

**Diplomarbeit**

**Bildgebung infektiöser Lungenkrankheiten unter  
besonderer Berücksichtigung von COVID-19**

eingereicht von

**Soraya Marie Stiegner**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor(in) der gesamten Heilkunde  
(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt am

**Universitätsklinikum für Radiologie**

unter der Anleitung von

**Univ.-Prof. Dr. Manfred Tillich**

**Prim. Univ.-Prof. Dr. Helmut Schöllnast, MBA**

Graz, am 9.2.2022

*Eidesstattliche Erklärung*

*Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.*

*Graz, am 9.2.2022*

*Soraya Marie Stiegner eh.*

## **Danksagungen**

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Prim. Univ.-Prof. Dr. Helmut Schöllnast und Herrn Univ.-Prof. Dr. Manfred Tillich für die kompetente Betreuung, die konstruktive Kritik und Hilfestellung herzlichst bedanken.

# Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNGEN .....	II
INHALTSVERZEICHNIS.....	III
GLOSSAR UND ABKÜRZUNGEN.....	V
ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	VII
TABELLENVERZEICHNIS .....	VIII
ZUSAMMENFASSUNG .....	1
ABSTRACT.....	2
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>3</b>
1.1 ANATOMISCHE GRUNDLAGEN DER LUNGE.....	4
1.1.1 <i>Form und Abschnitte</i> .....	4
1.1.2 <i>Bronchienaufteilung</i> .....	4
1.1.3 <i>Lungenhilum</i> .....	8
1.1.4 <i>Pleura und Recessus pleurales</i> .....	8
1.1.5 <i>Lungenbindegewebe</i> .....	9
1.2 INFEKTIOSE LUNGENPARENCHYMERKRANKUNGEN.....	10
1.2.1 <i>Epidemiologie</i> .....	10
1.2.2 <i>Klinische Klassifikation</i> .....	10
1.2.3 <i>Pathomorphologisches Erscheinungsbild</i> .....	11
1.2.4 <i>Erregerspektrum</i> .....	12
1.2.5 <i>Diagnostik</i> .....	14
<b>2 MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>16</b>
<b>3 BILDGEBUNG VON PNEUMONIEN .....</b>	<b>17</b>
3.1 RADIOMORPHOLOGISCHES ERSCHEINUNGSBILD.....	17
3.1.1 <i>Lobärpneumonie</i> .....	17
3.1.2 <i>Bronchopneumonie</i> .....	19
3.1.3 <i>Interstitielle Pneumonie</i> .....	20
<b>4 BILDGEBUNG BAKTERIELLER PNEUMONIE.....</b>	<b>22</b>
4.1 STREPTOCOCCUS PNEUMONIAE.....	22
4.2 STAPHYLOCOCCUS AUREUS .....	23
4.3 LEGIONELLA PNEUMOPHILIA .....	23
4.4 KLEBSIELLA PNEUMONIAE.....	24
4.5 AEROBIER .....	24
4.5.1 <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....	24
4.5.2 <i>Escheria coli</i> .....	25
4.5.3 <i>Haemophilus influenzae</i> .....	25
4.5.4 <i>Weitere gram-negative Aerobier</i> .....	25
4.6 ANAEROBIER .....	25
4.7 ATYPISCHE BAKTERIEN .....	26
<b>5 BILDGEBUNG VIRALER PNEUMONIE.....</b>	<b>26</b>
5.1 INFLUENZAVIRUS .....	26
5.1.1 <i>Influenza-A-Virus H1N1</i> .....	26
5.2 ADENOVIRUS.....	26
5.3 HANTAVIRUS .....	26
5.4 HERPES SIMPLEX VIRUS .....	26
5.5 EBSTEIN-BARR VIRUS.....	26
5.6 MASERNVIRUS.....	26
5.7 RESPIRATORY SYNCYTIAL VIRUS.....	26
5.8 SEVERE ACUTE RESPIRATORY SYNDROME.....	26
5.9 MIDDLE EAST RESPIRATORY SYNDROME .....	26
<b>6 BILDGEBUNG PILZPNEUMONIE.....</b>	<b>26</b>
<b>7 COVID-19 IN DER BILDGEBUNG.....</b>	<b>28</b>

7.1	RADIOLOGISCHE MANIFESTATION .....	33
7.2	SPEZIELLE RADIOMORPHOLOGIE .....	34
7.2.1	<i>Milchglasinfiltrate</i> .....	34
7.2.2	<i>Konsolidierungen</i> .....	34
7.2.3	<i>Retikuläres Muster</i> .....	35
7.2.4	<i>Crazy paving-Muster</i> .....	36
7.2.5	<i>Bronchopneumogramm</i> .....	37
7.2.6	<i>Luftwegveränderungen</i> .....	37
7.2.7	<i>Pleuraveränderungen</i> .....	38
7.2.8	<i>Weitere radiologische Veränderungen bei COVID-19</i> .....	39
7.3	COVID-19 IM VERGLEICH ZU ANDEREN VIRALEN PNEUMONIEN .....	41
7.4	ZEITLICHE ENTWICKLUNG DER BILDMORPHOLOGIE BEI COVID-19 .....	41
<b>8</b>	<b>KOMPLIKATIONEN .....</b>	<b>44</b>
8.1	PULMONALATERIENEMBOLIE .....	44
8.2	KAVITATIONEN/NEKROSEN .....	45
8.3	ABSZESS .....	45
8.4	PNEUMATOZELE .....	46
8.5	PLEURAEMPYEM .....	46
<b>9</b>	<b>NICHT-INFEKTIÖSE DIFFERENTIALDIAGNOSEN .....</b>	<b>48</b>
9.1	LUNGENÖDEM .....	48
9.2	ASPIRATION .....	49
9.3	HÄMORRHAGISCHE INFARZIERUNG .....	49
9.4	DIFFUS ALVEOLÄRE EINBLUTUNG .....	49
9.5	MEDIKAMENTENINDUZIERTER LUNGENSCHÄDEN .....	49
9.6	ADENOKARZINOM .....	50
9.7	LYMPHOM .....	50
9.8	ORGANISIERENDE PNEUMONIE .....	50
9.9	SARKOIDOSE .....	51
9.10	AKUT EOSINOPHILE PNEUMONIE .....	51
9.11	EXOGEN ALLERGISCHE ALVEOLITIS .....	51
9.12	ATELEKTASE .....	51
<b>10</b>	<b>BILDGEBUNG ZUR PNEUMONIEDIAGNOSTIK .....</b>	<b>52</b>
10.1	THORAXRÖNTGEN .....	52
10.1.1	<i>Infiltratsnachweis im Thoraxröntgen</i> .....	53
10.1.2	<i>Follow-up Röntgen</i> .....	53
10.2	CT-THORAX .....	54
10.2.1	<i>CT-Indikationen</i> .....	55
10.3	ERREGERDIAGNOSTIK MIT HILFE DER BILDGEBUNG .....	55
<b>11</b>	<b>STELLENWERT DER CT BEI COVID-19 .....</b>	<b>56</b>
11.1	DIAGNOSE VON COVID-19 MITTELS RT-PCR .....	56
11.2	DIAGNOSE VON COVID-19 MITTELS COMPUTERTOMOGRAPHIE .....	57
11.2.1	<i>CT-Score</i> .....	58
11.2.2	<i>COVID-RADS</i> .....	59
11.2.3	<i>Künstliche Intelligenz zur COVID-19 Diagnostik</i> .....	61
<b>12</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>64</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>1</b>

## Glossar und Abkürzungen

°C	Grad Celsius
µl	Mikroliter
%	Prozent
A.	Arteria
ACR	American College of Radiology
ARDS	Acute Respiratory Distress Syndrome
AUC	Area Under Curve
CAP	Community-acquired pneumonia
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease
COVID-19	Coronavirus disease 2019
CRP	C-reaktives Protein
CT	Computertomographie
EBV	Ebstein-Barr Virus
HAP	Hospital-acquired pneumonia
HIV	Human Immunodeficiency Virus
HRCT	High-Resolution-Computertomographie
HSV	Herpes-simplex Virus
KI	Künstliche Intelligenz
MERS-CoV	Middle East Respiratory Syndrome-Coronavirus
Mm	Millimeter
NHAP	Nursing home-acquired pneumonia
p.-a.	posterior-anterior
PAE	Pulmonalarterienembolie
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
RADS	Reporting and Data System
RNA	Ribonucleic acid
ROC	Receiver Operating Characteristics
Rr.	Rami
RSV	Respiratory Syncytial Virus
RT-PCR	Reverse-Transkriptase-Polymerase-Kettenreaktion
SARS-Cov-2	Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus-2
VAP	Ventilator-acquired pneumonia
Vv.	Venae

WHO..... World Health Organization

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Bronchienaufteilung und bronchopulmonale Segmente (Fritsch H., 2009: 125).....	6
Abbildung 2 Lobärpneumonie im rechten Oberlappen .....	18
Abbildung 3 Beidseitige Bronchopneumonie .....	20
Abbildung 4 Interstitielle Pneumonie (Reiser et al., 2017: 196).....	22
Abbildung 5 CT-Bild einer COVID-19 Pneumonie mit peripheren Konsolidierungen und milchglasartigen Eintrübungen (axiale Ebene).....	33
Abbildung 6 CT-Bild einer COVID-19 Pneumonie mit peripheren Konsolidierungen und milchglasartigen Eintrübungen (koronare Ebene).....	34
Abbildung 7 Veränderungen der COVID-19 Pneumonie (Shi et al., 2020: 430) .....	43

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Milchglasinfiltrate (Ye et al., 2020: 4383) .....	34
Tabelle 2 Konsolidierung (Ye et al., 2020: 4383) .....	35
Tabelle 3 Retikuläres Muster (Ye et al., 2020: 4383) .....	36
Tabelle 4 Crazy paving-Muster (Ye et al., 2020: 4383).....	36
Tabelle 5 Bronchopneumogramm (Ye et al., 2020: 4383).....	37
Tabelle 6 Atemwegsveränderungen(Ye et al., 2020: 4383) .....	38
Tabelle 7 Pleuraveränderungen (Ye et al., 2020: 4383).....	39
Tabelle 8 Weitere radiologische Veränderungen(Ye et al., 2020: 4383) .....	41
Tabelle 9 CT-Score (Francone et al., 2020) .....	59
Tabelle 10 COVID-RADS (Salehi et al., 2020:3).....	61

## **Zusammenfassung**

Aufgrund aktueller Entwicklungen der COVID-19 Pandemie ist die Bildgebung bei Pneumonien immer wieder Gegenstand neuerer Forschungen.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Rolle der Bildgebung bei infektiösen Lungenerkrankungen zu beschreiben. Der Fokus liegt dabei auf die Infektion mit dem SARS-CoV-2. Die Frage ist, zu welchen erregerabhängigen radiologischen Manifestationen es kommen kann und welche Rückschlüsse dabei auf den Erregertyp zulässig sind. Es werden die radiologischen Erkennungsmerkmale der häufigsten Komplikationen präsentiert und die zulässigen Differentialdiagnosen aufgrund ähnlicher Bildmorphologien beschrieben. Dabei ist vor allem auf vorhandene Studien aus PubMed zurückgegriffen worden.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Entzündung als Lobärpneumonie, Bronchopneumonie oder interstitielle Pneumonie manifestieren kann. Speziell bei einer Coronavirusinfektion kommt es meist zu Milchglasinfiltraten, Konsolidierungen, crazy paving-Muster und verdickten Interlobularsepten. Die Veränderungen sind bevorzugt bilateralen, peripher und subpleural lokalisiert. Die radiologischen Kennzeichen ändern sich im Krankheitsverlauf. Bei einer COVID-19 Erkrankung lassen sich im Verlauf vier Stadien der Bildmorphologie unterscheiden.

