

Rechnerunterstützte Entwicklung und Fertigung dentaler Produkte

Ergebnisbericht des BMBF Verbundprojektes COMMANDD

Herausgeber: Eberhard Abele, Reiner Anderl und Philipp Weiß

Konsortialführer:

DATRON

Konsortialpartner:

exocad

REALIZER SLM

FOLLOW-ME!
TECHNOLOGY SYSTEMS

PW
Institut für Produktionsmanagement,
Technologie und Werkzeugmaschinen

Datenverarbeitung
in der
Konstruktion

**FORM
FOR
FUNCTION**

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Arbeiten der deutschen Projektpartner wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzeptes „Forschung für die Produktion von morgen“ mit den Förderkennzeichen 02PJ1200 02PJ1201, 02PJ1202, 02PJ1203, 02PJ1204 und 02PJ1205 gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Die Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele (Hrsg.)

Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl (Hrsg.)

Dipl.-Ing. Philipp Weiß (Hrsg.)

Dipl.-Ing. Sören Dietz

Reinhard Heister, M.Sc.

Thomas Jobst ZTM

Günter Linseis

Tillmann Steinbrecher

Berichte aus der Medizintechnik

**Eberhard Abele,
Reiner Anderl, Philipp Weiß (Hrsg.)**

**Rechnerunterstützte Entwicklung und Fertigung
dentaler Produkte**

Shaker Verlag
Aachen 2015

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Copyright Shaker Verlag 2015

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3814-9

ISSN 1431-1836

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort des Konsortialführers

Mit dem COMMANDD-Projekt (Computer Manufactured and Designed Dental Products) haben das unterstützende Konsortium, bestehend aus den Firmen Realizer, exocad, Form for Function, Follow Me, DATRON AG und den Forschungseinrichtungen für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) und Datenverarbeitung in der Konstruktion (DiK) der Technischen Universität Darmstadt einen Meilenstein in der zukunftsweisenden Entwicklung von Dentalrestorationen erreicht. Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und betreut vom PTKA des Karlsruher Instituts für Technologie beschäftigte sich das Projekt mit der Weiterentwicklung der Prozesskette Dentaltechnik, speziell mit kombinierten Fertigungstechnologien, Prozesskettenvalidierung und Dentaldatenmanagement.

Die DATRON AG konnte als Konsortialführer mit Sitz in Mühlthal-Traisa und ihrer Spezialisierung auf hochpräzise CNC-Fräsmaschinen und -Werkzeuge für die Bearbeitung von Werkstoffen wie Aluminium und Verbundmaterialien einen wichtigen Entwicklungsprozess mit dem Konsortium durchlaufen. Mit 225 Mitarbeitern in Deutschland konnte das bestehende Know-how als Konsortialführer für die Entwicklung von Dentalfräsmaschinen zur effizienten Bearbeitung aller gängigen Zahnersatzmaterialien sowie der dafür benötigten Werkzeuge und Dentalmaterialien eingebracht und erweitert werden. Im Zuge der engen Partnerschaft mit dem PTW wurde im Rahmen des COMMANDD-Forschungsprojekts die hochpräzise Dentalfräsmaschine DATRON D5 Linear Scales aus der D5-Produktfamilie eingesetzt. Besonderes Interesse galt dabei der kombinierten Fertigung: Das Aufbauen von Indikationen aus Metallpulver mittels Lasermelting und das anschließende, punktuelle Feinfräsen. Dadurch wird eine extrem material- und zeitsparende Herstellung auch hochkomplexer Indikationen ermöglicht. Das COMMANDD-Projekt hat gezeigt, wie diese Fertigungsform effektiv in die dentale Prozesskette eingefügt werden kann – ein weiterer Schritt in die dentale Zukunft.

Zudem wurde ein Prüfbauteil für Fräsmaschinen mit Rondenaufnahme entwickelt. Mit diesem lässt sich bei der Fräsmaschinen Datron D5 und andere Dentalfräsmaschinen die Genauigkeit der hergestellten Zahnersatz-Produkte objektiv messen und be-

werten. Dies schafft eine prozesssichere Qualität für Dentallabore, damit Zahntechniker nicht mehr allein auf ihre persönliche Einschätzung angewiesen sind, wenn sie die Passgenauigkeit einer Indikation bewerten müssen. Zahnärzte und Patienten haben so den Vorteil, dass immer präzise und passgenaue Indikationen zum Einsatz kommen. Durch die im Forschungsprojekt gewonnenen Erkenntnisse im Bereich automatisierter Produktion und paralleler Produktionstechniken konnten die Dentalfräsmaschine und ihre Arbeitsweise außerdem erheblich effizienter gestaltet werden. Die wegweisende Arbeit zu einem einheitlichen Datensystem und universellen Schnittstellen ermöglicht den beteiligten Unternehmen einen Wettbewerbsvorsprung zu erhalten und verbessert die bereits weltweit erfolgreichen Produkte des Konsortiums und der Datron AG.

