

# Vergleich digitaler Angiographie versus hochauflösender Computertomographie Ex vivo Evaluierung am Hundemodell

Matthias Thorn<sup>1</sup>, Peter Hallscheidt<sup>2</sup>, Arna Shab<sup>1</sup>, Boris A. Radeleff<sup>2</sup>,  
Gerd Noeldge<sup>2</sup>, Jan M. Boese<sup>3</sup> und Hans-Peter Meinzer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Abteilung für Medizinische und Biologische Informatik,  
Deutsches Krebsforschungszentrum, 69120 Heidelberg

<sup>2</sup>Abteilung Radiodiagnostik, Universitätsklinik Heidelberg, 69120 Heidelberg

<sup>3</sup> Abteilung für Biophysik und Medizinische Strahlenphysik,  
Deutsches Krebsforschungszentrum, 69120 Heidelberg

Email: m.thorn@dkfz.de

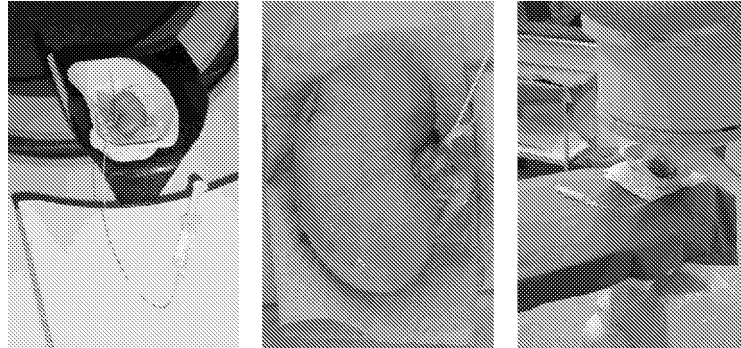
**Zusammenfassung.** Dieser Beitrag beschäftigt sich mit dem quantitativen Vergleich zwischen digitaler Angiographie und hochauflösender Computertomographie. Bilder von 24 explantierten Hundenieren wurden durch beide Modalitäten akquiriert. Durch die Reduktion der CT-Aufnahmen auf eine Maximum-Intensitäts-Projektion konnten die Nierenbilder direkt miteinander verglichen werden. Dazu wurden von einem Experten mit Hilfe einer speziellen Software die Gefäßverläufe in den unterschiedlichen Bildern durch Polygonzüge nachgebildet. Die so entstandenen hierarchischen Graphen wurden mittels allgemeinem und Horton-Strahler Schema ausgewertet. Als Resultat konnte gefunden werden, dass die Subtraktionsangiographie durch das hochauflösende CT in seiner Auflösung nicht abgelöst werden wird, aber die nächste Generation der CT-Geräte eine präzise dreidimensionale Operationsplanung erlaubt.

## 1 Problemstellung

Die neue Generation von hochauflösenden Mehrschicht CT-Geräten wird eine neue Dimension der routinemäßigen Bildgebung eröffnen. Die digitale Subtraktions-Angiographie bietet als invasives Verfahren eine hervorragende Möglichkeit zur Analyse der Gefäßverhältnisse innerhalb der Niere. Fraglich ist nun, ob die neuen CT-Geräte als nicht invasives Verfahren die digitale Angiographie ablösen können.

Ziel dieser Studie ist es, mit Hilfe von explantierten Hundenieren eine quantitative Aussage über den Unterschied in der Gefäßauflösung zwischen digitaler Angiographie und hochauflösender Computertomographie zu finden. Dabei wird mit Hilfe eines herkömmlichen Spiral-CT die Auflösung eines zukünftigen Mehrdetektor-Spiral-CT simuliert. Zum ersten mal konnte eine quantitative Aussage über den qualitativen Unterschied beider Modalitäten bei der Gefäßdarstellung getroffen werden. Als Qualitätsmerkmale dienten dabei Verzweigungstiefe, -breite und Gefäßastlängen der akquirierten Gefäßsysteme.

**Abb. 1.** Versuchsaufbau innerhalb des CT-Gerätes (links), Anschluß des Katheters an der Niere (mitte) und Versuchsaufbau innerhalb der digitalen Angiographie (rechts).



