

## **4 ERGEBNISSE**

### **4.1 Die CT-Befunde**

Der folgendende Abschnitt stellt eine Einteilung der einzelnen ermittelten Befunde der CT-Untersuchung der Koronararterien in Kategorien dar. Es werden beispielhaft jeweils zwei, für die einzelnen Kategorien typische, CT-Querschnittsbilder dargestellt und erläutert.

#### **4.1.1 Allgemeines zur CT-Beurteilung**

Entscheidend bei der Beurteilung der computertomographischen Aufnahmen der Koronararterien ist die Betrachtung der Querschnittsbilder im Verlauf, da nur im Vergleich mit dem jeweils vorherigen und dem sich anschließenden Querschnittsbild Veränderungen der Gefäßwand deutlich werden. In einem isolierten Bild gelingt die Erkennung von atherosklerotischen Veränderungen der Koronararterien häufig nicht. Dies gilt im Besonderen für nicht-verkalkte Plaques, da andere, im epikardialen Fettgewebe vorhandene Strukturen, wie etwa abgehende Gefäße, Bindegewebszüge oder Muskelfasern, einen ähnlichen Grauwert besitzen und im isolierten Bild leicht als solche fehlgedeutet werden können.

Es ergaben sich drei unterschiedliche Befunde bei der visuellen Beurteilung der computertomographischen Bilder. Diese sind in Tabelle 5 dargestellt.

Die Gefäße wurden als *nicht pathologisch verändert* eingeschätzt, wenn keine Hinweise für eine atherosklerotische Veränderung vorlagen. Im Falle einer atherosklerotischen Veränderung konnte es sich entweder um eine *nicht-verkalkte Plaque* oder um eine *verkalkte Plaque* handeln. War im CT-Querschnittsbild neben der Veränderung das mit Kontrastmittel gefüllte Lumen nicht mehr erkennbar, so wurde der Gefäßabschnitt als absolut stenosiert eingeschätzt. Diesem Befund konnte entweder eine verkalkte oder eine nicht-verkalkte Veränderung der Gefäßwand zugrunde liegen.

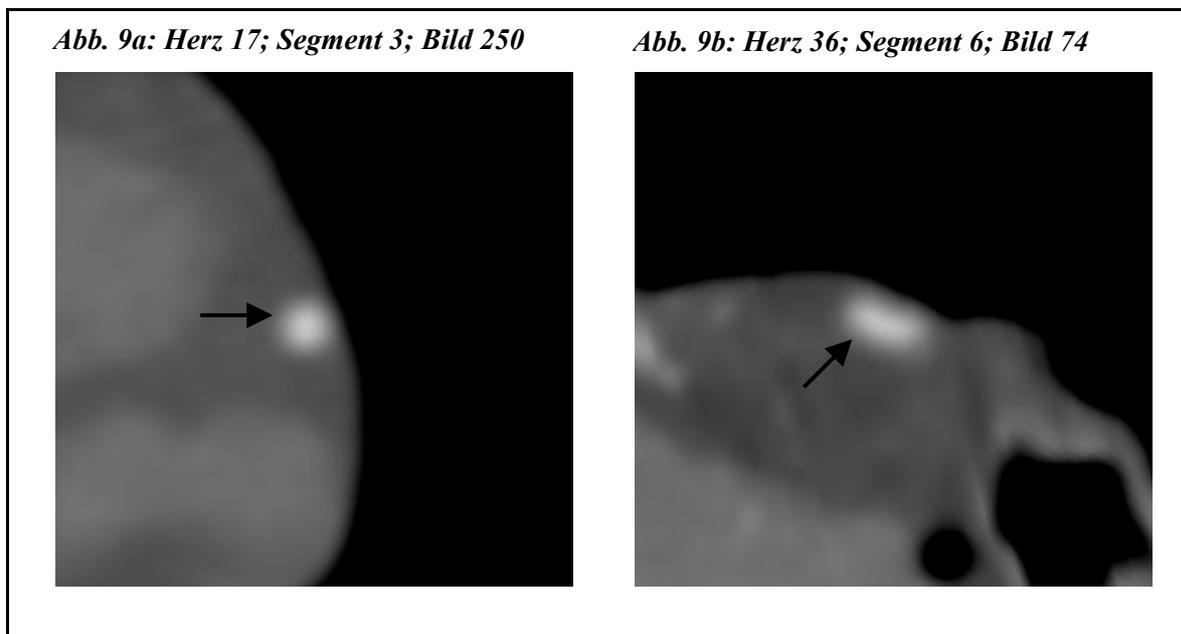
**Tabelle 5 Befunde der CT-Untersuchung**

- 
- 
1. Keine pathologische Veränderung
  2. Verkalkte Plaque
  3. Nicht-verkalkte Plaque
-

#### 4.1.2 Die Koronararterie ohne pathologische Veränderung

Die Koronararterie *ohne pathologische Veränderung* zeichnet sich durch eine Darstellung des Kontrastmittels im Lumen mit scharf und regelmäßig begrenzten Konturen aus. Der Grauwert des Kontrastmittels ist deutlich heller als der des umliegenden, epikardialen Fettgewebes und Myokards. Er ist homogen und wirkt im Gefäßzentrum etwas heller und in der Peripherie etwas dunkler, wie in Abbildung 9 dargestellt ist. Die Helligkeit des Grauwertes variiert mit unterschiedlicher Kontrastmittel-Füllung leicht. Im Verlauf von proximal nach distal ist eine Abnahme des Durchmessers der Arterie erkennbar.

Bei der Betrachtung im Verlauf gibt es keine abrupten Veränderungen der Graustufe im Bereich der Grenzen des Gefäßes, im Vergleich zu den sich proximal und distal anschließenden Querschnittsbildern, im Sinne einer Aufhellung oder Verschattung. Es zeigen sich somit keine Hinweise auf eine atherosklerotische Veränderung der Gefäßwand. Der Umriss des Gefäßes ist meist kreisrund (Abb. 9a) Die Form des Gefäßquerschnittes kann aber auch leicht oval, bis länglich, bzw. spindelförmig sein (Abb. 9b).



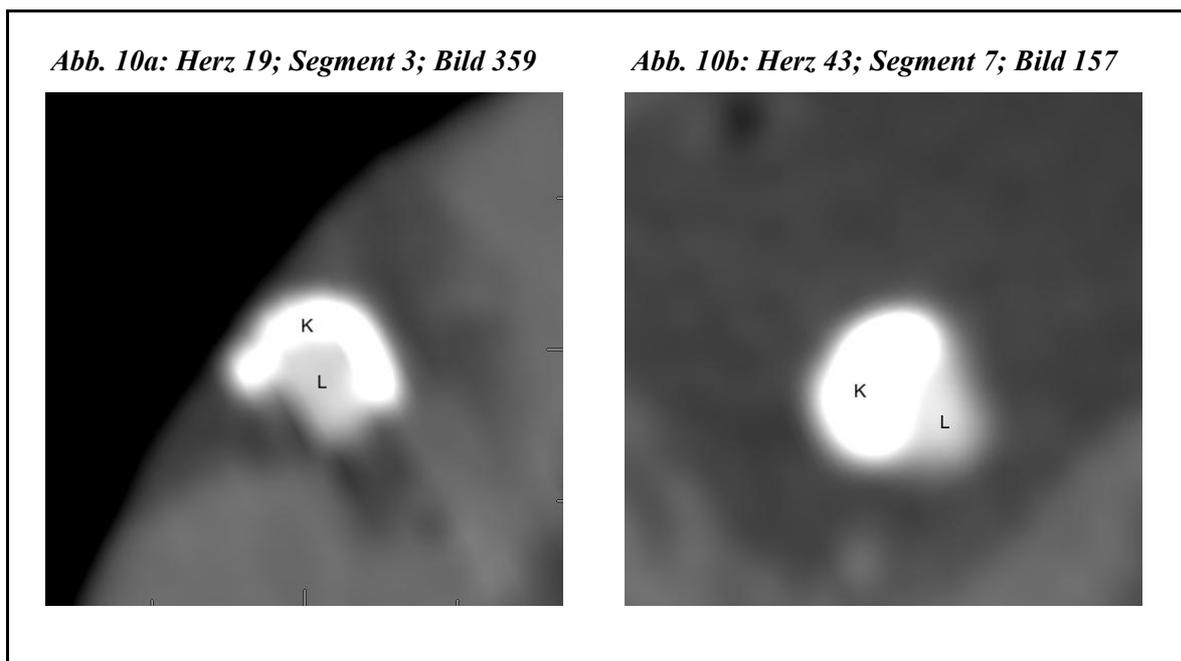
**Abbildung 9 CT-Querschnittsbilder nicht pathologisch veränderter Gefäße**  
Kreisrundes, nicht pathologisch verändertes Gefäß (a); Spindelförmiges, nicht pathologisch verändertes Gefäß (b); Die Gefäße sind durch einen Pfeil gekennzeichnet

### 4.1.3 Die verkalkte Plaque

Im Falle einer *Verkalkung der Gefäßwand* ist im CT-Bild eine deutliche, gleißende Verschattung zu erkennen, wie in Abbildung 10 zu erkennen ist. Sie besitzt einen wesentlich helleren Grauwert als andere Strukturen und setzt sich dadurch, klar und scharf begrenzt, vom umliegenden, epikardialen Fettgewebe und dem Myokard ab.

Die Grenzen zum mit Kontrastmittel gefüllten Lumen sind dagegen, abhängig von der Dichte des Kontrastmittels, visuell nicht immer eindeutig zu definieren. Die Erkennung der Grenzen gelingt umso schlechter, je höher die Dichte des Kontrastmittels und je besser die Kontrastmittelfüllung des Lumens ist.

Die Form der Verschattung ist variabel und zeigt, von kreisrund, über oval (Abb. 10b) und eckig, bis spangenförmig, (Abb. 10a) unterschiedliche Gestalten. Auch die Größe der Verkalkung variiert, von punktförmig klein, bis weit über die Größe des Gefäßlumens hinausgehend.

