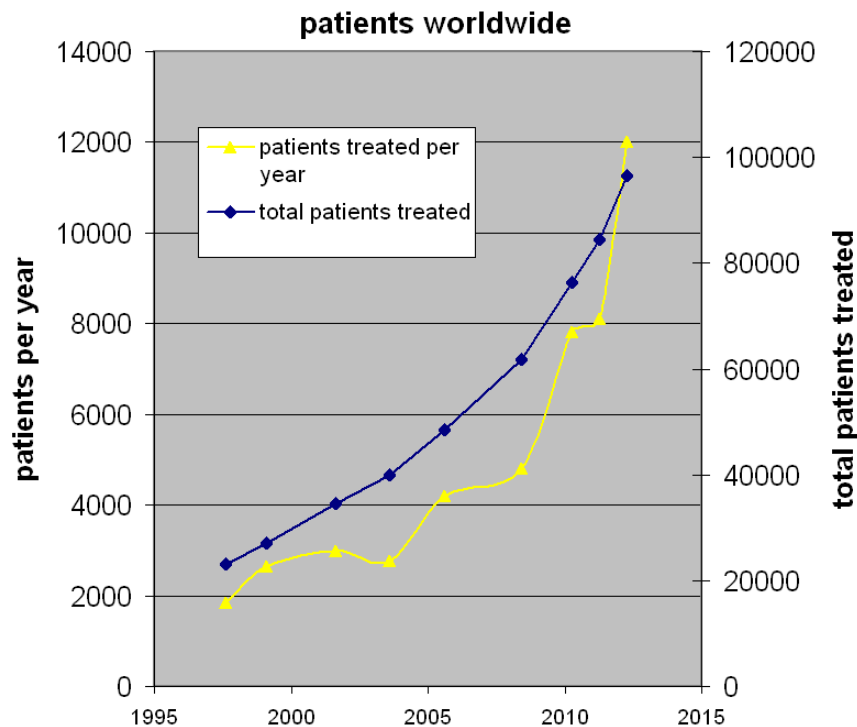


Weltweite Entwicklung Protonen- und Schwerionentherapie



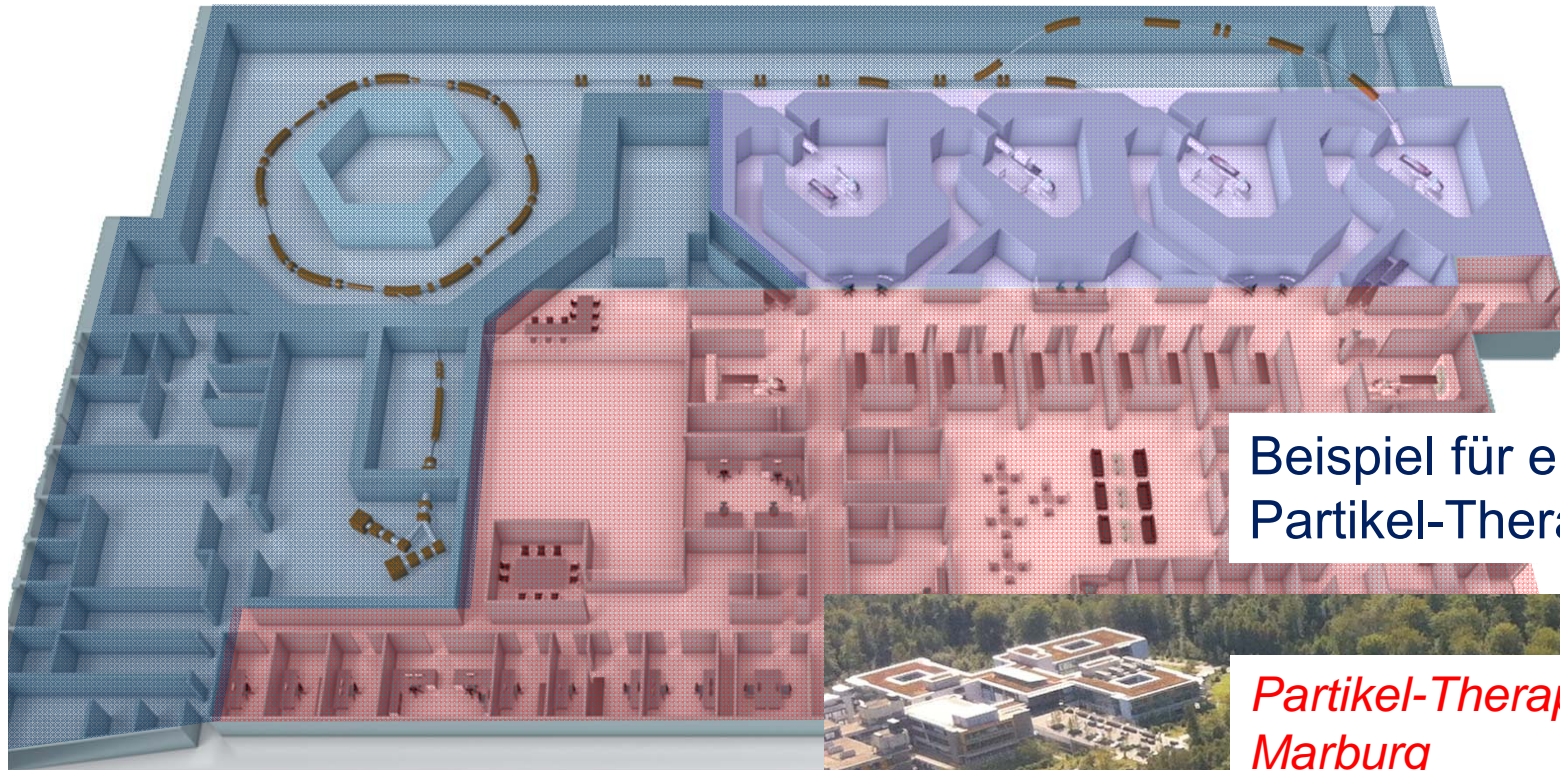
Zahlenmäßige Entwicklung der Partikeltherapie

Entwicklung Partikeltherapie – Zentren Weltweit





Quelle: www.ptcog.ch ; Stand 2013

Im Vergleich zur konventionellen Strahlentherapie nur $\leq 2\%$ Anteil, aber Tendenz steigend !



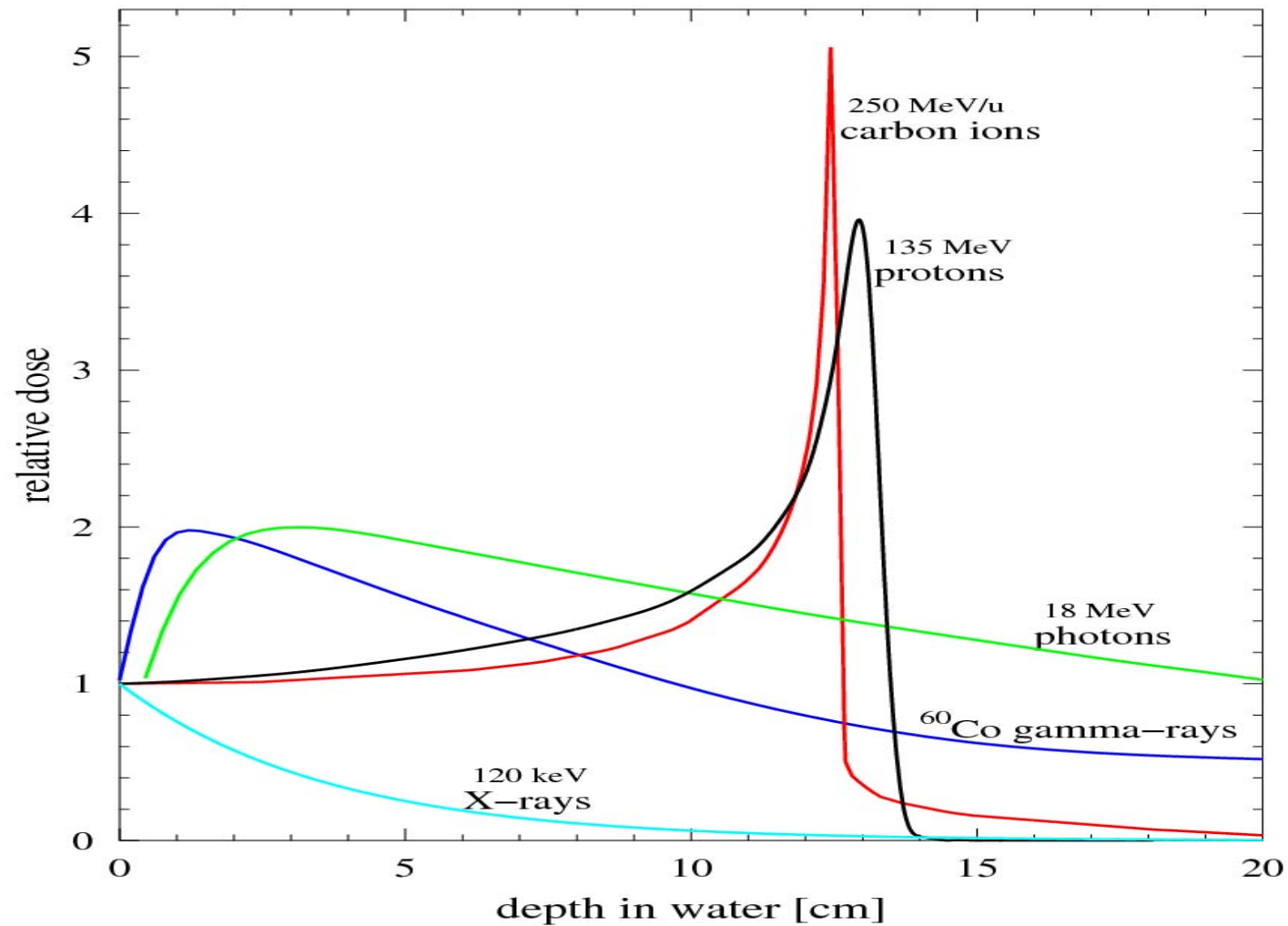
Beispiel für eine
Partikel-Therapieanlage

-  Beschleunigerber.
-  Klinisch. Bereich
-  Bestrahlungsplätze



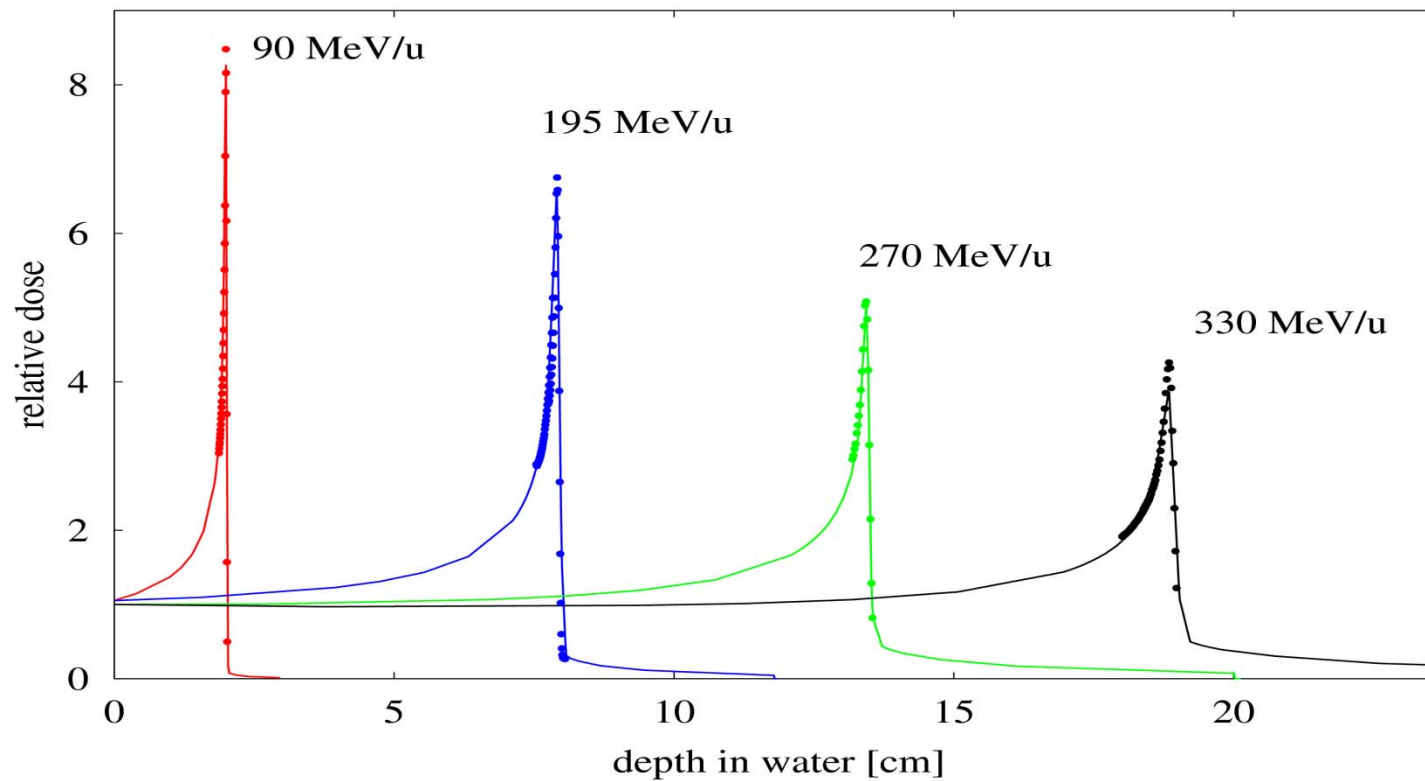
*Partikel-Therapiezentrum in
Marburg*

Vergleich der Tiefendosisprofile



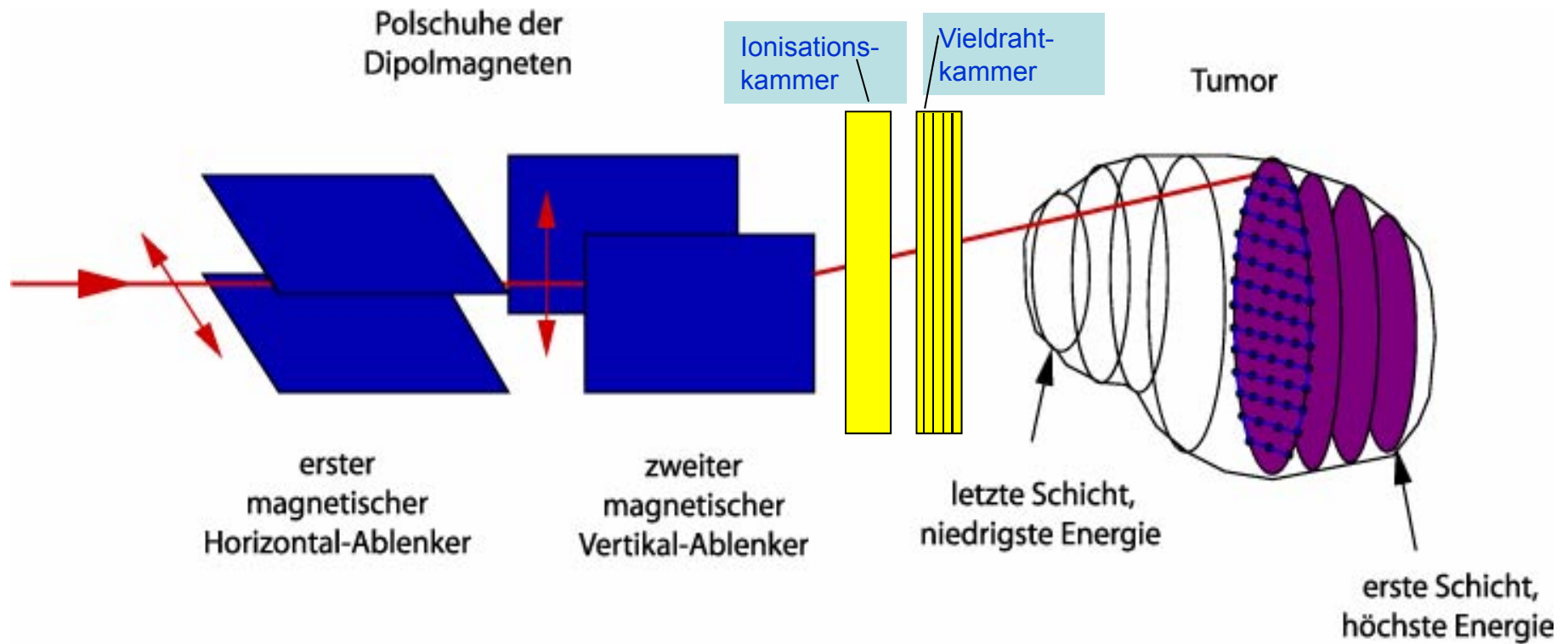
Tiefendosis Profile von Strahlen mit unterschiedlichen Energien

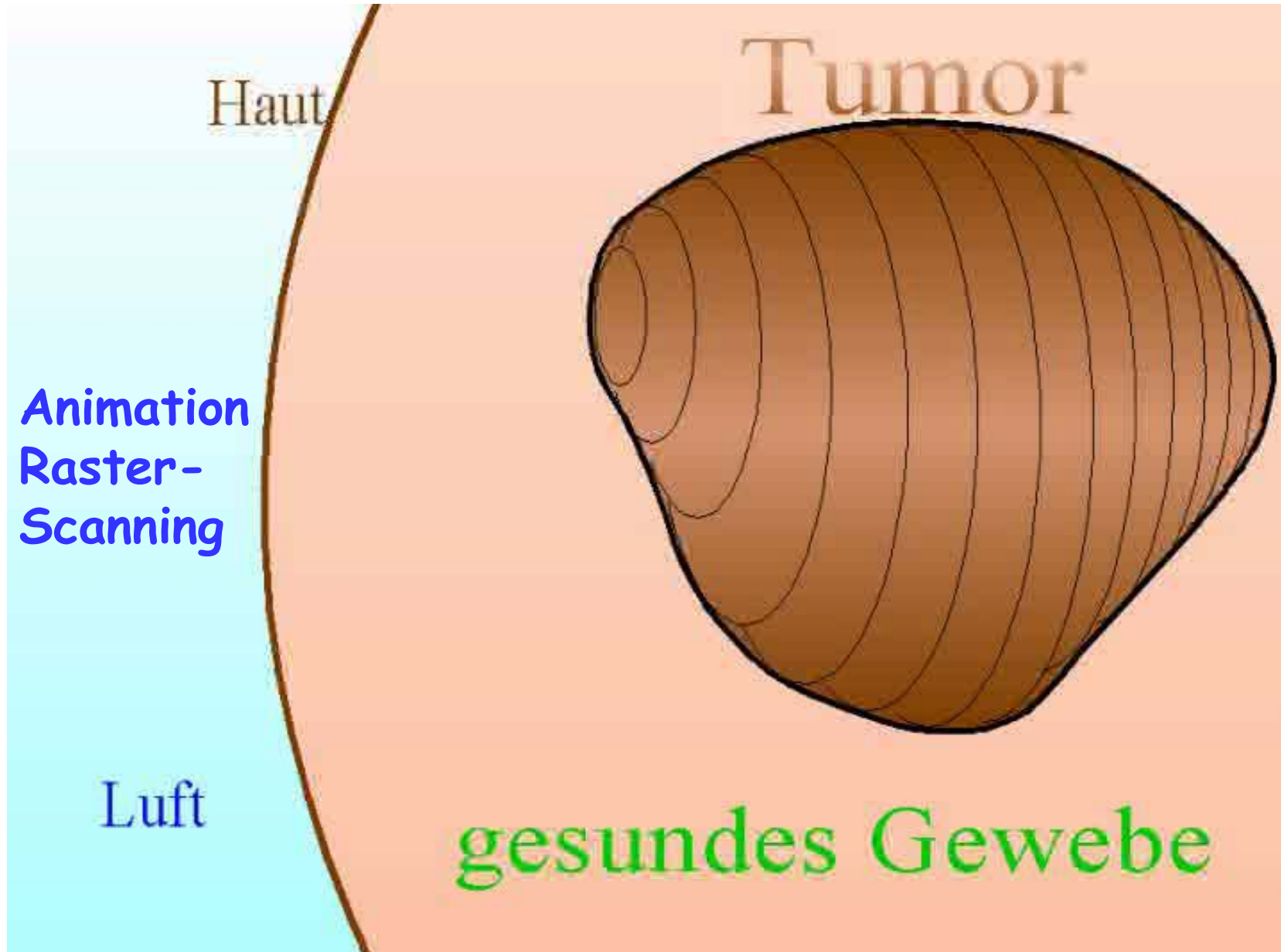
^{12}C ion beams



Der Bragg peak von C12 Ionen ist sehr scharf !

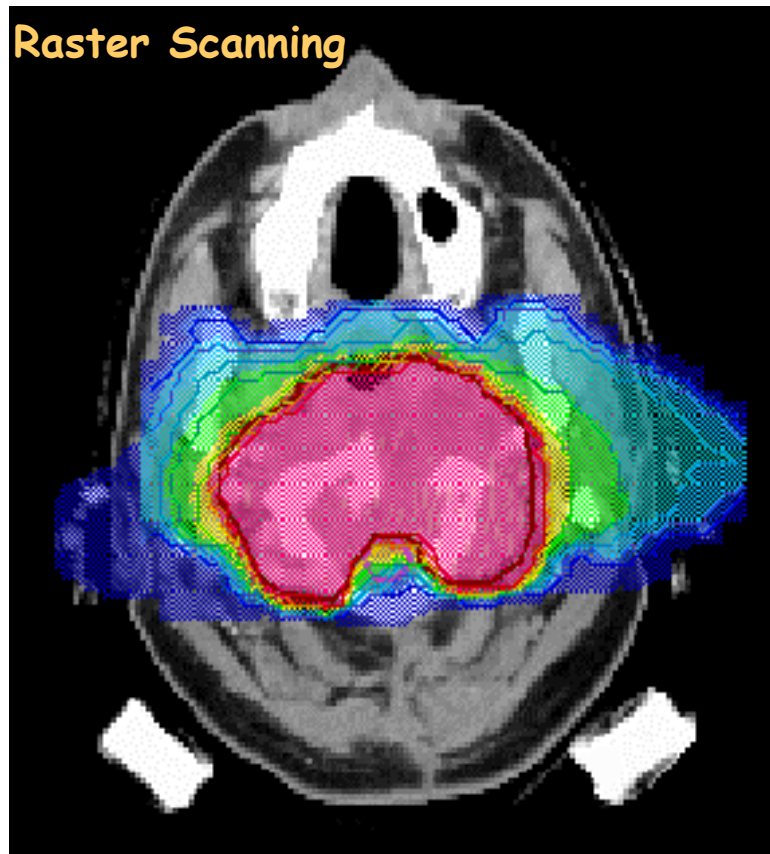
Prinzip des Raster-Verfahrens



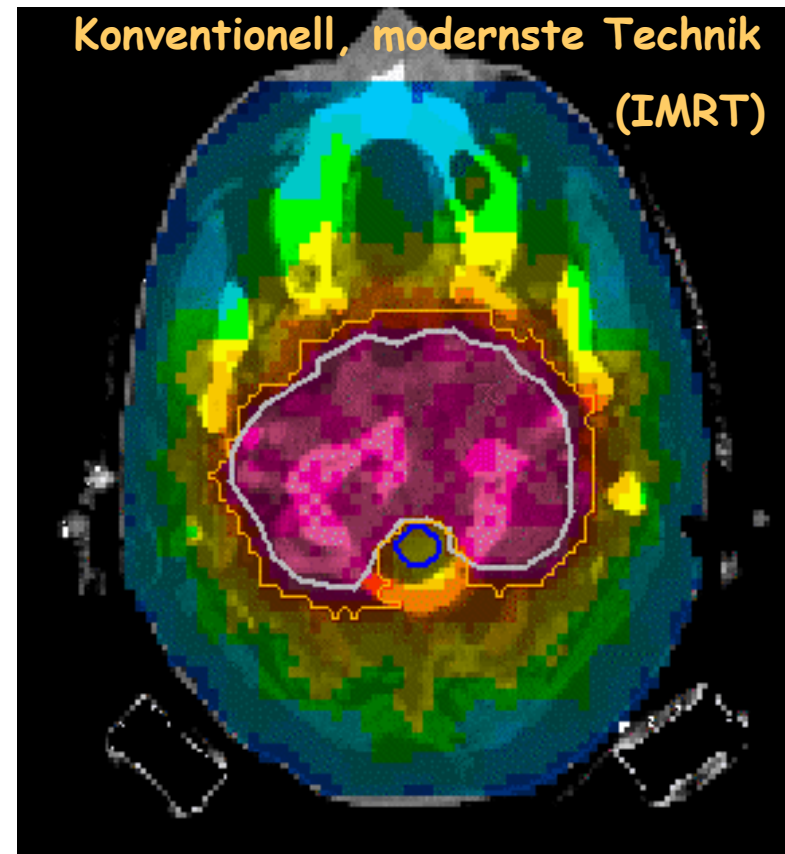


Vergleich Partikelstrahlen und Photonenstrahlen

Partikelstrahlen

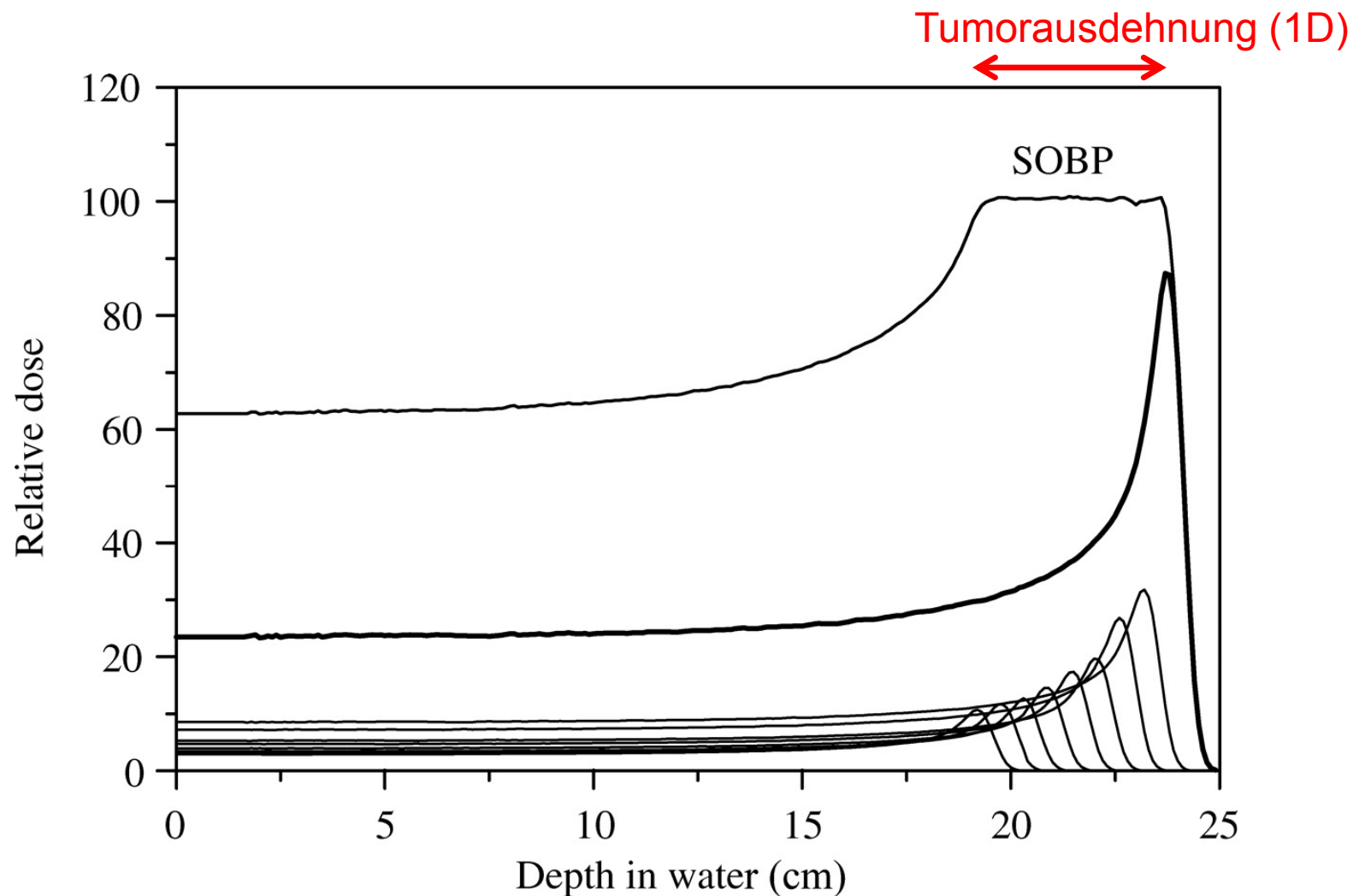


Photonen IMRT

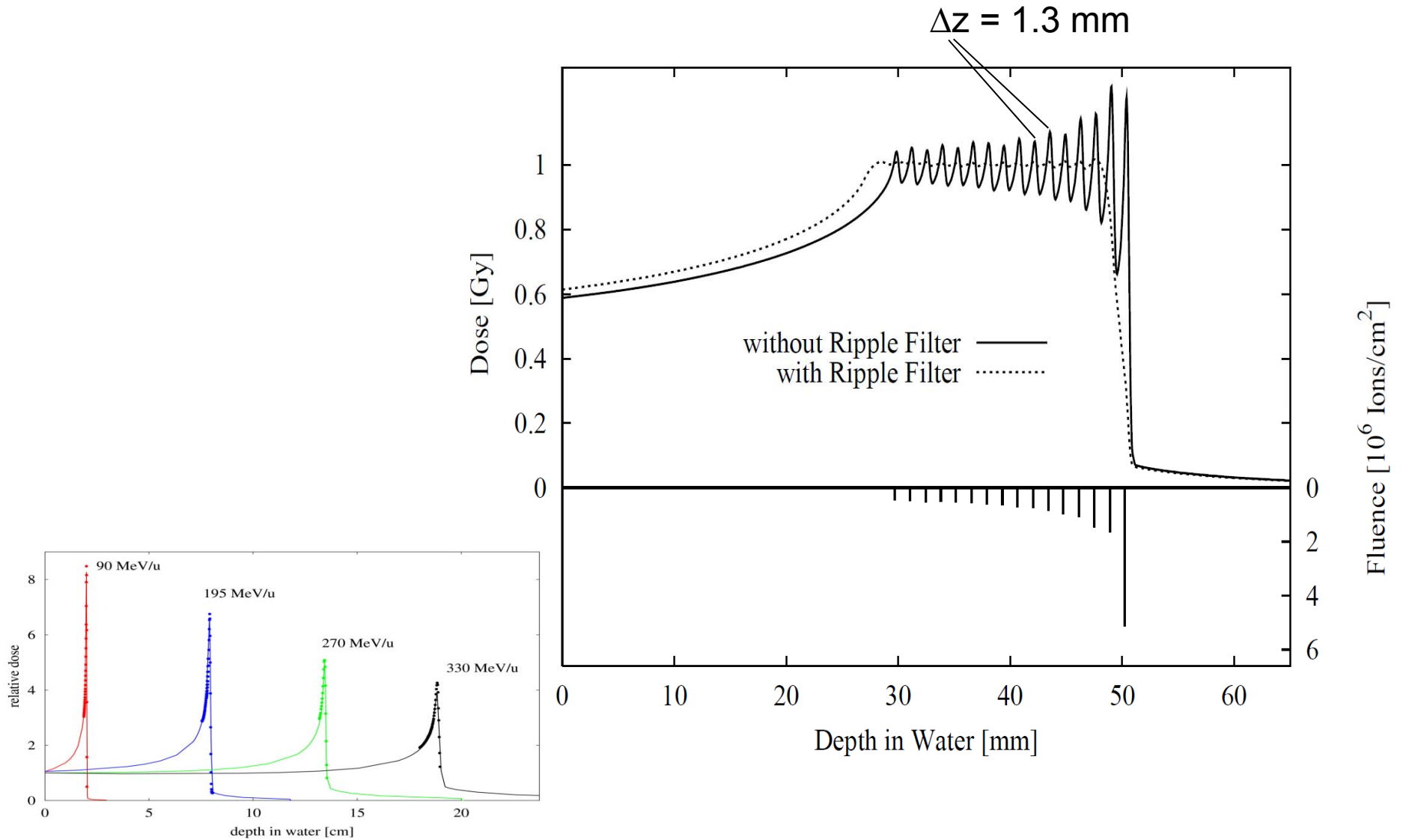


Dosisverteilungen von Bestrahlungsplänen eines Gehirntumors (Chordom) ;
Quelle: GSI Darmstadt

Überlagerung (Superposition) der Bragg-Kurven zu einem Tiefendosisprofil mit Plateau

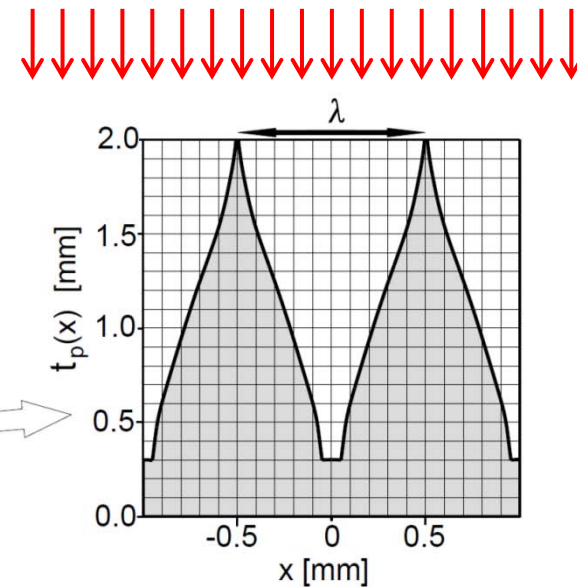
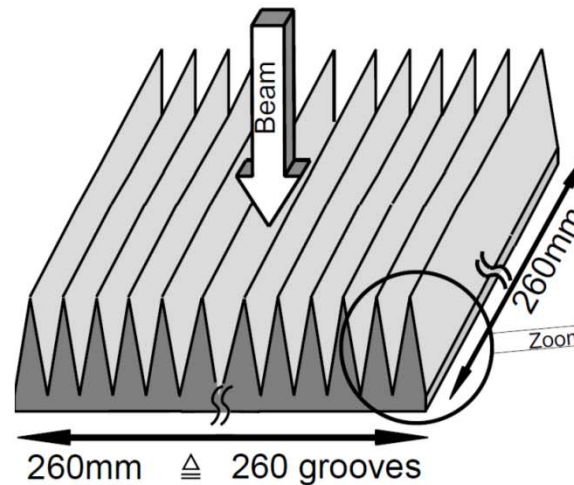


Problem: zu hoher Dosis-Ripple beider der Superposition von Bragg-Kurven



Der Standard Ripple-Filter (1D) ist eine dünne Platte mit Rillen

- Besteht aus Plexiglas (PMMA)
- Rillen haben eine Periode von 1.0 - 1.6 mm
- Dicke von 2 - 6 mm



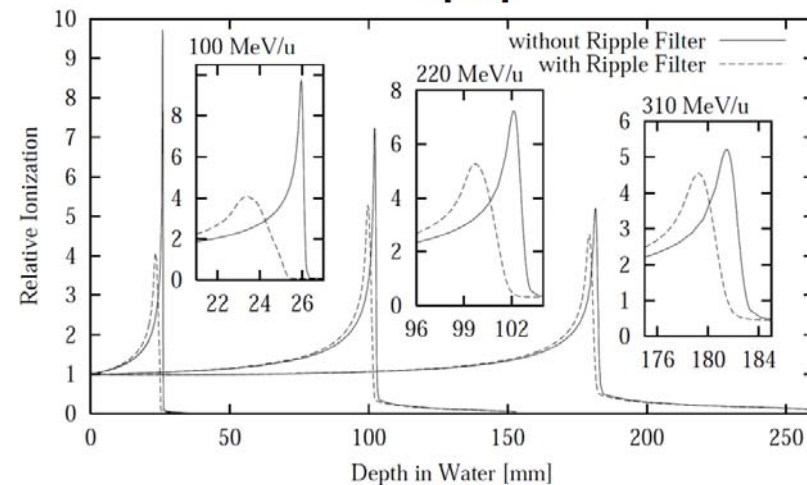
Standard Publikation zum Ripple Filter von 1999

Phys. Med. Biol. 44 (1999) 2765–2775. Printed in the UK

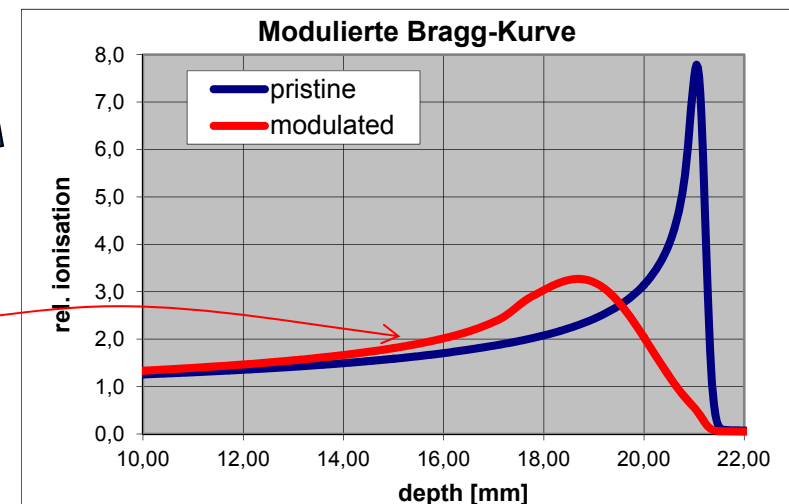
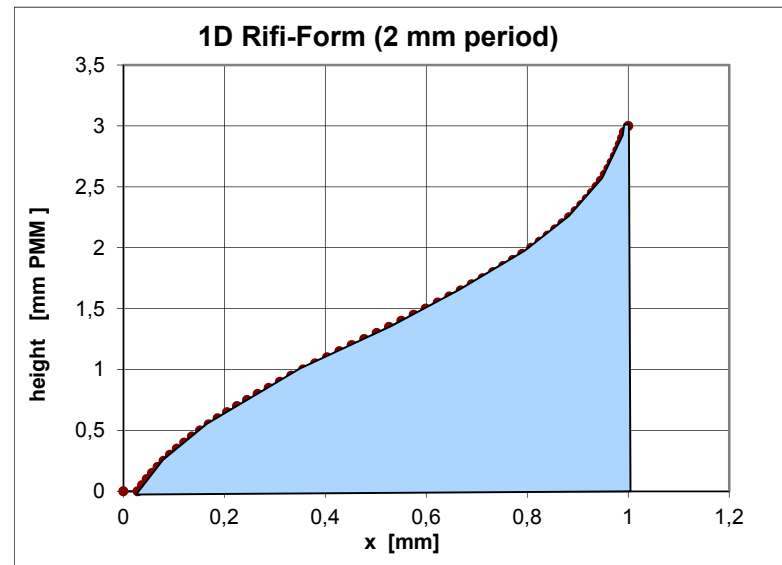
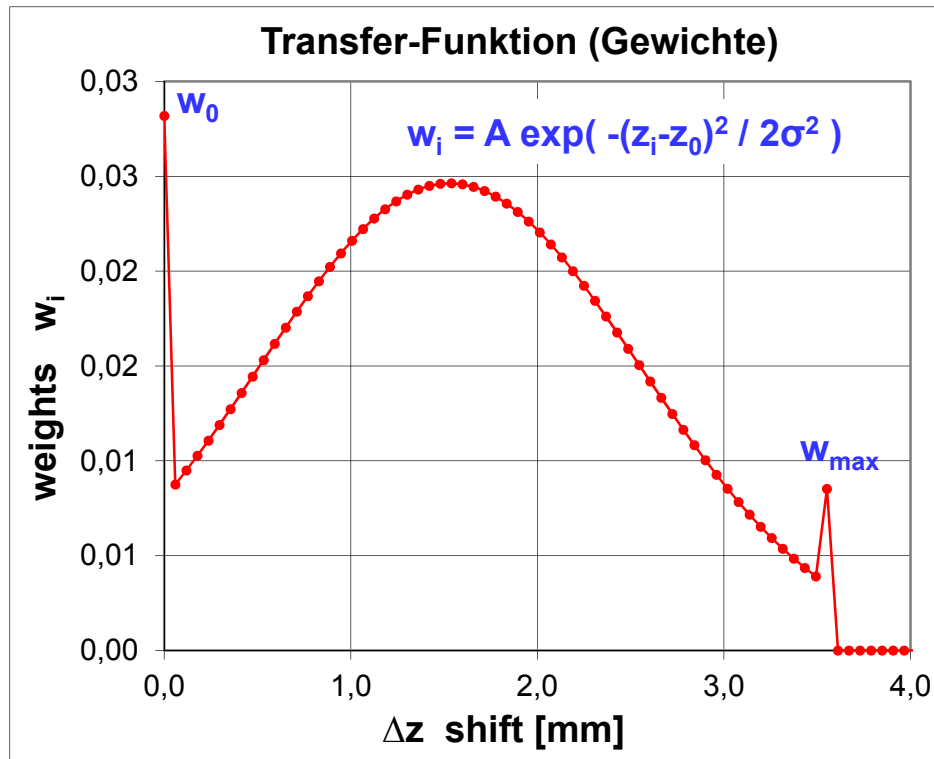
PII: S0031-9155(99)03529-0

Design and construction of a ripple filter for a smoothed depth dose distribution in conformal particle therapy

Uli Weber and Gerhard Kraft
Gesellschaft für Schwerionenforschung, Biophysik, Planckstrasse 1, 64291 Darmstadt, Germany