Auf dieser Grundlage zeigt sich, dass die Bildgebung im Hinblick auf die Beurteilung des Krankheitsverlaufs und des Therapieansprechens wichtig ist. Es lassen sich Komplikationen und Differentialdiagnosen frühzeitig erkennen und somit das weitere klinische Management beeinflussen. Durch die CT-Bildgebung ist eine exakte Erregerzuordnung nicht möglich und die RT-PCR das Mittel der Wahl zur definitiven COVID-19 Diagnose.

## **Abstract**

Due to the current situation caused by the COVID-19 pandemic, the imaging of pneumonia frequently is the subject of new research.

The aim of this study is to describe the role of imaging in the field of infectious lung diseases. The focus is on infections with SARS-CoV-2. The object of the research analyzes the occurrence of pathogen-dependent radiological manifestations as well as the conclusions drawn on the pathogen type. The following study describes the radiological identifying features of the most common complications. Additionally, appropriate differential diagnoses based on similar image morphologies are discussed. Therefore, existing studies from PubMed were reviewed.

The results show that the inflammation can manifest as lobar pneumonia, bronchopneumonia, or interstitial pneumonia. The coronavirus infection shows imaging features of ground glass opacity, consolidations, erratic paving patterns and interlobular septal thickening. The changes usually occur bilateral, peripheral and subpleural. The radiological characteristics change as the disease progresses. In the case of the COVID-19 disease, four stages of the image morphology can be distinguished.

Based on this, imaging is important in assessing disease progression and therapeutic response. Complications and differential diagnoses can be recognized at an early stage and thus influence further clinical management. CT imaging does not allow an exact pathogen allocation; thus, RT-PCR is the method of choice for a definitive COVID-19 diagnosis.

# 1 Einleitung

In Europa sterben jährlich etwa 280.000 Personen an einer Pneumonie (Marshall et al., 2018). Die Ursachen für den infektiösen Befall der Lunge sind meist Mikroorganismen wie Bakterien, Pilze oder Viren. Aktuell ist als mögliche Infektionsursache das SARS-COV-2 Virus von besonderer Bedeutung. Seit dem Ausbruch der COVID-19 Pandemie sind zahlreiche Todesfälle auf eine Infektion mit diesem Virus zurückzuführen (WHO, 2021). Die Bildgebung spielt hier in Anbetracht auf die Diagnostik als auch in der Prognoseabschätzung und für den klinischen Behandlungsablauf eine große Rolle. Sie ermöglicht Komplikationen und Differentialdiagnosen frühzeitig zu erkennen und somit das Therapiemanagement zu beeinflussen.

Die folgende Arbeit beschäftigt sich mit der Rolle der Bildgebung von infektiösen Lungenkrankheiten unter besonderer Berücksichtigung von COVID-19. Insbesondere im wissenschaftlichen Bereich sind aufgrund der aktuellen COVID-19 Pandemie zahlreiche Studien im Hinblick auf die Bildgebung infektiöser Lungenkrankheiten publiziert worden. Ziel dieser Arbeit ist es, einen Überblick und Gegenüberstellung der vorhandenen Literatur aus diesem Gebiet aufzuzeigen. Es werden die Möglichkeiten und Grenzen in der Bildgebung von infektiösen Lungenkrankheiten unterbreitet.

Das Kapitel, die anatomischen Grundlagen der Lunge, soll für das Verständnis der Bildgebung und für die Nachvollziehbarkeit der Krankheitsdynamik helfen. Im darauffolgenden Kapitel werden die klinische Klassifikation einer Pneumonie und die möglichen pathomorphologischen Erscheinungsbilder sowie das potenzielle Erregerspektrum beleuchtet. Diese Grundlagen sind notwendig, um die Ergebnisse der Gegenüberstellung einzelner Publikationen besser interpretieren zu können.

Es folgt der Hauptteil mit einer Zusammenfassung einzelner Literaturquellen bezogen auf das radiomorphologische Erscheinungsbild einer Lobarpneumonie, Bronchopneumonie und interstitiellen Pneumonie. Hierbei wird die Fragestellung behandelt, welche radiologischen Muster bei unterschiedlichen Erregern auftreten und welche Konsequenz diese in der Behandlung mit sich bringen können. Aus aktuellem Anlass wird hier die Frage nach dem radiomorphologischen Erscheinungsbild einer COVID-19 Pneumonie näher betrachtet und die Unterschiede einzelner Publikationen tabellarisch aufgezeigt. Die Frage zu möglichen Unterschieden im Hinblick auf andere Pneumonien viraler Genese wird in diesem Kapitel beantwortet und die zeitliche Entwicklung der Bildmorphologie beschrieben. Die häufigsten Komplikationen und nicht-infektiösen Differentialdiagnosen in der Bildgebung werden aufgezeigt. Unter anderem wird der Aspekt der Bildgebung zur Pneumoniediagnostik

beleuchtet und die Möglichkeit zur SARS-COV-2 Diagnostik mithilfe einer CT-Untersuchung diskutiert. Die Diagnose von COVID-19 mithilfe der CT-Bildgebung wird aufgrund der Relevanz gesondert betrachtet. Hierfür werden die Verwendung eines CT-Scores zur Bestimmung des Ausmaßes der Lungenbeteiligung sowie eine neue einheitliche Terminologie mittels COVID-RADS präsentiert und die klinische Relevanz diskutiert. Die vorliegende Diplomarbeit endet mit der Frage nach dem Einsatz von künstlicher Intelligenz im Hinblick auf die diagnostische Leistung bei einer COVID-19 Pneumonie.

## **1.1 Anatomische Grundlagen der Lunge**

### **1.1.1 Form und Abschnitte**

Das Organ ist paarig angelegt und besteht aus einem rechten Lungenflügel (Pulmo dexter) und einem linken Lungenflügel (Pulmo sinister). Die Lungenflügel sind kegelförmig aufgebaut, wobei die Basis des Kegels (Facies diaphragmatica) dem Zwerchfell konkav zugekehrt ist. Die Fläche, welche medial an das Mediastinum angrenzt, ist optisch eingedellt und wird als Facies mediastinalis bezeichnet. Der Abschnitt, welcher den Rippen zugewandt ist, heißt Facies costalis. Die Spitze des Kegels wird als Apex pulmonis bezeichnet, dieser ragt apikal einige Zentimeter über die obere Thoraxapertur hinaus (Aumüller et al., 2017).

### **1.1.2 Bronchienaufteilung**

#### **1.1.2.1 Tracheobronchialsystem**

Die Trachea dient dem Transport der Atemluft zwischen den oberen Atemwegen und der Lunge. Sie teilt sich bei der Bifurcatio trachea, auf Höhe des vierten Brustwirbelkörpers, in den Bronchus principalis dexter und den Bronchus principalis sinister. Die Höhe dieser Teilungsstelle ist jedoch altersabhängig, so liegt sie bei Neugeborenen auf Höhe des zweiten und bei älteren Menschen auf Höhe des siebenten Brustwirbels. Durch den charakteristischen elastischen Wandaufbau können sich die Trachea und die Hauptbronchien bei der Inspiration verlängern. Der linke Hauptbronchus biegt mit einem Winkel von 35° von der Verlaufsrichtung der Trachea ab und ist so stärker abgewinkelt als der rechte, der einen Winkel von 20° aufweist.

Die Hauptbronchien verzweigen sich bis zu den Alveolen immer weiter, ihnen folgen die arteriellen Gefäße, zusammen bilden sie ein stark verzweigtes Netz mit der Optik eines Baumes. Der Bronchialbaum wird in einen proximalen luftleitenden und einen distalen gasaustauschenden Abschnitt gegliedert.

Beginnend bei der Trachea teilen sich die Bronchi principales (Hauptbronchien) ab. Der Bronchus principalis sinister teilt sich weiter in zwei und der Bronchus principalis dexter in drei Bronchi lobares (Lappenbronchien), diese Bronchien formen die Lobi pulmonales (Lungenlappen). Auf der rechten Seite entsteht so der Lobus superior, inferior und medius und auf der linken Seite der Lobus superior und inferior. Zwischen den Lungenlappen liegen die Fissurae interlobares, sie sind von der Pleura viszeralis umgeben und ermöglichen so eine Verschiebung während der Atemexkursion. Sowohl im linken als auch im rechten Lungenflügel findet man die Fissura obliqua, die den Unterlappen abtrennt (Aumüller et al., 2017). Sie verläuft schräg von dorsokraniel nach ventrokaudal bis zur Lungenbasis (Reiser et al., 2017). Da es bei der rechten Lunge noch einen dritten Lappen gibt, findet man hier zusätzlich die Fissura horizontalis, welche parallel zur 4. Rippe bis zur Fissura obliqua verläuft und somit den Oberlappen vom Mittellappen trennt (Aumüller et al., 2017). Der Mittellappen nimmt daher eine keilförmige Struktur an. Vereinzelt kommt es zur Ausbildung eines weiteren Lungenlappens, dem Pseudolobus venae azygos. Er kommt dann zustande, wenn die Vena azygos rechts auf Höhe der Bifurcatio tracheae Lungengewebe einschnürt.

#### **1.1.2.2 Bronchopulmonale Segmente**

Teilen sich die Bronchien weiter auf, werden sie zu Bronchi segmentales (Segmentbronchien), diese formen die Segmenta bronchopulmonalia (Lungensegmente) (Aumüller et al., 2017). Aus dem Lobus superior der Pulmo dexter gehen drei Segmentbronchien hervor, aus dem Lobus medius zwei und aus dem Lobus inferior fünf. Aus dem Lobus superior der Pulmo sinister gehen zwei Bronchien hervor, die sich wieder zu je zwei Segmentbronchien aufteilen. Die oberen zwei versorgen den Oberlappen und die unteren zwei Segmentbronchien die Lingula. Aus dem Lobus inferior des linken Lungenflügels gehen vier Segmentbronchien hervor (siehe Abbildung 1) (Reiser et al., 2017).