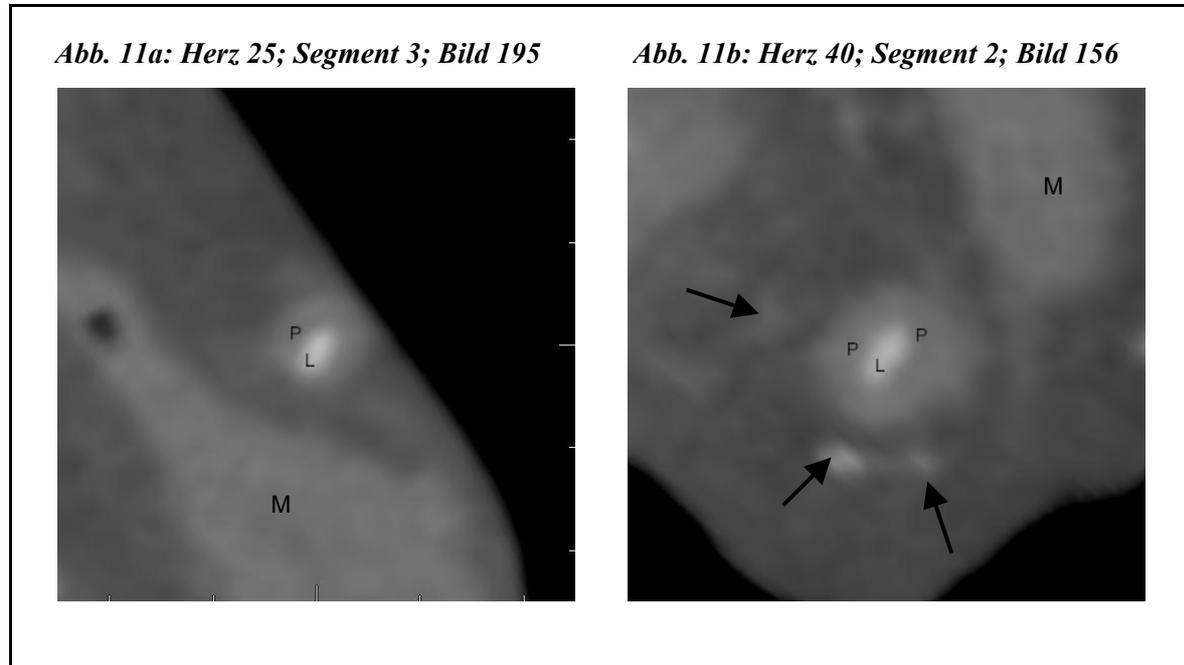


**Abbildung 10 CT-Querschnittsbilder von Koronararterien mit Verkalkung**  
Koronararterie mit spangenförmiger (a) und ovaler Verkalkung (b);  
Kalk (K); Lumen (L)

#### 4.1.4 Die nicht-verkalkte Plaque

*Nicht-verkalkte atherosklerotische Veränderungen* haben im CT-Bild einen Grauwert, der zwischen dem des Kontrastmittels und dem des umliegenden, epikardialen Fettgewebes liegt. Die Gefäßwand erscheint verdickt. Die Verdickung kann konzentrisch, um das Kontrastmittel im Lumen herum, erscheinen, oder exzentrisch, auf nur einer Seite des Gefäßes, zu sehen sein.

Wie in **Abbildung 11** gut zu sehen ist, besitzen andere dargestellte Strukturen einen ähnlichen Grauwert wie nicht-verkalkte atherosklerotische Veränderungen der Gefäßwand. Zu diesen gehört zum einen das Myokard. Daher ist die Einschätzung von Veränderungen der Gefäßwand von Arterien, die in unmittelbarer Nähe des Myokards verlaufen, nicht möglich. Dies gilt besonders bei Verlauf der Koronararterien als sogenannte Myokardbrücken. Als solche bezeichnet man Gefäßabschnitte, die nicht im epikardialen Fettgewebe, sondern innerhalb des Myokards verlaufen. Darüber hinaus sind in der Abbildung weitere Verschattungen innerhalb des epikardialen Fettgewebes zu erkennen, die einen ähnlichen Grauwert wie nicht-verkalkte Plaques besitzen. Dabei handelt es sich um andere Gefäße sowie um Bindegewebszüge. Einige davon sind in **Abbildung 11b** durch Pfeile gekennzeichnet.



**Abbildung 11 CT-Querschnittsbilder von Koronararterien mit nicht-verkalkter Plaque**  
*Exzentrische nicht-verkalkte Plaque (a); Zirkuläre, konzentrische, nicht-verkalkte Plaque (b); Plaque (P); Lumen (L); Myokard (M); Die Pfeile kennzeichnen andere Gefäße und Bindegewebszüge im epikardialen Fettgewebe*

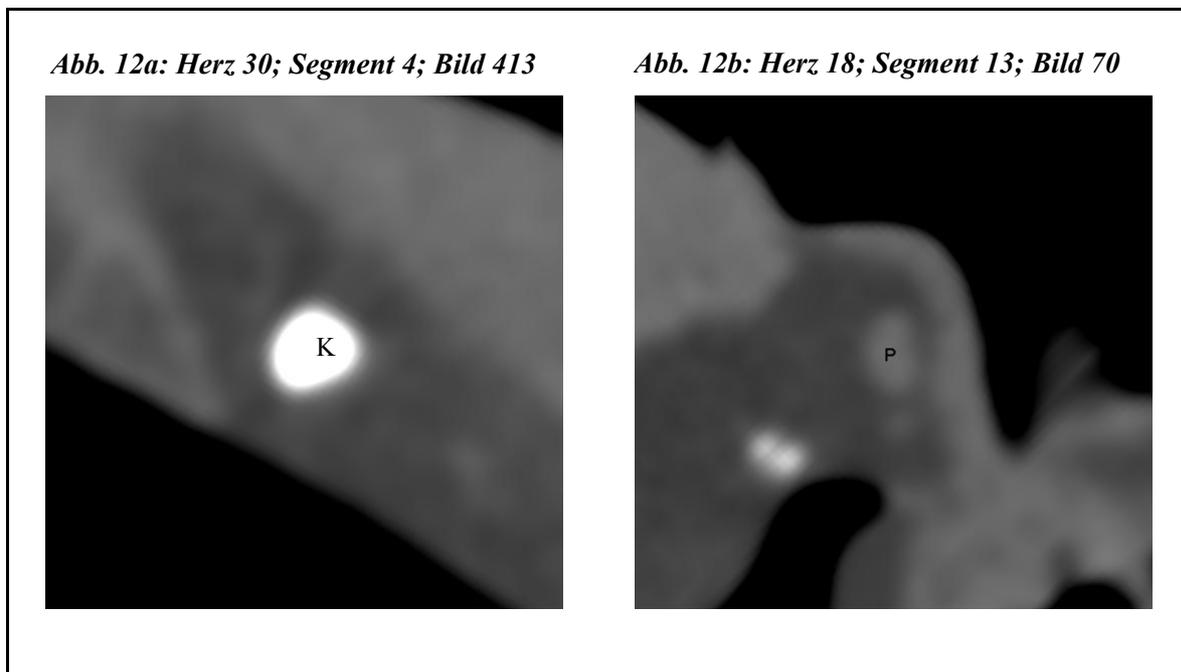
#### 4.1.5 Die absolute Stenose

Eine atherosklerotische Plaque wurde immer dann als absolut stenosierend gewertet, wenn das Kontrastmittel im Lumen, neben der vermuteten atherosklerotischen Veränderung, nicht mehr erkennbar war.

Die Abbildung **12a** zeigt eine *absolute Stenose* durch eine große Verkalkung. Die große, helle Verschattung hat einen homogenen Grauwert und ist scharf begrenzt. Innerhalb ihrer Begrenzung ist keine Verminderung des Grauwertes, als Zeichen des Kontrastmittels im Lumen, erkennbar. Das Lumen scheint durch die verkalkte Plaque komplett verlegt.

Der Befund nicht-verkalkte, absolut stenosierende Plaque wurde immer dann erhoben, wenn, in der Verlaufsbeobachtung innerhalb weniger Querschnittsbilder, eine homogene Verschattung anstelle des Kontrastmittels im Lumen erschien, deren Grauwert deutlich unter dem des Kontrastmittels im Lumen der direkt proximal und distal gelegenen Querschnittsbilder lag. Ihr Grauwert ähnelt dem des Myokards. Die Abbildung **12b** zeigt einen solchen Befund. Die stenosierende, nicht verkalkte Plaque ist durch ein P gekennzeichnet.

Als weitere Ursachen für einen solchen Befund kommen ein Gefäßverschluss durch einen Thrombus oder Artefakte in Frage. Der Befund absolute Stenose muss demnach in Frage gestellt werden (vgl. Kapitel 5.5c).



**Abbildung 12 CT-Querschnittsbilder von Koronararterien mit absoluter Stenose**  
Absolute Stenose durch verkalkte Plaque (a); Absolute Stenose durch nicht-verkalkte Plaque (b); Kalk (K); Plaque oder Thrombus (P)

## 4.2 Zahl der Beobachtungen in der Computertomographie

### 4.2.1 Anzahl der beurteilten CT-Bilder

Aus jedem der zehn definierten Koronararterien-Segmenten (vgl. Kapitel 3.2.3) der 30 untersuchten Herzen sollten jeweils zwei CT-Querschnittsbilder ausgewählt und analysiert werden. Dabei sollte pro Segment jeweils ein Bild eines Gefäßabschnittes mit einer verkalkten und eines mit einer nicht-verkalkten Plaque ausgewählt werden (vgl. Kapitel 3.2.4).

Bei drei Herzen wurde die Auswahl der definierten Segmente aufgrund einer anatomischen Variante modifiziert: In diesen Fällen ging der Ramus interventricularis posterior, statt als Segment 4 der rechten Koronararterie, als Segment 15 aus dem RCX der linken Koronararterie hervor. Es wurde in diesen drei Herzen also das Segment 15 anstelle des Segmentes 4 untersucht. Die Auswahl der CT-Querschnittsbilder ergab eine Gesamtzahl von 297 Bildern für die weitere Analyse. Die Anzahl der ausgewählten Bilder in den einzelnen Segmenten ist im folgenden Abschnitt beschrieben und in Tabelle 6 kurz zusammengefasst:

- a) In 241 der 300 Segmente war jeweils nur eine oder gar keine atherosklerotische Veränderung erkennbar. In diesen wurde jeweils nur ein CT-Querschnittsbild ausgewählt.
- b) In 28 der 300 Segmente wurden jeweils zwei CT-Bilder von Gefäßabschnitten mit jeweils

Tabelle 6 Anzahl der beurteilten CT-Bilder

	<i>Anzahl Segmente</i>	<i>Anzahl CT-Bilder</i>
a) 1 Bild pro Segment	241	241
b) 2 Bilder pro Segment	28	56
d) Ausgeschlossene Segmente	31	0
Gesamt	300	297

einem der beiden unterschiedlichen Plaque-Typen ausgewählt. Dies entspricht einer Anzahl von 56 Querschnittsbildern.

- c) Es mussten insgesamt 31 Segmente aus der

Untersuchung ausgeschlossen werden. Die Gründe dafür werden im Folgenden aufgeführt:

In zwölf Segmenten war die Kontrastmittel-Füllung der Gefäße unzureichend, sodass sie entweder gar nicht oder aber sehr schlecht zur Darstellung kamen und somit für die Profilanalyse nicht geeignet waren. Ein weiteres Problem waren Lufteinschlüsse im Gefäßlumen, die in zehn Segmenten auftraten. Besonders häufig, nämlich in neun von zehn Fällen, trat dieses Problem in Segment fünf, also dem Hauptstamm der linken Koronararterie, auf. In vier Segmenten kam es durch massive Verkalkung zu Artefakten, sodass der Gefäßverlauf nicht zu beurteilen war. Weitere drei Segmente mussten, wegen einer anatomischen Variante des Ramus

**Tabelle 7 Ursachen für den Ausschluss von Segmenten**

<i>Ursache</i>	<i>Anzahl der Segmente</i>
1. Unzureichende KM-Füllung	12
2. Lufteinschluss im Lumen	10
3. Artefakte durch extreme Verkalkung	4
4. Anatomische Variante der RCX (starker Marginalast)	3
5. Artefakte durch Herzklappenersatz / Herzschrittmacherelektroden	2
Gesamt	31

circumflexus – einem starken Marginalast –, ausgeschlossen werden. Artefakte aufgrund eines Herzklappenersatzes und implantierter Herzschrittmacherelektroden waren der Grund, aus dem zwei weitere Segmente aus der Analyse ausgeschlossen werden mussten (Tab. 7).