## 2 Stand der Forschung

Für die Analyse bildgebender Verfahren werden zumeist Patientenstudien durchgeführt wobei die Erkennungsraten von Stenosen, Tumoren oder ähnlichem als Qualitätsmerkmale herangezogen werden [2,3]. Dies führt zu einer klinischen Evaluierung und Einschätzung der verglichenen Verfahren. Darüber hinaus existieren Phantomuntersuchungen zur Kontrolle der darzustellenden Gefäßkaliber der unterschiedlichen Modalitäten [4].

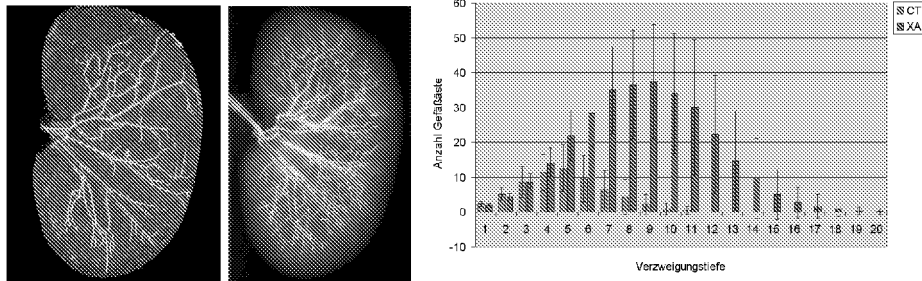
Der Ansatz dieser Studie beruht auf der Verfolgbarkeit der Gefäßdarstellung innerhalb von Bildern hochauflösender CT-Geräte und digitaler Angiographien. Hierzu existieren derzeit keine vergleichbaren Studien.

## 3 Material und Methoden

Für den Vergleich der bildgebenden Verfahren wurden zum einen die Arterien von 24 explantierten Hundenieren mit dem CT und zum anderen mit Hilfe einer digitalen Subtraktionsangiographie aufgenommen. Dazu wurde in die freipräparierte Nierenarterie ein Katheter gelegt, der durch einen Kabelbinder fixiert wurde (siehe Abb. 1).

Für die CT-Aufnahmen wurden die Nieren mit Kontrastmittel durchspült und mit einem Schichtabstand von 0,23mm und einer ebensolchen Inplane-Auflösung bei einer Bildmatrix von 512x512 rekonstruiert. Abhängig von der Größe der geschnittenen Niere betrug die Akquisitionszeit zwischen 36 und 42 Sekunden. Danach wurden die Nieren mit NaCl-Lösung gespült und in derselben Lage während einer digitalen Subtraktions-Angiographie-Aufnahme, bei einer Bildmatrix von 1024x1024, ein zweites Mal mit Kontrastmittel angeflutet. Als Ergebnis entstanden für jede untersuchte Hundeniere eine CT-Volumenaufnahme sowie eine digitale angiographische Zeitserie. Diese wurden für die weitere Datenaufbereitung verwendet.

**Abb. 2.** Ergebnis der Gefäßverfolgung mit Hilfe von hierarchisch strukturierten Polygonzügen (links und Mitte), Gefäßastanzahl in Korrelation zur Verzweigungstiefe (rechts).

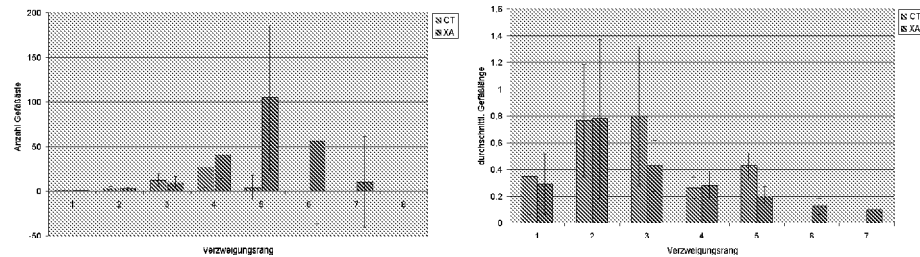


Für die Auswertung wurde aus den CT-Daten die aufgenommene Niere segmentiert, so dass aus dem resultierenden Volumen eine Maximum Intensitäts-Projektion (MIP) berechnet werden konnte, die vergleichbar mit den angiographischen Aufnahmen war. Aus den so entstandenen 2D-Bildern, wurden die Gefäße mit einem speziell entwickelten Softwaretool extrahiert.