Das Projektkonsortium bedankt sich bei der Firma Imetric 3D Sa für die Unterstützung hinsichtlich der Digitalisierung von Dentalindikationen mittels optischer Scan-Technologie und der Bereitstellung der benötigten Technik.

Juni 2015

Philipp Weiß

Dentaltechnik ist wortwörtlich in aller Munde. Statistisch gesehen erhält jeder Krankenversicherte in Deutschland pro Jahr eine Zahnvoll- oder Teilrestauration (Inlay, Krone, Brücke usw.). Dies verdeutlicht die Aktualität und Relevanz von Innovationen in der Dentalindustrie, welche im Forschungsprojekt COMMANDD adressiert wurden.

Schon heute lassen sich Restaurationen mit Maschineneinsatz teilautomatisiert zu günstigen Preisen produzieren. Die digitale dentale Prozesskette erzielt weltweit Wachstumsraten im zweistelligen Prozentbereich. Für die eingesetzte Maschinen- und Softwaretechnologie ist Deutschland der Weltmarktführer. Die Herausforderungen des Forschungsprojektes liegen in einer patientenindividuellen Produktentstehung von Zahnersatz. Im Dreieck aus Kosten, Qualität und Produktentstehungszeit leiten sich die konkurrierenden Ziele und Herausforderungen einer Restrukturierung der bisherigen dentalen Prozesskette ab. Im Rahmen von COMMANDD konnten hierzu wichtige Grundlagen und Konzepte zur Dentalproduktion der Zukunft erarbeitet und von den Industrieunternehmen umgesetzt werden.

Die Forschungsherausforderung einer simultanen Entstehung von Produkt und Produktionssystem ist im Zeitalter von Industrie 4.0 mit einer zunehmenden digitalen Vernetzung von virtuellen Arbeitsschritten und der physischen Produktion wichtiger denn je. Die Forschungsaktivitäten bezüglich einer dezentralen Datenmanagementsoftware für die Unikatentstehung wurden mit dem Einsatz von konkurrierenden Fertigungsverfahren zu einem Produktentstehungsnetzwerk gekoppelt. Hierbei wurde das abtragende Fräsverfahren, sowie das additive Verfahren des selektiven Laserschmelzens genutzt und hinsichtlich einer erhöhten Geometriefreiheit und ökonomischen Gesichtspunkten in getrennten und kombinierten, sogenannten hybriden Fertigungsketten, untersucht.

Die Medizintechnik im Allgemeinen und die Dentale Technologie im Speziellen stellen einen Innovationsschwerpunkt in Deutschland dar. Die beteiligten Forschungseinrichtungen der Technischen Universität Darmstadt sehen in der Fortführung dieses Forschungsbereiches einen wichtigen Schritt zur Stärkung der Produktion in Deutschland.

Ein besonderer Dank gilt allen Personen die am Projekt mitgewirkt haben und das Projekt zum Erfolg verholfen haben. Einen großen Anteil am Projekterfolg wurde von Herrn Dipl.-Ing. Dietz und Herrn Heister, M. Sc. beigetragen.

Besonderer Dank gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung des Projektvorhabens und dem Projektträger Karlsruhe für die kompetente Betreuung.

Technische Universität Darmstadt

Fachgebiet Datenverarbeitung in der
Konstruktion (DiK)

Institut für Produktionsmanagement,
Technologie und Werkzeugmaschinen
(PTW)

Juni 2015

Prof. Dr.-Ing. R. Anderl

Prof. Dr.-Ing. E. Abele

Vorwort des Projektträgers

Die Medizintechnik verzeichnet einen rasanten Wandel. Faktoren wie demografischer Wandel, neue medizinische Werkstoffe, zunehmender Kostendruck und die Nachfrage nach kundenindividuellen medizintechnischen Produkten sind die Hauptanforderungen für die Medizintechnik der Zukunft. Dazu stehen innovative und individuelle Produkte und Implantate bereits zur Verfügung. Insbesondere in der Dentaltechnik werden diese Trends in den nächsten Jahren zu einer deutlichen Veränderung der heutigen Prozesstechniken führen. Die angewandten Produktionstechniken müssen mit dieser Entwicklung Schritt halten und den medizinischen Kunden nachhaltige Prozesse und effiziente Methoden zur Entwicklung von neuen und angepassten Produkten und Produktionssystemen zur Verfügung stellen. Die mehrstufigen und über einen längeren Zeitraum andauernden Behandlungen sind geprägt durch rekursive Abläufe im Dentallabor. Diese Prozessketten müssen industrialisiert werden, um den zukünftigen Anforderungen gerecht zu werden.