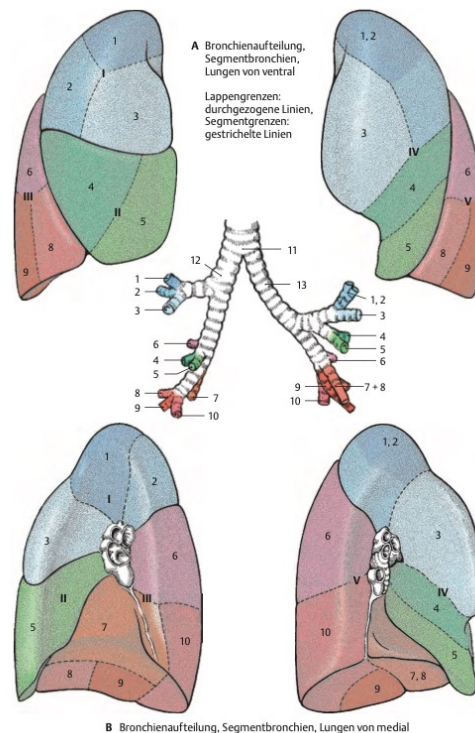


Abbildung 1 Bronchienaufteilung und bronchopulmonale Segmente (Fritsch H., 2009: 125)

Die einzelnen Lungensegmente werden durch Bindegewebssepten und darin verlaufende Segmentvenen voneinander getrennt. Die Lungensegmente sind keilförmig und ihre Spitze ragt Richtung Mediastinum. In die Spitze treten der Segmentbronchus und die Segmentarterie ein. Im linken und rechten Lungenflügel befinden sich je 10 Segmente. Es kann jedoch vorkommen, dass links das 7. Segment nicht ausgebildet ist und dort nur 9 Segmente vorhanden sind (Aumüller et al., 2017).

Nach dem Bronchus segmentalis zweigen sich die Bronchien in die Bronchioli lobulares ab, das ist die erste Generation der Bronchioli. Die Bronchioli lobulares bilden die Lobuli pulmonales (Lungenläppchen), die auch sekundäre Lobuli genannt werden. Die Lungenläppchen werden durch Bindegewebe getrennt, welches jedoch nur bei pathologischer Veränderung, wie subpleurale Rußablagerung bei RaucherInnen, makroskopisch sichtbar ist. In den Lungenläppchen sind die Azini angeordnet, sie bilden die letzte Einheit des Lungengewebes und werden durch die Bronchioli terminales gebildet. Die Bronchioli terminales verästeln sich weiter zu den Bronchioli respiratorii. Von hier aus wird die Luft über kleine Gänge (Ductuli alveolares) in die Sacculus alveolaris geleitet und letztlich zu den Alveolen weitergeführt. Ab dem Bronchiolus respiratorius beginnt der respiratorische Abschnitt des Bronchialbaums (Aumüller et al., 2017).

### **1.1.2.3 Abbildung des Bronchialbaumes**

Im Röntgen sind meist nur die zentralen Anteile des Bronchialbaums sichtbar, da die peripheren Anteile lufthaltig sind und ihre Wände zu dünn sind, um schattengebend zu sein. Somit lassen sich im Röntgenbild meist nur die Trachea, der Bronchus principalis und der Bronchus lobaris erkennen. Werden die Lappenbronchien, oder vereinzelt auch Segmentbronchien tangential getroffen, imponieren sie als streifige Aufhellung, die von einem zarten Streifenschatten umgeben werden. Werden die Bronchien orthograd abgebildet, sind sie als Ringschatten mit zentraler Aufhellung erkennbar.

Im CT hingegen lassen sich mit hochauflösenden Schichten auch die Lungenläppchen darstellen (Reiser et al., 2017). Jedoch ist es selbst im high resolution CT (HRCT) nicht möglich die Interlobulärsepten oder die Bronchialwand des Lungenläppchen darzustellen. Abbildbar sind lediglich Strukturen mit mindestens 0,5mm Durchmesser, wie die Pulmonalarterie im Zentrum und die Vene in der Peripherie des Lobulus. Lassen sich Interlobulärsepten darstellen, liegt dem meist eine Pathologie zugrunde. Eine Ausnahme bilden die ventralen Septen in der Lingula, dem Mittellappen und im 8. Segment, sie sind vereinzelt auch bei gesunden Patient\*innen darstellbar (Wormanns et al., 2017).

### **1.1.2.4 Lungengefäße und Lymphabfluss**

In der Lunge liegen einerseits die Blutgefäße für die Versorgung der Lunge selbst, die Vasa privata, und andererseits die Gefäße für die Versorgung des ganzen Körpers, die Vasa publica.

### **1.1.2.5 Vasa publica**

Aus dem Truncus pulmonalis zweigt die Arteria pulmonalis sinistra und dextra ab. Die Lungenarterie teilt sich entlang des Bronchialbaumes auf und wird so zur Lappenarterie und Segmentarterie, sie verzweigt sich immer weiter bis zu den Alveolen. Aus dem Kapillarnetz der Alveolen wird das sauerstoffreiche Blut gesammelt und über die Lungenvenen, welche zwischen den Segmenten verlaufen, zurück zum Herzen transportiert (Aumüller et al., 2017).

### **1.1.2.6 Vasa privata**

Der arterielle Teil der Vasa privata besteht aus den Rami bronchialis, diese stammen links meist direkt aus der thorakalen Aorta. Die Rami bronchialis für den rechten Lungenflügel entspringen meist aus der rechten 3. Interkostalarterie, der genaue Ursprung ist jedoch variabel. Die Bronchialarterien sind normalerweise im CT nicht erkennbar, außer sie sind

dilatiert, wie es zum Beispiel bei Bronchiektasen vorkommt (Wormanns et al., 2017). Das venöse Blut fließt über die Venae bronchiales in die Vena azygos und Vena hemiazygos ab.

### **1.1.2.7 Lymphabfluss**

Der Lymphabfluss der Lunge funktioniert über zwei getrennte Systeme. Ein Teil der Lymphgefäße folgt den Arteriae pulmonales, sie bilden das pulmonale oder auch peribronchioläre Lymphsystem. Die regionären Lymphknoten befinden sich hier jeweils bei der Aufzweigung der Segment- und Lappenbronchien als auch paraösophageal. Die Sammellymphknoten befinden sich oberhalb und unterhalb der Bifurcatio tracheae. Das zweite System verläuft subpleural und folgt der Vena pulmonalis.

### **1.1.3 Lungenhilum**

Die Facies mediastinalis der Lunge beinhaltet das Lungenhilum. Hier verlaufen alle wichtigen Strukturen der Lunge, sie werden in ihrer Gesamtheit als Radix pulmonis bezeichnet. Die Radix pulmonis besteht aus Bronchus principalis, A. pulmonalis, Vv. pulmonales, Rr. bronchiales, Vv. bronchiales, Lymphgefäßen, Lymphknoten und Nerven (Aumüller et al., 2017). Das Röntgenbild zeigt die Summe dieser Strukturen (Wormanns et al., 2017). Die Anordnung der ein- und austretenden Strukturen ist links und rechts unterschiedlich. Auf beiden Seiten liegen die Vv. pulmonales ventrokaudal des Bronchus. Am rechten Hilum liegt der rechte Oberlappenbronchus über der rechten A. pulmonalis, das entspricht einer eparteriellen Lage. Hingegen verläuft am linken Hilum der Hauptbronchus unter der linken A. pulmonalis, das entspricht einer hyperarteriellen Lage (Aumüller et al., 2017). Bei der Röntgenabbildung der Lunge kennzeichnen die Pulmonalarterien das Erscheinungsbild der Lungenhila. Die Pulmonalvene und die Lymphknoten sind in der Darstellung bei dem\*der Gesunden nicht prominent. Die Bronchien am Lungenhilum sind dann im Röntgen abbildbar, wenn sie orthograd getroffen werden. Das rechte Lungenhilum steht in der Regel ein bis zwei Zentimeter tiefer als das linke Hilum und in der p.-a.-Aufnahme sind die Hilumkonturen nach lateral konvex (Reiser et al., 2017).

### **1.1.4 Pleura und Recessus pleurales**

Die Pleura besteht aus zwei Blättern, der Pleura parietalis und viszeralis. Die Pleura parietalis kleidet die Brusthöhle aus und teilt sich in eine Pars diaphragmatica, Pars costalis, Pars mediastinalis und Pleura cervicalis mit der Cupula pleurae. Die Pleura viszeralis bedeckt die Lungenoberfläche. Die beiden Blätter gehen im Bereich des Mesopneumoniums ineinander über. Am Übergang zwischen den unterschiedlichen Abschnitten der Pleura

parietalis bilden sich Aussackungen, die Recessus pleurales. In diesen Umschlagfalten kann sich die Lunge bei der Inspiration ausdehnen. Der größte Recessus ist der Recessus costodiaphragmaticus, er befindet sich am Übergang von der Pars diaphragmatica zur Pars costalis. Dieser ist von besonderer Bedeutung, da sich hier bei Pleuraergüssen Flüssigkeit sammelt und diese bei dem\*der stehenden Patient\*Patientin im Röntgen oder Ultraschall abbildbar ist (Aumüller et al., 2017). Die Pleura ist bei einer Übersichtsaufnahme nur dann sichtbar, wenn sie krankhaft verändert ist oder der Pleuraspalt erweitert ist. Die Lappengrenzen, an denen es zu Pleuraduplikaturen kommt, sind am Röntgenbild nur sichtbar, wenn sie tangential getroffen werden. Die Fissura obliqua ist, bedingt durch den schrägen Verlauf, meist nur im seitlichen Strahlengang erkennbar. Die Fissura horizontalis ist aufgrund des horizontalen Verlaufs sowohl im seitlichen Strahlengang als auch in der p.-a.-Aufnahme erkennbar (Reiser et al., 2017).

### **1.1.5 Lungenbindegewebe**

Das Bindegewebe der Lunge teilt sich in ein axiales und ein peripheres Bindegewebe. Das axiale Bindegewebe beginnt am Hilum und verläuft entlang der Bronchien und der A. pulmonalis, bis es sich in das Netzwerk der Ductus alveolares fortsetzt. Das periphere Bindegewebe nimmt seinen Ursprung subpleural und bedeckt die Oberfläche der Lungenlappen, es läuft zwischen die Lappen und Segmente hinein und trennt diese unvollständig. Beide Bindegewebstypen verbinden sich über die Inter-alveolarepten (septales Bindegewebe). Am Hilum treffen sich beide Bindegewebsysteme und setzen sich in das mediastinale Bindegewebe fort (Matthys H., 2008, Fritsch H., 2009).