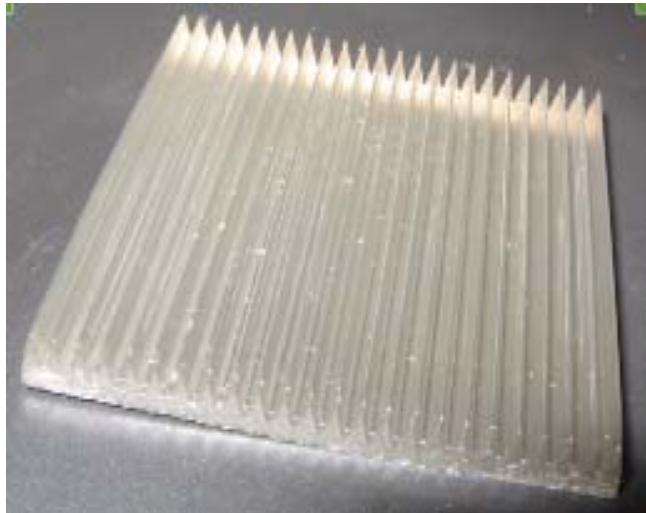


Wie wird die Form des Ripple-Filters definiert



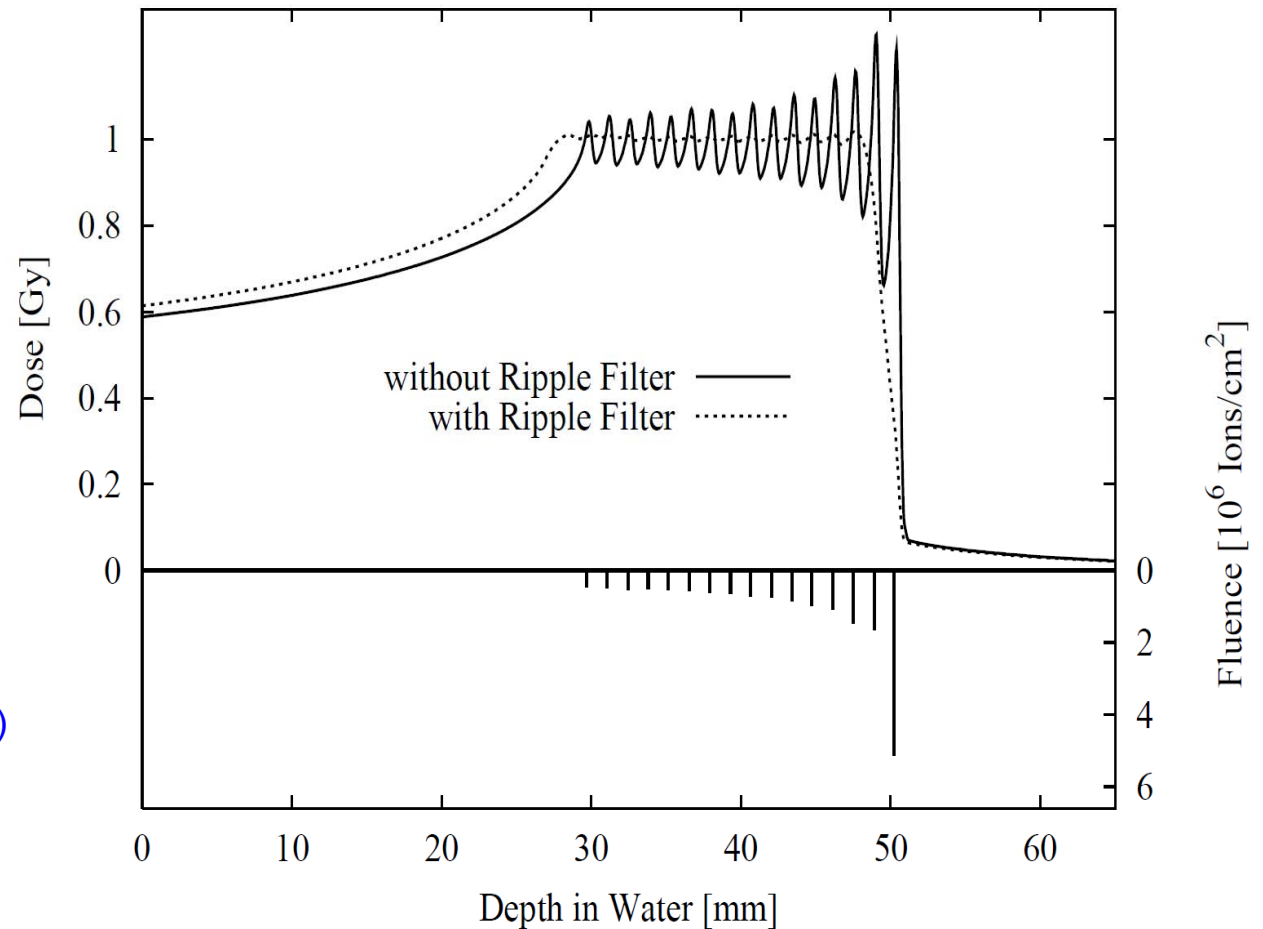
Die Parameter σ , z_0 , A , w_0 , w_{max} werden angepasst für einen glatten und möglichst Gauß-förmigen modulierten Bragg peak

Effekt des Ripple-Filters (RiFi)

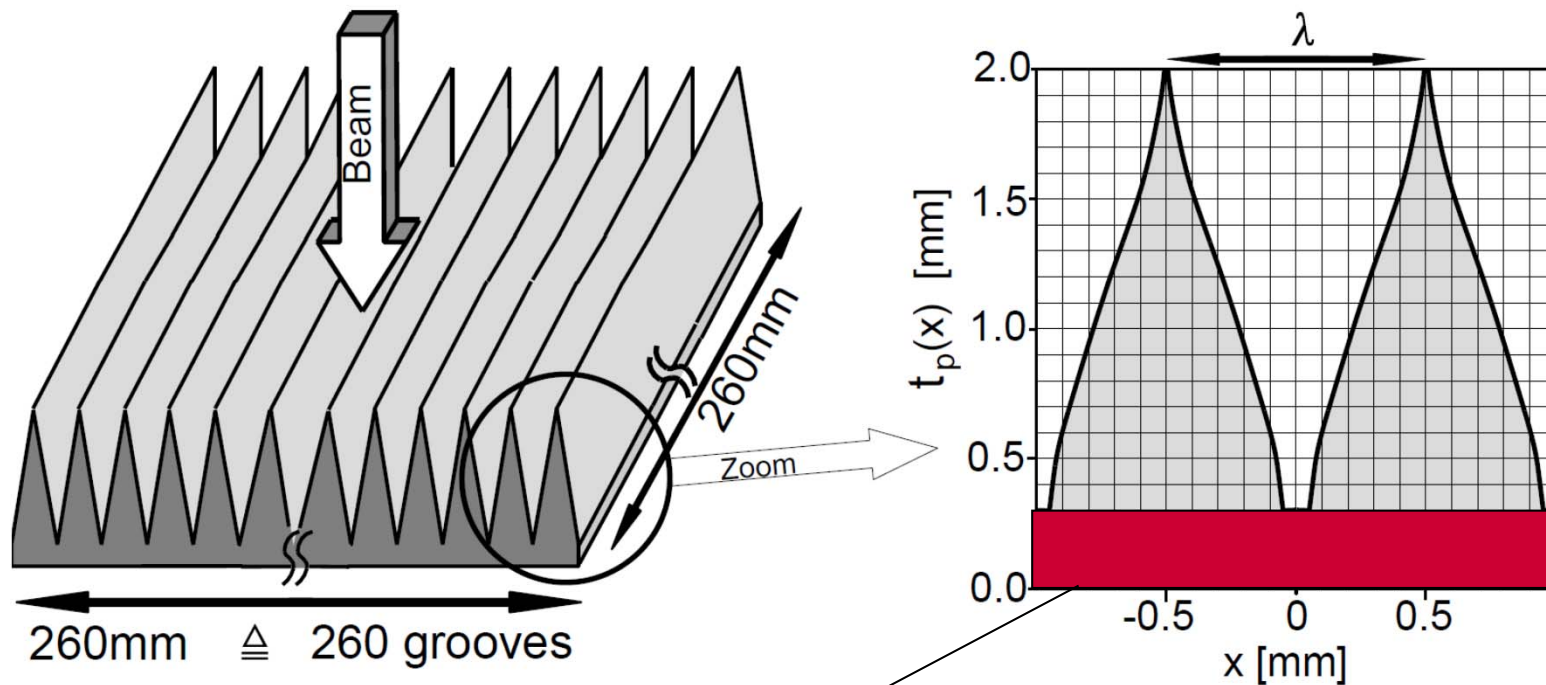


sample (50x50 mm) of a
 Ripple Filter 3mm (with linear grooves)
 as used at GSI, HIT, Marburg,
 Shanghai, ...

... is the standard !



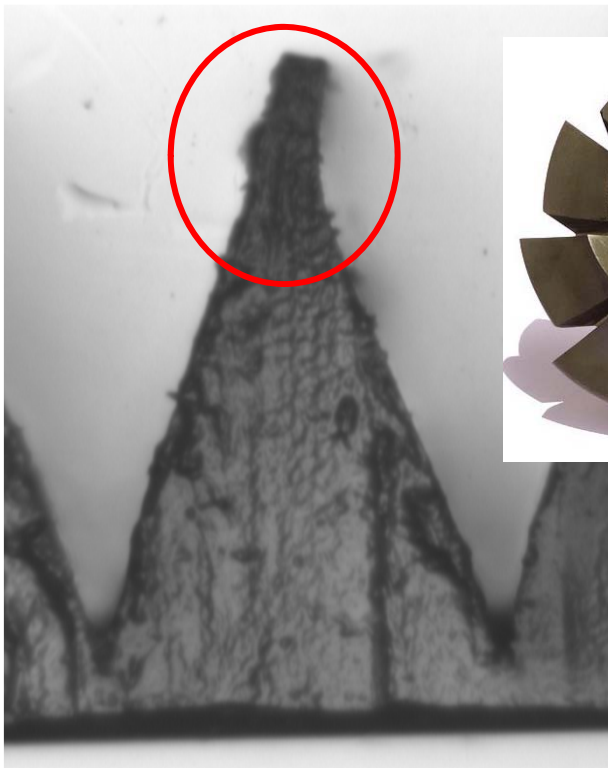
Der Standard Ripple-Filter kann aber verbessert werden ...



Der 'base layer' hat keinen Modulations-Effekt ...
 ... und stellt nur nutzloses Material im Strahl dar,
 dass den Strahl unnötigerweise seitlich aufstret.

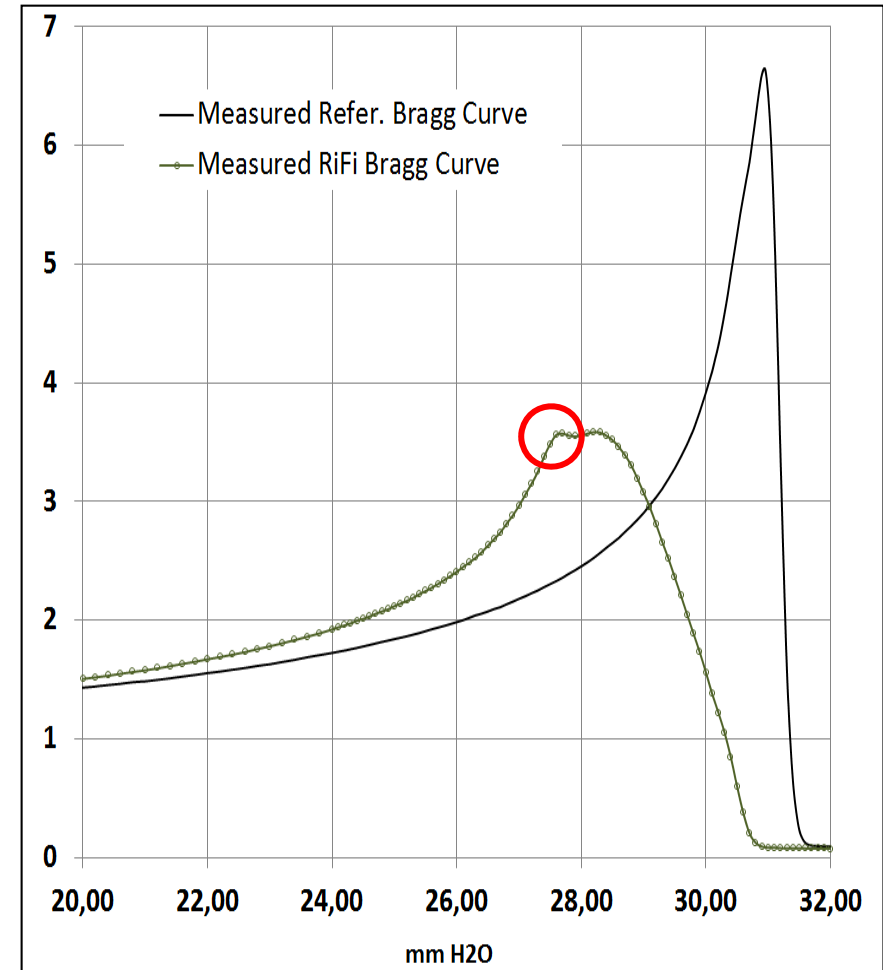
Herstellungsprozess mittels Scheiben-Fräser ist schwierig

- Spitzen sind oft verbogen oder brechen ab
- Der Fräser wird unscharf während des Fräsens von einem Filter → inhomogene Fertigung
- Rillen höher als 4 mm waren bei der vorgegebenen Präzision nicht realisierbar (bei einer Periode von 1,6 mm)



Oben: Scheibenfräser

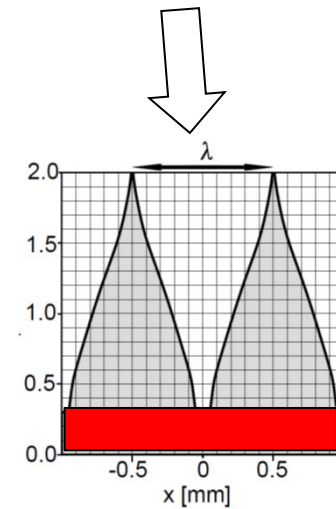
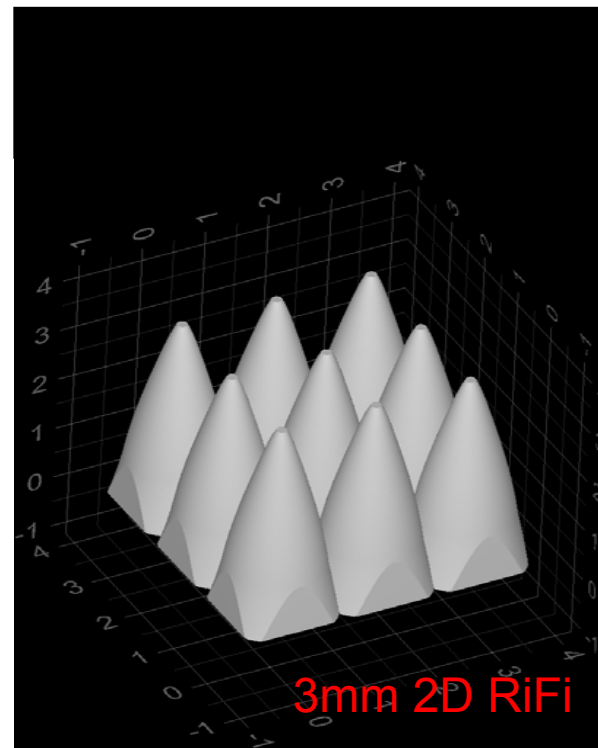
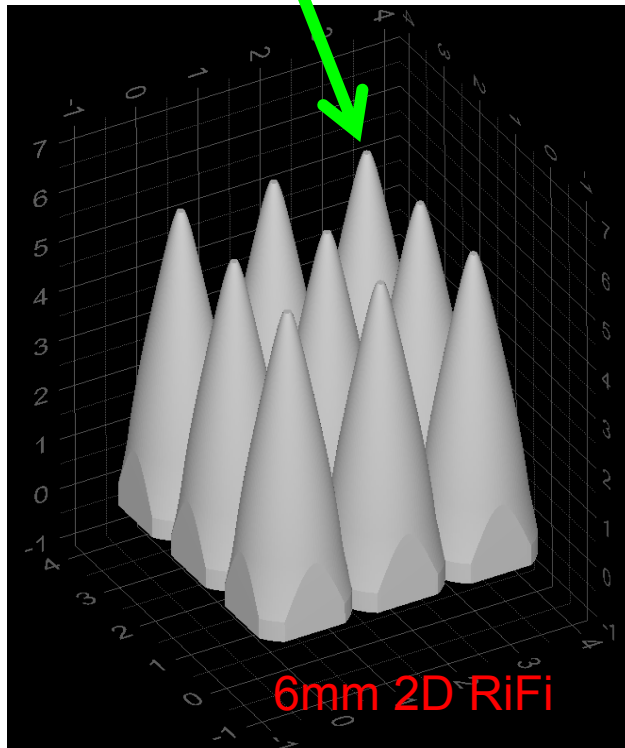
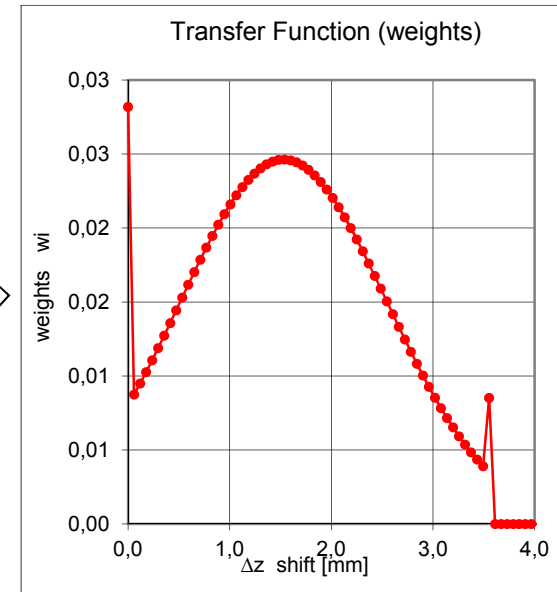
Links: Mikroskop-
aufnahme von einem
Fertigungs-Test
(GSI Darmstadt)



3mm RiFi (eingesetzt bei HIT),
Siemens-Produkt (über Fa. IMS Mainz),
rote Markierung: unerwünschte Ausbuchtung des
Bragg-peaks aufgrund einer zu breiten Spitze

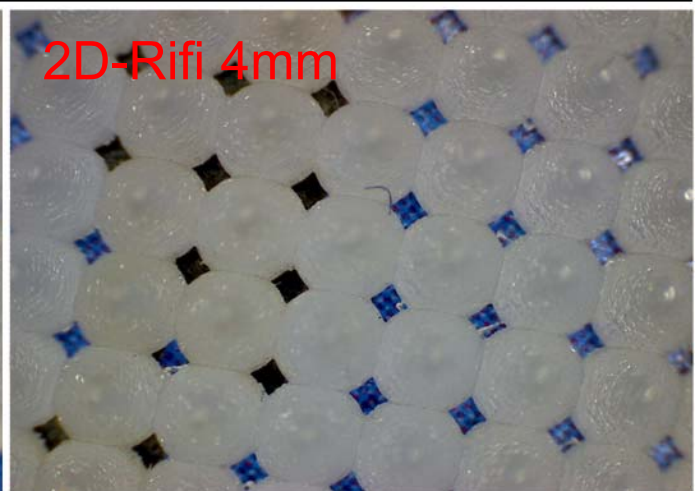
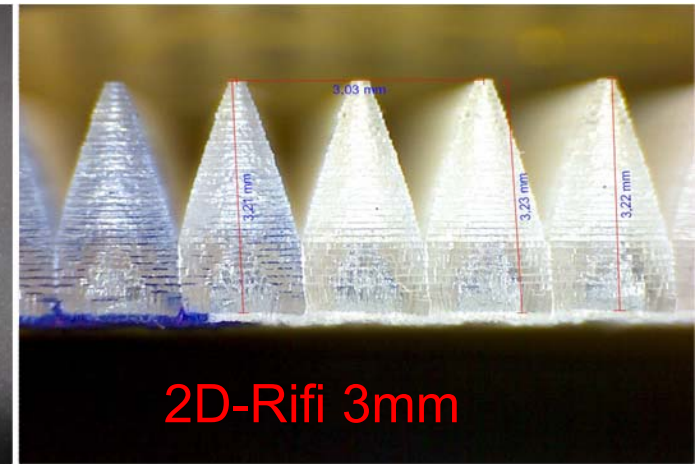
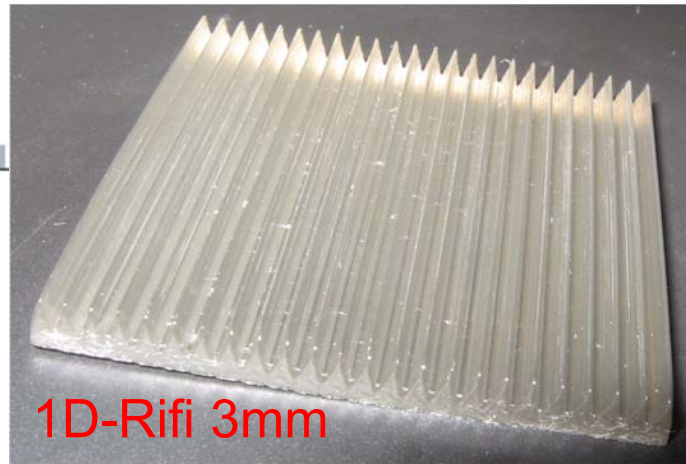
Redesign durch 3D-Printing:

- Dieselbe Modulations-Funktion kann auf ein 2D-Design mit Pins statt Rillen übertragen werden
- Höhere Pins (Stärkere Modulation) sind möglich

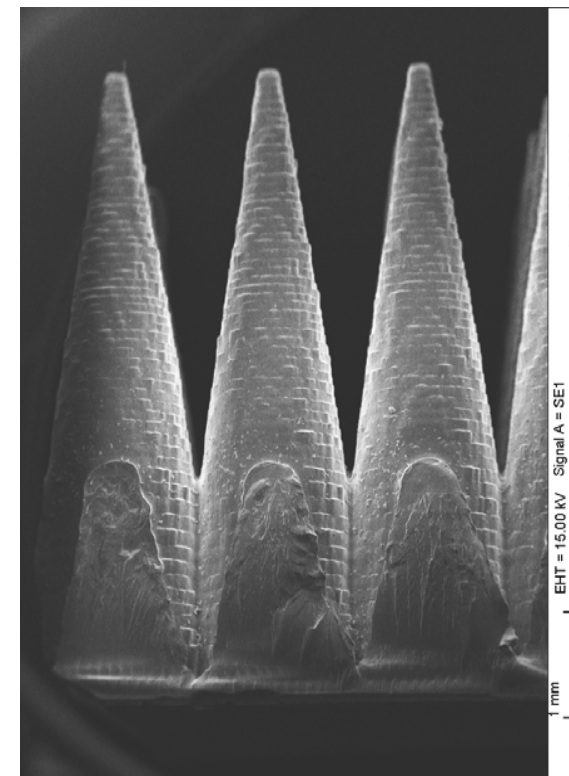
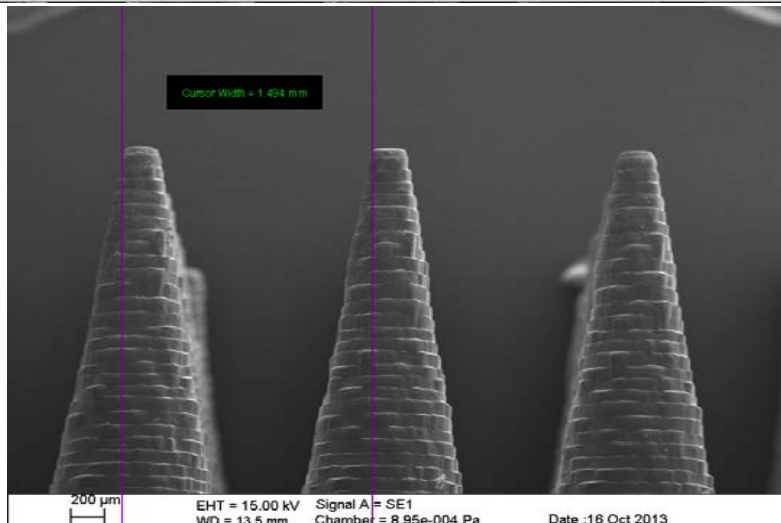
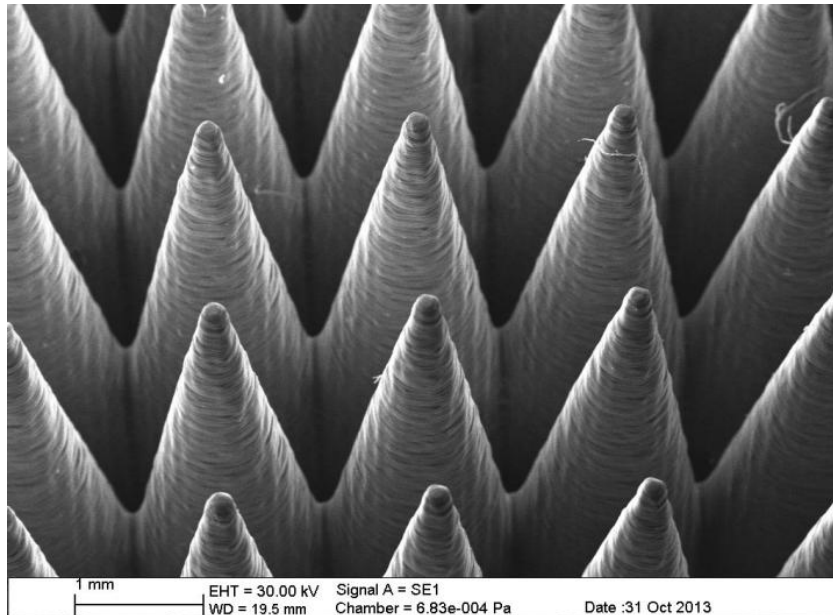


Bilder von Ripple-Filtern

Teststücke (kleiner als die
großflächigen Objekte für
den klinischen Einsatz)



Bilder vom Elektronen-Mikroskop



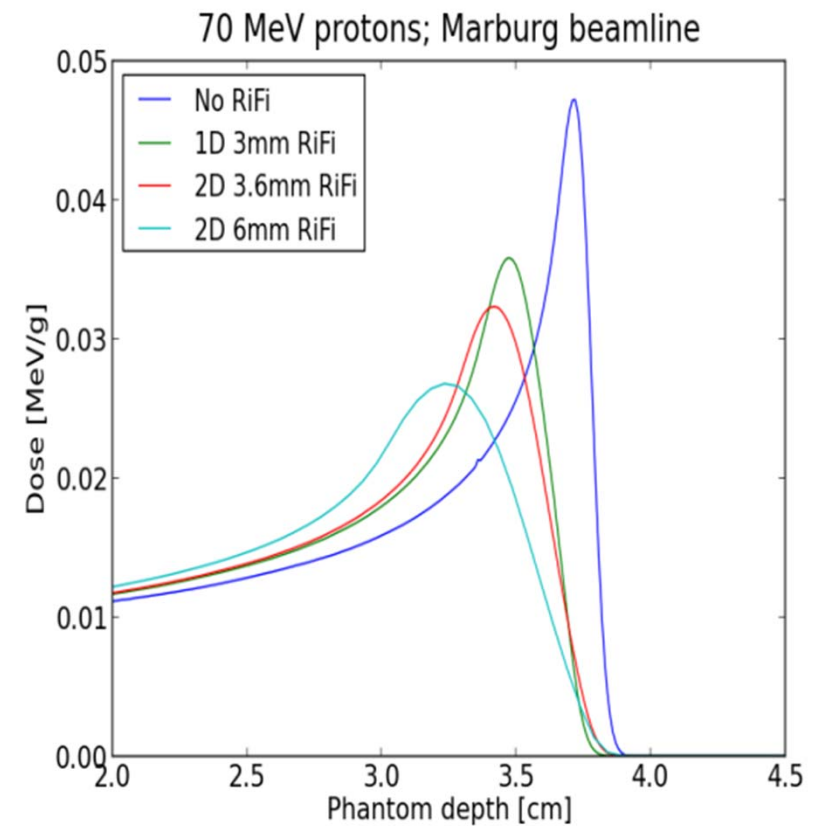
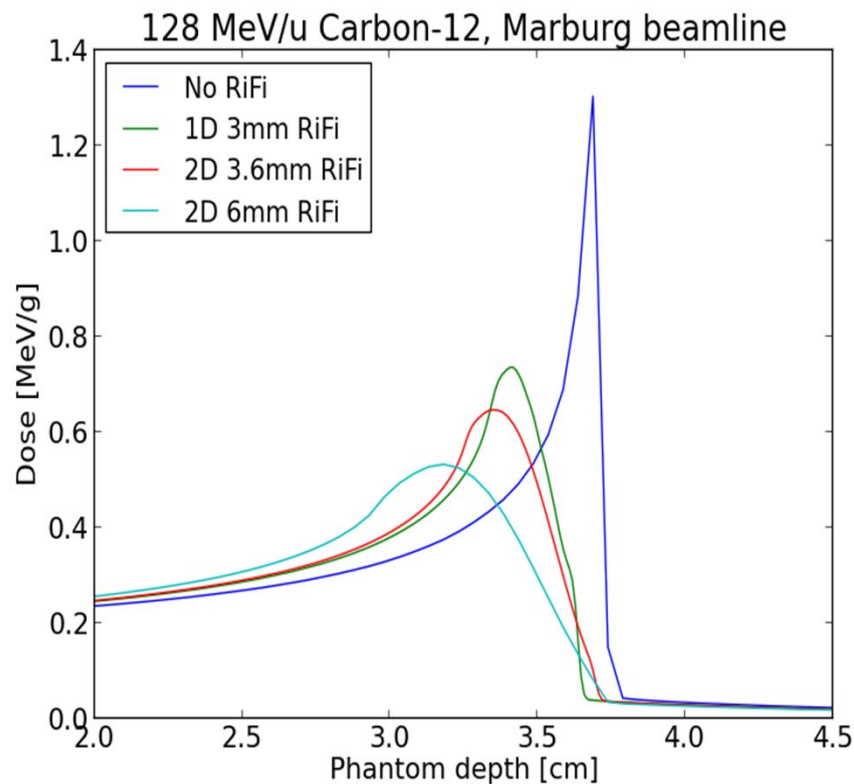
2D 6 mm RiFi

(REM Bilder von der *Technische Hochschule Mittelhessen* zur Verfügung gestellt)

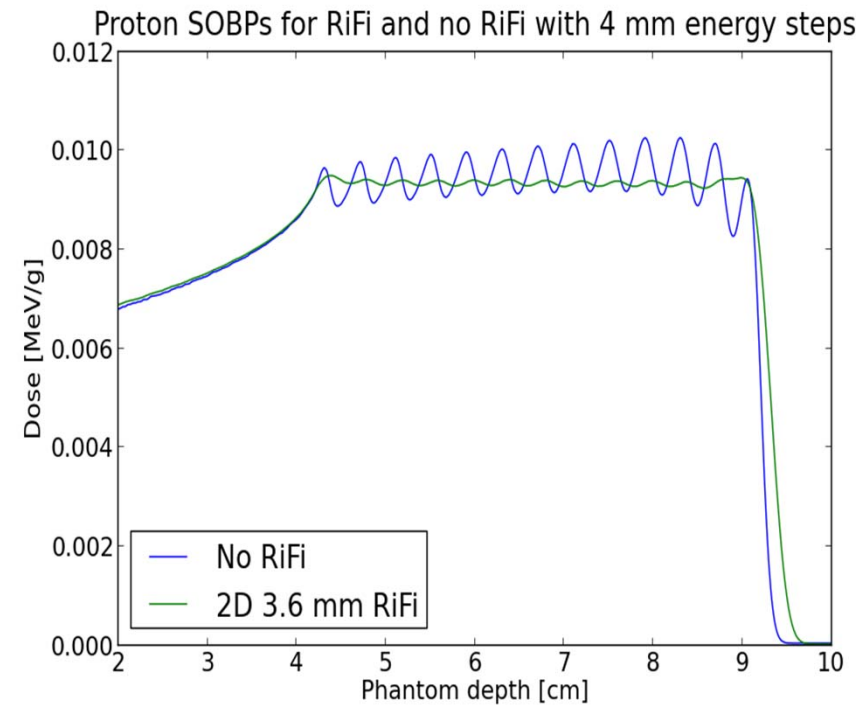
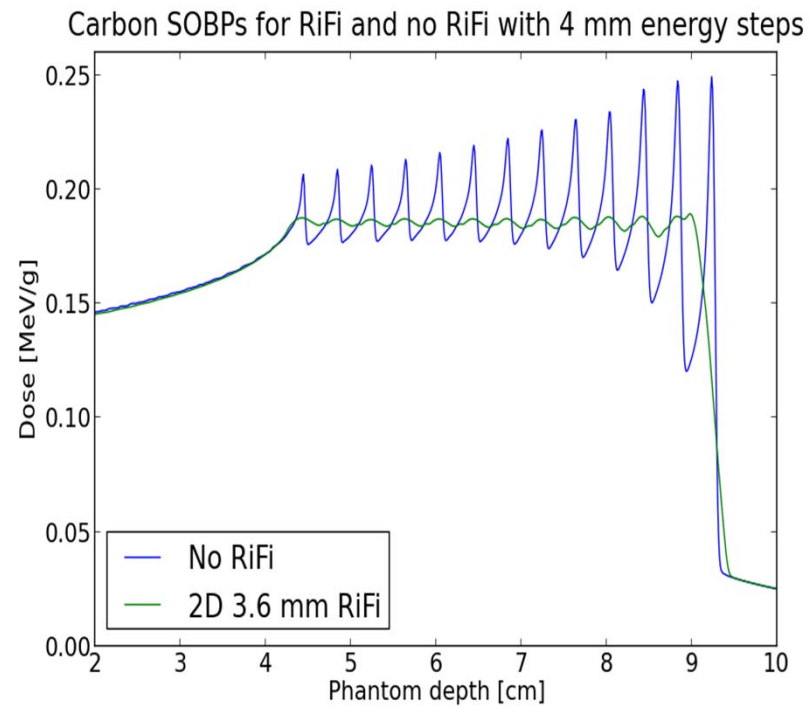
Mit dem Ripple Filter modulierte Bragg Kurven

Untersucht:

- 1D RiFi mit Dicke 3 mm
- 2D RiFis mit Dicke 3, 3.6, 4 and 6 mm



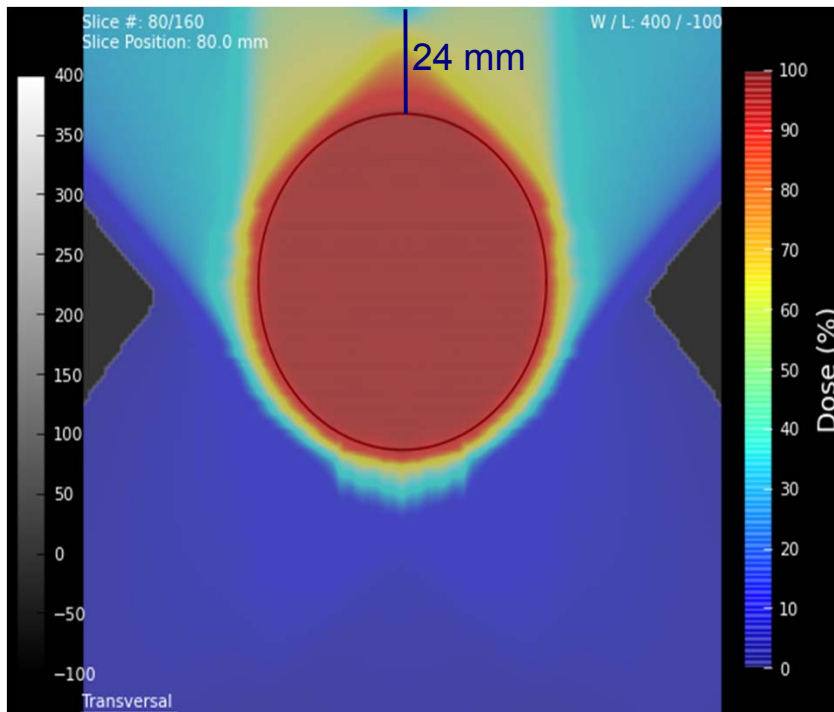
Glättungseffekt des Ripple Filters für den ‚Spread out Bragg peak‘ (SOBP)



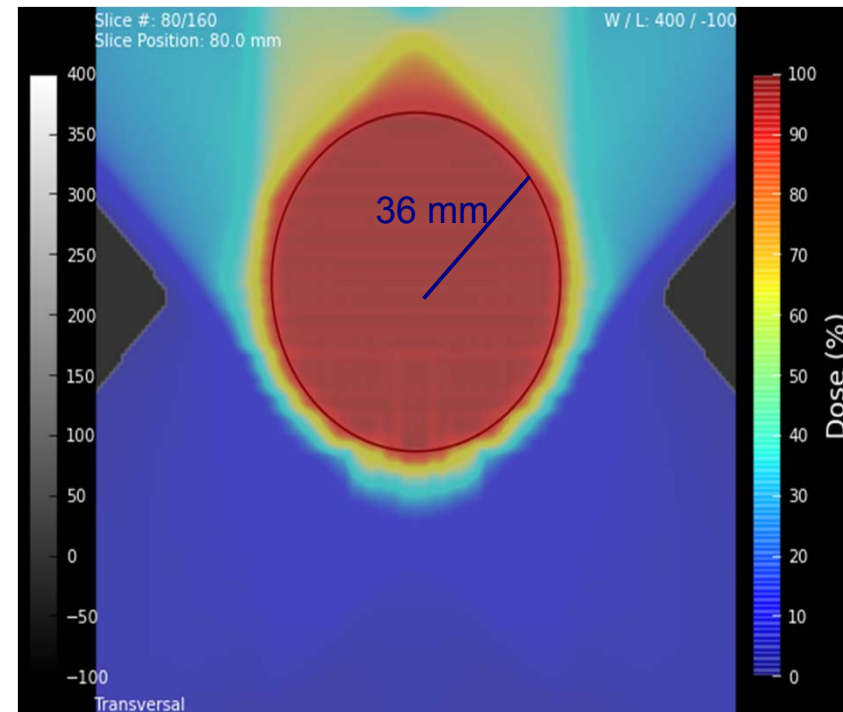
Berechnungen mit Software TRIP98 (GSI Helmholtzgesellschaft)

Bestrahlungsplan; RiFi 1D 3 mm versus 2D 6 mm Vergleich einer einfachen Planung mit 3 Feldern

1D 3 mm RiFi



2D 6 mm RiFi



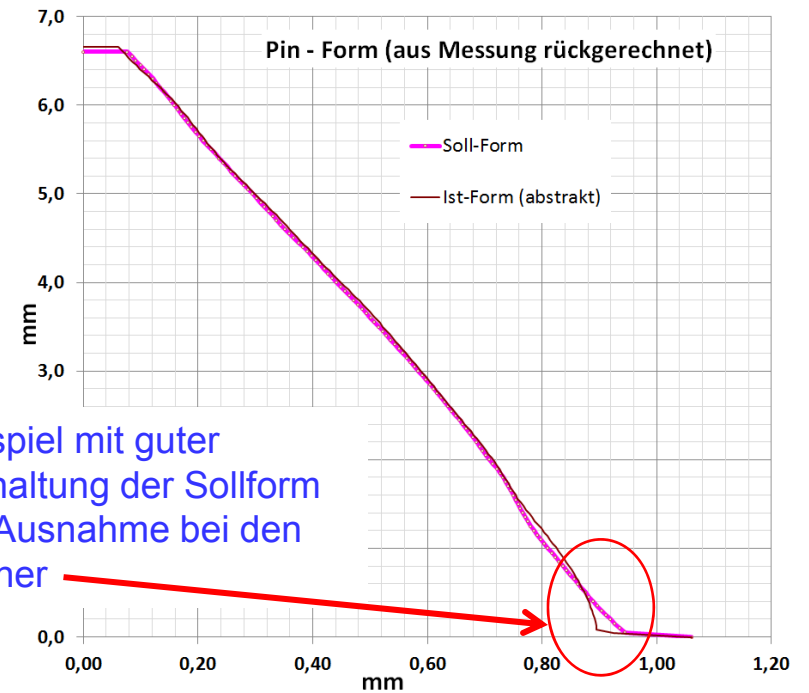
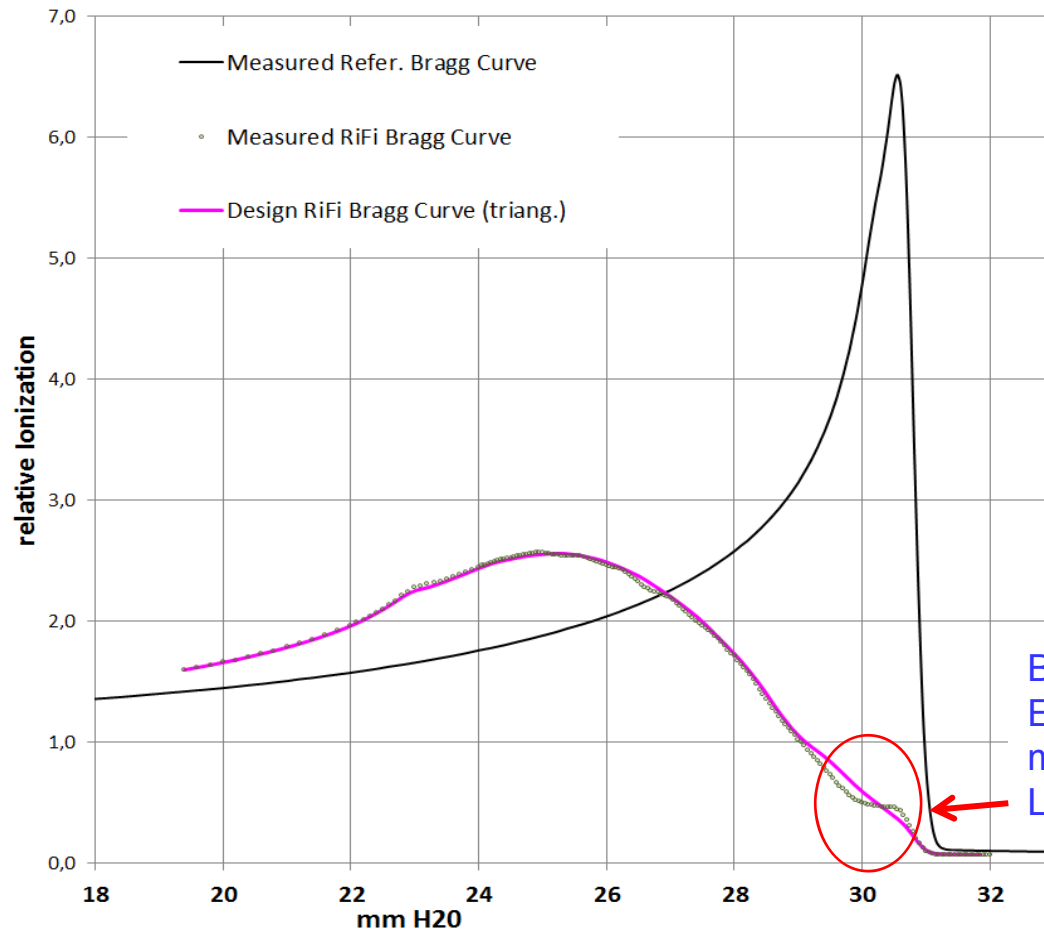
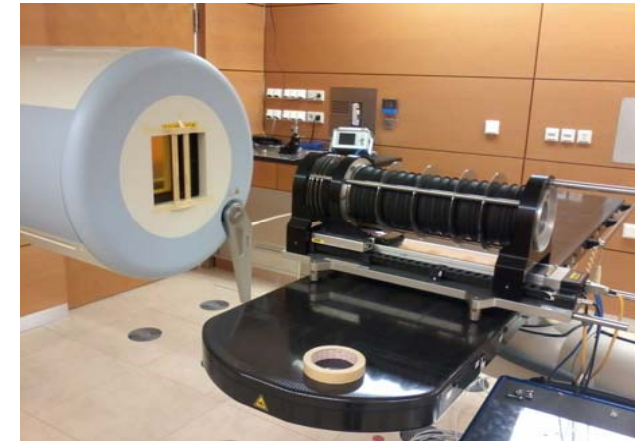
=> Bestrahlungen mit 3 mm und 6 mm RiFi zeigen qualitativ keinen relevanten Unterschied, jedoch läuft die Bestrahlung mit 6 mm RiFi etwa doppelt so schnell.

