
Aus der Universitätsklinik und Poliklinik für Diagnostische Radiologie
der Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
(Direktor: Prof. Dr. med. R.- P. Spielmann)

Häufigkeit und Thrombusverteilung von Lungenarterienembolien
nicht-onkologischer Patienten in der Computertomografie

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Medizin (Dr. med.)

vorgelegt
der Medizinischen Fakultät
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Johanna Neumann, geb. Kranz
geboren am 22.06.1991 in Halle (Saale)

Betreuer: PD Dr. med. A. Bach
PD Dr. med. A. Surov

Gutachter: PD Dr. med. A. Bach
apl. Prof. Dr. med. B.-M. Taute
Prof. Dr. med. T. Kahn (Leipzig)

20.09.2016

13.06.2017

Referat

Lungenembolien stellen wegen eines sehr breiten und allgemeinen Symptomspektrums eine Herausforderung für den klinischen Alltag dar. Eine adäquate Diagnostik ist Voraussetzung für eine zeitnahe Therapie. Dabei spielt die CTPA eine zentrale Rolle. Aber auch geringer kontrastierte Aufnahmen sind für eine Abgrenzung von Thromben zum Teil bis auf Subsegmentebene geeignet.

Ziel dieser retrospektiven Studie ist es, die Häufigkeit von symptomatischen, inzidentellen und übersehenen Lungenembolien mittels CT zu ermitteln. Dies geschieht im Hinblick auf verschiedene CT-Indikationen. Die gefundenen LAE werden mithilfe des Mastora-Scores in ihrer Thrombuslast und -verteilung betrachtet. Dabei werden nur Patienten einbezogen, für die keine onkologische Diagnose vorliegt. Die onkologischen Patienten wurden in einer separaten Studie analysiert. Für die vorliegende Arbeit wurden 4.812 kontrastierte CT-Thorax-Aufnahmen von 3968 Patienten aus dem Archiv des Universitätsklinikums Halle aus dem Zeitraum vom 01.06.2005 bis zum 01.01.2010 erneut und gezielt auf Lungenembolien untersucht. In dieser Größenordnung wurden bisher noch keine derartigen Untersuchungen durchgeführt.

Die LAE-Häufigkeit bei den nicht-onkologischen Patienten beträgt insgesamt 6,6 %. Damit fanden sich hier signifikant häufiger LAE als in der onkologischen Parallelstudie (3,9 %). Dabei sind 81 % symptomatische, 8,5 % inzidentelle und 10,5 % initial übersehene LAE. 15,5 % der zur Suche nach einer LAE durchgeführten CTPA zeigten tatsächlich eine LAE. Unerwartete LAE waren am häufigsten bei der Suche nach akuten Lungenveränderungen zu finden (3,6 %). Die Kategorie „Sonstige“ folgte mit 2,5 %, wobei alle Aufnahmen mit nachgewiesener LAE in dieser Gruppe mit kardiologischer Indikation durchgeführt wurden. Trauma-Untersuchungen zeigten eine LAE-Häufigkeit von 1,8 %. Die Thrombuslast war bei den erwarteten LAE (27 %) signifikant höher als bei den unerwarteten Embolien (10 %). Die größte Thrombuslast fand sich in den Lobär- und Segmentarterien mit Betonung der Unterlappengefäße. 48 % aller LAE zeigten einen Thrombus in der rechten Unterlappenarterie. In der zentralen Ebene waren kaum Emboli zu finden.

Es ist anzunehmen, dass die Indikationen der CTs die Radiologen in ihrer Befundung beeinflussen. Eine besondere Rücksicht auf die pulmonalen Gefäße sollte bei Untersuchungen nach akuten Lungenveränderungen und bei kardiologischen Indikationen angestrebt werden. Eine systematische Bildanalyse wird empfohlen, um die Zahl der übersehenen LAE zu reduzieren.

Neumann, Johanna: Häufigkeit und Thrombusverteilung von Lungenarterienembolien nicht-onkologischer Patienten im Spiral-CT, Halle (Saale), Univ., Med. Fak., Diss., 57 Seiten, 2016

Inhaltsverzeichnis

Referat

Abkürzungen	III
1 Einleitung	1
1.1 Anatomische Vorbemerkungen	2
1.2 Lungenarterienembolien	3
1.3 Begriffserklärung	8
1.4 Tatsächliche Häufigkeit von LAE	11
2 Zielstellung	12
3 Material und Methodik	13
3.1 Studiendesign	13
3.1.1 Einschlusskriterien	13
3.1.2 Ausschlusskriterien	14
3.2 Patientenkollektiv	15
3.2.1 Gruppenbildung der CT-Indikationen	15
3.3 Bildauswertung	16
3.3.1 CT-Parameter	17
3.4 Thrombusverteilung und Mastora-Score	17
3.4.1 Einteilung des Gefäßbaums in Ebenen	18
3.4.2 Ermittlung des Mastora-Scores	19
3.4.3 Einteilung des Gefäßbaums in Lappen	20
3.4.4 Anzahl und Häufigkeit von LAE in Gefäßabschnitten	21
3.5 Statistische Analyse	22
4 Ergebnisse	23
4.1 LAE-Häufigkeiten bei verschiedenen CT-Indikationen	24
4.2 Die Thrombusverteilung der LAE	26
4.2.1 Die Obstruktionen der Lungenarterien	26
4.2.2 Häufigkeit von Thromben in den Gefäßsegmenten	29

5	Diskussion	36
5.1	LAE-Häufigkeiten bei verschiedenen CT-Indikationen	36
5.1.1	Erwartete LAE	37
5.1.2	Unerwartete LAE	37
5.1.3	Übersehene LAE	38
5.2	Die Thrombusverteilung der LAE	39
5.2.1	Die Obstruktionen der Lungenarterien	39
5.2.2	Häufigkeit von Thromben in den Gefäßsegmenten	40
5.3	Limitationen	41
6	Zusammenfassung	43
7	Literaturverzeichnis	45
8	Thesen	51
9	Tabellenanhang	52
10	Tabellen- und Abbildungsverzeichnis	56
	Erklärung	IV
	Lebenslauf	V
	Danksagung	VI

Abkürzungen

Aa.	Arteriae
Abb.	Abbildung(en)
APD	Arteria pulmonalis dextra
APS	Arteria pulmonalis sinistra
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CT	Computertomographie
CTPA	Computertomographiegestützte Pulmonalisangiographie(n)
d.h.	das heißt
etc.	et cetera
ggf.	gegebenenfalls
IBM	International Business Machines Corporation
ICD	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
ILA	Interlobärarterie
inzid.	inzidentell
L	links
LAE	Lungenarterienembolie(n)
lob.	lobär
Lungenerkr.	Lungenerkrankungen
ML	Mittellappenarterie
n. a.	nicht auswertbar
neg.	negativ
NNS	Number Needed to Scan
OL	Oberlappenarterie
onkol.	onkologisch
PACS	Picture Archiving and Communication System
pos.	positiv
R	rechts
RIS	Radiologieinformationssystem
s.	siehe
seg.	segmental
sog.	sogenannte

SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
TP	Truncus pulmonalis
Tab.	Tabelle
TV	Thrombusverteilung
TVT	tiefe Venenthrombose
u.	und
UKH	Universitätsklinikum Halle (Saale)
UL	Unterlappenarterie
uvm.	und vieles mehr
vgl.	vergleiche
vs.	versus
Vv.	Venae
z. Bsp.	zum Beispiel
ztr.	zentral

Der Übersichtlichkeit halber werden in dieser Arbeit Personenbezeichnungen ausschließlich in männlicher Form erwähnt, welche sich aber selbstverständlich auf beide Geschlechter beziehen.

1 Einleitung

Lungenarterienembolien sind häufige Zufallsbefunde in CT-Untersuchungen [1, 2], wobei die Anzahl der unerwarteten LAE dabei signifikant ist [2]. Da es sich bei einer LAE um ein häufiges klinisches Krankheitsbild mit unterschiedlicher Symptomatik und verschiedenstem Ausmaß handelt, sind die Zahlen der unerwarteten LAE nicht zu vernachlässigen. Ein Radiologe sollte sich dieser Problematik bewusst sein, da eine LAE letztendlich mithilfe der Bildgebung diagnostiziert wird und das Outcome für den Patienten von einem zeitnahen Therapiebeginn abhängt [3].

Vermutlich hängt die Häufigkeit von Lungenembolien in CT-Aufnahmen von den verschiedenen Indikationen ab. Radiologen könnten ungewollt und je nach Fragestellung den Fokus auf unterschiedliche Dinge richten. Eine falsche Verdachtsdiagnose wegen z. Bsp. unspezifischer Symptomatik des Patienten könnte die Aufmerksamkeit des Radiologen beeinflussen.

Die Thrombusmasse einer LAE hat eine entscheidende Auswirkung auf die rechtsventrikuläre Dysfunktion und verursacht je nach Größe unterschiedlich starke Symptome [4–10]. Umso mehr Symptome eine LAE verursacht, desto eher wird sie erkannt und eine gezielte Untersuchung durchgeführt. Daraus lässt sich vermuten, dass die in der CT nachzuweisende Thrombusmasse erwarteter LAE höher ist als die der unerwarteten LAE. Auch die Vermutung, dass übersehene LAE eine geringere Thrombusmasse haben als inzidentelle, ist naheliegend. Eventuell werden Lungenembolien, die an eher untypischen Stellen liegen, übersehen. Die Anzahl der an einer LAE beteiligten Gefäße und die Häufigkeit von Thromben in den jeweiligen Gefäßsegmenten können Hinweise auf die genauere Lage von Thromboembolien geben.

Da verschiedene Tumorarten einen Einfluss auf die LAE-Häufigkeit haben [1, 11–14], wurden in dieser Studie lediglich Patienten ohne onkologische Diagnose betrachtet. Die Häufigkeit und der Schweregrad von LAE bei onkologischen Patienten wurden in einer Parallelstudie [11] analysiert, die zum Vergleich herangezogen wird.

1.1 Anatomische Vorbemerkungen

Die Lungen gewährleisten den lebenserhaltenden Gasaustausch. Dazu dient der kleine Blutkreislauf mit den sogenannten Vasa publica. Venöses Blut wird über das rechte Herz in den Truncus pulmonalis und in die davon ausgehenden Aa. pulmonales gepumpt. Über das dichte Kapillarnetz und die folgenden Vv. pulmonales gelangt das sauerstoffangereicherte Blut über das linke Herz in den Körperkreislauf. Das Lungengewebe selbst wird von einem zweiten Blutkreislauf mit den sogenannten Vasa privata versorgt. Diese sind Teil des Körperkreislaufs. Die Aa. bronchiales entspringen an der Aorta, das venöse Blut gelangt anschließend über die Vv. pulmonales in den linken Vorhof und umgehen damit den kleinen Kreislauf. Diese beiden Kreisläufe bilden zusätzlich arterioarterielle und arteriovenöse Anastomosen, die mit der Regulation des Blutflusses in Verbindung gebracht werden. [15]

Die rechte Lunge ist makroskopisch in einen Ober-, Mittel- und Unterlappen gegliedert. Der linke Lungenflügel teilt sich nur in einen Oberlappen, der den dem rechten Mittellappen entsprechenden Lingulalappen enthält, und einen Unterlappen [15, 16]. Die Vasa publica verlaufen in enger Assoziation zu den Bronchien und bilden ein bronchoarterielles System [15–18]. Der Truncus pulmonalis zweigt sich in die Arteria pulmonalis dextra und die Arteria pulmonalis sinistra auf, wobei die APD steiler nach kaudal verläuft [17]. Nach Abzweigung der Oberlappenarterie folgt die Arteria interlobaris, welche die Mittellappen- bzw. Lingulaarterie abgibt und sich als Unterlappenarterie fortsetzt. Die Lobärarterien zweigen sich entsprechend der Bronchien rechts in zehn und links in meist neun Segmentarterien auf, woraus sich die Einteilung der Lunge in ihre funktionellen Segmente ergibt. Die Segmentarterien 1 bis 3 verlaufen zum Oberlappen, die Segmentarterien 4 und 5 zum Mittellappen bzw. lingulären Lappen und die Segmentarterien 6 bis 10 zum Unterlappen. [15–20] Die Segmentarterien unterliegen jedoch in der Anzahl der Gefäße, die ein Segment versorgen, und der An- bzw. Abwesenheit akzessorischer Äste einer breiten Variabilität [17, 19, 20].

In dieser Arbeit wird zur Vereinfachung von nun an der Lingulalappen als Mittellappen bezeichnet, da sich die anatomischen Strukturen funktionell nicht unterscheiden.

1.2 Lungenarterienembolien

Die Lungenarterienembolie ist definiert als eine Perfusionsstörung der Lunge aufgrund eines partiellen oder vollständigen Verschlusses einer oder mehrerer Lungenarterien durch thrombotisches Material, das aus dem venösen System eingespült wurde [3, 21]. Mit einer Inzidenz von 60 bis 70 pro 100.000 [22, 23] ist sie die dritthäufigste kardiovaskuläre Erkrankung nach dem akuten Myokardinfarkt und dem Apoplex [24]. 1 – 2 % der stationären Patienten erleiden eine Lungenembolie, jedoch hängt die Häufigkeit stark vom Patientenkollektiv ab [14, 21, 25]. Die akute Lungenembolie ist mit einer Letalität von ca. 11 % eine der Hauptursachen für Morbidität im Krankenhaus [14, 26–28]. Die Letalitätsrate in den ersten drei Monaten nach Auftreten einer akuten LAE lässt sich mit einer entsprechenden Therapie auf bis zu 2 % senken, setzt aber eine unverzügliche und konsequente Diagnostik bei Verdacht auf eine akute Lungenembolie voraus, da sich bis zu 90 % der Todesfälle innerhalb der ersten zwei Stunden nach Symptombeginn ereignen [1, 3, 26]. Lediglich 30 % der autopsisch gesicherten Lungenembolien werden noch zu Lebzeiten diagnostiziert [26]. Diese Fakten verdeutlichen die Relevanz einer adäquaten und zeitnahen Diagnostik und Therapie einer akuten Lungenembolie.

1. Ursachen

Eine Lungenarterie kann von verschiedensten Materialien verlegt sein, wie z. Bsp. von Blutgerinnsel, Fett, Knochenmark, Luft, Amnionflüssigkeit oder Fremdstoffen [21, 26]. In dieser Arbeit wird ausschließlich die mit Abstand häufigste Ursache, nämlich die Thromboembolie, beleuchtet.

Ca. 95 % der Lungenembolien entstehen als Komplikation einer tiefen Venenthrombose der Oberschenkel- und Beckenvenen [21, 25, 26, 29]. Damit ist die TVT mit Abstand die häufigste Ursache einer LAE. Die Immobilisation vor allem 2 Wochen nach einer Operation ist neben Schwangerschaft, oraler Kontrazeption, Tumorerkrankungen und höherem Alter der wichtigste Risikofaktor einer TVT und einer LAE [21, 25–27]. Eine TVT verläuft oft oligo- oder asymptomatisch [30]. Jeder dritte Patient mit einer unbehandelten TVT entwickelt aber eine symptomatisch und klinisch relevante Lungenembolie [29]. Kleinere Signalembolien können auf ein größeres Ereignis hinweisen, werden aber oft nicht erkannt [25, 26].

Wesentlich seltener sind Thromben aus der Vena cava superior und dem rechten Herzen. Hier sind vor allem zentrale Venenkatheter oder Schrittmacherkabel die Ursache für eine LAE [25].

2. Symptome

Die typische Klinik einer Lungenembolie ist durch eine akut einsetzende Dyspnoe, Tachykardie sowie retrosternalem Thoraxschmerz gekennzeichnet. Diese Symptome können aber auch gänzlich fehlen. Das betrifft ebenso das Vorhandensein von Synkopen, Tachypnoe, Husten und Hämoptoe. Daher ergibt sich ein sehr variables klinisches Bild. [14, 26, 30] Der Untersuchungsbefund kann selbst bei massiver LAE durchaus unauffällig sein [26]. Das Fehlen von Synkopen und plötzlich einsetzende Atemnot sind Hauptursachen einer Fehldiagnose bei leichten bis mittelgradigen Lungenembolien [31].

3. Differentialdiagnosen

Je nach Symptomatik kommt eine Vielzahl an Differenzialdiagnosen in Betracht. Dazu zählen kardiologische, vaskuläre, epigastrische sowie weitere Lungenerkrankungen. Besonders von Bedeutung sind das akute Koronarsyndrom bzw. der Myokardinfarkt sowie die Pneumonie [25, 26].

4. Komplikationen

Ebenso vielschichtig sind die Komplikationen einer LAE. Dazu gehören neben entzündlichen Veränderungen wie Pleuritis, Pleuraerguss, Abszessbildung und Infarktpneumonie auch kardiologische Auswirkungen [25, 26]. Eine rechtsventrikuläre Dysfunktion und Rechtsherzversagen sind Folgen der akuten pulmonalen Hypertonie, wobei die Minderversorgung der Koronararterien die Pumpleistung zusätzlich schwächt [5, 6, 9, 25, 26]. Langzeitkomplikationen wie die chronisch thromboembolische pulmonale Hypertonie mit resultierendem Cor pulmonale ergeben sich aufgrund kleiner rezidivierender Embolien [25, 26, 32]. Der Lungeninfarkt ist eine Folge, die das Lungengewebe selbst betrifft [25].

5. Diagnostik und Therapie

Aufgrund zahlreicher und zum Teil sehr schwerwiegender Folgen ist eine adäquate Diagnostik unumgänglich. Dabei sollte bei Verdacht auf eine Lungenembolie initial zwischen hämodynamisch stabilen und instabilen Patienten unterschieden werden. Die diagnostischen Algorithmen bei Verdacht auf eine LAE sind in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt.

Prinzipiell sollte bei instabilen Patienten (Abb. 1) unverzüglich eine CTPA durchgeführt werden. Diese kann in sehr kurzer Zeit einen sicheren Nachweis oder Ausschluss einer Thromboembolie liefern und somit entweder die Therapie oder aber weitere Diagnostik nach sich ziehen. Ist keine Möglichkeit einer CTPA gegeben, sollte ersatzweise eine Echokardiografie durchgeführt werden.