Bei einer Projektionsaufnahme, wie der MIP oder der Angiographie, überlagern sich die Gefäße, so dass eine automatische Segmentierung der zusammenhängenden Gefäßäste nur eingeschränkt möglich ist. Da in dieser Studie untersucht werden soll, wie weit die Nierengefäße mit dem Auge in die Peripherie verfolgt werden können, wurde eine Software entwickelt, mit der die Gefäße manuell segmentiert werden können. Mit Hilfe dieses Tools ist es möglich Polygonzüge zu zeichnen, die miteinander verbunden einen hierarchischen Graphen ergeben (Abb. 2). Da sich die Polygonzüge überschneiden können, ohne dabei miteinander an der Berührungsstelle verbunden zu sein, wird es möglich auch überlagerte Gefäßäste zu segmentieren, sofern sie durch den Betrachter eindeutig erkannt werden. Durch diese Vorgehensweise wird die Wahrnehmung desjenigen, der die Daten segmentiert, vollständig ausgenutzt und somit die klinische Befundungssituation realistisch simuliert. Der erstellte Graph kann als XML-File abgespeichert werden, so dass er für die spätere Auswertung zur Verfügung steht.

Zur Auswertung wurden die beiden Graphen, aus MIP und Angiographie, ein und derselben Niere miteinander verglichen. Dabei interessierte weniger die Topographie dieser Graphen als vielmehr die Unterschiede in der Verästelungsbreite und -tiefe. Diese kann auf einfache Weise erhoben werden, da die erstellten Graphen bereits als Baumstruktur vorliegen. Zum einen kann der Unterschied zwischen den Graphen der einzelnen Nieren untersucht werden, indem z.B. die durchschnittliche Differenz der Verästelungstiefe zwischen MIP und Angiographie dargestellt werden. Dazu wird ein Wilcoxon-Rangsummen-Test bzgl. der Verzweigungstiefe durchgeführt. Dieser soll die Nullhypothese ( $H_0$ ), eines nicht signifikanten Unterschiedes zwischen Angiographie und CT testen. Zum anderen ist es möglich die Anzahl Verästelungen innerhalb einer Verästelungstiefe gegenüberzustellen und auch diese mithilfe des oben genannten Tests auf signifi-

**Abb. 3.** Gefäßastanzahl in Korrelation zum Verzweigungsrang (links), Gefäßastlänge in Korrelation zum Verzweigungsrang (rechts).



kante Unterschiede zu testen. Schließlich können mit Hilfe des Horton-Strahler-Schemas die Längen der Gefäßhauptstämme bis zu einer vorgegebenen Tiefe miteinander verglichen werden.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Allgemeine Auswertung der Gefäßgraphen

Für die allgemeine Auswertung wurden die Gefäßgraphen ausgehend von der Baumwurzel analysiert. Dabei wurden als Parameter die Verzweigungstiefe, die Gefäßastanzahl sowie deren Korrelation betrachtet. Um die Unterschiedlichkeit der beiden aufnehmenden Verfahren zu untersuchen wurde sofern notwendig der Wilcoxon-Rangsummen-Test durchgeführt.

Die allgemeine Auswertung der Gefäßgraphen ergibt sowohl bezüglich der Verzweigungstiefe als auch der Gefäßanzahl einen signifikanten Unterschied ( $p = 0,000033$ ). Bei genauerer Betrachtung der Gefäßastanzahl in Korrelation zur Verzweigungstiefe kann davon ausgegangen werden, dass die ersten vier Hierarchiestufen der Gefäße bei beiden aufnehmenden Verfahren identisch abgebildet und wiedergegeben werden. Der eigentliche Unterschied zwischen digitaler Angiographie und Computertomographie entsteht erst ab der fünften Hierarchiestufe ( $p=0,002533$ ) (Abb. 2). Dies lässt sich vor allem mit der vierfachen Auflösung der Angiographie gegenüber der hochauflösenden Computertomographie erklären.