Herausforderungen bei der Herstellung der 2D RiFis

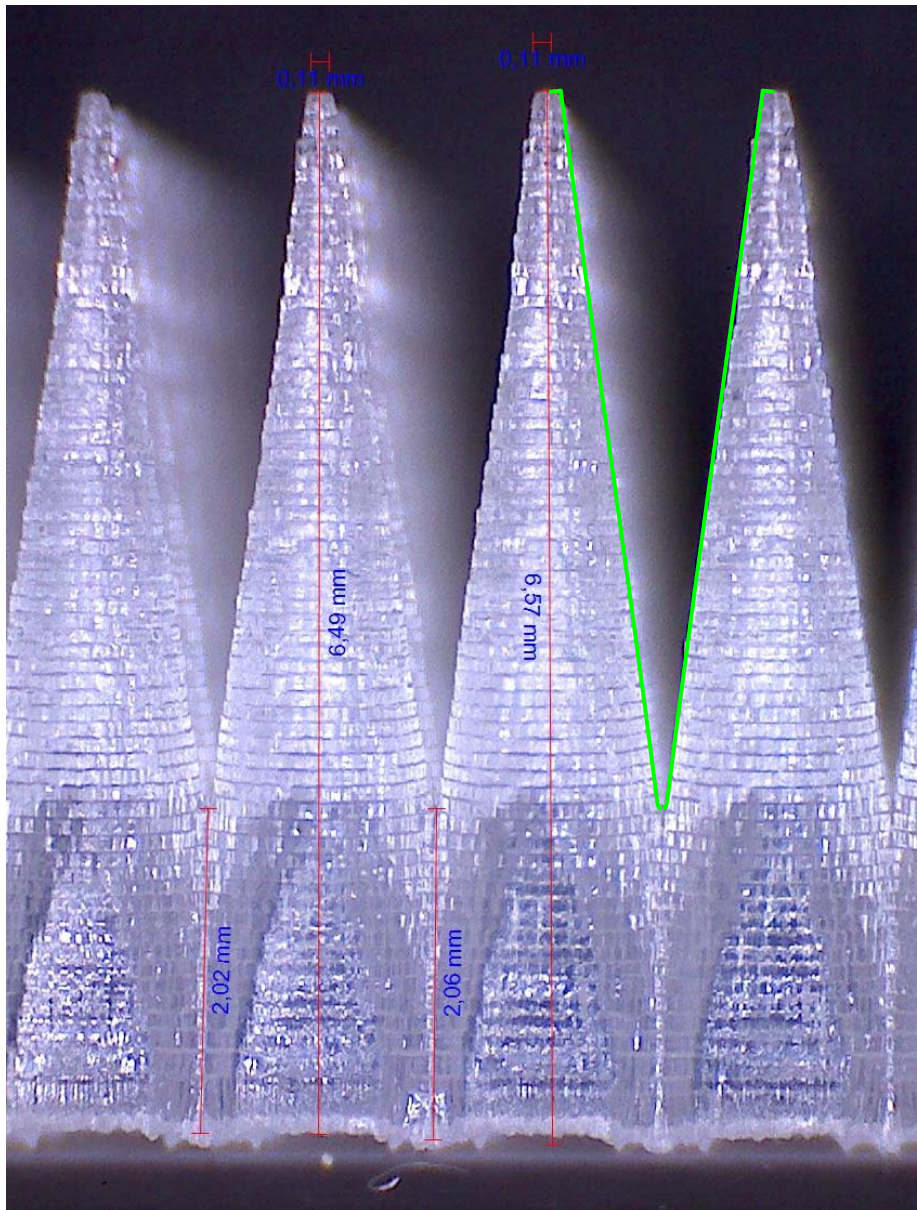
- Maßeinhaltung der einzelnen Pins, Genauigkeits-Anforderung ca. 50 μ m, kritisch sind die Bereiche
 - Löcher
 - Spitzen
 - Kerben
- Einhaltung der Bauhöhe und Gleichmäßigkeit der Pin-Form über die gesamte Fläche.
- Handhabung von sehr große Datenmengen der CAD-Daten (typisch 50.000 Pins mit etwa 1000 Dreiecksfacetten pro Pin)
- Herausforderungen für die Qualitätssicherung der Herstellung

Messung der Modulation mit Ionen-Strahl

Sehr sensitive Messung zur Erfassung von Abweichungen von der Sollform



Beispiel mit guter Einhaltung der Sollform mit Ausnahme bei den Löchern



Mikroskop-Aufnahme
von der Seite,

RiFi 6mm
(3D-Systems, 03/2015)

Kontoureinhaltung: ✓

Bauhöhe:

Soll-Wert: 6,6 mm Ist-Wert: 6.62 (± 0.05) ✓

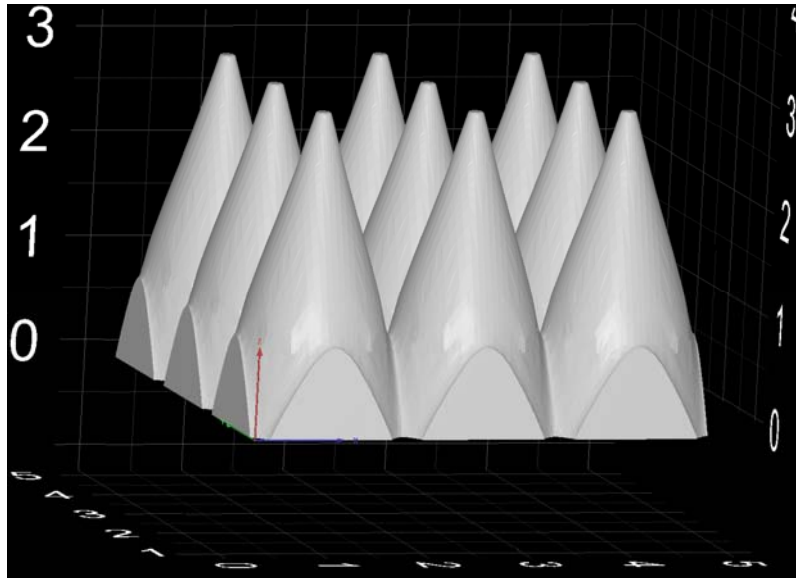
Höhe (z-Koo.) der Kerbe:

Soll-Wert: 2,00 mm Ist-Wert: 2.05 (± 0.05) ✓

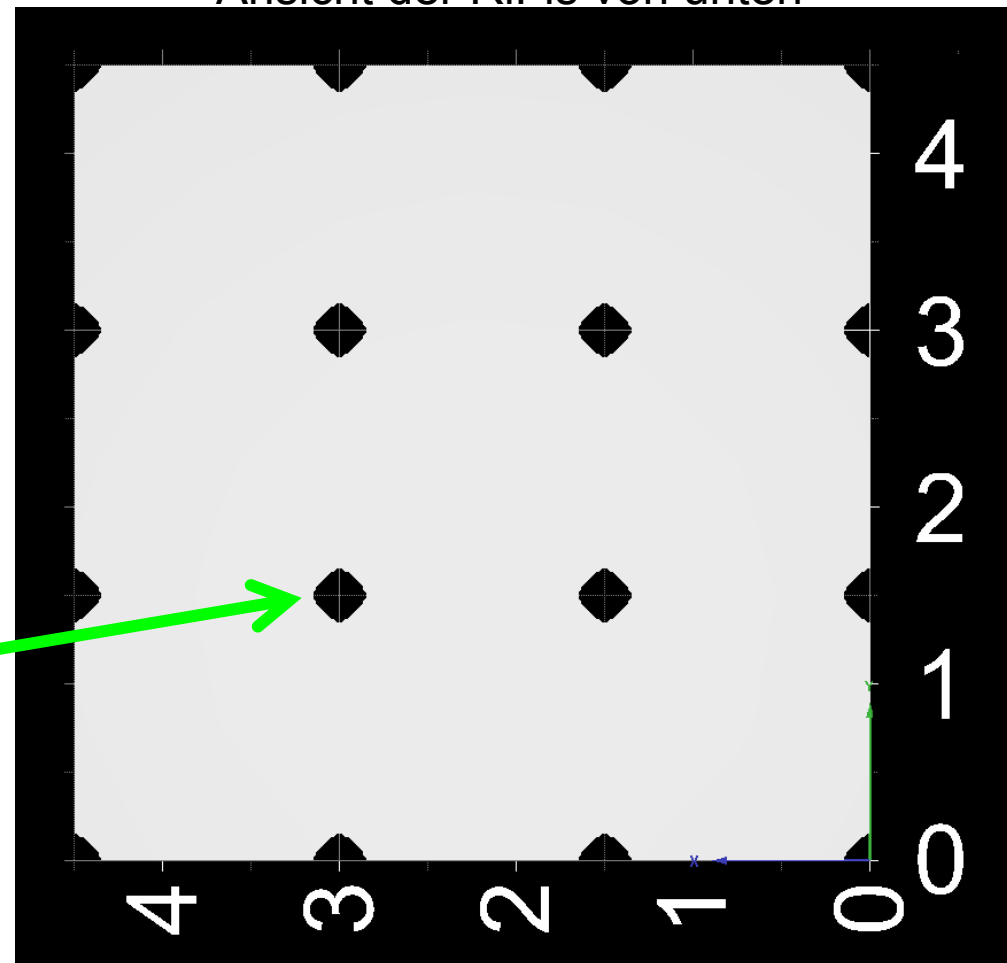
Spitzenbreite:

Soll-Wert: 150 µm Ist-Wert: 130µm (± 0.20) ✓

Herausforderung bei den feinen Löcher

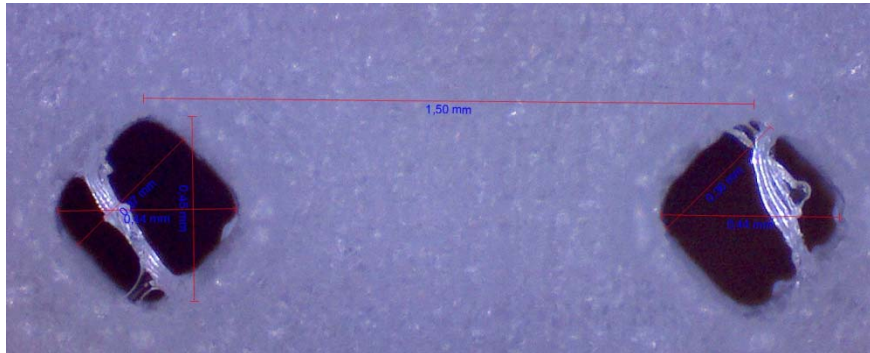


Ansicht der RiFis von unten

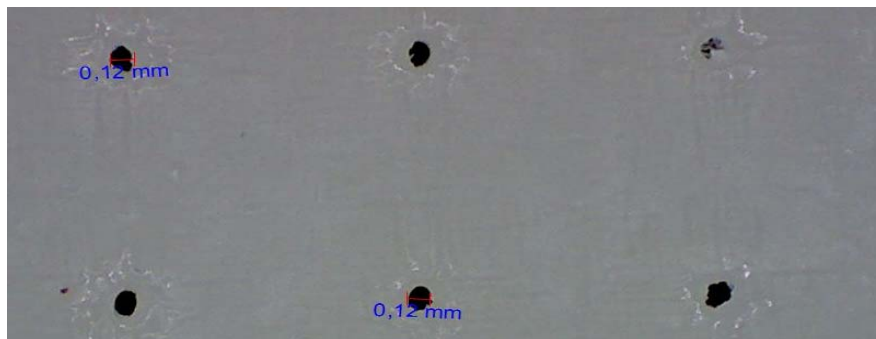


$\varnothing = 250\mu\text{m}$

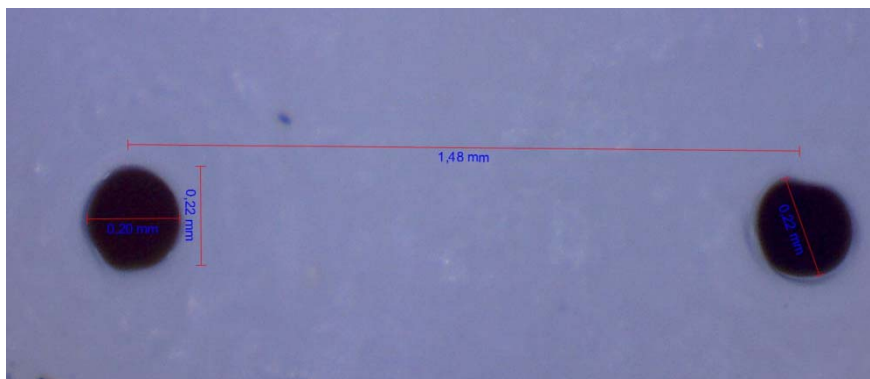
Realisierung der Löcher



Mikroskop-Aufnahme von unten,
Druckversuch RiFi 6mm (3D-Systems, 03/2015)
Sollgröße $\varnothing=250\mu\text{m}$, **Ist $\varnothing=440\mu\text{m}$**



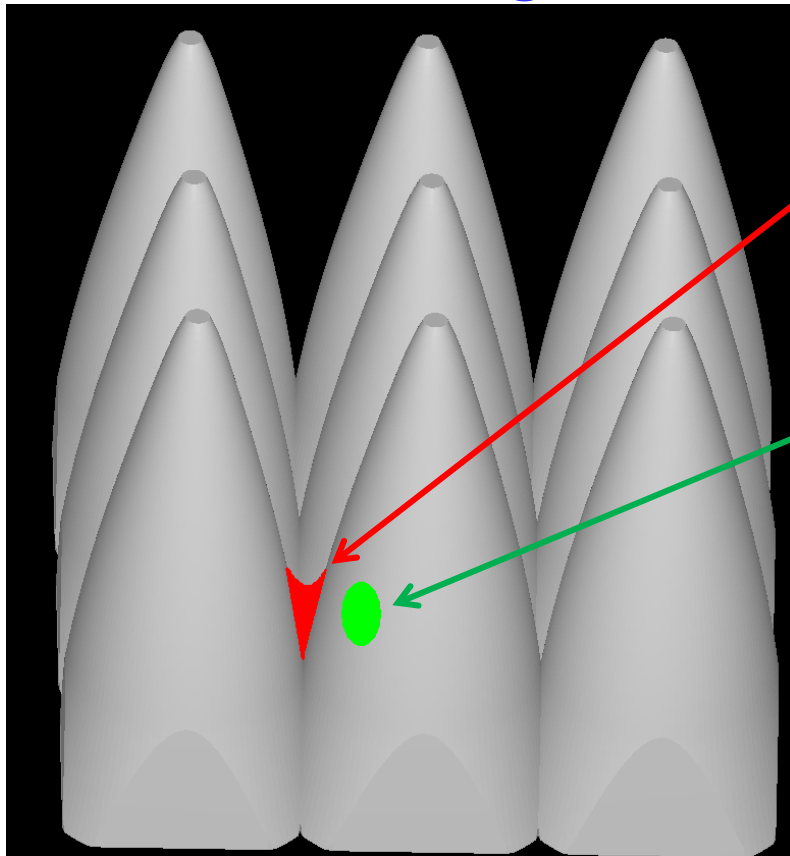
Mikroskop-Aufnahme von unten,
Druckversuch RiFi 6mm
(SLA -Anlage von Fa. **BURMS**, Druck von 12/2014)
Sollgröße $\varnothing=200\mu\text{m}$, **Ist $\varnothing=120\mu\text{m}$ oder
verstopft**



Mikroskop-Aufnahme von unten,
Rifi 6mm
(Herstellung mit SLA -Anlage von Fa. **BURMS** , 04/2015)

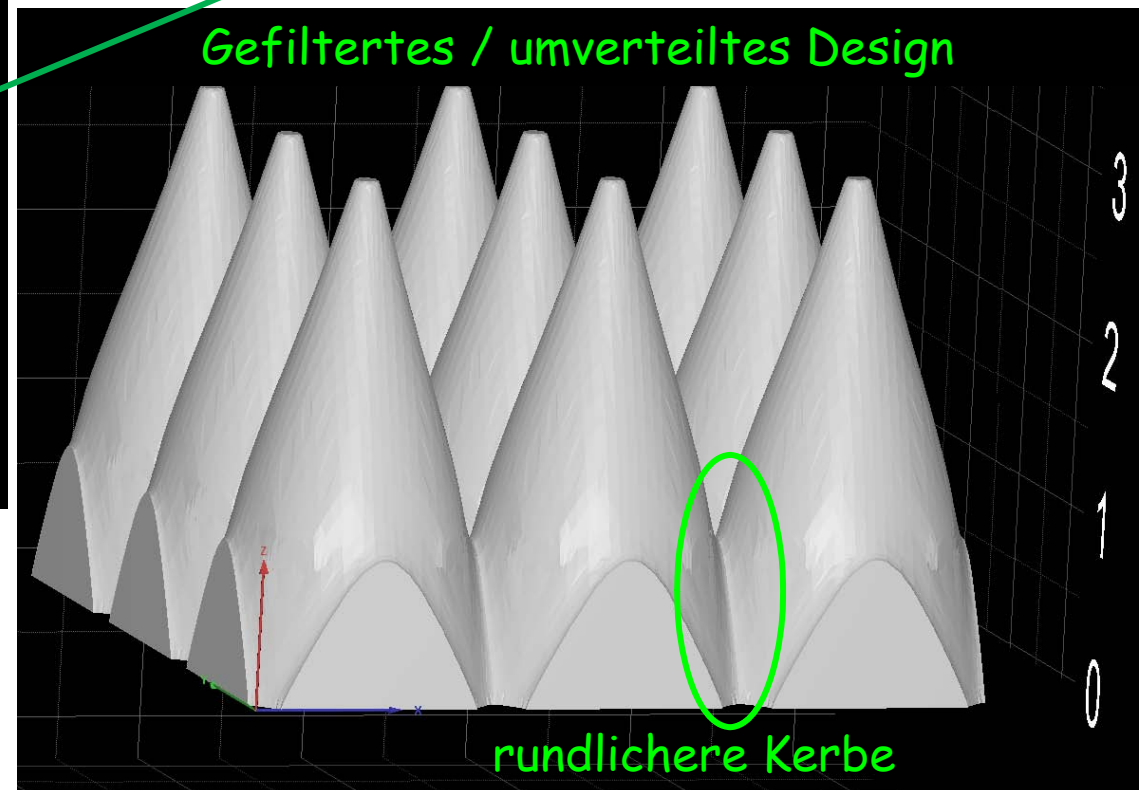
Sollgröße $\varnothing=250\mu\text{m}$, **Ist $\varnothing=230\mu\text{m}$** ✓

Herausforderung: Kerben



Radien $< 50\mu\text{m}$ sind
in SLA-Technik z.Z.
nicht möglich

- Ein gewisses Zulaufen der Kerben ist wohl unvermeidlich
- **Lösung** über Design:
Kompensation durch
Umverteilung der Volumina



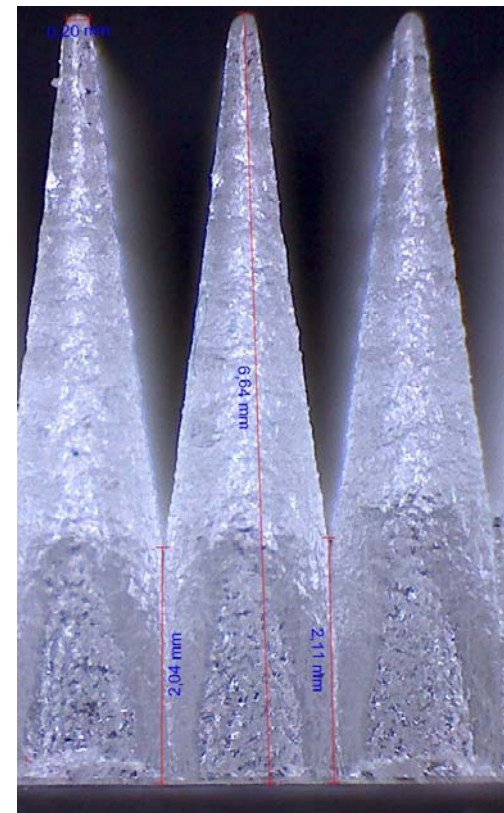
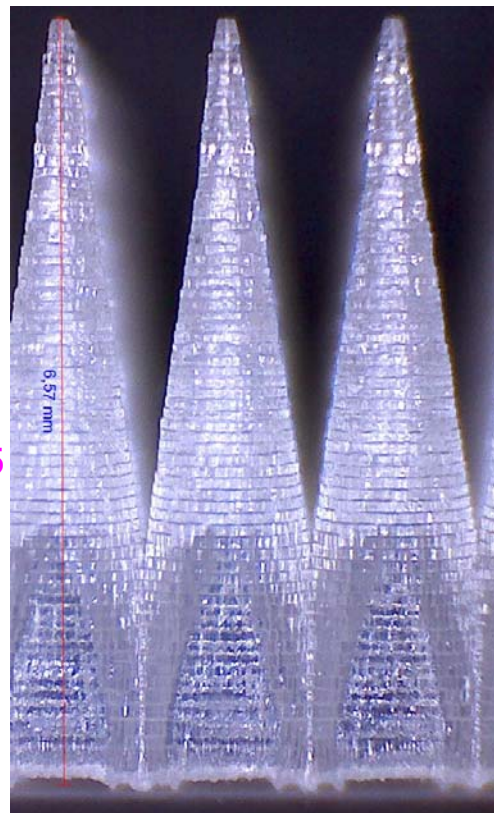
Herstellung von Ripple Filter durch Abgießen

- Herstellung des Urmodells in SLA-Technologie
- Abformen einer Silikonform
- Abgießen mit Kunstharz über Vakuum-Gießverfahren

=> Machbarkeit nachgewiesen für Ripple Filter mit einer Größe von 50 x 50 mm²

Urmodell
RiFi 6mm
hergestellt in SLA
Technik

Druck
3D-Schilling 03/2015



Abgegossener
RiFi 6 mm

3D-Schilling 03/2015

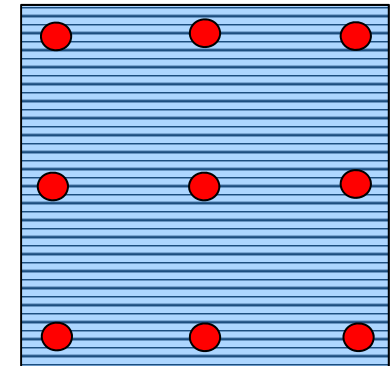
→
Strahlmodulations-
eigenschaften sind
gleichwertig

Methoden zur Qualitätssicherung bei der Fertigung

Konzept zur Qualitätssicherung:

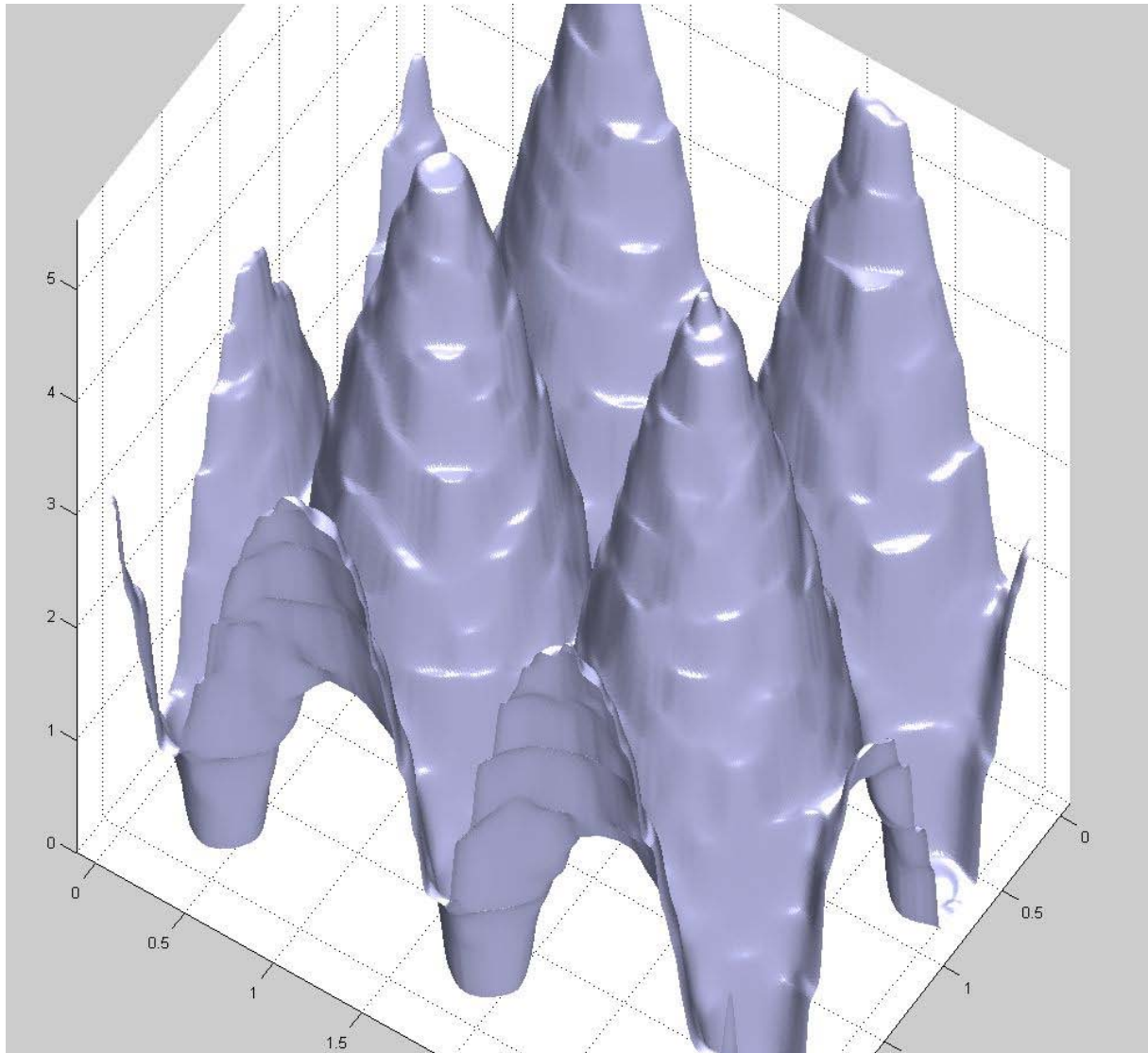
Kombination unterschiedlicher Messungen

- Taktile Messung über Messtaster der Bauhöhe der Pins (bei einer bestimmten Anzahl von Stichproben)
- 3D-Mikroskopie zur Erfassung der Pin-Kontour (bei einer bestimmten Anzahl von Stichproben)
- Erfassung der Lochgröße und Breite der Pin-Spitzen über Digitalmikroskopie (bei einer bestimmten Anzahl von Stichproben)
- Optional:
Radiographie mit Mammographiegerät zur Sicherstellung der Gleichmäßigkeit der periodischen Strukturen und zur Erkennung von möglichen Lunkern/Lufteinschlüssen etc.



Positionen für
Stichproben auf dem
RiFi (beispielhaft)

Qualitätssicherung der Kontouren über 3D-Mikroskopie



Aufnahme eines 6 mm RiFi
mit
ZEISS Smartzoom 5

- 3D-Scan der Oberfläche
- Gute Wiedergabe in den oberen Bereichen
- Häufige Artefakte in den Kerben und Löchern

Qualitätssicherung der Kontouren über 3D-Mikroskopie

**3D Bild-Daten
Zeiss-Mikroskop**

Abweichung zur Soll-Form als Farbcodierung

Abweichung in Richtung der Flächennormalen

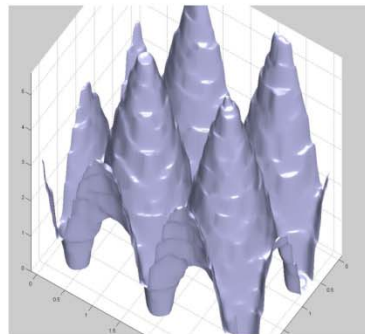
Abweichung in z-Richtung

schräg

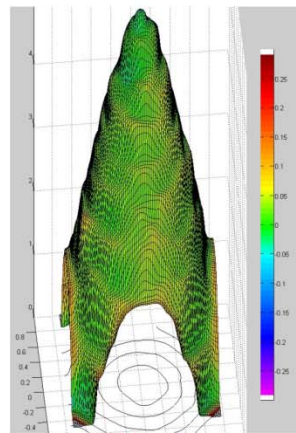
Aufsicht

Aufsicht

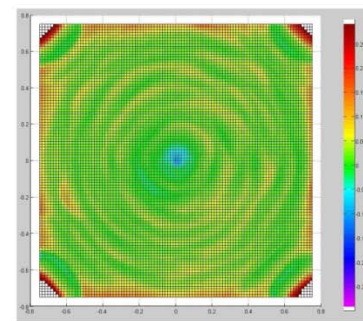
**3DS RiFi 6mm
(Dez. 2014)**



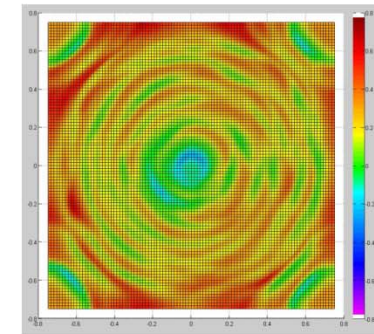
3DS_RiFi_6mm-3D-data.jpg



3DS_RiFi_6mm-3D-norm_abw.jpg

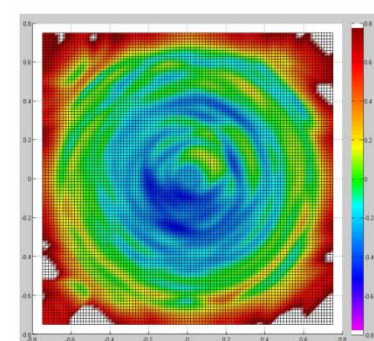
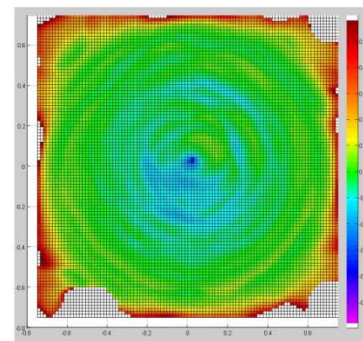
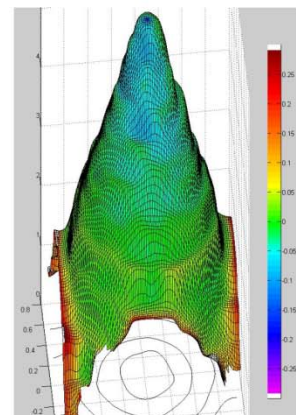
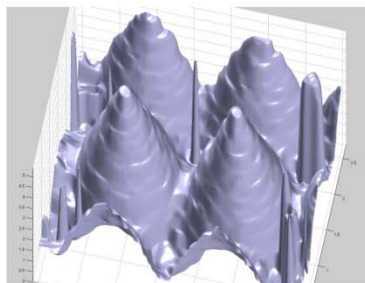


3DS_RiFi_6mm-3D-z-abw.jpg



3DS_RiFi_6mm-3D-z-abw.jpg

**BURMS RiFi 6mm
(Dez. 2014)**

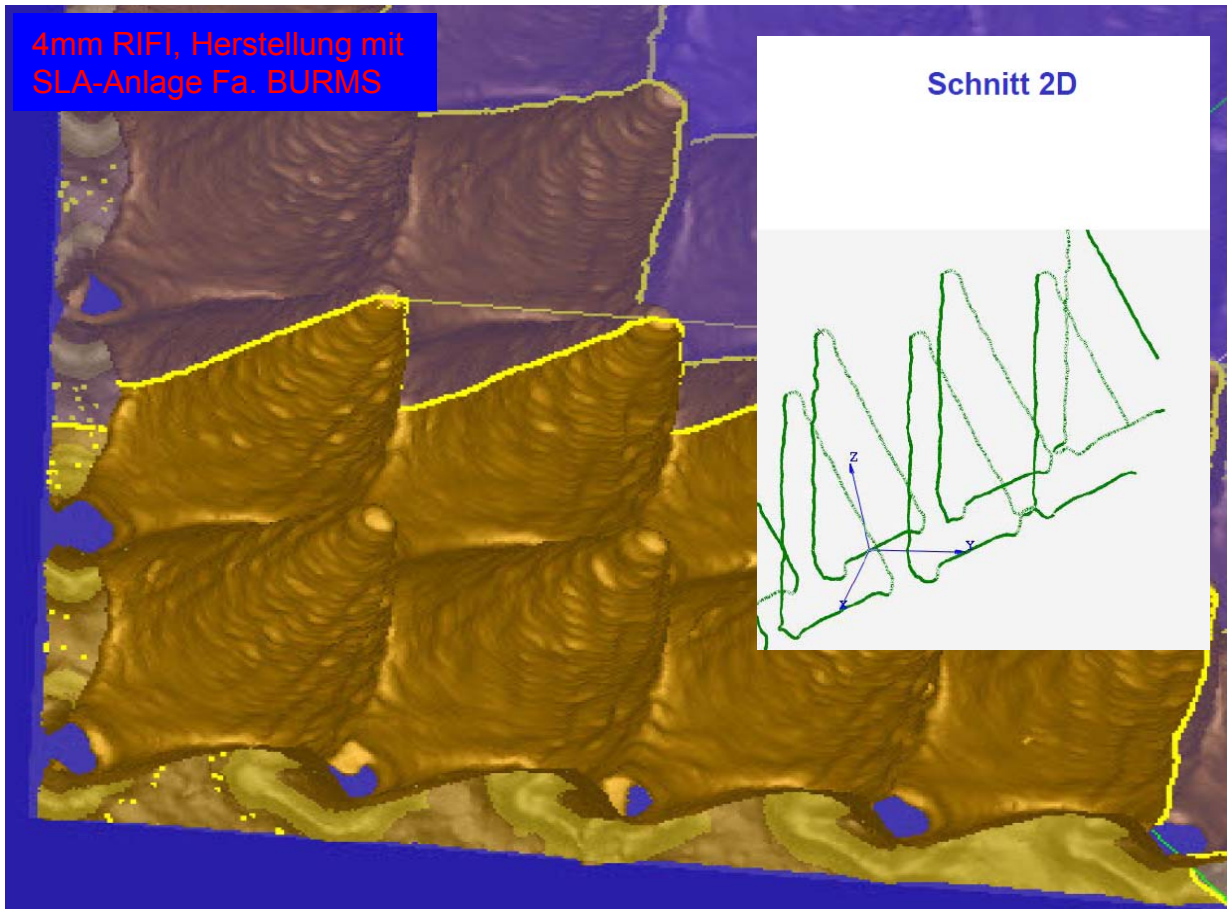


Qualitätssicherung über mikro-CT

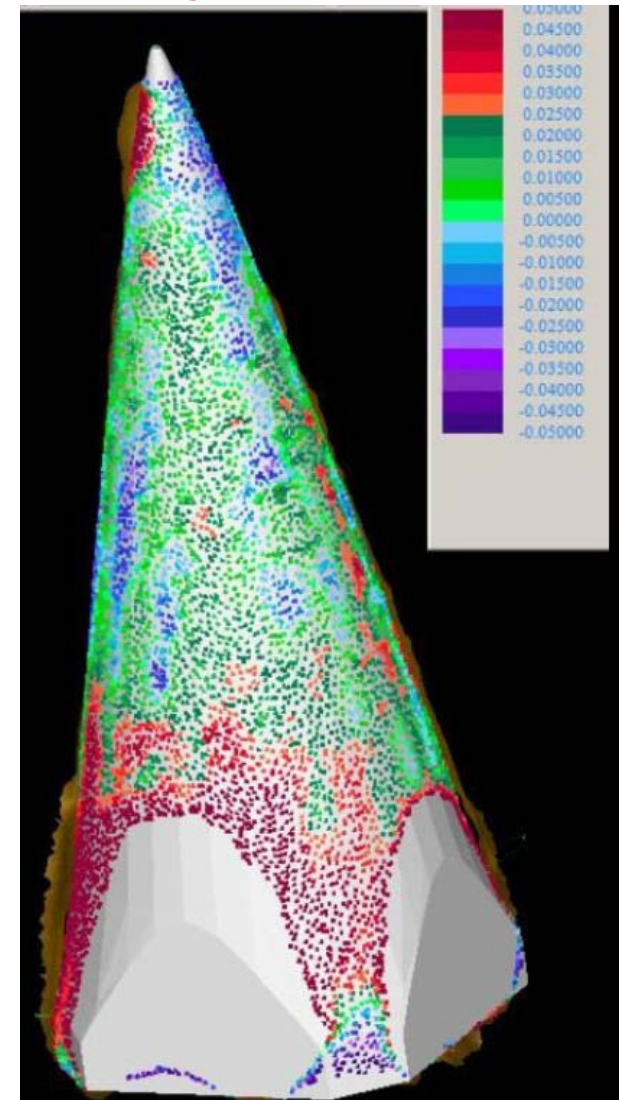


Tomoscope von Fa. Werth (Gießen)
typ. 2- 10µm Auflösung

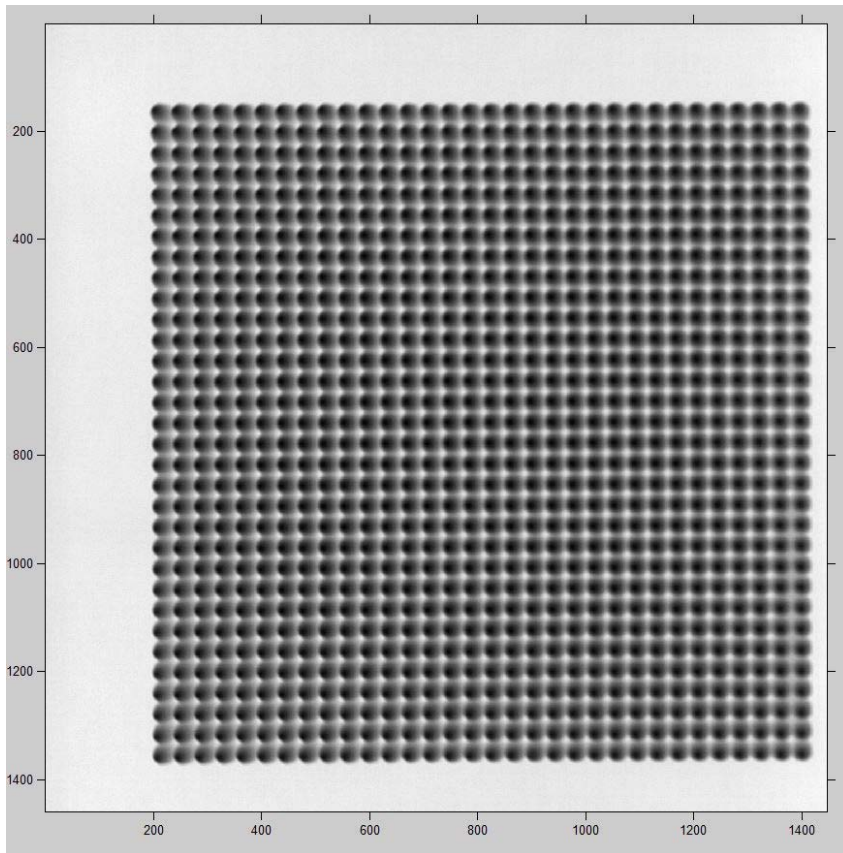
4mm RIFI, Herstellung mit
SLA-Anlage Fa. BURMS



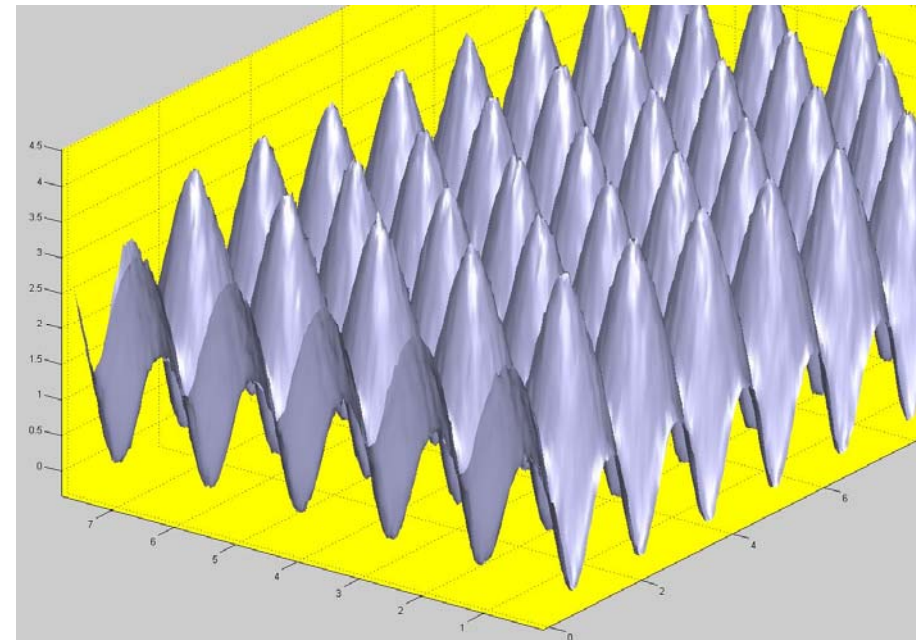
**Abweichung vom
Originalmodell [mm]**



Qualitätssicherung über Radiographie (Mammographie)