#### 4.2.2 Häufigkeiten der CT-Befunde

Von den insgesamt 297 beurteilten CT-Querschnittsbildern wurden visuell 97 (32,7%) als

**Tabelle 8 Häufigkeiten der CT-Befunde**

<i>CT-Befund</i>	<i>Anzahl (Anteil in %)</i>
Keine pathol. Veränderung	97 (32,7%)
Verkalkte Plaque	112 (37,7%)
Nicht-verkalkte Plaque	88 (29,6%)
Gesamt	297 (100%)

*Gefäßabschnitt ohne pathologische Veränderung* bewertet. Eine *verkalkte atherosklerotische Plaque* war auf 112 (37,7%) Bildern zu sehen. Der Befund *nicht-verkalkte Plaque* wurde für 88 (29,6%) Bilder erhoben (Tab. 8).

Bezogen auf die einzelnen Herzen ergab sich folgende Verteilung der unterschiedlichen Plaque-Typen: In 19 (63,3%) der Herzen traten die Befunde verkalkte und nicht-verkalkte Plaque nebeneinander auf. Ausschließlich nicht-verkalkte Plaques fanden sich in sieben (23,3%) der Herzen, während ausschließlich verkalkte Plaques in drei (10%) der Herzen vorzufinden waren. Ausschließlich nicht pathologisch veränderte Koronararterien fanden sich lediglich in einem (3,3%) der Herzen (Tab. 9).

**Tabelle 9 Verteilung der CT-Befunde in den einzelnen Herzen**

<i>Befunde in einem Herzen</i>	<i>Anzahl der Herzen (Anteil in %)</i>
Verkalkte und nicht-verkalkte Plaques	19 (63,3%)
Nur nicht-verkalkte Plaques	7 (23,3%)
Nur verkalkte Plaques	3 (10%)
Keine pathologische Veränderung	1 (3,3%)

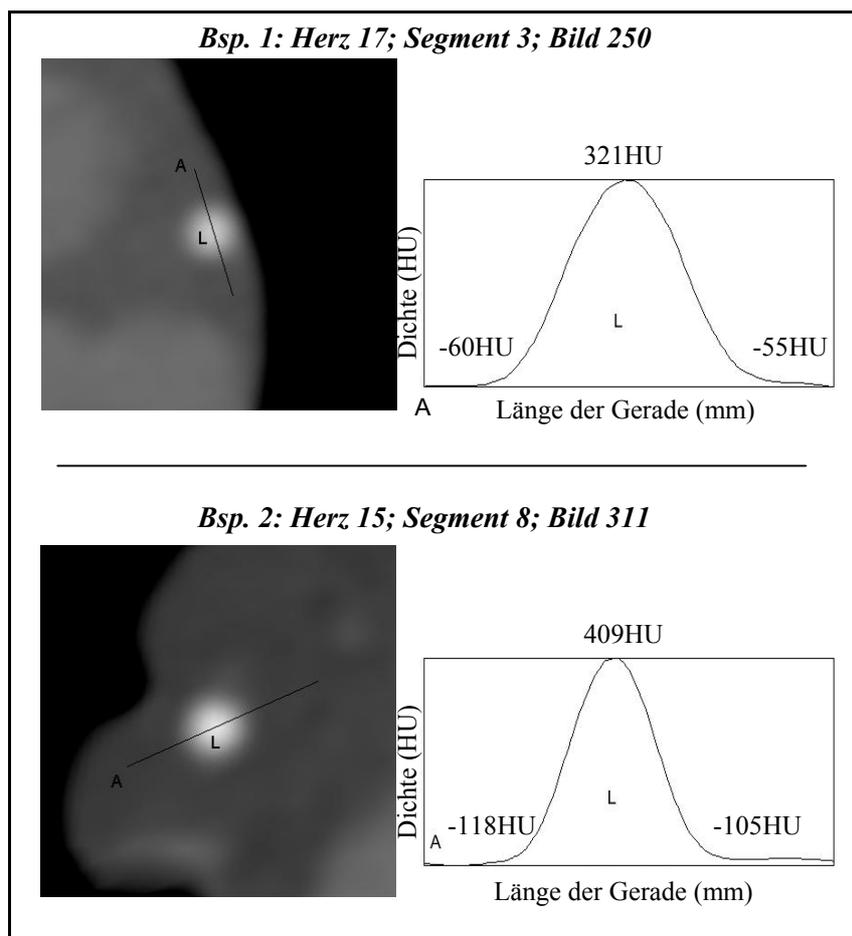
### 4.3 Ergebnisse der Dichteprofilanalyse

Der folgende Abschnitt beschreibt und illustriert die typischen Verläufe der Dichteprofilkurven der unterschiedlichen Befunde anhand von jeweils zwei Beispielen aus dem erhobenen Datensatz. Dabei werden immer ein CT-Querschnittsbild und die zugehörige Profilkurve dargestellt.

#### 4.3.1 Die Profilkurve der Koronararterie ohne pathologische Veränderung

Die *Profilkurve der Koronararterie ohne pathologische Veränderung* ist symmetrisch und ähnelt der Kurve einer Normalverteilung. Nach zunächst flachem Verlauf im epikardialen Fettgewebe, steigt die Kurve, als Ausdruck des Beginns der Gefäßwand und des mit Kontrastmittel gefüllten Lumens, steil an. Sie erreicht am Punkt der höchsten Kontrastmitteldichte ihr Maximum, fällt bis

zum Beginn des epikardialen Fettgewebes steil ab und zeigt dort erneut einen flachen Verlauf. Im ansteigenden und abfallenden Teil der Kurve sind keinerlei Knicke oder Plateaus zu erkennen, die auf eine Veränderung der Gefäßwand hindeuten würden. Auch am oberen Extremwert der Kurve zeigt sich kein Plateau, im Sinne eines horizontal verlaufenden Kurvenabschnitts. Abbildung 13 illustriert den typischen Verlauf anhand von 2 Beispielen. Die Dichtewerte für die



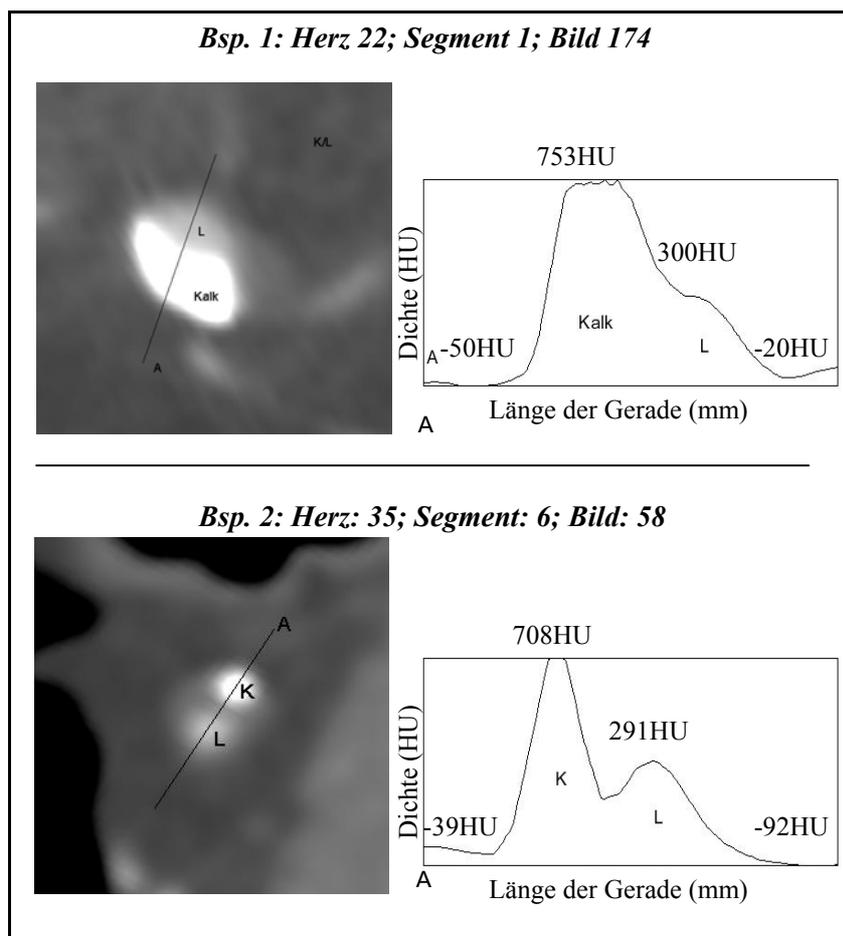
**Abbildung 13 Profilkurven von Koronararterien ohne pathologische Veränderung**

CT-Querschnittsbilder mit zugehörigen Profilkurven;  
Beginn der Gerade (A); Lumen (L)

einzelnen Gewebe können anhand der entsprechenden Kurvenabschnitte ermittelt werden. Im ersten der oben gezeigten Beispiele ergeben sich für das epikardiale Fettgewebe die Werte -60HU und -55HU. Die Werte werden anhand der Plateaus am Beginn und Ende der Profilkurve bestimmt. Der Dichtewert für das Kontrastmittel kann am Maximum der Kurve abgelesen werden und liegt bei 321HU. Im zweiten Beispiel liegen die Werte für das epikardiale Fettgewebe mit -118HU und -105HU deutlich niedriger. Der Wert für das Kontrastmittel im Lumen ist mit 409HU höher als im ersten Beispiel.

#### 4.3.2 Die Profilkurve bei verkalkter Plaque

In Abbildung 14 sind typische Verläufe der *Profilkurve von verkalkten Plaques* dargestellt. Die Kurve zeigt eine asymmetrische Form. Eine Verkalkung der Gefäßwand äußert sich in einem steilen Anstieg der Kurve nach zunächst flachem Verlauf im Fettgewebe und ist an den stark



erhöhten Dichtewerten erkennbar, die deutlich über denen des Kontrastmittels liegen. Die Profilkurve kann im oberen Extremwert spitz oder als Plateau verlaufen. Der nachfolgende Abfall der Kurve ist wieder steil und wird in den meisten Fällen durch ein Plateau beendet, das das Kontrastmittel im Lumen repräsentiert. Beispiel 1 illustriert einen solchen Kurvenverlauf.

