

## **Bachelorarbeit**

zur Erlangung des Grades  
Bachelor of Science in Informatik

# **Automatische Segmentierung von Micro-CT Bildern zur Untersuchung zahnmedizinischen Strukturen**

erstellt von Lukas Konietzka

**Lukas Konietzka**

Sebastian-Kneipp-Gasse 6A  
86152 Augsburg  
T +49 172-2728-376  
lukas.konietzka@tha.de

Matrikelnummer:  
2122553

**Technische Hochschule  
Augsburg**

An der Hochschule 1  
D-86161 Augsburg  
T +49 821 5586-0  
F +49 821 5586-3222  
www.tha.de  
info@tha.de

---

Erstprüfer	Prof. Dr. Peter Rösch
Zweitprüfer	Prof. Dr. Gundolf Kiefer
Eingereicht am	November 14, 2024
Verteidigung am	März 20, 2025
Geheimhaltungsvereinbarung	Nein

---

## Kurzfassung

bla

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
1.1. Ziel der Arbeit . . . . .	2
1.2. Relevanz der Arbeit . . . . .	3
1.3. Fokus der Arbeit . . . . .	4
1.4. Aufbau der Arbeit . . . . .	4
2. Theoretische Grundlagen	5
2.1. Domänenspezifisch . . . . .	5
2.2. Technologisch . . . . .	6
2.3. Verwandte Arbeit . . . . .	6
2.4. 3D Slicer . . . . .	6
2.5. Architektonisch . . . . .	6
3. Fragestellung	7
4. Methodik	8
5. Ergebnisse	9
6. Diskussion	10
7. Schlussfolgerung und Ausblick	11
A. Anhang	16
Literaturverzeichnis	17

# 1. Einleitung

Die Computertomografie (CT) hat die Medizintechnik revolutioniert und ist bis heute eines der wichtigsten Methoden für die Bildanalyse. Sie ist eine der führenden Erweiterungen der klassischen Röntgentechnik. Für die Entwicklung dieser Technologie wurden Godfrey Newbold Hounsfield und Allan McLeod Cormack im Jahre 1979 mit dem Nobelpreis für Medizin ausgezeichnet (Handels 2000, Seite12).

Die Computertomografie wird in den verschiedensten Bereichen und im wahrsten Sinne des Wortes von Kopf bis Fuß eingesetzt. So kommt es, dass auch im Dentalbereich CT aufnahmen von größter Wichtigkeit sind. Abbildung 1.1 zeigt eine solche CT-Aufnahme. Eine konkrete Anwendung in diesem Kontext ist die Zahnkaries Forschung der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie des LMU- Klinikums München.



Abbildung 1.1.: CT-Aufnahme eines Zahns  
Quelle (Poliklinik 2024)

Die vorliegende Arbeit soll genau diese Forschung unterstützen. In welchem Umfang dies geschehen soll, ist im folgenden Kapitel thematisiert.

## 1.1. Ziel der Arbeit

Diese Arbeit beschreibt eine Technik, mit der dreidimensionale Micro-CT Bilder zur Untersuchung zahnmedizinischen Strukturen automatisch mittels der Software *3D Slicer* segmentiert und analysiert werden können. Die algorithmische Formulierung einer konkreten Segmentierung ist bereits vorhanden und prototypisch implementiert. Dieser Algorithmus muss jedoch umständlich über ein Kommando im Terminal ausgeführt werden, was die Benutzerfreundlichkeit deutlich beeinträchtigt. Ziel dieser Arbeit ist es nun das bereits implementiert Verfahren automatisiert über ein interaktives User

Interface (UI) zur Verfügung zu stellen. Dabei soll auf etablierte und vertraute Lösungen zurückgegriffen werden.

Es stellt sich nun die Frage, zu welchem Zweck eine automatische und interaktive Segmentierung überhaupt notwendig ist. Für die Zahnklinik an der LMU in München gibt es hierfür viele Gründe. Über den wichtigsten gibt das nächste Kapitel Aufschluss.

