

Hashan Neumayer

## **Herstellung eines realistischen Nierenphantoms mittels 3D-Druck**

Bachelorarbeit



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

---



© 2024 Hashan Neumayer

Autor: Hashan Neumayer

ISBN 978-3-384-32744-4

Erstauflage, 64 Seiten

Druck und Distribution im Auftrag des Autors:  
tredition GmbH, Heinz-Beusen-Stieg 5, 22926 Ahrensburg, Germany

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Für die Inhalte ist der Autor verantwortlich. Jede Verwertung ist ohne seine Zustimmung unzulässig. Die Publikation und Verbreitung erfolgen im Auftrag des Autors, zu erreichen unter:  
Hashan Neumayer, Rottendorfer Str. 30d, 97074 Würzburg, Germany

---



## **Herstellung eines realistischen Nierenphantoms mittels 3D-Druck**

### **Bachelorarbeit**

des Studienganges Medizintechnische Wissenschaften

an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Heidenheim

von

Hashan Neumayer

31.03.2019

Bearbeitungszeitraum

12 Wochen

Matrikelnummer, Kurs

4685589, GMW17

Ausbildungsfirma

Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin

Universitätsklinikum Würzburg

Betreuer der Ausbildungsfirma

Prof. Dr. rer. nat. Michael Laßmann

Dr. rer. nat. Johannes Tran-Gia

Gutachter der Dualen Hochschule

Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Weidemann

## Zusammenfassung

In der modernen Nuklearmedizin spielen Radiopharmaka<sup>1</sup> eine bedeutende Rolle für die Diagnostik und Therapie von Krebskrankungen. Etablierte Verfahren wie die PET/CT<sup>2</sup>- und SPECT/CT<sup>3</sup>-Bildgebung ermöglichen die Darstellung metabolischer Prozesse sowie der Verteilung eines Radiopharmakons im Patienten und damit eine effektive Diagnostik. Wichtig ist auch die Unterscheidung zwischen physiologisch intaktem Gewebe und pathologischen Strukturen, in denen sich der Radiotracer anders als in gesundem Gewebe verhält. Die Dosimetrie befasst sich mit der über den Zeitraum einer Therapie in den Risiko- aber auch in den Zielorganen aufgenommen Dosis. Besonders gefährdet ist bei vielen Therapien die Niere, da die applizierten Radionuklide häufig renal ausgeschieden werden. Daher ist es für eine optimale Therapiedosis unabdinglich, die über die Niere aufgenommene Aktivität möglichst gering bzw. unter einem vorgegebenen Grenzwert zu halten. Gleichzeitig sollte jedoch die applizierte Aktivität maximiert werden, um die Therapie möglichst effektiv zu gestalten. Trotz großer Fortschritte in der quantitativen SPECT/CT Bildgebung gibt es immer noch einige große Fehlerquellen bei der organbasierten Aktivitätsbestimmung. Eine Hauptfehlerquelle stellt der Partialvolumeneffekt dar, welcher durch die begrenzte Ortsauflösung der Bildgebung entsteht (v.a. die SPECT-Bildgebung mit einer Auflösung von mehreren Millimetern). Für die Korrektur des Partialvolumeneffektes werden oftmals segmentierte Organmodelle benötigt, an denen der Effekt der Bildgebung simuliert und auf Basis dessen korrigiert werden kann.

---

<sup>1</sup> Radioaktive Arzneimittel, welche in der nuklearmedizinischen Diagnostik und Therapie verwendet werden

<sup>2</sup> Positronen-Emissions-Tomografie mit integrierter Computertomografie

<sup>3</sup> Single-Photon-Emissions-Computertomografie mit integrierter Computertomografie

<sup>3</sup> Computertomografie

<sup>3</sup> Magnetresonanztomografie

<sup>3</sup> Radiopharmakon zur Behandlung von neuroendokrinen Tumoren

<sup>3</sup> Radiopharmakon zur Behandlung des prostataspezifischen Membranantagens

Ziel der vorliegenden Arbeit war es ein realistischen Nierenphantom mittels 3D Slicer zu erstellen. Die Grundlage des Phantoms bildete ein zuvor registriertes venöses CT eines ausgewählten Patienten. Die in der venösen Phase mittels CT differenzierten Strukturen der Niere, bildeten die Basis eines Nierenphantom mit zwei separaten befüllbaren Kompartimenten. Das 3D Phantommodell wurde mit Autodesk *Netfabb* erstellt und mit einem Desktop Stereolithographie-Drucker gedruckt. Mit Hilfe der SPECT/CT-Aufnahme dieses befüllbaren Modelles konnten wiederum Aussagen über die Beschaffenheit von Partialvolumeneffekten getroffen werden, was zu einer Verbesserung der Quantifizierung der SPECT/CT-Bildgebung führen kann. Durch eine genauere Bestimmung der individuellen Nierendosis könnten Therapiedosen zukünftig noch effektiver und im Optimalfall patientenspezifisch berechnet werden.