In einigen Fällen fällt die Kurve, nach Erreichen des oberen Extremwertes für die Verkalkung, allerdings auch bis zu einem

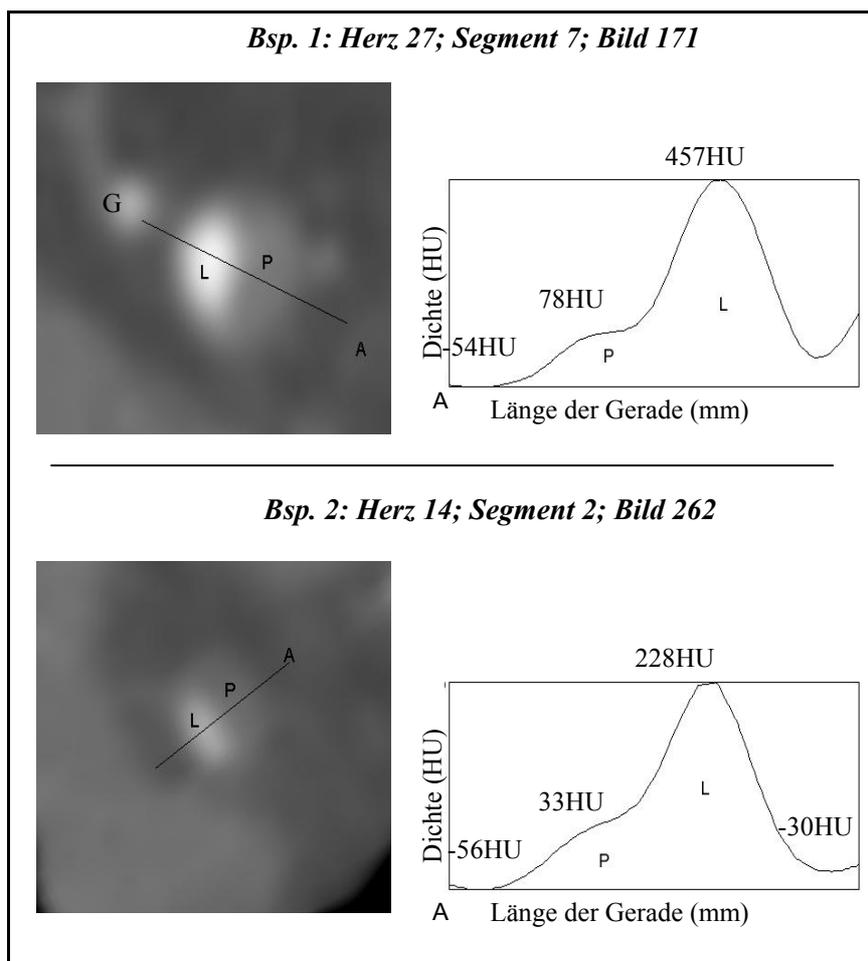
**Abbildung 14 Profilkurven von Koronararterien mit verkalkter Plaque**

CT-Querschnittsbilder mit dazugehörigen Profilkurven;  
Verkalkung (K); Lumen (L); Beginn der Gerade (A)

bestimmten Punkt ab, um erneut bis zum Maximalwert des Kontrastmittels im Lumen anzusteigen, wie in Beispiel 2 dargestellt ist. Ein solcher Verlauf ist darauf zurückzuführen, dass sich zwischen dem verkalkten Anteil der Gefäßwand und dem Lumen noch ein Stück nicht-verkalkte Gefäßwand befindet. Nach dem Maximum des Kontrastmittels im Lumen folgt in der Regel ein Abfall der Kurve, bis zum Erreichen des, für das Fettgewebe repräsentativen, Plateaus. Im ersten Beispiel waren die Werte für das epikardiale Fettgewebe -50HU und -20HU, für das Kontrastmittel im Lumen 300HU und für die Verkalkung 753HU. Im zweiten Beispiel lagen die Werte für das epikardiale Fettgewebe bei -39HU und -92HU, für das Kontrastmittel im Lumen bei 291HU und für die Verkalkung bei 708HU.

#### 4.3.3 Die Profilkurve bei nicht-verkalkter Plaque

Die Profilkurve ist ebenfalls asymmetrisch und beginnt zunächst wieder flach im epikardialen



Fettgewebe. Ist eine nicht-verkalkte Plaque vorhanden, so zeigt sich, nach kurzem Anstieg der Kurve und vor dem Erreichen des Maximalwertes des Kontrastmittels, ein Plateau (Abb. 15/1). Nicht immer ist ein echtes Plateau vorhanden, sondern lediglich ein Knick, das heißt eine Unterbrechung des Anstieges, im Sinne einer kurzzeitigen Verflachung des ansteigenden Kurventeils (Abb. 15/2). Nach Passage der nicht-verkalkten atherosklerotischen Plaque

**Abbildung 15 Profilkurven von Koronararterien mit nicht-verkalkter Plaque**  
 CT-Querschnittsbilder mit korrelierenden Profilkurven;  
 nicht-verkalkte Plaque (P) Lumen (L) Gefäß (G); Beginn der Gerade (A)

steigt die Kurve wieder steil bis zum Erreichen des Maximums an. Es folgt entweder ein steiler Abfall bis zum Fettgewebe oder ein erneutes Abknicken der Kurve, bei abermaliger Gefäßwandveränderung auf der anderen Seite des Lumens. Die im ersten Beispiel ermittelten Dichtewerte waren die Folgenden: Für das epikardiale Fettgewebe -54HU. Wegen eines benachbarten Gefäßes, wurde nur ein Wert ermittelt. Für das Kontrastmittel 457HU und für die nicht-verkalkte Plaque 78HU. Im zweiten Beispiel waren die Werte -56HU und -30HU für das Fettgewebe, 228HU für das Kontrastmittel und 33HU für die nicht-verkalkte Plaque.

#### 4.3.4 Die Dichtewerte der untersuchten Bestandteile

Im Folgenden werden die Minima und Maxima sowie die Mediane und die Werte an der unteren und oberen Quartile aller ermittelten Dichtewerte der untersuchten Bestandteile aufgeführt. Sie sind in Tabelle **10** nochmals zusammengefasst.

a) Für das *epikardiale Fettgewebe* wurden insgesamt 460 Einzelwerte ermittelt. Nicht immer war es möglich auf beiden Seiten des Gefäßquerschnittes einen Dichtewert für das Fettgewebe zu bestimmen. Einzelne Werte mussten ausgeschlossen werden, wenn die Koronararterie am äußersten Rande des epikardialen Fettgewebes in Luftnähe verlief oder sich in unmittelbarer Nachbarschaft eines anderen Gefäßes befand. In einigen, seltenen Fällen verlief eine der Koronararterien kurzzeitig innerhalb des Myokards als sogenannte Myokardbrücke, sodass kein Wert für das Fettgewebe ermittelt werden konnte. Die ermittelten Dichtewerte für das epikardiale Fettgewebe liegen in einem Bereich von -122HU bis 23HU. Der Median liegt bei -71HU und die Werte an der unteren und oberen Quartile betragen -85HU und -54HU.

b) Für das *Kontrastmittel im Lumen* der Koronararterien wurden insgesamt 276 Einzelwerte ermittelt. Hauptgrund für das Fehlen einiger Werte waren Stenosen des Lumens durch verkalkte Plaques, die dazu führten, dass das Kontrastmittel nicht zu sehen war. Der Wertebereich liegt zwischen einem Minimum von 82HU, und einem Maximum von 625HU. Der Median beträgt 299HU. Die Werte an der oberen und unteren Quartile sind 229HU und 374

Um einen Referenzwert für das Kontrastmittel zu erhalten, der unabhängig vom Füllungszustand der Koronararterie ist, wurde ein Dichtewert in der Aortenwurzel und den Ventrikeln bestimmt, wohin es, während des Füllungsprozesses der Arterien, in großer Menge gelangt war. Die so ermittelten Werte liegen in einem Bereich zwischen 116HU und 540HU und haben einen Median von 337HU und Werte an der unteren und oberen Quartile von 278HU und 372HU.

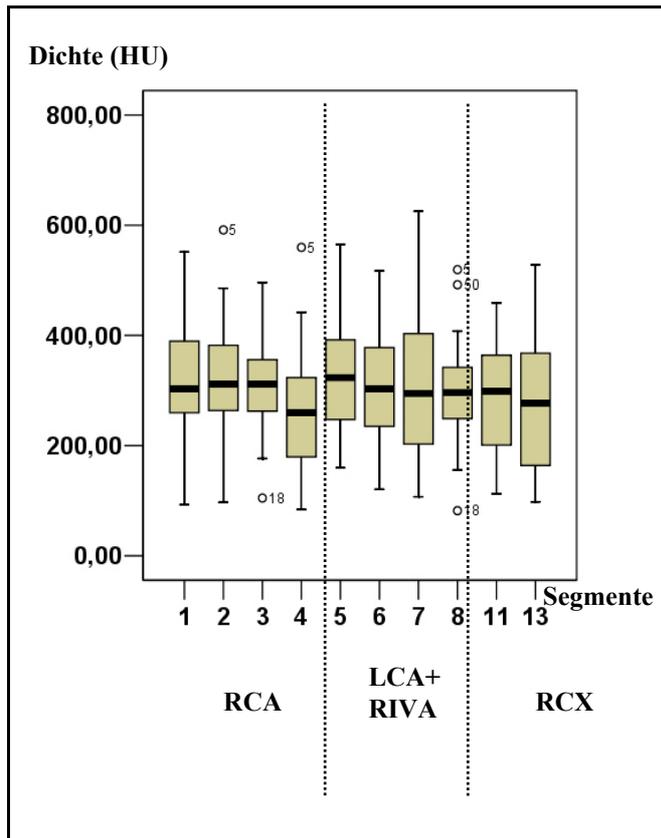


Abbildung 16 Kontrastmitteldichte in den einzelnen Koronararterien-Segmenten

Die Abbildung 16 stellt die Dichtewerte des Kontrastmittels aller Herzen in den einzelnen Koronararterien-Segmenten als Boxplots dar. Auf der y-Achse ist der Dichtewert in Hounsfield Einheiten aufgetragen. Die x-Achse zeigt die einzelnen Koronararterien-Segmente. Zu erkennen ist eine Abnahme des Medians in Richtung distales Segment der einzelnen Gefäße (Segment 4, 8, 11), die durch den abnehmenden Gefäßquerschnitt und der damit verbundenen schlechteren Kontrastmittel-Füllung der Arterien zu erklären ist. Eine Ausnahme bildet das Segment 1, dessen Median unter dem des Segmentes 2 liegt, was eventuell auf ein Zurücklaufen des Kontrastmittels aus dem Ostium der

Arterie nach der Füllung zu erklären ist. Etwa gleichleibende Werte erkennt man in den jeweils aufeinander folgenden Segmenten 2 und 3 sowie 7 und 8.

c) Für die *nicht-verkalkten Plaques* wurden insgesamt 77 Werte ermittelt. Der Dichtewertebereich beginnt bei einem Minimum von 17HU und reicht bis zu einem Maximum von 168HU. Der Median liegt bei 50HU. Die Werte an der unteren und oberen Quartile lauten 38HU und 62HU.

d) Für die *verkalkten Plaques* wurden 110 Werte ermittelt. Sie liegen in einem Bereich zwischen 333HU als Minimum und 1944HU als Maximum. Hierfür gilt ein Median von 1057HU, ein Wert an der unteren Quartile von 793HU und an der oberen Quartile von 1438HU.