## 1.2. Relevanz der Arbeit

Der wohl relevanteste Punkt dieser Arbeit ist, dass Ärzte reine Anwender und keine Entwickler von Software sind. Darüber hinaus verfolgt die Parodontologie der LMU in München einen sehr interessanten Forschungsansatz, welche eine Segmentbetrachtung der CTs unumgänglich macht.

Über viele Jahre hinweg wurden in der Zahnklinik sehr viel Bilddaten von Zähnen gesammelt, die aufgrund von Zahnkaries entfernt wurden. Hierbei wurden Aufnahmen der unterschiedlichsten Arten gemacht. Darunter fallen zum Beispiel einfache Bilddateien, Infrarotbilder und die für diese Arbeit so relevanten dreidimensionalen Micro-CT Aufnahmen. Dieser große Schatz an Bildmaterial soll verwendet werden, um in ferner Zukunft ein neuronales Netzwerk zu trainieren, welches statistische Aussagen über das Verhalten von Karies treffen kann. Jedoch gibt es hier ein Problem, bei dem das Ergebnis dieser Arbeit Unterstützen kann.

Karies auf CT-Bildern zu lokalisieren ist nicht trivial. Er ist ohne weitere Bearbeitung des Bildes nur sehr schwer auf eine Stelle einzugrenzen. So kommt es vor, dass drei verschiedene Ärzte auf dem selben Micro-CT Bild drei unterschiedliche Stellen mit Karies identifizieren. Eine Segmentierung des dreidimensionalen CTs kann hier Wunder wirken lassen. Durch die Aufteilung des Micro-CTs in seine drei Zahnhartsubstanzen kann in das innere der Zähne geblickt werden, was die Lokalisierung kariöser Stellen deutlich vereinfacht.

Mit dieser klaren und eindeutigen Identifizierung von Karies, sind die Ergebnisse, die ein neuronales Netzwerk generieren würde viel genauer und brauchbarer. Konkret wird mit einer automatischen Segmentierung ein *Ground Truth* gewonnen, der eine eindeutige Basiswahrheit liefert.

Hierbei sei gesagt, dass diese Anwendung nur ein von vielen Möglichkeiten ist. Konkrete Daten über die Ausbreitung einer Krankheit im menschlichen Körper zu besitzen kann in den verschiedensten Fällen und Institutionen von größtem Nutzen sein. So zeigen es auch Crespigny u. a. (2008) in ihrem Paper. Dieses Argument stand dehnung auch für diese

Arbeit bereits zu Beginn im Mittelpunkt und bildet somit den Fokus der Untersuchung, welcher im nachfolgenden Kapitel näher beleuchtet werden soll.

### 1.3. Fokus der Arbeit

Für eine automatische Segmentierung von Micro-CT Bildern gibt es einige Softwarelösungen am Markt, die alle eine gute Option sind. Dieser Arbeit setzt den Fokus auf die Open Source Plattform *3D Slicer*. Durch die Modul und Plugin Infrastruktur dieser Plattform kann die Software auch anderen Institutionen bereitgestellt werden. Hierzu muss diese einfach als *3D Slicer Extension* bereitgestellt werden. *3DSlicer* bietet einen Extension Manager, der ähnlich wie ein App Store betrachtet werden kann. So bleibt die vorerst konkret entwickelte Software nicht nur einer Einrichtung vorbehalten.

Diese Arbeit setzt so den Fokus auf die Extension von *3D Slicer* um so eine automatische und interaktive Schnittstelle zu gewähren. Die Optimierung des bereits bestehenden Verfahrens wird nicht thematisiert.

Mit diesem Umfang, der Motivation und dem gesetzten Fokus, ergibt sich für diese Arbeit eine konkrete Struktur die nun kurz erläutert werden soll.