## **1.2 Infektiöse Lungenparenchymerkrankungen**

### **1.2.1 Epidemiologie**

Als Pneumonie wird eine Entzündung des Alveolarraumes und/oder des Interstitiums beschrieben. Diese kann akut oder chronisch verlaufen (Herold, 2019). Die Ursache ist meist ein infektiöser Befall des Lungenparenchyms durch Mikroorganismen (Köhler et al., 2015). In Europa versterben jährlich etwa 280.000 Personen an einer infektiösen Lungenparenchymerkrankung (Marshall et al., 2018). Alleine in Österreich sind im Jahr 2018 1.293 Personen an einer Pneumonie verstorben, das entspricht 1,5 % der Gesamtsterbefälle (Statistik Austria, 2019). Die Mortalität und Inzidenz hängen jedoch stark mit dem Alter zusammen. So liegt die höchste Inzidenz bei Personen unter 5 und über 75 Jahren (Ruuskanen et al., 2011). Die Mortalitätsrate variiert, je nach untersuchter Gruppe und Definition von Mortalität. So sterben ältere Menschen oftmals mit und nicht an einer Pneumonie, da sie bereits zahlreiche andere Grunderkrankungen haben. Bei ambulanten Patient\*innen mit einer Pneumonie geht man von einer Mortalitätsrate <1% aus und bei stationären Patient\*innen von circa 12% (Köhler et al., 2015).

### **1.2.2 Klinische Klassifikation**

Die Einteilung der Pneumonien erfolgt mit Hilfe der sogenannten „Pneumonie-Triade“. Zur Gliederung der Triade wird die Immunkompetenz des\*der Patient\*Patientin und der Ort der Infektion als Kriterium herangezogen. So wird klinisch zwischen ambulant erworbenen (CAP) und nosokomial erworbenen (HAP) Infektionen unterschieden. Je nach Ort des Erwerbs ändert sich das Erregerspektrum, der klinische Verlauf und die Begleiterkrankungen. Pneumonien bei immunsupprimierten Patient\*innen werden aufgrund der Komplexität, anderen Verläufen und unterschiedlichen Behandlungen als eigenständige Gruppe definiert (S.Ewig, 2016, Köhler et al., 2015).

#### **1.2.2.1 CAP**

Eine Community-acquired pneumonia (CAP) ist definiert als eine Pneumonie bei immunkompetenten Personen, welche außerhalb des Krankenhauses erworben wurde. Zu dieser Gruppe zählen auch infektiöse Lungenparenchymerkrankungen welche im Pflegeheim erworben wurden, die Nursinghome-acquired pneumonia (NHAP) (S.Ewig, 2016).

### **1.2.2.2 HAP**

Definiert wird eine nosokomiale Pneumonie oder auch Hospital-acquired pneumonia (HAP) als eine Pneumonie bei immunkompetenten Personen, welche >48h nach Krankenhausaufnahme oder innerhalb von 3 Monaten nach vorrangegangener Hospitalisierung auftritt (S.Ewig, 2016). Die beatmungsassoziierte Pneumonie, oder auch Ventilator-associated pneumonia (VAP) gehört ebenfalls zu den nosokomial erworbenen Pneumonien und ist definiert als eine Pneumonie, welche bei beatmeten Patient\*innen auftritt (Herold, 2019).

### **1.2.2.3 Pneumonie bei Immunsuppression**

Stehen Patient\*innen unter Immunsuppression kommt es bei Pneumonien zu einem abweichenden Erregerspektrum und zu einem höheren Risiko für opportunistische Erreger. Typische Gegebenheiten bei Patient\*innen mit schwerer Immunsuppression sind Neutropenie, iatrogen-medikamentöse Immunsuppression, Transplantation solider Organe, Stammzelltransplantation, HIV-Infektion, Antikörpermangelsyndrom und angeborene Immundefekte (S.Ewig, 2016).

## **1.2.3 Pathomorphologisches Erscheinungsbild**

Je nach Lokalisation der Entzündung wird eine alveoläre von einer interstitiellen Pneumonie unterschieden.

### **1.2.3.1 Alveoläre Pneumonie**

Bei einer alveolären Pneumonie kommt es zu einem entzündlichen Exsudat in den Alveolen. Sie kann je nach Art der Ausbreitung in eine Bronchopneumonie und eine Lobärpneumonie unterteilt werden. Zusätzlich kann unter pathogenetischen Gesichtspunkten eine primäre von einer sekundären Pneumonie abgegrenzt werden. Die sekundäre Pneumonie ist definiert als eine Pneumonie bei vorbestehender pulmonaler oder kardialer Erkrankung. Häufig wird eine alveoläre Pneumonie durch Bakterien und Pilze hervorgerufen. In der Klinik präsentiert sie sich meist mit Fieber, Husten, Auswurf, Pleuraschmerzen und einem pulmonalen Infiltrat (Höfler et al., 2019, Herold, 2019).

Bei einer Bronchopneumonie beginnt die Entzündung herdförmig und es treten zeitgleich unterschiedliche Stadien der Entzündung auf. Am Beginn der Erkrankung zeigen sich einzelne alveolär-pneumonische Herde, welche später konfluieren können. Die Ausbreitung findet vertikal über die Atemwege statt und befällt so weite Areale der Lunge. Auf der Ebene des Lobulus kommt es dann zu einer alveolären Füllung. Die Bronchopneumonie wird daher

auch als Herdpneumonie oder lobuläre Pneumonie bezeichnet (Höfler et al., 2019, Herold, 2019, Lorenz et al., 2004).

Eine andere Ausbreitungsart findet man bei der Lobärpneumonie, hier tritt die Entzündung gleichförmig und zeitgleich in großen Arealen auf. Oftmals sind ganze Lungenlappen befallen. Es kommt zu einer intraalveolären Ausbreitung der Infektion bis hin zum Ausfüllen eines ganzen Lobus jedoch unter Respektierung der anatomischen Grenzen. Die Lobärpneumonie zeigt im Laufe der Erkrankung 6 charakteristische Stadien: Anschoppung, rote Hepatisation, graue Hepatisation, gelbe Hepatisation, Lyse und schließlich Restitutio ad integrum (Höfler et al., 2019, Herold, 2019, Lorenz et al., 2004).

### **1.2.3.2 Interstitielle Pneumonie**

Bedingt durch eine Infektion mit Viren und manchen Bakterien kann das Infiltrat bei einer Lungenentzündung auch interstitiell betont sein. Es kann hier zu einer zarten, homogenen Infiltration in der Lungenperipherie kommen. Die Entzündung kann sich akut oder chronisch äußern und in eine Lungengerüstfibrose übergehen. Bei der akuten interstitiellen Pneumonie wird eine septale, peribronchioläre und fibrosierende Form unterschieden. Bei der postinfektiösen organisierenden interstitiellen Pneumonie kommt es im Zuge der Erkrankung zu einer ausgedehnten Proliferation von Granulationsgewebe in den kleinen Atemwegen und Alveolargängen mit einer chronischen Entzündungsreaktion der benachbarten Alveolen. Die klinischen Zeichen dieser Pneumonie sind eine Belastungsdyspnoe und später Ruhedyspnoe, unproduktiver Husten eine restriktive Lungenfunktionsdiagnostik und ein pulmonalarterieller Hypertonus (Höfler et al., 2019, Lorenz et al., 2004, Herold, 2019).

### **1.2.4 Erregerspektrum**

Je nach Entstehungsort, ob CAP oder HAP variiert die Häufigkeit unterschiedlicher Erregertypen.

#### **1.2.4.1 Erreger einer CAP**

Bei einer ambulanten Infektion, lässt sich in bis zu 50% der Fälle das Bakterium *Streptococcus pneumoniae* nachweisen. In fast 10% sind *Haemophilus influenzae*, Mykoplasmen, Enterobakterien oder Viren des Respirationstraktes die Ursache einer CAP. Zu den häufigsten respiratorischen Viren zählen das Respiratory-syncytial Virus, Adenoviren, Influenzaviren, Rhinoviren, Parainfluenza Virus, Metapneumovirus und das Coronavirus. An nächster Stelle, in weniger als 5 % der Fälle, stehen *Legionella*

pneumophila, Staphylococcus aureus oder Chlamydomphila pneumoniae als infektiöse Ursache einer Erkrankung. In seltenen Fällen kann es auch zu Mischinfektionen kommen und in bis zu 25% bleibt die Erregerfrage ungeklärt (Herold, 2019, Wu et al., 2015).

Seit Anfang 2020 ist immer häufiger das Coronavirus als Ursache einer Pneumonie nachweisbar. Der Grund dafür ist das neuartige Virus SARS-CoV-2 (Park, 2020).

#### **1.2.4.2 SARS-CoV-2**

Das Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus-2 (SARS-CoV-2) wurde erstmals im Dezember 2019 als Ursache zahlreicher Pneumonien in der Provinz Wuhan, China entdeckt. Die Weltgesundheitsorganisation benennt die Erkrankung Coronavirus-Disease 2019, kurz COVID-19. Seit März 2020 deklariert die WHO den Ausbruch der Erkrankung als eine Pandemie. Von China ausgehend hat sich das Virus global verbreitet und hat bis zum 3. August 2021 über 198 Millionen Menschen infiziert und mehr als 4,2 Millionen Todesopfer gefordert. In Österreich sind bis zum 3. August 2021 über 655 000 bestätigte Fälle nachgewiesen worden und 10 500 Personen an COVID-19 verstorben. Der Infektionsweg findet hauptsächlich über Tröpfcheninfektion und direkten Kontakt statt (Park, 2020, WHO, 2021). Die Inkubationszeit beträgt meist zwischen 2 und 14 Tagen und im Durchschnitt dauert es 5,1 Tage bis die ersten Symptome auftreten (Lauer et al., 2020). Die Basisreproduktionszahl  $R_0$  liegt zwischen 1,4-2,5 (Rabi et al., 2020). Typische Symptome der COVID 19 Erkrankung sind Fieber, Husten, Halsschmerzen, Dyspnoe, allgemeines Krankheitsgefühl, Müdigkeit, Kopfschmerzen, Myalgien und Geschmacksverlust. Infizierte Personen können auch symptomlos bleiben. In den meisten Fällen (81%) zeigen die Patient\*innen keine oder nur eine milde Pneumonie, bei bis zu 14% der Patient\*innen kommt es zu einer schweren Pneumonie und 5% der Infizierten entwickeln ein kritisches Zustandsbild. Bei letzteren Personen kann es aufgrund der Infektion zu einer Pneumonie, einem ARDS bis hin zu einem Multiorganversagen kommen. Am häufigsten sind Personen  $\geq 60$  Jahren und Personen mit kardiovaskulären, zerebrovaskulären Vorerkrankungen sowie Diabetiker\*innen von einer solchen Krankheitsentwicklung betroffen. Zusätzlich kann es im Zuge der Erkrankung zu einer Co-Infektionen mit Bakterien und Pilzen kommen, was das klinische Bild weiter verschlechtert (Harapan et al., 2020).

Der Fall-Verstorbenen-Anteil bei hospitalisierten Patient\*innen liegt zwischen 4-11% und die durchschnittliche Fallsterblichkeit wird zwischen 2-3% angenommen. Der Nachweis des Virus erfolgt mittels molekularen Tests. Die Therapiemöglichkeiten sind nach momentanen

Wissenstand supportiv und symptomatisch (Wu and McGoogan, 2020, Singhal, 2020, Rabi et al., 2020).

