

Geometrische Optimierung von dentalen Restaurationen unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeit des Zahnhalteapparates

Stefan Raith, Benedikt Simon, Horst Fischer



Zahnärztliche Werkstoffkunde und Biomaterialforschung
Universitätsklinikum der RWTH Aachen
Pauwelsstraße 30
52074 Aachen
www.biomaterialforschung.de

Forschungsprojekt

DynaBite

Realisierung eines 3D-Sensors für die patientenindividuelle Kausimulation als Basis von hochpräzisem Zahnersatz unter Berücksichtigung der dynamischen Okklusion



Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung **FKZ: 13GW0016C**

Zahnärztliche Werkstoffkunde und Biomaterialforschung
Universitätsklinikum der RWTH Aachen



Weitere Projektpartner:

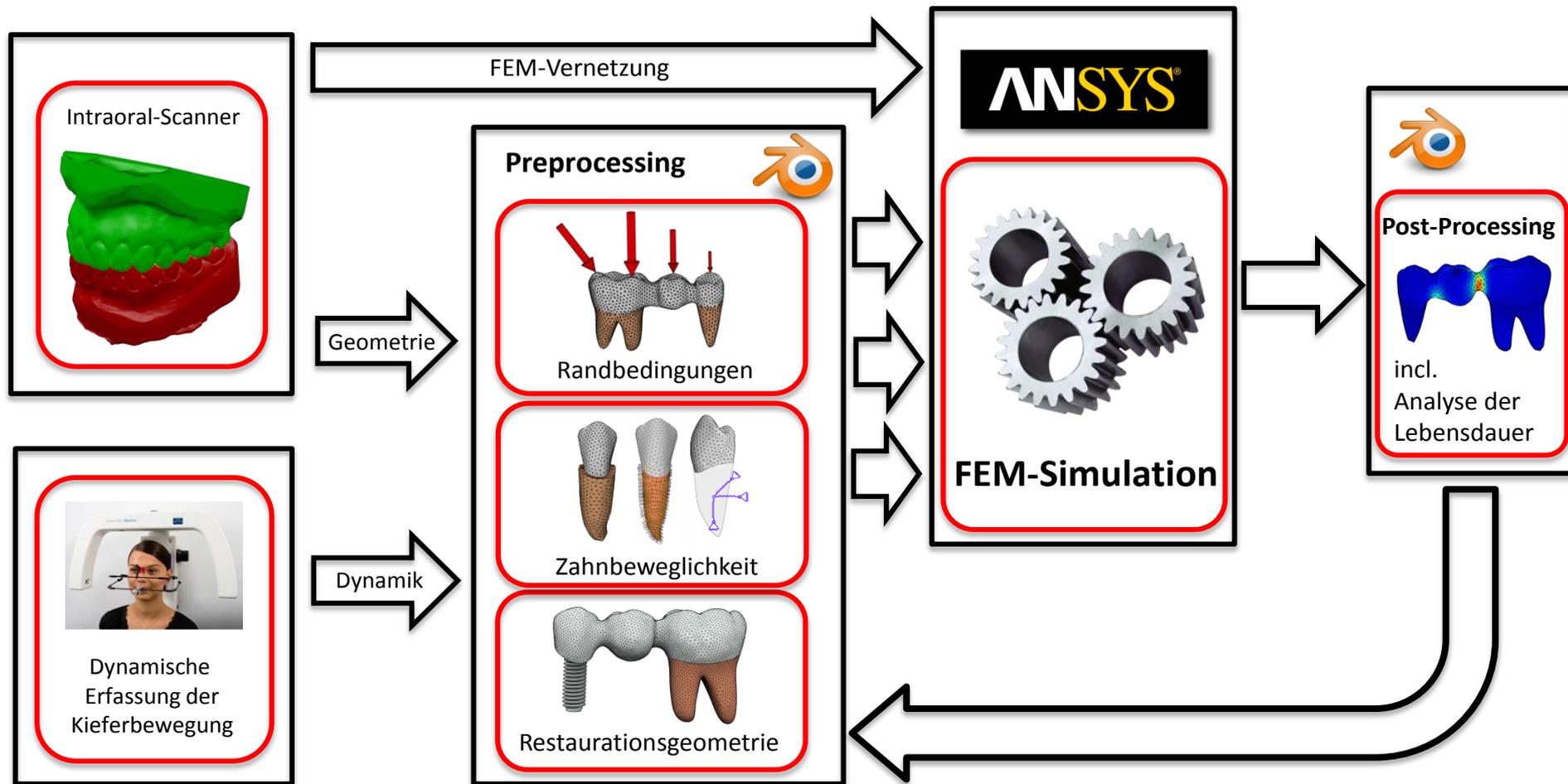
- Klinik für Zahnärztliche Prothetik, LMU München
- Zeiss Optotechnik GmbH, Neubeuern
- DMD GmbH (Digital Medical Design), Dortmund

Besondere Herausforderungen des Projektes

- Zahlreiche technische Herausforderungen
 - individuelle Geometrien der Zähne
 - Schnittstellung zur den bildgebenden Verfahren
 - Oberflächenscanner
 - Dynamik der Kaubewegungen
 - nichtlineare Simulationen
 - Kontakt zwischen Zahnreihen
 - hyperelastische Materialeigenschaften
 - Analyse der Langzeitfestigkeit
- Anwenderfreundliches Tool
 - Zielgruppe: Zahnärzte und Dentaltechniker statt Ingenieure
 - daher kein Tool für Software/CAD-Experten
 - verständliche Benutzerführung
 - weitgehende Automatisierung der Simulation



Überblick: Gesamter Prozessablauf



Kombination unterschiedlicher Software-Komponenten erforderlich



- ICEM cfd (FE-Vernetzung)



- Ansys Classic (mechanische FEM-Simulation)



- CARES/life (Lebensdaueranalyse)



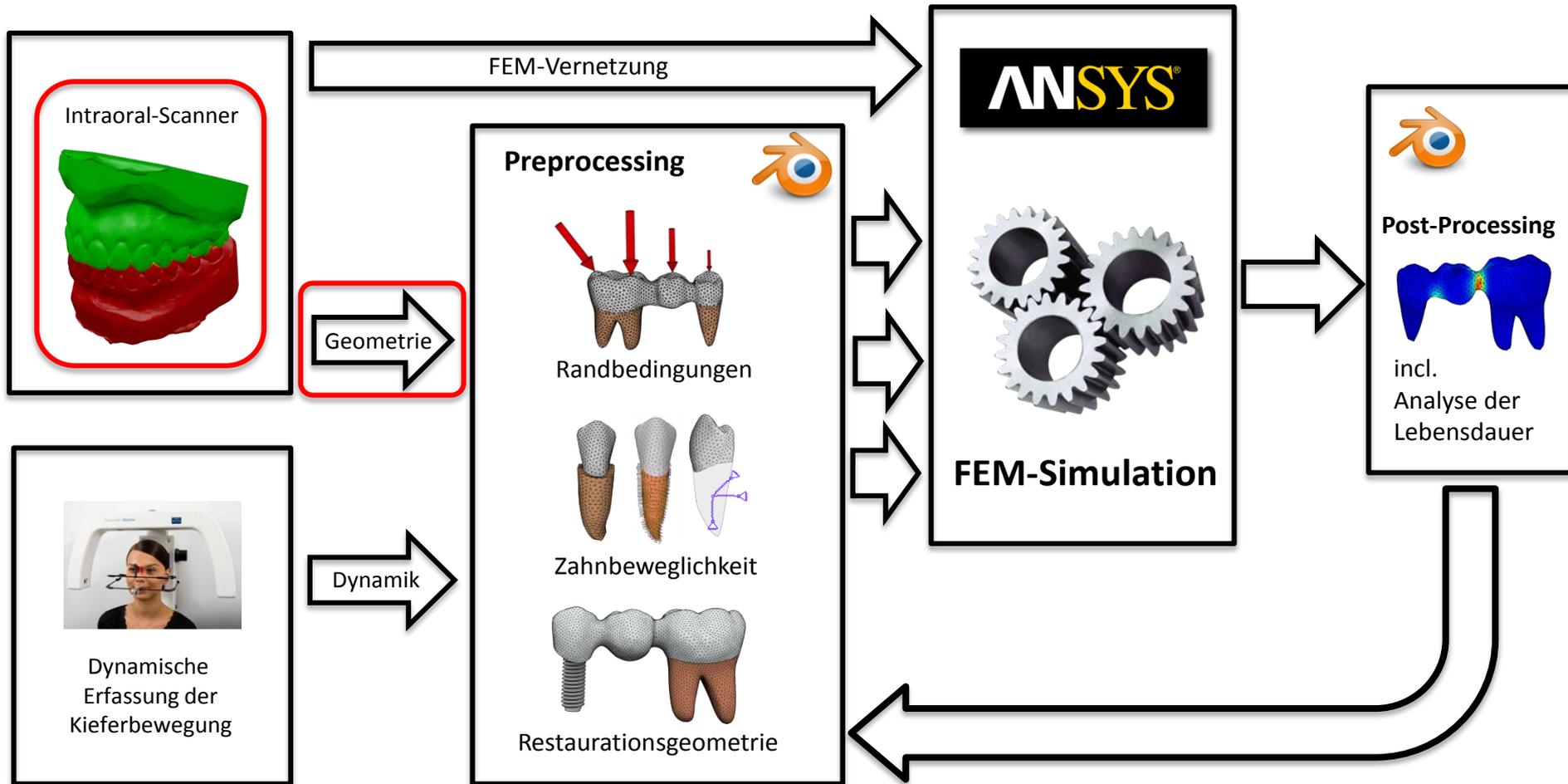
- optiSlang (Parameteroptimierung)



- Blender (mehr als ein Visualisierungstool)



Gesamter Prozessablauf



Ausgangslage: Dentale Oberflächenscans

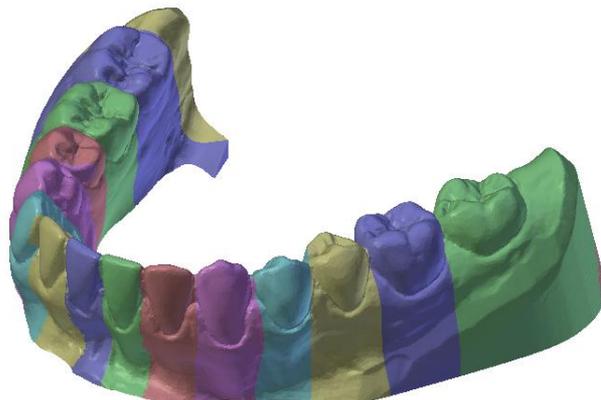
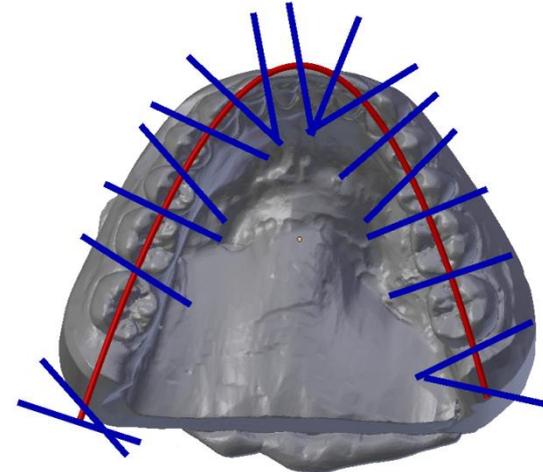