## Summary

In modern nuclear medicine, radiopharmaceuticals play an important role in the diagnosis and treatment of cancer. Established methods such as PET/CT and SPECT/CT imaging enable the depiction of metabolic processes and the distribution of radiopharmaceuticals in the patient and thus ensure effective diagnostics. The differentiation between physiologically intact tissue and pathological structures, in which the radiotracer behaves differently than in healthy tissue, is also important. Dosimetry deals with the dose absorbed in the organs at risk as well as in the target organs in the course of the therapy. The kidney is particularly at risk in many therapies because the radionuclides applied are often excreted renally. It is, therefore, indispensable for an optimal therapeutic dose to keep the activity absorbed by the kidneys as low as possible or below a specified threshold value. At the same time, however, the applied activity should be maximized in order to make the therapy as effective as possible. Despite great progress in quantitative SPECT/CT imaging, there are still some major sources of error in organ-based activity determination. A major source of error is the partial volume effect caused by the limited spatial resolution of the standard nuclear medicine imaging modalities (especially SPECT imaging with a resolution of several millimeters). For the correction of the partial volume effect, segmented organ models are often required, for which the effect of the imaging process can be simulated and corrected.

The aim of this work was to create a realistic kidney phantom model using 3D Slicer. The foundation of the phantom was a previously registered venous CT of a patient for which additionally a SPECT/CT was available. The sub-organ structure of the kidney (medulla and cortex) which was segmented based on the venous phase CT which provided the base of a renal phantom with two separately fillable compartments. The 3D model was created with Autodesk *Netfabb* and 3D-printed with a desktop stereolithography printer (Formlabs *Form 2*). Combined with the SPECT/CT image of the underlying anatomy, statements could be made about the characteristics of partial volume effects and, thus, the quantitative accuracy of the SPECT/CT imaging could be further improved. By determining the individual kidney dose more precisely, therapy

doses could be made even more effective in the future and, in the best case, even patient-specific.

#### Schlüsselworte

Nuklearmedizinische Bildgebung, Nierenvolumina, 3D-Modelle, 3D-Druck, SPECT/CT-Bildgebung

#### Keywords

Nuclear Medicine Imaging, Kidney Volumes, 3D Models, 3D Printing, SPECT/CT Imaging



## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Material und Methoden .....	4
2.1 Für die Segmentierung medizinischer Bilddaten verwendete Software.....	4
2.2 Beschreibung des Segmentierungsverfahren.....	7
2.3 Beschreibung der Bildregistrierung .....	9
2.4 Durchgeführter Segmentierungsprozess.....	11
2.5 Umwandlung der segmentierten Volumina in 3D-Modelle.....	13
2.6 3D-Druck mit dem Stereolithografie-Verfahren.....	19
2.7 Veredelung der 3D-gedruckten Komponenten .....	26
2.7.1 Waschen der Drucke in Isopropanol .....	26
2.7.2 Aushärtung der Drucke mit UV-Strahlung .....	29
2.7.3 Zusammenkleben der einzelnen Komponenten .....	31
2.7.4 Einbringung von Gewinden für die Befestigung des Phantoms .....	31
2.7.5 Einbringung von Gewinden für den Verschluss der einzelnen Kompartimente .....	31
2.8 Qualitätskontrolle des hergestellten Phantoms .....	32
2.8.1 Dichtheitsprüfung .....	32
2.8.2 Vergleich von theoretischen und tatsächlichen Füllvolumina der einzelnen Kompartimente .....	32
2.9 SPECT/CT-Messung des hergestellten Phantoms.....	33
3. Ergebnisse.....	34
3.1 3D-Druck mit dem Stereolithografie-Verfahren.....	34
3.2 Veredelung der 3D-gedruckten Komponenten .....	34
3.3 Qualitätskontrolle des hergestellten Phantoms .....	37
3.4 SPECT/CT-Messung des hergestellten Phantoms.....	38
4. Diskussion .....	40
5. Literaturverzeichnis.....	45
6. Abbildungsverzeichnis .....	47
7. Tabellenverzeichnis .....	52