#### **1.2.4.3 Erreger einer HAP**

Das Erregerspektrum einer nosokomial erworbenen Pneumonie unterscheidet sich abhängig davon, nach wie vielen Tagen die Erkrankung auftritt und ob Risikofaktoren für multiresistente Keime vorliegen. Tritt die Lungenentzündung beispielweise innerhalb der ersten 4 Tage auf, ähnelt das Erregerspektrum eher dem der ambulant erworbenen Pneumonie. Am häufigsten kommt es zu einer Infektion mit gramnegativen Bakterien. Unter dieser Gruppe sind *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*, *Enterobacteriaceae* und *Haemophilus influenzae* die häufigsten Vertreter. In 20-30% der HAP lassen sich grampositive Erreger als infektiöse Ursache nachweisen. Die wichtigsten grampositiven Erreger einer nosokomialen Infektion sind methicillin-resistente und methicillin-sensible *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae* und *Streptococcus pneumoniae* (Cilloniz et al., 2016). Immer öfter sind jedoch auch bei immunkompetenten Patient\*innen Pilze die Ursache einer Pneumonie. Das liegt zum einen daran, dass die Patient\*innen immer älter werden und zum anderen bewirken lang andauernde Intensivstationaufenthalte eine Immunsuppression und damit ein höheres Risiko für opportunistische Infektionen (Cilloniz et al., 2016, Suerbaum et al., 2016).

Die Beatmungs-assoziierte Pneumonie zeigt ebenfalls ein für sich charakteristisches Erregerspektrum. Hier sind oftmals gramnegative Enterobakterien die Ursache einer Infektion wie beispielsweise *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter spp.* und *Serratia marcescens*. In bis zu 20% ist das Bakterium *Pseudomonas aeruginosa* und bei 25% ist der Erreger *Staphylococcus aureus* als Erreger nachweisbar (Lorenz et al., 2004). Bei 30-70% aller Beatmungs-assoziierten-Pneumonien geht man davon aus, dass mehrere Erreger die infektiöse Ursache der Entzündung sind (Cilloniz et al., 2016, K.Dalhoff, 2017).

#### **1.2.5 Diagnostik**

Die Diagnose einer Pneumonie wird gestellt, wenn das Hauptkriterium und mindestens zwei Nebenkriterien erfüllt sind. Als Hauptkriterium wird ein neu aufgetretenes Infiltrat im Thoraxröntgen in 2 Ebenen bezeichnet. Die Nebenkriterien können Pyrexie/Hypothermie oder Leukozytose/Leukozytopenie sein. Weitere mögliche Nebenkriterien bei der Diagnosestellung sind das Vorhandensein eines eitrigen Auswurfes oder das Auftreten von Rasselgeräusche bei der Auskultation. Ein Nachweis des Erregers ist nur in bestimmten Fällen indiziert. Eine Erregerdiagnostik ist bei einer milden CAP nicht notwendig, anders

bei schwereren Verläufen und Hospitalisierung, hier sollte der definitive Erreger bestimmt werden (Herold, 2019). Besteht zusätzlich der Verdacht auf eine bakterämische Pneumonie ist die Diagnose mittels Blutkultur Goldstandart. Ergänzend kann zur Diagnose und Verlaufsbeobachtung die Thoraxsonografie verwendet werden. Zur weiteren Abschätzung der Prognose bei Patient\*innen mit einer ambulant erworbenen Pneumonie kann der CRB-65-Score verwendet werden. Hier werden Konfusion, Atemfrequenz, Blutdruck und das Alter verwendet, um eine Abschätzung der Mortalität zu tätigen. Bei Patient\*innen, welche an einer HAP erkrankt sind ist es notwendig das Vorhandensein einer Sepsis auszuschließen und zusätzlich kann auf der Intensivstation eine Risikoabschätzung mittels SOFA-Score durchgeführt werden (K.Dalhoff, 2017, S.Ewig, 2016).

## **2 Material und Methoden**

Die vorliegende Diplomarbeit basiert auf einschlägiger Fachliteratur und Publikationen aus der Metadatenbank PubMed. Die Recherche der COVID-19 Literatur bezieht sich auf die Publikationsjahre 2019-2020. Lediglich die Kapitel 11.2.1. CT-Score, 11.2.2. COVID-RADS und 11.2.3. Künstliche Intelligenz zur COVID-19 Diagnostik basieren auf Literaturquellen mit dem Publikationsjahr 2021. Die Literatursuche wurde mithilfe der Schneeballmethode und einer systematischen Recherche durchgeführt. Hierbei wurden überwiegend folgende Schlagwörter zur Suche der Literatur verwendet: COVID-19, Coronavirus Infection, Pneumonia, X-Ray, SARS-CoV-2, Computed Tomography, Community-acquired Pneumonia, Imaging, Artificial Intelligence, CO-RADS, CT-Score. Die quantitativen Informationen bezüglich aktueller Erkrankungsfälle sind aus dem WHO-Dashboard und der Statistik Austria entnommen (WHO, 2021, Statistik Austria, 2019). Es wird eine qualitative Inhaltsanalyse der Literatur durchgeführt und miteinander in Beziehung gesetzt.

### **3 Bildgebung von Pneumonien**

Das Hauptkriterium zur Diagnosestellung einer Pneumonie ist der Nachweis eines neu aufgetretenen Infiltrats in der Bildgebung. Bei vorhandener Klinik und dem Verdacht auf eine infektiöse Lungenerkrankung wird daher ein Thoraxröntgen in zwei Ebenen angefertigt (Bewick et al., 2010, S.Ewig, 2016). Eine infektiöse Lungenerkrankung kann sich in der Bildgebung als eine Lobärpneumonie, Bronchopneumonie oder interstitielle Pneumonie präsentieren (Wormanns et al., 2017, S.Ewig, 2016).

#### **3.1 Radiomorphologisches Erscheinungsbild**

##### **3.1.1 Lobärpneumonie**

###### **3.1.1.1 Pathogenese**

Der Erreger einer Lobärpneumonie schädigt primär die terminalen Lufträume (Alveolen). Das dabei entstehende Ödem breitet sich über die Luftwege und die Kohn'schen Poren auf weite Bereiche des Lungenparenchyms aus und kann so ganze Segmente oder Lungenlappen befallen. Im Anschluss wandern Zellen wie Erythrozyten, Leukozyten und Makrophagen in das betroffene Areal ein und bewirken eine Fibrinakkumulation im Gewebe. Durch das Ödem, die zelluläre Migration und die darauffolgende Fibrinakkumulation kommt es radiomorphologisch zur Konsolidierung der betroffenen Lungenareale (Reiser et al., 2017, Reynolds et al., 2010, Herold and Sailer, 2004, Santiago Ewig, 2015).

###### **3.1.1.2 Bildmorphologie**

Die Pathophysiologie zeigt sich im Röntgenbild als lobär begrenzter Flächenschatten. Die Infiltrate können uni- oder bilateral auftreten. Der betroffene Lappen oder Bereiche davon zeigen sich in der Bildgebung als homogene Konsolidierung. Die Entzündung verläuft entsprechend der Lungenanatomie, somit sind die Verschattungen meist scharf begrenzt und oftmals dreieckförmig (Herold and Sailer, 2004). Es ist jedoch nicht immer möglich eine Verschattung einem genauen Segment zuzuordnen, da sie häufig nur unvollständig infiltriert sind. Kommt es jedoch zu einer vollständigen Ausbreitung der pathologischen Muster bis an die Pleuragrenzlinie, spricht man von einer Lappenrandpneumonie und die Segmente können topografisch bestimmt werden (Poetter-Lang and Herold, 2017, Lange, 2010).

Meist zeigt sich bei einer Lobärpneumonie ein positives Pneumobronchogramm. Hier kommt es aufgrund der homogenen Verschattung der Alveolen zu einem streifigen hervortreten der luftgefüllten Bronchien. Ein weiteres diagnostisches Kriterium in der

Bildgebung ist das positive Silhouettenzeichen. Es kommt hier zu einer fehlenden Abgrenzbarkeit von umliegenden Strukturen wie das Mediastinum oder das Zwerchfell (Herold and Sailer, 2004, Poetter-Lang and Herold, 2017). Eine typische Komplikation einer Lobärpneumonie ist der begleitenden Pleuraerguss (Reiser et al., 2017, Reynolds et al., 2010, Santiago Ewig, 2015). Durch die radiologische Präsentation der Lobärpneumonie (Abbildung 2), wo es zum Beispiel zu ganzen Verschattungen von Lappen und Segmenten kommt, gelingt die Diagnostik einer infektiösen Lungenerkrankung oftmals einfacher als bei einer Bronchopneumonie (Albaum et al., 1996).



Abbildung 2 Lobärpneumonie im rechten Oberlappen

### 3.1.1.3 Erreger

Zum radiologischen Bild einer Lobärpneumonie führt meist eine Infektion mit dem Bakterium *Streptococcus pneumoniae*. Weitere Erreger einer Lobärpneumonie sind *Staphylococcus aureus*, *Mycoplasma pneumoniae*, *Legionella pneumophila* und *Chlamydia pneumoniae*. Gelegentlich kann auch *Klebsiella pneumoniae* dafür verantwortlich sein, hier ist dann zusätzlich eine Volumenzunahme des Lappens zu beobachten. In manchen Fällen können auch Viren wie das Adenovirus, Hantavirus oder das Coronavirus zum klassischen Bild einer Lobärpneumonie führen. Auch bei Pilzpneumonien kann es zu einer lokalisierten Entzündung in den Alveolen kommen, diese Art der Pneumonie ist jedoch bei immunkompetenten Patient\*innen selten (Herold and Sailer, 2004, Beyer and Wormanns, 2011).

## **3.1.2 Bronchopneumonie**

### **3.1.2.1 Pathogenese**

Bei einer Bronchopneumonie sind in erster Linie die terminalen und respiratorischen Bronchiolen von der Entzündung betroffen. Im Laufe der Erkrankung werden die peripheren Atemwege angegriffen und es kommt zu einer nekrotisierenden Bronchiolitis und Bronchitis. Ausgehend von dieser Entzündungsreaktion wird das umliegende Lungenparenchym, beziehungsweise die Alveolen befallen, was zu dem typisch uneinheitlichen Bild der Erkrankung führt (Garg et al., 2019a).