Instabiler Patient

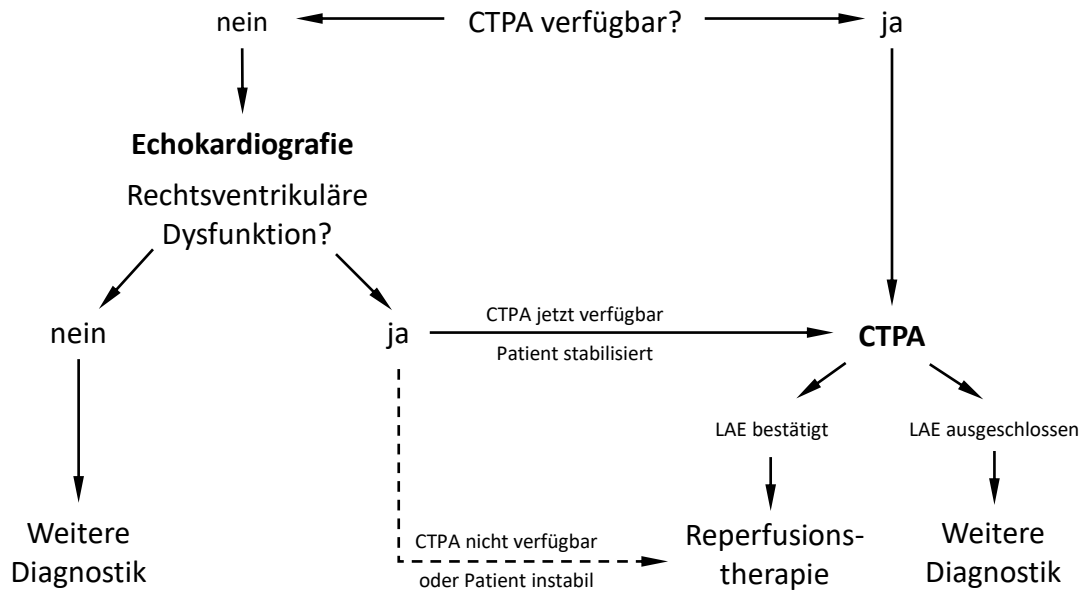


Abb. 1: Diagnostischer Algorithmus bei Verdacht einer LAE beim instabilen Patienten [3]

Stabiler Patient

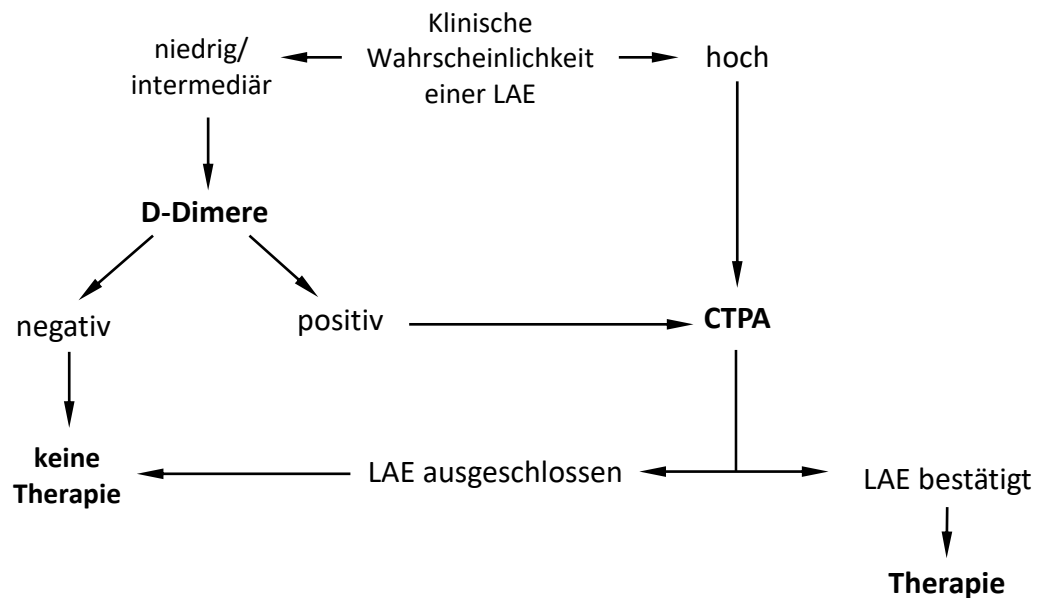


Abb. 2: Diagnostischer Algorithmus bei Verdacht einer LAE beim stabilen Patienten [3]

Liegt eine hämodynamisch stabile Situation vor (Abb. 2), steht etwas mehr Zeit zur Verfügung. Es wird mittels validierter klinischer Scores (Wells-Score, Genfer-Score) die klinische Wahrscheinlichkeit einer LAE ermittelt [33, 34]. Bei einer niedrigen oder moderaten Wahrscheinlichkeit werden zunächst die D-Dimere bestimmt. Bei negativen D-Dimeren ist eine Lungenembolie nahezu ausgeschlossen. Bei erhöhten D-Dimeren sowie bei einer hohen klinischen Wahrscheinlichkeit einer LAE wird eine CTPA durchgeführt und je nach Ergebnis eine Therapie angeschlossen.

Bei hämodynamisch stabilen Patienten mit einer nachgewiesenen LAE sollte zunächst eine weitergehende Risikostratifizierung mithilfe des *Pulmonary Embolism Severity Index* durchgeführt werden [3, 27]. Somit kann der klinische Verlauf in ein niedriges, intermediär-niedriges und intermediär-hohes Risiko für einen ungünstigen Verlauf eingeteilt werden. Hiernach entscheidet sich die Intensität einer Therapie. Für Patienten mit einem niedrigen oder einem intermediär-niedrigen Risiko stellt die alleinige Antikoagulation die Therapie der Wahl dar. Patienten mit einem intermediär-hohen Risiko sollten zusätzlich wegen einer eventuellen hämodynamischen Dekompensation intensivmedizinisch überwacht werden. [3]

Hoch-Risiko-Patienten weisen einen kardiogenen Schock oder eine persistierende Hypotension und somit eine hämodynamische Instabilität auf. In diesem Fall sind eine sofortige intensivmedizinische Überwachung und eine Reperfusionstherapie unumgänglich. Dafür kommt vor allem die systemische Thrombolyse in Betracht. Kathetergestützte Verfahren ggf. mithilfe einer lokalen Thrombolyse oder eine operative Thrombektomie sind heutzutage eher die Ausnahmen. Eine begleitende Antikoagulation ist zur Senkung der Morbidität und Mortalität wichtig. Der Vena cava-Filter als Prophylaxe ist bei therapierefraktären rezidivierenden Thromboembolien oder bei Kontraindikationen der Antikoagulation indiziert und stellt in der Therapie bzw. Prophylaxe der LAE eine Ausnahme dar. [3]

Die CTPA hat sich in der Diagnostik der LAE sowohl bei stabilen als auch bei instabilen Patienten als die zentrale Untersuchungsmethode etabliert. Der Radiologe trägt somit eine wesentliche Verantwortung in der Diagnostik der Lungenembolie, die sich bis zur Therapie hin auswirkt.

Die folgenden Abbildungen zeigen Ausschnitte von CT-Aufnahmen von Patienten des Studienkollektivs, auf denen Lungenembolien zu erkennen sind. Abbildung 3 stellt eine Schicht einer CTPA dar, die eine symptomatische LAE mit Thromben in der rechten Interlobärarterie und der linken Mittel- und Unterlappenarterie darstellt. Die CT-Untersuchung von Abbildung 4 wurde durchgeführt, um eine akute Lungenerkrankung auszuschließen oder zu beschreiben. Sie bildet den Thrombus in der rechten ILA ab. Mit Pfeilen wurden die Emboli markiert.

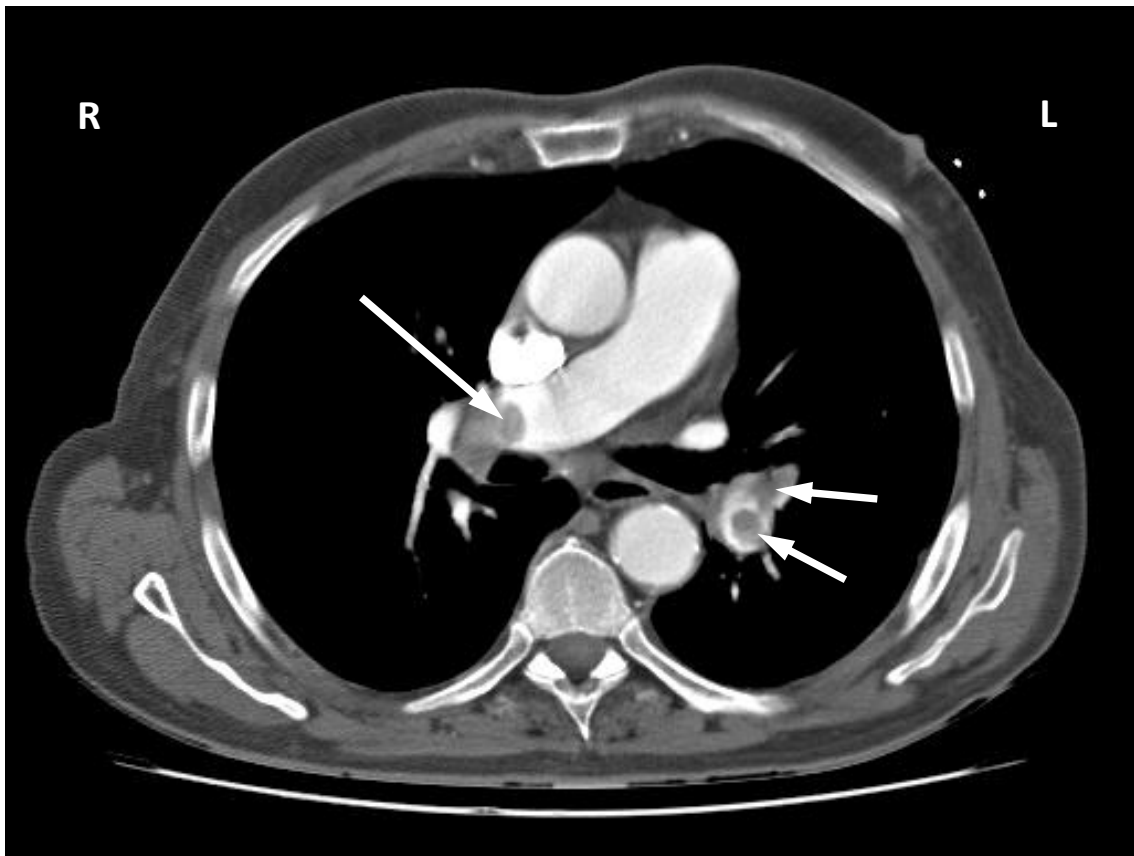


Abb. 3: Computertomografischer Untersuchungsfund einer symptomatischen LAE
(Quelle: PACS-Archiv des UKH)

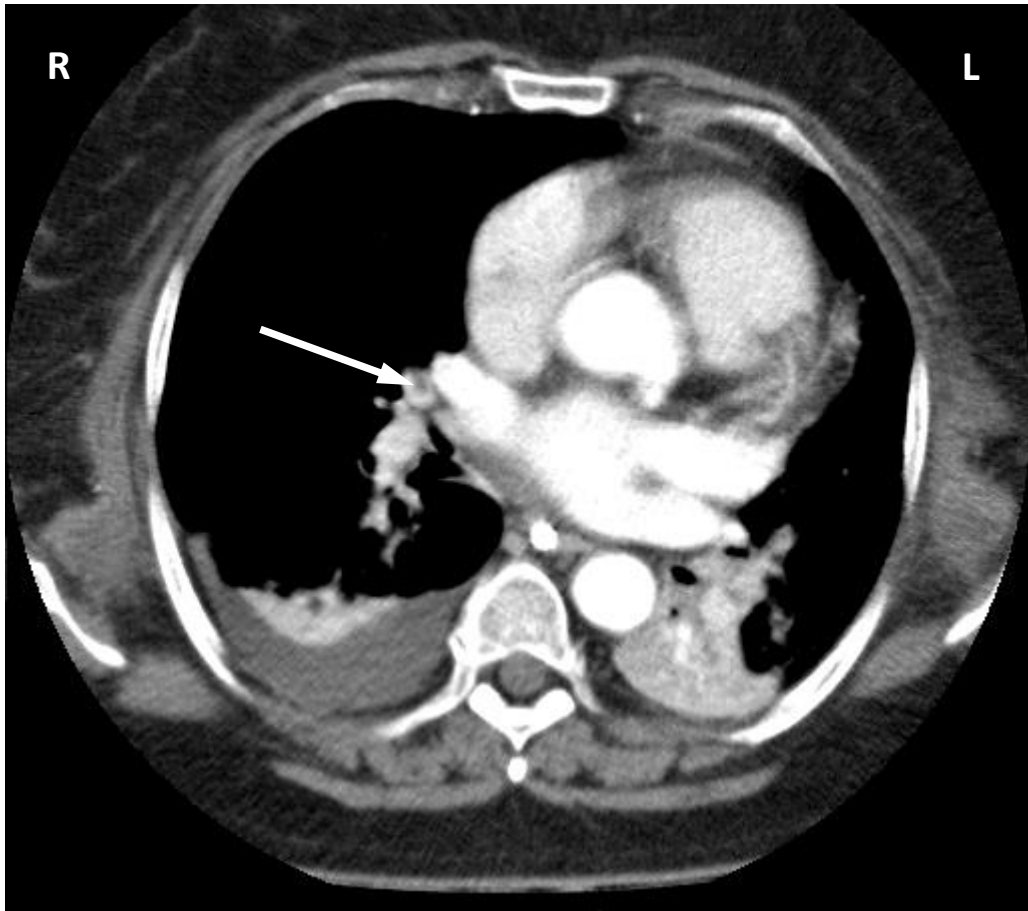


Abb. 4: Computertomografischer Untersuchungsfund einer übersehenen LAE
(Quelle: PACS-Archiv des UKH)

1.3 Begriffserklärung

1. Falsch-negative und falsch-positive Befunde

Im klinischen Alltag kommt es vor, dass Befunde übersehen oder Diagnosen falsch getroffen werden. Dann spricht man von falsch negativen bzw. falsch positiven Befunden. Zur Verdeutlichung dient das Hypothesenmodell: Die Nullhypothese H_0 besagt im konkreten Fall, dass eine Lungenembolie vorhanden ist. Die Alternativhypothese $\overline{H_0}$ entspricht dem Fehlen einer Lungenembolie. Je nachdem ob H_0 oder $\overline{H_0}$ vom Radiologen angenommen wird, ergeben sich verschiedene Möglichkeiten, die in Tabelle 1 abgebildet sind.

Tab. 1: Hypothesenmodell, Darstellung der Fehler 1. und 2. Art

	H_0 LAE vorhanden	$\overline{H_0}$ LAE nicht vorhanden
H_0 angenommen Diagnose: LAE vorhanden	Richtige Entscheidung	Fehler 2. Art (falsch positiv)
$\overline{H_0}$ angenommen Diagnose: LAE nicht vorhanden	Fehler 1. Art (falsch negativ)	Richtige Entscheidung

Entweder trifft der Radiologe eine korrekte oder eine Fehldiagnose. Im Falle einer Fehldiagnose ergeben sich zwei Möglichkeiten: Zum einen kann er eine tatsächlich vorhandene LAE übersehen, was einem falsch negativen Ergebnis (Fehler 1. Art) entspricht, zum anderen kann er eine LAE diagnostizieren, die in Wahrheit nicht vorhanden ist (Fehler 2. Art).

Der Fehler 2. Art ist deutlich seltener. Gefäßgabeln oder arteriosklerotische Plaques in kleinen Gefäßen können Emboli vortäuschen [14]. Im Rahmen dieser Studie wurde keine Aufnahme gefunden, bei der die Radiologen in der initialen Befundung eine LAE diagnostizierten, die bei erneuter Durchsicht als fehlerhaft eingeschätzt wurde. Letztendlich kann aber der Fehler 2. Art mit dieser Studie nicht ermittelt werden, da lediglich die Bildgebung zur Verfügung steht. Die falsch-negativen und somit klinisch relevanteren Befunde konnten mit dieser Studie annähernd erfasst werden, wobei ein Restfehler nicht auszuschließen ist.

Die CT-Aufnahmen mit einer LAE wurden in Untergruppen eingeteilt, um die Anamnese eines jeden Patienten zu objektivieren und eine Auswertung der Ergebnisse zu ermöglichen. Zum einen wird unterschieden, ob eine LAE zum Zeitpunkt der Aufnahme „erwartet“ oder „nicht erwartet“ wurde, und zum anderen, ob eine LAE „initial beschrieben“ oder „initial nicht beschrieben“ wurde.

2. Erwartete und unerwartete LAE

Diese Einteilung der LAE bezieht sich auf die klinische Erwartung vor der CT-Aufnahme. Bei Verdacht auf eine LAE wird eine CTPA durchgeführt, um diesen zu bestätigen oder zu entkräften. Alle vermuteten LAE, die durch CTPA bestätigt wurden, werden in dieser Arbeit als „erwartete“ LAE bezeichnet. Die meisten CT-Untersuchungen werden aber mit anderen Indikationen

durchgeführt. Dabei wird in der CT-Anmeldung kein Verdacht auf eine LAE geäußert. Hierbei kann es sein, dass ein Patient dennoch eine LAE entwickelt hat, die sich in einer Thorax-Untersuchung darstellt, ohne dass diese klinisch erwartet wurde. In diesem Fall war die LAE „unerwartet“.

3. Initial beschriebene und initial nicht beschriebene LAE

Diese Unterteilung bezieht sich auf die radiologische Auswertung der Aufnahmen. Wurde bei der ursprünglichen bzw. initialen Auswertung der Bilder eine LAE gefunden und dokumentiert, wird sie als „initial beschriebene“ LAE bezeichnet. Wenn ein Radiologe eine LAE übersehen und somit im Befund nicht beschrieben hat, wurde die LAE „initial nicht beschrieben“. Dies entspricht den falsch-negativen Befunden (Fehler 1. Art).

4. Zusammenhängende Begriffserklärung

Tab. 2: Einteilung der Lungenarterienembolien

	erwartet	unerwartet
initial beschrieben	symptomatisch	inzidentell
initial nicht beschrieben	erwartet und initial nicht beschrieben *	übersehen

* In dieser Studie wurde keine derartige LAE ermittelt.

Letztendlich ergeben sich daraus vier Kategorien an LAE (Tab. 2):

- Die „symptomatischen“ LAE wurden bei positiver LAE-Suche mittels CTPA vom untersuchenden Radiologen dokumentiert. Der Begriff der „symptomatischen“ LAE kann irreführend verstanden werden. Es sind damit nicht nur Lungenembolien mit typischer Symptomatik, sondern auch solche mit fehlender Symptomatik gemeint, die nur anhand des Labors und des klinischen Verlaufs vermutet werden.
- In dieser Arbeit wurden keine erwarteten und initial nicht beschriebenen LAE identifiziert. Der Begriff der „erwarteten“ LAE umfasst somit lediglich die Gruppe der erwartet und initial beschriebenen LAE und wird als Synonym für die „symptomatischen“ LAE verwendet.

- Die Gruppe der „inzidentellen“ LAE umfasst die Aufnahmen, bei denen der Radiologe eine LAE gefunden hat, obwohl die CT-Untersuchung wegen einer anderen Indikation durchgeführt wurde.
- Die „übersehenen“ oder auch „unbeschriebenen“ LAE umfassen alle, die in CT-Aufnahmen mit einer anderen Indikation als eine LAE zu suchen übersehen wurden. Der Fall einer „übersehenen“ LAE entspricht dem Fehler 1. Art, da bei den erwarteten LAE kein falsch-negativer Fall auftrat.

1.4 Tatsächliche Häufigkeit von LAE

In vielen Studien werden lediglich symptomatische und inzidentelle LAE erfasst [4, 35]. Wenn übersehene LAE mit einbezogen werden sollen, ist eine aufwendige erneute Befundung nötig. Die tatsächliche Häufigkeit von Lungenembolien kann nicht bestimmt werden. Einige Embolien werden trotz erneuter Befundung im Rahmen von Studien nicht erfasst. Diese Thromboembolien werden als „unentdeckte“ LAE bezeichnet. Ebenso werden nicht alle Patienten, die eine LAE haben, untersucht. Lediglich Autopsien können einen Teil dieser Embolien aufdecken. Die Abbildung 5 stellt diesen Sachverhalt nicht maßstabsgetreu dar.

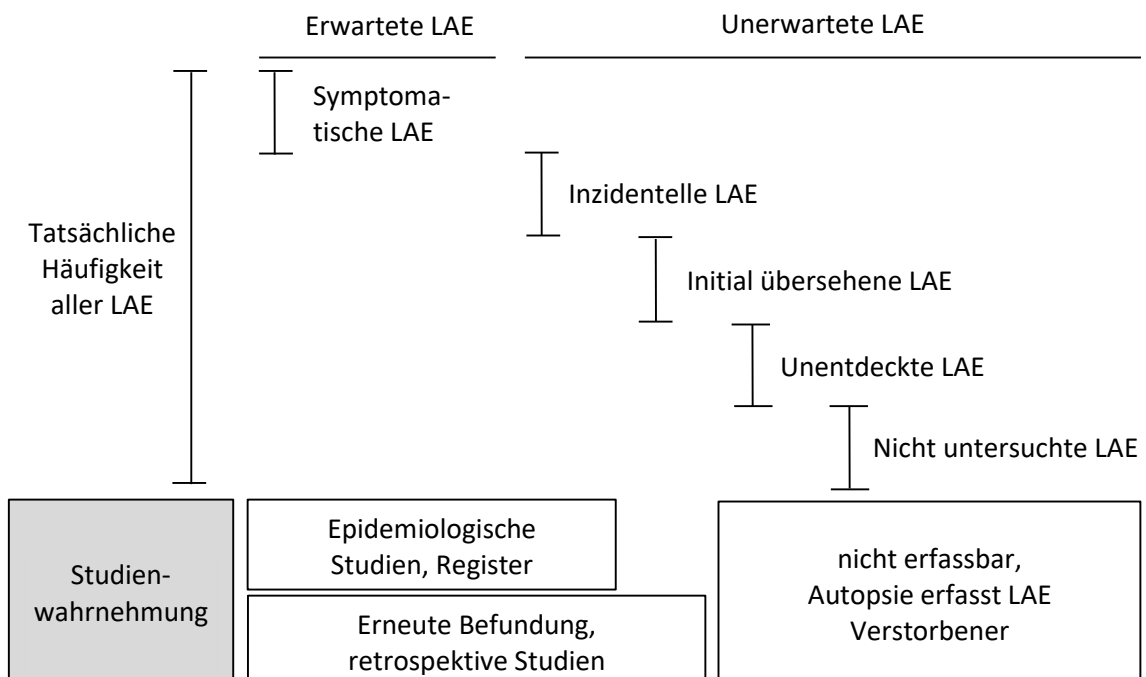


Abb. 5: Erfassbarkeit der tatsächlichen Häufigkeit aller LAE in Studien

2 Zielstellung

Die Ermittlung der initial übersehenen LAE bedarf einer aufwändigen erneuten Befundung vieler CT-Untersuchungen. Bisher wurden deshalb nur wenige kleine Studien durchgeführt, die initial übersehene LAE sowie nicht-onkologische Patienten einbeziehen [35]. Zudem beschreiben einige Studien unter dem Begriff der unerwarteten LAE lediglich inzidentelle LAE [4, 35].