### 1.4. Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist in sieben Kapitel unterteilt. Nach der Einführung in Kapitel 1, in der die Relevanz und der Fokus beschrieben werden, werden in Kapitel 2 die theoretischen und technischen Grundlagen behandelt, welche zum Verstehen der Ergebnisse essenziell sind. Als Ergebnis der theoretischen Grundlagen bildet das Kapitel 3 eine konkrete Forschungsfrage. Während sich Kapitel 4 darum kümmert mit welchen Methodiken und Lösungsansätzen an die Forschungsfrage herangegangen wird, erläutert das Kapitel 5 was die konkreten Ergebnisse der Arbeit sind. In Kapitel 6 erfolgt eine kritische Diskussion der Resultate einschließlich möglicher Limitationen. Das abschließende Kapitel 7 fasst die wichtigsten Erkenntnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Forschungsfragen.

Die theoretischen Grundlagen die wie beschrieben nach der Einleitung folgen, sind zentral für das Verstehen der Fragestellung und der methodischen Ausarbeitung.

## 2. Theoretische Grundlagen

Dieses Kapitel führt in die theoretischen Grundlagen ein, die in dieser Arbeit benötigt werden. Den ersten Teil bilden die domänenspezifischen Grundlagen 2.1, welche genauer darauf eingehen, welchen Inhalt die zu bearbeitenden Bilder bieten und wie dieser zu verstehen ist. Abschnitt 2.2 geht hierbei auf verschiedenen Technologien ein, die eine wichtige Rolle spielen. Der Abschnitt 2.3 geht auf die Arbeit von Hoffmann (2020) ein und legt damit den Grundstein dieser vorliegenden Arbeit. Die Abschnitte 2.4 und 2.5 führen in Softwareentwicklungsthemen ein, die zum Erstellen einer *3D Slicer Extension* wichtig sind.

### 2.1. Domänenspezifisch

Wie bereits aus dem Kapitel 1 Einleitung klar wurde, handelt es sich bei den Micro-CT Bildern um Zahnbilder, die aufgrund einer Karieserkrankung entfernt wurden. Um zu verstehen, wie eine CT-Aufnahme eines Zahns aufgeteilt werden soll, ist es hilfreich zu verstehen, wie ein Zahn aufgebaut ist.

Die Abbildung 2.1 zeigt den groben Aufbau eines Zahnes nach Lehmann u. a. (2012, Seite 17). Zu sehen ist, dass das Dentin oder auch Zahnbein genannt, den Großteil eines Zahnes einnimmt. Im Bereich der Zahnkrone wird das Dentin von Zahnschmelz überzogen. Der Zahnschmelz ragt in die Mundhöhle und ist nach Lehmann u. a. 2012, Seite 41 das härteste Material im menschlichen Körper. In der Mitte des Zahnes befindet sich Weichgewebe, welches als Pulpa bezeichnet wird vgl. (Lehmann u. a. 2012, Seite ).

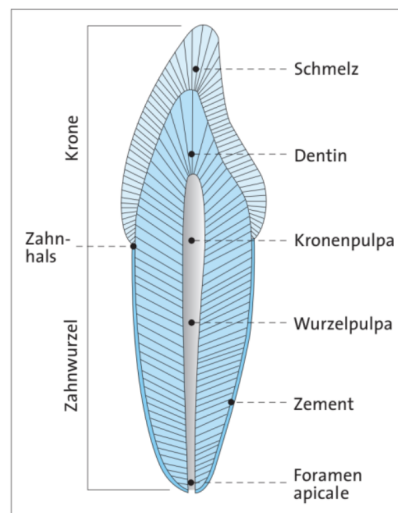
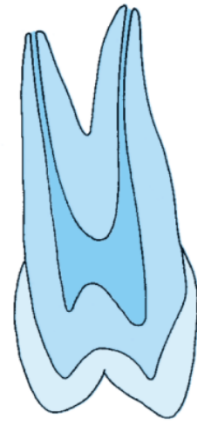


Abbildung 2.1.: Aufbau eines Zahnes nach Lehmann u. a. (2012)