### **3.1.2.2 Bildmorphologie**

In der Bildgebung zeigen sich im frühen Erkrankungsstadium multifokale, diffus verteilte herdförmige Fleckschatten, die nebeneinander und hintereinander liegen. Sie präsentieren sich als zentrilobuläre Läsionen mit schlecht definierten Rändern und einem Durchmesser von ca. 4–10 mm. Die Entzündung breitet sich multifokal über die großen Atemwege aus und hält sich nicht an Lappengrenzen. So können einzelne Segmente bis hin zu mehreren Lappen der Lunge entzündlich involviert sein. Das Infiltrat kann uni- oder bilateral verteilt sein, so ist zum Beispiel bei einer Infektion mit *Staphylococcus aureus* die Entzündung in über 50 Prozent bilateral verteilt. Meist sind die Verschattungen/Verdichtungen in den distalen Atemwegen und den basalen Arealen der Lunge lokalisiert. Die verstreuten Fleckschatten konfluieren im Laufe der Erkrankung und imponieren dann als homogene Trübung. Des Weiteren können die Atemwege durch das entzündliche Exsudat verlegt werden und es kann in der Bildgebung eine Volumenverminderung des betroffenen Lappen sichtbar werden. Bei einer Bronchopneumonie ist meist kein positives Pneumobronchogramm nachweisbar. Als häufige Komplikation kann es im späten Krankheitsverlauf zu Kavitationen kommen. In Abbildung 3 ist ein Beispiel für die radiologische Manifestation einer Bronchopneumonie dargestellt (Macfarlane and Rose, 1996, Herold and Sailer, 2004, Reittner et al., 2000, Poetter-Lang and Herold, 2017).



Abbildung 3 Beidseitige Bronchopneumonie

### **3.1.2.3 Erreger**

Häufige Erreger dieser Lungenentzündung sind Staphylokokken, wie der *Staphylococcus aureus* sowie Streptokokken, *Haemophilus influenzae* und *Pseudomonas aeruginosa* (Reiser et al., 2017, Franquet and Chung, 2019, Reynolds et al., 2010). Weitere Organismen wie *Mycoplasma pneumoniae* oder Viren können ebenfalls das radiografische Muster einer Bronchopneumonie verursachen (Herold and Sailer, 2004).

### **3.1.3 Interstitielle Pneumonie**

#### **3.1.3.1 Pathogenese**

Bei einer interstitiellen Pneumonie steht die Schädigung der Flimmerepithelzellen und der Bronchialschleimdrüsenzellen im Vordergrund. Es wandern mononukleäre Zellen ein und es kommt zur Ausbildung eines Ödems. In weiterer Folge bewirkt das eine Erweiterung der Alveolarsepten und später auch der Interlobularspalten. Später kann es, meist bedingt durch eine bakterielle Superinfektion zu Leukozyteninfiltration und zur Ausbildung einzelner Entzündungsherde mit fokalen Nekrosen kommen. Im weiteren Krankheitsverlauf kann eine Schädigung der Kapillaren zu einem hämorrhagisch interstitiellen und/oder alveolären Ödem führen. Durch weitere Zellmigration kommt es zur Ausbildung von hyalinen

Membranen, welche radiomorphologisch an ein ARDS denken lässt (Franquet, 2001, Kim et al., 2002, Herold and Sailer, 2004).

### **3.1.3.2 Bildmorphologie**

Eine interstitielle Pneumonie kann in der Bildgebung sehr unterschiedlich wirken. Die Entzündung kann sich als gemischt interstitiell-alveolär oder rein interstitiell präsentieren und die unterschiedlichen Muster können zeitgleich in verschiedenen Bereichen der Lunge auftreten. Durch die Entzündung und Verbreitung der Septen und die Verdichtung des peribronchialen und perivaskulären Bindegewebes kommt es zu streifigen Verschattungen, welche sich hilifugal ausbreiten. Die Verschattungen/Verdichtungen sind insbesondere in den hilusnahen Lungenarealen, dem Lungenkern deutlich erkennbar und kommen bilateral vor. Zusätzlich sind in der Lunge Milchglasinfiltrate und diffus oder fokal verteilte Verschattungen erkennbar. In der Röntgenthoraxaufnahme imponiert das als retikuläres, retikulonoduläres oder noduläres Muster. Zur Definition eines retikulären Musters zählt im CT das Auftreten von verdickten Interlobulärsepten, irregulären intralobulären Verdichtungen und Honigwabemuster. Als noduläres Muster wird in der CT Bildgebung das Auftreten von zahlreichen kleinen runden Verdichtungen mit einem maximalen Durchmesser von 3 mm beschrieben. Bei einer zusätzlichen bakteriellen Infektion wird das typische Bild einer interstitiellen Pneumonie von unscharf begrenzten, konfluierenden fleckigen Verschattungen überlagert. In Abbildung 4 ist ein Beispiel für radiologische Manifestation einer interstitiellen Pneumonie dargestellt (Reiser et al., 2017, Franquet and Chung, 2019, Reynolds et al., 2010, Wormanns D., 2015).

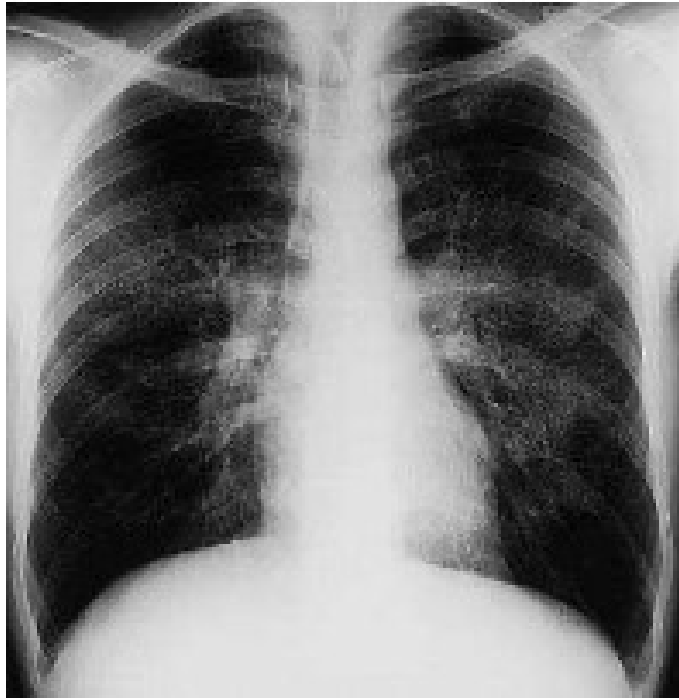


Abbildung 4 Interstitielle Pneumonie (Reiser et al., 2017: 196)

### 3.1.3.3 Erreger

Meist sind Viren, Mykoplasmen, Rickettsien oder Chlamydien die infektiöse Ursachen einer interstitiellen Pneumonie (Reiser et al., 2017, Franquet and Chung, 2019, Reynolds et al., 2010).

## 4 Bildgebung bakterieller Pneumonie

### 4.1 *Streptococcus pneumoniae*

Das Bakterium *Streptococcus pneumoniae* ist der häufigste Erreger einer CAP. In den meisten Fällen verursacht er eine Lobärpneumonie (Garg et al., 2019a). Es kommt zu homogenen Verschattungen der betroffenen Areale. Die Infiltrate sind typischerweise in den unteren Lungenlappen und basal lokalisiert. Die Verschattung beginnt in der Peripherie und kann sich dann unter Umständen sehr rasch über die Lunge ausbreiten. Die Luftwege sind primär nicht involviert, somit zeigt sich in der Regel kein Volumenverlust der Lunge. Eine häufige Komplikation ist der begleitende Pleuraerguss, er kommt bei ungefähr 50% der betroffenen Patient\*innen vor. Kavitationen sind seltene Komplikationen bei einer Infektion mit *Streptococcus pneumoniae* (Franquet and Chung, 2019). Weiters, kann es bei manchen Patient\*innen nach einer Antibiotikatherapie zu multilobulären und bilateralen fleckigen Konsolidierungen kommen (Garg et al., 2019a). Die Herdpneumonie bei einer Pneumokokkeninfektion präsentiert sich meist anhand von einzelnen Läsionen im

posterioren Segment des Unterlappen oder des rechten Oberlappen. Diese Verdichtungen können wie Lungenrundherde imponieren, daher ist eine genaue Abgrenzung der Differentialdiagnose wichtig (Franquet and Chung, 2019). Hier ist, aufgrund des Malignitätsverdachts, nach einer Antibiotikatherapie eine follow-up Bildgebung zu erwägen (Reynolds et al., 2010). In seltenen Fällen können Pneumokokken auch zu einer Bronchopneumonie führen, diese wäre im Röntgenbild vorwiegend in den Unterlappen als retikulonoduläres Infiltrat erkennbar (Santiago Ewig, 2015).

#### **4.2 *Staphylococcus aureus***

Der *Staphylococcus aureus* ist ein häufiger Erreger der HAP, spezieller der VAP. Zudem ist er häufig die Ursache einer sekundären Infektion nach einer vorangegangenen viralen Infektion (Garg et al., 2019a). Immer öfter kommt es durch den methicillin-resistenten *Staphylococcus aureus* zu einer schweren nekrotisierenden Pneumonie. Radiologisch äußert sich die Infektion mit dem *Staphylococcus aureus* meist in Form einer Bronchopneumonie, welche sich in 40% der Fälle bilateral manifestiert. Die Verschattungen können sehr variabel sein. Je nach Schweregrad kommt es zu fleckigen Konsolidierungen oder zu einer homogen, konfluierenden Bronchopneumonie (Franquet and Chung, 2019). In der CT Bildgebung finden sich bei einer Infektion typischerweise zentrilobuläre Knötchen und verdickte Bronchialwände. Bei einer Infektion mit dem methicillin-resistenten *Staphylococcus aureus* sind zusätzlich periphere Konsolidierungen in der Bildgebung erkennbar (Garg et al., 2019a). In der Regel zeigt sich kein positives Bronchopneumogramm.

Das entzündliche Infiltrat füllt die Atemwege, somit kann es zu segmentalen Atelekatsen kommen. Weitere häufige Komplikationen sind die Ausbildung von Kavitationen und Empyemen. Bei 30-50% der Erkrankten lässt sich im Röntgenbild ein Pleuraerguss nachweisen und bei 15-30% entwickelt sich ein Abszess. Außerdem, kann es zur Ausbildung von Pneumatozelen kommen, welche nach Wochen wieder spontan abheilen oder unter Umständen einen Pneumothorax verursachen können (Garg et al., 2019a).

#### **4.3 *Legionella pneumophila***

Bei der klassischen radiologischen Präsentation einer Legionellenpneumonie kommt es zu homogenen Konsolidierungen mit segmentalen Infiltraten. In der Regel kommt es zu fokalen Infiltraten welche schlecht begrenzt sind. Das Infiltrat zeigt sich zunächst segmental und peripher. Die radiologische Präsentation kann sich rapide verändern und sich in bis zu 50% zu einem bilateralen Infiltrat ausbreiten, welches an das Bild einer Infektion mit *Streptococcus pneumoniae* denken lässt. Auch in der CT Bildgebung lässt sich ein

multilobuläres/multisegmentales Infiltrat mit Milchglasinfiltraten in den peripheren Atemwegen erkennen. Studien zeigten, dass es initial bei bis zu 81% der Patient\*innen zur Ausbildung eines alveolären Musters kam, statt einem klassischen interstitiellen Muster. Initial kann die erste Bildgebung jedoch auch negativ sein. In 35-63% der Fälle ließ sich ein begleitender Pleuraerguss nachweisen (Franquet and Chung, 2019, Reynolds et al., 2010, Garg et al., 2019b). Eine weitere häufige Komplikation ist die Ausbildung von Abszessen (Santiago Ewig, 2015).