Tabelle 10 Dichtewerte der untersuchten Bestandteile (HU)

Bestandteil (Anzahl der Einzelwerte)	Min	Max	Median	Perzentile 25	Perzentile 75
Epikardiales Fettgewebe (460)	-122	23	-71	-85	-54
KM im Lumen (276)	82	625	299	229	374
KM im Ventrikel (30)	116	540	337	278	372
Nicht-verkalkte Plaque (77)	17	168	50	38	62
Verkalkte Plaque (110)	333	1944	1057	793	1438

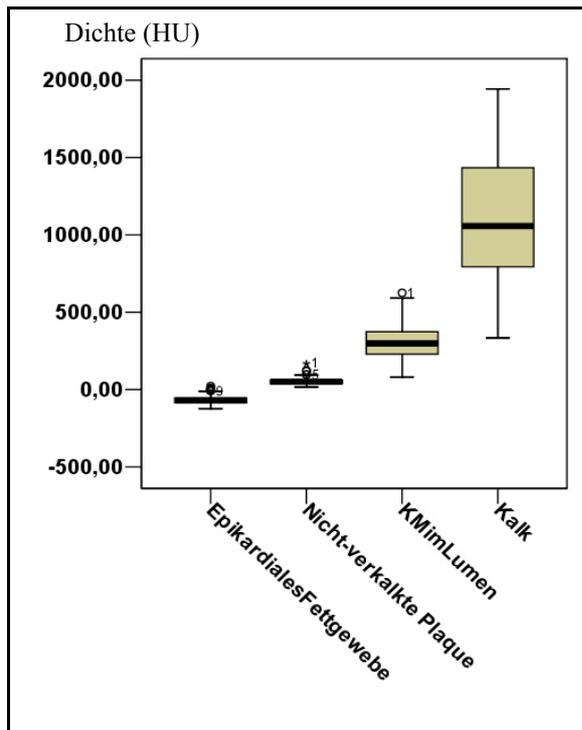


Abbildung 17 Dichtewerte der untersuchten Bestandteile als Boxplots

Abbildung 17 stellt die Verteilung der Dichtewerte der untersuchten Bestandteile als Boxplots dar. Auf der y-Achse ist erneut der Dichtewert in HU aufgetragen. Die x-Achse stellt die einzelnen untersuchten Bestandteile, in der von links nach rechts aufsteigenden Reihenfolge ihrer Dichte, dar.

Laut Analyse mit nichtparametrischem Kruskal-Wallis-Test unterschieden sich die ermittelten Dichtewerte der einzelnen Bestandteile signifikant voneinander ( $p < 0,001$ ).

#### 4.4 Die histologische Validierung

Im folgenden Abschnitt werden die erhobenen Befunde der histologischen Untersuchung in Kategorien eingeteilt und anhand von je zwei typischen Beispielen pro Kategorie illustriert und erläutert. Dabei ist jeweils ein CT-Querschnittsbild und der passende histologische Schnitt dargestellt.

##### 4.4.1 Allgemeines zur histologischen Beurteilung

Die histologische Untersuchung gilt als Gold-Standard für die Erkennung und Differenzierung atherosklerotischer Veränderungen der Koronararterien. Die Untersuchung der histologischen Schnitte ergab folgende Befunde (Tab. 11):

Einige Gefäßabschnitte zeigten *keinerlei pathologische Veränderung*. Die Gefäßabschnitte mit atherosklerotischer Veränderung wurden entweder als Gefäßabschnitte mit *intimaler Proliferation*, *nicht-verkalkter* oder *verkalkter Plaque* bewertet. Die *nicht-verkalkten Plaques* wurden nochmals in *lipidreiche Plaques ohne nekrotischen Kern*, *lipidreiche Plaques mit nekrotischem Kern* und *faserreiche Plaques ohne nekrotischen Kern* unterteilt. In einigen Fällen war die Zuordnung aufgrund schlechter Qualität der histologischen Präparate nicht möglich.

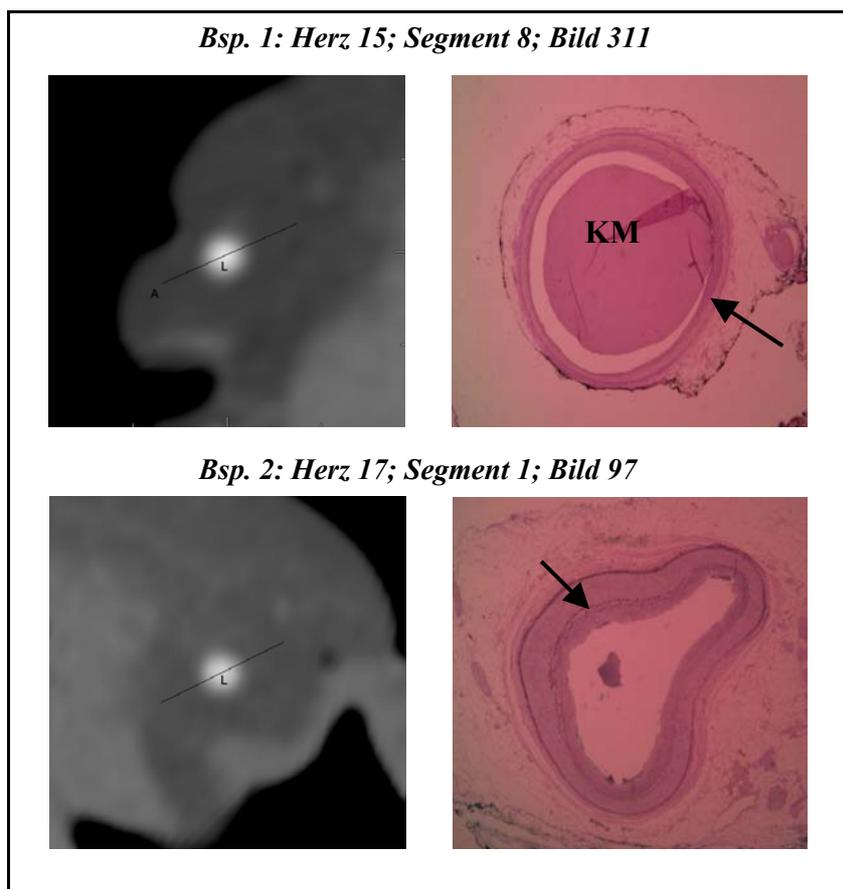
## Tabelle 11 Befunde der histologischen Untersuchung

- I. Keine pathologische Veränderung
- II. Atherosklerotische Veränderung
  - 1. Intimale Proliferation
  - 2. Nicht-verkalkte Plaque
    - a) Lipidreich ohne nekrotischen Kern
    - b) Lipidreich mit nekrotischem Kern
    - c) Faserreich ohne nekrotischen Kern
    - d) Nicht differenzierbar
  - 3. Verkalkte Plaque

In diesen Fällen wurde die atherosklerotische Veränderung als *nicht differenzierbare, nicht-verkalkte Plaque* bewertet. Die Einteilung erfolgte anhand der Klassifikation nach Stary et al. und der Klassifikation nach Virmani et al. (vgl. Kapitel 3.4.3).

### 4.4.2 Die Histologie der Koronararterie ohne pathologische Veränderung

Abbildung 18 zeigt die Gegenüberstellung von CT-Querschnittsbildern von Koronararterien, die als *nicht pathologisch verändert* bewertet wurden und den dazu passenden histologischen Schnittpräparaten.



In Beispiel 1 wird der CT-Befund histologisch bestätigt. Man erkennt eine Arterie mit unveränderter Intima, die aus wenigen Zellschichten besteht. Im Lumen der Arterie ist das Kontrastmittel zu sehen. Das zweite Beispiel zeigt das CT-Bild eines Gefäßabschnittes, der ebenfalls als nicht pathologisch verändert beurteilt wurde. In der Histologie zeigt sich allerdings eine deutliche intimale Proliferation (vgl. Kapitel 4.6).

**Abbildung 18 Histologie der Koronararterie ohne path. Veränderung**  
Arterie ohne path. Veränderung (Bsp. 1); Arterie mit unauffälligem CT-Befund und intimaler Proliferation in der Histologie (Bsp. 2); Kontrastmittel im Lumen (KM); Lamina elastica interna (Pfeil)

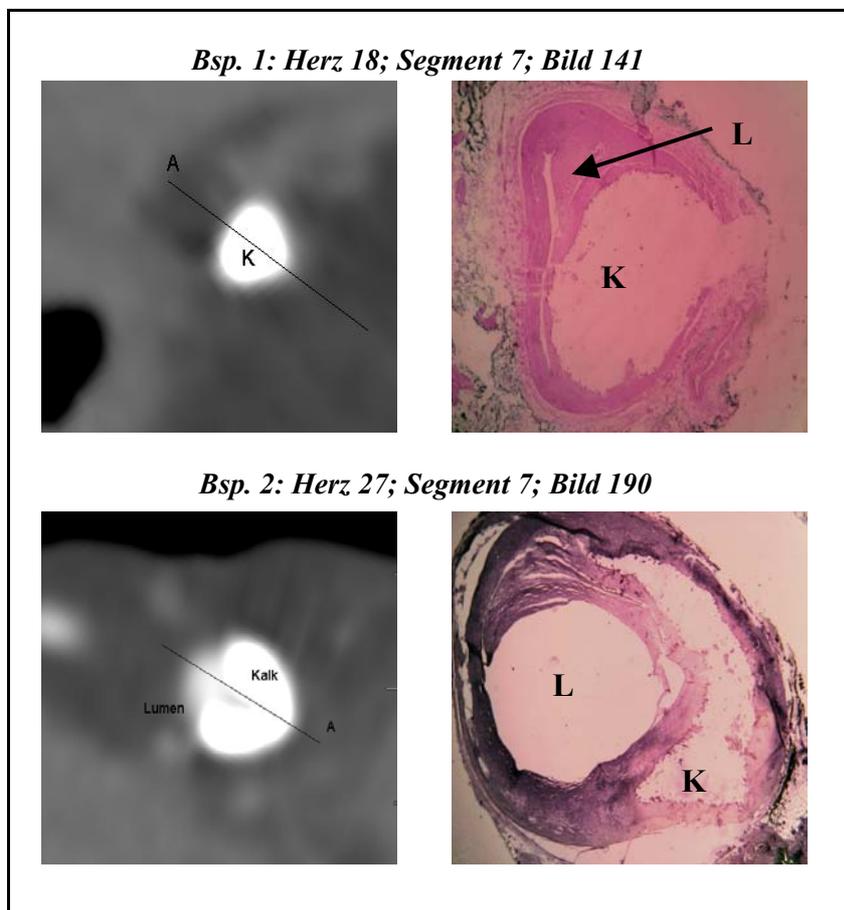
#### 4.4.3 Die Histologie der verkalkten Plaque

Abbildung 19 zeigt die CT-Querschnittsbilder und histologischen Schnitte zweier Beispiele von Gefäßabschnitten mit *verkalkter Plaque*.