Simulationen basierend auf dentalen Oberflächenscans python

Okklusale Ansicht eines Dentalscan



Automatisch detektierte Unterteilungen

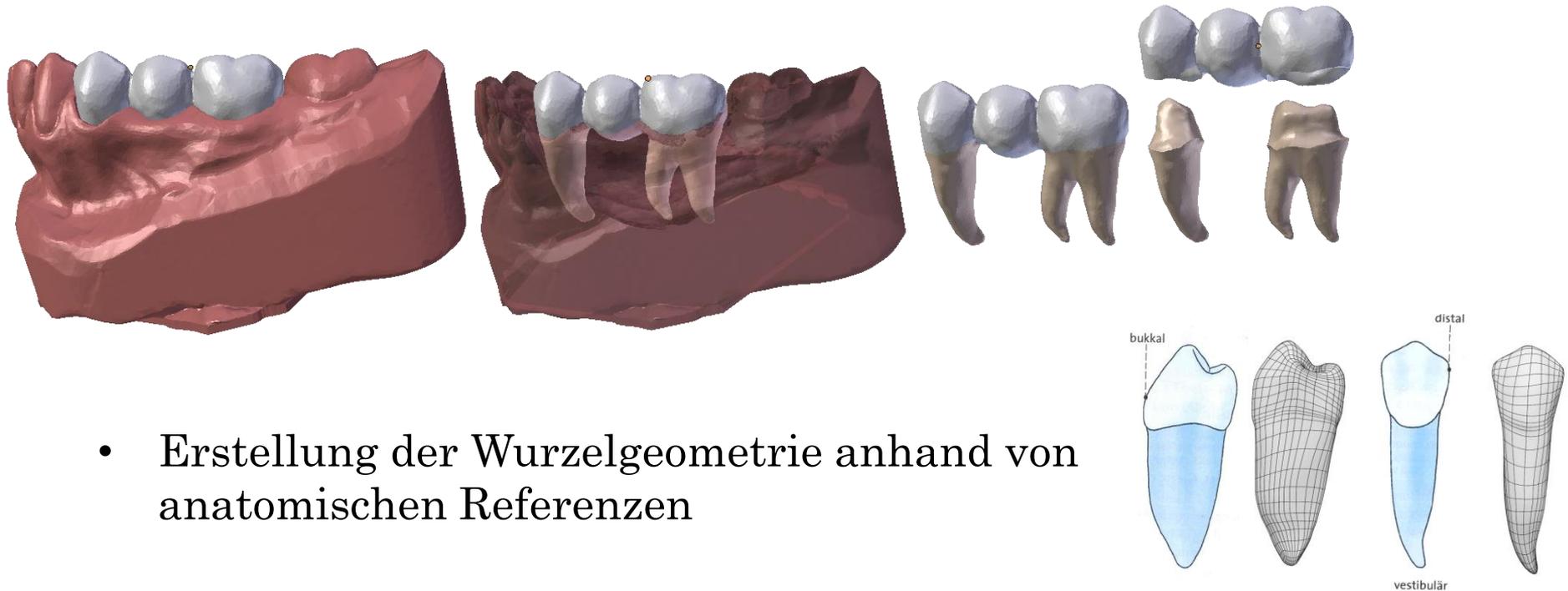


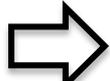
Trennung der Zähne



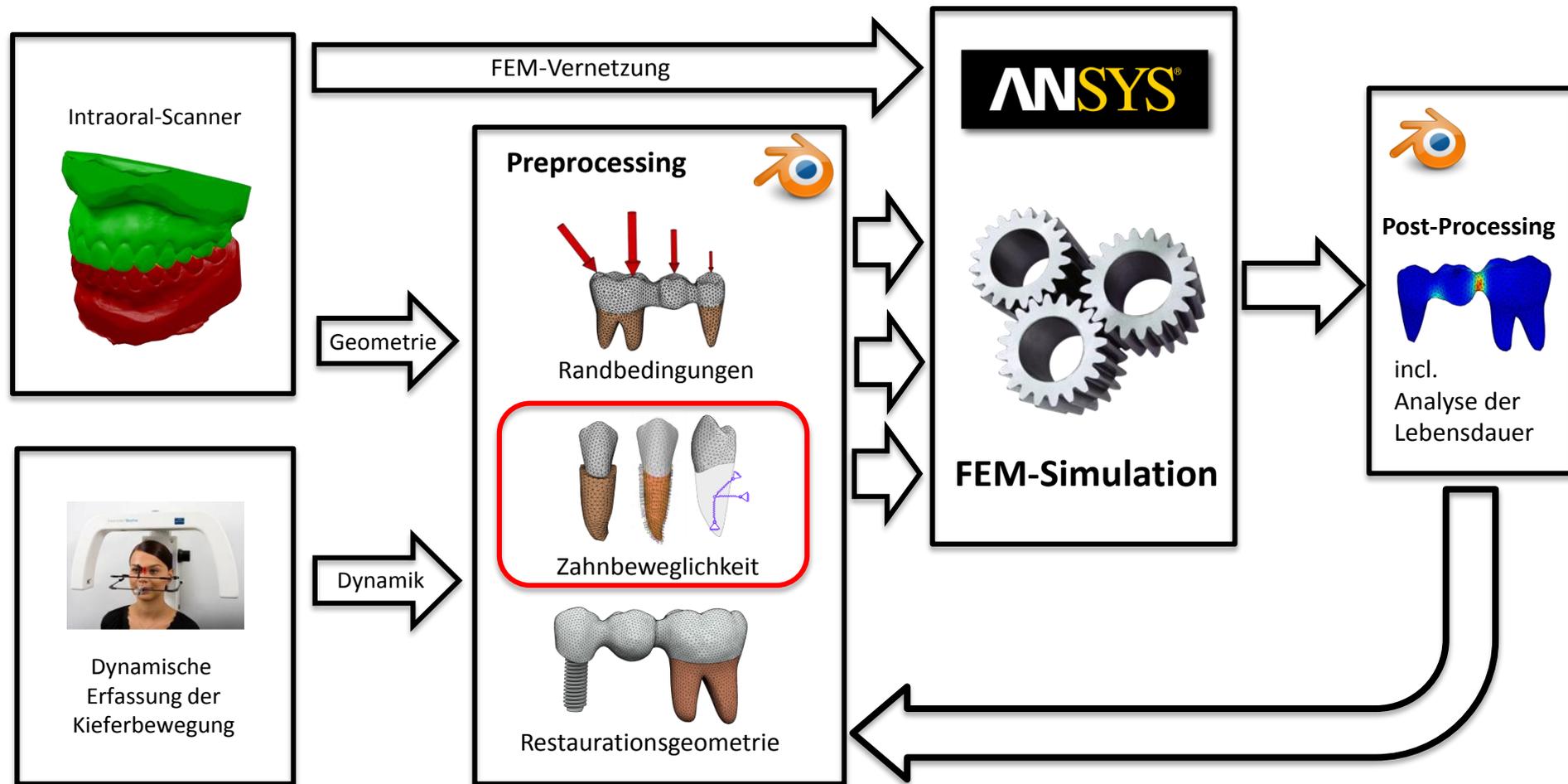
Separation an der Zahnfleischgrenze

Erstellung von Simulationsmodellen basierend auf 3D Oberflächenscans python

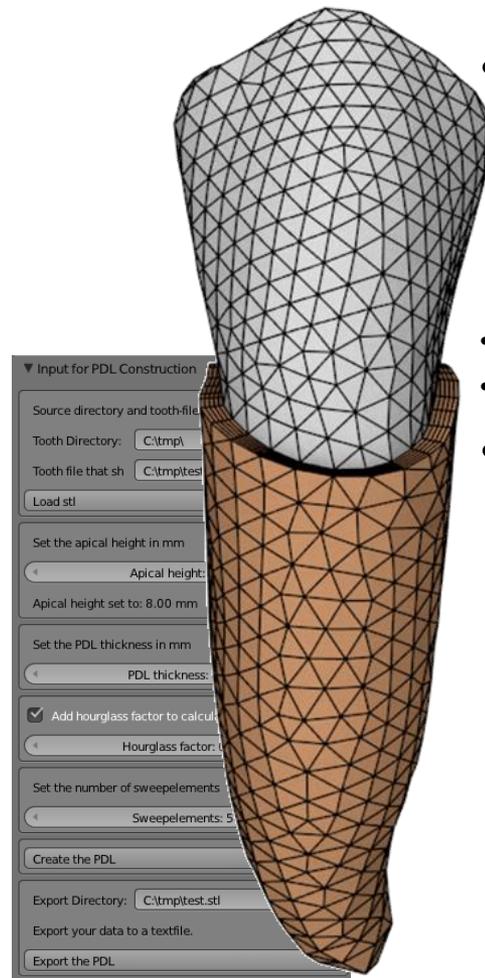


- Erstellung der Wurzelgeometrie anhand von anatomischen Referenzen
- Algorithmen für teil-automatisierte Erstellung dieser Geometrien
- Schnittstellen zur Vernetzungssoftware    ICEM CFD

Gesamter Prozessablauf



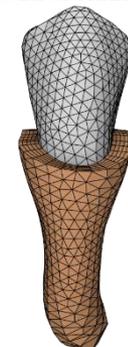
Modell der Zahnbeweglichkeit Volumenvernetzung



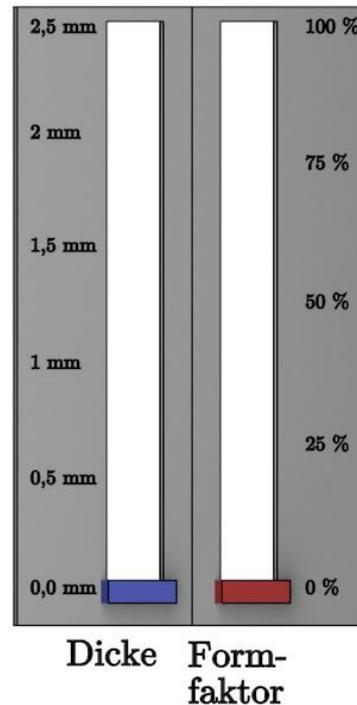
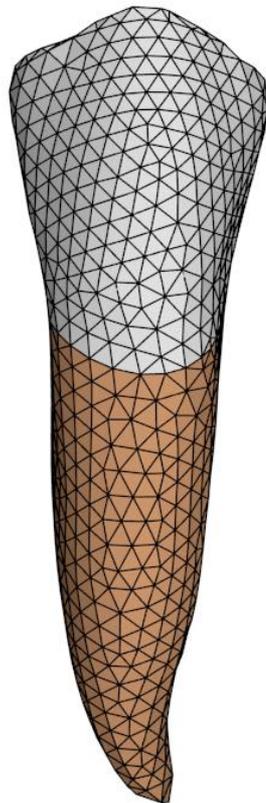
- Graphische Benutzeroberfläche wurde erstellt