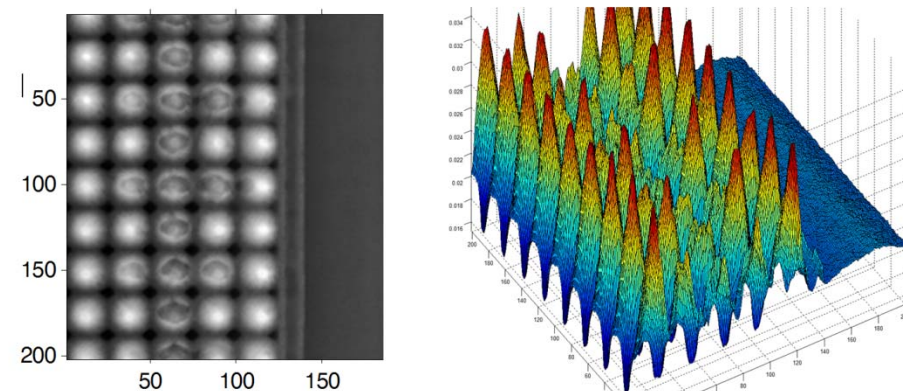
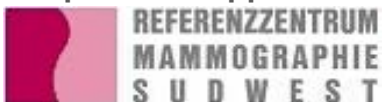


Mammographiaufnahme, Pixelgröße 60µm



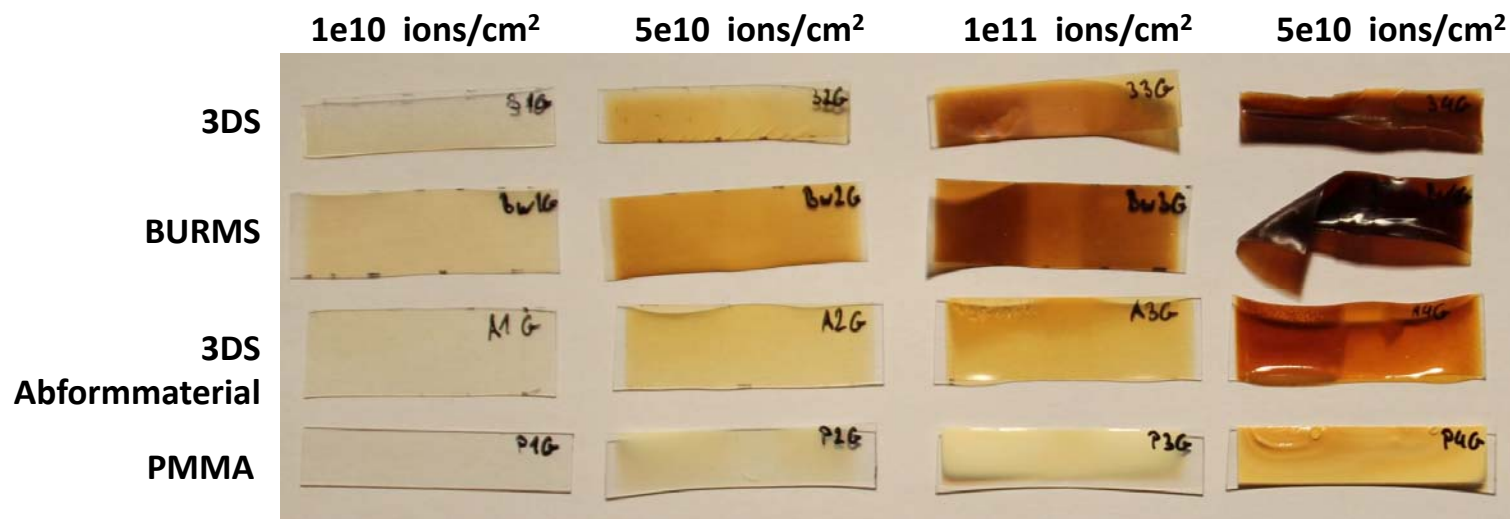
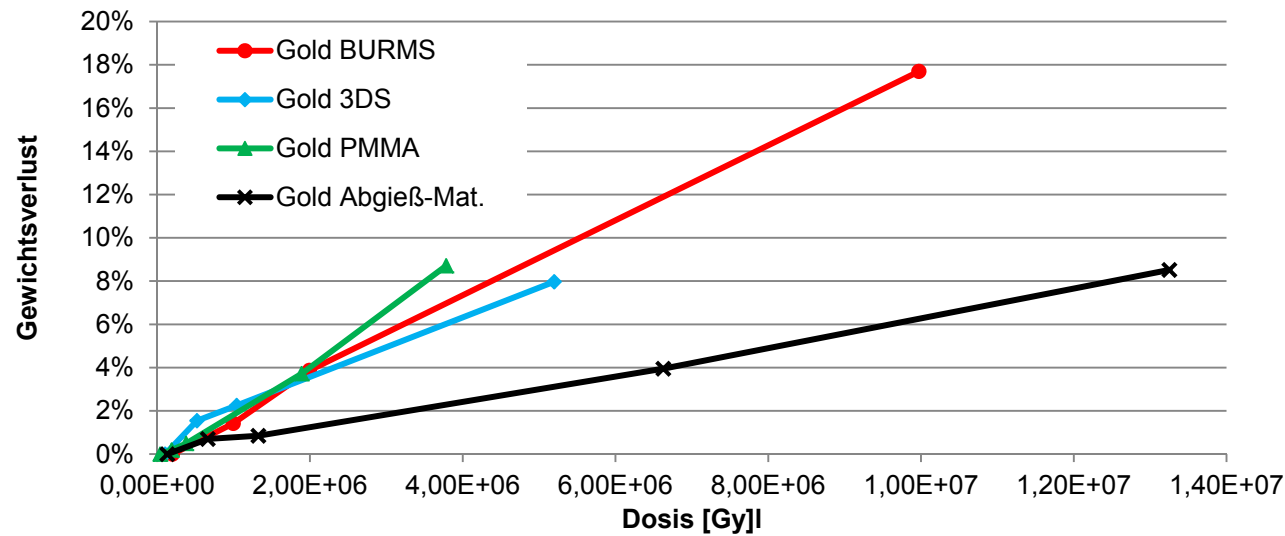
3D-Rekonstruktion via Röntgenschwächung

with courtesy of
Stephan Schopphoven



Detektion von Artefakten (Luft einschüssen)

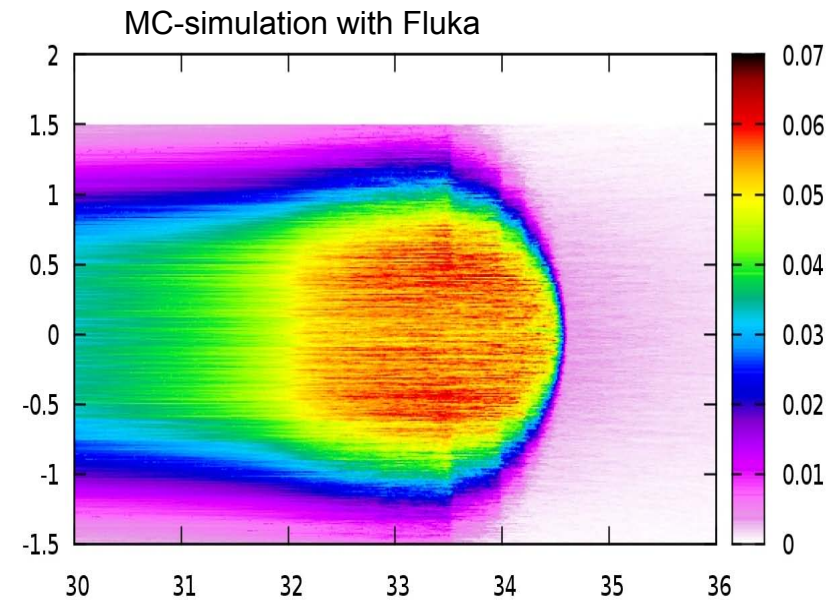
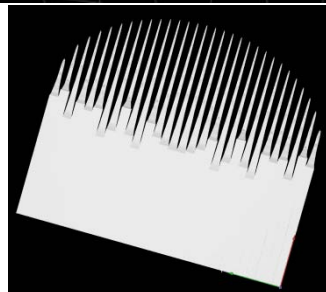
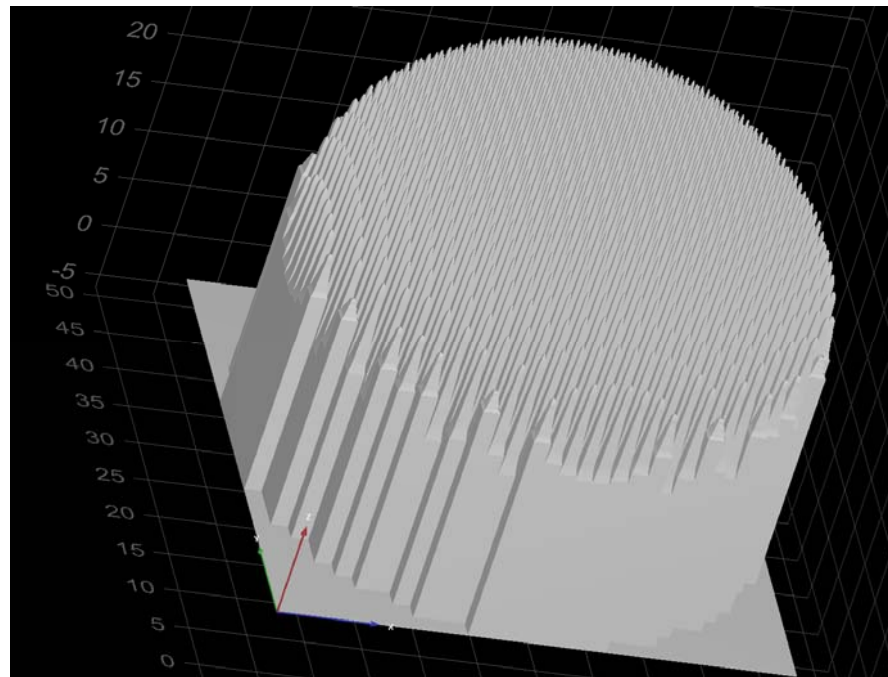
Messung Strahlenfestigkeit (Gold-Ionen 11 MeV/u ; extreme high LET)



3D – Ripple Filter

Tumor-konforme Bestrahlung in einem Energieschritt
- sehr vorläufige Resultate -

(courtesy of Yuri Simeonov THM)



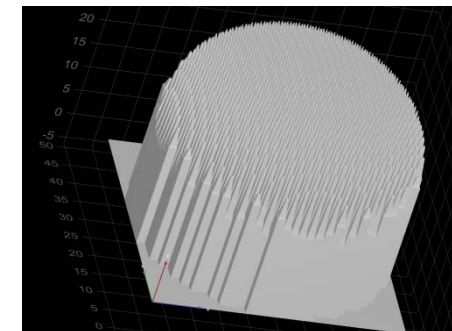
Siehe gedrucktes Objekt in
der Ausstellung der FH Jena

Zusammenfassung

- Neues 2D Ripple-Filter Design kann im SLA-Verfahren erzeugt werden
- Verbesserte Strahlmodulations-Eigenschaften konnten in Experimenten mit Ionen-Strahlen genau nachgewiesen werden
- Eine Qualitätssicherung der Fertigung lässt sich als Kombination verschiedener Messmethoden durchführen:
 - Taktile Messverfahren
 - 2D Digital-Mikroskopie
 - 3D-Mikroskopie
 - Radiographie
- Entwicklungsprozess zur Medizinproduktreife noch nicht komplett abgeschlossen
- Einsetzbarkeit als Medizinprodukt scheint sicher

Ausblick

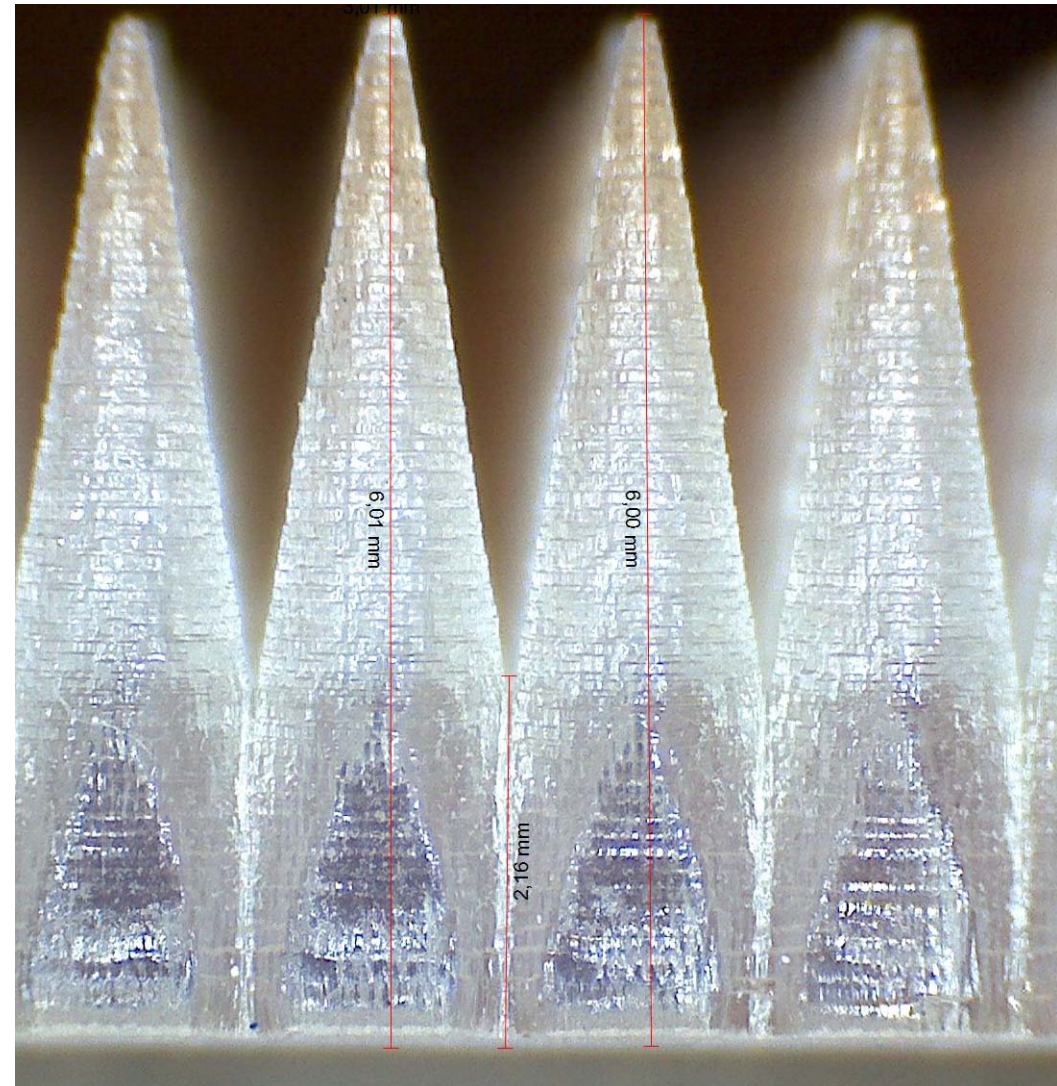
- 3D-Ripple Filter für viel schnellere Bestrahlungen, z.B. bei stark beweglichen Zielvolumina (Lungentumor)



Danke
für Ihre
Aufmerksamkeit

**Wir bedanken uns für die
Unterstützung durch**

- *Arbeitsgemeinschaft industrieller
Forschungsvereinigungen **AiF** für die
Förderung des RIFF-Projektes (ZIM)*
- **Heidelberger Ionenstrahl-Therapie (HIT)**
für die Bereitstellung von Strahlzeit und
Unterstützung bei den Experimenten.



Curriculum vitae

Prof. Dr. rer. nat. Michaela Schulz-Siegmund

Professur für Pharmazeutische Technologie

Institut für Pharmazie

Universität Leipzig

Eilenburger Str. 15a

04317 Leipzig

Tel.: 0341 9736601

e-mail: schulz@rz.uni-leipzig.de



Persönliche Daten:

Geburtsdatum: 10. Februar 1967
Staatsangehörigkeit: Deutsch
Familienstand: verheiratet, 1 Kind (geb. am 16.8.06)

Studium und Ausbildung

1987-1991 Pharmaziestudium an der Freien Universität Berlin
1991-1992 Praktika bei der Schering AG, Berlin und in der Adler Apotheke in Berlin
06.92 Approbation zur Apothekerin
2014 Fachapothekerin für Pharmazeutische Technologie

wissenschaftlicher Werdegang:

1992 – 1996 Promotion Pharmazeutische Technologie, Prof. Dr. Daniels, Uni Regensburg
1997 Wissenschaftliche Assistentin am Lehrstuhl für Pharmazeutische Technologie der Universität Regensburg (Prof. Dr. Rupprecht)
09.97 –02.04 Wissenschaftliche Assistentin am Lehrstuhl für Pharmazeutische Technologie der Universität Regensburg (C1) (Prof. Dr. Göpferich)
06. –10.1998 Gastwissenschaftlerin an der Rice University in Houston, Texas, Prof. Mikos
03.03-02.05 Gastprofessorin an der Karl-Franzens-Universität Graz
06.2004 Habilitation für das Fach Pharmazeutische Technologie an der Universität Regensburg, „Towards the formation of 3-D bone tissue in vitro“
03.05-12.06 Vertragsprofessorin an der Karl-Franzens-Universität Graz
Seit 1.2007 Professorin für Pharmazeutische Technologie (W3), Uni Leipzig

Funktionen:

- Seit 12.2012 Vorsitzende der Deutschen Pharmazeutischen Gesellschaft, Landesgruppe Sachsen
- 2008-2012 Stellvertretende Vorsitzende der Deutschen Pharmazeutischen Gesellschaft, Landesgruppe Sachsen
- Seit 1.6.09 geschäftsführende Direktorin des Instituts für Pharmazie
- 2008-2014 Prodekanin der Fakultät für Biowissenschaften, Pharmazie und Psychologie
- 2007-2011 Studienkommissionsleiterin Pharmazie

3D Druck von Biomaterialien für den Knochenersatz

Hendriks, S.¹, Flath, T.³, Sedaghati, B.¹, Ewe, A.², Kascholke, C.¹, Aigner, A.², Schulze, P.³, Hacker, M.C.¹, Schulz-Siegmund, M.¹

¹Pharmazeutische Technologie, Institut für Pharmazie, Uni Leipzig

²Selbständige Abteilung für Klinische Pharmakologie am Rudolf-Boehm-Institut für Pharmakologie und Toxikologie, Universität Leipzig, Medizinische Fakultät

³Maschinenbautechnisches Institut, Fakultät Maschinenbau und Energietechnik, HTWK Leipzig

Vor dem Hintergrund der alternden Gesellschaft in den westlichen Industrienationen steigt der Bedarf für bioaktive Materialien, die in der Lage sind, defektes Knochengewebe physikalisch zu ersetzen, das Einwachsen von orthopädischen Implantaten zu stimulieren und, wenn möglich, den Wiederaufbau körpereigenen Gewebes anstelle des Defektes zu unterstützen. Insbesondere im Zusammenhang mit Wirbelfrakturen und defekten Bandscheiben besteht ein hoher Bedarf an Materialien mit geeigneter Festigkeit und Elastizität bei gleichzeitig definierter Porosität, die ein Einwachsen von knochenbildenden Zellen und den Wiederaufbau des Gewebes ermöglichen.

Bioaktive Sol-Gel Gläser fördern in biologischen Flüssigkeiten die Abscheidung von Hydroxylapatit auf ihrer Oberfläche. Für solche Materialien wurde gezeigt, dass sie nach einer Implantation zu einer festen Verbindung mit dem umgebenden Knochengewebe führen. Der Hauptnachteil der bekannten bioaktiven Gläser ist ihre Sprödigkeit. Mit dem Ziel, diese Eigenschaft zu verbessern, haben wir in unserem Konsortium gemeinsam mit zwei Leipziger Firmen ein Hybridmaterial aus einem organischen Quervernetzer und einem Sol-Gel-Glas entwickelt. Wir konnten zeigen, dass sich dieses Hybridglas im flüssigen Solzustand in einem indirekten Rapid Prototyping Prozess zu makroporösen festen Implantaten mit ausgezeichneten mechanischen Eigenschaften prozessieren lässt. In systematischen mechanischen Untersuchungen mit verschiedenen organischen Quervernetzern konnten wir den funktionellen Einfluss des Aufbaus des organischen Quervernetzers sowie Effekte des Quervernetzergehaltes und der Porosität auf die mechanischen Eigenschaften der Scaffolds zeigen.

Für schlecht heilende Knochendefekte werden zur Stimulation der Regeneration Wirkstoffe eingesetzt. In den letzten Jahren hat der Wachstumsfaktor Bone Morphogenetic Protein-2 (BMP-2) große Bedeutung im Rahmen der Therapie solcher Defekte gewonnen. Jedoch muss BMP-2 in hohen Dosen eingesetzt werden, die von massiven Nebenwirkungen begleitet sein können. Ein Grund für die hohe notwendige Dosis könnte in der Regulation von körpereigenen Antagonisten liegen, die die Wirkung von BMP-2 abschwächen. Wir konnten in mehreren in vitro Studien zeigen, dass die Wirkung von BMP-2 durch die Co-Applikation von siRNA gegen diese Antagonisten des BMP-2 synergistisch verbessert werden kann. Aus diesem Erkenntnis entstand das Konzept, Implantate auf Basis des bioabbaubaren Polymers Polycaprolacton zur kontrollierten Freigabe von siRNA zu entwickeln und mit Fused Deposition Modelling zu Scaffolds zu verarbeiten. Zur Realisierung dieses Konzepts haben wir gemeinsam mit der Firma RegenHU Ltd, Schweiz, ein System entwickelt, das die Zumischung von temperaturempfindlichen und niedrig dosierten Wirkstoffen mit Hilfe eines Doppelschneckenextruders in einer Fused Deposition Modeling-Anlage ermöglicht.

Prof. Dr. Annette G. Beck-Sickinger

Bioorganische Chemie/Biochemie
Institut für Biochemie
Fakultät für Biowissenschaften, Pharmazie und Psychologie
Brüderstr. 34, D 04103 Leipzig
Tel. +49 341 97 36 901
FAX: +49 341 97 36 909
E-Mail : beck-sickinger@uni-leipzig.de
URL: www.biochemie.uni-leipzig.de/agbs
Geburtstag: 28. 10. 1960



Beruflicher Werdegang

- 1986 Abschluss Diplom-Chemikerin, Universität Tübingen
- 1990 Abschluss Diplom-Biologin, Universität Tübingen
- 1989 Promotion Organische Chemie Universität Tübingen (G. Jung)
- 1988 Forschungsaufenthalt Scripps Clinic & Research Foundation, La Jolla, USA (R. Houghten)
- 1990-1991 Postdoktorat ETH Zürich, Laboratorium für Biochemie (E. Carafoli)
- 1992 Forschungsaufenthalt Rigshospitalet, Copenhagen (T. W. Schwartz)
- 1995 Habilitation Biochemie, Universität Tübingen
- 1997-1999 Assistenzprofessur Pharmazeutische Biochemie, ETH Zürich
- seit 1999 C4-Professur für Bioorganische Chemie und Biochemie, Universität Leipzig
- seit 2000 Mitglied der Fakultät für Chemie und Mineralogie, Universität Leipzig
- 2004 Ruf C4-Biosensorik/Leitung des Life Science Center an der Universität Stuttgart-Hohenheim (abgelehnt)
- 2009 Gastprofessur Vanderbilt University, Nashville, TN

Wissenschaftliche Aktivitäten und Auszeichnungen

- 2012 Aufnahme in die Nationale Akademie Deutschland Leopoldina, Sektion Chemie
- seit 2012 Mitglied im Wissenschaftsrat der Bundesregierung
- seit 2010 Mitglied im Kuratorium der Mercator-Stiftung
- seit 2010 Mitglied des Hochschulrats der Universität Leipzig
- 2010 George Cornell Lecture, Toronto University
- 2009 Aufnahme in die Sächsische Akademie der Wissenschaft als ordentliches Mitglied
- 2009 Max-Bergmann-Medaille in Gold
- seit 2009 Mitglied im Kuratorium der Gesellschaft für Biochemie und Molekularbiologie
- seit 2008 Mitglied im Kuratorium des Fonds der Chemischen Industrie
- 2006-2012 Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats, Leibniz Institut für Molekulare Pharmakologie (FMP), Berlin
- seit 2006 Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats, Helmholtz-Zentrum Dresden
- 2004-2011 Vorstandsmitglied der Gesellschaft Deutscher Chemiker
- 2006-2008 Vizepräsidentin der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh)
- 2005-2009 Mitglied des Innovationsbeirats der Sächs. Landesregierung
- 2004-2012 Fachkollegiatin der DFG „Grundlagen der Biologie und Medizin“
- 2008-2012 Sprecherin des Fachkollegiums der DFG „Grundlagen der Biologie und Medizin“
- seit 7/2009 Sprecherin des Graduiertenkollegs „Matrixengineering“ des TR-SFB 67 und Mitglied im Vorstand des TR-SFB 67
- 2002-2012 Sprecherin des Sonderforschungsbereiches 610 „Proteinzustände mit zellbiologischer und medizinischer Relevanz“
- seit 10/2002 Vertrauensdozentin der Studienstiftung des Deutschen Volkes
- 2005- 2008 Dekanin der Fakultät für Biowissenschaften, Pharmazie und Psychologie
- 2002- 2005 Prodekanin der Fakultät für Biowissenschaften, Pharmazie und Psychologie, Universität Leipzig
- seit 2008 geschäftsf. Direktorin des Institutes für Biochemie, Fakultät für Biowissenschaften, seit Pharmazie und Psychologie, Universität Leipzig

Forschungsschwerpunkte

- Struktur-Wirkungsbeziehungen von Neuropeptiden, Peptidhormonen, Chemokinen und Faktoren
- Therapeutische Peptide und Peptidmimetika
- Signaltransduktion von G-Protein gekoppelten Rezeptoren
- Chemische Modifizierung von Peptiden und Proteinen
- Immobilisierung von Peptiden und Proteinen für nanotechnologische Anwendungen

Ausgewählte Publikationen aus den unterschiedlichen Arbeitsgebieten

Peer-reviewed Publications

(Gesamtliste: <http://www.biochemie.uni-leipzig.de/agbs/>) – total > 270

Baumann L, Beck-Sickinger AG. Photoactivatable chemokines—controlling protein activity by light. **Angew Chem Int Ed Engl.** 2013 Sep 2;52(36):9550-3.

Heiker JT, Klötting N, Kovacs P, Kuettner EB, Sträter N, Schultz S, Kern M, Stumvoll M, Blüher M, Beck-Sickinger AG. Vaspin inhibits kallikrein 7 by serpin mechanism. **Cell Mol Life Sci.** 2013 Jul;70(14):2569-83.

Khan IU, Zwanziger D, Böhme I, Javed M, Naseer H, Hyder SW, Beck-Sickinger AG. Breast-cancer diagnosis by neuropeptide Y analogues: from synthesis to clinical application. **Angew Chem Int Ed Engl.** 2010 Feb 1;49(6):1155-8.

Bachmann M, Goede K, Beck-Sickinger AG, Grundmann M, Irbäck A, Janke W. Microscopic mechanism of specific peptide adhesion to semiconductor substrates. **Angew Chem Int Ed Engl.** 2010 Dec 3;49(49):9530-3.

David R, Günther R, Baumann L, Lühmann T, Seebach D, Hofmann HJ, Beck-Sickinger AG. Artificial chemokines: combining chemistry and molecular biology for the elucidation of interleukin-8 functionality. **J Am Chem Soc.** 2008 Nov 19;130(46):15311-7.

Haack M, Enck S, Seger H, Geyer A, Beck-Sickinger AG. Pyridone dipeptide backbone scan to elucidate structural properties of a flexible peptide segment. **J Am Chem Soc.** 2008 Jul 2;130(26):8326-36.

Tschöp M, Castañeda TR, Joost HG, Thöne-Reineke C, Ortmann S, Klaus S, Hagan MM, Chandler PC, Oswald KD, Benoit SC, Seeley RJ, Kinzig KP, Moran TH, Beck-Sickinger AG, Koglin N, Rodgers RJ, Blundell JE, Ishii Y, Beattie AH, Holch P, Allison DB, Raun K, Madsen K, Wulff BS, Stidsen CE, Birringer M, Kreuzer OJ, Schindler M, Arndt K, Rudolf K, Mark M, Deng XY, Whitcomb DC, Halem H, Taylor J, Dong J, Datta R, Culler M, Craney S, Flora D, Smiley D, Heiman ML. Physiology: does gut hormone PYY3-36 decrease food intake in rodents? **Nature.** 2004 Jul 8;430(6996):165.

Kontrollierte Protein-Immobilisierung und -Freisetzung von Kunststoff-Oberflächen

Annette G. Beck-Sickinger, Institut für Biochemie, Universität Leipzig, Brüderstr. 34, 04103 Leipzig

Die Immobilisierung von Peptiden und Proteinen auf Polymeroberflächen spielt eine große Bedeutung in der Entwicklung von bioanalytischen Testverfahren, in der Biokatalyse (immobilisierte Enzyme) und in biomedizinischen/pharmazeutischen Anwendungen zur Freisetzung von Wirkstoffen. In klassischen Verfahren werden dabei rekombinant hergestellte Proteine unspezifisch an Oberflächen adsorbiert oder unspezifisch kovalent verknüpft. Dies führt meist zu einem signifikanten Verlust an Aktivität im Vergleich zum freien Enzym.

Wir entwickelten ein Verfahren, mit dem es möglich ist, Proteine gezielt C-terminal an die unterschiedlichsten Polymeroberflächen gezielt zu koppeln.¹ Im Fall der Aldoketoreduktase, einem körpereigenen Redoxenzym, gelang dies an azidomodifiziertem PEG-Polystyrol-Kopolymer unter vollständigem Erhalt von K_m/K_{cat} .² Die Immobilisierung von Sortase A ermöglichte die spezifische Biotinylierungsreaktion von Chemokinen,³ die eine wichtige Rolle in der Regulation von Immun- und Stammzellen spielen.⁴

Durch die Wahl geeigneter, abspaltbarer Linkermoleküle zwischen Protein und Polymer gelang es uns vor kurzem nicht nur eine spezifische Proteinmodifizierung an Oberflächen zu erhalten, sondern auch eine gezielt induzierte Freisetzung. Das in der Regeneration von Gewebe wichtige Chemokin CXCL12 (auch „stromal derived factor 1 alpha“ genannt) konnte dabei selektiv an Polylaktat-Oberflächen (PGLA) gebunden und unter Kontrolle des Enzymes Matrixmetalloprotease 9 spezifisch freigesetzt werden. Dies führt zu dem Aufbau des physiologisch essentiellen Chemokingradienten und somit zur Rekrutierung von Immunzellen oder endotheliale Stammzellen.⁵

¹ Hassert R, Beck-Sickinger AG. Tuning peptide affinity for biofunctionalized surfaces. *Eur J Pharm Biopharm.* 2013;85:69-77.

² Steinhagen M, Holland-Nell K, Meldal M, Beck-Sickinger AG. Simultaneous "one pot" expressed protein ligation and CuI-catalyzed azide/alkyne cycloaddition for protein immobilization. *Chembiochem.* 2011;12:2426-30.

³ Steinhagen M, Zunker K, Nordsieck K, Beck-Sickinger AG. Large scale modification of biomolecules using immobilized sortase A from *Staphylococcus aureus*. *Bioorg Med Chem.* 2013;21:3504-10.

⁴ Beck-Sickinger AG, Panitz N. Semi-synthesis of chemokines. *Curr Opin Chem Biol.* 2014 Oct;22:100-7.

⁵ Steinhagen M, Hoffmeister PG, Nordsieck K, Hötzel R, Baumann L, Hacker MC, Schulz-Siegmund M, Beck-Sickinger AG. Matrix metalloproteinase 9 (MMP-9) mediated release of MMP-9 resistant stromal cell-derived factor 1 α (SDF-1 α) from surface modified polymer films. *ACS Appl Mater Interfaces.* 2014 Apr 23;6(8):5891-9.



Antonius Köster

Jahrgang 1965

Hat nach Abitur und Bundeswehr eine handwerkliche Ausbildung zum Modellbauer absolviert.

Nach 3 Gesellenjahren legte er 1993 die Meisterprüfung ab.

Zum Jahreswechsel 1993 - 1994 gründete er seinen "Handwerksbetrieb ohne Werkstatt".

Inzwischen arbeiten 8 feste und 6 freie Mitarbeiter in der Antonius Köster GmbH & Co KG.

Das Angebot geht von 3D-Produktentwicklung über Handel hin zu Beratungsleistungen.

Seit 2004 beschäftigt sich Köster intensiv mit neuen Prozessen in Zahntechnik.

2005 wurde erstmalig ein Modellguss auf digitalem Wege hergestellt.

Seit 2009 leitet Köster den Fachkongress "CAD/CAM und Rapid-Prototyping in der Zahntechnik" in Erfurt.

Kontakt:

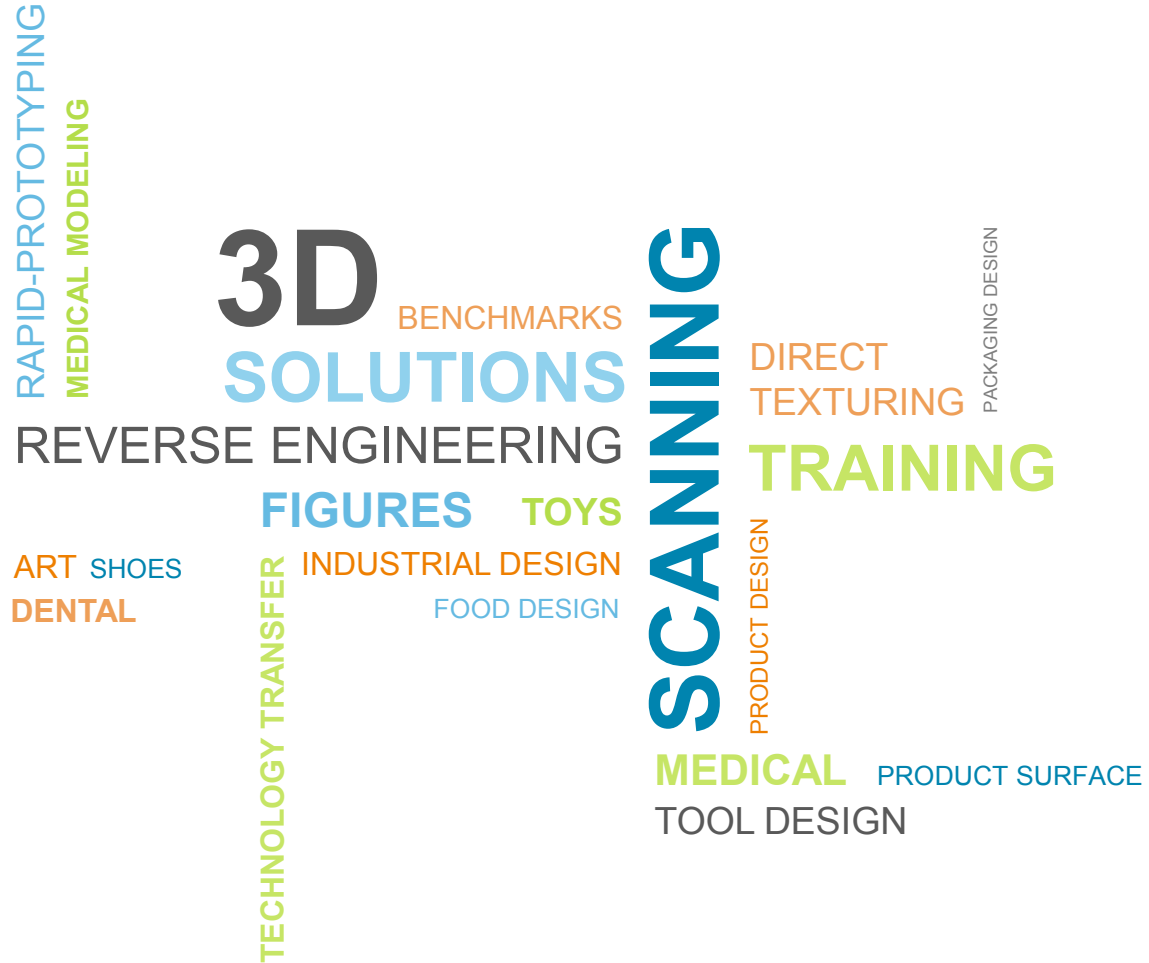
Antonius Köster GmbH & Co.KG
Hünenburgstr. 6
D-59872 Meschede

Web: www.innovative-cad-cam-solutions.com

Tel: +49 291 564 65

Fax: +49 291 564 66

eMail: info@innovative-cad-cam-solutions.com



3D SOLUTIONS

SCANNING

REVERSE ENGINEERING

TRAINING

TECHNOLOGY TRANSFER

INDUSTRIAL DESIGN

PRODUCT DESIGN

PACKAGING DESIGN

DIRECT TEXTURING

PRODUCT SURFACE

TOOL DESIGN

FIGURES TOYS

FOOD DESIGN

BENCHMARKS

RAPID-PROTOTYPING

MEDICAL MODELING

ART SHOES

DENTAL

MEDICAL

3D Druck revolutioniert die Medizin

Vita



- Antonius Köster, Jahrgang 1965
- GF Antonius Köster GmbH & Co. KG
- Modellbauermeister
- 8 interne Experten und 6 freie Mitarbeiter
- 1991 erster 3D Druck
- Seit 1993 CAD/CAM Service
- Seit 1995 Beratung in CAD/CAM/AM
- Seit 2003 Handel mit 3D Scanner und Software
- Spezialisiert auf „Organische Formen“
- Über 300 Kunden in Handwerk, Industrie, Kunst, Forschung und Lehre

3D Druck revolutioniert die Medizin

- Ein Beispiel aus der Praxis



2007

Im Anwendungstraining mit der FH-Nordwestschweiz werden Beispiele von individuellen Implantaten am Rechner modelliert.



2007

Die Knochenstruktur wird im ZPrint-Verfahren gedruckt.

Die Implantate werden über Laserschmelzen in Titan hergestellt.

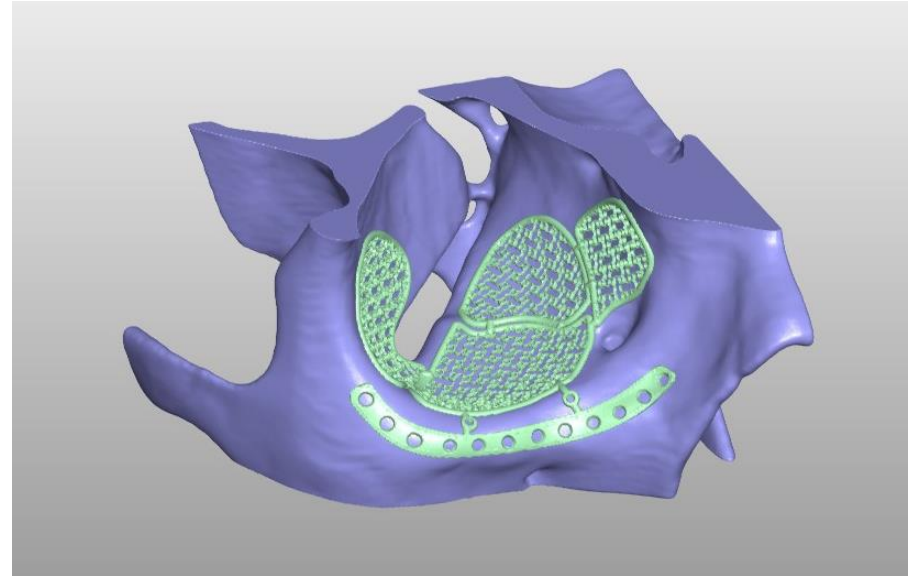
Die Ergebnisse bieten hohe Passgenauigkeit und optische Qualität.

Aber es ist noch eine Vision!



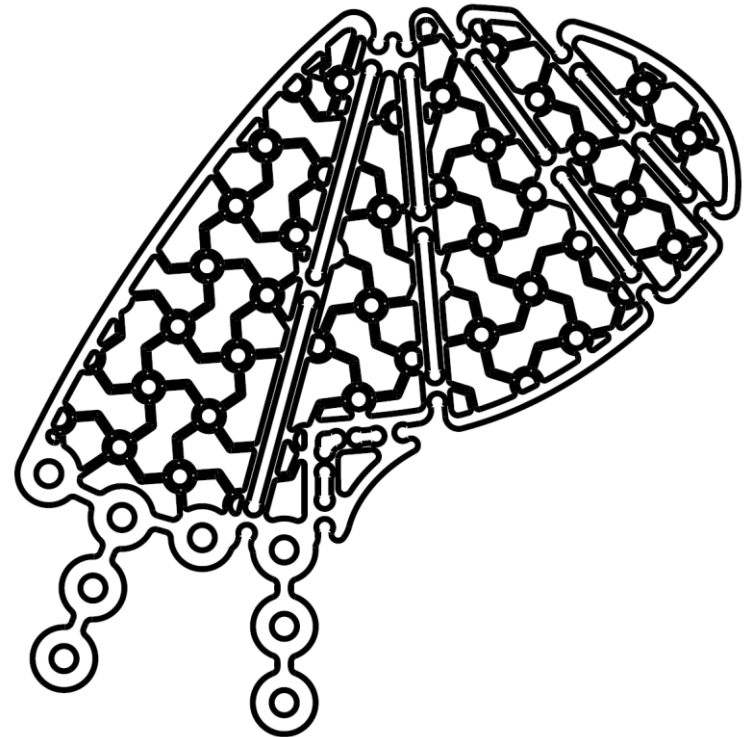
■ 2010

In einem Workshop mit
Medizinern und Technikern wird
an neuen Designs für
Orbitaplatten gearbeitet.
Verschiedene Entwürfe werden
diskutiert.