Ziel dieser Studie ist es, die Häufigkeit von erwarteten, inzidentellen und übersehenen LAE zu ermitteln. Die Analyse soll im Hinblick auf verschiedene CT-Indikationen erfolgen, damit bestimmt werden kann, bei welcher Fragestellung LAE häufig übersehen werden. Die Ursachen für das Übersehen von LAE sollen herausgefunden und Lösungsansätze gesucht werden.

Zudem soll die Thrombusmasse und Thrombusverteilung der LAE bestimmt werden, da diese eng mit den Symptomen und der Prognose der LAE einhergeht. Dabei sollen zum einen mithilfe des Mastora-Scores die Thrombusmasse bzw. die Gesamtabstraktion und die Ebenen- und Lappenobstruktionen ermittelt werden. Zum anderen sollen die Häufigkeiten von Thromben in den jeweiligen Gefäßabschnitten ermittelt werden, um die Thromben lokalisieren zu können und herauszufinden, wo LAE häufiger übersehen werden. Die Ergebnisse der erwarteten und unerwarteten sowie inzidentellen und übersehenen LAE sollen miteinander verglichen werden.

3 Material und Methodik

3.1 Studiendesign

Es handelt sich um eine retrospektive, monozentrische Studie. Im Archiv des Instituts für Diagnostische Radiologie des Universitätsklinikums Halle werden CT-Aufnahmen nach Einwilligung der Patienten gespeichert. Aus diesem Pool wurden mithilfe des PACS kontrastmittelgestützte Thoraxaufnahmen von nicht-onkologischen Patienten in einer Zeitspanne von viereinhalb Jahren nach den unten beschriebenen weiteren Einschlusskriterien ausgewählt. Sie wurden speziell auf das Vorliegen einer LAE erneut untersucht und je nach Indikation in verschiedene Kategorien eingeteilt. Die Ergebnisse wurden in einer umfangreichen Tabelle festgehalten und anschließend auf die Häufigkeit von LAE bei den verschiedenen CT-Indikationen sowie auf die Thrombusverteilung hin ausgewertet.

Diese Studie wurde von der institutionellen Ethik-Kommission bewilligt. Alle CT-Aufnahmen, die in diese Studie einfließen, wurden erst nach erfolgter Aufklärung und Einwilligung der Patienten oder im Notfall der Angehörigen, sofern diese verfügbar waren, durchgeführt.

Die Untersuchungen wurden alle im Zeitraum vom 01.06.2005 bis 01.01.2010 durchgeführt. Die erneute Durchsicht im Rahmen dieser Studie fand von November 2012 bis Juli 2013 statt. So liegt eine Zeitspanne von etwa drei Jahren zwischen der letzten CT-Untersuchung und der wiederholten Auswertung. Die positiven LAE-Befunde wurden weder an die Patienten noch an die damals untersuchenden Radiologen weitergeleitet, da sich nach dieser Zeit keine therapeutische Konsequenz ergeben hätte.

3.1.1 Einschlusskriterien

Einbezogen sind CT-Thorax-Aufnahmen der Patienten, die im Universitätsklinikum Halle während des Zeitraums vom 01.06.2005 bis zum 01.01.2010 durchgeführt wurden. Dazu zählen auch Fremdaufnahmen, die in diesem Zeitraum in das PACS eingelesen wurden.

Voraussetzung war die Darstellung des gesamten Lungengefäßbaums. Teilanschnitte des Lungengefäßbaums sind aus verschiedenen Gründen nicht in die Studie eingegangen: Die variablen Anschnitte der Lunge und die sehr unterschiedliche Anzahl an angeschnittenen Gefäßen machen einen Vergleich unmöglich, außerdem ist bei fehlender Darstellung der Pulmonalarterien die Zuordnung der Lungengefäße deutlich erschwert.

Entscheidend zur Beurteilung einer LAE ist eine ausreichende Bildqualität, vor allem die ausreichende Gefäßkontrastierung. Dementsprechend sind nur gut kontrastierte und artefaktarme Aufnahmen in die Studie eingegangen.

Pro Patient wurden alle LAE-Ereignisse mit eingeschlossen, die unabhängig voneinander auftraten. Aufnahmen von Verlaufskontrollen, auf denen lediglich alte Thromben zu sehen waren, wurden nicht als neue LAE-Befunde gewertet, sondern als Aufnahmen ohne LAE erfasst. Hatten sich jedoch neue Thromben abgebildet, die als frische LAE eingestuft werden konnten, wurden sie als neue und somit unabhängige LAE gewertet.

Diese Studie stützt sich auf nicht-onkologische Patienten. Das heißt, dass ausschließlich Aufnahmen solcher Patienten untersucht wurden, bei denen weder eine onkologische Vorgeschichte bekannt war noch sich der Verdacht auf einen Tumor in der Untersuchung bestätigte.

In dieser Kohorte, die alle oben genannten Kriterien erfüllen, befinden sich 3.968 Patienten mit insgesamt 4.812 Aufnahmen. 2.287 dieser Patienten sind männlich. Der Altersmedian der Gruppe beträgt 66 Jahre.

3.1.2 Ausschlusskriterien

Die folgenden Ausschlusskriterien ergeben sich aus den geschilderten Einschlusskriterien. Zur Übersicht seien sie hier stichpunktartig erwähnt:

- alle Aufnahmen, die außerhalb des Studienzeitraumes angefertigt worden sind;
- alle nicht am UKH durchgeführten Untersuchungen, mit Ausnahme der eingelesenen Fremdaufnahmen;
- Aufnahmen von Patienten mit onkologischer Diagnose;
- Teilanschnitte der Lunge und
- Nativ-Aufnahmen bzw. Aufnahmen mit mangelnder Kontrastierung der Gefäße sowie nicht ausreichend beurteilbarer Bildqualität.

3.2 Patientenkollektiv

Die Abbildung 6 stellt die Ermittlung der in die Studie eingeschlossenen Patienten dar. Insgesamt konnten mithilfe des Radiologieinformationssystems 25.728 CT-Untersuchungen im Studienzeitraum ermittelt werden. 13.891 Patienten mit onkologischer Diagnose nach ICD-10 Code C00 bis C96 wurden mit dem elektronischen Register des UKH ermittelt. Nach Fusion der Datensätze und Einbeziehen der Ein- bzw. Ausschlusskriterien ergab sich ein nicht-onkologisches Patientenkollektiv von 3968 Patienten, die insgesamt 4.812 CT-Thorax-Untersuchungen erhielten. Dies entspricht 1,2 Untersuchungen pro Patient. Die onkologischen Patienten wurden in einer Parallelstudie [11] betrachtet.

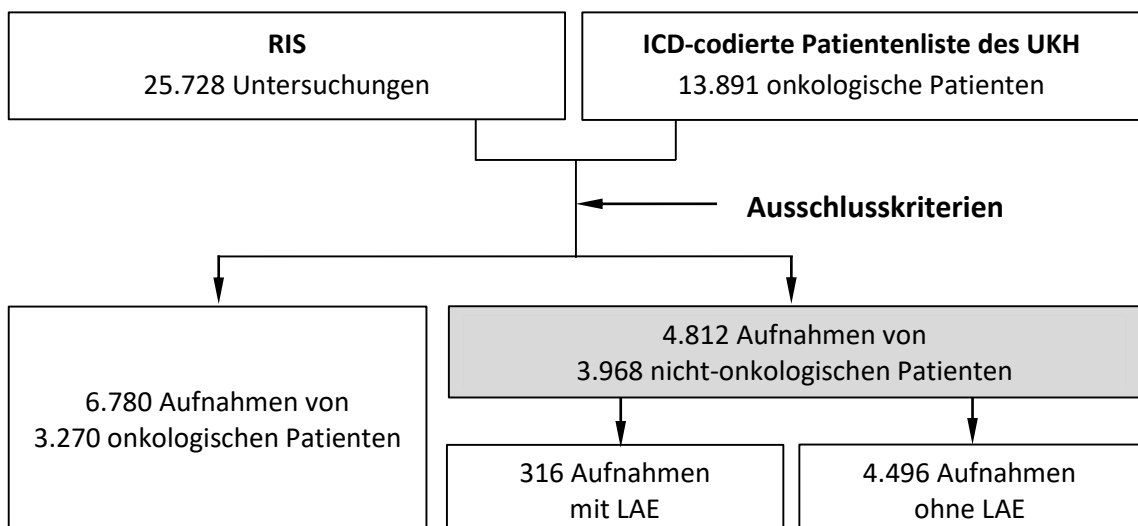


Abb. 6: Ermittlung der in die Studie eingeschlossenen Patienten

Lediglich den an dieser Studie beteiligten Radiologen waren Name, Geburtsdatum und Geschlecht der Patienten bekannt, um die Aufnahmen im PACS aufrufen zu können. Zu anderen Zwecken wurden diese Informationen nicht genutzt. Die Patienten wurden über die Durchführung dieser Studie nicht informiert.

3.2.1 Gruppenbildung der CT-Indikationen

Für die Auswertung der Daten wurden die Aufnahmen in verschiedene Indikationsgruppen eingeteilt. Jede der 4.812 Aufnahmen wurde einer der unten näher erläuterten Kategorien zugeordnet. Pro Patient wurde die Anzahl der kontrastierten CT-Thorax-Aufnahmen in der jeweiligen Gruppe notiert und zusätzlich vermerkt, ob eine symptomatische, inzidentelle, übersehene oder keine LAE vorlag. Die Aufnahmen wurden in folgende Kategorien eingeteilt:

Suche nach einer LAE:

alle CTPA, bei denen es galt, eine LAE auszuschließen oder zu bestätigen

Akute Lungenerkrankungen:

Beurteilung von Pneumonie, Abszess, Erguss, Atelektase, Perforation, Komplikationen nach operativen Eingriffen

Chronische Lungenerkrankungen:

Beurteilung von Erkrankungen wie COPD, granulomatöse Polyangiitis, Mukoviszidose, Emphysem, Lungenfibrose und Sarkoidose

Trauma:

Jegliche CT-Untersuchungen, die das Ausmaß eines Traumas wie Frakturen, Rupturen etc. erfassen sollen

Beurteilung des Gefäßsystems:

Suche nach Blutungen, Beurteilung von Gefäßen des gesamten Thoraxraumes wie z. Bsp. die Suche nach Dissektionen oder Verschlüssen (LAE ausgenommen)

Tumorsuche negativ:

CT-Untersuchungen mit Ausschluss eines malignen Tumorgeschehens oder Nachweis eines gutartigen Tumors

Sonstige:

Untersuchungen, die den anderen Kategorien nicht zugeordnet werden können, wie die präoperative Ermittlung der Anatomie vor Bypass-Operationen sowie Kardio-CTs, Evaluation vor Lebertransplantationen, Bestimmung von Gefäßanomalien, Ermittlung von Skelettdeformitäten uvm.

3.3 Bildauswertung

Die Durchsicht aller Aufnahmen fand an einer dafür geeigneten PACS-Station in der radiologischen Abteilung des Universitätsklinikums Halle statt. Die Bilder wurden von drei Gutachtern ausgewertet. Eine sensitive Vorauswahl an Aufnahmen, bei denen die Vermutung einer LAE bestand, ist vom Autor getroffen worden. Zwei Radiologen mit längerer Berufserfahrung untersuchten diese Aufnahmen separat voneinander, um die Genauigkeit der Untersuchung zu steigern. Die Gutachter hatten freie Hand über die Nutzung von verschiedenen Fenstereinstellungen und der Standard- und Lungenrekonstruktion. Die multiplanare Reformatierung war an einer separaten Arbeitsstation (*Vitreax; Vital Images, Minnetonka, Minnesota, USA*) möglich. Alle positiven Befunde wurden in Übereinstimmung bestätigt.

3.3.1 CT-Parameter

In dem Zeitraum der Studie wurden zwei verschiedene 64-Multidetektor-CT-Systeme benutzt: *SOMATOM Sensation 64, Siemens, Erlangen (DE)* und *Aquilion 64, Toshiba, Neuss (DE)*. Die Akquisitionsparameter waren für die jeweilige Indikation standardisiert. Dabei wurden zwischen 60 und 140 ml des iodhaltigen Kontrastmittels *Solutrast® 370 mit 370 mg/ml Iod, Bracco Imaging Germany GmbH, Konstanz (DE)* verwendet. Dieses wurde als automatischer Bolus in einer Rate von 2 ml/s gegeben. Die CT-Aufnahme startete, sobald im Truncus pulmonalis die Anflutung des Kontrastmittels einen bestimmten Grenzwert überschritten hatte.

Im Protokoll einer computertomografisch gestützten Pulmonalisangiografie waren 60 ml des Kontrastmittels mit einem Scandelay von 12 – 25 s intravenös zu applizieren. Typische Bildgebungsparameter waren hierbei eine Schichtdicke von 1 mm mit einem Abstand von 0,6 – 1,2 mm, eine Röhrenspannung von 120 kVp und eine Stromstärke mit 150 – 300 mAs. Dieses Verfahren wurde bei allen symptomatischen LAE angewandt.

3.4 Thrombusverteilung und Mastora-Score

Mithilfe des Mastora-Scores kann die Thrombuslast und -verteilung ermittelt werden [7]. Der Qanadli-Score [36] kann dafür ebenso genutzt werden, ist aber wesentlich ungenauer, da die Verjüngung der Gefäße nicht beachtet wird und nur 2 Obstruktionsgrade beschrieben werden. Bisher wurde die Thrombuslast und -verteilung nur grob bestimmt [10]. Der Mastora-Score entspricht dabei der Gesamtostruktion bzw. der globalen Thrombuslast.

Zur Bestimmung des Mastora-Scores ist eine Aufgliederung des Gefäßbaums in 31 Gefäßabschnitte notwendig, die in eine zentrale, eine lobäre und eine segmentale Ebene eingeteilt werden. Die Analysen erlauben weiterhin eine Aussage darüber, wie die Thrombuslast verteilt ist. Zum einen soll die Thrombusverteilung in den Ebenen und zum anderen die Verteilung im Ober-, Mittel- und Unterlappen betrachtet werden. Erwartete LAE sollen hinsichtlich der Thrombuslast und -verteilung mit unerwarteten LAE und inzidentelle mit übersehenen LAE verglichen werden.

Die Anzahl der an einer LAE beteiligten Gefäße beschreibt die Verteilung dieser Thrombusmasse unabhängig vom Obstruktionsgrad. Zuletzt soll die Thrombushäufigkeit in den jeweiligen Gefäßabschnitten analysiert werden. Daraus kann die genaue Lage der Thromben unabhängig von ihrer Größe bestimmt werden.

3.4.1 Einteilung des Gefäßbaums in Ebenen

Zur Bestimmung der Thrombuslast und -verteilung wurde der Lungengefäßbaum in eine zentrale, eine lobäre und eine segmentale Ebene eingeteilt. Die zentrale Ebene (hellgrau in Abb. 7) umschließt den Truncus pulmonalis, die rechte und linke Pulmonalarterie sowie die beiden Interlobärarterien. Die lobäre Ebene (mittelgrau in Abb. 7) umfasst die Ober-, Mittel- und Unterlappenarterien. Die jeweils zehn Segmentalarterien und ihre Aufzweigungen sind in der segmentalen Ebene zusammengefasst und in der Abbildung 7 dunkelgrau dargestellt. Es sind in allen Ebenen jeweils die linken und rechten Arterien einbezogen. Die Seitenbezeichnungen beziehen sich auf die radiologische Ansicht. So ergibt sich eine Gesamtanzahl von 31 Gefäßabschnitten bestehend aus 5 zentralen, 6 lobären und 20 segmentalen Gefäßen.

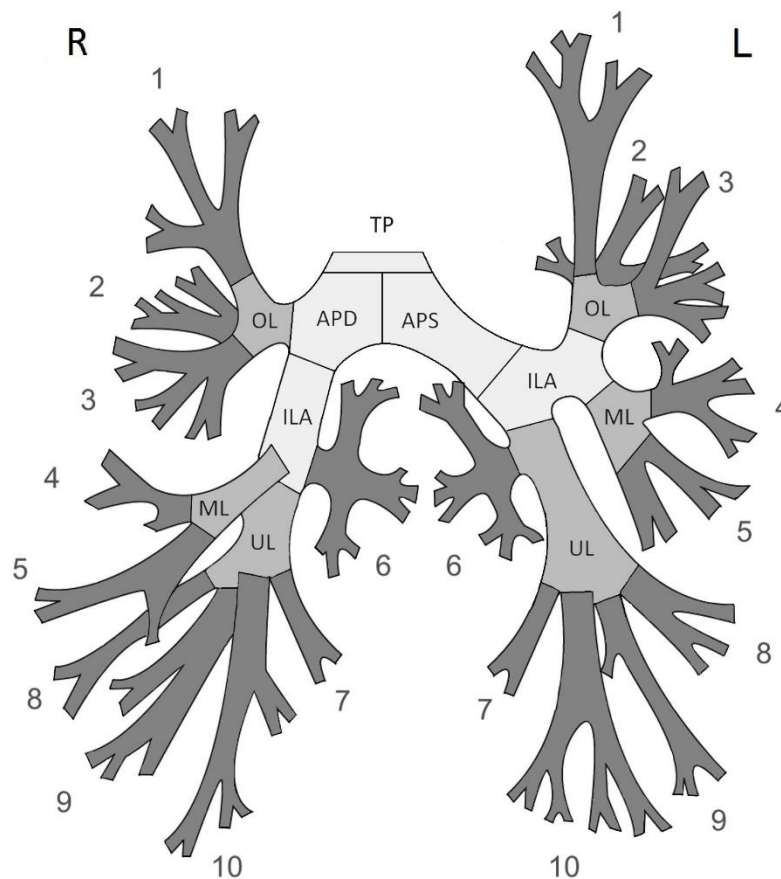


Abb. 7: Einteilung des Lungengefäßbaums in die zentrale, lobäre und segmentale Ebene

3.4.2 Ermittlung des Mastora-Scores

Drei Gutachter erhoben unabhängig voneinander die Thrombuslast und -verteilung mithilfe des detaillierten Mastora-Scores. Es wurden zunächst die Obstruktionen der einzelnen Ebenen und daraus der Mastora-Score, also die Gesamtostruktion ermittelt. Für jedes der 31 Gefäße wurde dazu der jeweilige Verschlussgrad (Mastora-Grad) bestimmt. Pro Gefäß wurde die CT-Schnittebene gewählt, auf der der Thrombus den größten Anteil vom axialen Gefäßanschnitt ausmacht. Anschließend wurde die Fläche des Thrombus in Bezug auf den Gefäßquerschnitt ermittelt. Entsprechend des Verschlussgrads wurde an jeden Gefäßabschnitt ein Mastora-Grad von 0 bis 5 vergeben (Tab. 3).