- Quelloffene Software Blender
- Programmiersprache: Python
- Anpassung der geometrischen Parameter des PDLs
 - Dicke
 - Ausprägung der Sanduhrform



Simulationsmodell mit Volumenvernetzung

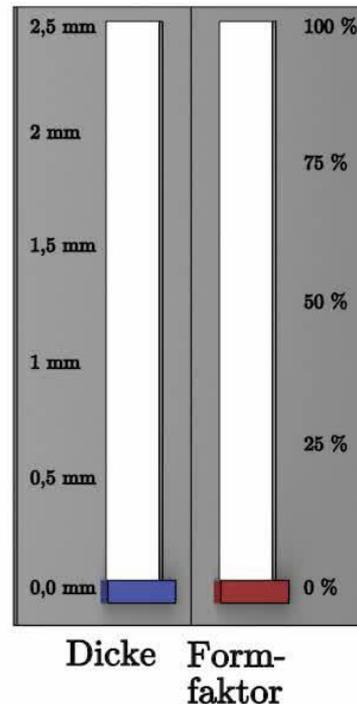
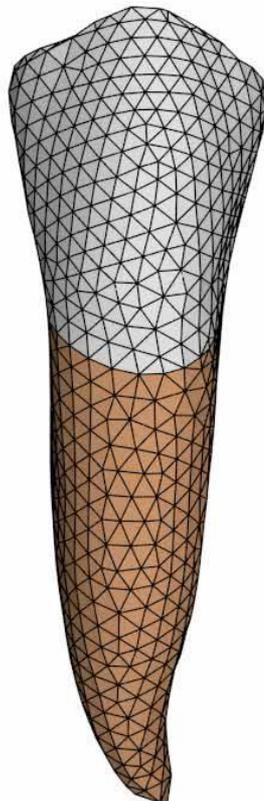


Dicken und Faktoren für die Sanduhrform des PDL sind stufenlos einstellbar

Adaption auf beliebige Wurzelformen

Export an das Simulationsprogramm

Simulationsmodell mit Volumenvernetzung

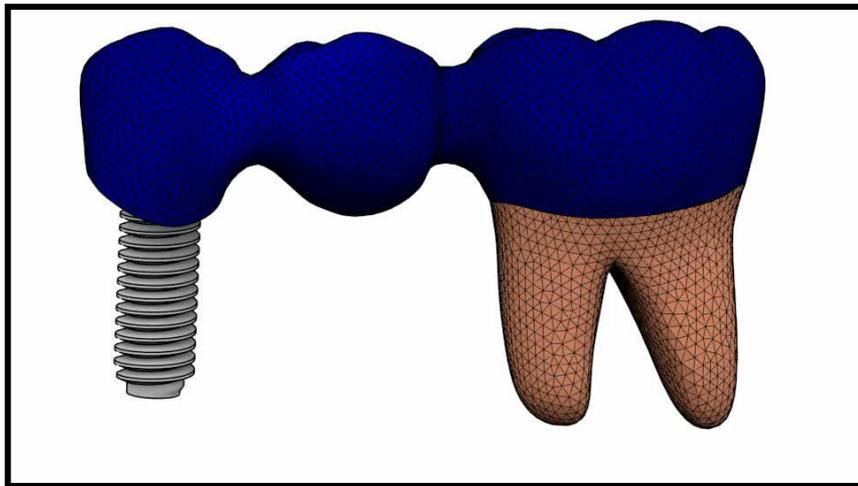
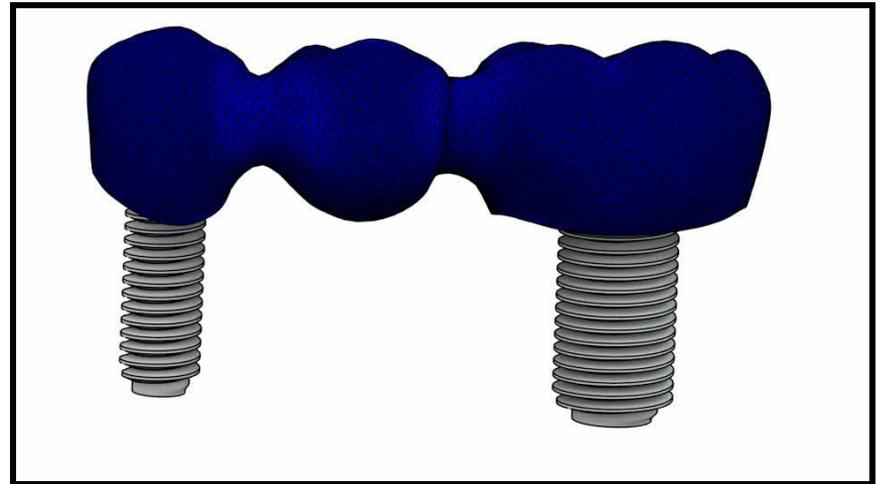
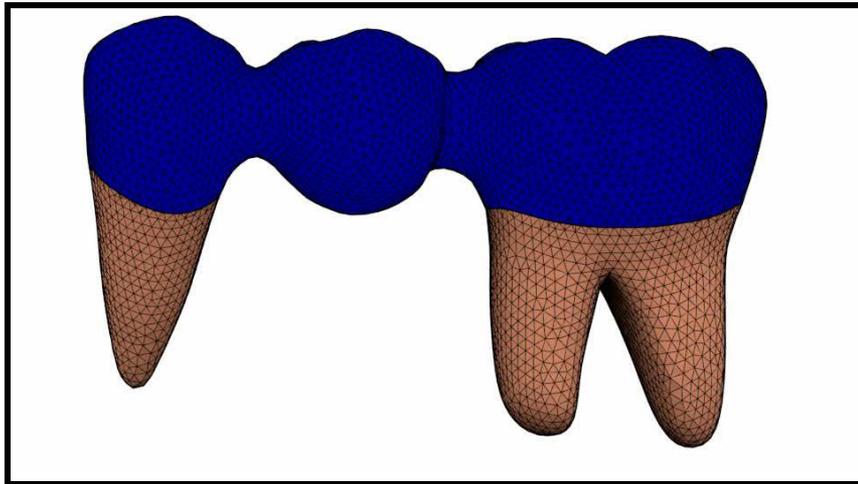