2010

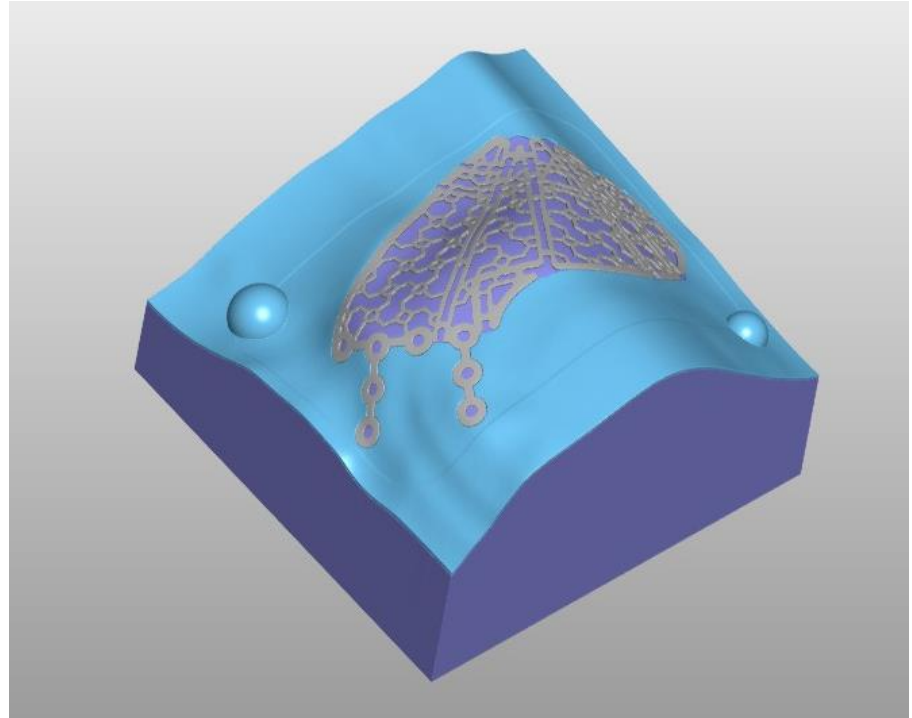
Es entsteht ein 2D-Layout mit dem Titan-Blech per Laser geschnitten wird.



2010

Die Formgebung des Implantats erfolgte über 3D-gedruckte Werkzeuge.

Was anfangs als pragmatische Notlösung gedacht war, um einen Termin einhalten zu können, stellte sich als „kleine technische Revolution“ dar.



2012

Die Individualisierung von vorgefertigten Implantaten erfolgt mit 3D-gedruckten Modellen der Knochenstruktur des jeweiligen Patienten. Dank höherer Passgenauigkeit kann die OP-Zeit deutlich verkürzt werden.

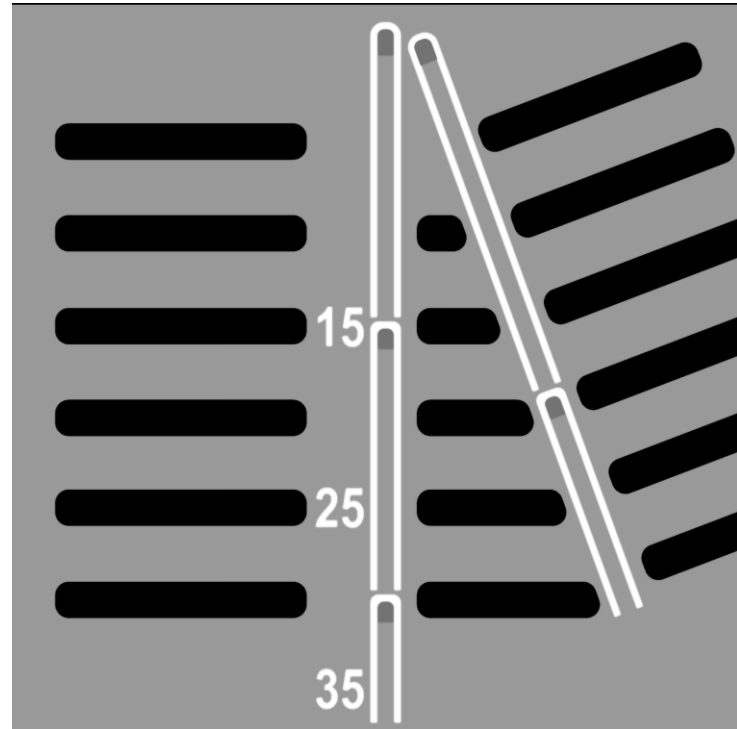


2014

An der MHH Hannover werden bereits erste 3D-gedruckte Implantate eingesetzt.

In einem Workshop mit Technikern und Operateuren werden weitere Verbesserungsmöglichkeiten diskutiert.

Am Ende entsteht eine Vorlage.



2014

Mit diesem Masterlayout lässt sich das neue Design auf jede individuelle Patientensituation übertragen.



2014

Aus der Grafik wird ein 3D-Datensatz erstellt, der den validierten Prozessen entspricht.



■ 2014

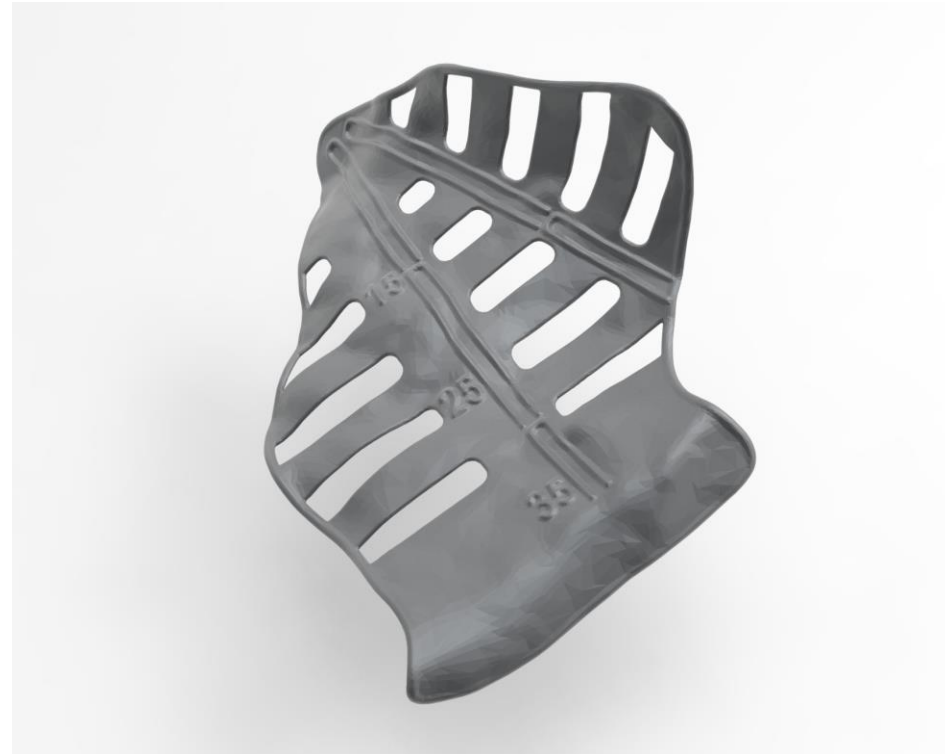
Das neue Design erleichtert die minimalinvasive Operation u.a. durch folgende Merkmale:

Eine Skala.

Zwei Indikatoren für die Richtung und Orbitawand.

Eine Einfassung ohne scharfe Kanten.

Eine Positionskontrolle im Zusammenspiel mit dem Navigationssystem.



■ 2014

„Wir verknüpfen mehrere High-Tech Verfahren zu einem Ganzen:

Exakte Diagnostik, CAD-gestütztes Implantatdesign und modernste Fertigungsverfahren aus den additiven Fertigungstechnologien.

Das Ergebnis ist ein Implantat, welches exakt unseren Vorgaben entspricht und welches sich im OP auch komplikationslos einsetzen lassen wird.“



Prof. Dr. Dr. Nils-Claudius Gellrich
MKG-Chirurgie MH Hannover

■ 2014

„Der Vorteil der additiven Fertigungsverfahren ist natürlich, dass wir jetzt passgenau und an einem Stück ein Implantat erstellen können, welches ohne scharfe Kanten und störende Strukturen exakt unserer Vorplanung entspricht. Und das alles in einem realistischen Zeitfenster.“



Dr. Dr. Majeed Rana
MKG-Chirurgie MH Hannover

■ 2014

Vielen Dank an die beteiligten Unternehmen:



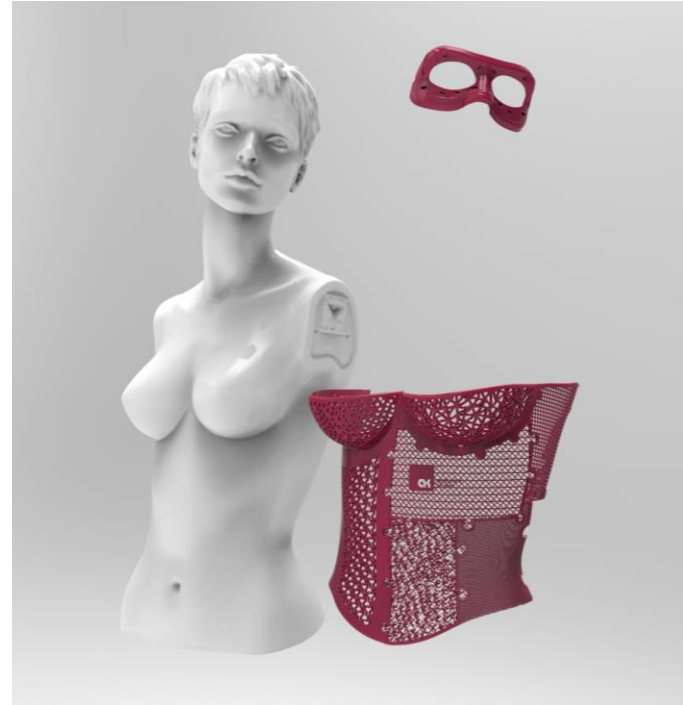
Dr. Dr. Majeed Rana
MKG-Chirurgie MH Hannover

3D Druck revolutioniert die Medizin

Weitere Beispiele aus dem Medizinmarkt, die das Potential und die Möglichkeiten aufzeigen sollen.



Orthesen



Orthesen



■ Epithesen



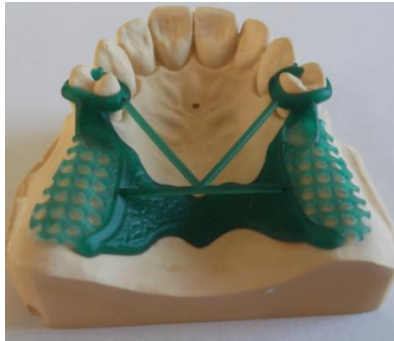
Epithesen



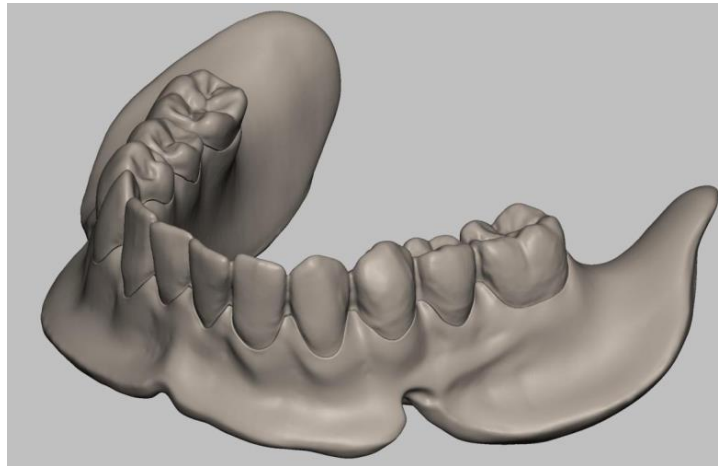
■ OP-Planung und Implantate



Zahntechnik



Zahntechnik



Zahntechnik



■ Anschauungsmodelle



 **Visionen**

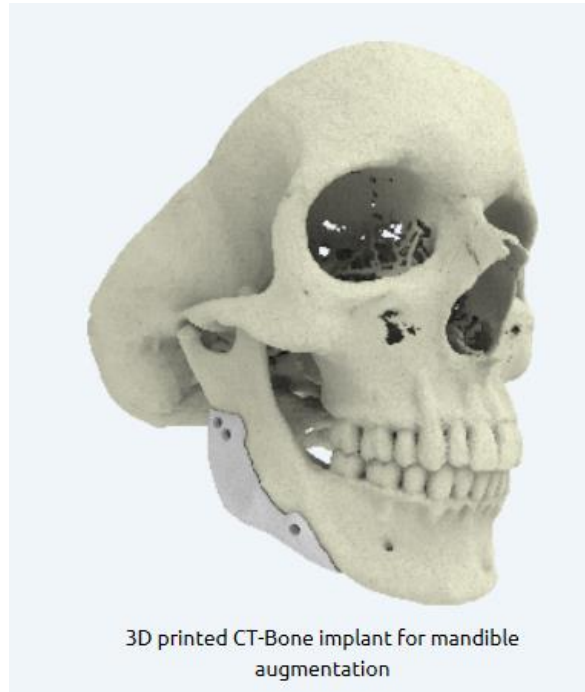
■ Visionen

Columbia University Medical Center

Lab of Dr. Jeremy Mao



■ Visionen

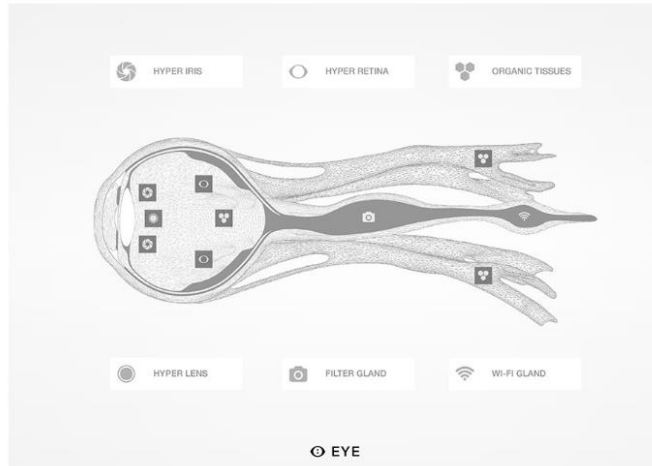


3D printed CT-Bone implant for mandible
augmentation

■ Visionen

Italian Researchers Develop a Technology to 3D Print Eyeballs by 2027

📅 March 22, 2015 👤 Joseph Young 💬 1 Comment 📁 Filed Under: Medical



An Italian research studio MHOX recently published a study which suggests that the human eyes could be replaced with 3d printed artificial eyeballs by 2027. According to their team of researchers, the artificial eyeballs could surpass the potential of the organs of sight, surpassing the human needs. The “technology” proposed by the research studio is expected to enhance, heal and correct the vision of those in need, and 3d print fully personalized eyeballs to process and record real time...

Visionen

Wir lassen uns überraschen...



Haben Sie
Fragen?

■ Antonius Köster GmbH & Co. KG
Hünenburgstraße 6 · D-59872 Meschede
Tel.: + 49 291 56465 · Fax: + 49 291 56466
info@innovative-cad-cam-solutions.com



www.innovative-cad-cam-solutions.com

DANKE
THANK YOU

Kurzvita

Tobias Pilic



- 2013 Master of Science, HTWK Leipzig (1. Platz VDI-Preis)
- 2011 – 2013 Master-Studium: Elektrotechnik und Informationstechnik; Schwerpunkt: Kommunikationstechnik und Biosignalanalyse, HTWK-Leipzig
- 2011 B.Eng. (with commendation), University of Strathclyde, UK
- 2010 – 2011 Auslandsstudium: Electronic and Electrical Engineering, University of Strathclyde
- 2008 – 2011 Bachelor-Studium: Elektrotechnik und Informationstechnik; Schwerpunkt: Kommunikationstechnik, HTWK-Leipzig

Kurzvita

Werner Korb



- seit 12/2011 Stiftungs-Professur „Simulation und Ergonomie in der operativen Medizin“, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der HTWK Leipzig
- seit 2010 Wissenschaftlicher Direktor des ISTT (Forschungszentrum/Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik), HTWK Leipzig
- 2005 – 2010 Nachwuchsgruppenleiter am Innovation Center Computer Assisted Surgery (ICCAS) der Universität Leipzig/Medizinische Fakultät
- 2002 – 2005 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Klinik für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie des Universitätsklinikums Heidelberg
- 2000 – 2002 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Krebsforschungszentrum in Heidelberg
- 2005 Promotion in Medizinischer Informatik/Medizinische Physik an der Universität Heidelberg/Medizinische Fakultät
- 1995 – 2000 Technische Mathematik/Computerwissenschaften an der TU Wien

Kurzreferat:

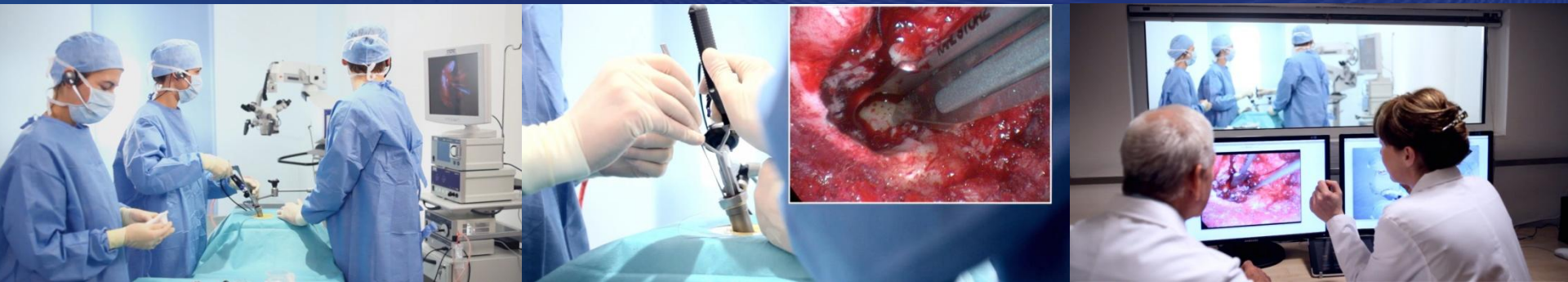
„Generative Verfahren für medizinische Simulatoren“

Tobias Pilic, Werner Korb

Nicht nur die intensive medizinische Forschung, sondern auch der technologische Fortschritt ermöglicht immer sicherere und modernere chirurgische Praktiken. Der Fortschritt hält unter anderem in Form von (oft komplexer) Medizintechnik Einzug in den Operationssaal (OP). Letztlich steht aber immer noch das chirurgische Personal im Mittelpunkt jedes erfolgreich durchgeführten Eingriffs. Immer anspruchsvollere Operationen in großen Zahlen belasten das chirurgische Personal, genauso wie der hohe Interaktions- und Lernaufwand der bei der Integration sich immer wechselnder Technik im OP-Saal entsteht. Zusätzlich wird das Fachgebiet von einem Nachwuchsmangel belastet. Die Verbesserung des chirurgischen Trainings soll daher aus unserer Sicht zukünftig ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt sein, so auch am Institut „Innovative Surgical Training Technologies“.

Schwerpunkt liegt dabei auf der Entwicklung mechatronischer Kunststoffsimulatoren. Diese sollen es dem angehenden oder praktizierenden Chirurgen ermöglichen, in einer sicheren Umgebung und standardisiert realistische Eingriffe ohne Risiko zu erlernen. Nicht zuletzt die Schwierigkeit gezielt bestimmte Verfahren am echten Patienten trainieren zu können (schwere Fälle mit geringen Fallzahlen), ist hier ein wesentlicher Motivator. Gleichzeitig betreut ein erfahrener Chirurg (Chef- oder Oberarzt) typischerweise viele Assistenzärzte gleichzeitig in der Weiterbildung. Die Verwendung von Simulatoren gestattet es viele Ärzten zeiteffizient zu lehren und weiterzubilden. Die Chirurgie erfordert viele praktische und manuelle Fertigkeiten. Aus diesem Grund erfordern die chirurgischen Fächer heute lange Ausbildungszeiten. Auch sind in der Literatur Befunde für eine zunehmende Unzufriedenheit mit der chirurgischen Weiterbildung und damit einhergehenden Abbrecher- und Abwanderquoten zu finden. Simulatoren können zu einer Verbesserung dieser Situation beitragen.

Simulatoren als Ersatz für den menschlichen Patienten werden schon seit den 90er Jahren als die Zukunft der chirurgischen Weiterbildung postuliert. Bisherigen Technologien (Virtuelle Realität, VR) konnten dieses Versprechen noch nicht in die Praxis umsetzen. VR-Simulatoren fehlt es in der Regel an einer ausreichenden Realitätsnähe – insbesondere bei den haptischen Eigenschaften. Humanpräparate sind oftmals schwierig bereitzustellen und auf Grund des fehlenden Stoffwechsels in ihren haptischen Eigenschaften oft ebenso ungenügend. Kunststoffsimulatoren bieten die Möglichkeit, sowohl Blutungen als auch Stoffwechselprozesse mit Hilfe von mechatronischen Systemen abzubilden. Auf Grund schwieriger Herstellungsprozesse in der Kunststofftechnik waren die Kosten für den Einsatz für die chirurgische Ausbildung bisher nicht tragbar. Moderne generative Verfahren wie das Additive-Layer-Manufacturing könnten dies entscheidend ändern. Das Institut ISTT beschäftigt sich mit der Integration dieser modernen Verfahren in die Simulatorherstellung um erstmals realitätsgetreue, kosteneffiziente Kunststoffsimulatoren auf dem Markt anzubieten.



Generative Verfahren für medizinische Simulatoren

Werner Korb, Tobias Pilic



Gefördert aus Mitteln
der Europäischen Union

Europa fördert Sachsen.



Europäischer Sozialfonds

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Leipziger Stiftung
für Innovation und
Technologietransfer

Chirurgie: altgriechisch

- (χείρ) *cheir* – „Hand“
- (ἔργον) *ergon* – „Arbeit“
- *wörtlich* – „Handwerker“



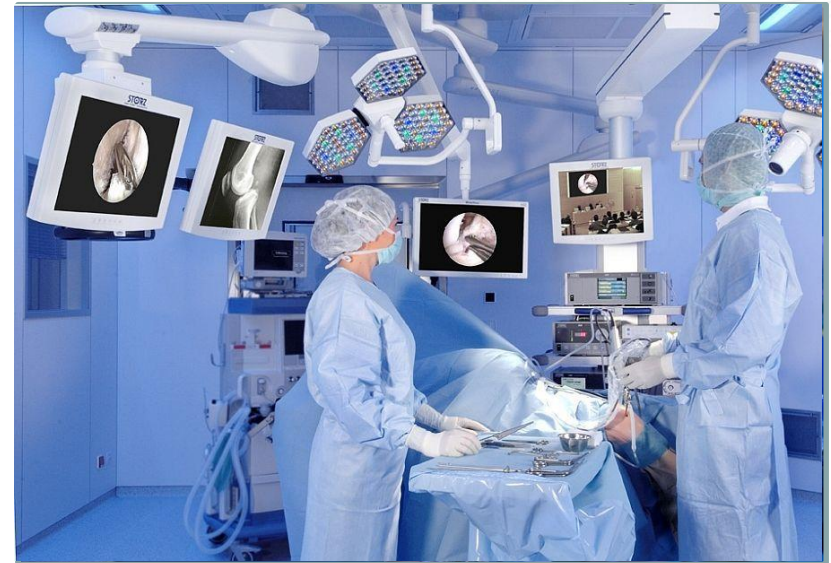
[<http://www.josephstift-dresden.de>]

Handwerk Chirurgie



[<http://www.tagesspiegel.de>]

Surgical Cockpit



[<http://www.openpr.de>]

➤ **Technischer Fortschritt**

➤ **Einsatz von Medizintechnik, Automation**

➤ **Komplexität und Lernaufwand**

➤ **Interaktionsaufwand, Benutzungsfehler**

Ausbildung von Chirurgen:

- Beginn nach Studium
- Dauer: z. zT. 6 Jahre
- 22% der Assistenzärzte erkennen keinen Aufbau in ihrer Weiterbildung ¹
- 63% der Assistenzärzte haben weniger als 3 Eingriffe p. W. ¹
- 20% weniger als 1 Eingriff ¹

Unzufriedenheit vs. Nachwuchsmangel ₂

Fortbildung von Chirurgen:

- Fortbildungskurse
- Learning by Doing
- Beobachtung → Assistenz → schrittweise Eigenständigkeit

Kein festes Kontingent für Fortbildung

¹ [Schröder et al. (2009). **Akquise von chirurgischem Nachwuchs was ist zu tun?**. Der Chirurg BDC, 03/2009]

² [World Congress on Surgical Training, Göteborg (2011)]



[<http://www.uni-tuebingen.de>]

[<http://www.flugzeugsimulator.com>]

Trainings-OP:

- Kunststoffmodell-Simulator
- VR-Simulator
- Wetlab
- Training an Tieren

Cockpit-Simulator:

- Mischung aus VR-, realen Instrumenten und realistischer, physikalischer Belastung



Probleme:

- Hohe Kosten (Entwicklungszeit, Material)
- Geringe Vielfalt an durchführbaren Eingriffen

Voraussetzungen für eine Lösung:

- Stark modularisierter Aufbau
- Standardisierung von Fertigungsprozessen
- Generierung von Lösungsansätzen / Binden von Experten
- Interdisziplinäres Entwicklerteam (mit Medizinerinnen)

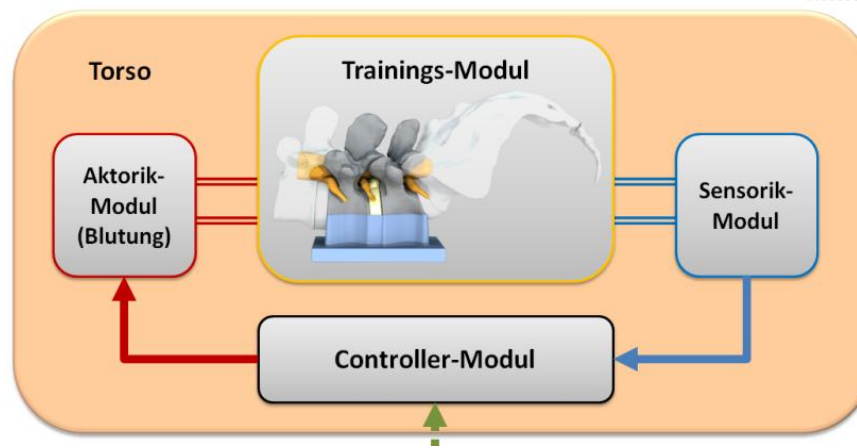
Probleme:

- Hohe Kosten (Entwicklungszeit, Material)
- Geringe Vielfalt an durchführbaren Eingriffen

Voraussetzungen für eine Lösung:

- Stark modularisierter Aufbau
- Standardisierung von Fertigungsprozessen
- Generierung von Lösungsansätzen / Binden von Experten
- Interdisziplinäres Entwicklerteam (mit Medizinern)

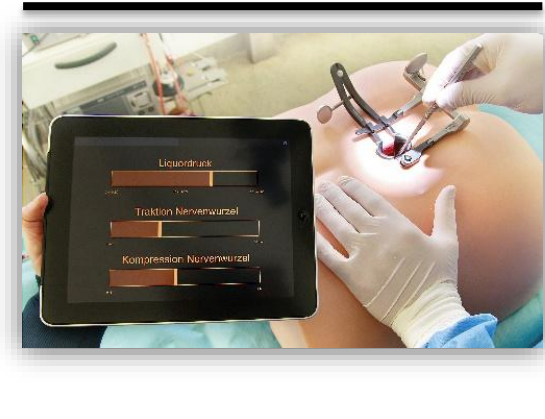
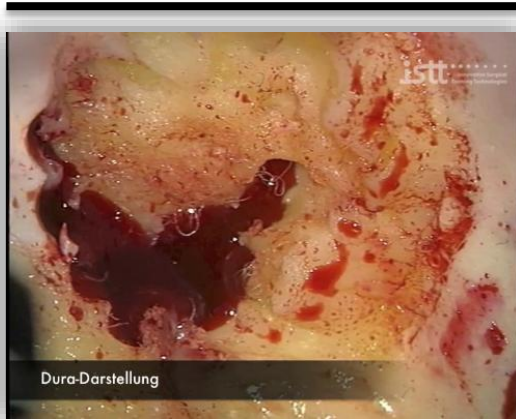
Additive Layer Manufacturing



AKTORIK

MODELL

SENSORIK

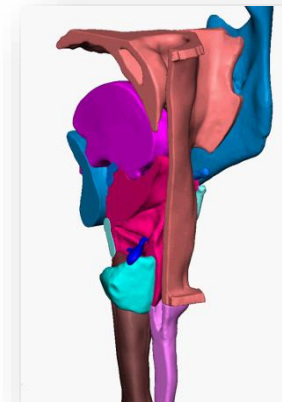


REALISMUS

FEEDBACK

PascAL = Patientensimulationssysteme für die chirurgische Ausbildung und Lehre

Entwicklung eines Trainings- und Simulationssystems für die
Panendoskopie



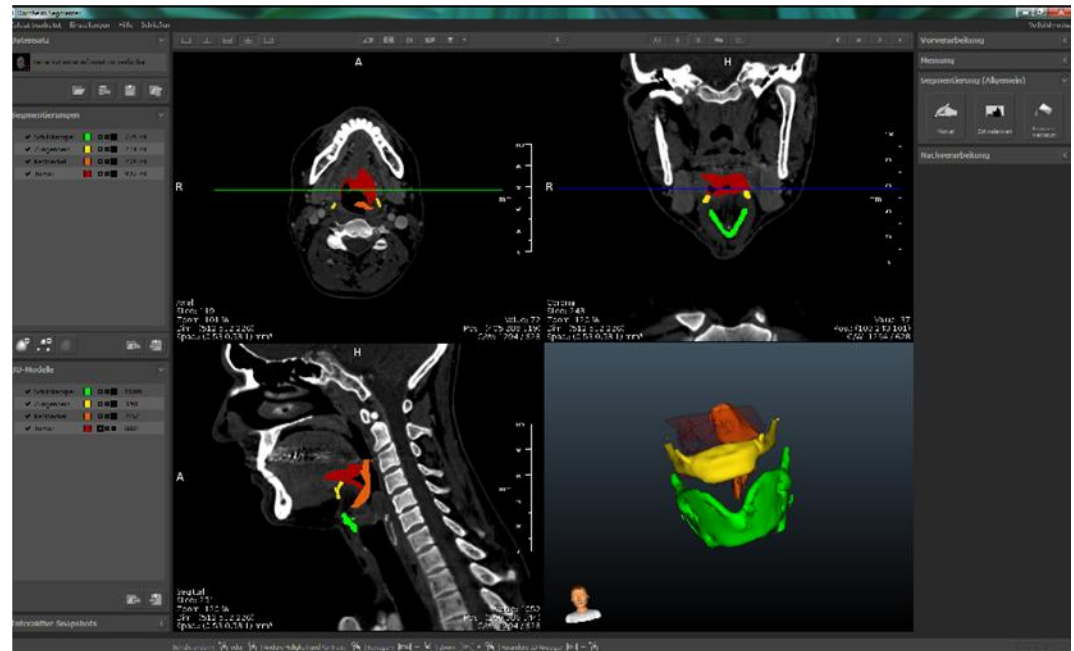
**Auswahl einer Standard-
Geometrie des Kopf-Hals-
Bereiches**

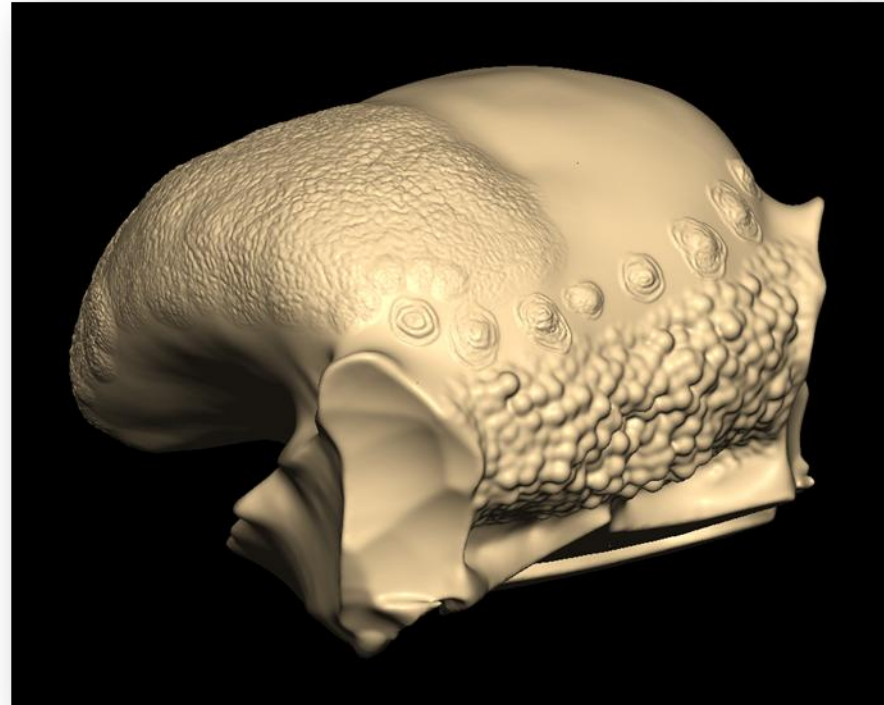
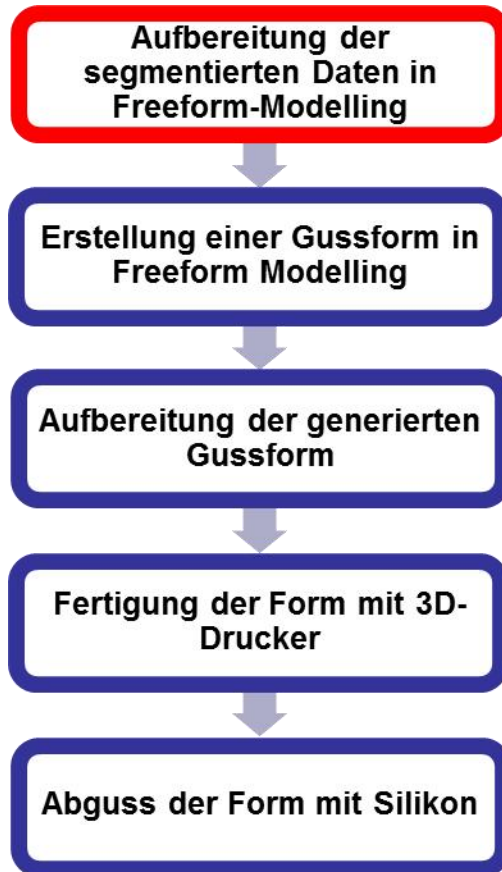


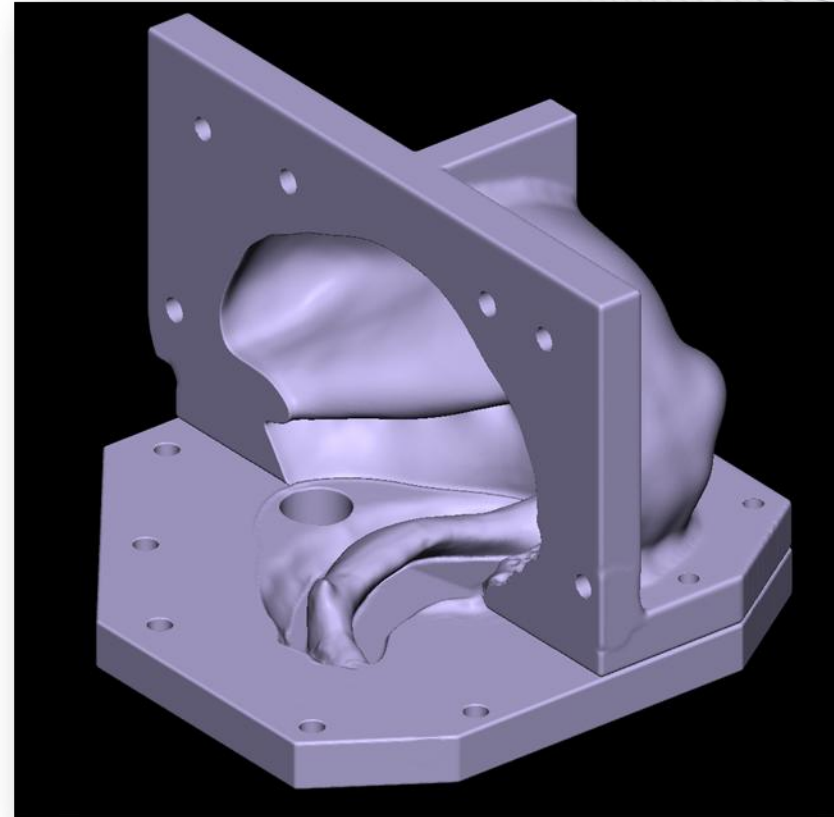
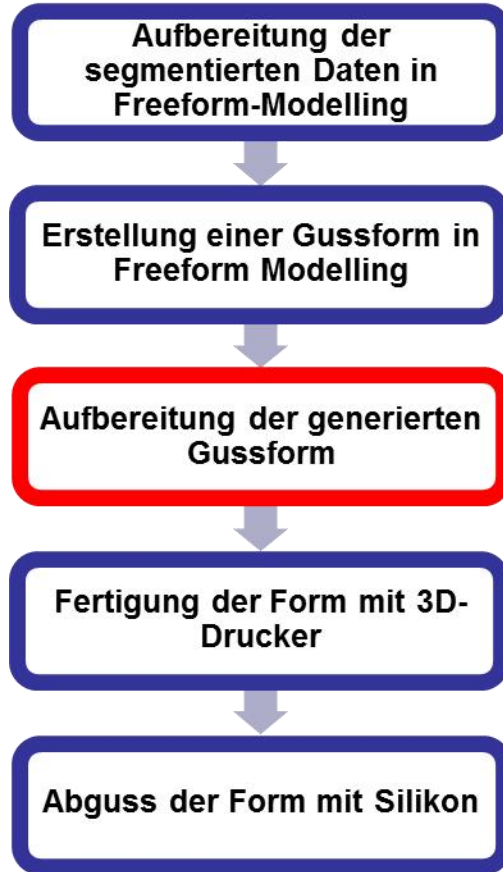
**Auswahl des Tumors nach
didaktischen
Gesichtspunkten**

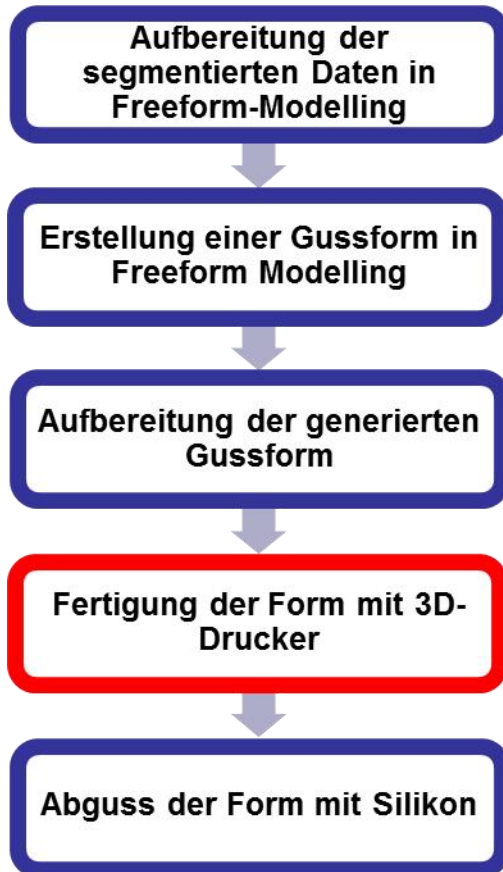


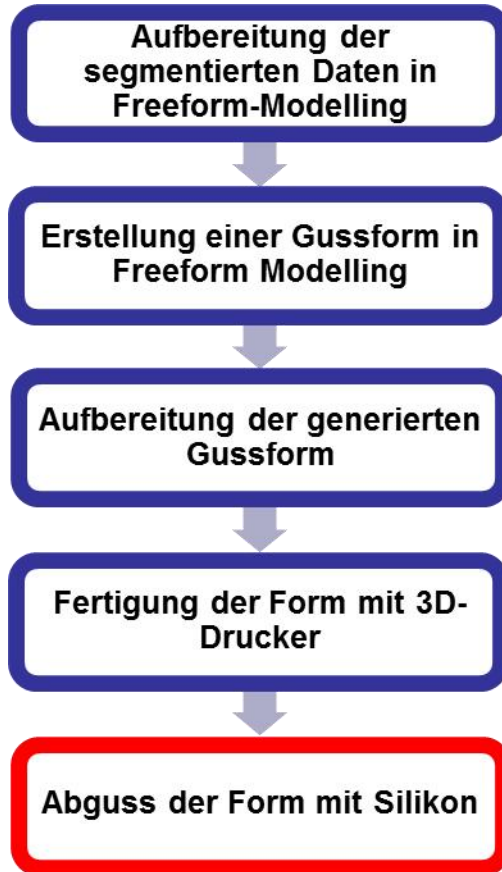
**Manuelle Segmentierung
der einzelnen Strukturen
mittels Dornheim
Segmenter**

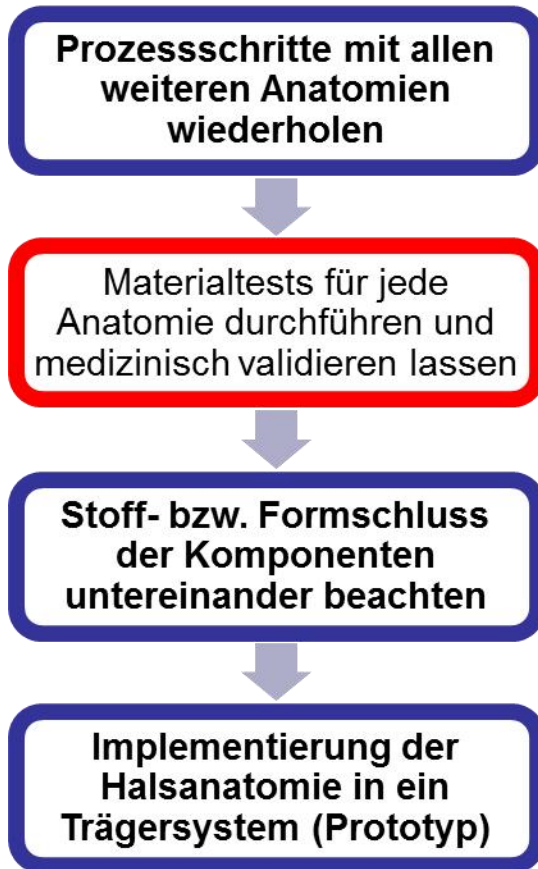




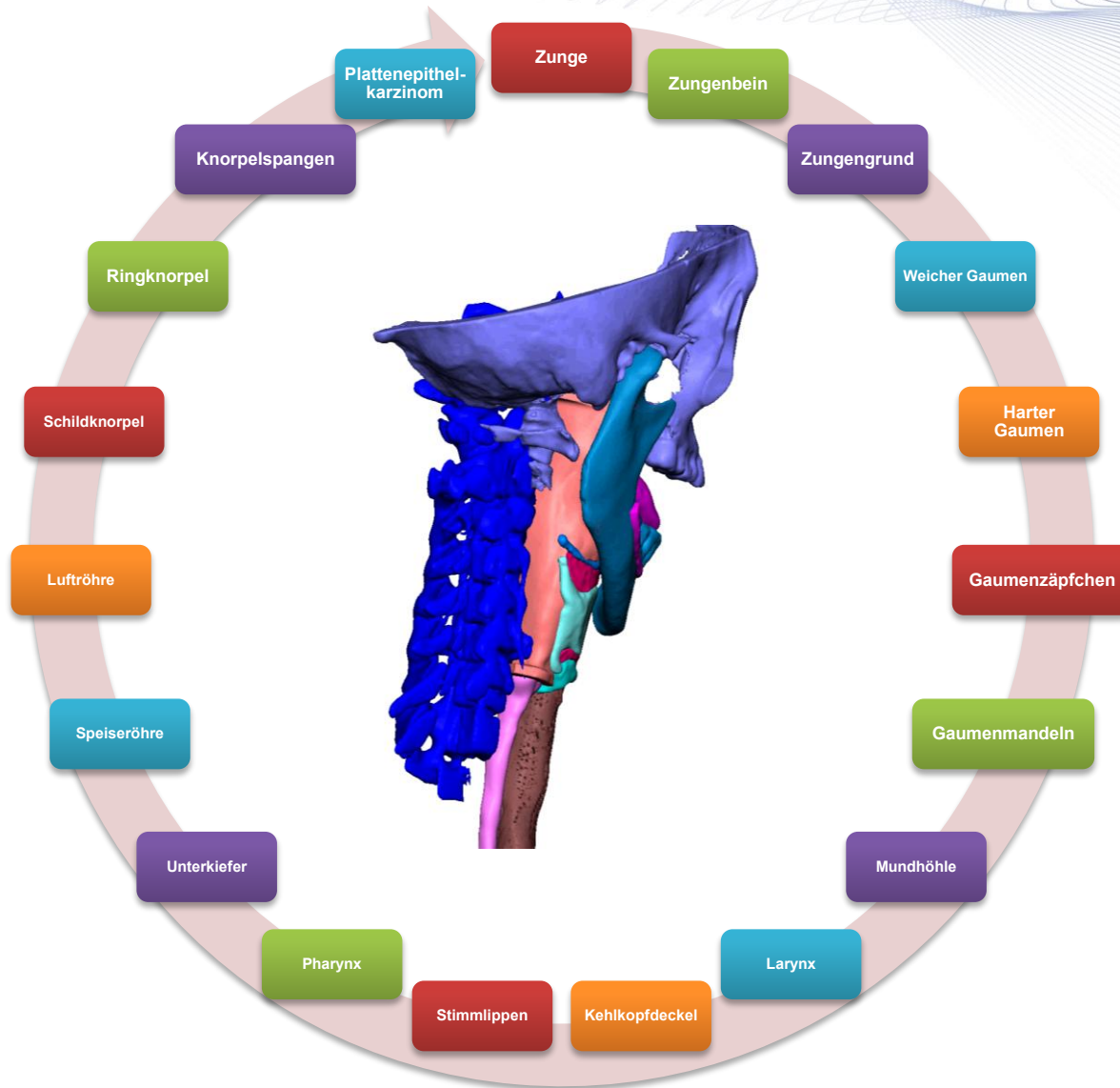








Prozesskette von der OP-Visitation zum Prototyp (4)



Generative Verfahren ermöglichen:

- Etablierung eines Marktes für Simulatoren
- Ggf. Kostensenkung
- Durchführung reproduzierbarer klinischer Studien
- Abbildung eines größeren physiologischen Bereiches
- Reduktion Time-to-Market

Chirurgisches Training bedeutet:

„Ein Schritt nach dem anderen...“



[peshkova - Fotolia.com]



Prof. Henning Rambow diparch (GB)

geb. 1962 in Wiesbaden

Studium der Architektur

1983-1985 Hannover

1985-1989 GB-Sheffield

1985 - 1986 und 1987-1989 Mitarbeit GABLE CAD Systems Ltd., GB-Sheffield

1986-1987 Covell Matthews Wheatley Architects GB-London

1989-1993 Ian Ritchie Architects GB-London

1993-1996 Ian Ritchie Architects Leipzig, Projektleitung Glashalle Neue Messe Leipzig

gebaute Projekte (Auswahl)

Ecole Maternelle F-Daours (mit Ian Ritchie Architects)

Bermondsey Station GB-London (mit Ian Ritchie Architects)

Glashalle und Glasbrücken der Leipziger Messe (mit Ian Ritchie Architects und gmp Architekten

Volkwin Marg)

Stampflembau Kulturscheune Börtewitz, Leisnig

Amt für Bodenmanagement, Korbach

Zentrum für Bucherhaltung, Leipzig

seit 1995 Professur für Computerunterstütztes Entwerfen und Architekturanimation HTWK Leipzig

Lehre und Forschung

Digitale 3D-Modell/Virtual Building/Building Information Modelling in der Entwurfslehre seit 1994

3D-Drucktechniken und numerisch gesteuerte Modellbautechniken seit 2004

Parametric Design Workshops Leipzig I-IV seit 2009

Forschungsprojekte gefördert durch Bundesministerien

3D-Verformung Lagenholz

Umformtechniken

Dünnschichtige elektrische Fußboden- und Flächenheizungen

Statisch, Parametrisch, Dynamisch - Integration von kostengünstigen 3D-Drucktechniken in den architektonischen Entwurfsprozess

Architekturmodelle werden seit der Antike, spätestens aber im Zusammenhang mit der Entdeckung der Perspektive und der damit einhergehenden Entwicklung des räumlichen Verständnisses im 15. Jahrhundert genutzt. Leon Battista Alberti verweist vielfach auf die Notwendigkeit, neben den Zeichnungen auch Modelle zur Darstellung von Gebäudeentwürfen zu erstellen.