#### **4.4 *Klebsiella pneumoniae***

Das Bakterium *Klebsiella pneumoniae* befällt häufig ältere Menschen mit einer vorbestehenden Lungenerkrankung oder alkoholabhängige Patient\*innen.

Die radiologische Bildgebung zeigt meist eine alveoläre Pneumonie mit homogenen parenchymalen Verschattungen, welche vorwiegend im rechten Oberlappen zu finden sind. Zusätzlich zeigt sich häufig ein positives Bronchopneumogramm. Es kommt zu einem entzündlichen Exsudat und somit zu einer Volumenzunahme des betroffenen Lappens. Dies kann im Röntgen anhand einer gewölbten Fissur, dem „bulging fissure sign“ erkennbar sein. Das fortschreitende Infiltrat ist zumeist scharfrandig begrenzt. Das Röntgenbild zeigt große Ähnlichkeiten mit dem der Pneumokokken-Pneumonie. Jedoch kommt es bei einer Infektion mit dem Bakterium *Klebsiella pneumoniae* häufiger zu einem voluminösen Exsudat mit einer Lappenexpansion als auch häufiger zur Abszessbildung als bei einer Pneumokokken-Pneumonie. Abszesse lassen sich in bis zu 50% der Fälle nachweisen und Ergüsse entwickeln bis zu 33% der Patient\*innen. Das Bakterium kann zudem zu einer chronischen Pneumonie oder zu Lungengangrän führen (Reynolds et al., 2010, Santiago Ewig, 2015).

#### **4.5 *Aerobier***

Andere gram-negative Aerobier wie *Haemophilus influenzae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escheria coli* oder *Proteus mirabilis* führen vor allem bei Vorerkrankungen zu einer Pneumonie. Hier zeigt sich in der Radiomorphologie eine Bronchopneumonie mit zentrilobulären Knoten und fleckigen Konsolidierungen, welche sich später im gesamten Lappen verteilen können. Häufige Komplikationen der gram-negativen Erreger sind begleitende Pleuraergüsse und Kavitationen (Garg et al., 2019a).

##### **4.5.1 *Pseudomonas aeruginosa***

Das radiomorphologische Erscheinungsbild der *Pseudomonas*-Pneumonie ist eher unspezifisch definiert. Es kommt zu einer Bronchopneumonie mit schlecht begrenzten

rundlichen Verdichtungen und fleckigen Arealen, die multifokal und bilateral auftreten können. Häufig wird die Manifestation von einer vorbestehenden Lungenerkrankung wie COPD überlagert. Die Erkrankung kann rasch progredient verlaufen und dabei homogene Verschattungen, Abszesse und Kavitationen ausbilden (Franquet and Chung, 2019).

#### **4.5.2 Escheria coli**

Bei einer Escheria coli Pneumonie kommt es ebenfalls zu einer Bronchopneumonie mit fleckigen Infiltraten. Sie manifestiert sich meist in beiden Unterlappen. Als typische Komplikation treten Abszesse und Empyeme auf (Santiago Ewig, 2015).

#### **4.5.3 Haemophilus influenzae**

Bei einer Pneumonie, welche durch Haemophilus influenzae ausgelöst wird, zeigt sich in der Bildgebung ein multilobuläres Infiltrat mit lobären und segmentalen Konsolidierungen. Die diffus verteilten Konsolidierungen zeigen meist eine Dominanz in den Unterlappen. In der Regel entspricht das radiologische Muster auch hier dem der Bronchopneumonie und nur selten kommt es zu nicht-segmentalen Konsolidierungen. In 15-30% der Fälle zeigt sich ein retikulonoduläres interstitielles Muster mit einem alveolären Ödem. Der begleitende Pleuraerguss stellt eine häufige Komplikation der Pneumonie dar (Reynolds et al., 2010, Poetter-Lang and Herold, 2017).

#### **4.5.4 Weitere gram-negative Aerobier**

Weitere gram-negative Aerobier, die zu einer Pneumonie führen sind Francisella tularensis, Moraxella catarrhalis und Rickettsien. Das Bakterium Francisella tularensis zeigt in der Bildgebung einzelne multifokale Konsolidierungen, hiläre Lymphadenopathien und begleitende Pleuraergüsse. Das Bakterium Moraxella catarrhalis zeigt sich im Thoraxröntgen typischerweise als Bronchopneumonie oder Lappenpneumonie, welche sich auf einen einzigen Lappen beschränkt. Eine Infektion mit Rickettsien kennzeichnet sich durch multilobuläre Konsolidierungen mit einzelnen oder multiplen Rundherden (Franquet and Chung, 2019).

### **4.6 Anaerobier**

Anaerobier wie Bacteroides, Fusobacterium oder Actinomyces lassen sich meist als Haupterreger von Aspirationspneumonien festmachen. Häufig sind die Ursachen jedoch polymikrobiell. In der Regel ist das posteriore Segment der beiden Oberlappen und die

superioren Segmente der Unterlappen von einer Aspirationspneumonie betroffen, wobei sich in der rechten Lunge häufiger Infiltrate nachweisen lassen als in der Linken.

Eine Pneumonie durch Anaerobier zeigt im Thoraxröntgen meist das Muster einer Bronchopneumonie, welche durch fleckige, bilaterale Verschattungen bis hin zu ausgedehnten konfluierenden Entzündungen erkennbar ist. Bei diesen Patient\*innen können zusätzlich Abszesse oder Kavitationen vorhanden sein (Garg et al., 2019a). Bei der Bronchopneumonie ausgelöst durch *Actinomyces israelii* kommt es häufig zu fokalen oder multifokalen Abszessformationen. Zudem kann es vorkommen, dass sich die Entzündung ohne Respektierung der anatomischen Grenzen kontinuierlich ausbreitet (Franquet and Chung, 2019).

#### **4.7 Atypische Bakterien**

Die Bakterien *Chlamydia pneumoniae* und *Mycoplasma pneumoniae* zeigen in der Bildgebung ein interstitielles Infiltrat mit einem retikulonodulären Verschattungsmuster. Zusätzlich treten lineare Verschattungen und fleckige Konsolidierungen auf. Bei einer CT Bildgebung können das typische „tree-in-bud“ Muster und zentrilobuläre Knoten gut zu erkennen sein. Zusätzlich kommt es zu einem Mosaikmuster mit „Air-trapping“ und fleckigen Milchglasinfiltraten. Beide Erreger können eine Lymphadenopathie verursachen. In manchen Fällen können sich die Erreger im Röntgenbild auch anhand einer Bronchopneumonie manifestieren (Poetter-Lang and Herold, 2017). Radiologisch lässt sich das Bild einer Mycoplasmeninfektion jedoch nur schwer interpretieren, da die Radiomorphologie sehr variabel sein kann und der einer viralen Pneumonie ähnlich schaut (Franquet and Chung, 2019, Reynolds et al., 2010, Garg et al., 2019a). In der CT Bildgebung äußert sich eine Mycoplasmen Pneumonie durch zentrilobuläre Knoten, Milchglasinfiltrate, lobuläre Areale mit Konsolidierungen und verdickte Bronchialwände. Eine Erweiterung der Bronchialwände ist bei bis zu 80% der Patient\*innen zu erkennen. In 52% ist der Unterlappen mitbetroffen. Bei der Chlamydien-Pneumonie sind vor allem die Konsolidierungen und Bronchialwandverdickungen im CT-Bild präsent (Reynolds et al., 2010).

## **5 Bildgebung Pilzpneumonie**

Eine Pilzpneumonie tritt vorwiegend bei Patient\*innen mit einer herabgesetzten Immunantwort auf. In seltenen Fällen kann es jedoch selbst bei Immunkompetenten zu einer Pilzpneumonie kommen (Poetter-Lang and Herold, 2017). Bei gesunden Patient\*innen

zählen Coccidiomycosis, Blastomycosis und Histoplasmosis zu den häufigsten Erregern einer Pilzpneumonie. Andere Pilzarten wie Pneumocystis jiroveci, Aspergillus fumigatus und Candidosis führen nur bei immunsupprimierten Patient\*innen zu einer infektiösen Lungenerkrankung.

Bei einer Infektion mit Histoplasmosis präsentiert sich der\*die Patient\*Patientin meist mit subklinischen Symptomen. In der Bildgebung sind häufig kalzifizierende Noduli zu sehen, welche der Radiomorphologie von Tuberkulose ähnlich schauen. Die Pneumonie zeigt in der Bildgebung Areale mit Konsolidierungen, Nekrosen/Kavitationen und Noduli. Im Laufe der Erkrankung kann es zu hilär und mediastinal vergrößerten Lymphknoten kommen. Es kann zu einer chronischen Form kommen, diese ähnelt der post-primären Tuberkulose. Es kommt zu Fibrose, Volumenverlust und Kalzifizierungen. Bei immunsupprimierten oder jüngeren Patient\*innen können in der Bildgebung zusätzlich ein miliares Muster und diffus verteilte Noduli auftreten (Garg et al., 2019b).

## 6 Bildgebung viraler Pneumonie

Eine virale Pneumonie wird bei dem\*der immunkompetenten Patienten\*Patientin meist durch das Influenzavirus A/B ausgelöst. Ebenso kann das Hantavirus, Epstein-Barr Virus, Coronavirus und Adenovirus bei gesunden Personen eine Pneumonie auslösen. Andere Viren wie das Herpes-simplex Virus, Varicella-zoster Virus, Cytomegalievirus und Masernvirus führen meist nur bei immungeschwächten Patient\*innen zu einer Lungenentzündung (Kim et al., 2002).

Die Bildgebung bei viralen Pneumonien zeigt meist fleckige und diffus verteilte peribronchiale Milchglasinfiltrate. In manchen Fällen können zusätzlich Konsolidierungen in den peripheren Luftwegen vorkommen. Es kommt zu schlecht begrenzten Noduli mit einem Durchmesser von 1-20 mm (Kim et al., 2002). Zudem zeigt sich oft ein retikuläres Muster mit erhöhter Trübung. Kommt es zur Progression der Entzündung können die Konsolidierungen konfluieren. Es kommt zu diffusen Alveolarschäden, diese sind in der CT Bildgebung anhand von homogenen oder fleckigen unilateralen oder bilateralen Konsolidierungen und lobär begrenzten Milchglasinfiltraten erkennbar. Zudem sind Knoten in zentrilobulärer Lokalisation und verdickte Interlobularsepten im CT-Bild häufig (Han et al., 1998). Histologisch kann es zu einem diffusen Alveolarschaden, intraalveolärer Hämorrhagie oder einer interstitielle Entzündungsreaktion kommen und das radiologische Bild spiegelt die variablen Ausprägungen wider. Bei einer viralen Pneumonie kommt es häufig zu einer bakteriellen Superinfektion. Aus diesem Grund kann die Bildgebung sehr variabel sein und Überlappungen von verschiedenen radiologischen Mustern zeigen.