Dicken und Faktoren für die Sanduhrform des PDL sind stufenlos einstellbar

Adaption auf beliebige Wurzelformen

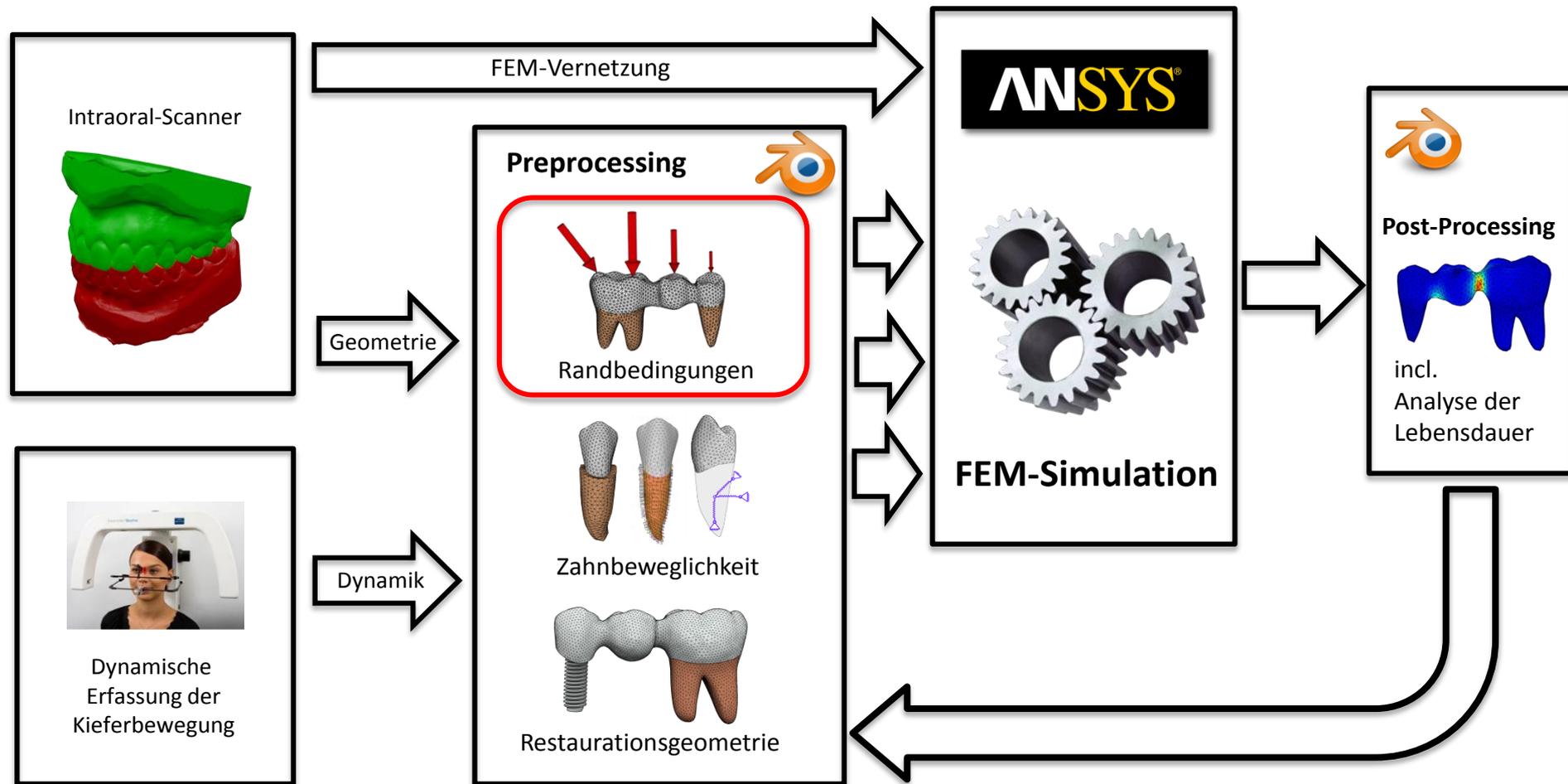
Export an das Simulationsprogramm

Simulation von unterschiedlichen prothetischen Restaurationen

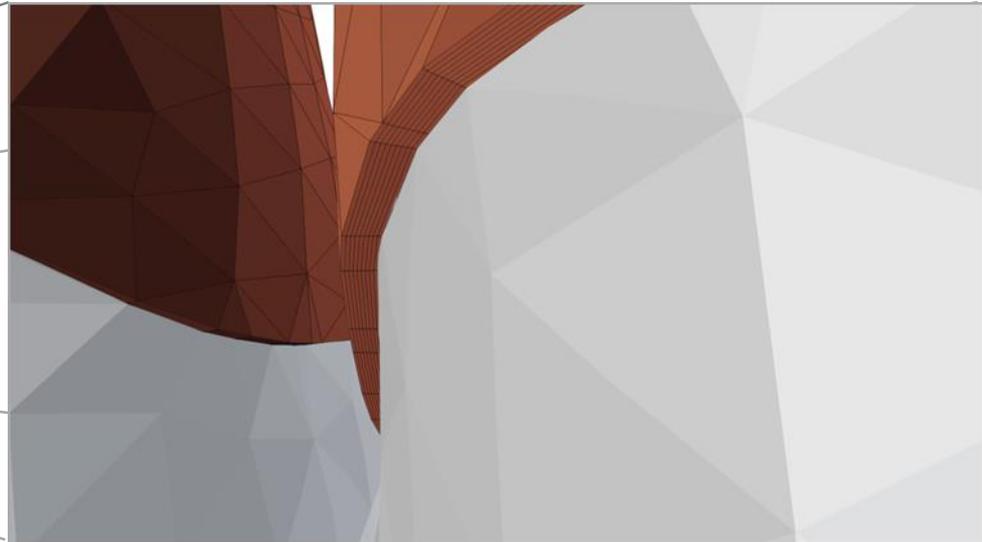
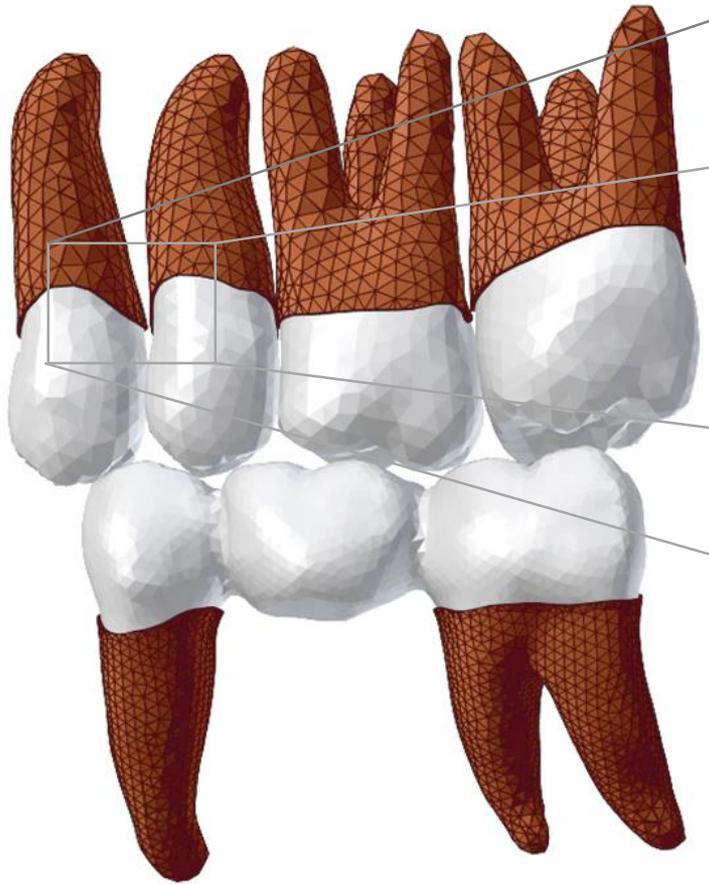


Zahnbeweglichkeit hat entscheidenden Einfluss auf die Beanspruchung von dentaler Prothetik

Gesamter Prozessablauf



Details der Modellerstellung



Periodontales Ligament kann einfach erstellt werden

Zwei Varianten:

A: Graphische Benutzereingabe (GUI)

B: Scripting Schnittstelle (API)

Alle Parameter einstellbar:

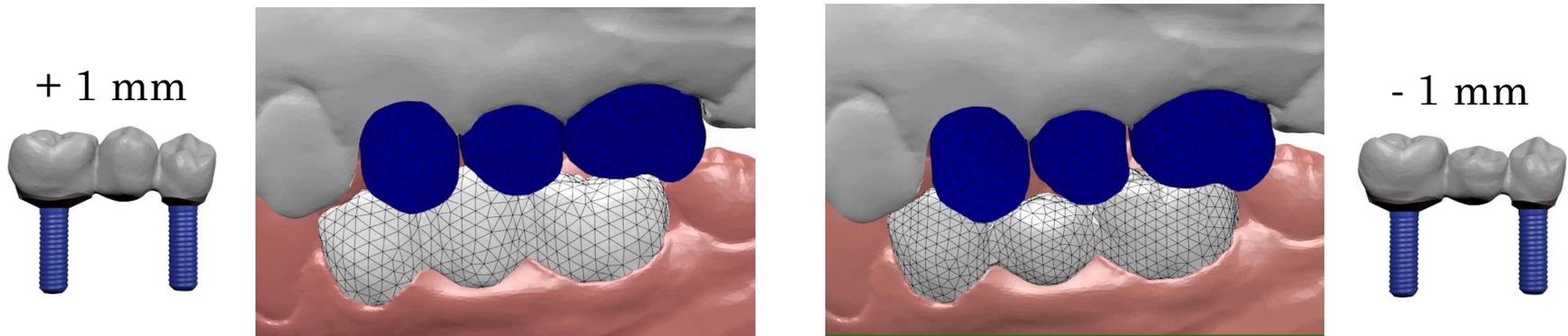
Dicke, Sanduhrfaktor etc....

sowohl weggesteuerte als auch kraftgesteuerte Simulation möglich



Kontaktsimulation für realistische Okklusion

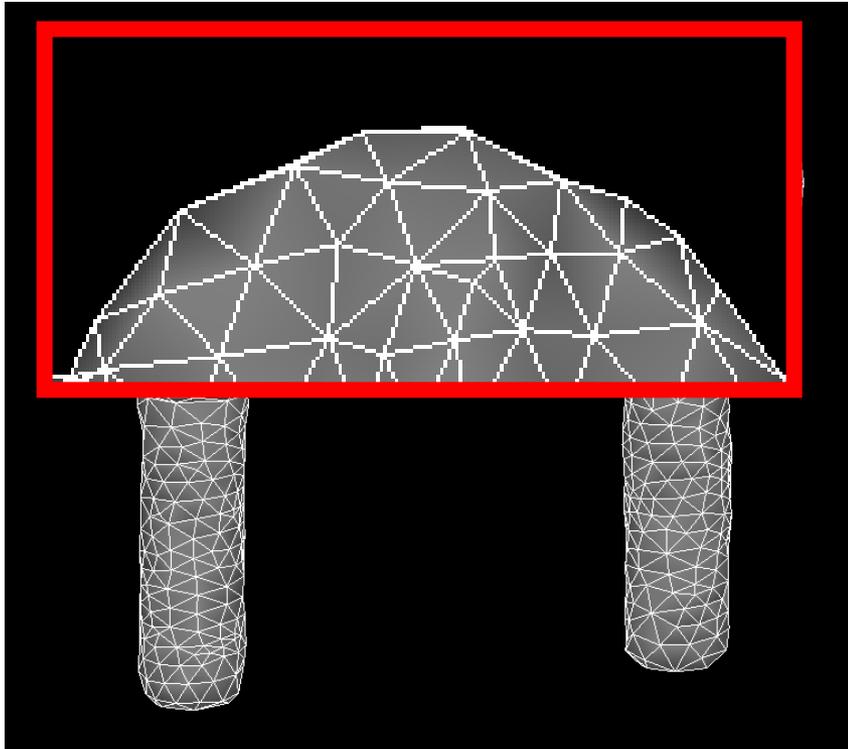
- Kontaktsimulation Okklusion



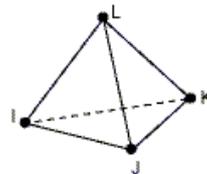
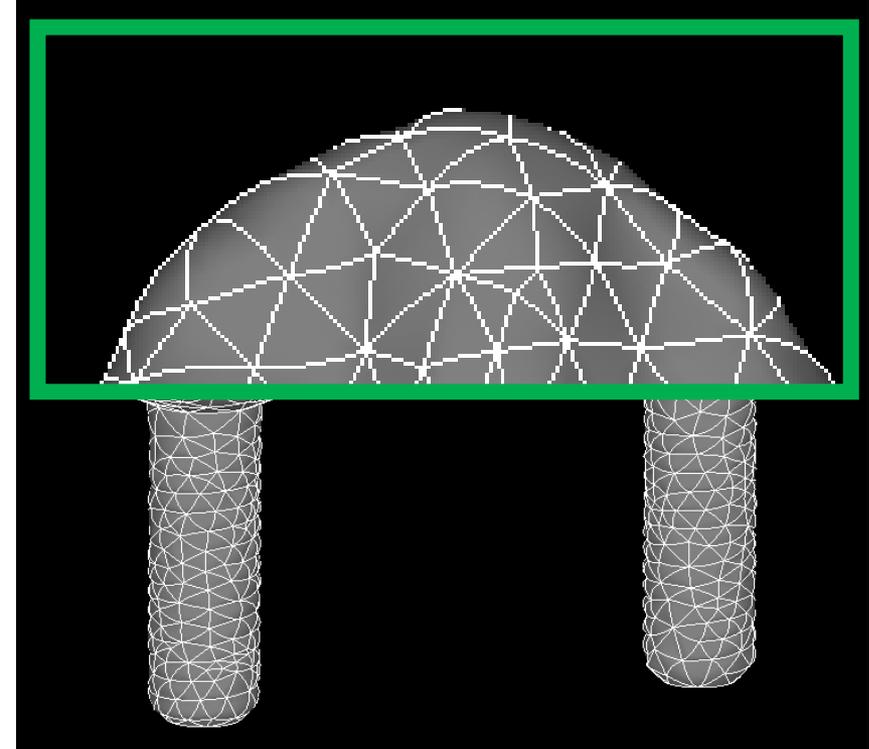
- Herausforderungen aus technischer Sicht:
 - (Multi-)Kontakt ist ein hochgradig nicht-lineares Problem
 - Elemente höherer Ordnung vorteilhaft