Handelt es sich zu dieser Zeit häufig um Präsentationsmodelle, so werden mit Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts zunehmend auf sogenannte „Arbeitsmodelle“ gebaut. Diese Modelle dienen dem Entwerfer selber zur Überprüfung von Entwurfsentscheidungen und sind nur für den temporären Gebrauch gedacht. Sie sind das dreidimensionale Äquivalent einer Skizze.

Arbeitsmodelle können aus den verschiedensten, meist preisgünstigen und leicht zu verarbeitenden Materialien bestehen. Oft verdeutlichen sie in ihrer Abstraktion gewisse charakteristische Aspekte eines Entwurfes und blenden Detail und Materialität aus. Bei komplexen Formen erfordern sie einen teilweise hohen Arbeitsaufwand.

Die leichte Verfügbarkeit von zweidimensionalen Abbildungen digitaler Gebäudemodelle hat das physische Modell nicht obsolet gemacht. Die Möglichkeit das Modell eines Gebäudes in der Hand zu halten, zu drehen, zu ergänzen oder zu bearbeiten, macht es weiterhin zu einem notwendigen Werkzeug.

Der Traum, ein virtuelles Modell „auf Knopfdruck“ in ein physisches verwandeln zu können, scheint mit der Verfügbarkeit von kostengünstigen 3D-Druckern wahr geworden zu sein. Parametrische Software erlaubt die Entwicklung einer Vielzahl von Varianten, die jetzt auch am physischen Modell überprüft werden könnten.

Um Modelle druckbar zu machen oder den Druck zu optimieren, müssen die Bewegungsabläufe beim Druckprozess verstanden werden. Bei Fräsprozessen oder Industrierobotern, die zukünftig verstärkt zur Herstellung von Arbeitsmodellen genutzt werden, trifft dies noch stärker zu.

Der Architekt, der so seine Modelle baut, wird sich anders und intensiver mit der Bewegung in den von ihm geschaffenen Räumen auseinandersetzen. Eine dynamische Perspektive.



Bernd Schröder (59)

Selbstständig als Industrial Designer in Leipzig tätig,
Gründer von SCHRÖDER DESIGN.

Fast 1000 Projekte haben das Designstudio seither durchlaufen,
davon 22% Produktdesign, 50% Grafik- und Interfacedesigns, 15% Designs für Bücher und
10% Kooperations- und Forschungsprojekte.

Seit 1998 Einsatz von 3D CAD und der STL Schnittstelle für Rapid Prototyping.

Zur Person:

Studium an der Hochschule für Bildende Künste (HBK) in Braunschweig und dem
Institut für Angewandte Industrielle Künste (I.S.I.A.) in Florenz,

Tätigkeiten in der VW Designabteilung und Start-up der TU-Braunschweig als
wissenschaftlichen Mitarbeiter 1990,

Umzug nach Leipzig 1993.

Ehrenamt:

Leiter des 1. Arbeitskreises Industriedesign des Verein Deutscher Ingenieure,
VDI - Bezirksverein Leipzig und Sprecher des Verbandes Deutscher Industrie Designer
(VDID) in Mitteldeutschland.

Kontakt:

SCHRÖDER DESIGN,
Bernd Schröder Dipl.-Des.

Gerichtsweg 28

04103 Leipzig

Tel. +49 341 246106-0; Email schroeder@designs.de; Internet www.ideenformen.de

Rapid Prototyping im Industrial Design Prozess

Verstehen - Beobachten - Sichtweise definieren - Ideen finden - Prototypen entwickeln – Testen

Diese Prozessbeschreibung im Industrial Design ist die des wirtschafts- und produktionsnahen Designunternehmens Schröder Design. Von uns wird eine Wachstumssteigerung und Produkterfolg durch die Wirkung von Design erwartet. Gezeigt wird die Einhaltung der Prozessschritte am erfolgreichen Beispiel MetaMax 3 der Cortex Biotech GmbH.

Verstehen - Was ist Ergospirometrie? Es ist die Analyse des menschlichen Atemgases, auch unter Belastung.

Beobachten - Besonders wird die Anwendung in mobiler Form, d.h. bei Arbeitseinsätzen, im Sport oder in der Klinik.

Sichtweise definieren - wir haben die Körperform und Geräteanbringung betrachtet und sind auf Analogien wie Büstenhalter oder Pistolenholster gestoßen.

Ideen finden - Die Technik wurde geteilt und auf die beiden großen Brustmuskel verteilt, verbunden mit einem Kabel wie einem Schal, aufgesetzt auf einem neuartigen Gurtsystem

Prototypen entwickeln - Volumenmodell diente der Formfindung und 3D-Drucke der Bauteilintegration und Kollisionskontrolle. Stl-Daten für Urmodelle und Silikonformen sind Grundlage von Nullserie und Messepräsentation.

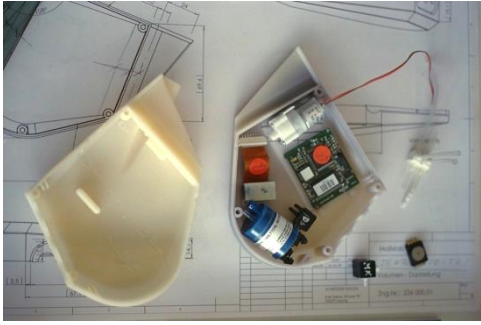
Testen – Das Messsystem wurde sowohl im Sport, als auch bei Arbeitseinsätzen, z.B. bei der Feuerwehr getestet. Auch im Alpinsport bzw. bei wissenschaftlichen Expeditionen im Himalaya wurden extreme Einsatzfälle untersucht. Video beim Einsatz der Himalaya Expedition 2013 <https://www.youtube.com/watch?t=61&v=-RSqena2KDE>

Modelle spielen von je her eine große Rolle im Industrial Design Prozess. In den Zeit vor 3D-CAD und Rapid Prototyping waren manuell gefertigte Modelle üblich. Diese zeigten das Volumen, die Proportionen und wurden durch Modellbauer oder den Designer selbst erstellt. Automobile werden auch heute noch trotz Einsatz von 3D-CAD, Fläche A-Modellern immer noch in "Clay" manuell geformt, anschließend gescannt und im digitalen Workflow weiterbearbeitet.

Ein sehr pragmatischer Ansatz, warum Rapid Prototyping im Industrial Design eingesetzt wird, sind fehlende Kapazitäten beim Modellbau. Ein 3-dimensionales Modell ist nicht durch Computerrenderings zu ersetzen. Nicht ohne Grund arbeiten die größten RP-Anlagen z.B. bei Materialise in Belgien bis zu einer Größe von ca. 3 Metern, eben der Größe eines Armaturenbretts oder einer Stoßstange.

Modelle sind aber die physikalische Visualisierung, die Anfassbarkeit und Betrachtung von Ideen bzw. Entwürfen, die den digitalen Entwurfsprozess durchlaufen haben. Somit sind Rapid Prototypingmodelle auch die Denkmodelle des Industrial Designers.

Bernd Schröder, Leipzig den 11.05.2015



3D-Druck
Quelle: Bernd Schröder



Volumen – Modell
Quelle: Bernd Schröder



Produktfoto-
Quelle: Cortex-Biophysik GmbH



Prototype
Quelle: Cortex-Biophysik GmbH



Dirk John

Geboren: 26.10.1963

Verheiratet, 2 Kinder

Studium: TU Ilmenau von 1988 bis 1993,

Abschluss: Dipl.-Ing. Elektrotechnik

Firmengründung: 1993

Seitdem Geschäftsführer,

zahlreiche Vorträge zum Thema 3D-Visualisierung von CAD- und GIS-Daten

Regelmäßige Teilnahme an Ausstellungen und Messen

3D- Druck von Landschaftsmodellen - Datengrundlage, - aufbereitung und - weitergabe

John, Dirk
Geschäftsführer der
Software- Service John GmbH
Oehrenstöcker Str. 39
98693 Ilmenau
www.vis-all.de

Ein weites Feld des 3D-Druckes ist die Herstellung von Landschaftsmodellen, Architekturplanungen oder kompletten Stadtmodellen. Vor allem bei der Bürgerbeteiligung während eines Planungsprozesses spielen haptische Modelle von digitalen Plänen eine große Rolle, da selbst der Laie dadurch in der Lage ist, die Ideen des Ingenieurs zu verstehen.

Der Vortrag beschreibt, welche Datenquellen derzeit zur Verfügung stehen, wie diese Daten aufbereitet, veredelt und mit anderen Quellen kombiniert werden können. Neben der Erzeugung von druckfertigen Objekten werden die Möglichkeiten der digitalen Weitergabe der Daten zur Nutzung in Behörden, öffentlichen Einrichtungen und im privaten Bereich aufgezeigt.



Haptisches Modell des Marktplatzes von Haldensleben



Visualisierung der Planung Stuttgart, Tübinger Straße (im Auftrag der Dr. Ing. Heinrich GmbH)

3D-Druck von Landschaftsmodellen - Datengrundlage, -aufbereitung und -weitergabe

John, Dirk
Geschäftsführer der
Software- Service John GmbH
Oehrenstöcker Str. 39
98693 Ilmenau
kontakt@john-software.de
www.vis-all.de

Ein weites Feld des 3D-Druckes ist die Herstellung von Landschaftsmodellen, Architekturplanungen oder kompletten Stadtmodellen.

Vor allem im Planungsprozess sowie bei Bürgerbeteiligungen spielen haptische Modelle von digitalen Plänen eine immer größer werdende Rolle, da selbst der Laie dadurch in der Lage ist, die Ideen des Ingenieurs zu verstehen.

Der Vortrag beschreibt, welche Datenquellen derzeit zur Verfügung stehen, wie diese Daten aufbereitet, veredelt und mit anderen Quellen kombiniert werden können. Neben der Erzeugung von druckfertigen Objekten beschreibt der Artikel Möglichkeiten der digitalen Weitergabe von Daten in Standardformaten zur Nutzung in Behörden und im privaten Bereich sowie als Grundlage von weiteren Planungsszenarien.

1. Arten und Anwendungen von Landschaftsmodellen

Neben der Touristeninformation und der Wissensvermittlung in Museen nutzen öffentliche Verwaltungen haptische 3D-Darstellungen zur Visualisierung von Planungsvorhaben, denn nicht erst seit Stuttgart 21 fordern die Bürger ein immer stärkeres Mitspracherecht bei der Planung von öffentlich relevanten Projekten ein. Jeder Vorhabensträger ist daher verpflichtet, die betroffene Bevölkerung über die Planung zu informieren [1] und das bereits in frühen Planungsphasen.

Zur Erstellung von Visualisierungen gibt es eine Vielzahl an spezialisierten Dienstleistern, die hochgradig realistische 3D-Visualisierungen erzeugen. Da aber gerade in frühen Planungsphasen der Entwurf selten in der notwendigen Informationsdichte vorliegt, um eine aussagekräftige Visualisierung zu erstellen, ist die Abstimmung mit dem Visualisierungsdienstleister für den Planer sehr zeitaufwändig. Der wesentlich effizientere Weg ist, dem Planer selbst ein „Zeichenwerkzeug“ in die Hand zu geben, mit dem er den Entwurf selbst anhand der bereits erzeugten Daten visualisieren kann, ergänzt mit dem Hintergrundwissen, das nur ein Fachplaner besitzt.

VIS-All® 3D bietet dem Fachplaner die Möglichkeit, möglichst automatisiert Visualisierungen anhand seiner Planungsdaten zu erzeugen, Simulationen durchzuführen und anschließend sein Projekt zu veröffentlichen. Neben der Präsentation mittels digitaler Medien, die mit immensem Verbreitungsgrad in sehr geringer Zeit punktet, sind die Vorteile eines realen, physikalischen 3D-Modells in der intuitiveren und direkteren Informationsvermittlung zu sehen, da keine „Werkzeuge“ wie Bildschirm und entsprechende Navigationsbefehle benutzt werden müssen. Die sinkenden Produktionskosten ermöglichen dem traditionellen physischen Modell zudem ein Come-Back.

Geländemodelle werden üblicherweise als Relief gedruckt, deren Oberfläche mit einer farbigen Abbildung und Beschriftungen versehen wird. Diese Darstellung wurde aus dem klassischen manuellen Modellbau übernommen [2]. Ggf. können neben dem reinen Geländeverlauf auch

Gebäude und Bewuchs dargestellt werden.

Zum Vergleich mehrerer Varianten können einzelne Teile des Modells beweglich gestaltet und somit ausgetauscht werden. Um den Informationsgehalt weiter zu erhöhen, werden immer öfter Installationen eingerichtet, bei denen auf ein weißes 3D-Modell mittels speziellem Projektor wechselnde Bilder projiziert werden.

Leichter und transportabler als massive Modelle sind Foliendrucke, in die die 3D-Information geprägt wird (Folientiefziehverfahren).

2. Datengrundlagen und -quellen

Zur schnellen und effizienten Erzeugung einer 3D-Visualisierung wird zunächst die umgebende Landschaft und Bebauung aus Bestandsdaten generiert.

Das **Geländere relief** kann über das digitale Geländemodell (DGM) und dem entsprechenden Orthofoto abgebildet werden. Diese Geobasisdaten stehen beispielsweise beim jeweiligen Landesvermessungsamt zur Verfügung. Je nach Genauigkeitsanforderung bieten auch andere Quellen Geobasisdaten an, wie beispielsweise die NASA, OpenStreetMap oder auch privatwirtschaftliche Anbieter [3].

Zur Abbildung der **Bebauung** kann in vielen Fällen auf bereits vorhandene 3D-Gebäudemodelle im City-GML-Format zurückgegriffen werden. Diese sind in den Bundesländern in unterschiedlichen Detailisierungsgraden verfügbar. Sachsen beispielsweise bietet flächendeckend die Gebäude als LOD2 an, das heißt, es kann die komplette Gebäudekubatur mit Dachinformationen abgebildet werden. In Sachsen-Anhalt hingegen ist die Bebauung als LOD1 (Klötzchenmodell) erfasst worden. Natürlich können auch ALK- bzw. ALKIS-Daten für die Erzeugung eines schematischen Klötzchenmodells herangezogen werden.

Die Abbildung der Landschaft und der Bebauung stellt das 3D-Grundmodell dar, das anschließend um die fachspezifischen Informationen ergänzt werden kann, die je nach Anwendungsfall variieren können:

Für eine innerstädtische Visualisierung ist meist die Integration von **topografischen Informationen** aus der Vermessung unerlässlich, wofür VIS-All® 3D eine Vielzahl an fertigen 3D-Stadtmöblierungsobjekten (Bepflanzung, Sitzbänke, Straßenbeleuchtung) in einer umfangreichen 3D-Bibliothek zur Verfügung stellt.

Auch unterirdische Informationen wie **Ver- und Entsorgungsanlagen** aus GIS-Verwaltungssystemen können integriert werden, um zur Verfügung stehende Bauräume oder sonstige Tiefbaumaßnahmen zu verdeutlichen.

Oftmals werden auch **Flächeninformationen** zu raumordnerisch- oder umweltschutzrelevanten Gebieten benötigt. Diese sind zum Beispiel mit Hilfe der direkten Kopplung zwischen ArcGIS und VIS-All® 3D unproblematisch in das 3D-Grundmodell migrierbar. Einzelne Daten können bereits über WMS- und WFS-Dienste abgerufen werden wie beispielsweise der Geoproxy-Dienst des GDI-Thüringen.

In das fertige 3D-Bestandsmodell können nun die virtuellen Planungsdaten integriert werden. Dies kann entweder direkt aus dem CAD-Entwurfsprogramm erfolgen (z.B. STRATIS, ArcGIS) oder über eine der vom VIS-All® 3D angebotenen Schnittstellen.

So können beispielsweise Architekturmodelle problemlos in das 3D-Modell integriert werden. Die Visualisierung eines neuen Erschließungsgebietes kann die Kaufentscheidung der zukünftigen Eigenheimbesitzer entscheidend unterstützen [4].

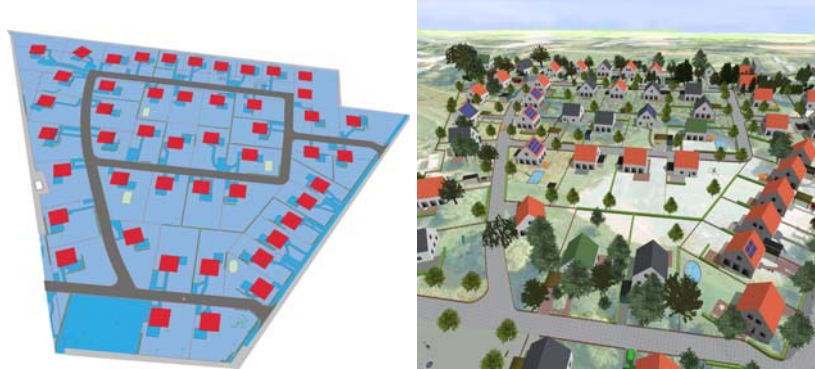


Bild 1: Planungsunterlagen (links) und Visualisierung (rechts) eines Erschließungsgebietes (Quelle: ÖbVI Meyer, Taucha)

Im gegenteiligen Anwendungsfall können in Stadtgebieten, in denen der demographische Wandel einen Rückbau der Bebauung notwendig macht, einzelne Gebäude ausgeblendet oder reduziert dargestellt werden, um die zukünftige Wohnumgebung inklusive veränderter Schattenwirkungen und Sichtbeziehungen zu simulieren.

Um dem Bürger die Orientierung innerhalb des 3D-Modells zu erleichtern, hat sich das Texturieren von Gebäudefassaden bewährt. VIS-All® 3D liefert einen eigenen Textureditor zum Entzerren der Fassadenfotos und Mappen auf das LOD2-Modell. Ergänzend dazu können Objekte aus 3D-Modellierungsprogrammen wie beispielsweise SketchUp der Firma TRIMBLE oder dem Open-Source-Werkzeug Blender integriert werden [5].



Bild 2: Visualisierung der geplanten innerstädtischen Verkehrsraumgestaltung (Quelle: Dr. Ing. Heinrich GmbH, Waiblingen)

3. Aufbereitung der Daten für den 3D-Druck

In der Datenaufbereitung für den Druck wird das Modell den Druckanforderungen angepasst. Dazu zählen das Erzeugen eines geschlossenen Volumenkörpers und die Aufteilung des Modells in einzelne, druckbare Kacheln. Filigrane Geometrien wie Gebäudeteile oder Stadtmöbel werden entweder in ihrer Kubatur verstärkt oder entfernt, um sie nachträglich einzufügen.

Neben den geometrischen Anforderungen des Druckers sind meistens auch Anforderungen aus Anwendersicht zu berücksichtigen. So werden großräumige Landschaftsmodelle in der Regel überhöht dargestellt, ggf. auch mit gestaffelten Überhöhungsabschnitten, um die Geländebewegung plastischer darzustellen. Hingegen muss bei Modellen mit starken Höhenbewegungen sichergestellt werden, dass Beschriftungen nicht verdeckt werden.

Die aufbereitete Geometrie wird abschließend in ein kompatibles Datenformat wie VRML konvertiert.

Durch die sinkenden Kosten für die Druckerzeugung wird die Verwendung von physischen 3D-Modellen in der Öffentlichkeitsarbeit und Bürgerbeteiligung immer attraktiver. Mit VIS-All® 3D erhält jeder Fachplaner ein Werkzeug, um seinen eigenen Entwurf dreidimensional zu visualisieren und druckreif aufzubereiten.

Da im digitalen Zeitalter immer mehr Informationen online verbreitet werden, bietet VIS-All® die ideale Ergänzung in Form von:

- 3D- PDF- Schnittstelle,
- Filmerstellung,
- VRML- Export,
- City-GML- Export,
- DXF / DWG- Export,
- Google- Earth Export,
- und diversen weiteren Daten- Schnittstellen.

Dadurch ist der Kunde in der Lage, öffentlichkeitswirksam seine Projekte darzustellen und die betroffenen Bürger frühzeitig in die Planungsdiskussion einzubeziehen.

- [1] [BMVBS12] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Handbuch für eine gute Bürgerbeteiligung – Planungen von Großvorhaben im Verkehrssektor, 2012.
- [2] Pusch, Wolfgang: „Landschaftsmodelle - Gebirgsreliefs“ www.bergmodelle.de 2014
- [3] Thalmann, T: Wo gibt's die Daten. gis.BUSINESS 5/2012.
- [4] Karl-Gruppe, RIB-Software: Entscheidung zum künftigen Eigenheim. Business Geomatics 1/2013.
- [5] Hink, H: Eintauchen in 3D. c't 2012

Prof. Dr.-Ing. Jens Bliedtner



Arbeits- bzw. Lehrgebiet Fertigungstechnik und –automatisierung, Optiktechnologie

Berufliche Tätigkeiten

1989 – 1995 wiss. Assistent, Friedrich-Schiller-Universität Jena
1995 – 1997 wiss. Mitarbeiter, Demonstrationszentrum für das Bearbeiten neuer
1995 – 2000 Materialien Jena
1991 – 2000 wiss. Mitarbeiter, Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung GmbH Jena
1999 – 2000 Geschäftsführer, Ing. Büro für Lasertechnik Jena
ab 2000 Lehrbeauftragter an der Fachhochschule Jena, Professor (C3) an der
Fachhochschule Jena

Qualifikationen

1989 Diplomabschluss der Fachrichtung Gerätetechnik (FSU Jena)
1997 Promotionsabschluss zum Dr.-Ing. (FSU Jena)

Funktionen

2001 - 2003 Prodekan
2003 - 2006 Dekan
2003 - 2010 Studiengangsleiter Laser- und Optotechnologien
2003- Mitglied des Forschungsausschusses

Internationale Erfahrungen

Scientific DAAAM International Committee; Mitgliedschaft in
wissenschaftlichen internationalen Komitees

Mitgliedschaften in Organisationen, Aufsichtsräten

Deutscher Verband für Schweißtechnik und angewandte Verfahren;
Verband Deutscher Ingenieure

Sonstige Projekte

„LASER 2000-Erprobungs- und Beratungszentrum für KMU und
Handwerksbetriebe“ (BMBF-Projekt; 13N6841/2; Laufzeit: 01.02.1996-
31.01.1999, Stellvertr. Projektkoordinator Lasernetz Thüringen)

BMBF/TMWFK-Projekt: Modellversuch „Laser- und Optotechnologien“ FKZ:
M 164000. Laufzeit: 01.09.2002 – 31.06.2004

Patente 24 Patente (national und international)

Betreute Abschlussarbeiten

85 Bachelorarbeiten

126 Diplomarbeiten

47 Masterarbeiten

6 Promotionsarbeiten

Organisierte Veranstaltungsreihen

Jenaer Lasertagung

Mitteldeutsche Werkzeug- und Formenbautagung

Fertigungstechnisches Kolloquium

3D-Druck und Industrie

ABSTRACT

„3D-Druck von Polymeren – Möglichkeiten und Grenzen – Verfahren im Vergleich“

Bliedtner, J.¹; Schilling, M.²; Schilling, C.²; Möhwald, M.¹; Heineck, V.¹ und Bauch, U.¹

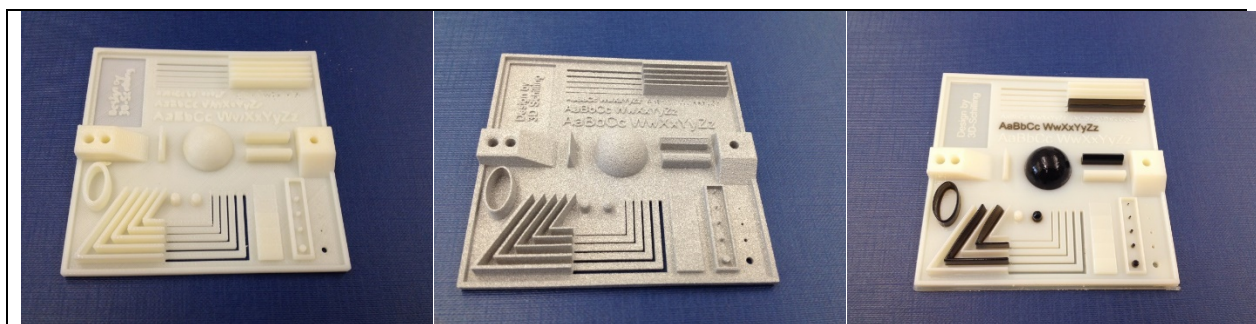
¹Ernst-Abbe-Hochschule Jena; ²Fa. 3D-Schilling, Sondershausen

Moderne Produktentwicklungsprozesse bestimmen zunehmend den schnellen Markteintritt von Produkten und ermöglichen die Senkung der Entwicklungskosten. Ein wichtiger Treiber für diesen Prozess sind die 3D-Druckverfahren.

Unter 3D-Druck (auch Rapid Prototyping oder additive Manufacturing genannt) versteht man die Herstellung von 3-dimensionalen Gegenständen durch das schichtweise Auftragen von Material. Diese Innovationstechnologie hat, vor allem im Sondermaschinenbau, Anlagenbau sowie der Automobilbranche, bereits etablierte Prozessketten verändert und entscheidend verkürzt.

Im Bereich des 3D-Druckes von Polymeren hat sich in den letzten Jahren eine Vielzahl von neuen Verfahrensentwicklungen etablieren können. Diese Verfahren lassen sich zumeist den vier Gruppen FDM - Fused Deposition Modeling; SLA – Stereolithografie; SLS – Selektives Laser Sintern und 3D-Druck – Objet Technologie zuordnen. In den durchgeführten Untersuchungen wurden diese Verfahren hinsichtlich der erreichbaren Genauigkeiten, Geometrieauflösungen sowie Bauzeit und Materialkosten analysiert und bewertet. Die Wahl des richtigen Verfahrens für die jeweilige Bearbeitungsaufgabe ist eine entscheidende Voraussetzung für die Realisierung einer wirtschaftlichen und effizienten Fertigung von Bauteilen und –gruppen.

Für die durchgeführte Verfahrensanalyse wurde eine spezielle Testgeometrie erarbeitet und an dieser die Möglichkeiten und Grenzen des jeweiligen Verfahrens aufgezeigt. Die u.s. Abbildung veranschaulicht die Umsetzung dieser Testgeometrie für drei gewählte Verfahren und Materialien.



a) b) c)
Verfahrensvergleich an einem Referenzbauteil. a) SLA-Verfahren, b) SLS-Verfahren, c) Objet-3D-Druck-Verfahren

Darüber hinaus erfolgten umfangreiche experimentelle Untersuchungen um das Potenzial des 3D-Druckes für den optischen Anwendungsbereich bewerten zu können. Ausgewählte optische Bauelemente konnten gedruckt, nachbearbeitet und mit speziellen Messverfahren bewertet werden.

Im Ergebnis der durchgeführten Untersuchungsschwerpunkte konnten für die eingesetzten Verfahren die Genauigkeitsbereiche, die verarbeitbaren Materialien sowie die Verfahrenskosten analysiert bzw. ermittelt werden. Die Auswahl eines geeigneten Verfahrens für die entsprechende Fertigungsaufgabe ist eine wichtige und grundsätzliche Entscheidung und muss in den meisten Fällen individuell getroffen werden. Ein Trend hin zu effizienten Verfahren sowie die Vergrößerung der einsetzbaren Materialpalette lassen weitere Anwendungsbereiche zukünftig erschließen. Die Finishbearbeitung der additiv gefertigten Bauteile bleibt nach wie vor jedoch zumeist ein aufwendiger Prozess. Für spezielle optische Bereiche, z.B. Beleuchtung oder Mikrostrukturen, ist der Einsatz der Verfahren des 3D-Druckes prinzipiell möglich. Durch die fehlende Homogenität der gedruckten Materialien sind standardoptische Anwendungen in Transmission mit den Qualitätsansprüchen der Präzisionsoptik derzeit jedoch noch nicht möglich zu fertigen.

Wir danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und der AiF Projekt GmbH für die finanzielle Unterstützung des Forschungsprojektes KF2156311AK2.

Vortragstitel

„3D-Druck von Polymeren – Möglichkeiten und Grenzen – Verfahren im Vergleich“

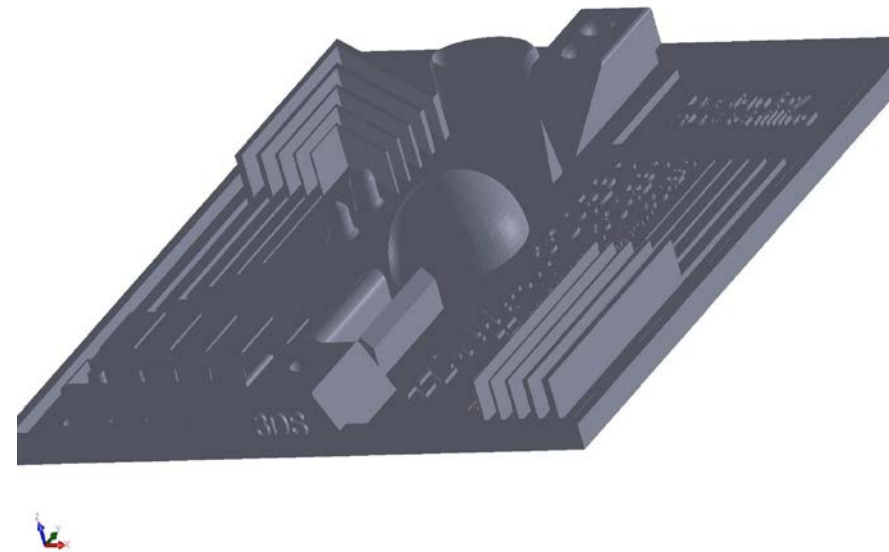
Martin Schilling, Christian Schilling

Jens Bliedtner, Volker Heineck, Michael Möhwald und Uwe Bauch



Vortragsgliederung

- ➔ Grundlagen zu den vier ausgewählten Verfahren
- ➔ Ergebnisse zu den ausgewählten Verfahren anhand eines Referenzbauteils
- ➔ Verfahrensvergleich
- ➔ Einsatzmöglichkeiten für optische Anwendungen
- ➔ Zusammenfassung



FDM - Fused Deposition Modeling

➔ **Verfahren mit niedrigen Investitions- und Materialkosten**

FDM – Verfahren

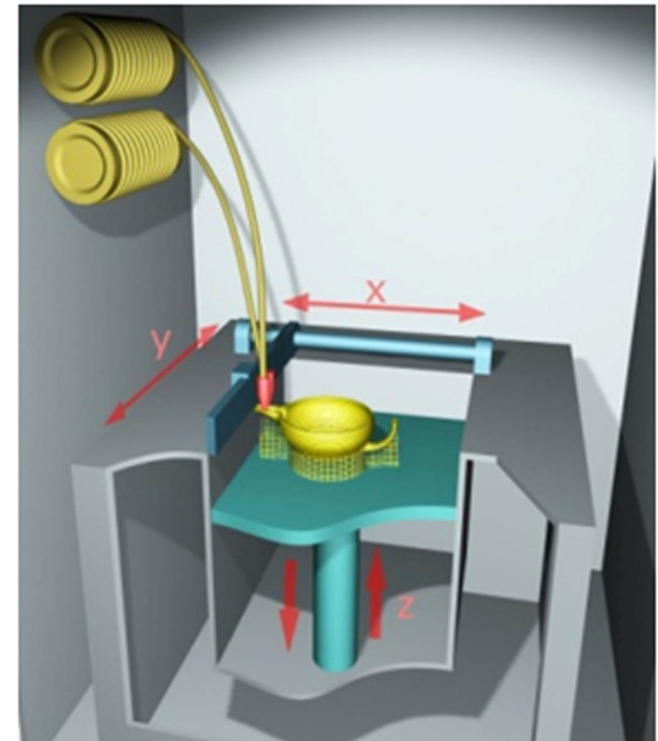
- sind die meist verbreitetsten 3D-Druck-Verfahren
- haben den Privatbereich für Teilaufbau erschlossen

Einfache, kostengünstige Maschinenteknik

- kein Einsatz von Laser
- kein Einsatz von Ablenkeinheiten
- Verzicht auf Kunststoffbad oder Pulverbett
- kontinuierliche Materialabscheidung

mehrere Materialien im Eingriff

- Verwendung von bekannten Kunststoffen
- Einsatz von verschieden farbigen Kunststoffen
- Kombination von diversen Kunststoffen



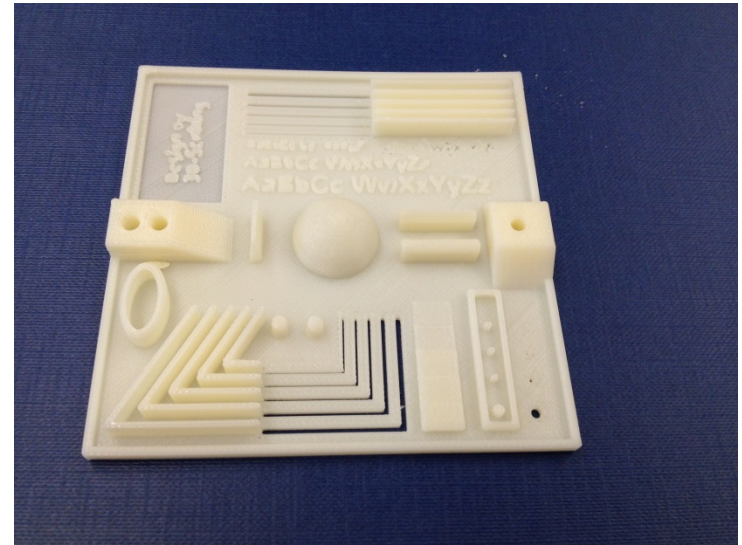
*Prinzip: FDM-Verfahren
(Fused **D**eposition **M**odelling)
Quelle:3D-Schilling*



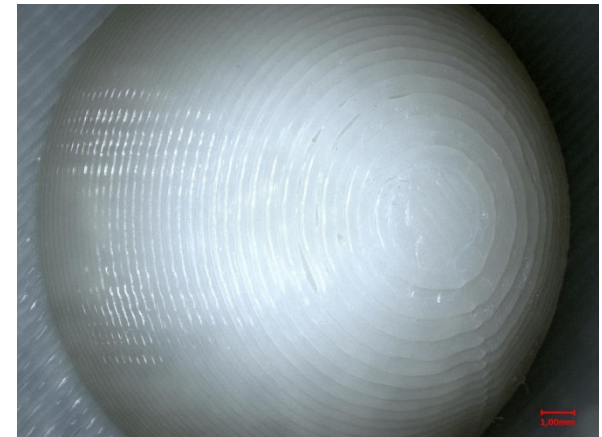
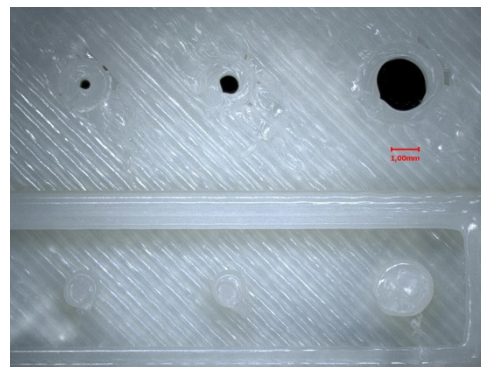
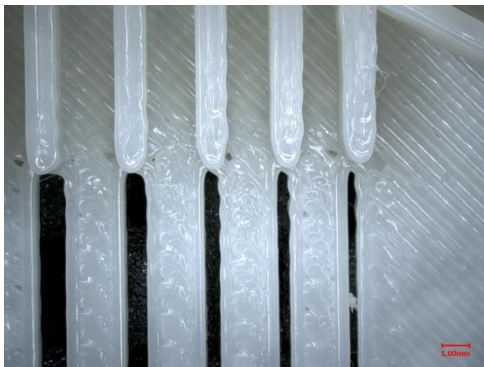
FDM - Fused Deposition Modeling

FDM – Verfahren

- **Maschinentechnik**
 - µPrint SE
 - Schichtstärke: 254 µm
- **Bauzeit**
 - 1h 45Min.
- **Material**
 - ABS Plus
 - Materialpreis: 32,50€



Material: ABS Plus



FDM - Fused Deposition Modeling

➔ **Verfahren mit niedrigen Investitions- und Materialkosten**

FDM – Verfahren

Einfluss auf die Genauigkeit:

- Positionierung der Düse
(Gewicht, Positioniersystem)
- Düsendurchmesser / Quellfluss des Materials
- Verarbeitungstemperatur Material
- Viskosität Material bei Verarbeitung
- Temperaturdifferenz Düsenaustritt / Bauraum
- Einhaltung Mindestabstand Bauplattform – Teil