Im ersten Beispiel ist eine absolut stenosierende, verkalkte Plaque dargestellt. Neben der Verkalkung ist im CT-Bild kein Kontrastmittel im Lumen mehr erkennbar. Das histologische Schnittpräparat liefert die Erklärung für den CT-Befund. Im Bild ist eine große Verkalkung der Gefäßwand zu sehen, die das Lumen der Arterie komplett verlegt, wodurch eine Kontrastmittel-Füllung verhindert wird. Die Plaque besteht nahezu vollständig aus Kalk. Das Lumen ist nur noch als schmaler Streifen, am linken Rand des Präparates, zu erkennen. An seinem rechten Rand ist der Schnitt geringfügig beschädigt. Der durch die Profilanalyse ermittelte Dichtewert

der Plaque beträgt 1838HU.

Die im zweiten Beispiel dargestellte, große Verkalkung der Gefäßwand zeigt eine U-förmige Gestalt. Sie hat sich von der rechten Seite im Bild um das Lumen herum gebildet. Dieses ist, trotz der großen Plaque, noch gut für das Kontrastmittel durchgängig, das im CT-Bild links neben der Verkalkung erkennbar ist. Die Verkalkung erscheint im CT-Bild erheblich größer als in der Histologie. Der ermittelte Dichtewert der Plaque beträgt im zweiten Beispiel 1366HU.



**Abbildung 19 Histologie der verkalkten Plaque**

*Absolut stenosierende, verkalkte Plaque (Bsp. 1); Verkalkte Plaque*

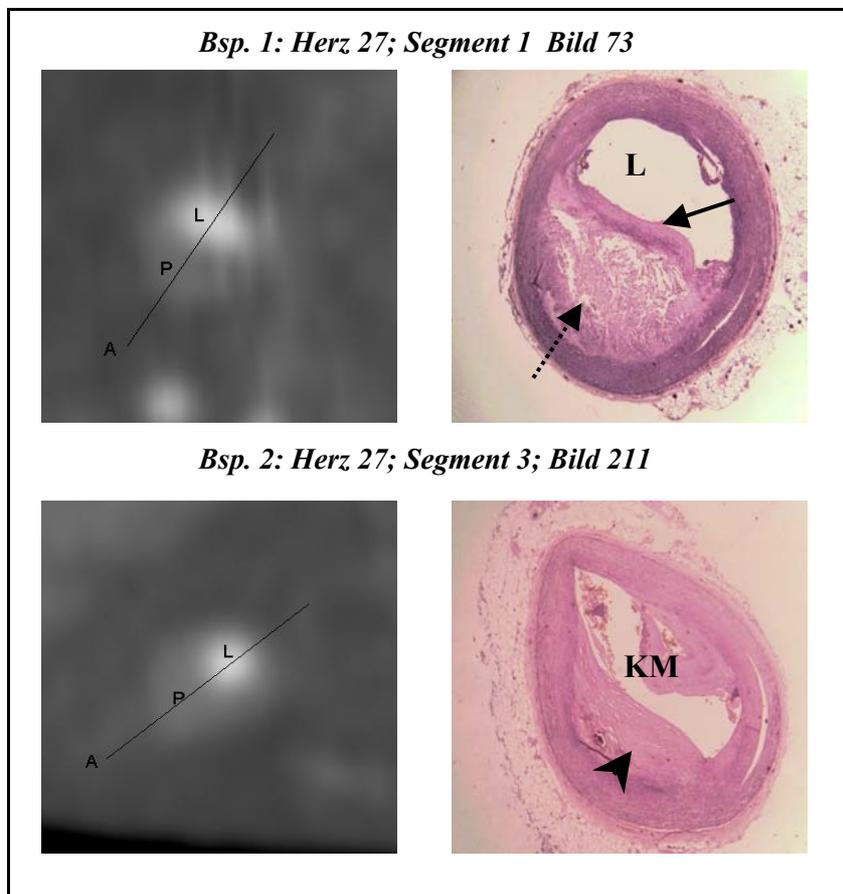
*ohne Stenose (Bsp. 2);*

*Verkalkung (K); Lumen (L); Beginn der Geraden (A)*

#### 4.4.4 Die Histologie der nicht-verkalkten Plaque

Abbildung 20 zeigt jeweils ein Beispiel für eine *lipidreiche, nicht-verkalkte Plaque mit nekrotischem Kern* (Abb. 20/1) und eine *faserreiche, nicht-verkalkte Plaque ohne nekrotischen Kern* (Abb. 20/2).

Im ersten Beispiel ist in der Histologie eine Plaque mit nekrotischem Degenerationsareal dargestellt, das nahezu die gesamte Fläche der Plaque einnimmt. Die Degeneration zeigt typische, nadelförmige Vakuolen, als Zeichen bei der Präparation herausgewaschener Cholesterinkristalle. Die Plaque ist exzentrisch angeordnet und vom Lumen durch eine fibröse Kappe getrennt. Trotz der erheblichen Größe der Plaque ist ein Restlumen erhalten. Der aus der



**Abbildung 20 Histologie der nicht-verkalkten Plaque**  
*Lipidreiche, nicht-verkalkte Plaque (Bsp. 1); Faserreiche, nicht-verkalkte Plaque (Bsp. 2);*  
*Kontrastmittel im Lumen (KM); Lumen (L); Plaque (P); Beginn der Gerade (A); Cholesterinablagerungen in der Intima (gestrichelter Pfeil); Fibröse Kappe (durchgezogener Pfeil); faserreiche Plaque (Pfeilspitze)*

Profilanalyse ermittelte Dichtewert der Plaque beträgt 33HU.

Auch im zweiten Beispiel ist die Intima aufgrund einer nicht-verkalkten Plaque verdickt. Diese besteht allerdings aus faserreichem Gewebe. Es sind weder ein Degenerationsareal wie im ersten Beispiel noch Zeichen extrazellulärer Lipideinlagerungen erkennbar. Daher ist die Plaque als nicht-verkalkte Plaque ohne nekrotischen Kern gewertet. Ein Restlumen ist ebenfalls erhalten. Man erkennt Reste des Kontrastmittels in seinem Inneren. Der Dichtewert liegt bei 53HU.

#### **4.5 Zahl der Beobachtungen in der Histologie**

Von den 297 Gefäßabschnitten, deren CT-Querschnittsbilder in die Profilanalyse miteinbezogen wurden, konnten 195 Abschnitte histologisch aufgearbeitet und beurteilt werden. Die restlichen 102 für die CT-Analyse ausgewählten Gefäßabschnitte konnten nicht histologisch validiert werden, da von einigen – meist distalen – Gefäßabschnitten keine Präparate hergestellt werden konnten. Des weiteren traten in einigen Fällen Probleme bei der Zuordnung des korrelierenden histologischen Präparates zum jeweils passenden CT-Querschnittsbild auf. Einige Präparate mussten zudem aus der Analyse ausgeschlossen werden, da sie während der Präparation beschädigt worden waren.

Tabelle 12 fasst die Ergebnisse der histologischen Untersuchung zusammen:

Von den 195 beurteilten histologischen Präparaten wurden 18 (9,2%) als *nicht pathologisch verändert* bewertet. Die restlichen 177 (90,8%) Präparate wiesen eine atherosklerotische Veränderung auf: *Eine intimale Proliferation* fand sich in 22 (11,3%) Schnitten. Eine *nicht-verkalkte atherosklerotische Läsion* war in 73 (37,4%) der Präparate vorhanden. Von diesen waren 12 (6,2%) *lipidreiche Plaques ohne nekrotischen Kern*, 35 (17,9%) *lipidreiche Plaques mit nekrotischem Kern* und 24 (12,3%) *faserreiche Plaques ohne nekrotischen Kern*. Aufgrund ihrer komplexen Zusammensetzung konnten 2 (1,0%) der nicht-verkalkten Plaques *nicht eindeutig differenziert* werden. Eine *Verkalkung* der Gefäßwand lag in 82 (42,1%) der Fälle vor.

**Tabelle 12 Häufigkeiten der histologischen Befunde**

<i>Befund</i>	<i>Anzahl der Befunde (Anteil in %)</i>	
I. Keine pathologische Veränderung	18	(9,2%)
II. Atherosklerotische Veränderung	177	(90,8%)
1. Intimale Proliferation	22	(11,3%)
2. Nicht-verkalkte Plaque	73	(37,4%)
a) Lipidreich ohne nekrotischen Kern	12	(6,2%)
b) Lipidreich mit nekrotischem Kern	35	(17,9%)
c) Faserreich ohne nekrotischen Kern	24	(12,3%)
d) Nicht differenzierbar	2	(1,0%)
3. Verkalkte Plaque	82	(42,1%)
Gesamt	195	(100%)

Tabelle 13 zeigt die Verteilung der histologischen Befunde, bezogen auf die einzelnen Herzen: In 18 (60%) der Herzen waren sowohl verkalkte als auch nicht-verkalkte Plaques zu finden. Nur nicht-verkalkte Plaques fanden sich in 6 (20%) und ausschließlich verkalkte Plaques in 4 (13,3%) der Herzen. Bei 2 (6,7%) der untersuchten Herzen zeigten sich keine pathologischen Veränderungen der Koronararterien.

**Tabelle 13 Verteilung der histologischen Befunde in den einzelnen Herzen**

<i>Befunde</i>	<i>Anzahl der Herzen (Anteil in %)</i>	
Verkalkte und nicht-verkalkte Plaques	18	(60%)
Nur nicht-verkalkte Plaques	6	(20%)
Nur verkalkte Plaques	4	(13,3%)
Keine pathologische Veränderung	2	(6,7%)

#### **4.6 Pathologischer histologischer Befund bei unauffälligem CT-Befund**

In einigen Fällen zeigte sich eine atherosklerotische Veränderung in der Histologie von Gefäßabschnitten, die in der Computertomographie als nicht pathologisch verändert eingeschätzt worden waren. Dieses Phänomen trat bei insgesamt 34 histologisch validierbaren Gefäßabschnitten auf. Von diesen wiesen 22 eine intimale Proliferation auf. Um festzustellen bis zu welcher maximalen Verdickung der Gefäßintima die betroffenen Abschnitte in der Computertomographie als nicht pathologisch verändert bewertet wurden, wurde die Dicke der Gefäßintima an zwei visuell ausgewählten Orten gemessen. Die Werte liegen in einem Bereich zwischen 71µm und 236µm als Maximum, der Median beträgt 141µm.