Tab. 3: Mastora-Grad entsprechend der Thrombusfläche im CT-Anschnitt [7]

Thrombusfläche in der CT-Aufnahme	Mastora-Grad
0 %	0
1 – 24 %	1
25 – 49 %	2
50 – 74 %	3
75 – 99 %	4
100 %	5

Tab. 4: Ermittlung des Mastora-Scores und der Obstruktionen der verschiedenen Ebenen [7]

Ebene	Gefäße	maximale Summe der Mastora-Grade	maximale Obstruktion
zentral	5	25	100 %
lobär	6	30	100 %
segmental	20	100	100 %
gesamt			300 % *

* Mastora-Score

Die Mastora-Grade wurden in jeder Ebene jeweils summiert und daraus die Zentral-, Lobär- und Segmentalobstruktionen bestimmt (Tab. 4). Pro Ebene ist eine maximale Obstruktion von 100 % möglich. Der Mastora-Score bildet die Summe der Obstruktionen der drei Ebenen und stellt die Gesamtabstruktion dar, welche somit ein Maximum von 300 % erreichen kann. Dies entspricht dem völligen Verschluss der gesamten Lungenarterien.

Die Anzahl der Gefäße pro Ebene variiert. Dadurch ergibt sich eine unterschiedliche Beteiligung der einzelnen Gefäßabschnitte an der Berechnung der Obstruktionen in der jeweiligen Ebene. Je dezentraler die Lage der Gefäße ist, desto geringer ist auch aufgrund der fortschreitenden Aufzweigung und Verjüngung des Gefäßkalibers die Beteiligung eines Thrombus an einem Verschluss. Die zentrale Ebene umfasst wie oben geschildert 5 Gefäßabschnitte, sodass jeder Abschnitt dieser Ebene 20 % der Zentralobstruktion ausmacht. Zur Berechnung der Mittellappenobstruktion ergibt sich aufgrund der 6 beteiligten Gefäßabschnitte ein Anteil von 16,7 % pro Gefäß. Die Beteiligung der 20 Segmentalgefäße an der Segmentalobstruktion beträgt aufgrund ihrer hohen Anzahl und geringen Größe lediglich 5 %.

3.4.3 Einteilung des Gefäßbaums in Lappen

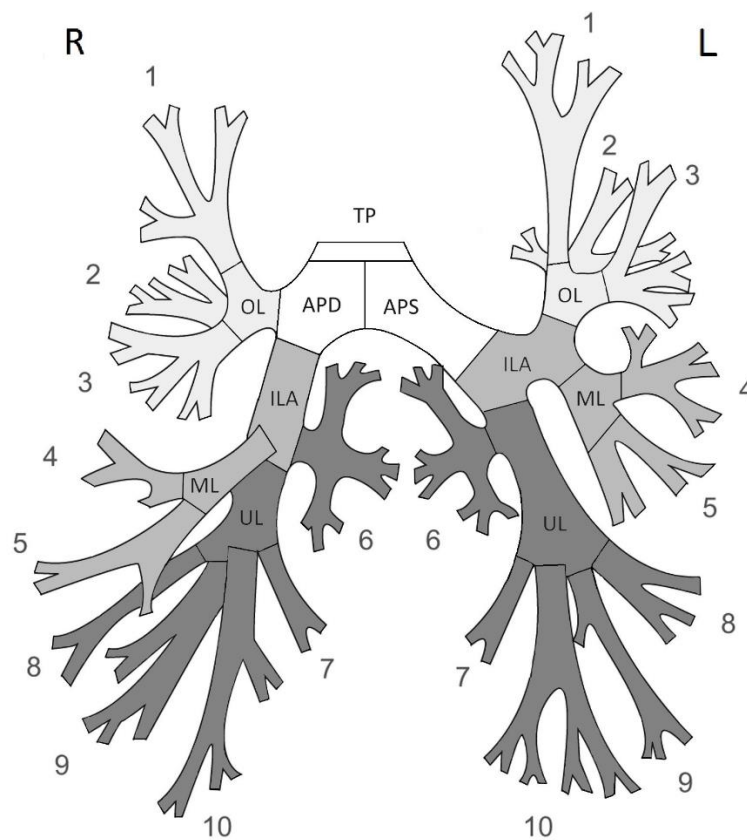


Abb. 8: Einteilung des Lungengefäßbaums in Ober-, Mittel- und Unterlappen

Neben der Einteilung der Gefäße in Ebenen wurden die Obstruktionen in den Ober-, Mittel- und Unterlappen bestimmt. Die linke und rechte Seite werden auch hier zusammengefasst. Dargestellt ist die Einteilung in der Abbildung 8. Zum Oberlappen (hellgrau) zählen die beiden Oberlappenarterien mit den Segmentarterien 1 bis 3. Zum Mittellappen (mittelgrau) werden neben den Mittellappenarterien und den Segmentarterien 4 und 5 aufgrund der anatomischen Nähe auch die Interlobärarterien aus der zentralen Ebene mit einbezogen. Die Segmentarterien 6 bis 10 und die Unterlappenarterien sind im Unterlappen (dunkelgrau) zusammengefasst. Die anderen zentralen Gefäße (TP, APD, APS) sind keinem Lappen zugeordnet und entfallen.

Die Berechnung der einzelnen Lappenobstruktionen ergibt sich aus den Mastora-Graden der Gefäßabschnitte unter Aufrechterhaltung der verschiedenen Ebenen (Tab. 5). Sowohl die Ober- als auch die Unterlappenobstruktion setzen sich zur Hälfte aus dem Durchschnitt der Mastora-Grade der Ober- bzw. Unterlappenarterien (Lobärebene) sowie zur anderen Hälfte aus dem Durchschnitt der jeweiligen Segmentarterien zusammen. Die Mittelwerte der ILA (zentral), der Mittellappenarterien (lobär) und der Segmentarterien 4 und 5 (segmental) gehen zu jeweils einem Drittel in die Berechnung der Mittellappenobstruktion ein. Die Maximalobstruktion der drei Lappen liegt auch hier bei jeweils 100 %.

Tab. 5: Ermittlung der Obstruktionen der verschiedenen Lappen [7]

Lappen	Gefäße *			maximale Summe der Mastora-Grade			maximale Obstruktion
	ztr.	lob.	seg.	ztr.	lob.	seg.	
Oberlappen	-	2	6	-	10	30	100 %
Mittellappen	2	2	4	10	10	20	100 %
Unterlappen	-	2	10	-	10	50	100 %

* TP, APD und APS werden in der Berechnung nicht berücksichtigt.

3.4.4 Anzahl und Häufigkeit von LAE in Gefäßabschnitten

Zusätzlich wurde für jede LAE-Aufnahme die Anzahl der betroffenen Gefäßsegmente bestimmt. Dazu wurden alle Gefäßabschnitte einer Aufnahme mit einem Mastora-Grad ≥ 1 gezählt. Dabei konnte eine maximale Anzahl von 31 erreicht werden. Obstruktionsgrade spielen dabei keine Rolle. Zur Bestimmung der Häufigkeiten von Embolien in den jeweiligen Gefäßabschnitten wurde für jeden Abschnitt separat die Anzahl der Patienten ermittelt, die eine LAE-Beteiligung

(Mastora-Grad ≥ 1 ; Tab. 3) in dem jeweiligen Gefäßsegment aufwies. Daraus konnte für die einzelnen Gefäßabschnitte die Häufigkeit der Thrombusbelastung in Abhängigkeit der Gruppengröße ermittelt werden. Dabei bleibt der Obstruktionsgrad ebenso unberücksichtigt. Eine Häufigkeit von 100 % bedeutet, dass bei allen Aufnahmen ein Thrombus in diesem Gefäßabschnitt zu finden ist.

Die Abbildung 9 soll diese beiden unterschiedlichen Sachverhalte darstellen. Die Anzahl betroffener Segmente pro Aufnahme und die Häufigkeit von LAE in einem Segment wurden für symptomatische, inzidentelle und übersehene LAE ermittelt.

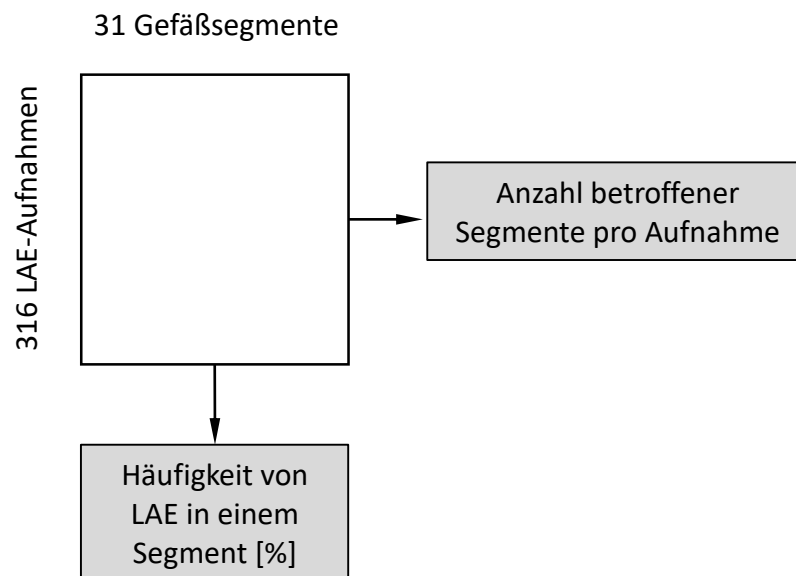


Abb. 9: Anzahl und Häufigkeit von LAE in den Gefäßabschnitten

3.5 Statistische Analyse

Die gesammelten Daten wurden vor allem mit Mitteln der beschreibenden Statistik analysiert. Zur Auswertung der Häufigkeiten von LAE entsprechend verschiedener CT-Indikationen wurde die „Number Needed to Scan“ verwendet. Die Thrombusverteilung wurde mittels Median und dem 25. und 75. Perzentil beschrieben. Da bei dem Vergleich der Gefäßobstruktionen metrische Variablen vorlagen, wurde hier der zweiseitige Mann-Whitney-U-Test verwendet. Dies geschah mittels *SPSS Version 23, IBM, New York* und diente zur Einschätzung der statistischen Unterschiede zwischen den jeweiligen Gruppen. Signifikant galten dabei Ergebnisse mit einem p-Wert von $< 0,05$.

4 Ergebnisse

Die Auswertungen ergaben, dass insgesamt 316 von 4.812 Aufnahmen Lungenembolien aufweisen. Dabei sind 256 LAE symptomatisch und 60 LAE unerwartet, die sich aus 27 inzidentellen und 33 übersehenen LAE zusammensetzen (Abb. 10). 309 von 3968 Patienten waren dabei betroffen, was einer Häufigkeit von 7,8 % entspricht.

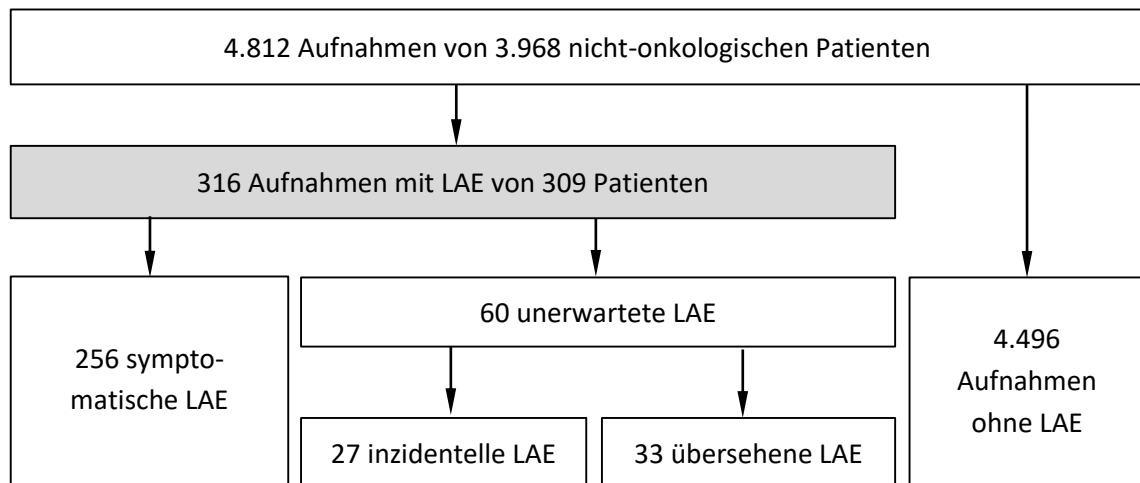


Abb. 10: Ergebnisse der erneuten Befundung: Anzahl erwarteter und unerwarteter LAE

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich alle auf die Anzahl der Aufnahmen und nicht der Patienten. Insgesamt findet sich eine LAE-Häufigkeit von 6,6 % (s. Tab. 6), jede fünfzehnte CT-Thorax-Aufnahme nicht-onkologischer Patienten bildet eine LAE ab.

Die symptomatischen Embolien mit 256 Bildern (5,3 % aller Aufnahmen) nehmen von den 316 LAE den größten Anteil ein (s. Abb. 10; Tab. 6). Dies entspricht 81 % aller Thorax-Scans mit Nachweis einer LAE.

Die unerwarteten LAE füllen mit 60 (1,25 % aller Aufnahmen) von 316 Aufnahmen die restlichen 19 % der Aufnahmen mit LAE-Nachweis. Jede fünfte LAE ist somit eine unerwartete LAE. Diese setzen sich aus den inzidentellen (27 Aufnahmen; 8,5 % der LAE) und den übersehenen LAE (33 Aufnahmen; 10,5 % der LAE) zusammen. Mehr als die Hälfte aller unerwarteten LAE wurden übersehen (55 % übersehen vs. 45 % inzidentell). Etwa jede zehnte LAE, die sich in einer CT-Thorax-Aufnahme nicht-onkologischer Patienten abbildet, wird vom Radiologen initial nicht beschrieben.

4.1 LAE-Häufigkeiten bei verschiedenen CT-Indikationen

In der folgenden Tabelle sind alle Aufnahmen der nicht-onkologischen Patienten in ihre CT-Indikationen aufgegliedert. Dabei sind die vorhandenen LAE wie oben erläutert in erwartete, inzidentelle und übersehene LAE eingeteilt. Angegeben ist auch die „Number Needed to Scan“, welche das Verhältnis von LAE zu den Aufnahmen widerspiegelt. Eine NNS von 10 besagt, dass zehn Aufnahmen untersucht werden müssen, bis eine LAE gefunden wird. Sortiert sind die Indikationen nach der LAE-Häufigkeit in der jeweiligen Kategorie.

Tab. 6: Häufigkeit von LAE in CT-Untersuchungen nicht-onkologischer Patienten

Indikation der CT-Untersuchung	keine LAE	LAE			LAE * in %	NNS
		sympto- matisch	inzidentell	über- sehen		
LAE-Suche	1.396	256	-	-	15,5	6
Akute Lungenerkrankungen	836	-	14	17	3,6	28
Sonstige	159	-	-	4	2,5	41
Trauma	276	-	3	2	1,8	56
Gefäßerkrankungen	499	-	3	4	1,4	72
Chronische Lungenerkrankungen	321	-	2	2	1,2	81
Tumorsuche (negativ)	1.009	-	5	4	0,9	113
alle Indikationen	4.496	256	27	33	6,6	15

* sortiert nach LAE-Häufigkeit

Bei der Durchführung einer CTPA, die eine LAE ausschließen oder bestätigen sollte, konnte im Schnitt in jeder sechsten Aufnahme eine LAE auffindig gemacht werden. Das entspricht einer Häufigkeit von 15,5 %. Alle in dieser Gruppe auftretenden LAE-Fälle sind als erwartet und initial beschrieben einzustufen. Verglichen mit den anderen Indikationen kommen LAE bei gezielter LAE-Suche weit häufiger vor. Bei allen anderen Indikationen handelt es sich um unerwartete LAE. Diese umfassen 3.160 Aufnahmen (alle außer LAE-Suche), von denen 60 Aufnahmen (1,9 %) eine LAE abbilden. Damit kommen hier deutlich seltener LAE vor als bei einer gezielter LAE-Suche.

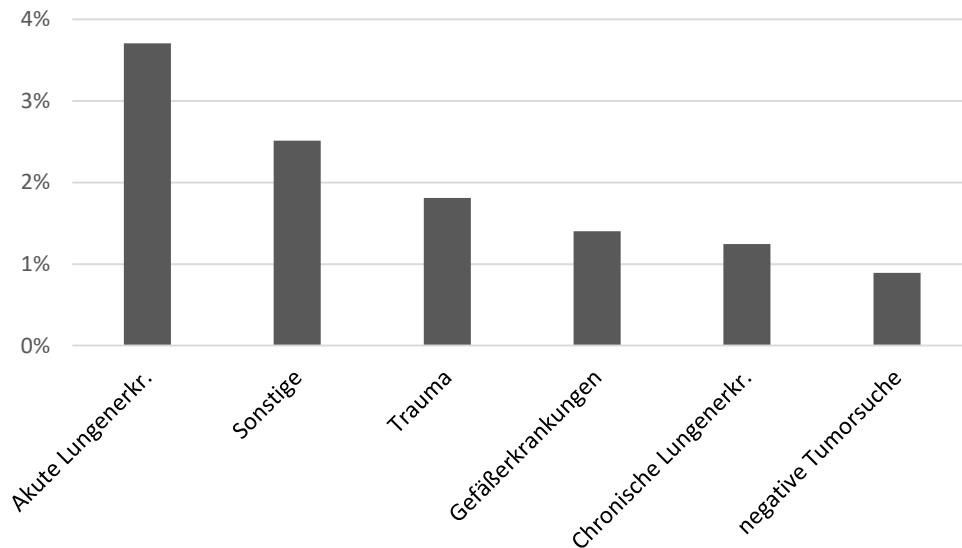


Abb. 11: Häufigkeit der unerwarteten LAE bei verschiedenen CT-Indikationen

Wie in Tabelle 6 und Abbildung 11 ersichtlich sind unerwartete LAE am häufigsten bei einem Verdacht auf akute Lungenerkrankungen zu beobachten. 3,6 % dieser Aufnahmen zeigen eine LAE, dies betrifft jede 28. Aufnahme. 14 dieser 31 LAE (45 %) wurden dabei initial beschrieben und 17 (55 %) übersehen.

Am zweithäufigsten sind LAE in der Kategorie „Sonstige“ zu finden. 4 der 163 Aufnahmen (2,5 %) zeigen eine unbeschriebene LAE. Alle vier LAE sind erst im Rahmen der erneuten Befundung identifiziert worden. Dabei waren zwei der vier Untersuchungen Kardio-CTs, die anderen beiden Aufnahmen wurden durchgeführt, um die retrosternale Anatomie vor einer Bypass-Operation zu analysieren. Inzidentelle LAE-Fälle traten nicht auf.

Während in der Gruppe der Sonstigen jede 41. Untersuchung eine LAE zeigt, stellt nach einem Trauma jede 56. Untersuchung, das entspricht 1,8 % der Aufnahmen, eine LAE dar. Hier überwiegt die Anzahl der inzidentellen LAE. Die Kategorie „Gefäßerkrankungen“ schließt sich mit einer Auftrittshäufigkeit einer LAE von 1,4 % an. Aufnahmen mit der Untersuchung chronischer Lungenerkrankungen zeigen zu 1,2 % eine LAE. Bei den Untersuchungen mit negativ ausgefallener Tumorsuche stellt nur jede 113. Untersuchung eine LAE dar. Damit ist hier die Häufigkeit einer LAE mit 0,9 % am geringsten.

4.2 Die Thrombusverteilung der LAE

Die Thrombusverteilung wird in dieser Arbeit zum einen mithilfe der verschiedenen Obstruktionen (Gesamt-, Ebenen- und Lappenobstruktionen) beschrieben, wodurch die Thrombusmasse quantifiziert und lokalisiert werden soll. Zum anderen dient die Anzahl betroffener Gefäßsegmente pro Patient und die Häufigkeit von Thromben in den einzelnen Gefäßabschnitten zur Beschreibung der genaueren Lage der Thromben, ohne dabei die Obstruktionsgrade zu berücksichtigen.

4.2.1 Die Obstruktionen der Lungenarterien

Zunächst wurden die Werte für alle 316 LAE insgesamt bestimmt. Der Mastora-Score (Gesamtobstruktion) kann dabei maximal 300 %, die Anzahl betroffener Gefäße maximal 31 und die Thrombusverteilung in Ebene und Lappen jeweils maximal 100 % erreichen. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 7 festgehalten. Die Angaben entsprechen den Medianen und dem 25. und 75. Perzentil der Ergebnisreihen.