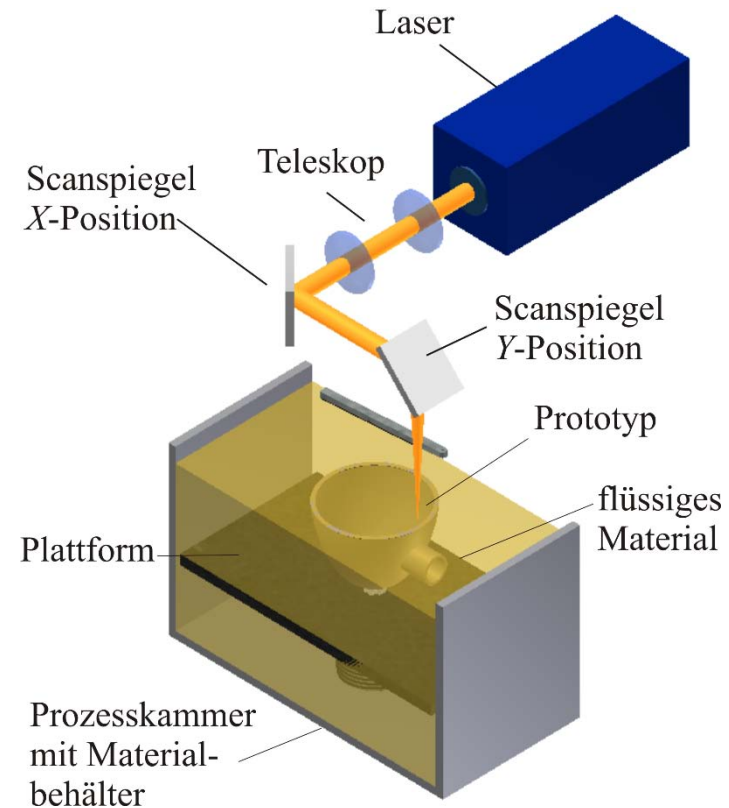


SLA - Stereolithografie

➔ Verfahren mit der am höchsten erreichbaren Genauigkeit

SLA- Verfahren

- Bauteilgenerierung aus der flüssigen Phase
- Einsatz eines UV-Lasers bis zu ca. 2W mittlerer Leistung
- Scannen der Schichtinformation mit einem schnellen Scansystem
- Strahlradieneinstellung erlaubt Borderscannen kombiniert mit schnellem Scannen der Hatches
- Die Schichtdickenwahl erfolgt zwischen **20 und 100 µm**
- Nachvernetzung erforderlich



Prinzip: SLA – Stereolithografie

Quelle: Bliedtner Müller, Barz: Lasermaterialbearbeitung
(ISBN: 978-3-446-42168-4)



SLA - Stereolithografie

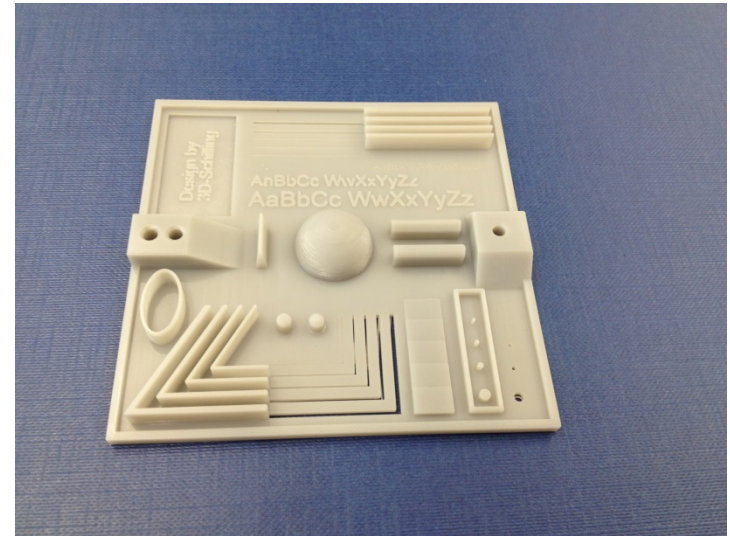
SLA – Verfahren

- Maschinentechnik

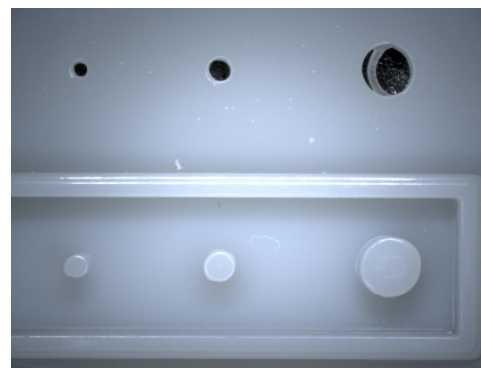
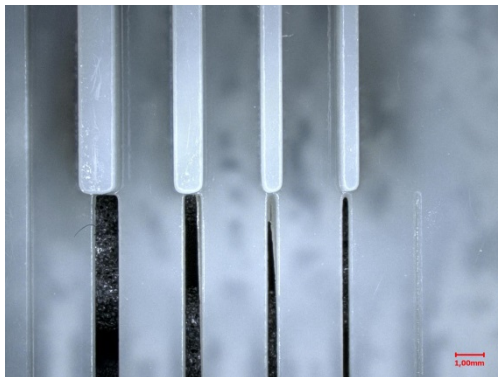
- SLA 350
- Viper
- Schichtstärke: 100 µm

-Materialien

- Accura ClearVue-
- Accura Si 60
- Accura Xtreme



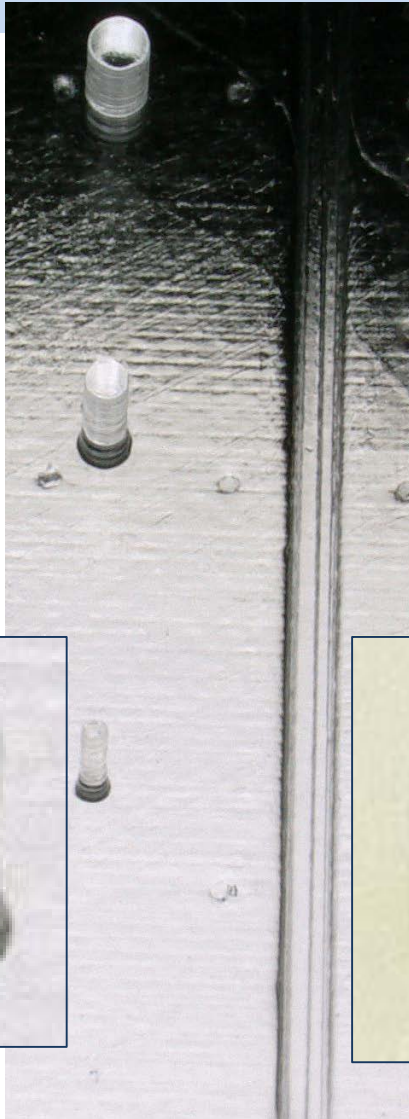
Material: Accura Xtreme



SLA - Stereolithografie

SLA
350

Material:
Clear Vue



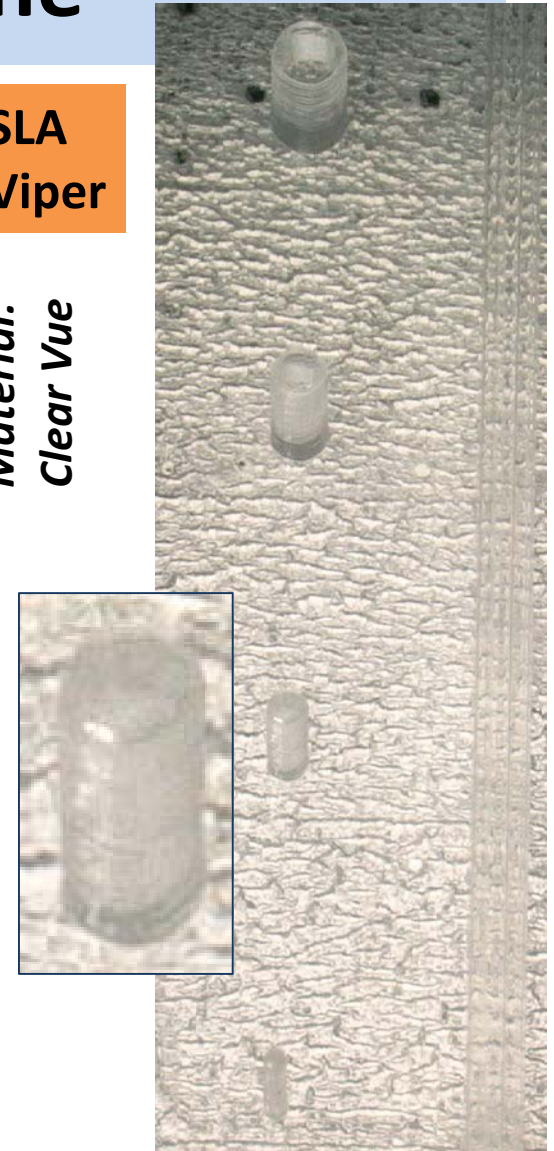
SLA
3500

Material:
Accura Extreme



SLA
Viper

Material:
Clear Vue



SLA - Stereolithografie

**SLA
350**

**Material:
Clear Vue**



Vergrößerung: X20.0

**SLA
3500**

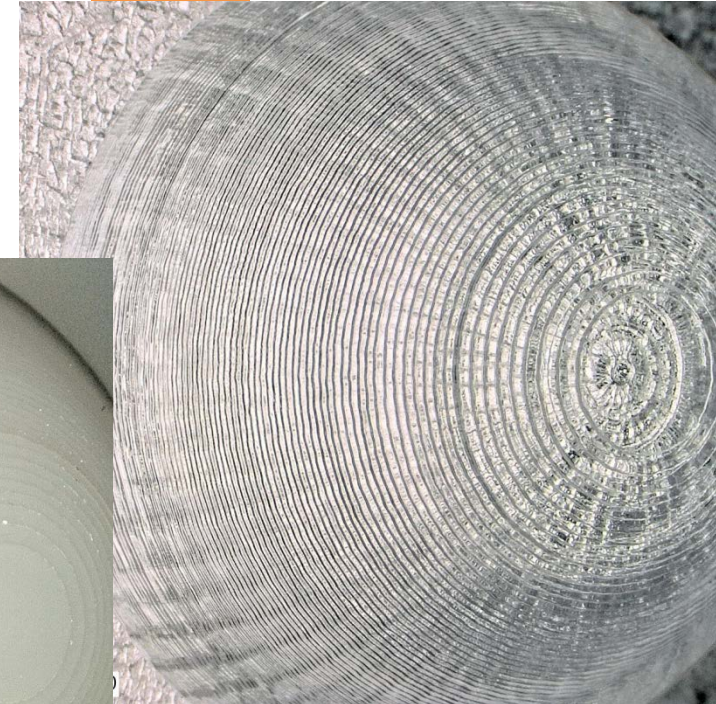
**Material:
Accura Extreme**



Vergrößerung: X20.0

**SLA
Viper**

**Material:
Clear Vue**



SLA - Stereolithografie



Einfluss auf die Genauigkeit:

Maschineneinfluss

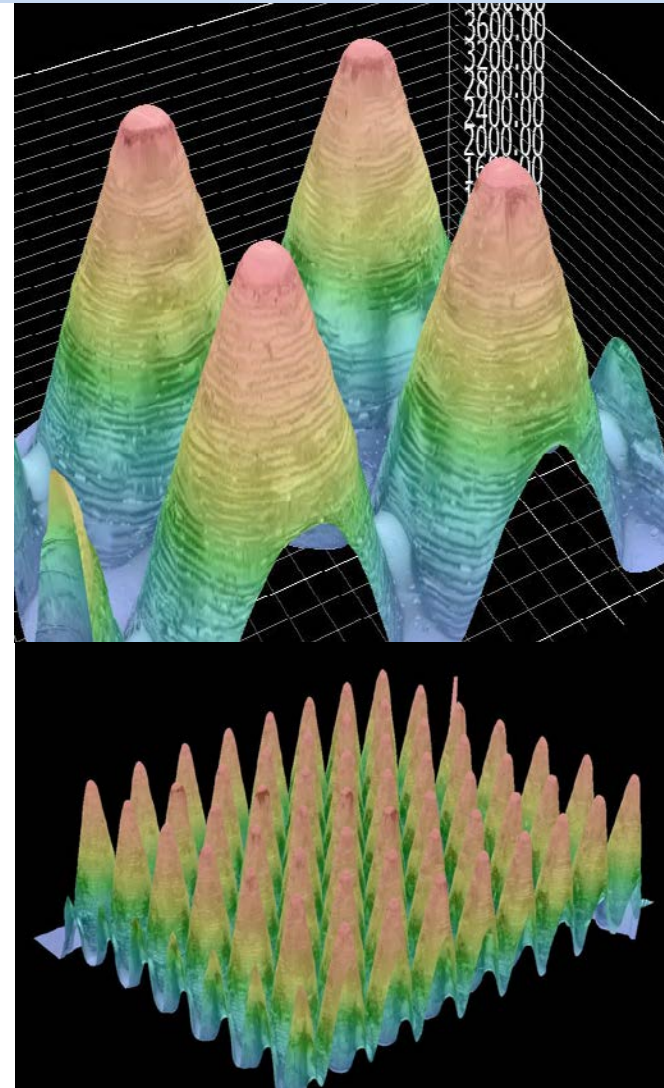
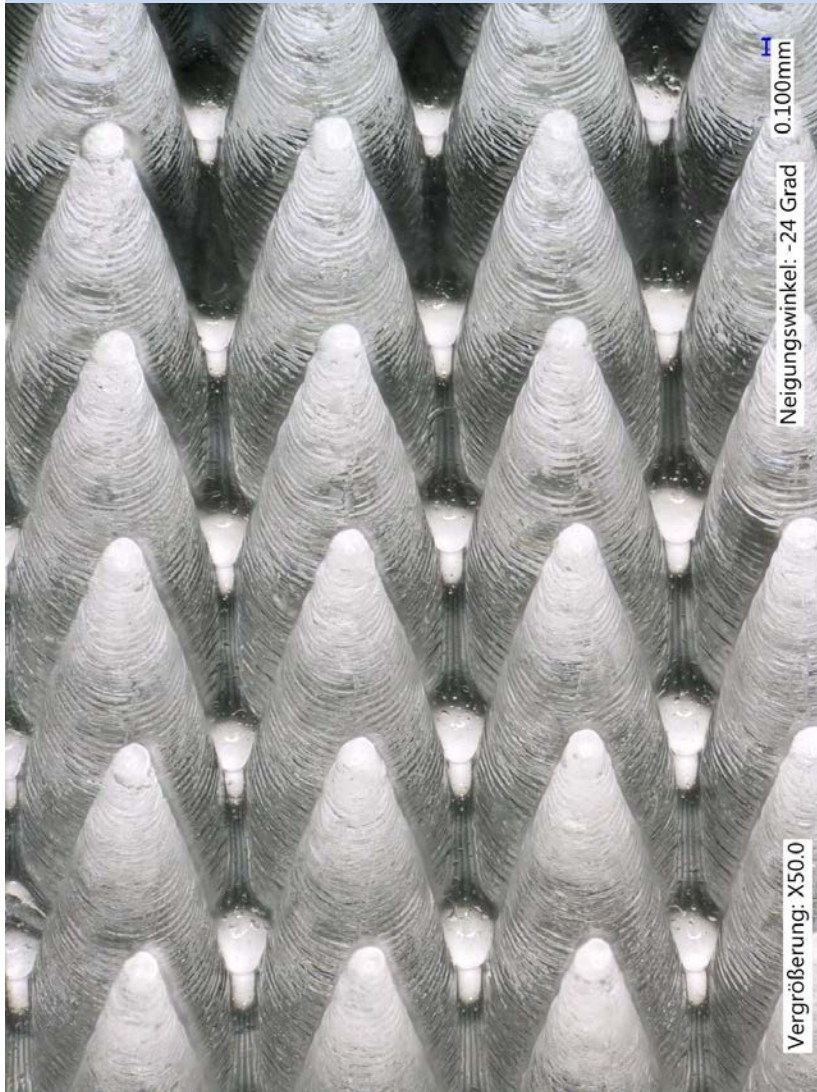
- Durchmesser und Rundheit Laserstrahl
- Genauigkeit Ablenkeinheit
- Positioniergenauigkeit Bauplattform
- Weglänge zwischen letzten Scannspiegel und Materialoberfläche

Material

- Viskosität des Materials
- Aktivierungsenergie für Vernetzung
- Nachvernetzung nach Belichtung
- Reaktion mit der Atmosphäre
- Langzeitstabilität Material



3D-Druck von Ripple-Filterstrukturen

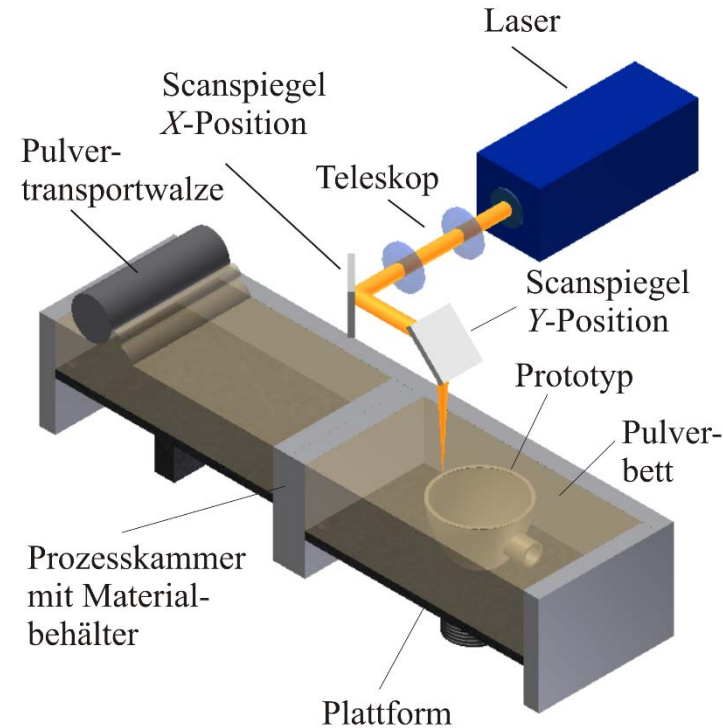


SLS – Selektives Laser Sintern

➔ **Verfahren mit sehr großer einsetzbarer Materialbreite
(Kunststoff, Metalle und Keramik)**

SLS – Verfahren

- Generieren aus der pulverförmigen Phase
- hybride Energieeinbringung:
 - Infrarotwärmung des Pulverbettes
 - Lasersintern des Kunststoffpulvers mit einem CO₂-Laser
- mittlere Laserleistungen zwischen 30 – 100 W
- Fokusbereich ca. 0,15 mm
- Typische Schichtdicke: 100 µm



Prinzip: SLS – Selektives Laser Sintern

Quelle: Bliedtner Müller, Barz: Lasermaterialbearbeitung
(ISBN: 978-3-446-42168-4)



SLS – Selektives Laser Sintern

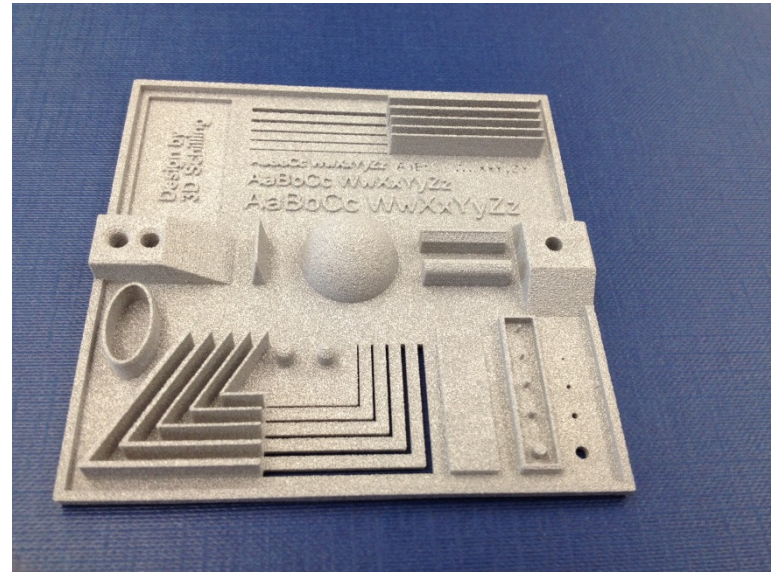
SLS – Verfahren

- Maschinentechnik

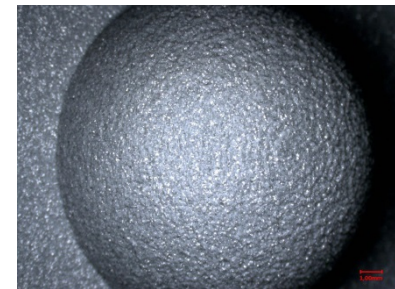
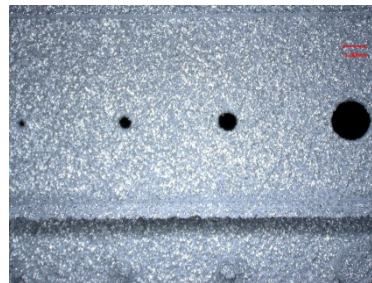
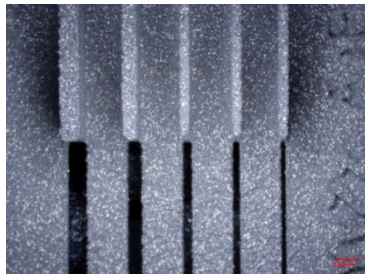
- P100
- Schichtstärke: 100 μm

- Materialien

- PA2200
- Alumide PA12-MD

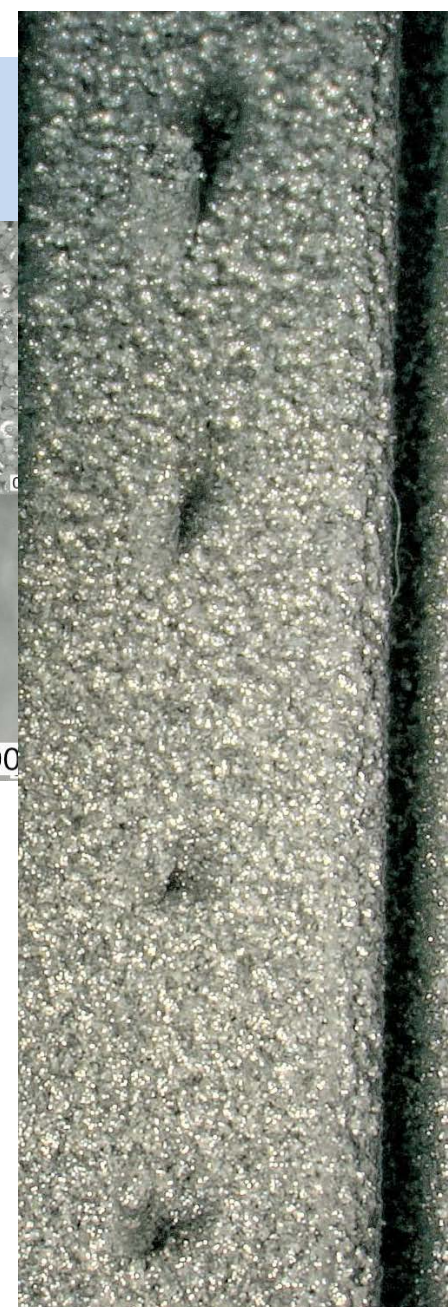
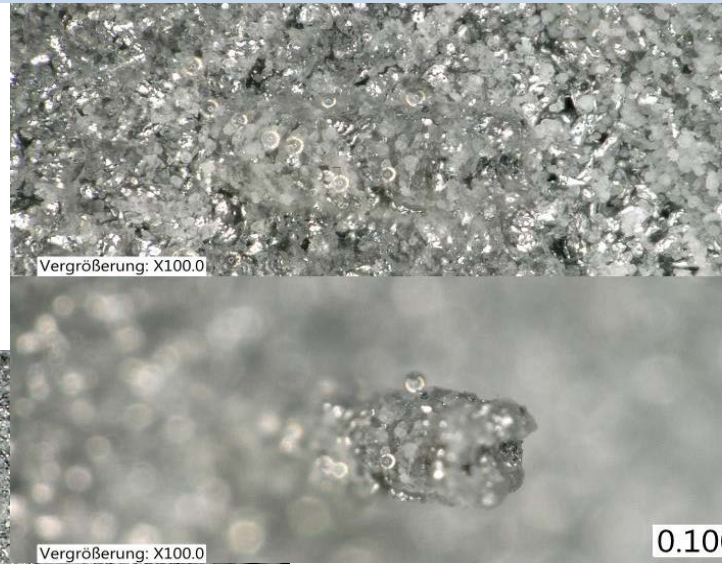
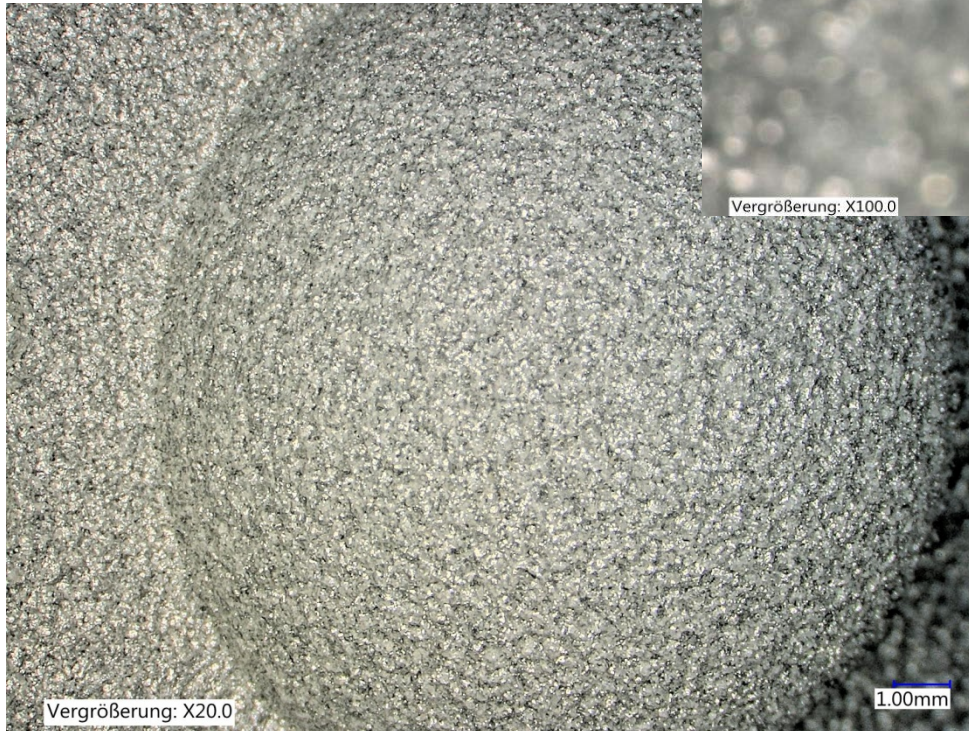


Material: Alumide PA12-MD (AL)



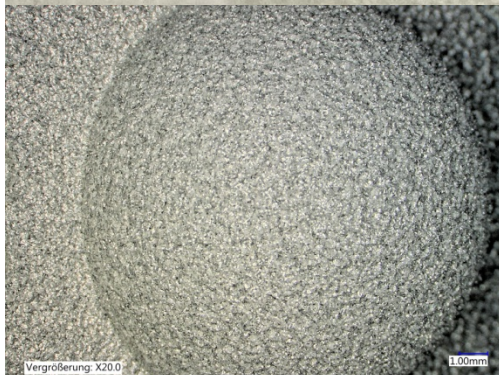
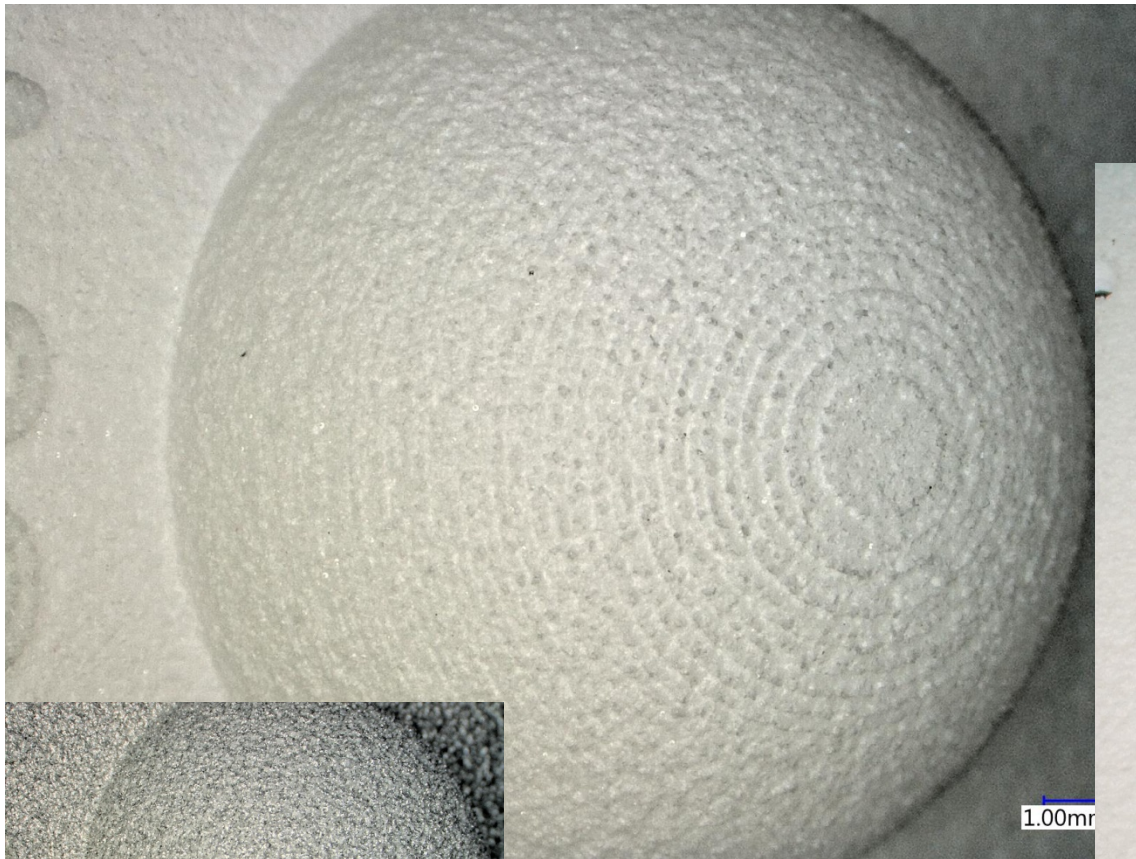
SLS – Selektives Laser Sintern

Alumide PA12-MD



SLS – Selektives Laser Sintern

Material PA12



SLS – Selektives Laser Sintern

Einfluss auf die Genauigkeit:

Maschinentechnik

- Recoatingsystem
- Pulver-Schichtauftrag (Rakeln, Walzen)
- Temperaturverteilung im Bauraum
- Meßtechnik

Material

- Aktivierungsenergie / Sprungenergie
- Pulverfraktionen
- mögliche Schüttdichten
- Molekülkettenlänge



3D-Druck – Objet Technologie

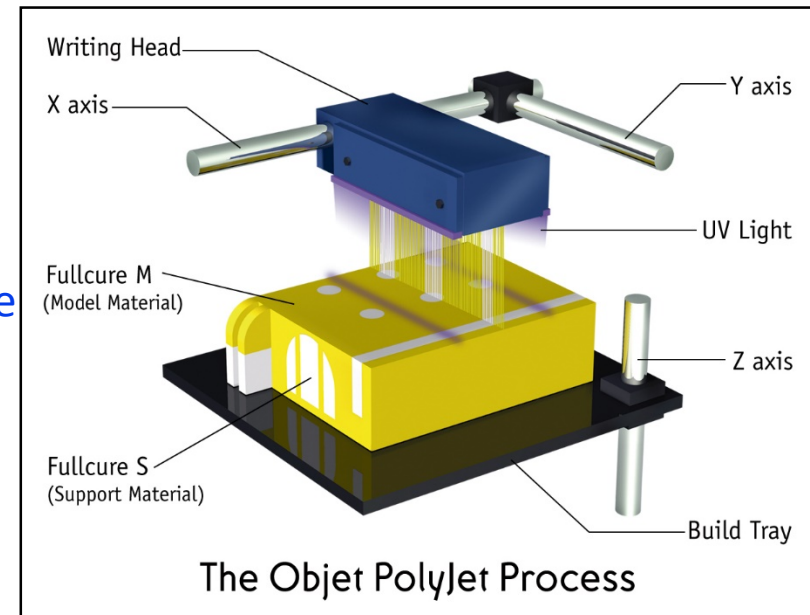
➔ Verfahren mit der Nutzung von Multimaterialsystemen (Digital Druck)

3D-Druck – Verfahren

- Aufdrucken von zwei oder mehreren Materialien, nur wo es benötigt wird (Modellmaterialien und Supportmaterial)
- Kopf mit 2 x 768 Düsen bewegt sich über die Baufläche in x-Richtung und druckt das Harz bzw. das Supportmaterial.

(Jede Düse druckt ca. 10.000 Punkte je Sekunde mit 9 Piktoliter Volumen)

- Nach dem Auftragen des Harzes wird jede Lage sofort mit dem UV-Licht ausgehärtet
- Die Schichtdicke beträgt **16 oder 30µm**



Prinzip: 3D-Druck – Objet Technologie

Quelle: Stratasys – Produktinformationen. 2013



3D-Druck – Objet Technologie

3D-Druck – Verfahren

- Maschinentechnik

- Connex 350
- Schichtstärke: 30 μm

- Bauzeiten

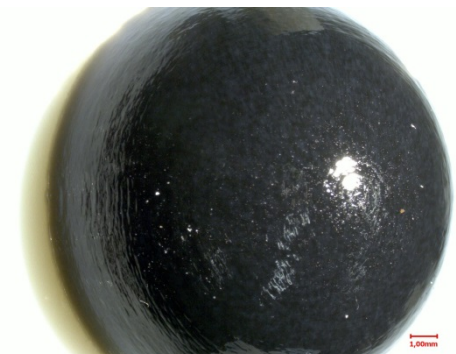
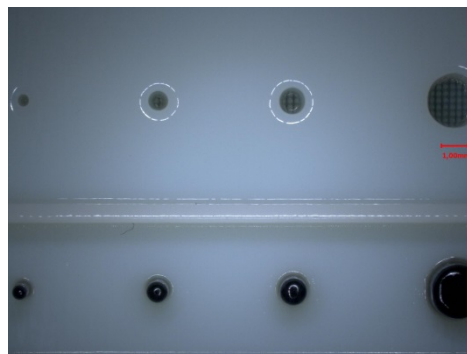
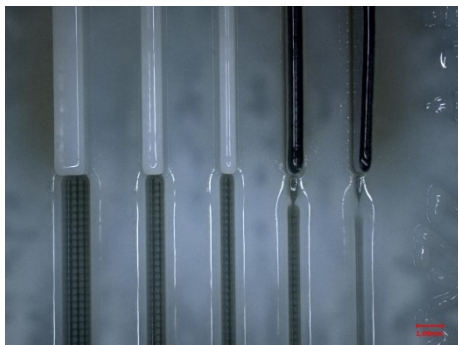
- 1h:25min

- Materialien

- Verowhite & Tango black plus



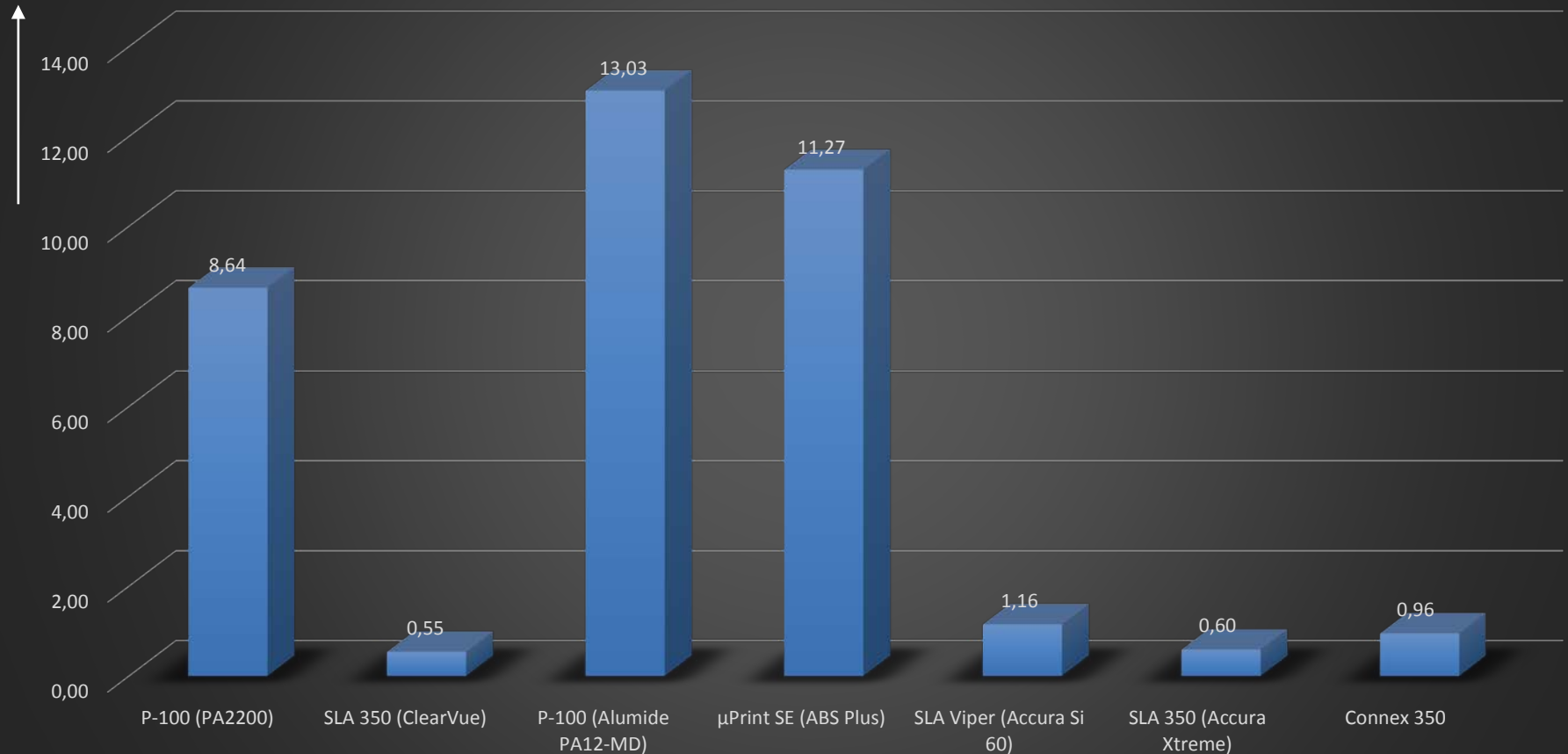
Materialpreis /Bauteil: 8,50 €



Verfahrensvergleich

Rauheit in μm

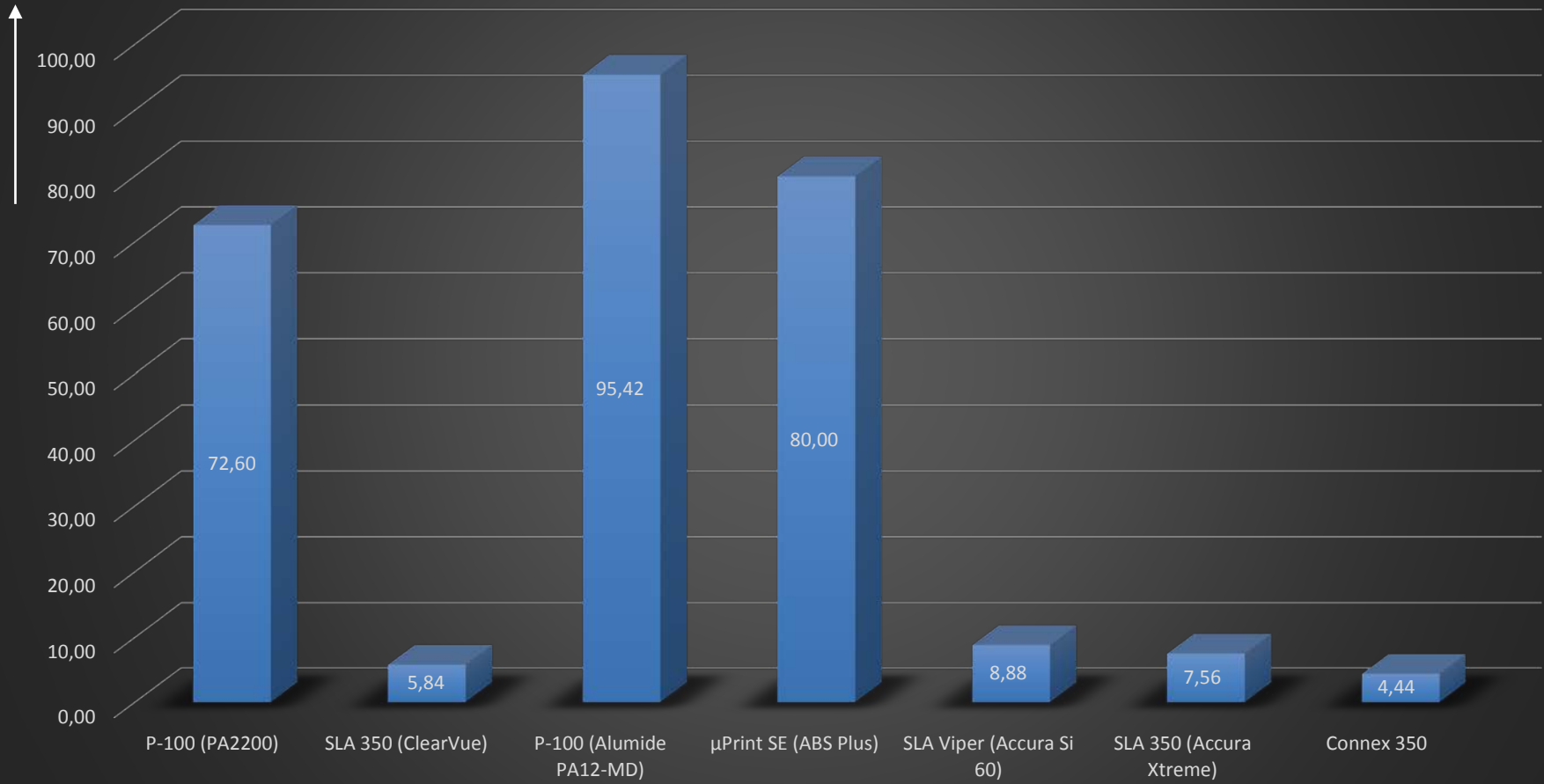
Vergleich der Rauheiten Ra



Verfahrensvergleich

Rauheit in μm

Vergleich der Rauheiten Rt



Verfahrensvergleich

Bauzeiten



Verfahrensvergleich

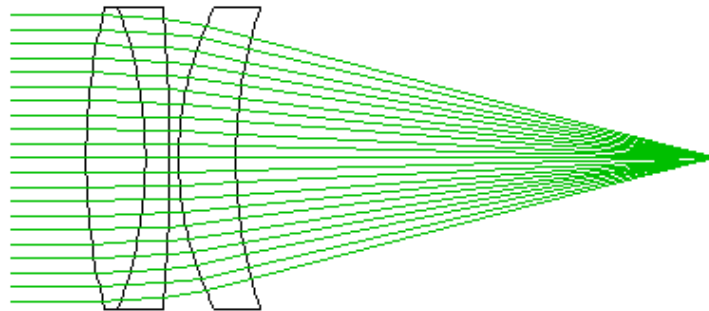
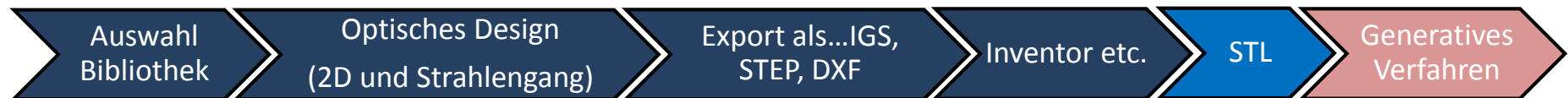
Materialkosten



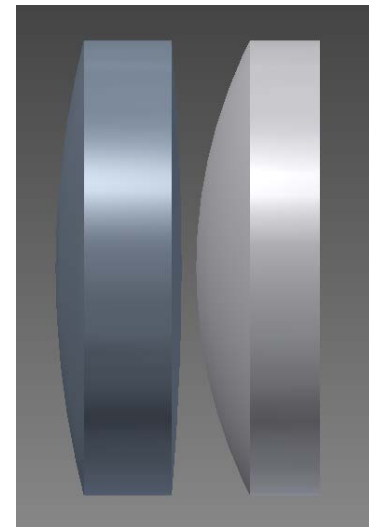
Prozesskette - Optical Design

OSLO66 Premium (Optik-Designprogramm)

- ❖ 2D-Daten: Umwandlung in STL über STEP-Dateiformat z.B. in Inventor notwendig



UNITS: mm



Eingesetzte Systeme

Maschine	Material	Verfahren
SLA 250/40	RenShape SL 5170 US	Stereolithographie
RAPLAS 450	RR 60 CL, EP-RR 60 CL	
Viper Si2	Accura Si 60, Sondermaterial- Materialentwicklung BURMS	
Viper Si3	Sondermaterial- Materialentwicklung	
Viper Si4	BURMS	
Objet Eden 330	Vero Clear	3D-Druck
Beamer Rapidshape HA 50	Sondermaterial- Materialentwicklung BURMS	Beamer

Vielen Dank an Firma Burms !