Ziel des Projekts war deshalb die Erarbeitung einer Entwicklungsumgebung zum simultanen Design von Produkt und Produktionssystem im dentalmedizinischen Bereich. Mit diesem System wurde nun dem Arzt eine neuartige Methodik an die Hand gegeben, mit welcher für den Patienten schneller und mit geringeren Stückkosten individuell angepasste Implantate auf höchstem Niveau entwickelt werden können. Die bestehende Prozesskette wurde dazu mit einem einheitlichen, zukunftsweisenden und produktivitätssteigernden Datensystem abgebildet. Die Datenübergabe zwischen Konstruktion und Fertigung erfolgt beschleunigt über standardisierte Schnittstellen. Dazu wurden aufbauende und abtragende Fertigungstechnologien für verschiedene zahnmedizinische Produkte erprobt. Die innovative Prozesskette wurde Zahnärzten und Zahntechnikern an einem Demonstrator der TU Darmstadt zur Verfügung gestellt.

Die Partner in diesem Verbundprojekt wurden im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Allen sei an dieser Stelle gedankt, die mit ihrem Wissen, Engagement und ihren Erfahrungen an dieser Forschungs- und Entwicklungsarbeit mitgewirkt haben.
Projektträger Karlsruhe

Bereich Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA-PFT)
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

März 2015

Stefan Scherr

BETREUT VOM



Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	1
1. BESCHREIBUNG/PROBLEMLAGE	1
2. QUALITÄTSSICHERUNG IM PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESS	10
2.1. PRÜFVERFAHREN FÜR DIGITALISIERUNGSGERÄTE	10
2.2. PRÜFVERFAHREN FÜR ABTRAGENDE KLEINSTBEARBEITUNGSMASCHINEN	21
3. DIGITALE SIMULTANE PRODUKTENTSTEHUNG	29
3.1. PROZESSKETTEN IN DER DENTALTECHNIK	29
3.2. KOMPLEXITÄT UND HERAUSFORDERUNGEN DENTALER PROZESSKETTEN	34
3.3. ANSATZ FÜR EINEN SIMULTANEN PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESS.....	37
3.4. INTEGRIERTES INFORMATIONSMODELL UND EINHEITLICHES DATENBANKSCHEMA-MODELL 42	
3.5. SYSTEMARCHITEKTUR	46
3.6. EXPERTENSYSTEM FÜR EINE SIMULTANE ENTWICKLUNG VON PRODUKT UND PRODUKTIONSSYSTEM	52
3.7. UMSETZUNG IN DAS KOMMERZIELLE PRODUKT DENTALSHARE.....	59
3.8. HYBRIDE PROZESSKETTE ALS ANWENDUNG.....	65
4. HYBRIDE FERTIGUNG AUS AUFTRAGENDEN UND ABTRAGENDEN VERFAHREN	70
4.1. PRODUKTREPRÄSENTATION FÜR EINEN HYBRIDEN FERTIGUNGSPROZESS.....	76
4.2. AUTOMATISIERTE ARBEITSVORBEREITUNG FÜR EINEN HYBRIDPROZESS.....	77
4.3. ENTSTEHUNG DES PRODUKTIONSSYSTEMS	93
5. ERGEBNISDARSTELLUNG UND ANSCHLUSSVERWENDUNG	101
5.1. PROZESSKETTENDEMONSTRATOR.....	101
5.2. STEIGERUNG DER FERTIGUNGSQUALITÄT	104
5.3. KOSTEN REDUZIEREN DURCH HYBRIDE PRODUKTION	107
5.4. DURCHLAUFZEIT REDUZIEREN DURCH FÖDERATIVE DATENMANAGEMENTSOFTWARE	110
5.5. HYBRIDE PRODUKTION EINES INNOVATIVEN PRODUKTES AUS DER LUFTFAHRTBRANCHE 116	
6. ÖFFENTLICHKEITSARBEIT	118
6.1. VERÖFFENTLICHUNGEN (MESSEN/ VERANSTALTUNGEN/ ZEITSCHRIFTEN)	118
6.2. MESSEAUFTTRITTE	121
6.3. KONTAKTINFORMATIONEN	125
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	129
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	133
LITERATURVERZEICHNIS	135