Tab. 7: Thrombusverteilung aller LAE

	alle* n = 316
Thrombusmasse	
Gesamtobstruktion [%]	18 (6 – 56)
Anzahl betroffener Gefäße [Anzahl]	6 (3 – 17)
Thrombusverteilung in der Ebene	
Zentralobstruktion [%]	0 (0 – 8)
Lobärobstruktion [%]	10 (1 – 30)
Segmentalobstruktion [%]	8 (3 – 22)
Thrombusverteilung auf Lappen	
Oberlappenobstruktion [%]	5 (0 – 23)
Mittellappenobstruktion [%]	3 (0 – 25)
Untelappenobstruktion [%]	12 (4 – 27)

* Median (25. – 75. Perzentil)

Der Median der Gesamtabstruktion aller 316 LAE beträgt 18 % (6 – 56 %). Die mediane Anzahl der beteiligten Gefäße beträgt 6 von 31 Gefäßanschnitten mit einer Streuung des 25. und 75. Perzentils von 3 bis 17. Der höchste Mastora-Score, der in der Auswertung erhoben wurde, liegt bei 210 %. In diesem Fall waren alle 31 Gefäße betroffen.

Deutlich wird, dass vor allem die Lobär- und Segmentalarterien beteiligt sind. Der Median der Lobäroabstruktion liegt mit 10 % leicht vor dem der Segmentalobstruktion mit 8 %. Die zentrale Ebene weist lediglich eine geringe Obstruktion in dem 75. Perzentil von 8 % auf, der Median ist 0 %. Dabei findet sich eine Betonung auf dem Unterlappen. Dieser weist eine mediane Obstruktion von 12 % auf, wohingegen vom Mittellappen nur 3 % und vom Oberlappen 5 % verschlossen sind.

Im Folgenden werden die 256 LAE, die bei Verdacht auf eine LAE mittels CTPA bestätigt wurden, mit den 60 unerwarteten (inzidentellen und übersehenen) LAE verglichen (Tab. 8). Alle Ergebnisse dieses Vergleichs sind signifikant.

Tab. 8: Thrombusverteilung erwarteter und unerwarteter LAE

	erwartet* n = 256	unerwartet* n = 60	p-Wert
Thrombusmasse			
Gesamtabstruktion [%]	27 (6 – 66)	10 (5 – 17)	< 0,001
Anzahl betroffener Gefäße [Anzahl]	8 (3 – 19)	3 (2 – 5)	< 0,001
Thrombusverteilung in der Ebene			
Zentralobstruktion [%]	0 (0 – 8)	0 (0 – 0)	0,003
Lobäroabstruktion [%]	13 (3 – 33)	7 (0 – 10)	< 0,001
Segmentalobstruktion [%]	12 (4 – 25)	4 (2 – 7)	< 0,001
Thrombusverteilung auf Lappen			
Oberlappenobstruktion [%]	8 (0 – 28)	0 (0 – 2)	< 0,001
Mittellappenobstruktion [%]	7 (0 – 28)	0 (0 – 3)	< 0,001
Unterlappenobstruktion [%]	15 (4 – 31)	8 (4 – 15)	0,007

* Median (25. – 75. Perzentil)

Markant sind die deutlichen Unterschiede der Gesamtabstruktion und der Anzahl der beteiligten Gefäße. Die erwarteten bzw. symptomatischen LAE weisen mit 27 % (6 – 66 %) einen signifikant höheren Mastora-Score und somit eine deutlich größere Thrombusmasse auf als

die unerwarteten LAE mit 10 % (5 – 17 %). Mit 3 beteiligten Gefäßabschnitten liegen die unerwarteten LAE weit hinter der Anzahl der erwarteten LAE mit 8. In dem 75. Perzentil wird dieser Unterschied noch deutlicher: 5 Gefäße sind bei den unerwarteten LAE und 19 bei den erwarteten LAE beteiligt. Die Verschlusswerte der Lobär- und Segmentalarterien spiegeln die Ergebnisse der Gesamtabstruktion wider. Auch hier weisen die erwarteten LAE stärkere Obstruktionen als die unerwarteten LAE auf. Dabei liegt jeweils die Lobärobstruktion etwas höher als die Segmentalobstruktion. Die mediane Zentralobstruktion liegt in beiden Fällen bei 0 %, aber in dem 75. Perzentil wird der Unterschied zwischen erwarteten (8 %) und unerwarteten (0 %) LAE erkennbar. Die unerwarteten LAE zeigen im Oberlappen und Mittellappen eine mediane Obstruktion von 0 %. Die Betonung der LAE-Obstruktion der unerwarteten LAE liegt mit 8 % (4 – 15 %) im Unterlappen. Auch bei den erwarteten LAE ist im Unterlappen mit 15 % (4 – 31 %) der größte Verschluss nachzuweisen. Damit ist die Unterlappenobstruktion der erwarteten LAE deutlich höher als bei den unerwarteten LAE, was ebenso für den Ober- und Mittellappen gilt.

Die unerwarteten LAE setzen sich aus 27 inzidentellen und 33 übersehenen LAE zusammen. Der Vergleich dieser Gruppen ist in Tabelle 9 dargestellt. Es sind nur einige Ergebnisse signifikant. Die mediane Gesamtabstruktion bei den unbeschriebenen LAE mit 9 % (6 – 12 %) liegt 2 Prozentpunkte hinter der der inzidentellen LAE mit 11 % (4 – 20 %), ist jedoch nicht signifikant ($p = 0,352$). Deutlich wird, dass bei den inzidentellen LAE mehr Gefäße betroffen sind als bei den übersehenen. Dieses Ergebnis ist mit $p = 0,001$ signifikant. Die Werte der Ebenenobstruktionen liegen bei den inzidentellen LAE gering höher als bei den unbeschriebenen LAE. Allerdings sind die Vergleiche der Zentral-, Lobär- und Segmentalobstruktionen zwischen inzidentellen und unbeschriebenen LAE nicht signifikant. Die Ober- und Mittellappenobstruktion der unbeschriebenen LAE ist jeweils 0 %. Die inzidentellen LAE weisen lediglich in dem 75. Perzentil mit 10 % im Oberlappen und einer Mittellappenobstruktion von 2 % etwas stärkere Verschlusswerte auf. Die Vergleiche der Ober- und Mittellappen sind signifikant ($p = 0,007$; $p = 0,002$). Die Unterlappengefäße zeigen bei beiden Gruppen die größten medianen Verschlüsse mit jeweils 8 %. Ein Unterschied zwischen beiden Gruppen ist nicht auszumachen, der Vergleich ist nicht signifikant.

Tab. 9: Thrombusverteilung von inzidentellen und übersehenen LAE

	inzidentell* n = 27	übersehen* n = 33	p-Wert
Thrombusmasse			
Gesamtobstruktion [%]	11 (4 – 20)	9 (6 – 12)	0,352
Anzahl betroffener Gefäße [Anzahl]	5 (2 – 8)	2 (1 – 4)	0,001
Thrombusverteilung in der Ebene			
Zentralobstruktion [%]	0 (0 – 4)	0 (0 – 0)	0,11
Lobärobstruktion [%]	7 (3 – 10)	3 (0 – 8)	0,175
Segmentalobstruktion [%]	4 (2 – 8)	4 (2 – 7)	0,846
Thrombusverteilung auf Lappen			
Oberlappenobstruktion [%]	0 (0 – 10)	0 (0 – 0)	0,007
Mittellappenobstruktion [%]	2 (0 – 7)	0 (0 – 0)	0,002
Unterblassenobstruktion [%]	8 (6 – 13)	8 (4 – 15)	0,941

* Median (25. – 75. Perzentil)

4.2.2 Häufigkeit von Thromben in den Gefäßsegmenten

Die folgenden Ergebnisse und Darstellungen dienen dazu, die Thrombuslage der LAE ausfindig zu machen. Die Abbildungen 12 bis 16 zeigen, wie häufig der jeweilige Gefäßabschnitt von einer LAE betroffen war, und geben keinen Hinweis auf die Verschlussstärke.

Tab. 10: Farblegende zur Darstellung der Thrombusverteilung

Häufigkeits- grad	Gefäß- beteiligung
□ 0	≤ 9 %
□ 1	≤ 19 %
□ 2	≤ 29 %
■ 3	≤ 39 %
■ 4	≤ 49 %
■ 5	≥ 50 %

Die Darstellung erfolgt für alle LAE-Gruppen dieser Arbeit, d.h. für die LAE insgesamt, für die erwarteten und unerwarteten sowie die inzidentellen und unbeschriebenen LAE. Die Ergebnisse wurden entsprechend der Legende (Tab. 10) in fünf verschiedene Häufigkeitsgrade eingeteilt, die mittels unterschiedlicher Grautöne dargestellt werden. Eine Häufigkeit von 50 % beispielsweise bedeutet, dass in jeder zweiten Aufnahme der entsprechenden Gruppe dieser Gefäßabschnitt mit einem Thrombus belastet war. Die Werte, auf die sich die Abbildungen beziehen, sind in der Tabelle 11 im Tabellenanhang aufgelistet.

1. Die Gesamtheit aller LAE

Die Abbildung 12 stellt die Verteilung der Thromben aller 316 gefundenen LAE dar.

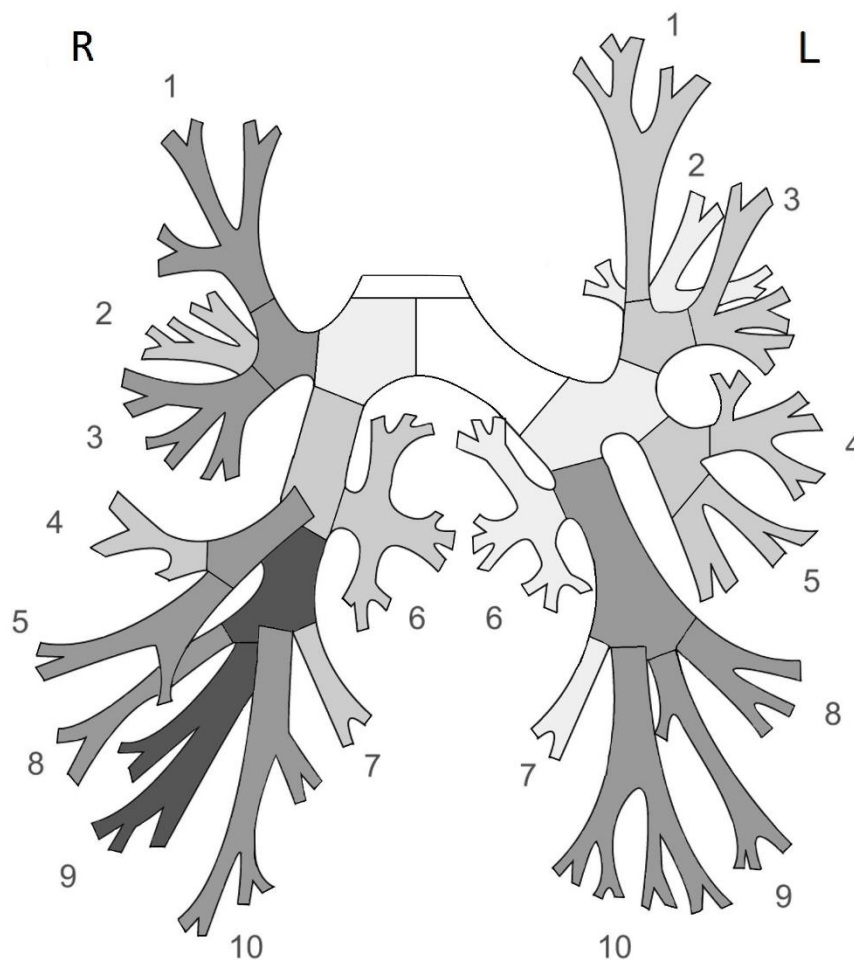


Abb. 12: Thrombushäufigkeit aller LAE

Die häufigste Thrombusposition ist die rechte Unterlappenarterie, die in 48 % der LAE beteiligt ist. Häufig sind Thromben auch in den rechten Segmentarterien 9 (41 %) und 10 (39 %) sowie in der linken Unterlappenarterie (38 %) zu finden. LAE finden sich somit vor allem im rechten Unterlappen. Dicht folgen die Segmentarterien 1 (34 %) und 3 (37 %) im rechten Oberlappen und die Oberlappenarterie (33 %), die Segmentarterien 8 (35 %), 9 (34 %) und 10 (32 %) im linken Unterlappen sowie die Arterien des rechten Mittellappen. Es findet sich in diesen Gefäßabschnitten in etwa bei jeder dritten LAE-Aufnahme ein Thrombus. Jede vierte Aufnahme bildet eine LAE in der rechten ILA oder in der linken Mittellappenarterie ab. In den zentralen Gefäßen ist die Häufigkeit am geringsten. Der Truncus pulmonalis zeigt lediglich in 6 %, die APD in 12 % und die APS in 9 % der Aufnahmen einen Thrombus. Markant ist die geringe Thrombusbelastung der linken Segmentarterien 6 (13 %) und 7 (15 %).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich Thromben vor allem im Unterlappen finden. Die zentrale Ebene ist am seltensten mit Thromben belastet. Der Vergleich mit Tabelle 7 ergibt, dass sich sowohl die Thrombusmasse als auch die Thrombusverteilung auf den Unterlappen konzentriert.

2. Erwartete und unerwartete LAE

Die erwarteten (Abb. 13) und unerwarteten (Abb. 14) LAE werden im Folgenden separat betrachtet. Am häufigsten finden sich LAE bei Aufnahmen, die zur Suche nach einer LAE durchgeführt wurden (15,5 %; s. Tab. 6). Die CT-Aufnahmen dieser erwarteten LAE haben, wie in Tabelle 8 gezeigt, eine weitaus höhere Anzahl beteiligte Gefäße im Vergleich zu den Aufnahmen der unerwarteten LAE. Auch der Mastora-Score liegt bei den erwarteten LAE bei 27 % und damit weit über der gesamten Thrombuslast der unerwarteten LAE mit 10 %. Daraus ergeben sich insgesamt größere Häufigkeiten von Thromben in allen Gefäßabschnitten als bei den unerwarteten LAE. Während die meisten Gefäßabschnitte der erwarteten LAE eine Thrombushäufigkeit von 30 bis 45 % aufweisen, liegen die meisten Werte bei den unerwarteten LAE zwischen 10 und 30 %. Deutlich wird dies an den unterschiedlichen Anteilen der einzelnen Graustufen in den Abbildungen 13 und 14. Am häufigsten befinden sich Thromben erwarteter LAE in der rechten Unterlappenarterie (60 %) sowie in den rechten Segmentarterien 9 (53 %) und 10 (49 %), im rechten Oberlappen mit einem Maximum in der Segmentarterie 3 (50 %) und in der linken Unterlappenarterie (48 %). Die Segmentarterien 8 bis 10 links und der rechte Mittellappen schließen sich mit einer jeweiligen Thrombusbelastung von ca. 40 % an. Bei den erwarteten LAE finden sich Thromben am seltensten in den zentralen Gefäßen (TP 9 %, APS 14 %, APD 15 %) sowie in den linken Segmentarterien 6 (19 %) und 7 (20 %).

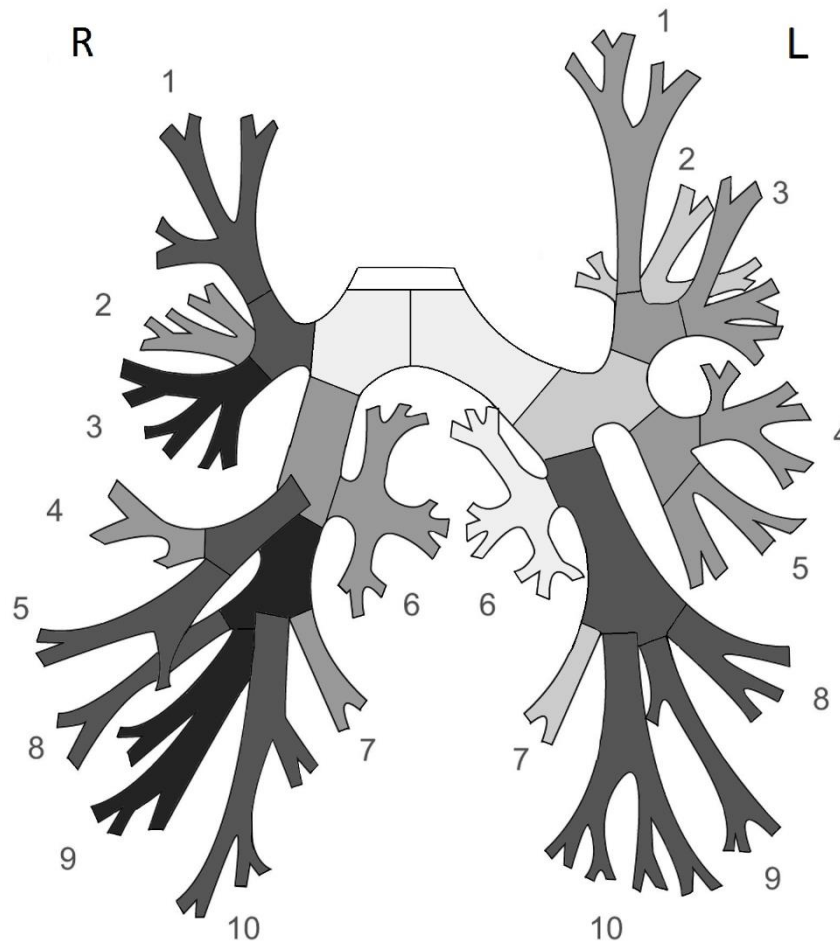


Abb. 13: Thrombushäufigkeit erwarteter LAE

Zusammenfassend ist auch hier festzustellen, dass sich am häufigsten Thromben im rechten Unter- und Oberlappen und der linken Unterlappenarterie befinden, gefolgt von den linken Unterlappenarterien und dem rechten Mittellappen.

Die Abbildung 14 zeigt, dass der Schwerpunkt der Thrombushäufigkeit bei den nicht erwarteten LAE in beiden Unterlappen liegt, nicht jedoch in den Segmentarterien 6 und 7. Auch bei den unerwarteten LAE-Aufnahmen liegen die Thromben mit 42 % am häufigsten in der rechten Unterlappenarterie. Der Häufigkeitsgrad 1 (s. Tab. 10) findet sich vor allem im rechten Ober- und Mittellappen. Die entsprechenden Häufigkeiten bewegen sich zwischen 12 und 18 % und liegen damit höher als die Häufigkeiten im linken Ober- und Mittellappen (zwischen 3 und 8 %).

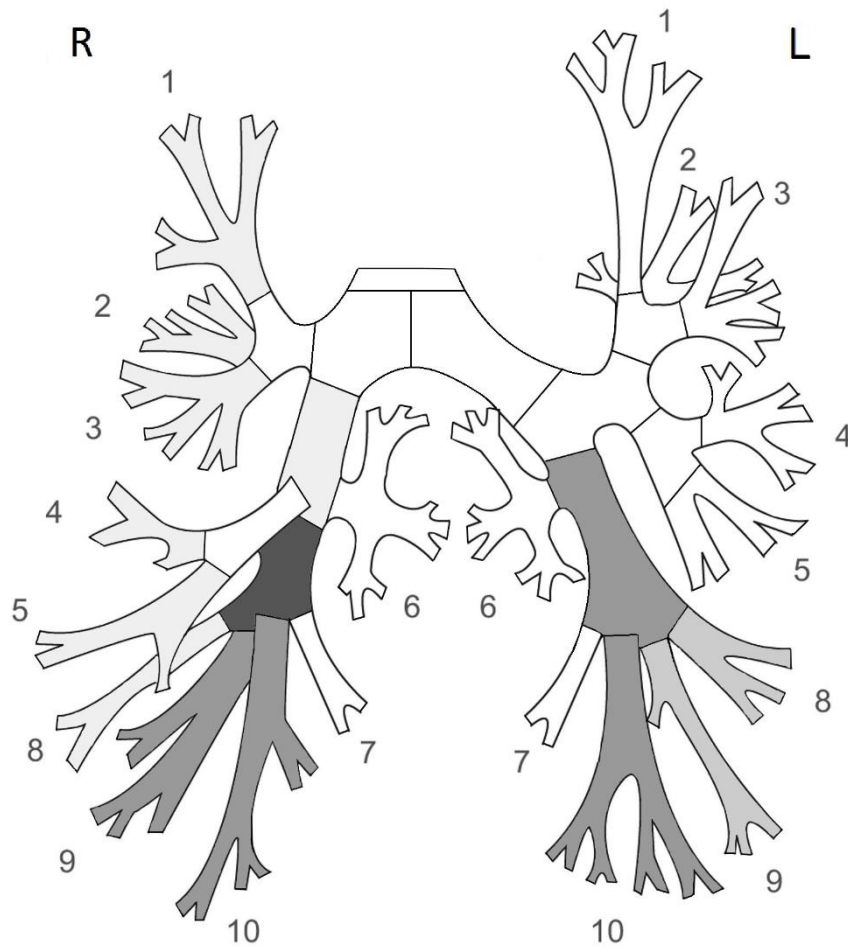


Abb. 14: Thrombushäufigkeit unerwarteter LAE

Die meiste Thrombusmasse unerwarteter LAE findet sich im Unterlappen (Tab. 8), was sich in der Beteiligung der Gefäße widerspiegelt. Die mediane Ober- und Mittellappenobstruktion mit jeweils 0 % und die dafür recht große Gefäßbeteiligung der Segmentarterien 1 bis 5 von 3 bis 18 % hingegen beschreiben eher kleine Thromben im Ober- und Mittellappen.