Für die Bearbeitung von Micro-CT Aufnahmen sind die Bereiche Schmelz, Dentin und Pulpa von besonderer Bedeutung. Betrachtet man eine CT wie es zu Beginn in der Abbildung 1.1 gezeigt wurde, so bilden diese 3 Gewebearten die unterschiedlichen Grauwerte in einem CT-Bild. Die **Pulpa** unterscheidet sich hierbei nur wenig vom Hintergrund, da sie als einzige der drei Hauptteile eines Zahnes ein Weichgewebe ist und bei einer Röntgenaufnahme nicht absorbiert. Geht man weiter von innen nach außen, so ist der nächste Zahnteil auf einem CT das Zahnbein. Das **Dentin** ist laut Lehmann u. a. (2012, Seite 41) eine Hartsubstanz, die dem Kieferknochen sehr nahe steht. So kommt es, dass dieser Teil schon deutlich besser auf einem CT zu erkennen ist. Den äußersten Teil in der Mundhöhle bildet der **Schmelz**. Wie bereits erwähnt ist er der härteste Teil im menschlichen Körper und aus diesem Grund auch am hellsten auf dem CT zu erkennen. Die beiden folgenden Abbildungen sollen durch Gegenüberstellung den Zusammenhang zwischen einem CT-Bild und einer Zahnzeichnung verdeutlichen.



## 2.2. Technologisch

## 2.3. Verwandte Arbeit

## 2.4. 3D Slicer

## 2.5. Architektonisch



### 3. Fragestellung

## 4. Methodik

test

## 5. Ergebnisse

test

## 6. Diskussion

test

## 7. Schlussfolgerung und Ausblick

test

## Erklärung zur Abschlussarbeit

Hiermit versichere ich, die eingereichte Abschlussarbeit selbständig verfasst und keine andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt zu haben. Wörtlich oder inhaltlich verwendete Quellen wurden entsprechend den anerkannten Regeln wissenschaftlichen Arbeitens zitiert. Ich erkläre weiterhin, dass die vorliegende Arbeit noch nicht anderweitig als Abschlussarbeit eingereicht wurde. Das Merkblatt zum Täuschungsverbot im Prüfungsverfahren der Hochschule Augsburg habe ich gelesen und zur Kenntnis genommen. Ich versichere, dass die von mir abgegebene Arbeit keinerlei Plagiate, Texte oder Bilder umfasst, die durch von mir beauftragte Dritte erstellt wurden.

Augsburg, den 22. November 2024

---

Lukas Konietzka

# Abbildungsverzeichnis

1.1. CT-Aufnahme eines Zahns Quelle (Poliklinik 2024) . . . . .	2
2.1. Aufbau eines Zahnes nach Lehmann u. a. (2012) . . . . .	5

# Tabellenverzeichnis



# Listings

# A. Anhang

test

# Literaturverzeichnis

Crespigny, Alex de, Hani Bou-Reslan, Merry C Nishimura, Heidi Phillips, Richard AD Carano und Helen E D'Arceuil (2008). „3D micro-CT imaging of the postmortem brain“. In: *Journal of neuroscience methods* 171.2, S. 207–213 (siehe S. 3).

Handels, Heinz (2000). *Medizinische Bildverarbeitung*. Springer (siehe S. 2).

Hoffmann, Simon (Jan. 2020). „Unterstützung der Karies-Klassifizierung in Mikro-CT-Aufnahmen durch 3D-Bildverarbeitung“. Bachelorarbeit. Technische Hochschule Augsburg (siehe S. 5).

Lehmann, Klaus M, Elmar Hellwig und Hans-Jürgen Wenz (2012). *Zahnärztliche Propädeutik: Einführung in die Zahnheilkunde; mit 32 Tabellen*. Deutscher Ärzteverlag (siehe S. 5, 6, 13).

Poliklinik (2024). *Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie des LMU-Klinikums München*. <https://www.klinikum.uni-muenchen.de/Poliklinik-fuer-Zahnerhaltung-und-Parodontologie/>. Zugriff am 22. November 2024 (siehe S. 2, 13).