Technische Verbesserung: Quadratische Elemente

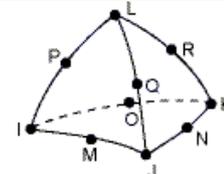
Elemente mit
linearen Ansatzfunktionen



Elemente mit
quadratischen Ansatzfunktionen

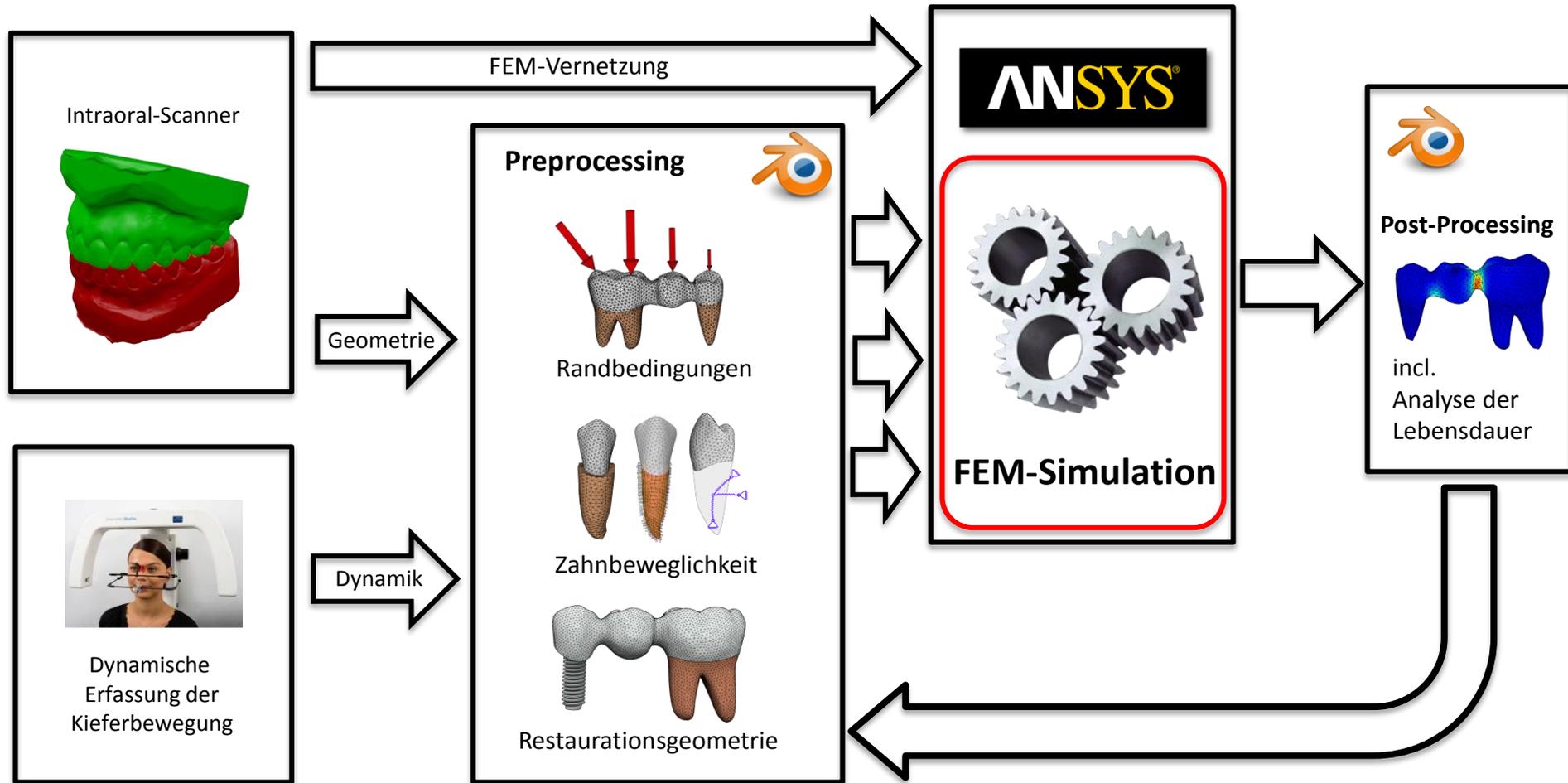


KEYOPT (1) = 8
tetrahedron with 4 nodes



KEYOPT (1) = 9
tetrahedron with 10 nodes

Gesamter Prozessablauf



Simulationsschnittstellen zwischen Blender und Ansys Classic

- Vorteile der objektorientierten Programmiersprache Python
 - Eigens definierte Klassen für:
 - Elemente, Knoten, Komponenten, Materialeigenschaften, Randbedingungen...

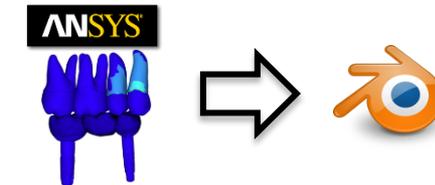
- Lesen von APDL-Dateien
 - durch ICEM erstellte Netze
 - ggf. bestehende Randbedingungen



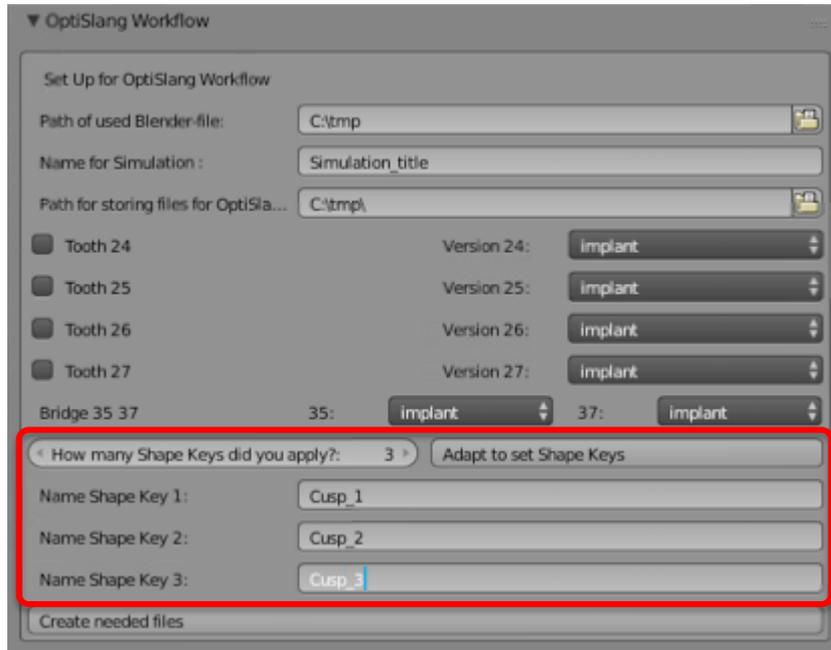
- Schreiben von APDL-Dateien
 - mit Kraft- und Verschiebungsrandbedingungen
 - mit Vernetzung (z. B.: des PDLs)
 - mit über GUI oder API definierten Materialeigenschaften
 - mit Randbedingungen



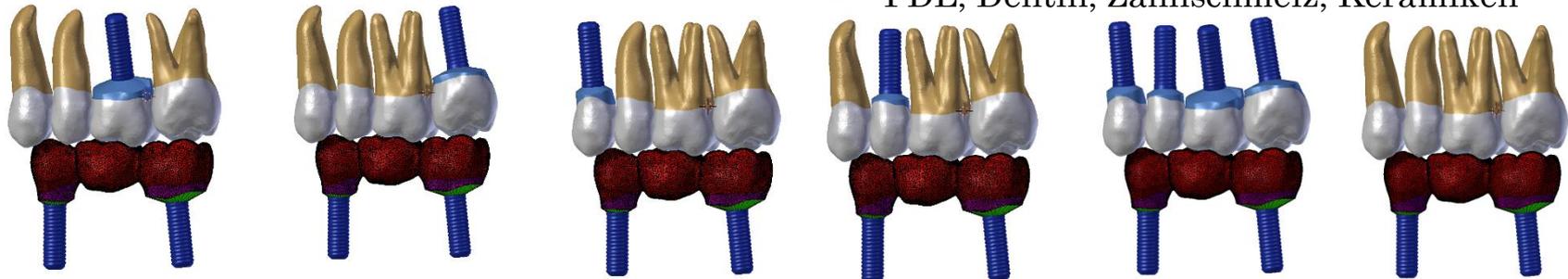
- Lesen Ergebnisdateien der Simulationen
 - APDL Skripte für den Export der Simulationsdateien
 - ASCII-Format (.db)
 - Visualisierung aller verfügbaren Ergebnisse
 - Renderings (inkl. Raytracing); Animationen etc...
 - Automatisiertes Postprocessing der Ergebnisdaten



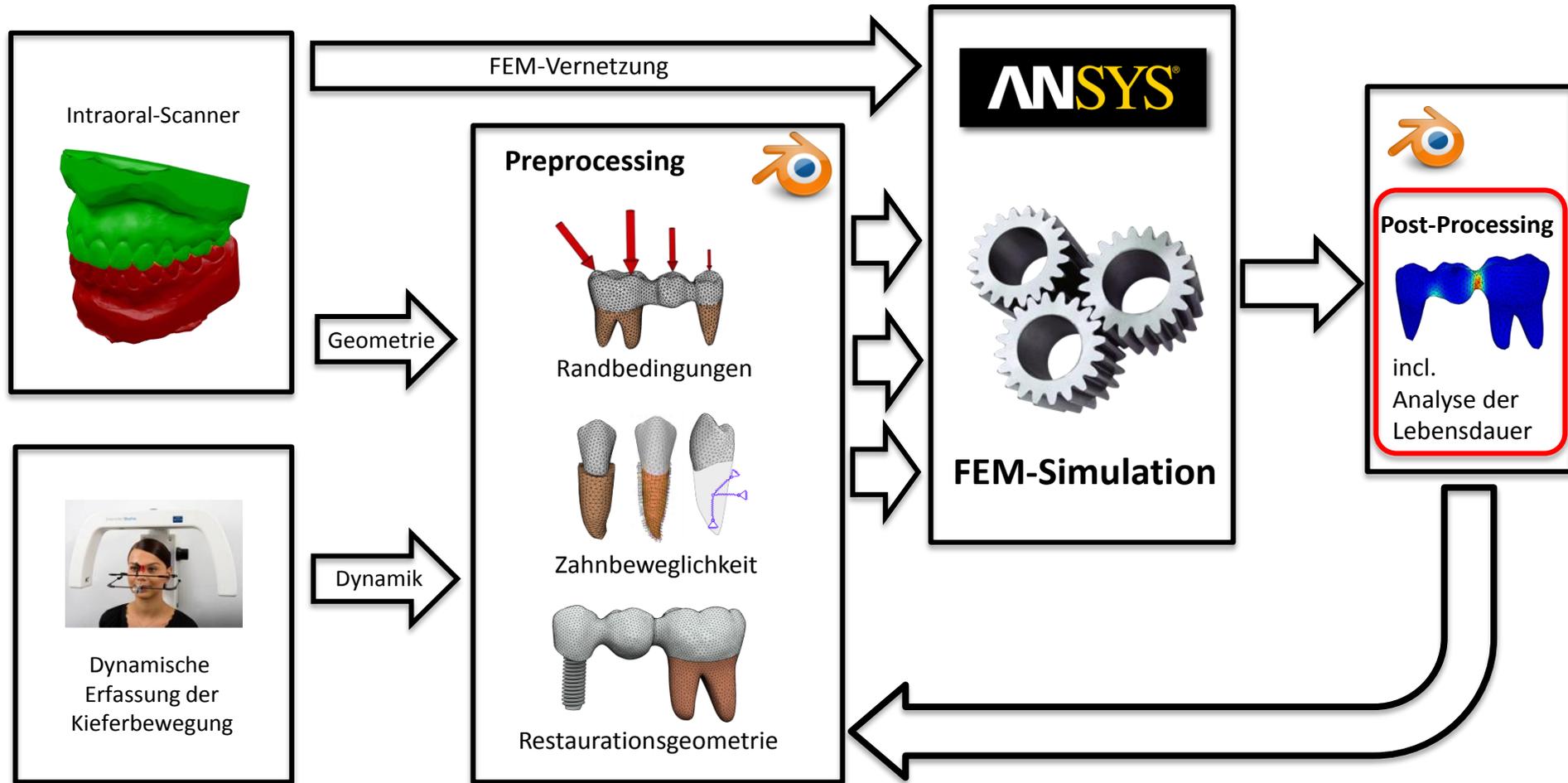
Spezifisch entwickelte Benutzerführung zur Erstellung der Simulationsmodelle