3. Inzidentelle und übersehene LAE

Weiterhin können die inzidentellen und die übersehenen LAE separat betrachtet werden (Abb. 15 u. 16). Die Anzahl der beteiligten Gefäße unterliegt auch hier einem Gefälle. An einer inzidentellen LAE sind im Median 5 und an einer übersehenen LAE nur 2 Gefäßabschnitte beteiligt (Tab. 9), was sich in den Häufigkeiten der einzelnen Abschnitte widerspiegelt. Die rechte Unterlappenarterie ist auch bei den inzidentellen LAE-Aufnahmen der am häufigsten betroffene Gefäßabschnitt. Ebenso finden sich Thromben häufig in den rechten Segmentarterien 9 und 10 sowie in der linken Unterlappen- und der linken Segmentarterie 10

(44 – 48 %). Die linken Segmentarterien 8 und 9, die rechte ILA sowie die rechten Ober- und Mittellappensegmentarterien weisen Häufigkeiten von Thromben zwischen 22 und 33 % auf. Die Oberlappenobstruktion der inzidentellen LAE (s. Tab. 9) beträgt im Median 0 %. Die dafür hohe Thrombushäufigkeit von 15 bis 30 % spricht dafür, dass sich dort vor allem kleine Thromben absetzen.

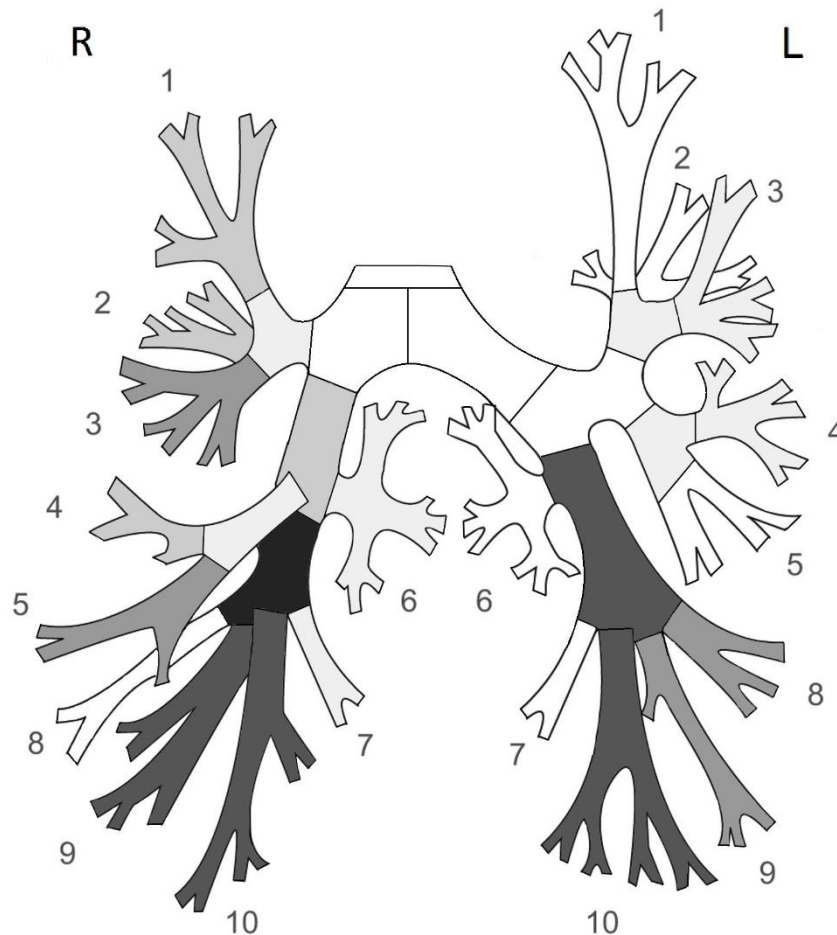


Abb. 15: Thrombushäufigkeit inzidenteller LAE

Bei den übersehenen LAE (Abb. 16) finden sich die allermeisten Thromben ebenfalls in den Unterlappen. Beide Unterlappenarterien sind jeweils zu 30 % mit einem Thrombus belastet. In den Segmentarterien 8 bis 10 liegt die Thrombushäufigkeit auf der linken Seite etwas höher (18 %, 24 %, 30 %) als auf der rechten Seite (18 %, 15 %, 27 %). Außer der linken Segmentarterie 6 (9 %) zeigen alle anderen Gefäßabschnitte Thromben mit einer Häufigkeit zwischen 0 und 6 %.

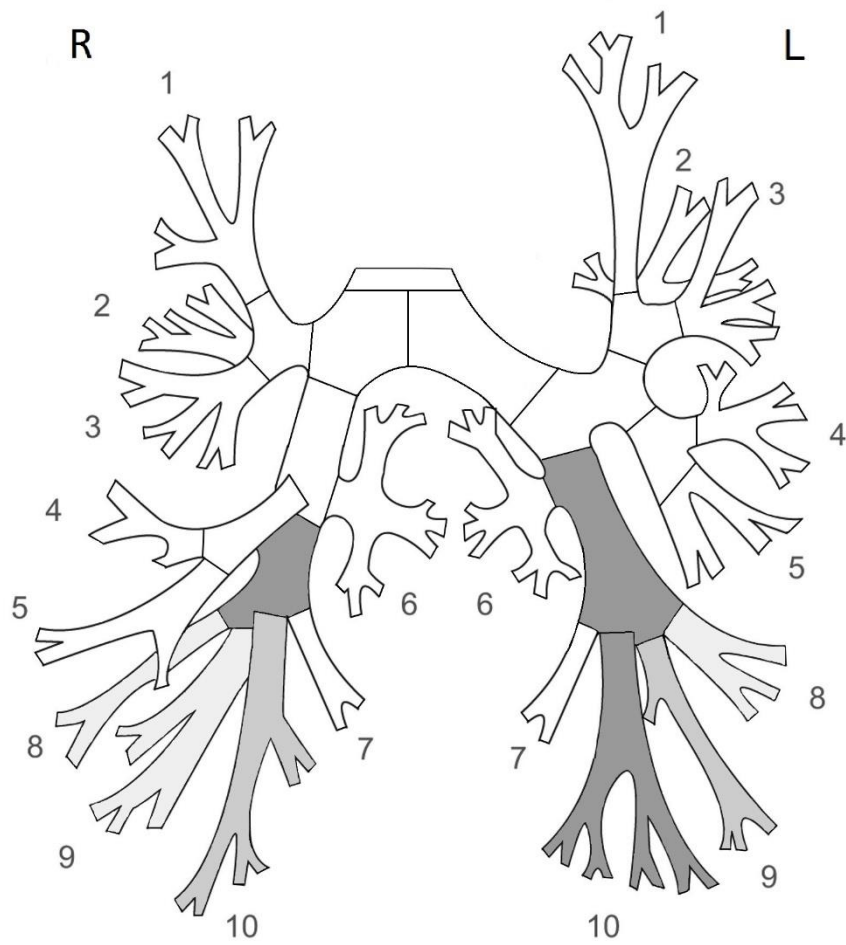


Abb. 16: Thrombushäufigkeit übersehener LAE

5 Diskussion

Zur erneuten Durchsicht standen dieselben Geräte mit der entsprechenden Software sowie die Möglichkeit der Reformatierung wie zur Initialuntersuchung zur Verfügung. Das radiologische Knowhow entsprach dem der gängigen Praxis. Die Unterschiede zum klinischen Alltag bestanden darin, dass während der Studiendurchführung die Radiologen zum einen nicht unter Zeitdruck standen und zum anderen das Augenmerk voll auf die pulmonalen Gefäße richteten.

Die CT-Aufnahmen waren für die Suche von Lungenembolien nicht optimiert. Dennoch konnten die LAE sehr gut abgegrenzt werden, da der vorhandene Kontrast für eine LAE-Detektion ausreichend war und eine weitere Zunahme des Kontrastes nicht mit einer zunehmenden Detektion von LAE assoziiert ist [11, 13]. Zu gering kontrastierte Aufnahmen wurden aus der Studie ausgeschlossen.

5.1 LAE-Häufigkeiten bei verschiedenen CT-Indikationen

Die tatsächliche Häufigkeit kann nur annähernd erfasst werden. Patienten mit fulminanter LAE verstarben zum Teil bevor eine Diagnostik möglich war [37]. Einige klinisch inapparente Lungenembolien werden keiner Diagnostik unterzogen und entgehen so einem möglichen Zufallsbefund. Auch können Artefakte durch Bewegungen jeglicher Art wie Herzaktionen, Atemexkursionen oder Patientenbewegungen sowie durch Fremdmaterial die Detektion sehr kleiner LAE verhindern [14]. Daher ist die eigentliche LAE-Häufigkeit höher als hier ermittelt werden konnte (s. Abb. 4).

In der Vergangenheit wurde bereits ein Anstieg erwarteter [38] sowie unerwarteter LAE [4, 35, 39, 40] verzeichnet. Leistungsfähigere Detektoren [4, 35, 39–41] und ein gesteigertes Bewusstsein für zufällige Befunde [35, 38, 40] werden dafür verantwortlich gemacht. Auch in Zukunft dürfte eine häufigere Detektion kleiner subsegmentaler Emboli verzeichnet werden [5].

Insgesamt konnte eine LAE-Häufigkeit in CT-Thorax-Aufnahmen von 6,6 % festgestellt werden. Damit kamen LAE signifikant häufiger ($p < 0,001$) in Aufnahmen nicht-onkologischer Patienten vor als in den Aufnahmen onkologischer Patienten der Parallelstudie, von denen 269 von 6.780 (3,9 %) eine LAE nachwies (s. Tab. 12). Die onkologischen Patienten erhielten jedoch im Schnitt 2,1 und die nicht-onkologischen nur 1,2 CT-Aufnahmen pro Patient. Werden die LAE-Häufigkeiten auf die Patienten bezogen betrachtet, konnte entgegen der allgemeinen Annahme, dass onkologische Patienten häufiger eine LAE erleiden [39, 42], kein signifikanter Unterschied

zwischen onkologischen Patienten, von denen 240 von 3.270 eine LAE entsprechend einer Häufigkeit von 7,3 % aufwiesen, und nicht-onkologischen Patienten, von denen 309 von 3.968 eine LAE (7,8 %) hatten, gefunden werden ($p = 0,416$) [1, 2].

5.1.1 Erwartete LAE

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigten eine mit weiteren Studien [38, 43, 44] vergleichbare positive Scan-Rate von 15,5 % bei erwarteten LAE. Markant ist, dass keine erwartete LAE übersehen wurde, was vermuten lässt, dass übersehene LAE lediglich ein Aufmerksamkeitsproblem sind.

5.1.2 Unerwartete LAE

60 von 3.160 Thorax-Untersuchungen ohne gezielte LAE-Suche bildeten eine LAE ab (1,9 %). Mehr als die Hälfte dieser wurden von Radiologen in der primären Befundung nicht beschrieben.

Am häufigsten fanden sich unerwartete LAE, wenn nach akuter Lungenveränderung gesucht wurde: 3,6 % dieser Aufnahmen zeigen eine LAE. Die Suche nach Pneumonien, Atelektasen, Pleuraergüssen, Abszessen, Perforationen und Operationskomplikationen zählen dazu. Einige dieser Erkrankungen sind Differentialdiagnosen einer LAE [25, 26]. Es ist anzunehmen, dass eine unspezifische Symptomatik zumindest in einigen Fällen zu einer falschen Verdachtsdiagnose geführt hat (s. 3.2.3) und somit die Ursache der häufigen inzidentellen und übersehenen LAE ist [39]. Die Radiologen könnten ihre Aufmerksamkeit gezielt auf bestimmte Dinge gerichtet und somit Befunde übersehen haben.

Als zweithäufigstes waren LAE in Aufnahmen zu finden, die keiner der anderen Kategorien zugeordnet werden konnten. Dazu zählen neben der Evaluation vor geplanter Lebertransplantation, Bestimmung von Gefäßanomalien und der Ermittlung von Skelettdeformitäten die kardiologischen Indikationen. Alle vier Aufnahmen, die eine übersehene LAE darstellen, wurden mit kardiologischer Fragestellung durchgeführt, zwei davon aufgrund einer gezielten Herzuntersuchung (Kardio-CT) und zwei zur anatomischen Lagebestimmung vor einer Bypass-Operation. Kardiale Erkrankungen zeigen oft sehr ähnliche Symptome wie eine Lungenembolie wie z. Bsp. retrosternaler Thoraxschmerz und Luftnot [4, 25, 26], weshalb es auch hier möglich ist, dass eine Lungenembolie vom klinischen Arzt nicht erkannt und die Symptome als kardiale Ursache eingestuft wurde. Zudem stellen Begleiterkrankungen wie der Zustand nach einem akuten Myokardinfarkt oder Herzinsuffizienz ein Risikofaktor für thromboembolische Erkrankungen dar [26, 45]. Die meisten Kardio-CTs wurden mit dieser Studie nicht erfasst, da sie sehr oft nur einen Anschnitt des Lungengefäßbaumes abbilden und somit aus dieser Studie aus-

schieden. Der Zusammenhang zwischen kardialen CT-Untersuchungen und Lungenembolien wurde in vergangenen Studien [46–50] bereits gut untersucht. Die Häufigkeit unerwarteter LAE lag in einer Studie [46] bei etwa 3 % der Kardio-CTs.

Lungenembolien finden sich bei Trauma-Patienten mit 1,8 % der Aufnahmen relativ häufig. Immobilisation und genetische Dispositionen im Zusammenhang mit einem Trauma stellen wichtige Risikofaktoren für eine LAE dar [37, 45]. Die LAE tritt aber häufig erst 2 Wochen nach dem traumatischen Ereignis auf [37, 51]. In den letzten Jahren wurde ein Anstieg unerwarteter Lungenembolien bei Trauma-Patienten beobachtet, wofür der zunehmende Einsatz moderner CT-Technologie verantwortlich gemacht wird [40, 41]. Die klinische Bedeutung dieser kleinen, zufälligen LAE sind jedoch ungeklärt [40].

Die Suche nach Gefäßpathologien lässt vermuten, dass viele inzidentelle LAE gefunden werden, da die Aufmerksamkeit des Radiologen vermutlich gezielt auf den Gefäßen liegt [1, 2]. Dies kann in dieser Studie jedoch nicht bestätigt werden, da bei dieser Indikation die übersehenen LAE sogar leicht überwiegen.

Der Zusammenhang von Lungenembolien und verschiedenen Tumorerkrankungen ist bekannt [1, 11]. Eine fortgeschrittene Erkrankung ist mit einem erhöhten Thromboserisiko assoziiert [1, 2, 11, 42, 43]. Dies spiegelt sich in den Ergebnissen wider. Negativ ausfallende Tumorsuchen bilden mit einer LAE-Häufigkeit von 0,9 % im Vergleich zu den onkologischen Patienten der Parallelstudie [11] (Initial-Staging mit 1,9 % LAE, Follow-Up Staging 2,7 %, s. Tab. 12) am wenigsten LAE in den CT-Aufnahmen ab [2].

5.1.3 Übersehene LAE

Fehler in der Interpretation von Befunden geschehen immer wieder. Falsch-negative Ergebnisse sollten dabei nicht unterschätzt werden [52]. Zum einen können Suchfehler, bei denen der Befund aufgrund mangelnder Aufmerksamkeit mit dem Auge nicht fixiert und somit übersehen wird, eine Ursache sein. Zum anderen führen Erkennungs- sowie Entscheidungsfehler zur falschen Diagnose, bei denen der Befund nicht erkannt bzw. fälschlicherweise als normal eingestuft wird [52, 53]. Aufgrund folgender Argumente wird der Suchfehler als die häufigste Fehlerquelle angenommen [13]:

- Es wurden nur unerwartete LAE übersehen. Bei der initialen Suche nach erwarteten LAE lag die Aufmerksamkeit auf den pulmonalen Gefäßen, wobei jeder Fund erkannt und beschrieben wurde.

- Kleinere LAE werden häufiger übersehen, da die Thrombusmasse initial übersehener LAE geringer ist als die der beschriebenen LAE.
- Zum Teil wird die kritische Aufmerksamkeit des Radiologen bei einem besonderen Befund unterbrochen, wodurch Nebenbefunde wie z. Bsp. kleine Lungenembolien häufig übersehen werden, was auch als „Satisfaction of Search“ beschrieben wird [54].
- Die markante Kontrastmittelaussparung schließt einen Erkennungs- oder Entscheidungsfehler nahezu aus.
- Unter Zeitdruck kann die Aufmerksamkeit leiden, wodurch Befunde übersehen werden können.
- Da die radiologische Erfahrung von Studiendurchführung und gängiger Praxis vergleichbar ist, können Erkennungs- und Entscheidungsfehler nahezu ausgeschlossen werden.

In dieser Studie konnten mit gerichteter Aufmerksamkeit auf die pulmonalen Gefäße übersehene LAE aufgespürt und damit der Suchfehler abgeschätzt werden. Mehr als die Hälfte der unerwarteten LAE wurden übersehen. Bei 33 von 3.160 Untersuchungen, die nicht zur Suche einer LAE optimiert wurden, zeigte sich bei der erneuten Durchsicht eine übersehene LAE. Dies entspricht einer Scan-Rate von 1 % bzw. einer NNS von 96.

Die Aufgabe der Radiologen ist es die Anzahl dieser LAE zu minimieren. Eine strukturierte Bildanalyse ist dabei dringend notwendig, da sie hilft, den Blick auf alle Strukturen einmal zu lenken und damit den Suchfehler minimiert [55]. Auch sollte der klinische Alltag so gestaltet werden, dass Zeitdruck nicht zu einer Ungenauigkeit in der Befundung führt. Eine adäquate Betreuung von Ärzten in Weiterbildung sollte trotz des aktuellen Kostendrucks und resultierender Personal-reduktion gewährleistet sein [56].

5.2 Die Thrombusverteilung der LAE

5.2.1 Die Obstruktionen der Lungenarterien

Eine höhere Thrombuslast ist mit einer erhöhten Rechtsherzbelastung, zunehmenden Symptomen sowie einer schlechteren Prognose assoziiert [1, 4–10]. Bei einer Gesamtabstruktion von größer gleich 21 % findet sich signifikant häufiger ein erhöhter Druck in den Pulmonalarterien, außerdem stellt sie einen der stärksten morphologischen Vorhersagewerte für ein akutes Cor pulmonale dar [5–7, 9]. Die Gesamtabstruktion von 27 % der erwarteten LAE erklärt somit, dass diese von den Klinikern als erwartet eingestuft wurden. Die unerwarteten LAE liegen mit einer Gesamtabstruktion von 10 % deutlich unter diesem Grenzwert.

Der Schwerpunkt der Thrombusmasse aller LAE liegt in den Lobär- und Segmentarterien sowie im Unterlappen. Das liegt nicht zuletzt daran, dass zentrale Thromben häufig einen fulminanten Verlauf verursachen [10, 57, 58]. Wegen eines rasanten Todes ist oft eine Bildgebung nicht mehr möglich. Häufig wird die Diagnose einer LAE erst bei einer Autopsie gesichert [26, 37]. Der Median der Zentralobstruktion liegt daher bei 0 %.