Bei den restlichen 12 Schnitten zeigte sich in der Histologie eine nicht-verkalkte Plaque. In allen Fällen handelte es sich dabei um eine Plaque vom Typ III nach Stary oder „Pathological intimal thickening“ (PIT) nach Virmani et al. (vgl. Kapitel 3.4.3). Es wurde jeweils die maximale Intimadicke der Plaques gemessen. Die ermittelten Werte liegen zwischen 217µm und 894µm. Der Median beträgt 400µm. Die folgende Tabelle fasst diese Ergebnisse nochmals zusammen:

**Tabelle 14 Pathologischer histologischer Befund bei unauffälligem CT-Befund**

<i>Befund</i>	<i>Anzahl (n)</i>	<i>Intimadicke (µm)</i>
Intimale Proliferation	22	71 - 236; Median: 141
Nicht-verkalkte Plaque	12	217 – 894; Median: 400

#### 4.7 Sensitivität und Spezifität der Untersuchungsmethode

Um die Sensitivität und Spezifität der Computertomographie für die Erkennung verkalkter und nicht-verkalkter Plaques zu bestimmen, wurden die Ergebnisse der histologischen Untersuchung und der Computertomographie mittels Vierfeldertafeln verglichen:

Tabelle 15 zeigt die Tafel für die *verkalkten Plaques*. Alle in der Histologie als verkalkt beurteilten Plaques wurden im CT-Bild visuell als verkalkt erkannt. Von 113 der histologisch nicht-verkalkten Gefäßabschnitten wurden 110 im CT-Bild visuell als nicht-verkalkt erkannt. Keine der in der CT visuell als nicht-verkalkt beurteilten Plaques wurde histologisch als verkalkt beurteilt. Daraus ergibt sich eine Sensitivität von 100% und eine Spezifität von 97,3% für die Erkennung von Verkalkung mittels Computertomographie.

Tabelle 15 Vierfeldertafel für verkalkte Plaques

		<i>Histologie</i>		Summe
		Verkalkung +	Verkalkung -	
CT	Verkalkung +	82	3	85
	Verkalkung -	0	110	110
	Summe	82	113	195
		<b>Sensitivität: <math>82/82 = 100\%</math></b>		
		<b>Spezifität: <math>110/113 = 97,3\%</math></b>		

Tabelle 16 stellt die Vierfeldertafel für die nicht-verkalkten Plaques dar. Von den 73 histologisch beurteilten Gefäßabschnitten, die in der Histologie eine nicht-verkalkte Plaque zeigten, wurden visuell 59 im CT-Bild korrekt als Gefäßabschnitt mit nicht-verkalkter Plaque erkannt. Von den 122 histologischen Schnitten ohne nicht-verkalkte Plaque, wurden 116 diesbezüglich im CT-Bild korrekt gewertet. Die Sensitivität für die Erkennung von nicht-verkalkten Plaques liegt damit bei 80,8% und die Spezifität bei 95,1%.

Tabelle 16 Vierfeldertafel für nicht-verkalkte Plaques

		<i>Histologie</i>		Summe
		NVP + *	NVP - *	
CT	NVP + *	59	6	65
	NVP - *	14	116	130
	Summe	73	122	195
		<b>Sensitivität: <math>59/73 = 80,8\%</math></b>		
		<b>Spezifität: <math>116/122 = 95,1\%</math></b>		

\* NVP: nicht verkalkte Plaque

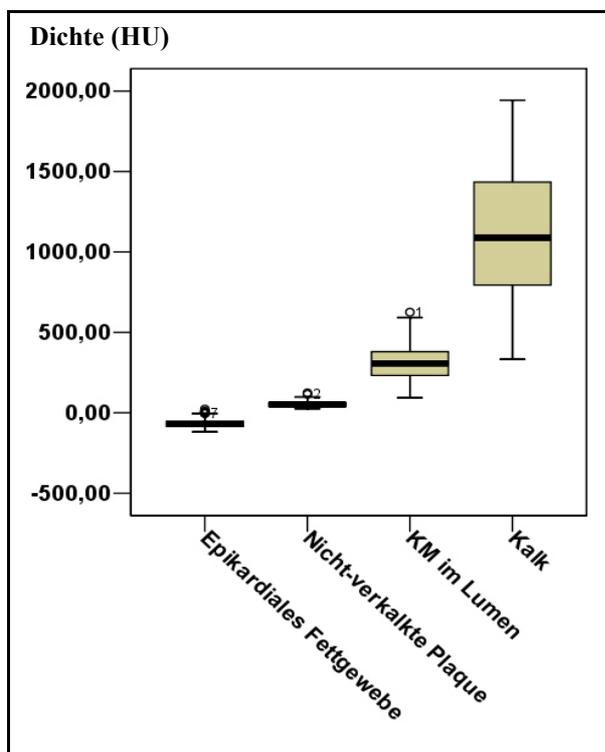
## 4.8 Die Dichtewerte in den histologisch validierten Gefäßabschnitten

### 4.8.1 Die Werte aller untersuchten Bestandteile

Für die Ermittlung der folgenden Dichtewertebereiche wurden nur Werte aus der Profilanalyse von histologisch validierten Gefäßabschnitten herangezogen. Tabelle 17 stellt eine Übersicht der ermittelten Werte dar. In Abbildung 21 ist deren Verteilung als Boxplots dargestellt:

**Tabelle 17 Dichtewerte der untersuchten Bestandteile (HU)**  
(Nur histologisch validierte Werte)

<i>Bestandteil (Anzahl der Einzelwerte)</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Median</i>	<i>Perzentile 25</i>	<i>Perzentile 75</i>
Epikardiales Fett (300)	-119	23	-71	-85	-52
KM im Lumen (182)	93	625	308	231	381
Nicht-verkalkte Plaque (56)	26	124	52	40	63
Verkalkte Plaque (82)	333	1944	1089	791	1438



**Abbildung 21 Histologisch validierte Dichtewerte als Boxplots**

einem Maximum von 124HU. Der Median beträgt 52HU, die Werte der unteren und oberen Quartile 40HU und 63HU.

a) Für das *epikardiale Fettgewebe* ergibt sich aus 300 Einzelwerten ein Wertebereich zwischen -119HU und 23HU. Der Median liegt bei -71HU, die Werte an der unteren und oberen Quartile bei -85HU und bei -52HU.

b) In die Berechnung des Wertebereiches für das *Kontrastmittel im Lumen* flossen 182 Werte ein, aus denen sich ein Wertebereich mit einem Minimum von 93HU, einem Maximum von 625HU, einem Median von 308HU und Werten an der unteren und oberen Quartile von 231HU und 381HU errechnet.

c) Der Bereich für *nicht-verkalkte Plaques* leitet sich aus 56 Werten ab und liegt zwischen einem Minimum von 26HU und

d) Der Wertebereich für *verkalkte Plaques* errechnet sich aus 82 Einzelwerten. Sein Minimum liegt bei 333HU und sein Maximum bei 1944HU, der Median beträgt 1089HU. Die Werte an der unteren und oberen Quartile liegen bei 791HU und 1438HU.

Die Analyse mit nichtparametrischem Kruskal-Wallis-Test ergab signifikante Unterschiede für die Dichtewerte der einzelnen Bestandteile ( $p < 0,001$ ).

#### 4.8.2 Differenzierung der nicht-verkalkten Plaque

Unter den insgesamt 73 der histologisch erkannten, nicht-verkalkten Plaques waren 12 Fälle ohne auffälligen CT-Befund und schieden somit für die Profilanalyse aus. Von weiteren 5 Plaques konnten aufgrund von Artefakten im CT-Bild keine Dichtewerte aus der Profilanalyse ermittelt werden. 2 der nicht-verkalkten Plaques konnten aufgrund mangelhafter Qualität der histologischen Präparate nicht eindeutig zu einem der beiden Plaque-Typen *lipidreiche, nicht-verkalkte Plaque* oder *faserreiche, nicht-verkalkte Plaque* zugeordnet werden. Es blieben somit 54 nicht-verkalkte Plaques mit entsprechendem CT-Befund und verwertbaren Dichtewerten aus der Profilanalyse für die Ermittlung der Wertebereiche der unterschiedlichen Typen nicht-verkalkter Plaques. Von diesen 54 waren 33 (61,1%) *lipidreiche Plaques mit nekrotischem Kern* und 21 (38,9%) *faserreiche Plaques ohne nekrotischen Kern*. Tabelle 18 fasst die Ergebnisse zusammen.

a) Der Wertebereich der *lipidreichen Plaques mit nekrotischem Kern* liegt zwischen einem minimalen Wert von 26HU und einem Maximum bei 67HU. Der Median beträgt 44HU. Die Werte der unteren und oberen Quartile liegen bei 35HU und 56HU.

b) Die Dichtewerte der *faserreichen, nicht-verkalkten Plaques ohne nekrotischen Kern* liegen zwischen einem Minimum von 37HU und einem Maximum von 124HU. Der Median beträgt 67HU. Die Werte an der unteren und oberen Quartile liegen bei 55HU und 83HU.

**Tabelle 18 Dichtewerte der nicht-verkalkten Plaques**

<i>Plaquetyp (Anzahl)</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Median</i>	<i>Perzentile 25</i>	<i>Perzentile 75</i>
Lipidreich (33)	26	67	44	35	56
Faserreich (21)	37	124	67	55	83

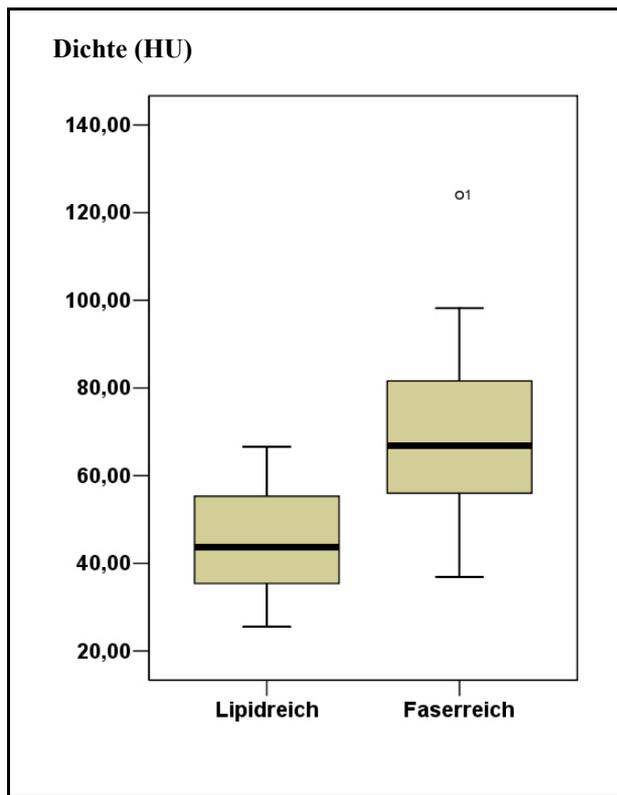


Abbildung 22 Dichtewerte der nicht-verkalkten Plaques als Boxplots

Abbildung 22 zeigt die Verteilung der Dichtewerte der beiden Typen nicht-verkalkter Plaques in der Gestalt von Boxplots.