- Einfache Bedienung
- Graphische Benutzeroberfläche
- Individuelle Zahngeometrien
- Implantat/Echtzahn direkt anwählbar
- Materialeigenschaften einstellbar
 - Literaturdatenbank
 - PDL, Dentin, Zahnschmelz, Keramiken



Gesamter Prozessablauf



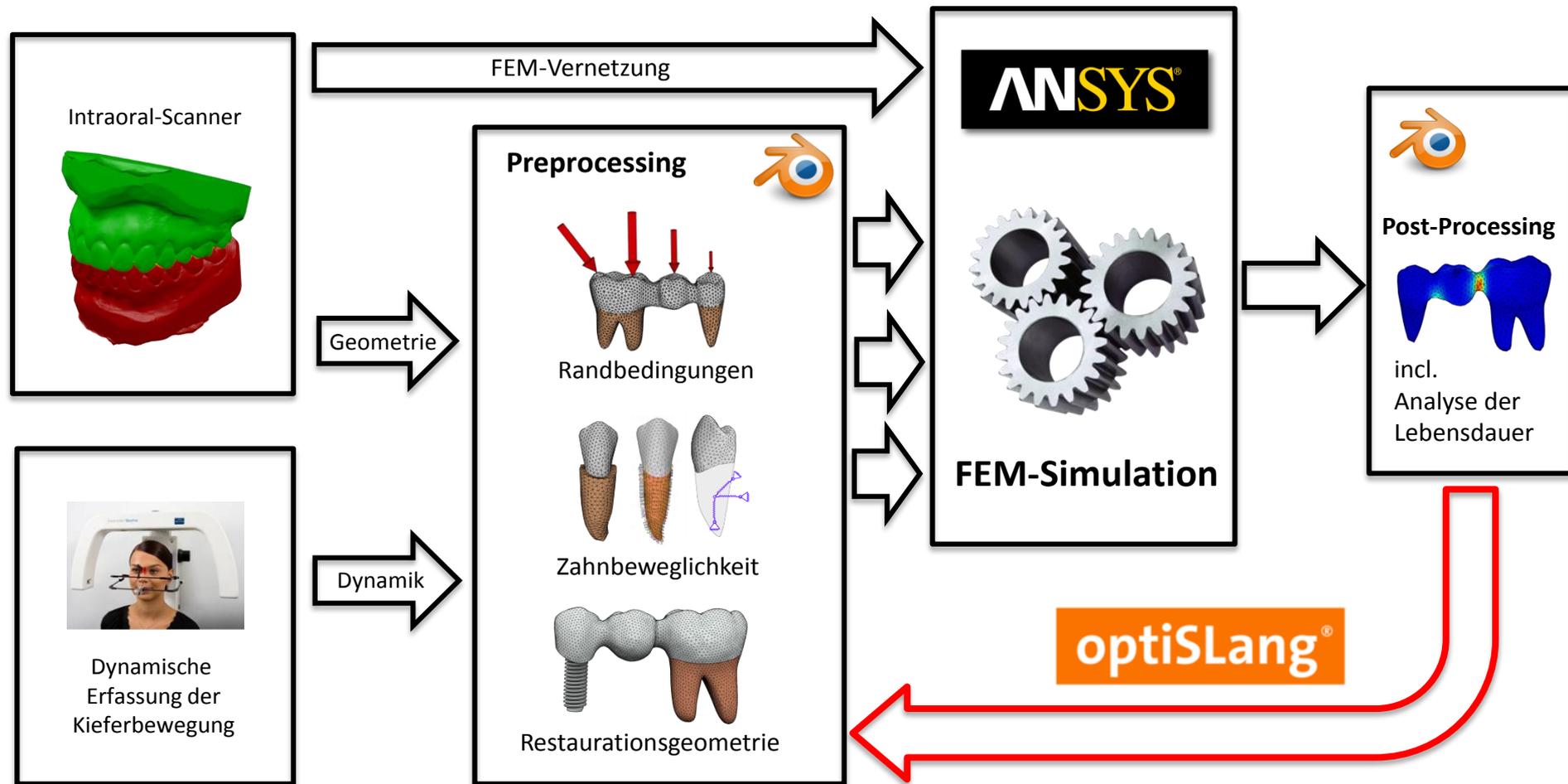
Automatisierung der Berechnung der Langzeitprognose von dentalen Restaurationen



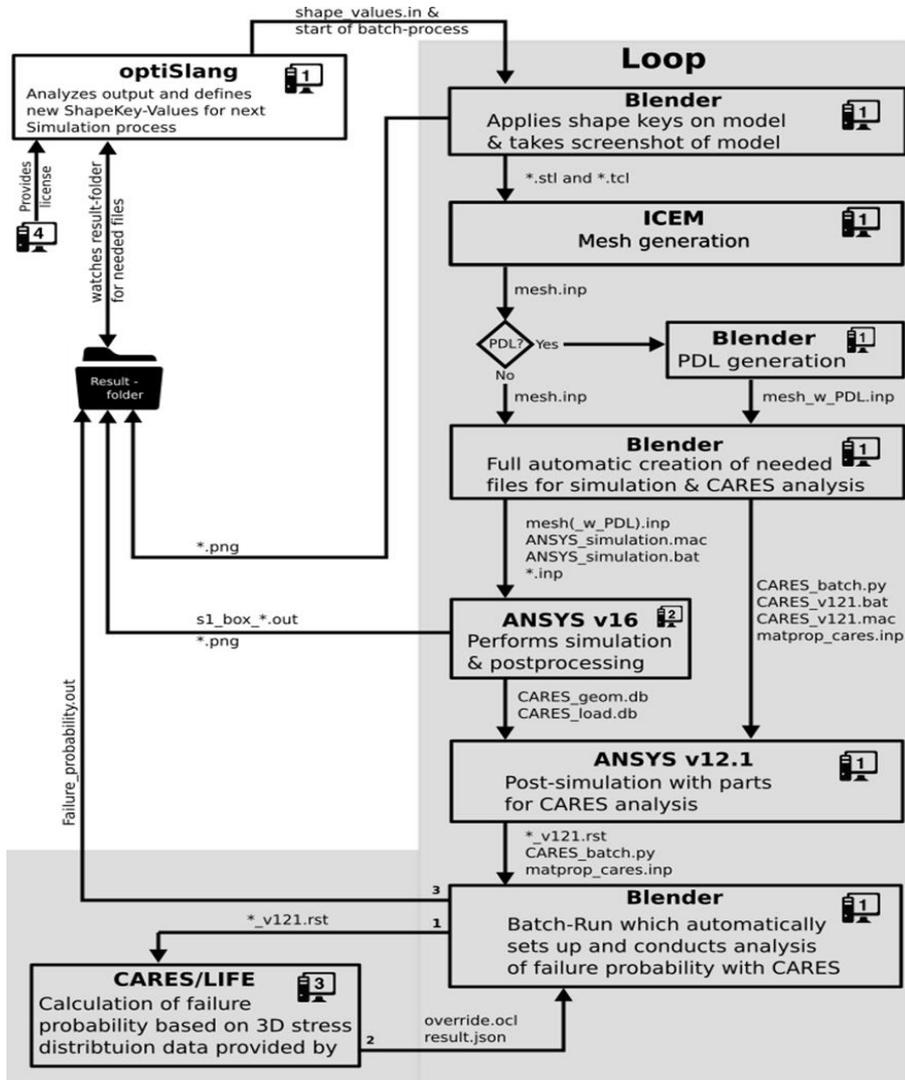
- Software CARES/life wird im Postprocessing verwendet
- Statistische Berechnungen der Versagenswahrscheinlichkeit
- Schnittstellen zu allen gängigen FEM-tools sind vorhanden
 - ANSYS Classic .rst-file kann eingelesen werden
- **ABER:**
 - Benutzereingaben zwingend erforderlich
 - Keine direkte Automatisierung als Batch-Prozess
- **Entwickelte Lösung:**
 - Verwendung von Klick-Automatisierungen (Python Programmpaket *pywinauto*)
 - Blender-Schnittstelle zur Einstellung aller relevanten Materialparameter

-> Letztes Glied in der Prozesskette damit auch für automatisierten Ablauf geeignet.