Auch weisen unbeschriebene LAE eine geringere Thrombusmasse als inzidentelle LAE auf. Das bestätigt die These, dass es sich bei den übersehenen LAE um einen Suchfehler handelt, da kleine Befunde häufiger übersehen werden [52, 53]. Die Ergebnisse sind wegen geringer Fallzahlen größtenteils nicht signifikant, obwohl ganze 4.812 Aufnahmen nicht-onkologischer Patienten in die Studie eingegangen sind. Werden die onkologischen Patientenaufnahmen der Parallelstudie [11] mit eingeschlossen, ergeben sich die Ergebnisse, die in den Tabellen 13 bis 15 im Anhang dargestellt sind. Vor allem im Vergleich von inzidentellen zu übersehenen LAE ergibt sich ein signifikantes Ergebnis [1, 2].

Die klinische Relevanz dieser kleinen unerwarteten Thromben ist unklar [4, 55, 59]. Unter anderem wird die Behauptung aufgestellt, dass die Lunge als Filterfunktion kleiner Emboli dient und aufgrund der besser werdenden Technik lediglich physiologische Vorgänge beobachtet werden [4]. Durch die sich rasant verbessernde CT-Technologie sind zunehmende Überdiagnosen zu erwarten [59, 60], mit denen es umzugehen gilt. Die meisten inzidentellen LAE werden mit einer Antikoagulation therapiert, obwohl nicht bestätigt wurde, dass eine solche mit einer sinkenden Morbidität assoziiert ist [4, 55, 59]. An dieser Stelle sind weiterführende Untersuchungen notwendig.

5.2.2 Häufigkeit von Thromben in den Gefäßsegmenten

Ein Zusammenhang von Thrombuslast und Anzahl beteiligter Gefäßabschnitte konnte dargestellt werden. Die CT-Aufnahmen unerwarteter LAE, die eine geringere Thrombusmasse als erwartete LAE aufweisen, zeigen eine signifikant geringere Anzahl an beteiligten Gefäßen als die erwarteten LAE. Auch beanspruchen übersehene LAE signifikant weniger Gefäße als inzidentelle LAE. Daher kann gesagt werden, dass die Anzahl der betroffenen Gefäßabschnitte ebenso eine Auswirkung auf das Übersehen hat. Zum Teil stellt sich je nach Schichtdicke eine LAE in nur einer einzigen axialen CT-Schicht dar. Dies belegt die These, dass LAE aufgrund von Suchfehlern übersehen werden.

Dass Thromben am häufigsten in der rechten Unterlappenarterie zum Liegen kommen, stimmt mit vorhandener Literatur überein [45, 61]. Unter anderem können Sattelthromben die

ähnlichen Häufigkeiten von Unterlappen- und den basalen Segmentarterien 9 und 10 sowie von Mittellappen- und Segmentarterien 4 und 5 erklären. Diese Studie hat gezeigt: Umso geringer die Thrombusmasse ist, desto eher kristallisiert sich der Unterlappen als Lage der Thromben heraus. Dabei finden sich umso mehr Thromben auch im Ober- und Mittellappen, desto mehr Thrombusmasse beteiligt ist, wobei sich die meiste Thrombusmasse auf den Unterlappen konzentriert. Die Vermutung, dass Lungenembolien eher an untypischen Lokalisationen übersehen werden, lässt sich somit nicht bestätigen.

Die Unterlappenarterien stellen die direkte Weiterführung der jeweiligen Pulmonalarterie bzw. der Interlobärarterie dar, wobei die Segmentarterien 9 und/oder 10 sehr häufig die fortführenden Endäste bilden [17–20]. Naheliegender wäre, dass Thromben dem Blutfluss und der Schwerkraft folgend mitgeschwemmt werden und somit häufig in den basalen Gefäßabschnitten zum Liegen kommen. Auch dass sich im Oberlappen in der Segmentarterie 3 am häufigsten LAE befinden, stützt diese Behauptung. Jedoch ist das Blutflussverhalten unter anderem von der Lage des Patienten [62] und den sehr variablen anatomischen Strukturen [17–20] abhängig. Daher lassen sich diesbezüglich Zusammenhänge nur schwer beweisen.

Auffällig ist, dass sich bei allen LAE-Gruppen in Ober- und Mittellappen sowie in der Segmentarterie 7 der linken Lunge am wenigsten Thromben finden. Dies sind die Bereiche, die anatomisch gesehen der größten Variabilität unterliegen [17, 18, 20]. Die linke Segmentarterie 7 ist oft gar nicht angelegt [17, 20] oder wird von Radiologen eher als Subsegmentarterie eingestuft, weil sie, falls vorhanden, oft von einer der anderen basalen Segmentarterien abgeht [17, 20]. Damit erklärt sich die geringe Häufigkeit von Thromben in dieser Arterie. Im linken Ober- und Mittellappen finden sich sehr häufig zusätzliche Gefäßzweige und eine diffuse Anordnung der Gefäße, wobei zwischen zwei und acht Gefäße den linken oberen Pulmonalstamm verlassen, sich aufzweigen und die Segmente 1 bis 5 versorgen; eine reine Segmentzuordnung ist dabei oft nicht möglich [17, 18, 20]. Weshalb sich dort seltener LAE in der Computertomografie abbilden, ist unklar.

5.3 Limitationen

Diese Studie muss im Hinblick bestimmter Einschränkungen betrachtet werden. Die Häufigkeiten können aufgrund folgender Ursachen verzerrt sein: Aufnahmen, die in diese Studie eingingen, wurden nur aus dem Archiv des Universitätsklinikums Halle entnommen. Da weitere Krankenhäuser in naher Umgebung liegen, die über Leistungen anderer Schwerpunkte als dieses

Zentrum verfügen, ist das Patientengut selektiert. Die Untersuchungskriterien für die jeweilige Indikation wären bei Einschluss der Untersuchungen anderer Krankenhäuser nicht mehr normgerecht. Es wurden nur ausreichend kontrastierte CT-Thoraxaufnahmen eingeschlossen, die den gesamten Gefäßbaum einbeziehen. Einige LAE bleiben weiterhin unentdeckt, da viele Patienten keiner CT-Untersuchung unterzogen wurden. Die Ergebnisse beziehen sich lediglich auf CT-Untersuchungen und nicht auf Patienten, da die Anzahl der Aufnahmen pro Patient variierte. Im Schnitt gingen 1,2 Aufnahmen pro Patient in die Studie ein. Zudem wurden die CT-Untersuchungen für die jeweilige Indikation optimiert. Die meisten CT-Thorax-Scans weisen eine geringere Kontrastierung der pulmonalen Gefäße auf als eine auf die Suche einer LAE zugeschnittene CTPA. Obwohl auch ein geringerer Kontrast zur Detektion von LAE ausreichend ist, können eine bestimmte Anzahl vor allem subsegmentaler LAE übersehen worden sein. Auch die Schichtdicke spielt eine entscheidende Rolle. Die meisten CT-Untersuchungen haben eine Schichtdicke von 5 – 10 mm. Dabei zeigen Studien, dass die Detektion besonders kleiner Embolie mittels dünner Schichten von 1 – 1,5 mm signifikant gesteigert werden kann [39]. Falsch-positive LAE können retrospektiv nicht ermittelt werden. Kleine arteriosklerotische Plaques oder Gefäßgabeln können auch bei einer erneuten Durchsicht Thromboembolien vortäuschen [14]. Obwohl 4.812 Untersuchungen einbezogen wurden, waren einige Untergruppen recht klein. Der Vergleich der Thrombusmasse inzidenteller und übersehener Thromboembolien war daher in einigen Bereichen nicht signifikant. Auch die Anzahl der Untersuchungen der Indikationsgruppen schwankte. Je höher die Anzahl der Aufnahmen ist, desto genauer können die Ergebnisse sein. Eine noch größere Studiengruppe übersteigt jedoch den Rahmen einer Doktorarbeit. Die kardiologischen Indikationen hätten gegebenenfalls in einer separaten Gruppe betrachtet werden können. Jedoch wäre die Anzahl der einbezogenen Aufnahmen um einiges kleiner, da nur Aufnahmen mit dem gesamten Gefäßbaum einbezogen wurden. Auch bei einer erneuten Durchsicht können Suchfehler auftreten. Eine sensitive Vorauswahl an vermeintlichen Lungenembolien sollte diese Wahrscheinlichkeit minimieren.

Diese Studie sowie die Parallelstudie der onkologischen Patienten [11] zeigen, dass Lungenembolien auch detektiert werden können, wenn die Aufnahmebedingungen nicht dafür optimiert worden sind. Eine adäquate Einschätzung von Lungenembolien scheint aufgrund der hervorragenden Bildqualität der modernen CT-Geräte dennoch möglich zu sein [63]. Bei aufmerksamer Durchsicht spielen die Schichtdicke, die Anwesenheit von Artefakten und das Kontrastmittelverhalten lediglich eine untergeordnete Rolle, wohingegen die Thrombuslast sowie die Indikation der CT entscheidend zur Detektion einer LAE beitragen [5]. Diese entscheidenden Faktoren wurden in dieser Studie behandelt.

6 Zusammenfassung

Eine Lungenarterienembolie stellt ein Krankheitsbild dar, das wegen seiner sehr variablen Symptomatik eine Herausforderung für den klinischen Alltag darstellt. In der Diagnostik nimmt die Computertomografie eine zentrale Rolle ein. Die Lungenembolien dieser Studie wurden in erwartete bzw. symptomatische und unerwartete LAE eingeteilt. Je nachdem, ob die unerwarteten LAE bei der initialen Befundung gesehen wurden oder nicht, wurden sie den inzidentellen oder den übersehenen LAE zugeordnet. Übersehene LAE wurden bisher in keiner Studie dieser Größenordnung ermittelt.

Es soll die Häufigkeit von LAE in CT-Thorax-Untersuchungen bestimmt werden. Dabei werden die Aufnahmen in CT-Indikationen eingeteilt, um überprüfen zu können, ob bei verschiedenen Indikationen vermehrt LAE übersehen werden. Da die Thrombusmasse eng mit der Rechtsherzbelastung und der Symptomatik der Patienten korreliert, soll auch diese ermittelt werden. Die Thrombusbelastung wird als Gesamt-, Ebenen- und Lappenobstruktion bestimmt. Die Anzahl der betroffenen Gefäße und die Häufigkeit von Thromben in den jeweiligen Gefäßsegmenten soll die Lage der Emboli beschreiben.

In dieser retrospektiven Studie wurden 4.812 kontrastierte Thoraxaufnahmen 3.968 nicht-onkologischer Patienten, die alle im Zeitraum vom 01.06.2005 bis zum 01.01.2010 im Uniklinikum Halle untersucht wurden, gezielt auf LAE durchsucht. Die Aufnahmen wurden nach ihrer Indikation in Gruppen gegliedert. Zur Bestimmung der Thrombusverteilung wurde der Mastora-Score genutzt. Dazu wurde der Lungengefäßbaum in 31 Gefäßabschnitte gegliedert, die in eine zentrale, lobäre und segmentale Ebene sowie in einen Ober-, Mittel- und Unterlappen eingeteilt sind. Die Ergebnisse wurden vor allem mit Mitteln der beschreibenden Statistik ausgewertet.

Insgesamt fand sich eine LAE-Häufigkeit nicht-onkologischer Patienten von 6,6 %. Wenn eine LAE erwartet wurde, war in 15,5 % der Aufnahmen tatsächlich eine LAE vorhanden. Die unerwarteten LAE fanden sich mit 1,9 % signifikant seltener. Dabei waren über die Hälfte übersehene LAE. Am häufigsten fanden sich unerwartete LAE bei akuten Lungenerkrankungen (3,6 %). In der Kategorie „Sonstige“ wiesen 2,5 % der Aufnahmen eine LAE auf, wobei alle davon eine kardiologische Indikation führten und übersehen wurden. Trauma-Untersuchungen zeigten in 1,8 % der Fälle eine LAE. Die Aufnahmen zur Untersuchung nach Gefäßerkrankungen (1,4 %), chronischen Lungenerkrankungen (1,2 %) und Tumoren, die negativ ausfielen (0,9 %), zeigten relativ selten eine LAE.

Die Gesamtabstraktion erwarteter LAE (27 %) war im Vergleich zu den unerwarteten LAE (10 %) signifikant höher, wie auch die Anzahl der betroffenen Gefäße (8 vs. 3). Die Thrombusmasse übersehener LAE (9 %) war nicht signifikant geringer als die inzidenteller LAE (11 %). Dafür war hier ein signifikanter Unterschied der beteiligten Gefäße zu verzeichnen (2 vs. 5). Ein Zusammenhang zwischen der Thrombusmasse und Lage der Thromben konnte festgestellt werden. Deutlich wurde eine klare Betonung der Thrombusmasse im Unterlappen. Am häufigsten fanden sich Thromben in der rechten Unterlappenarterie (48 % aller LAE). Bei den übersehenen LAE kristallisierte sich der Unterlappen als bevorzugte Lage heraus, wohingegen erwartete LAE mehr Thromben auch im Ober- und Mittellappen aufwiesen. Zentrale Thromben wurden kaum gefunden.

Es ist anhand der Ergebnisse anzunehmen, dass die Indikationen der CTs die Radiologen in ihrer Befundung beeinflussen. Einige akute Lungenveränderungen und kardiologische Erkrankungen zeigen ähnliche klinische Symptome wie Lungenembolien. Deshalb sollte bei diesen CT-Untersuchungen besonders auf unerwartete LAE geachtet werden. Die meisten LAE werden aufgrund von Suchfehlern übersehen. Eine strukturierte Bildanalyse wird daher empfohlen, um die Anzahl der übersehenen LAE zu minimieren. Der klinische Alltag sollte so gestaltet werden, dass Zeit- und Kostendruck nicht zu einer ungenauen Befundung führen. Die klinische Relevanz kleiner unerwarteter Embolien wird derzeit diskutiert.

7 Literaturverzeichnis

- 1 Bach AG. 2015. Die Lungenembolie in der Computertomographie: Häufigkeit, Zufallsbefund, und prognostische Kriterien bei onkologischen und nicht-onkologischen Erkrankungen [Habilitationsschrift]. Halle: Universitätsklinik der MLU
- 2 Bach AG, Meyer H, Taute B-M, Surov A (2016) The frequency of incidental pulmonary embolism in different CT examinations. *Brit J Radiol* 89:20150737.
- 3 Konstantinides SV, Torbicki A, Agnelli G, Danchin N, Fitzmaurice D, Galie N, Gibbs JSR, Huisman MV, Humbert M, Kucher N, Lang I, Lankeit M, Lekakis J, Maack C, Mayer E, Meneveau N, Perrier A, Pruszczyk P, Rasmussen LH, Schindler TH, Svitil P, Vonk Noordegraaf A, Zamorano JL, Zompatori M (2014) 2014 ESC guidelines on the diagnosis and management of acute pulmonary embolism. *Eur Heart J* 35:3033-69, 3069a-3069k.
- 4 Desai SR (2007) Unsuspected pulmonary embolism on CT scanning: yet another headache for clinicians? *Thorax* 62:470–472.
- 5 Engelke C, Rummeny E, Marten K (2006) Mehrschicht-Spiral-CT bei vermuteter und inzidenteller akuter Lungenembolie. *Fortschr Röntgenstr* 178:999–1006.
- 6 Goldhaber SZ, Elliott CG (2003) Acute pulmonary embolism: part I: epidemiology, pathophysiology, and diagnosis. *Circulation* 108:2726–2729.
- 7 Mastora I, Remy-Jardin M, Masson P, Galland E, Delannoy V, Bauchart J-J, Remy J (2003) Severity of acute pulmonary embolism: evaluation of a new spiral CT angiographic score in correlation with echocardiographic data. *Eur Radiol* 13:29–35.
- 8 Ouriel K, Ouriel RL, Lim YJ, Piazza G, Goldhaber SZ (2016) Computed tomography angiography with pulmonary artery thrombus burden and right-to-left ventricular diameter ratio after pulmonary embolism. *Vascular*:Epub ahead of print. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27090586> letzter Zugriff:29.07.2016.
- 9 Remy-Jardin M, Mastora I, Remy J (2003) Pulmonary embolus imaging with multislice CT. *Radiol Clin North Am* 41:507–519.
- 10 Vedovati MC, Germini F, Agnelli G, Becattini C (2013) Prognostic role of embolic burden assessed at computed tomography angiography in patients with acute pulmonary embolism: systematic review and meta-analysis. *J Thromb Haemost* 11:2092–2102.

- 11 Beckel C. 2015. Häufigkeit und Schweregrad der Lungenarterienembolien bei onkologischen Patienten [Dissertation]. Halle: Universitätsklinik der MLU
- 12 Bach AG, Schmoll H-J, Beckel C, Behrmann C, Spielmann RP, Wienke A, Abbas J, Surov A (2014) Pulmonary embolism in oncologic patients: frequency and embolus burden of symptomatic and unsuspected events. *Acta Radiol* 55:45–53.
- 13 Bach AG, Beckel C, Schurig N, Schramm D, Taute B-M, Wienke A, Surov A (2015) Imaging characteristics and embolus burden of unreported pulmonary embolism in oncologic patients. *Clin Imaging* 39:237–242.
- 14 Bach AG, Neumann J, Taute B-M, Surov A (2016) Die Lungenarterienembolie bei onkologischen Erkrankungen: Häufigkeit, Ursachen und Wahrnehmung. *Dtsch Med Wochenschr* 141:713–717.
- 15 Schmitz F: Atmungsorgane und Pleura. In: Bob K, Bob A (Hrsg.): *Anatomie Thieme*, Stuttgart. 2007, S. 545-547
- 16 Krug KB: Lunge, Hilus, Pleura. In: Bücheler E, Götsche T (Hrsg.): *Einführung in die Radiologie* 11. Aufl. Thieme, Stuttgart. 2006, S. 229
- 17 Luzsa G: *Röntgenanatomie des Gefäßsystems Johann Ambrosius Barth*, Budapest, Frankfurt/M. 1972, S. 50-57, 92-109
- 18 Wittram C: *Atlas of Pulmonary Vascular Imaging Thieme Medical Publishers Incorporated*, Stuttgart. 2010, pp. 1-9
- 19 Uflacker R: *Atlas of Vascular Anatomy: An Angiographic Approach* 2. Aufl. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia. 2006, pp. 232-234
- 20 Kadir S: Anatomie der Pulmonalarterien und -venen. In: Kadir S (Hrsg.): *Angiographie - Normalbefunde und Varianten VHC*, Weinheim. 1992, S. 227-230
- 21 Seifried E, Heinrich F: *Lungenembolie Thieme*, Stuttgart. 2000, S. 2-8
- 22 Oger E (2000) Incidence of venous thromboembolism: a community-based study in Western France. EPI-GETBP Study Group. *Groupe d'Etude de la Thrombose de Bretagne Occidentale. Thromb Haemost* 83:657–660.
- 23 Torbicki A (2010) Pulmonary thromboembolic disease. Clinical management of acute and chronic disease. *Rev Esp Cardiol* 63:832–849.

- 24 Müller-Riemenschneider F. 2010. Prävention kardiovaskulärer Erkrankungen aus epidemiologischer und sozialmedizinischer Perspektive [Habilitationsschrift]. Berlin: Charité Centrum für Human- und Gesundheitswissenschaften
- 25 Sauer W: Angiologie. In: Herold G (Hrsg.): Innere Medizin 2013 Selbstverl., Köln. 2013, S. 819-825, 835-839
- 26 Walther A, Böttiger BW (2002) Die akute Lungenarterienembolie. *Anaesthesist* 51:427–446.
- 27 Felgendreher R, Bramlage P, Tebbe U (2015) Akute Lungenembolie: Therapie nach Risiko. *Dtsch Ärztebl* 112:8–12.
- 28 Bach AG, Nansalmaa B, Kranz J, Taute B-M, Wienke A, Schramm D, Surov A (2015) CT pulmonary angiography findings that predict 30-day mortality in patients with acute pulmonary embolism. *Eur J Radiol* 84:332–337.
- 29 Diehm C, Stammler F, Amendt K (1997) Die tiefe Venenthrombose: Diagnostik und Therapie. *Dtsch Ärztebl* 94:301–311.
- 30 Torbicki A (2010) Acute and long term management of pulmonary embolism. *Heart* 96:1418–1424.
- 31 Alonso-Martínez JL, Sánchez FJA, Echezarreta MAU (2010) Delay and misdiagnosis in sub-massive and non-massive acute pulmonary embolism. *Eur J Intern Med* 21:278–282.
- 32 O'Connell C, Montani D, Savale L, Sitbon O, Parent F, Seferian A, Bulifon S, Fadel E, Mercier O, Mussot S, Fabre D, Dartevelle P, Humbert M, Simonneau G, Jais X (2015) Chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Presse Med* 44:409–416.
- 33 Wells PS, Ginsberg JS, Anderson DR, Kearon C, Gent M, Turpie AG, Bormanis J, Weitz J, Chamberlain M, Bowie D, Barnes D, Hirsh J (1998) Use of a clinical model for safe management of patients with suspected pulmonary embolism. *Ann Intern Med* 129:997–1005.
- 34 Le Gal G, Righini M, Roy P-M, Sanchez O, Aujesky D, Bounameaux H, Perrier A (2006) Prediction of pulmonary embolism in the emergency department: the revised Geneva score. *Ann Intern Med* 144:165–171.
- 35 Storto ML, Di Credico A, Guido F, Larici AR, Bonomo L (2005) Incidental detection of pulmonary emboli on routine MDCT of the chest. *Am J Roentgenol* 184:264–267.