## 1. Einleitung

Die moderne Nuklearmedizin stellt aufgrund der Verwendung von Radiopharmaka<sup>4</sup> eine medizinische Fachrichtung mit direktem Bezug zur Physik dar, die sich derzeit in einem starken Wandel befindet. Während einige Radiopharmaka eine effektive Diagnose von Krebserkrankungen ermöglichen (z.B. die FDG-PET/CT-Bildgebung), werden andere Radiopharmaka v.a. für therapeutische Maßnahmen eingesetzt (z.B. Iod-131 für die Therapie des Schilddrüsenkarzinoms). In den vergangenen Jahren wurde eine Vielzahl von neuen Radiopharmaka entwickelt, welche auf einem immer besseren Verständnis biologischer und metabolischer Prozesse von Krebserkrankungen basieren. Aktuell befinden sich viele Radiopharmaka in der präklinischen und klinischen Erprobung. Eine wichtige Rolle spielt dabei die nuklearmedizinische Bildgebung, mit Hilfe derer die Verteilung und damit der Metabolismus eines systemisch verabreichten Radiopharmakons überwacht werden kann. Mit modernsten Verfahren (beispielsweise quantitative PET/CT<sup>5</sup>- und SPECT/CT<sup>6</sup>-Bildgebung) ist dabei sogar eine absolut quantitative Darstellung der Verteilung des Radiopharmakons im Patienten möglich.

Bei der nuklearmedizinischen Hybridbildgebung (PET/CT und SPECT/CT) werden zwei unterschiedliche Bildgebungsmodalitäten kombiniert, um eine möglichst genaue Quantifizierung und Lokalisierung des Radiopharmakons zu erreichen. Während bei der SPECT-Bildgebung einzelne aus dem Patienten emittierte Photonen mit Hilfe einer um die Patientenliege rotierenden Gammakamera detektiert werden, werden bei der PET-Bildgebung die durch Paarvernichtung entstehenden Photonenpaare in einem Detektorring detektiert. Beide Verfahren liefern eine dreidimensionale Darstellung der Verteilung – und damit des Metabolismus – des Radiopharmakons im untersuchten Bereich. Beide Modalitäten werden typischerweise durch computertomografische

---

<sup>4</sup> siehe Fußnote 1

<sup>5</sup> siehe Fußnote 2

<sup>6</sup> siehe Fußnote 3

Transmissionsaufnahmen ergänzt (CT<sup>7</sup>), was einerseits eine Umrechnung von Impulsen in Aktivitätskonzentration und damit eine Quantifizierung ermöglicht (z.B. durch eine effektive Schwächungskorrektur), zusätzlich aber auch eine Fusion der funktionellen SPECT- oder PET-Bilder mit den morphologischen CT-Bildern erlaubt, was eine Lokalisierung der aktiven Regionen deutlich vereinfacht. Zusätzlich ist durch kontrastmittelverstärkte CT-Aufnahmen eine noch weitere Differenzierung bestimmter anatomischer Strukturen möglich. Die SPECT- und PET-Bildgebung erlaubt die funktionelle Darstellung anatomischer Strukturen in Verbindung mit metabolischer Aktivität des Radiopharmakons innerhalb des zu untersuchenden Gewebes.

Besonders wichtig ist die Unterscheidung zwischen pathologischem Gewebe und physiologisch intakten Strukturen, welche zu einem gewissen Maße auch Radiotracer aufnehmen und dadurch geschädigt werden können. Aus diesem Grund ist es wünschenswert, die über den Zeitraum einer therapeutischen Anwendung in den Risikoorganen aufgenommene Dosis zu bestimmten, womit sich die sogenannte Dosimetrie befasst.

Die Niere ist ein besonders gefährdetes Organ, da die applizierten Radionuklide üblicherweise über diese ausgeschieden werden. Um eine optimale Therapiedosis zu erreichen ist es daher notwendig, die in der Niere aufgenommene Dosis unter vorgegebenen Grenzwerten zu halten (ähnlich denen der externen Radiotherapie), aber gleichzeitig die applizierte Aktivität zu maximieren, um die Dosis im Tumor möglichst hoch zu halten [1].

Obwohl die quantitative SPECT/CT-Bildgebung in den letzten Jahren durch die Einführung einer Vielzahl von Korrekturen (Streuung, Absorption, begrenzte Ortsauflösung, Totzeit, Bewegung) deutlich genauer geworden ist, gibt es dennoch einige Schwierigkeiten bei der Bestimmung der in einem Organ vorliegenden Aktivität. Einer der Hauptfehlerquellen ist der sogenannte Partialvolumeneffekt, bei dem die

---

<sup>7</sup> siehe Fußnote 4