Gesamter Prozessablauf



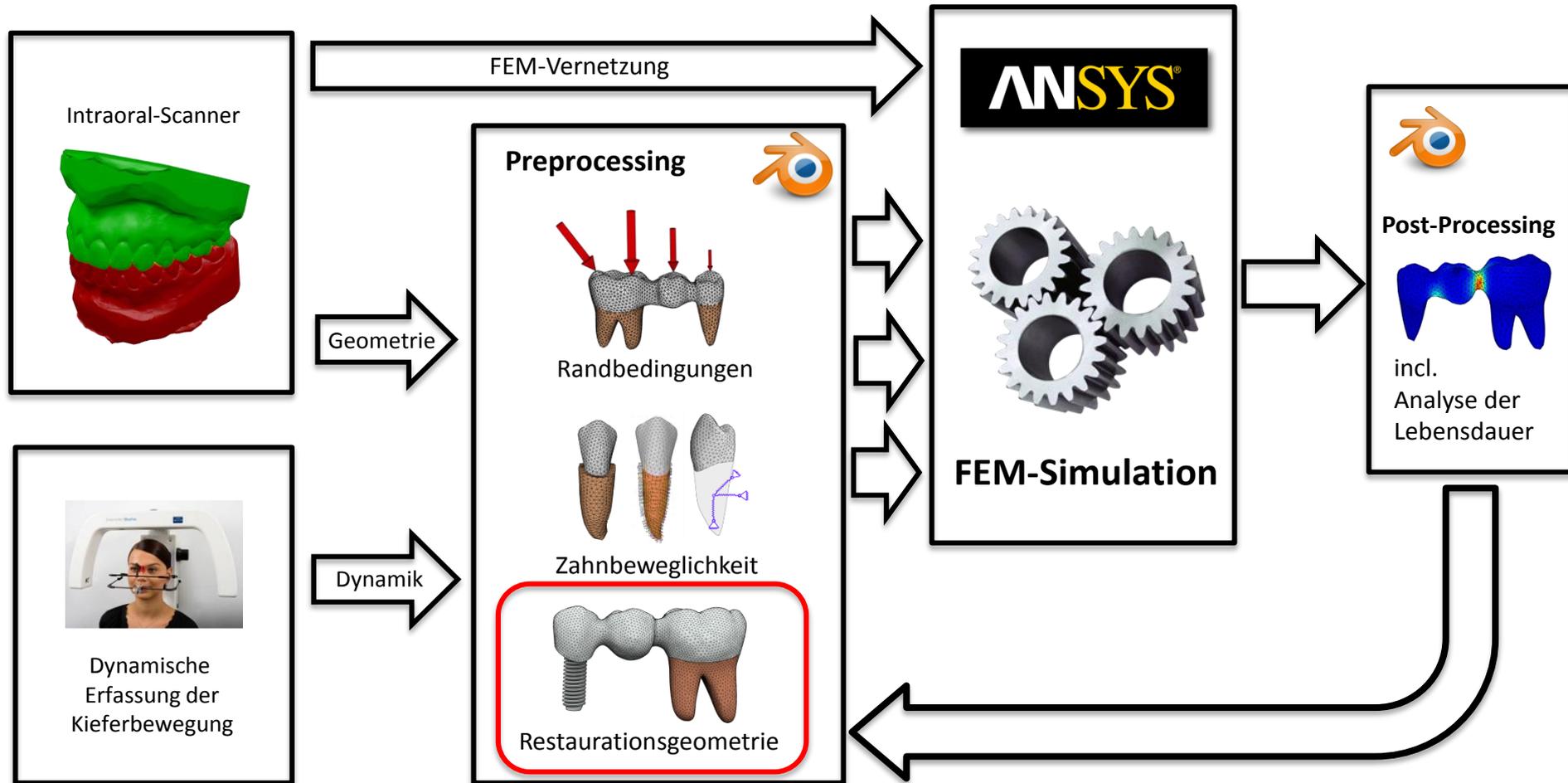
Optimierungsprozess



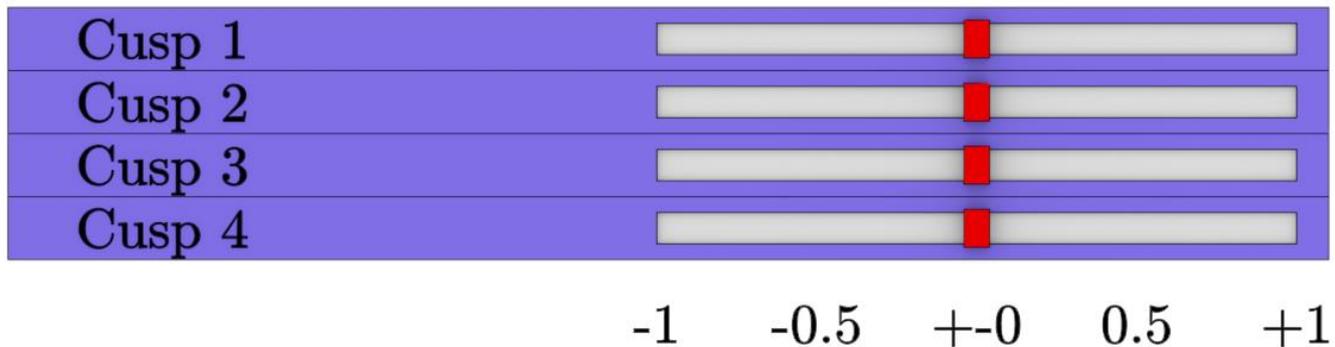
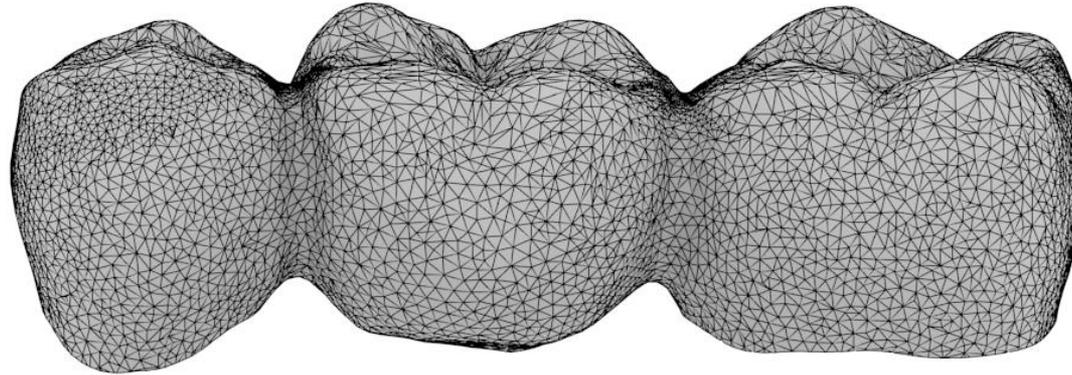
Besonderheiten:

- Vollkommen automatisierte Modellerstellung
- Integration von vier Programmen
 - Blender (mehrfach)
 - ICEM zur FEM-Vernetzung
 - ANSYS zur statischen FEM-Berechnung
 - CARES/life für Langzeitprognosen
- Aufteilung auf insgesamt vier Computer (für optimale Ausnutzung von Rechenzeit und Lizenzen)

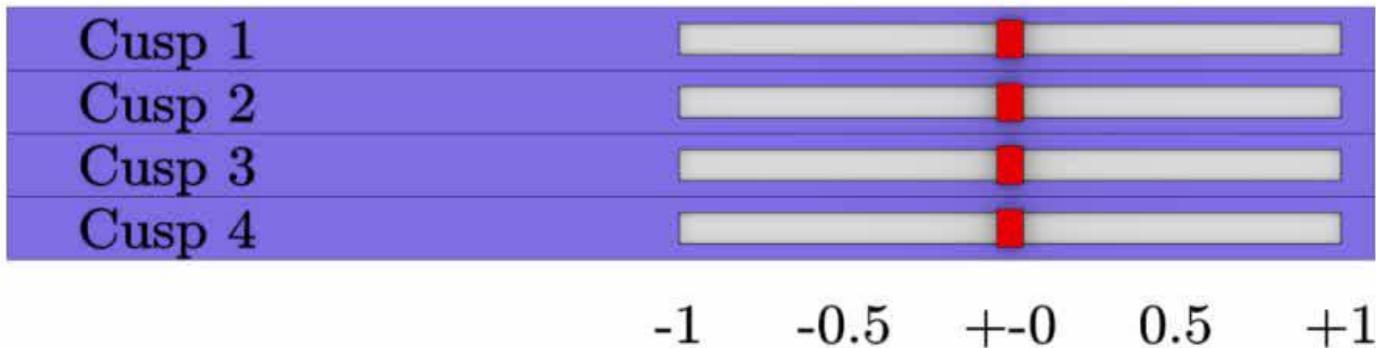
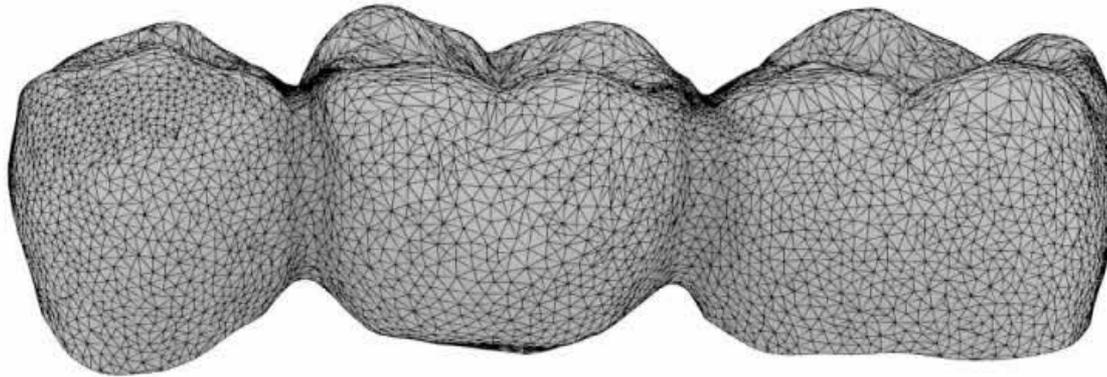
Gesamter Prozessablauf



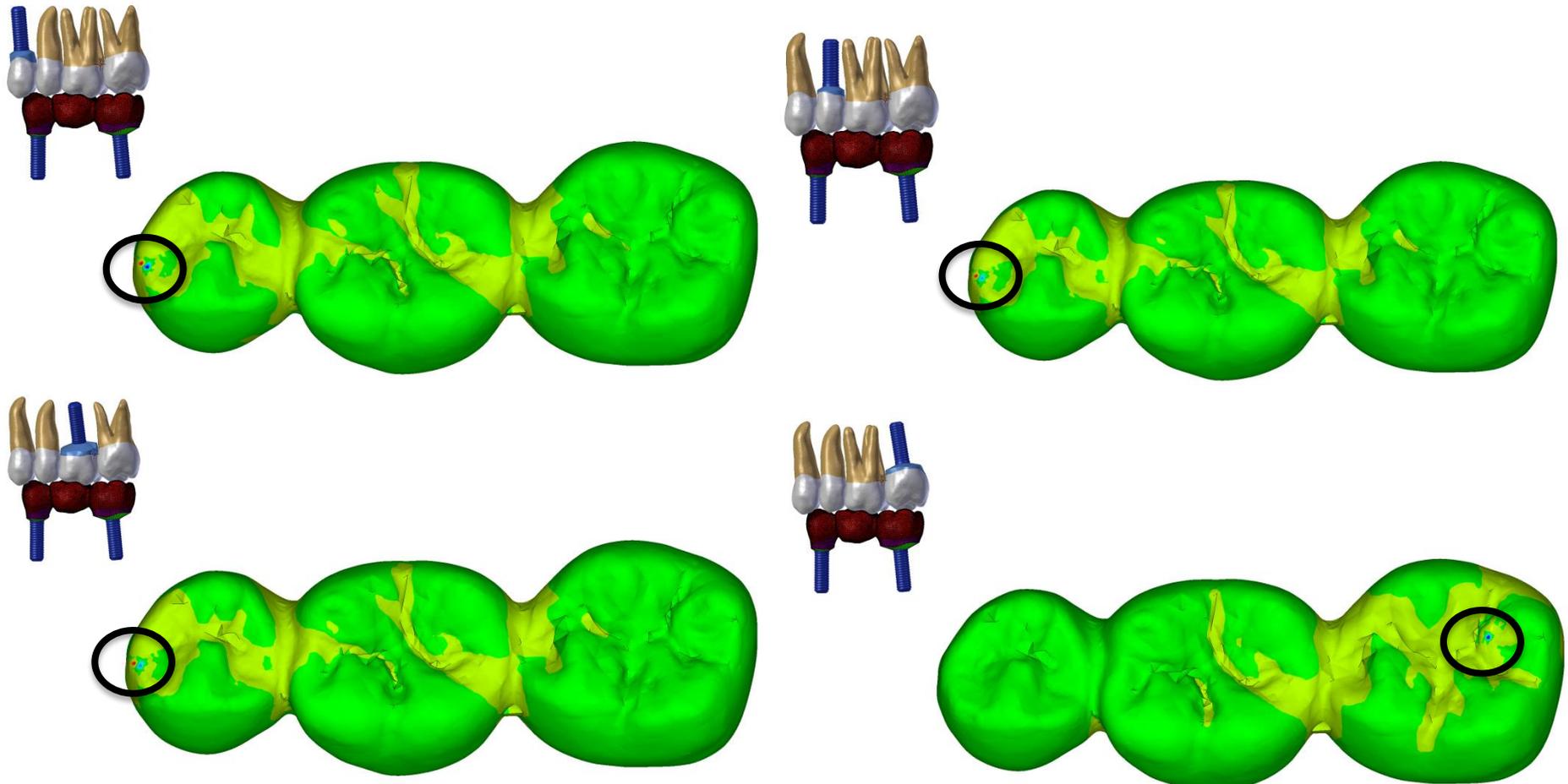
Beispiel einer Optimierung: Variation der Höckergeometrie