Laut nichtparametrischem Mann-Whitney-U-Test für zwei unabhängige Stichproben haben lipidreiche, nicht-verkalkte Plaques mit nekrotischem Kern signifikant niedrigere Dichtewerte als faserreiche nicht-verkalkte Plaques ( $p < 0,001$ ).

#### 4.9 Ermittlung von Grenzwerten zwischen den untersuchten Bestandteilen

Um die Güte der angewandten Methode hinsichtlich ihrer Möglichkeit die untersuchten Bestandteile zu differenzieren zu überprüfen und definierte Dichtewerte als Grenzwerte zwischen den unterschiedlichen Bestandteilen zu ermitteln, wurden „Receiver operating characteristics“- (ROC-) Analysen durchgeführt. Da die ROC-Analyse nur die Diskriminierung zweier Kategorien erlaubt, wurde für jede der möglichen Zweierkombinationen der untersuchten Bestandteile – zum Beispiel *verkalkte / nicht-verkalkte Plaques* oder *nicht-verkalkte Plaques / Kontrastmittel im Lumen* – eine gesonderte Analyse durchgeführt. Hierfür wurden jeweils alle für diese Bestandteile ermittelten Dichtewerte aus der Profilanalyse der histologisch validierten Gefäßabschnitte verwendet.

Als optimaler Trennwert zwischen den jeweils untersuchten Bestandteilen wurde immer jener Dichtewert definiert, bei dem die Summe aus Sensitivität und Spezifität des Tests für die Erkennung der jeweiligen Bestandteile maximal war, sodass der Test eine maximale Anzahl an richtig positiven und richtig negativen Ergebnissen liefert.

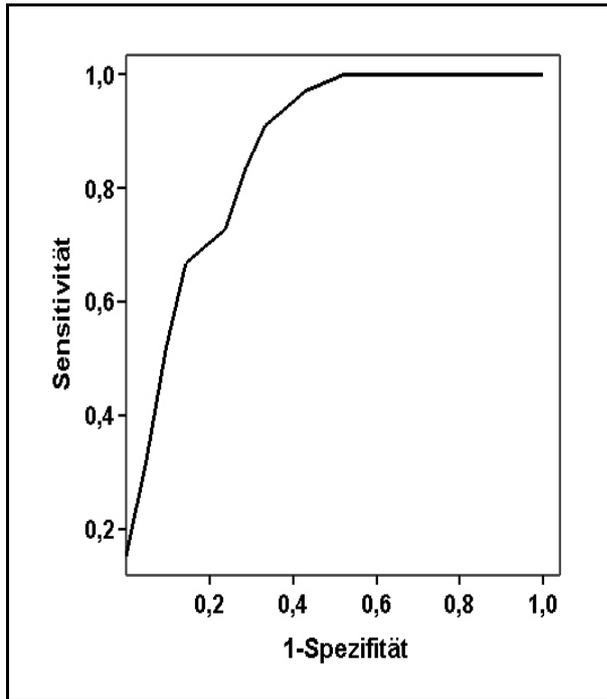


Abbildung 23 **ROC-Kurve**  
Trennbarkeit der beiden Typen nicht-verkalkter Plaques; AUC:0,867

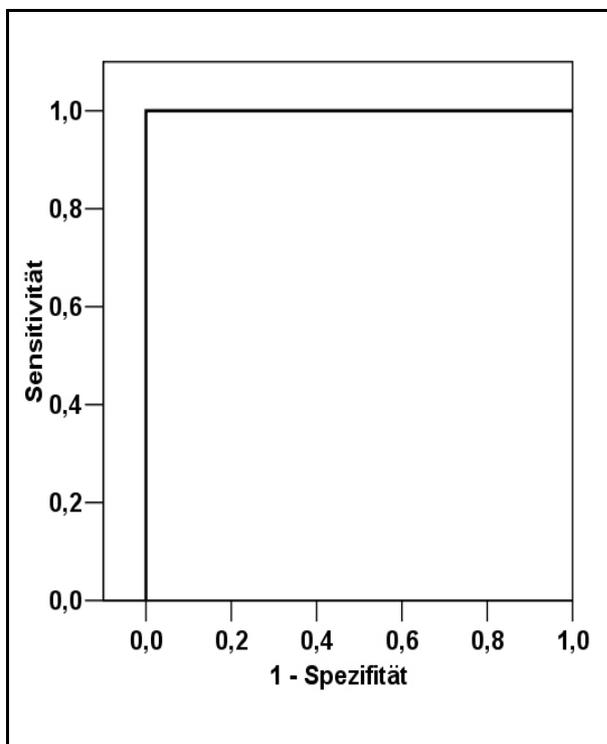


Abbildung 24 **ROC-Kurve**  
Trennbarkeit der verkalkten und nicht-verkalkten Plaques; AUC: 1,000

So wurden für die ROC-Analyse hinsichtlich der Trennbarkeit der beiden Typen nicht-verkalkter Plaques die 21 ermittelten Dichtewerte der *faserreichen, nicht-verkalkten Plaques ohne nekrotischen Kern* und die 33 ermittelten Dichtewerte der *lipidreichen, nicht-verkalkten Plaques mit nekrotischem Kern* verwendet.

Die Abbildung 23 stellt die entsprechende ROC-Kurve dar. Die Fläche unter der Kurve beträgt 0,867 bei einem 95% Konfidenzintervall zwischen 0,764 und 0,969. Bei Anwendung eines, wie oben beschrieben ermittelten Trennwertes von 59,1HU, erreicht die Methode eine Sensitivität von 90,9% und eine Spezifität von 71,4% für die Erkennung von *lipidreichen, nicht-verkalkten Plaques mit nekrotischem Kern* gegenüber *faserreichen, nicht-verkalkten Plaques ohne nekrotischen Kern*. In absoluten Zahlen ausgedrückt werden 30 der 33 *lipidreichen, nicht-verkalkten Plaques* und 15 der 21 *faserreichen, nicht-verkalkten Plaques* richtig als solche erkannt.

Die ROC-Kurve für die Trennbarkeit der *verkalkten und nicht-verkalkten Plaques* ist in Abbildung 24 dargestellt. Die Fläche unter der Kurve beträgt hier 1,0. Bei einem Trennwert von 228,5HU gelingt eine Erkennung der *nicht-verkalkten Plaques* gegenüber *verkalkten Plaques* mit einer Sensitivität und Spezifität von jeweils 100%. Bei Anwendung dieses Grenzwertes werden

also alle 56 ermittelten Dichtewerte der *nicht-verkalkten Plaques* und alle 82 ermittelten Dichtewerte der *verkalkten Plaques* korrekt zugeordnet.

Tabelle 19 zeigt die Ergebnisse der ROC-Analyse aller möglichen Zweierkombinationen der untersuchten Bestandteile.

**Tabelle 19 Ergebnisse der ROC-Analysen**

<i>Bestandteile</i>	<i>AUC</i>	<i>Trennwert (HU)</i>	<i>Sensitivität</i>	<i>Spezifität</i>
Alle NVP / EF	1,000	24,1	100% (56/56)	100% (300/300)
Lipidr. NVP / EF	1,000	24,1	100% (33/33)	100% (300/300)
Faserr. NVP / EF	1,000	29,8	100% (21/21)	100% (300/300)
KM / EF	1,000	57,6	100% (182/182)	100% (300/300)
VP / EF	1,000	177,8	100% (82/82)	100% (300/300)
Lipidr. NVP / Faserr. NVP	0,867	59,1	91% (30/33)	71% (15/21)
Alle NVP / KM	0,999	101,5	98% (55/56)	99% (180/182)
Lipidr. NVP / KM	1,000	79,6	100% (33/33)	100% (182/182)
Faserr. NVP / KM	0,996	101,5	95% (20/21)	99% (180/182)
VP / KM	0,989	494,5	95% (78/82)	97% (176/182)
Alle NVP / VP	1,000	228,5	100% (56/56)	100% (82/82)
Lipidr. NVP / VP	1,000	199,8	100% (33/33)	100% (82/82)
Faserr. NVP / VP	1,000	228,5	100% (21/21)	100% (82/82)

NVP: Nicht-verkalkte Plaques; EF: Epikardiales Fettgewebe; KM: Kontrastmittel; VP: Verkalkte Plaque;  
In Klammern hinter den Werten der Sensitivität und Spezifität ist die Anzahl der richtig zugeordneten Einzelwerte angegeben.

Aus den ermittelten Grenzwerten ergeben sich folgende Dichtewertebereiche für die untersuchten Bestandteile (vgl. Tab. 20):

- a) Unterhalb eines Grenzwertes von 24,1HU befinden sich 300 von 300, also 100% der ermittelten Dichtewerte des *epikardialen Fettgewebes*.
- b) In einem Bereich zwischen 24,1HU und 59,1HU befinden sich 30 (90,9%) der 33 ermittelten Dichtewerte der *lipidreichen, nicht-verkalkten Plaques mit nekrotischem Kern*. Die restlichen 3 (9,1%) Werte überschreiten die Grenze von 59,1HU.
- c) In einem Bereich zwischen 59,1HU und 101,5HU liegen 14 (66,7%) der 21 ermittelten Dichtewerte der *faserreichen, nicht-verkalkten Plaques ohne nekrotischen Lipidkern*. Von den restlichen 7 (33,3) Werten liegen 6 (28,6%) Werte unterhalb der Grenze von 59,1HU und 1 (4,8%) Wert oberhalb des Grenzwertes von 101,5HU.
- d) Zwischen einem Dichtewert von 101,5HU und von 494,5HU befinden sich 174 (95,6%) der 182 ermittelten Dichtewerte des *Kontrastmittels im Lumen*. Von den restlichen 8 (4,4%) Werten

liegen 6 (3,3%) Werte oberhalb der oberen Grenze von 495,5HU und 2 (1,1%) Werte unterhalb der unteren Grenze von 101,5HU.

e) Von den insgesamt 82 ermittelten Dichtewerten der *verkalkten Plaques* befinden sich 78 (95,1%) über einem Grenzwert von 494,5HU. Die restlichen 4 (4,8%) Werte unterschreiten diesen Grenzwert.

**Tabelle 20 Dichtebereiche mit Anzahl der Werte**

<i>Dichtebereich (HU)</i>	<i>EF</i>	<i>Lipidr. NVP</i>	<i>Faserr. NVP</i>	<i>KM</i>	<i>VP</i>
X* < 24,5	300/300 (100%)	0	0	0	0
24,5 < X* < 59,1	0	30/33 (90,9%)	6/21 (28,6%)	0	0
59,1 < X* < 101,5	0	3/33 (9,1%)	14/21 (66,7%)	2/182 (1,1%)	0
101,5 < X* < 494,5	0	0	1/21 (4,8%)	174/182 (95,6%)	4/82 (4,8%)
494,5 < X*	0	0	0	6/182 (3,3%)	78/82 (95,1%)

EF: Epikardiales Fettgewebe; NVP: Nicht-verkalkte Plaque; KM: Kontrastmittel; VP: Verkalkte Plaque  
 \*Das X symbolisiert den Wertebereich