- 36 Qanadli SD, El Hajjam M, Vieillard-Baron A, Joseph T, Mesurolle B, Oliva VL, Barre O, Bruckert F, Dubourg O, Lacombe P (2001) New CT index to quantify arterial obstruction in pulmonary embolism: comparison with angiographic index and echocardiography. *Am J Roentgenol* 176:1415–1420.
- 37 Yakar A, Yakar F, Ziyade N, Yildiz M, Uzun I (2016) Fatal pulmonary thromboembolism. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 20:1323–1326.
- 38 Morley NCD, Muir KC, Mirsadraee S, van Beek EJR, Murchison JT (2015) Ten years of imaging for pulmonary embolism: too many scans or the tip of an iceberg? *Clin Radiol* 70:1370–1375.
- 39 Dentali F, Ageno W, Becattini C, Galli L, Gianni M, Riva N, Imberti D, Squizzato A, Venco A, Agnelli G (2010) Prevalence and clinical history of incidental, asymptomatic pulmonary embolism: a meta-analysis. *Thromb Res* 125:518–522.
- 40 Spencer Netto F, Tien H, Ng J, Ortega S, Scarpelini S, Rizoli SB, Geerts W (2012) Pulmonary emboli after blunt trauma: timing, clinical characteristics and natural history. *Injury* 43:1502–1506.
- 41 George A, Movahed A (2010) Recognition of noncardiac findings on cardiac computed tomography examination. *Rev Cardiovasc Med* 11:84–91.
- 42 Noble S, Pasi J (2010) Epidemiology and pathophysiology of cancer-associated thrombosis. *Brit J Cancer* 102:2–9.
- 43 Hui GC, Legasto A, Wittram C (2008) The prevalence of symptomatic and coincidental pulmonary embolism on computed tomography. *J Comput Assist Tomogr* 32:783–787.
- 44 Chandra S, Sarkar PK, Chandra D, Ginsberg NE, Cohen RI (2013) Finding an alternative diagnosis does not justify increased use of CT-pulmonary angiography. *BMC Pulm Med* 13:9–17.
- 45 Sunnetcioglu A, Sertogullarindan B, Ozbay B, Asker S, Ekin S (2015) Assessments of the associations of thrombus localization with accompanying disorders, risk factors, D-dimer levels, and the red cell distribution width in pulmonary embolism. *Clinics* 70:441–445.
- 46 Ropp A, Lin CT, White CS (2015) Coronary computed tomography angiography for the assessment of acute chest pain in the emergency department: evidence, guidelines, and tips for implementation. *J Thorac Imaging* 30:169–175.

- 47 Aglan I, Jodocy D, Hiehs S, Soegner P, Frank R, Haberfellner B, Klauser A, Jaschke W, Feuchtner GM (2010) Clinical relevance and scope of accidental extracoronary findings in coronary computed tomography angiography: a cardiac versus thoracic FOV study. *Eur J Radiol* 74:166–174.
- 48 Foley PW, Hamaad A, El-Gendi H, Leyva F (2010) Incidental cardiac findings on computed tomography imaging of the thorax. *BMC Res Notes* 3:326–329.
- 49 Mueller J, Jeudy J, Poston R, White CS (2007) Cardiac CT angiography after coronary bypass surgery: prevalence of incidental findings. *Am J Roentgenol* 189:414–419.
- 50 Dewey M, Schnapauff D, Teige F, Hamm B (2007) Non-cardiac findings on coronary computed tomography and magnetic resonance imaging. *Eur Radiol* 17:2038–2043.
- 51 Park MS, Perkins SE, Spears GM, Ashrani AA, Leibson CL, Boos CM, Harmsen WS, Jenkins DH, Bailey KR, Ballman KV, Heit JA (2016) Risk factors for venous thromboembolism after acute trauma: A population-based case-cohort study. *Thromb Res* 144:40–45.
- 52 Krupinski EA (2010) Current perspectives in medical image perception. *Atten Percept Psychophys* 72:1205–1217.
- 53 Kundel HL, Nodine CF, Carmody D (1978) Visual scanning, pattern recognition and decision-making in pulmonary nodule detection. *Invest Radiol* 13:175–181.
- 54 Berbaum KS, Krupinski EA, Schartz KM, Caldwell RT, Madsen MT, Hur S, Laroia AT, Thompson BH, Mullan BF, Franken EA, JR (2015) Satisfaction of Search in Chest Radiography 2015. *Acad Radiol* 22:1457–1465.
- 55 Franklin JM, Rahman N, Gleeson FV (2011) The clinician's response to a report of an incidental pulmonary embolism detected on multidetector CT. *Postgrad Med J* 87:746–749.
- 56 Lackner K-J, Krug KB: Fehlentscheidungen in der Radiologie: Analyse der Ursachen und Strategien zur Fehlervermeidung. Thieme, Stuttgart, New York, NY. 2009, S. VII
- 57 Vedovati MC, Becattini C, Agnelli G, Kamphuisen PW, Masotti L, Pruszczyk P, Casazza F, Salvi A, Grifoni S, Carugati A, Konstantinides S, Schreuder M, Golebiowski M, Duranti M (2012) Multidetector CT scan for acute pulmonary embolism: embolic burden and clinical outcome. *Chest* 142:1417–1424.

- 58 Cimsit NC, Cimsit C, Onaygil C, Kuzan TY (2015) Correlation of clot distribution with morphometric measurements and pleuroparenchymal findings in acute pulmonary embolism: experience with 692 cases. *Clin Imaging* 39:1012–1017.
- 59 Wiener RS, Schwartz LM, Woloshin S (2011) Time trends in pulmonary embolism in the United States: evidence of overdiagnosis. *Arch Intern Med* 171:831–837.
- 60 Hutchinson BD, Navin P, Marom EM, Truong MT, Bruzzi JF (2015) Overdiagnosis of Pulmonary Embolism by Pulmonary CT Angiography. *Am J Roentgenol* 205:271–277.
- 61 Sen E, Arslan F, Eladag Yurt S, Tarakci N, Kaya A, Atasoy C, Bartu Saryal S (2009) Clinical and radiological findings in patients diagnosed pulmonary thromboembolism by pulmonary computerized tomography angiography. *Tuberk Toraks* 57:5–13.
- 62 Silbernagl S, Despopoulos A: Taschenatlas Physiologie 7. Aufl. Georg Thieme, Stuttgart. 2007, S. 122-123
- 63 Pena E, Dennie C (2012) Acute and chronic pulmonary embolism: an in-depth review for radiologists through the use of frequently asked questions. *Semin Ultrasound CT MR* 33:500–521.

8 Thesen

1. 6,6 % aller CT-Thorax-Aufnahmen nicht-onkologischer Patienten zeigen eine LAE. CT-Thorax-Untersuchungen nicht-onkologischer Patienten zeigen somit signifikant häufiger eine LAE als Aufnahmen onkologischer Patienten (3,9 %). Dabei erhielten nicht-onkologische Patienten im Schnitt 1,2 und onkologische Patienten 2,1 Aufnahmen. Bei der Häufigkeit von LAE bezogen auf die Patienten fand sich kein signifikanter Unterschied zwischen onkologischen (7,3 %) und nicht-onkologischen Patienten (7,8 %).
2. 15,5 % der CTPA zur Untersuchung auf eine LAE nicht-onkologischer Patienten weisen tatsächlich eine LAE auf. Ausreichend kontrastierte CT-Thorax-Untersuchungen mit anderen Indikationen bilden in 1,9 % eine LAE ab.
3. 10,5 % aller LAE, die sich in einer CT-Thorax-Untersuchung abbilden, werden übersehen. Damit werden mehr als die Hälfte unerwarteter LAE übersehen. Die Ursache ist in den meisten Fällen ein Suchfehler. Eine strukturierte Bildanalyse ist deshalb erforderlich. Außerdem können Aufnahmen, die nicht für die Suche nach LAE optimiert wurden, zum Nachweis von LAE dienen.
4. Am häufigsten finden sich unerwartete LAE bei Untersuchungen nach akuten Lungenerkrankungen und kardiologischen Erkrankungen. Eine gezielte Suche nach LAE bei Verdachtsdiagnosen ähnlicher Symptomatik sollte angestrebt werden.
5. Je kleiner die Thrombusmasse und geringer die Anzahl beteiligter Gefäßabschnitte ist, desto eher werden LAE übersehen. Erwartete LAE zeigen eine signifikant höhere Thrombusbelastung als unerwartete LAE. Dazu weisen sie eine größere Anzahl beteiligter Gefäßabschnitte auf als unerwartete. Inzidentelle LAE zeigen mehr betroffene Gefäße als übersehene LAE.
6. Die meisten Thromben sind im Unterlappen zu finden. Die rechte Unterlappenarterie weist am häufigsten einen Thrombus auf (48 % aller LAE). Umso größer die Thrombusmasse ist, desto stärker verteilt sich diese auch auf den Ober- und Mittellappen.

9 Tabellenanhang

Tab. 11: Häufigkeit der Thrombusbeteiligung in den Gefäßabschnitten *

	alle	erwartet	unerwartet	inzidentell	übersehen
Truncus pulm.	6	9	2	4	0
rechts					
Pulmonalarterie	12	15	5	7	3
Oberlappenart.	33	47	8	15	3
Segment 1	34	46	15	26	6
Segment 2	27	38	12	22	3
Segment 3	37	50	17	30	6
Interlobärarterie	25	34	15	26	6
Mittellappenart.	31	43	8	15	3
Segment 4	28	38	15	26	6
Segment 5	31	42	18	33	6
Unterblassenart.	48	60	42	56	30
Segment 6	28	38	5	11	0
Segment 7	24	31	7	11	3
Segment 8	31	42	13	7	18
Segment 9	41	53	30	48	15
Segment 10	39	49	35	44	27
links					
Pulmonalarterie	9	14	2	4	0
Oberlappenart.	22	32	7	15	0
Segment 1	21	31	3	4	3
Segment 2	16	23	7	7	6
Segment 3	22	31	5	11	0
Interlobärarterie	19	27	7	7	6
Mittellappenart.	25	36	7	11	3
Segment 4	22	30	8	15	3
Segment 5	21	30	5	7	3
Unterblassenart.	38	48	37	44	30
Segment 6	13	19	7	4	9
Segment 7	15	20	7	7	6
Segment 8	35	45	23	30	18
Segment 9	34	42	28	33	24
Segment 10	32	41	37	44	30

* Angaben in %

Tab. 12: Häufigkeit von LAE onkologischer und nicht-onkologischer Patienten [1, 2]

Indikation der CT-Untersuchung	keine LAE	LAE			LAE * in %	NNS
		erwartet	inzi- dentell	über- sehen		
● LAE-Suche	431	122	0	0	22,1	5
◇ LAE-Suche	1.396	256	0	0	15,5	6
● Gefäßerkrankungen	131	0	6	2	5,8	17
◇ Akute Lungenerkrankungen	836	0	14	17	3,6	28
● Follow-Up-Staging	3.230	0	31	60	2,7	36
◇ Sonstige	159	0	0	4	2,5	41
● Initialstaging, Tumorsuche (pos.)	1.791	0	18	17	1,9	52
● Akute Lungenerkrankungen	691	0	11	2	1,8	54
◇ Trauma	276	0	3	2	1,8	56
◇ Gefäßerkrankungen	499	0	3	4	1,4	72
◇ Chronische Lungenerkrankungen	321	0	2	2	1,2	81
◇ Tumorsuche (neg.)	1.009	0	5	4	0,9	113
● Sonstige	43	0	0	0	0,0	n. a.
● Chronische Lungenerkrankungen	237	0	0	0	0,0	n. a.
● Trauma	112	0	0	0	0,0	n. a.
◇ Alle Indikationen	4.496	256	27	33	6,6	15
● Alle Indikationen	6.666	122	66	81	3,9	26
Alle Indikationen insgesamt	11.162	378	93	114	5,0	20

* sortiert nach LAE-Häufigkeit

◇ nicht-onkologische Patienten

● onkologische Patienten

Tab. 13: Thrombusverteilung onkologischer und nicht-onkologischer Patienten [2]

	onkologisch* n = 269	nicht- onkologisch* n = 316	p-Wert
Thrombusmasse			
Gesamtobstruktion [%]	11 (4 – 36)	18 (6 – 56)	< 0,001
Anzahl betroffener Gefäße [Anzahl]	4 (2 – 10)	6 (3 – 18)	< 0,001
Thrombusverteilung in der Ebene			
Zentralobstruktion [%]	0 (0 – 0)	0 (0 – 8)	0,007
Lobärobstruktion [%]	7 (0 – 17)	10 (1 – 30)	< 0,001
Segmentalobstruktion [%]	5 (2 – 12)	8 (3 – 22)	< 0,001
Thrombusverteilung auf Lappen			
Oberlappenobstruktion [%]	2 (0 – 12)	5 (0 – 23)	< 0,001
Mittellappenobstruktion [%]	0 (0 – 12)	3 (0 – 25)	< 0,001
Unterblassenobstruktion [%]	8 (2 – 19)	12 (4 – 27)	0,006

* Median (25. – 75. Perzentil)

Tab. 14: TV erwarteter und unerwarteter LAE onkol. und nicht-onkol. Patienten [1, 2]

	erwartet* n = 378	unerwartet* n = 207	p-Wert
Thrombusmasse			
Gesamtobstruktion [%]	25 (6 – 63)	8 (4 – 20)	< 0,001
Anzahl betroffener Gefäße [Anzahl]	7 (3 – 18)	3 (2 – 6)	< 0,001
Thrombusverteilung in der Ebene			
Zentralobstruktion [%]	0 (0 – 8)	0 (0 – 0)	< 0,001
Lobärobstruktion [%]	13 (3 – 33)	3 (0 – 10)	< 0,001
Segmentalobstruktion [%]	10 (3 – 25)	4 (2 – 8)	< 0,001
Thrombusverteilung auf Lappen			
Oberlappenobstruktion [%]	7 (0 – 27)	0 (0 – 3)	< 0,001
Mittellappenobstruktion [%]	7 (0 – 27)	0 (0 – 5)	< 0,001
Unterblassenobstruktion [%]	14 (3 – 30)	8 (4 – 15)	< 0,001

* Median (25. – 75. Perzentil)

Tab. 15: TV inzidenteller und übersehener LAE onkol. und nicht-onkol. Patienten [1, 2]

	inzidentell*	übersehen*	p-Wert
	n = 93	n = 114	
Thrombusmasse			
Gesamtobstruktion [%]	17 (6 – 33)	6 (3 – 12)	< 0,001
Anzahl betroffener Gefäße [Anzahl]	6 (3 – 10)	2 (1 – 4)	< 0,001
Thrombusverteilung in der Ebene			
Zentralobstruktion [%]	0 (0 – 4)	0 (0 – 0)	< 0,001
Lobärobstruktion [%]	10 (3 – 17)	3 (0 – 7)	< 0,001
Segmentalobstruktion [%]	5 (3 – 12)	3 (2 – 6)	< 0,001
Thrombusverteilung auf Lappen			
Oberlappenobstruktion [%]	2 (0 – 12)	0 (0 – 0)	< 0,001
Mittellappenobstruktion [%]	2 (0 – 8)	0 (0 – 0)	< 0,001
Untelappenobstruktion [%]	10 (5 – 19)	6 (2 – 12)	< 0,001

* Median (25. – 75. Perzentil)

10 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Diagnostischer Algorithmus bei Verdacht einer LAE beim instabilen Patienten	5
Abb. 2	Diagnostischer Algorithmus bei Verdacht einer LAE beim stabilen Patienten	5
Abb. 3	Computertomografischer Untersuchungsfund einer symptomatischen LAE	7
Abb. 4	Computertomografischer Untersuchungsfund einer übersehenen LAE	8
Abb. 5	Erfassbarkeit der tatsächlichen Häufigkeit aller LAE in Studien	11
Abb. 6	Ermittlung der in die Studie eingeschlossenen Patienten	15
Abb. 7	Einteilung des Lungengefäßbaums in die zentrale, lobäre und segmentale Ebene	18
Abb. 8	Einteilung des Lungengefäßbaums in Ober-, Mittel- und Unterlappen	20
Abb. 9	Anzahl und Häufigkeit von LAE in den Gefäßabschnitten	22
Abb. 10	Ergebnisse der erneuten Befundung: Anzahl erwarteter und unerwarteter LAE	23
Abb. 11	Häufigkeit der unerwarteten LAE bei verschiedenen CT-Indikationen	25
Abb. 12	Thrombushäufigkeit aller LAE	30
Abb. 13	Thrombushäufigkeit erwarteter LAE	32
Abb. 14	Thrombushäufigkeit unerwarteter LAE	33
Abb. 15	Thrombushäufigkeit inzidenteller LAE	34
Abb. 16	Thrombushäufigkeit übersehener LAE	35
Tab. 1	Hypothesenmodell, Darstellung der Fehler 1. und 2. Art	9
Tab. 2	Einteilung der Lungenarterienembolien	10
Tab. 3	Mastora-Grad entsprechend der Thrombusfläche im CT-Anschnitt	19
Tab. 4	Ermittlung des Mastora-Scores und der Obstruktionen der verschied. Ebenen	19
Tab. 5	Ermittlung der Obstruktionen der verschiedenen Lappen	21
Tab. 6	Häufigkeit von LAE in CT-Untersuchungen nicht-onkologischer Patienten	24
Tab. 7	Thrombusverteilung aller LAE	26
Tab. 8	Thrombusverteilung erwarteter und unerwarteter LAE	27

Tab. 9	Thrombusverteilung von inzidentellen und übersehenen LAE	29
Tab. 10	Farblegende zur Darstellung der Thrombusverteilung	29
Tab. 11	Häufigkeit der Thrombusbeteiligung in den Gefäßabschnitten	52
Tab. 12	Häufigkeit von LAE onkologischer und nicht-onkologischer Patienten	53
Tab. 13	Thrombusverteilung onkologischer und nicht-onkologischer Patienten	54
Tab. 14	TV erwarteter und unerwarteter LAE onkol. und nicht-onkol. Patienten	54
Tab. 15	TV inzidenteller und übersehener LAE onkol. und nicht-onkol. Patienten	55

Erklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel:

*„Häufigkeit und Thrombusverteilung von Lungenarterienembolien
nicht-onkologischer Patienten in der Computertomografie“*

selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt habe. Ich versichere, dass ich alle zitierten Quellen als solche gekennzeichnet habe.

Eine gescheiterte Dissertation ist dieser nicht vorausgegangen.

Dessau-Roßlau, den 10.01.2017

Johanna Neumann

Lebenslauf

Der Lebenslauf ist aus datenschutzrechtlichen Gründen in der veröffentlichten Version nicht enthalten.

Danksagung

Sehr herzlich möchte ich mich bei PD Dr. med. Andreas Bach und PD Dr. med. Alexey Surov vom Institut für Diagnostische Radiologie des Universitätsklinikums Halle für die ausgezeichnete Betreuung und Unterstützung bedanken. Bei jeder Fragestellung konnte ich mich an sie wenden. Auch möchte ich mich bei Dominik Schramm bedanken, der mir in organisatorischen Fragen zur Seite stand.

Von Herzen möchte ich meinem Mann für sein Interesse an meiner Arbeit, für die regen Diskussionen und seinen unermüdlichen Rückhalt danken.