### 4.2 Auswertung der Gefäßgraphen nach Horton-Strahler-Schema

Wertet man die Gefäßgraphen mit Hilfe des Horton-Strahler-Schemas aus [5,6], so ergeben sich zwei Untersuchungspfade. Zum einen die Analyse nach Verzweigungstiefe und entsprechender Breite, wie dies auch bei der allgemeinen Auswertung möglich war. Zum anderen können die Längen von Gefäßästen eines Ranges miteinander verglichen werden. Auch bei dieser Auswertung wurde als Signifikanztest der Wilcoxon-Rangsummen-Test verwendet.

Im folgenden wird die Klassifikation, die Horton und Strahler in ihren Arbeiten zur Rangzuteilung verwendet haben, invertiert. Das führt dazu, dass die

Gefäßäste in der Peripherie den höchsten Rang erhalten, während die Gefäßäste in der Hauptarterie den niedrigsten Rang (=1) erhalten. Erst durch diese Vorschrift wird es möglich die unterschiedlich tiefen Bäume aus der digitalen Angiographie und der hochauflösenden Computertomographie miteinander zu vergleichen, ohne dabei die Methodik des Horton-Strahler-Schemas zu verletzen.

Die Gefäß-Auswertung nach dem Horton-Strahler-Schema ergibt wie die allgemeine Auswertung einen signifikanten Unterschied zwischen der Gefäßast-Anzahl ( $p=0,0000353$ ) als auch der Verzweigungstiefe ( $p=0,000132$ ) der digitalen Angiographie im Vergleich zur Computertomographie. Bei der Analyse der Gefäßast-Anzahl bezüglich des Verzweigungsgrades zeigt sich erst ab dem 5. Rang ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Verfahren (Abb. 3). Bei der Auswertung der Gefäßastlängen stellen sich die Gefäße in der Computertomographie deutlich länger dar als in der digitalen Angiographie. Der Vergleich der Gefäßastlängen im Bezug zum Verzweigungsgrad ergab sich ein uneinheitliches Ergebnis. So unterschieden sich die Längen des ersten, zweiten und vierten Grades nicht signifikant. Allerdings entstand ein signifikanter Unterschied im dritten Rang (Abb. 3), was mit der Darstellungsschwäche des CT für dünne Gefäße erklärbar ist.

## 5 Diskussion

Mit dieser Studie konnte gezeigt werden, dass auch die nächste Generation der hochauflösenden CT-Geräte die hohe Auflösung der digitalen Angiographie nicht erreichen wird. Allerdings wurde in dieser Studie nur auf 2D-Daten gearbeitet. Der große Vorteil der CT-Untersuchung liegt jedoch in der Akquisition von 3D-Daten und somit der Representation der Gefäße in drei Dimensionen. So wird die computergestützte Operationsplanung von Nierenteilresektionen, die mit der aktuellen Technik auf Grund der beschränkten Auflösung nicht möglich ist, durch die zukünftige CT-Generation realisierbar.

## Literaturverzeichnis

1. Carman T.L., Olin J.W., Czum J. Noninvasive imaging of the renal arteries. *Urol Clin North Am.* 2001; 28: 815–828.
2. Ofer A., Nitecki S.S., Linn S., et al. Multidetector CT Angiography of Peripheral Vascular Disease: A Prospective Comparison with Intraarterial Digital Subtraction Angiography. *American Journal of Radiology.* 2003; 180: 719–724.
3. Vosshehr R., Fischer U. Contrast-enhanced MR angiography of abdominal vessels: Is there still a role for angiography? *Eur. Radiol.* 2002; 12: 218–230.
4. Addis K.A., Hopper K.D., Iyriboz T.A., et al. CT Angiography: In Vitro Comparison of Five Reconstruction Methods. *American Journal of Radiology.* 2003; 177: 1171–1176.
5. Horton R. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 1945; 56: 275–370.
6. Strahler A. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 1952; 63: 1117–1142.