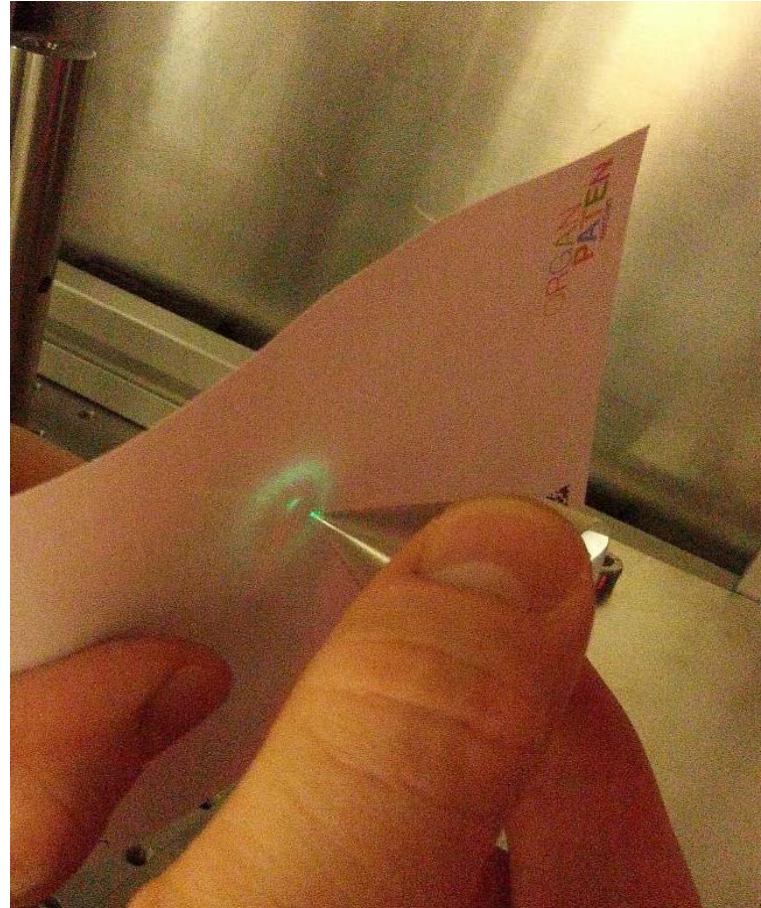
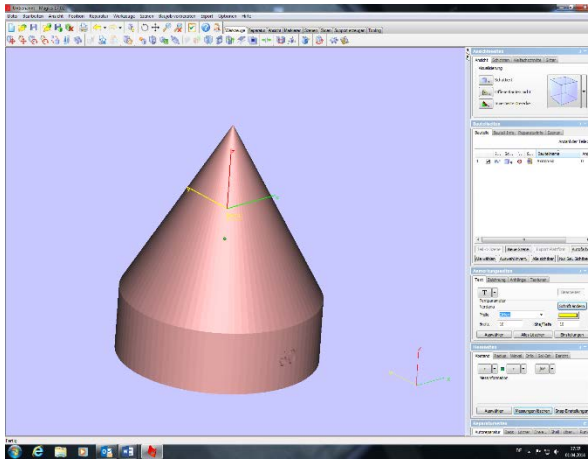
Optische Bauelemente



Große Anwendungsbreite;
nahezu keine Konturbegrenzung



Beispiel Axicon



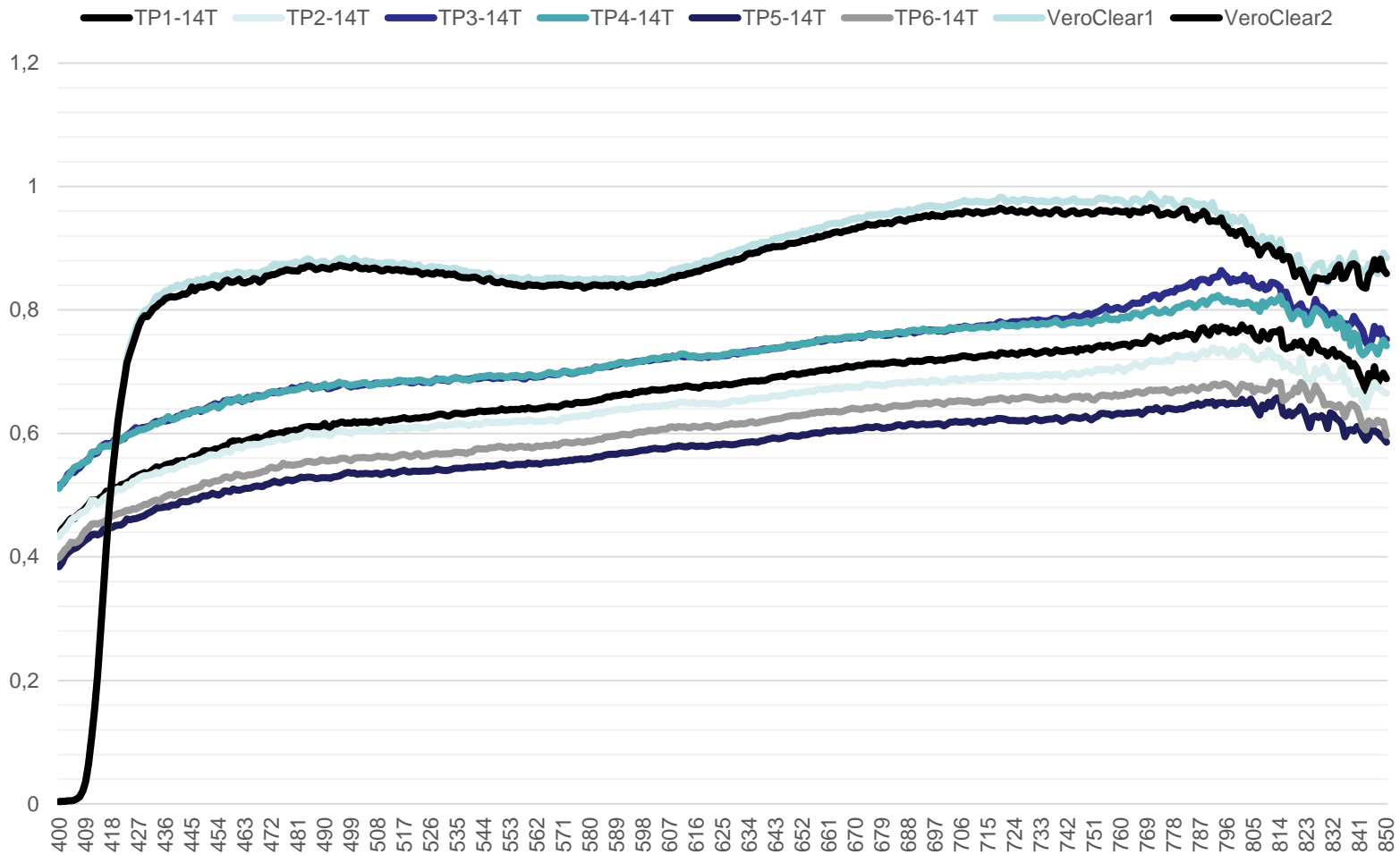
Axicons (diverse Kegelminkel)

Strahlformung an einem Axicons

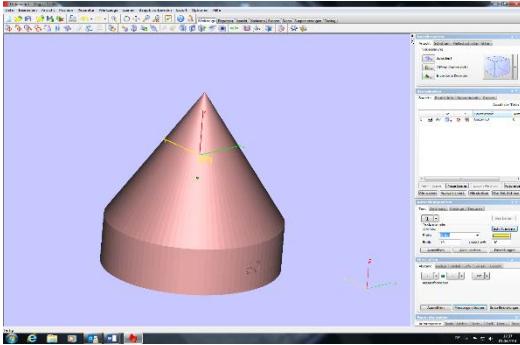


Verfahrensvergleich

Transmissionsmessung nach 14 Tagen



Erforderliche Prozesskette



Konstruktion

Bau mittels
RP-Verfahren

Nacharbeit
(2D- oder
3D)

Abformung
(z. B.
Vakuumbguss)



Zusammenfassung

- ➔ Verfahren verfügen über unterschiedliche Genauigkeitsbereiche, verarbeitbare Materialien und Verfahrenskosten – Auswahl eines geeigneten Verfahrens entsprechend der Fertigungsaufgabe
- ➔ Trend zu effizienten Verfahren und Vergrößerung der einsetzbaren Materialpalette
- ➔ Finishbearbeitung nach wie vor aufwendiger Prozess
- ➔ für spezielle optische Bereiche, z.B. Beleuchtung oder Mikrostrukturen sind Anwendungen möglich
- ➔ durch die fehlende Homogenität des gedruckten Materiales sind standardoptische Anwendungen derzeit nicht möglich



Zusammenfassung

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**



Wir danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und der AiF Projekt GmbH für die finanzielle Unterstützung des Forschungsprojektes KF2156311AK2.



Copyright: Fotos, Grafiken und Tabellen ohne Quellenangaben sind Eigentum der Autoren.



VITA-Referent

Titel: **Feingussunikate und –kleinserien über additive Modelle**
Autoren: H. Krause, Arne Kienzl et.al.

Veranstaltung 2. Mitteldeutsches Forum
„3D-Druck in der Anwendung“
HTWK Leipzig, 27.05.2015, 16:05 Uhr
Sektion 3: Gestaltung, Leichtbau, Ressource

Referent: Dipl.-Ing. Holger Krause,
geb. 25.08.1965



Beruflicher Werdegang

- Facharbeiter am VEM Schaltanlagenbau Leipzig-Halle (jetzt SIEMENS)
(Elektromonteur stationäre Fertigung, Schwerpunkt Mittelspannungsschaltanlagen)
- Ausbildung an der TU Ilmenau, Sektion Gerätetechnik
Hochschulstudium zum Dipl.-Ing. für Gerätetechnik/Feinwerktechnik, bis 1990
(Schwerpunkt automatisierte Präzisionsgeräte)
- Auslandsaufenthaltes bei HILTI Industries West Bromwich, bis 1991
(Trainee der Geschäftsleitung)
- Mitarbeit am CIM-Technologie-Transferzentrum Suhl (Institut PtA der TU Ilmenau), bis 1994
(Entwicklung, Vorführung, Beratung von aktuellen CIM-Techniken in die Wirtschaft)
- EU-Forschung "Qualitätssicherung in der Softwareentwicklung kleiner Unternehmen", bis 1998
- Konzept und Aufbau eines Transferzentrum für IT- und Softwaretechnologien (1998, irp e.V.)
- Fachprojekträger des Landes für IT-Forschungs-, Entwicklungs- und Einführungsvorhaben, bis 2000
- Co-Manager für Wissenstransfer und Ergebnisverwertung in EU-Forschungsvorhaben ASG, bis 2007
- Projektinitiator und Interims-Projektmanager für Thüringer KMU, ab 2003
- Selbstständigkeit:
PDL-Krause, freiberufliche Ingenieurdienstleistungen, ab 2008 bis jetzt
(Forschungs- und Projektdienstleistungen, Interims-Projektleitung)
- Geschäftsführer PORTEC GmbH, Prototypen und Kleinserien Metall und Kunststoff, ab 2010
(3d-Druck, Vakuum- und Feinguss)

Abstract

Feingussunikate und –kleinserien über additive Modelle

Autoren: H. Krause, Arne Kienzl et.al.

Referent: Dipl.-Ing. Holger Krause
Unternehmen: PORTEC GmbH, Am Köhlersgehäu 32, 98544 Zella-Mehlis –
Prototypen und Kleinserien in Metall und Kunststoff
Veranstaltung 2. Mitteldeutsches Forum „3D-Druck in der Anwendung“
HTWK Leipzig, 27.05.2015, 16:05 Uhr
Sektion 3: Gestaltung, Leichtbau, Ressource

Der Feinguss ist eine Technologie, bei der jeweils verlorene Modelle und Formen zum Einsatz kommen, um in relativ kurzer Zeit Metallgussteile zu erstellen. Dies prädestiniert den Feinguss für die schnelle Fertigung von Prototypen, Kleinserien oder entwicklungsbegleitend von verschiedenen Varianten geringer Stückzahlen.

Ziel des Vortrages ist es herauszustellen, dass im Zusammenspiel von 3d-gedruckten Modellmaterialien und verschiedenen Formstoffen wesentliche Qualitäten des späteren Gussteils vorbestimmt werden. Zudem erweitern sich durch den Einsatz additiver Modelle die Möglichkeiten hinsichtlich Geometriekomplexität, Gewichtsoptimierungen und Spannungsreduzierungen.

An Praxisbeispielen wird gezeigt, dass durch den Einsatz additiver Technologien, selbst gestandene, klassische Verfahren (hier Feinguss) einerseits weiterentwickelt werden konnten und Gussteilgeometrien realisierbar werden, die bisher kaum oder nur mit sehr großen Aufwand möglich waren. Andererseits zeigt aber der Einsatz von 3d-Druckmaterialien neue Herausforderungen und Grenzen auf. Die Vorteile der Verknüpfung von additiven Bauteilen und Feingusstechnologien kommen insbesondere beim Prototypen- und Musterbau für F&E-Partner oder Vorserienabteilungen zum Tragen.

Unternehmen PORTEC GmbH

Die PORTEC GmbH aus Zella-Mehlis stellt mit modernen 3d-Druckverfahren und bewährten Gusstechniken Prototypen aus Metall und Kunststoff her und dient somit der Produktentwicklung verschiedenster Branchen.

Mittels geeigneter 3d-Druckverfahren entstehen Design-, Konzept- und Funktionsmodelle für unterschiedlichste Entwicklungs- und Optimierungsschritte. Zudem werden für eine Reihe von Folgeprozessen anspruchsvolle Ur-Modelle gefertigt. Mittels dieser werden über Silikon-, Harz- und Alu-Formen nicht nur die verschiedensten Arten von Kunststoffen, sondern auch Wachsmodele gegossen und gefügt, die als Ausgangsbasis für den Guss metallischer Prototypen dienen.

Das Unternehmen gehört zu den wenigen KMUs des Prototypenbaus, die die technischen Fähigkeiten und die organisatorische Flexibilität haben, solche Modelle mit sehr geringen Durchlaufzeiten in verschiedene metallische Legierungen abzugießen: Alu, Messing, Zink mittels Küvetten-Differenzdruckverfahren und Grauguss, Stahl, Edelstahl über den Schalenfeinguss. Zudem gewährleisten wir auch die mechanische Nacharbeit an unseren Gussteilen. Speziellen Feingießern für bestimmte Branchen (Luftfahrt; Militär) liefern wir verlorene Modelle in hoher Präzision für den Sonderguss kleiner Serien (u.a. für Titanguss).

Feingussunikate und –kleinserien über additive Modelle

Krause, H.; Kienzl, A., PORTEC GmbH Zella-Mehlis

2. Mitteldeutsches Forum „3D-Druck in der Anwendung“,

HTWK Leipzig, 27. Mai 2015, 16:05 Uhr, Sektion 3: Gestaltung, Leichtbau, Ressource

Kurzfassung

Der Feinguss ist eine Technologie, bei der jeweils verlorene Modelle und Formen zum Einsatz kommen, um in relativ kurzer Zeit Metallgussteile zu erstellen. Dies prädestiniert den Feinguss für die schnelle Fertigung von Prototypen, Kleinserien oder entwicklungsbegleitend von verschiedenen Varianten geringer Stückzahlen.

Ziel des Vortrages ist es herauszustellen, dass im Zusammenspiel von 3d-gedruckten Modellmaterialien und verschiedenen Formstoffen wesentliche Qualitäten des späteren Gussteils vorbestimmt werden. Zudem erweitern sich durch den Einsatz additiver Modelle die Möglichkeiten hinsichtlich Geometriekomplexität, Gewichtsoptimierungen und Spannungsreduzierungen.

An Praxisbeispielen wird gezeigt, dass durch den Einsatz additiver Technologien, selbst gestandene, klassische Verfahren (hier Feinguss) einerseits weiterentwickelt werden konnten und Gussteilgeometrien realisierbar werden, die bisher kaum oder nur mit sehr großen Aufwand möglich waren. Andererseits zeigt aber der Einsatz von 3d-Druckmaterialien neue Herausforderungen und Grenzen auf.

Die Vorteile der Verknüpfung von additiven Baustilen und Feingusstechnologien kommen insbesondere beim Prototypen- und Musterbau für F&E-Partner oder Vorserienabteilungen zum Tragen.

1. Einordnung - Abgrenzung

Dieser Beitrag ist ein Erfahrungsbericht aus der Praxis eines kleinen Unternehmens und erhebt keinen wissenschaftlichen Anspruch. Zudem bezieht sich die Ausführung auf Teile, die als Gussteile entwickelt wurden und nicht auf solche, die sowohl auch als Fräs-, Dreh- oder 3d-Metalldruckteile hergestellt werden könnten.

Der Feinguss von Metallteilen ist eine schon sehr lange bekannte Technik: Modelle in der Geometrie des späteren Metallteils werden von einem Formstoff umgeben, gehen dann in zumeist thermischen Prozessen verloren, hinterlassen aber im Formstoff den Hohlraum zum Begießen mit verschiedenen Metalllegierungen. Modelle wie Formen gehen in diesem Prozess verloren. Viele Geometrien und Metalllegierungen sind anders gar nicht herstellbar (filigrane Stahlgehäuse) oder die Stückzahlen sind in einem Bereich (Unikate oder Kleinserien in NE-Legierungen), der die wirtschaftliche Herstellung von Dauerformen (z.B. Druckgussformen) nicht zulässt.

Im Zusammenspiel von Modellmaterial und Formstoff werden wesentliche Qualitäten des späteren Gussteils vorbestimmt. Gut geeignete, aber schwierig zu druckende Modellmaterialien

wie Wachse werden ergänzt um 3d-gedruckte, verlorene Modelle aus verschiedenen Kunststoffen.

Durch den Einsatz additiver Modelle erweitern sich die Möglichkeiten bzgl. Komplexität, Gewichtsoptimierung und Spannungsreduzierung am Gussteil, ohne dass dabei die geforderten geometrischen \sim und Belastungseigenschaften beeinträchtigt werden.

Durch die Vielfalt an 3d-Druckverfahren entstehen mehrere nutzbare Modell-Formstoff-Kombinationen, mit zum Teil erheblichen Auswirkungen auf die Gussteilqualität, aber auch auf die Herstellungszeit. Dies erfordert die enge Abstimmung zwischen Entwickler/Konstrukteur und Fertiger. Je nach Entwicklungsstand, Verwendungszweck und späteren Einsatzbedingungen sind Herstellungsweg, Durchlaufzeit und Gussteilqualität abzuwägen.

2. 3d-Druck und Feinguss bei Prototypen und Kleinserien

Die Verknüpfung von additiven Modellbaustilen und Feinguss lässt Durchlauf- und Reaktionszeiten für Änderungen zu, die insbesondere der Entwicklung und Optimierung neuer Komponenten im Prototypen- und Musterbau dienen können.

Die Herstellung von 3d-Druckteilen aus Metall (Laserstrahlschmelzen, Lasercusing) ist gut geeignet für schnelle erste Prototypen, wenngleich die Wirtschaftlichkeit derzeit nur bedingt gegeben ist. Sehr häufig sind es zudem Anforderungen an kleine Serien oder Vorgaben bestimmter Legierungen, welche nur den Weg über den Feinguss zulassen. Insbesondere bei der Entwicklung und Optimierung späterer Druckgussteile werden über den Weg des Feingusses Gussteildimensionierungen bestätigt oder angepasst. Wird das Feingussteil den Belastungsvorgaben gerecht, ist es hinreichend für das qualitativ bessere Druckgussverfahren geeignet – ein SLM-Teil wäre da ein ganz anderes (Gefüge-)Teil und würde dem Konstrukteur nicht die erwarteten Erkenntnisse zurück geben.

3d-Druckteile (aus Kunststoff) werden als Konzept- und Montagemodelle sowie als initiale Ur-Modelle für den Silikonformenbau genutzt, welcher in Folge dann dem Vakuumguss von Wachsmodellen dient. Diese wiederum dienen dem Bau von Formen aus Gips oder Keramik mittels des Wachsauerschmelzverfahrens. Zunehmend werden beim Feinguss neben diesen verlorenen Wachsmodellen auch 3d-gedruckte Ausbrennmodelle aus Kunststoff genutzt.

Je nach Entwicklungszyklen und Komplexität des zu entwickelnden Teils bieten 3d-Druckverfahren in Kombination mit Gieß- und Zerspanungstechniken gute Voraussetzungen für die schnelle Fertigung von Prototypen und Kleinserien und geben F&E- oder Vorserienabteilungen Unterstützung bei deren Prototypen- und Musterbau.

Bei der PORTEC GmbH werden verschiedene additive Verfahren, zwei Feingusstechnologien für Metalle als auch der Vakuumguss von Kunststoffen, Wachsen und Kernen eingesetzt, um schnell zu Prototypen und Kleinserien zu gelangen.

In der Folge wird auf die Besonderheiten des Einsatzes additiver Modelle für den metallischen Feinguss eingegangen:

Dabei kommen zwei modifizierte Varianten des klassischen Feinguss zum Einsatz: Vakuum-Differenzdruckverfahren (zumeist über den Formstoff Gips) und RSC-Schalenfeinguss (Rapid Shell Casting – schnelle Herstellung der Keramikschale durch Tunneltrocknung). Diese Varianten ermöglichen deutlich kürzere Durchlaufzeiten. Durch die Verwendung verllorener Modelle ermöglicht der Feinguss eine Vielzahl konstruktiv-gestalterischer Freiräume. Im

industriellen Umfeld war die Herstellung der verlorenen Modelle fast ausschließlich an vergleichsweise teure Spritzgusswerkzeuge für die Herstellung von Wachslingen gebunden, wodurch Rentabilität erst bei größeren Serien eintrat. Für Prototypen und Kleinserien wurden und werden verlorene Wachsmodele nach wie vor über Silikonformen gegossen, welche wesentlich schneller und rentabler als feste Werkzeuge herzustellen sind. Silikonformen setzen aber der geometrischen Komplexität Grenzen, da die Entformbarkeit des Wachslings auch hier zu berücksichtigen ist. Mit Einschränkungen in der Maßhaltigkeit sind Wachse auch druckbar.

3. Geometrische Möglichkeiten der Kombination 3d-Druck - Feinguss

Mit den additiven Verfahren sind neue Möglichkeiten der Fertigung von Feingussmodellen gegeben, speziell bei der entwicklungsunterstützenden Fertigung von Prototypen. Durch die Nutzung von 3D-Druckmodellen als verlorene Modelle können kleine Serien und Einzelstücke schneller und kostengünstig produziert werden. Da die Bindung an Werkzeuge und somit die Forderung nach Entformbarkeit sowohl für das Modell als auch für den Metallguss entfällt, werden die konstruktiv-gestalterischen Freiräume nochmals erweitert, sofern das 3d-Modell nicht zusätzliche Arbeiten erfordert (z.B. Entstützen an schwer zugänglichen Details). So können Bauteile immer weiter in Richtung ihrer Funktion verbessert werden. Beschränkungen durch die fertigungsgerechte Gestaltung werden deutlich verringert. Das wird u.a. am Wirkungsgrad von Pumpenrädern im Vergleich zu werkzeuggebunden produzierten dargestellt.

Es ergeben sich Möglichkeiten zur Materialeinsparung und Gewichtsreduzierung, zur spannungsoptimierten Gestaltung oder zur Einbindung bionischer Vorbilder. Dass diese Möglichkeiten oft mit den Forderungen zur gussgerechten Gestaltung [1] harmonisieren ist ein positiver Nebeneffekt.

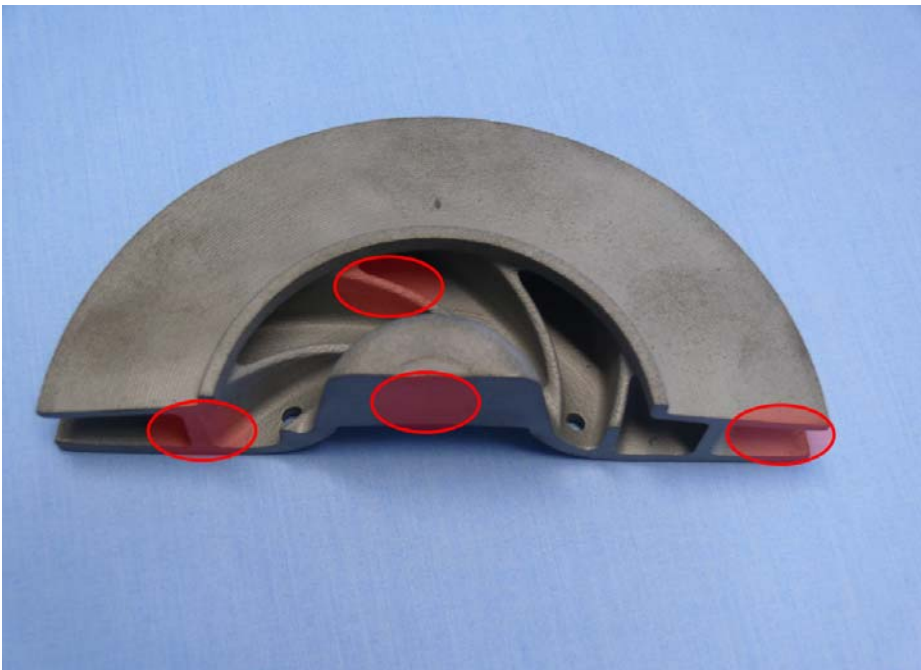


Bild 1: Laufradoptimierung – strömungs- und gießtechnische Gestaltungspunkte [2]

Die Umsetzung von Prototypen und Kleinserien über den Metallguss ist verbunden mit iterativen, kleinen Entwicklungsschritten, Variantenvielfalt bei kleinen Stückzahlen, kurzen Zeiträumen für Erstmuster und Prototypen und z.T. unklaren Fertigungs- und Gestaltungsvorgaben.

Aus wirtschaftlicher Sicht und in Kombination mit den kurzen Zeiträumen zur Umsetzung ergeben sich entsprechende Herausforderungen an das Gießverfahren. Prototypen und Kleinserien im Metallguss sind zumeist nur in "werkzeugloser" Fertigung machbar (ohne Dauerform). Entsprechend sind dauerformbasierte Gießtechnologien wie Kokillen- und Druckguss dafür kaum relevant. Speziell für Legierungstests sind industrielle Anlagen mit großen Mindestaufschmelzmengen, wie z.T. im Sandguss relevant, ungeeignet.

PORTEC nutzt gipsgebundene Einbettmassen (Küvettenguss) für Gussteile aus Aluminium-, Zink- und Kupferlegierungen. Die jeweils benötigte Menge der zu vergießenden Metalle wird induktiv geschmolzen. Der Guss erfolgt unter Schutzgas oder Vakuum. Zum Herauslösen der Gussteile aus dem Formstoff kann ein Wasserstrahl genutzt werden, wodurch sich auch dünnwandige Geometrien umsetzen lassen.

Durch das Wegwaschen der Form werden komplexe Geometrien wie Hinterschneidungen, Kanäle, Sacklöcher, Hohlräume etc. herstellbar. Eine Betrachtung von Trennebenen, Auf/Zu-Bewegungen etc. ist nicht notwendig. Damit ist beim Einsatz 3d-gedruckter Modelle die Herausforderung 'Entformbarkeit' über den gesamten Herstellungsprozess (Modell-Form-Gussteil) nicht mehr relevant.

Die sehr schnelle Herstellung verschiedenster Gussteilvarianten wird möglich, wenn eine entsprechend gleichschnelle Modellbereitstellung garantiert werden kann. Einschränkend ist dabei zu erwähnen, dass die höheren Schmelztemperaturen von Eisen- und Stahllegierungen Keramikschaalen als Formstoff erfordern, welche nach dem Guss an bestimmten Geometrien teils aufwendig weggearbeitet werden müssen (Metalltaschen, spitzwinkelige Übergänge etc.).

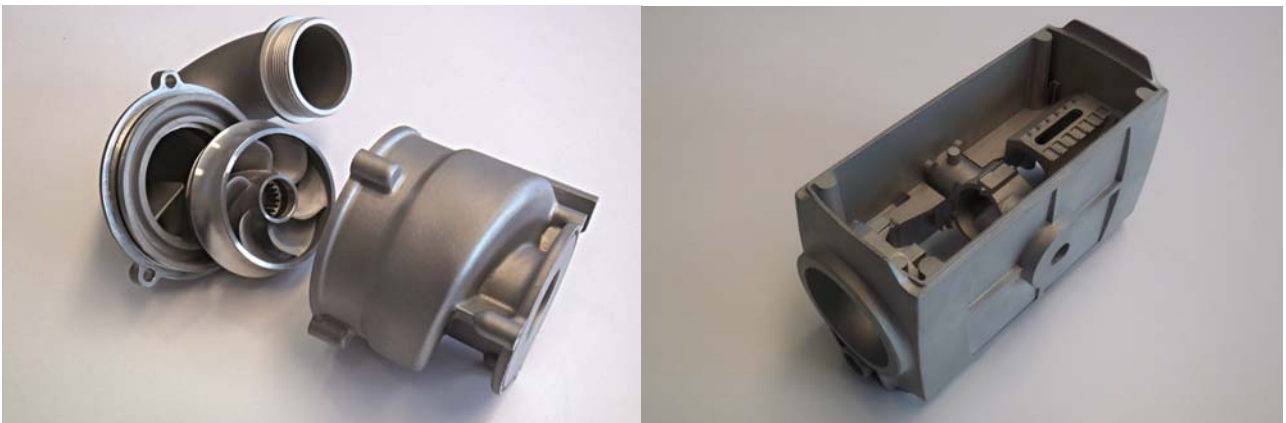


Bild 2: komplexe Feingussteile – keine Auf/Zu-Betrachtungen notwendig [2]

4. Herausforderungen an additiv gebaute FG-Modelle

Mit den additiven Verfahren wird die zuvor erwähnte schnelle Modellbereitstellung in unterschiedlichen Materialien möglich (Harze, Kunststoffe, Wachse).

Bei materialsparender, gewichtsoptimierter und spannungsreduzierender Gestaltung sollten die Modelle möglichst wenig Nacharbeit erfordern, wie z.B. das Entstützen oder das Schleifen von Oberflächenabstufungen als Folge der Schichtbauweise. Gestaltungselemente wie Hohlräume, Kanäle, Sacklöcher, Versteifungslaschen, Verrippungen etc. müssen sich auch in schwer zugänglichen Bereichen problemlos von ungebundenem Material befreien lassen. 3d-Druckverfahren, die mechanisch wegzuarbeitende Stützstrukturen in Innenbereichen hinterlassen, sind daher ausgeschlossen.

Um sich für den Metallguss zu eignen, müssen die Modelle Reaktionen mit dem Formstoff beim Aufbau ("grüne" Form) und bei thermischen Prozessen (Aufheiz- und Brenntemperaturen) vermeiden. Die Materialien sollten sich rückstandsfrei aus der Gussform ausbrennen lassen (Restascheanteil). Es dürfen keine Reaktionen bestehender Nano-Partikel (Reagenzien) mit eintretender Schmelze erfolgen.

5. RP-Verfahren für verlorene Modelle

Im Laufe der Jahre wurden bei PORTEC additiv gefertigte Modelle aus verschiedenen Verfahren auf ihre Eignung als verlorene Modelle getestet.

Unter anderem mit Hohlbaustilen wie QuickCast (3D Systems) und Tetrashell (SOMOS-magics) gebaute Stereolithographieteile, in Sparse gebaute FDM-Teile aus ABS oder PC, Lasersintererteile (Polystyrol), 3D-PMMA-Druckteile (PMMA + spezielle Bindersysteme), MultiJet-basierte Systeme (Wachsteile und dünnwandige Acrylalteile) sowie PolyJet-basierte Acrylalteile.



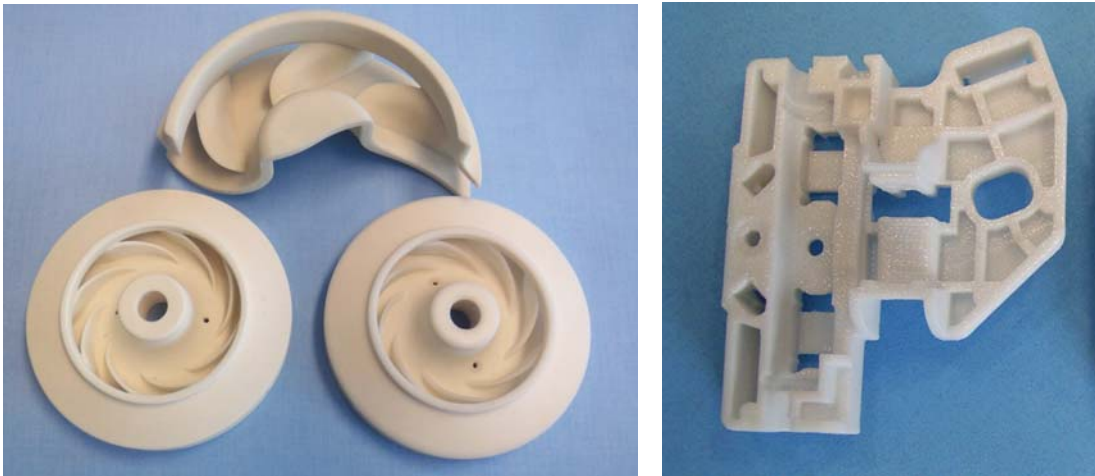


Bild 3: Beispiele gedruckter, verlorener Modelle [2],
1. Reihe v.l.n.r.: SLA-Baustile tetra-shell und quick cast
2. Reihe v.l.n.r.: 3d-PMMA-Druck, FDM-PC

Mit Blick auf die in Punkt 4 beschriebenen Modellvorgaben und insbesondere bei Betrachtung der im Folgeprozess erreichten Qualität des Metallgussteils erwiesen sich einige der getesteten Modellmaterialien als weniger geeignet. Bei den besser geeigneten sollte in Abhängigkeit von Geometrie, Anforderungen an Oberflächen, Stückzahl und Zeitvorgabe entschieden werden, welche Option die jeweils günstigste ist.

Eine solche Entscheidung ist zumeist eingebunden in den Dialog zwischen Entwickler, Konstrukteur und Prototypenbauer, bei welchem fertigungsgerechte Gestaltungsvarianten ebenso festgelegt werden, wie ggf. auch die Nutzung unterschiedlicher Modellmaterialien und Gießsysteme (Anbindungen etc.).

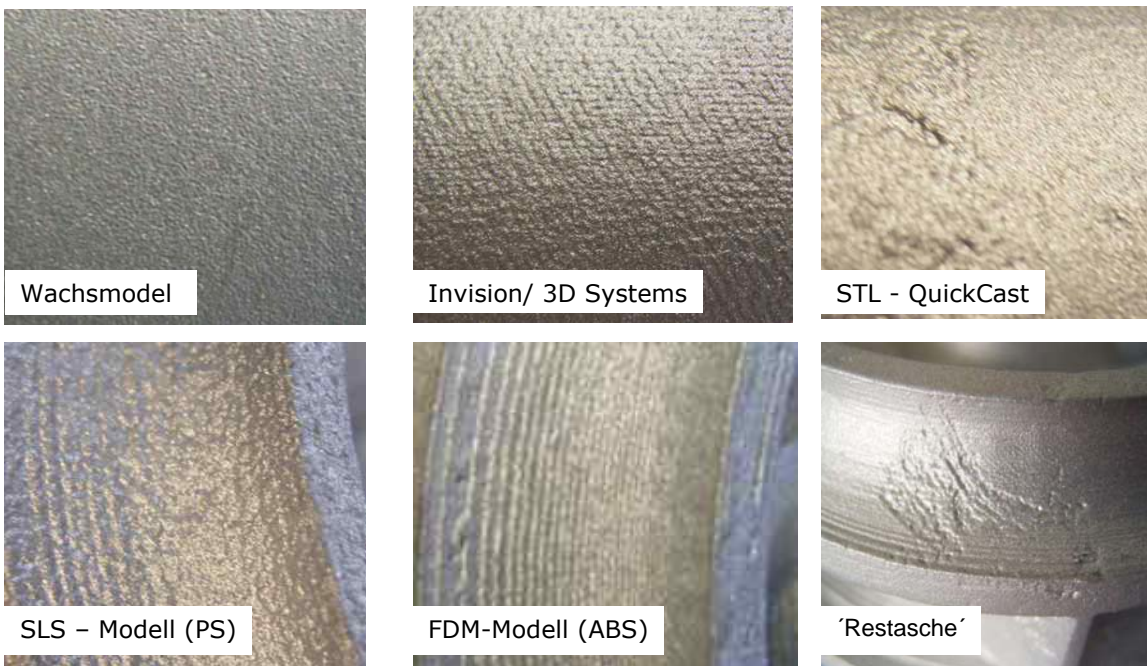


Bild 4: Oberflächenqualitäten beim Feinguss über 3d-Druckmodelle [2]

Die Vielfalt an additiver Technik (3d-Druckverfahren) im Hause PORTEC, die beiden vorhandenen Feingussverfahren und nicht zuletzt die langjährigen Erfahrungen der Mitarbeiter rund um 3d-Druck und Gießtechnologien bieten für o.g. Betrachtungen und umfängliche Beratung sehr gute Voraussetzungen und gewährleisten die schnelle Fertigung von Prototypenversionen und Kleinserienkomponenten.

6. Quellenangaben

- [1] Werning, H.: „Gießgerechtes Konstruieren“, Sonderdruck, Zentrale für Gußverwendung (ZGV), Düsseldorf
- [2] Alle Bilder sind Eigentum der PORTEC GmbH.
Darauf abgebildete Musterteile wurden zu Anschauungszwecken von den jeweiligen Projektpartnern freigegeben.

Teilnehmer an der Kooperationsbörse:

3D-Druckshop

3D-Schilling

3Faktur

Antonius Köster GmbH

Bauhaus -Universität Weimar, Fakultät Gestaltung/Produktdesign

BMW Group, Werk Leipzig

BTZ Rohr Kloster/ Handwerkskammer Südthüringen

burms

Dr. Henke Medical Training & Education

Bio City Leipzig

Ernst-Abbe-Hochschule Jena, AG Fertigungstechnik und -automatisierung

FabLab Thüringen

Formicum GmbH

Fraunhofer-Institut für

Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU,

Gruppe Generative Fertigungsverfahren

Gesellschaft zur Förderung von Medizin-, Bio- und Umwelttechnologien e.V. (GMBU e. V.)

Handwerkskammer Halle (Saale), Bildungs- und Technologiezentrum BTZ

Handwerkskammer zu Leipzig

hasenauer & hesser GmbH

Hochschule Merseburg

IfW Günter-Köhler -Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung GmbH

IHK Industrie- und Handelskammer zu Leipzig

Institut für Kunststofftechnologie und -recycling e. V. (IKTR)

Leipziger Messe GmbH

Makerspace Leipzig

Mitteldeutsches Netzwerk Rapid Prototyping enficos mitz GmbH

my3Dfamily

Portec GmbH

Protonetz

PTS Jena GmbH

Rapidobject GmbH

SCHRÖDER DESIGN

shapeWerk 3D-Service

Software- Service John GmbH

Stratasys GmbH

Thüringer Zentrum für Maschinenbau, Koordinierungsstelle an der TU Ilmenau

Thüringisches Institut für Textil-und Kunststoff-Forschung e.V.

VMS Schneider GmbH & Co. KG

Impressum

Herausgeber: HTWK Leipzig, Fakultät Maschinenbau und Energietechnik
Postadresse: Postfach 30 11 66, 04251 Leipzig
Sitz: Karl-Liebknecht-Straße 134, 04277 Leipzig

Ausgabe: Erstellt für das Forum 3D-Druck in der Anwendung, 27.05.2015
ISBN-Nummer: 978-3-942703-36-9

Foto: Deckblatt: Günter Ganß, Netzwerk Thüringer Prototyper „Protonetz“
Inhalt: Inhalte, Fotos, Grafiken und Tabellen ohne Quellenangaben liegen in der Verantwortung der jeweiligen Autoren