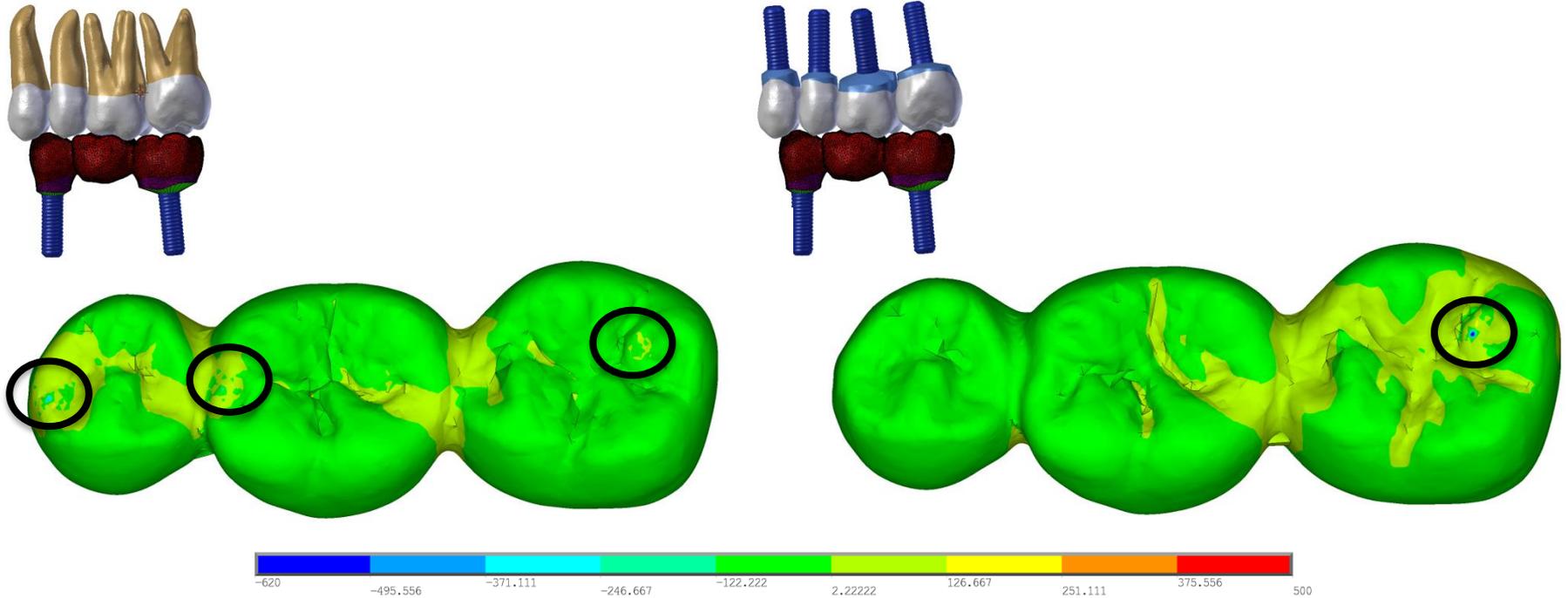
Beispiel einer Optimierung: Variation der Höckergeometrie



Vergleich unterschiedlicher Situationen der Antagonisten

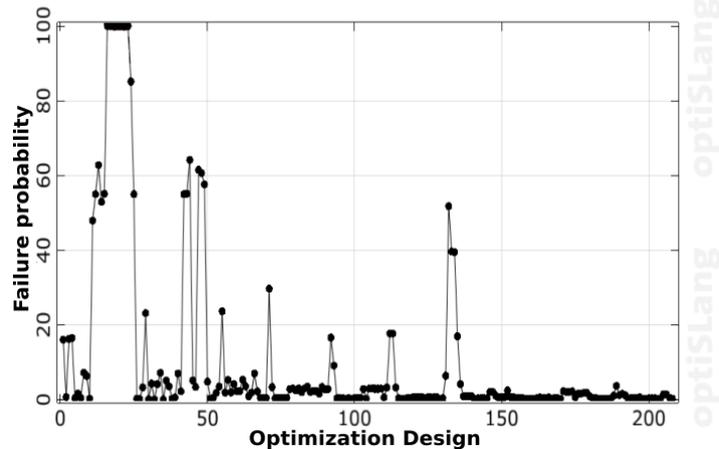


Vergleich unterschiedlicher Situationen der Antagonisten

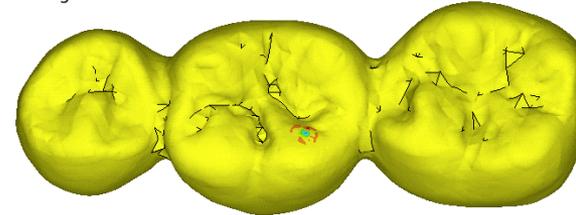


- Kontaktkräfte in höchstem Maße von der Situation an den Antagonisten abhängig
- Relative Position der beiden Zahnreihen ebenfalls hochgradig relevant
 - Unterstreicht Wichtigkeit von präziser Erfassung der Kaubewegungen

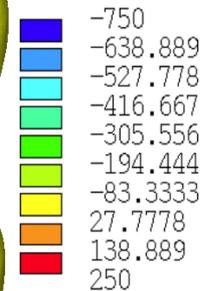
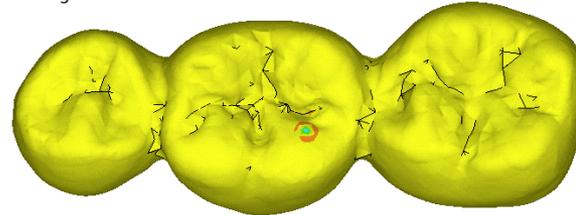
Ergebnis der Optimierung Variable Geometrie der Zahnhöcker



Design 20 - PoF = 100%

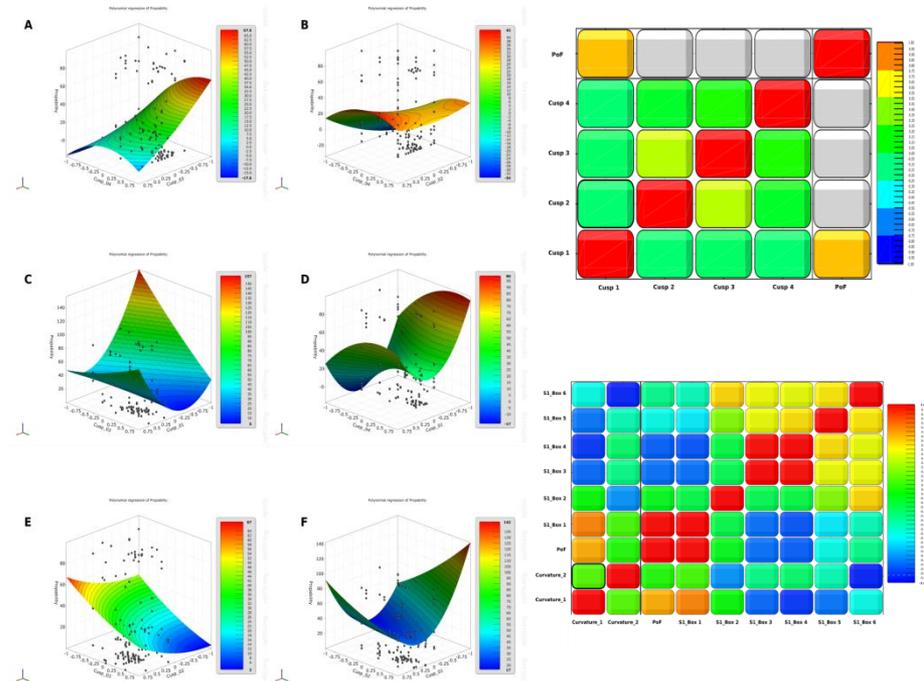
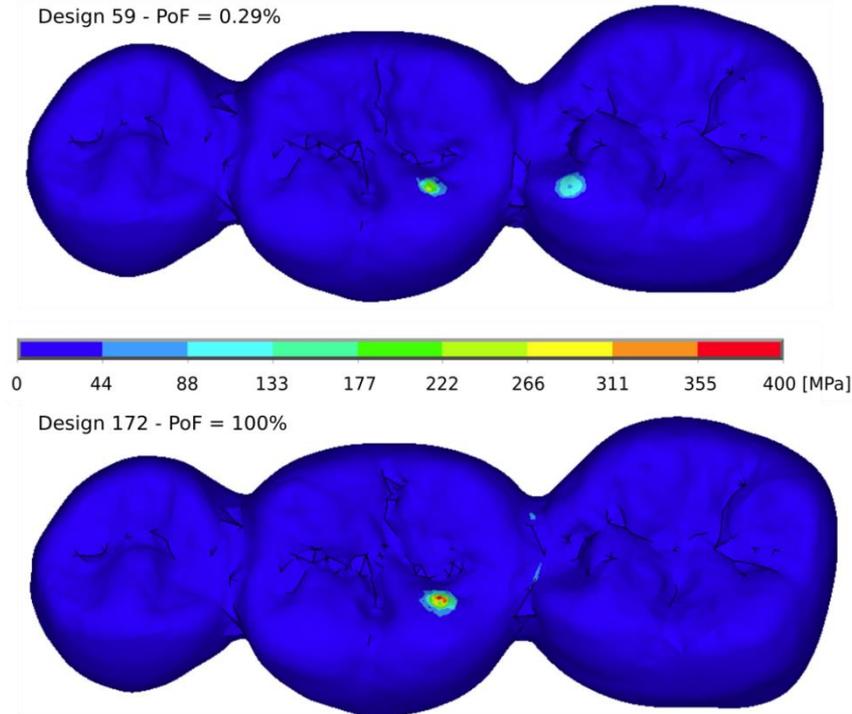


Design 32 - PoF = 0.06%



- Über 200 Varianten simuliert
- Zu Beginn viele Varianten mit 100% Versagenswahrscheinlichkeit
- Sukzessives Finden eines optimalen Designs
- Optimale Parameterkombination mit 0,06% Versagenswahrscheinlichkeit

Ergebnis der Optimierung Variable Geometrie der Zahnhöcker



- Höckerdimensionen werden in der Optimierung so angepasst, dass optimaler (ggf. multipler) Kontakt entsteht
- Berücksichtigung von Zahnbeweglichkeit auch hier gegeben
- Einfluss der Parameter kann detailliert untersucht werden

Danke für die Aufmerksamkeit



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Förderkennzeichen: 13GW0016A