Typische Komplikationen einer viralen Pneumonie sind Überblähung des Lungenparenchyms, ein Pleuraerguss und eine hiläre Lymphadenopathie. Letzteres tritt vor allem bei Kindern häufig auf (Wormanns et al., 2017, Reynolds et al., 2010).

Bei einer viralen Pneumonie sind neben den klinischen Informationen wie dem Alter, Immunstatus und Symptomen auch die epidemische/endemische Situation wichtige Faktoren zur Diagnosestellung. Insbesondere die aktuelle COVID-19-Pandemie zeigt, wie relevant das Einbeziehen einer epidemischen Situation in die Diagnosestellung ist (Kim et al., 2002).

### 6.1 *Influenzavirus*

Bei einer Influenzaerkrankung durch die Subtypen A und B kommt es meist zu einer entzündlichen Involvierung des oberen Respirationstraktes, inklusive der Trachea und den Hauptbronchien. Es sind vor allem kleine Kinder und junge Erwachsene aber auch ältere

und immunsupprimierte Patient\*innen betroffen. Diese Patient\*innen können unter Umständen einen fulminanten Verlauf entwickeln.

Im Röntgenbild zeigen sich segmentale und fleckige Konsolidierungen mit einem Durchmesser von 1-2cm, Milchglasinfiltrate und lineare Verschattungen. Die Pathologien zeigen eine basale Dominanz. Die CT Bildgebung zeigt ebenfalls diffuse, bilaterale Milchglasinfiltrate und Konsolidierungen sowie eine Bronchialwandverdickung. Zudem sind kleine zentrilobuläre Rundherde als Zeichen einer alveolären Hämorrhagie sichtbar. Im Zuge der Erkrankung kann das Infiltrat rapide konfluieren und sich zu einem ARDS entwickeln (Garg et al., 2019a, Reynolds et al., 2010). Auch hier kommt es häufig zu einer bakteriellen Superinfektion (Poetter-Lang and Herold, 2017). Der begleitende Pleuraerguss stellt bei einer Influenzainfektion eine seltene Komplikation dar. Die radiomorphologischen Pathologien verschwinden meist innerhalb von 3 Wochen wieder (Kim et al., 2002, Galloway and Miller, 1959).

### **6.1.1 Influenza-A-Virus H1N1**

Das Virus gehört zur Familie der Influenza-A-Viren und ist auch als Schweinegrippe bekannt. Hier kann es zu einer Pneumonie mit extensiven Infiltraten in der Bildgebung kommen. Die Infiltrate treten meist multifokal auf und sind überwiegend in den mittleren und unteren Arealen der Lunge lokalisiert. In der CT-Bildgebung sind ebenfalls multifokale oder bilaterale Milchglasinfiltrate und fokale/multifokale Areale mit Konsolidierungen zu sehen. Die pathologischen Veränderungen sind im CT vor allem in den peribronchovaskulären und subpleuralen Arealen der Lunge lokalisiert und zeigen somit Ähnlichkeiten zu einer organisierenden Pneumonie. Die Entzündung kann schwere Verläufe annehmen, dann sind in der Bildgebung bilaterale, symmetrische Konsolidierungen und Milchglasinfiltrate zu erkennen (Franquet and Chung, 2019).

## **6.2 Adenovirus**

Eine Adenovirusinfektion kann sich als Pharyngokonjunktivitis, Laryngotracheobronchitis, Bronchiolitis oder Lungenentzündung manifestieren. Insgesamt ist die Anzahl an Infektionen aufgrund der Impfung jedoch zurückgegangen.

Radiologisch manifestiert sich die Pneumonie, vor allem bei Kindern, mit einer bilateralen Bronchopneumonie und einer schweren Lungenüberblähung. Das Adenovirus zeigt im Thoraxröntgen vereinzelte fleckige oder konfluierende Verschattungen. Zusätzlich kommt es oftmals zu einer hilären Lymphadenopathie. In der CT Bildgebung sind beidseitige Konsolidierungen, Areale mit Milchglasinfiltraten und Rundherde zu erkennen. Das CT Bild

ähnelt dem der bakteriellen Pneumonie. Eine häufige Komplikation stellt der begleitende Pleuraerguss dar. Das Adenovirus kann auch die Bronchialwände schädigen und somit zur Ausbildung von Bronchiektasien führen. Eine weitere häufige Komplikation ist die Ausbildung von Atelektasen. Diese kommen bei kleinen Kindern vorwiegend im rechten Oberlappen und bei älteren Kindern im linken Unterlappen vor. Bei einem unkomplizierten Verlauf sind nach 2 Wochen im Röntgen keine Pathologien mehr sichtbar. Jedoch kann es insbesondere bei Kindern unter 2 Jahren zu einer chronischen Verlaufsform kommen (Kim et al., 2002, Wenman et al., 1982).

### **6.3 *Hantavirus***

Das Hantavirus führt zu einer gesteigerten Kapillarpermeabilität, daher ist im Röntgen vorwiegend ein interstitielles Ödem sichtbar. Das Virus kann zu fulminant verlaufenden Lungenentzündungen führen. Eine häufige Komplikation stellt der begleitende Pleuraerguss dar (Kim et al., 2002).

### **6.4 *Herpes Simplex Virus***

Das Herpes-simplex-Virus (HSV) führt meist nur bei immunsupprimierten Patient\*innen zu einer Pneumonie. In Ausnahmefällen kann es durch ein Intubationstrauma, Inhalationstrauma oder durch chronischen Zigarettenkonsum zu einer HSV-Pneumonie kommen. Im Thoraxröntgen sind meist fleckige segmentale oder subsegmentale Konsolidierungen und Milchglasinfiltrate typisch. Im CT-Bild sind multifokale segmentale oder subsegmentale Areale mit Milchglasinfiltraten und fokale Areale mit Konsolidierungen zu sehen. Häufig kommt es im Zuge der Entzündung zu einem Pleuraerguss.

Bei einer HSV Pneumonie kommt es meist zusätzlich zu einer sekundären bakteriellen Pneumonie (Kim et al., 2002, Graham and Snell, 1983).

### **6.5 *Ebstein-Barr Virus***

Das Epstein-Barr Virus (EBV) führt zu einer infektiösen Mononukleose. Eine pulmonale Beteiligung ist hier selten und kommt nur bei 5-10% der Patient\*innen vor. Diese Patient\*innen haben meist eine milde, asymptomatische Form der Pneumonie, in nur ganz seltenen Fällen kommt es zu einem rapid progressiven Verlauf der Erkrankung. Die Patient\*innen sind meist junge Erwachsenen zwischen 15 und 30 Jahren. Bei einer Pneumonie zeigt das CT-Bild diffus und fokal verteilte parenchymale Verdichtungen. Es kann zu lobären Konsolidierungen, irregulären retikulären Verdichtungen, zu einem

miliären Muster und kleinen Konsolidierungen mit „halo-sign“ kommen (Franquet and Chung, 2019).

Zusätzlich kann in der Bildgebung eine häufige Komplikation, die mediastinale Lymphadenopathie sichtbar sein. Wichtig ist, dass eine vorhandene Splenomegalie bei bis zu 47% der Patient\*innen auch im Thoraxröntgen sichtbar ist (Kim et al., 2002, Miyake et al., 1996).

## **6.6 Masernvirus**

Mit dem Masernvirus stecken sich meist Kinder an, es kann jedoch auch bei Erwachsenen zu einer Infektion kommen. Zu einer Masernpneumonie kommt es in der Regel nur bei 3-4% der infizierten Patient\*innen.

Im Röntgenbild sind bei der primären Masernpneumonie retikuläre Muster und Konsolidierungen in den terminalen Atemwegen, den Alveolen zu erkennen. Bei Kindern kann es zusätzlich zu einer hilären Lymphknotenvergrößerung kommen. Im CT sind Milchglasverschattungen (73%), Konsolidierungen (27%) und zentrilobuläre Knoten (64%) sichtbar. Die Bildgebung spiegelt den diffusen Alveolarschaden wider, welcher sowohl das Interstitium als auch die Alveolen selbst befällt. Häufig kommt es bei einer Masernpneumonie zu einer sekundären bakteriellen Infektion mit *Haemophilus influenzae* oder *Neisseria meningitidis* (Gremillion and Crawford, 1981).

## **6.7 Respiratory Syncytial Virus**

Das RSV verursacht meist bei Kindern unter zwei Jahren eine Pneumonie. Die Bildgebung zeigt häufig eine Lungenüberblähung und Lungenareale mit Atelektasen. Im CT-Bild zeigen sich kleine zentrilobuläre Lungenrundherde, ein alveoläres Ödem, Milchglasinfiltrate, Bronchialwandverdickungen und „tree-in-bud“ Zeichen. Zusätzlich kann im Thorax-CT eine Bronchiolitis mit „air trapping“ für eine RSV-Pneumonie sprechen. Häufig kommt es auch bei dieser Infektion zu einer bakteriellen Superinfektion (Franquet and Chung, 2019).

## **6.8 Severe acute respiratory syndrome**

Eine virale Pneumonie, welche durch das SARS-CoV ausgelöst wird, kennzeichnet sich durch eine Progression von unilateral und unifokalen Infiltraten zu bilateral und multifokale Verschattungen im Röntgen (Reynolds et al., 2010). Es kommt zu einem akuten diffusen Alveolarschaden mit einem alveolären Ödem und unilateralen/bilateralen Milchglasinfiltraten (Franquet and Chung, 2019).

## 6.9 ***Middle East Respiratory Syndrome***

Eine virale Pneumonie bedingt durch das MERS-CoV zeigt im CT-Bild des Thorax Milchglasinfiltrate, verdickte Interlobularsepten und Konsolidierungen. In weiterer Folge kann es zur Ausbildung von zentrilobulären Knoten, „crazy-paving“ Zeichen, einer Bronchiolitis obliterans und zu einem peribronchialen „air-trapping“ kommen. Eine häufige Komplikation, die in der Bildgebung erscheint, ist der begleitende Pleuraerguss (Franquet and Chung, 2019).

## 7 COVID-19 in der Bildgebung

### 7.1 Radiologische Manifestation

Die radiologische Manifestation einer Pneumonie im Zuge einer COVID-19 Erkrankung lässt sich in der CT-Bildgebung gut darstellen, siehe Abbildung 5 und Abbildung 6. Typischerweise kommt es zu bilateralen, multifokalen und peripheren Veränderungen in der Bildgebung. In den meisten Fällen sind Milchglasinfiltrate aber auch Konsolidierungen, crazy paving-Muster und verdickte Interlobularsepten die Hauptkennzeichen der SARS-CoV-2 Infektion. Bei mehr als der Hälfte der erkrankten Personen kommt es zusätzlich zu einer Verdickung der Pleura und subpleuralen linearen Verdichtungen. In der Regel zeigen die radiologischen Veränderungen eine Dominanz in den unteren Lappen. In vereinzelt Fällen kann es zum Auftreten eines Pleuraergusses, Perikardergusses oder einer Lymphadenopathie kommen (Xu et al., 2020b).

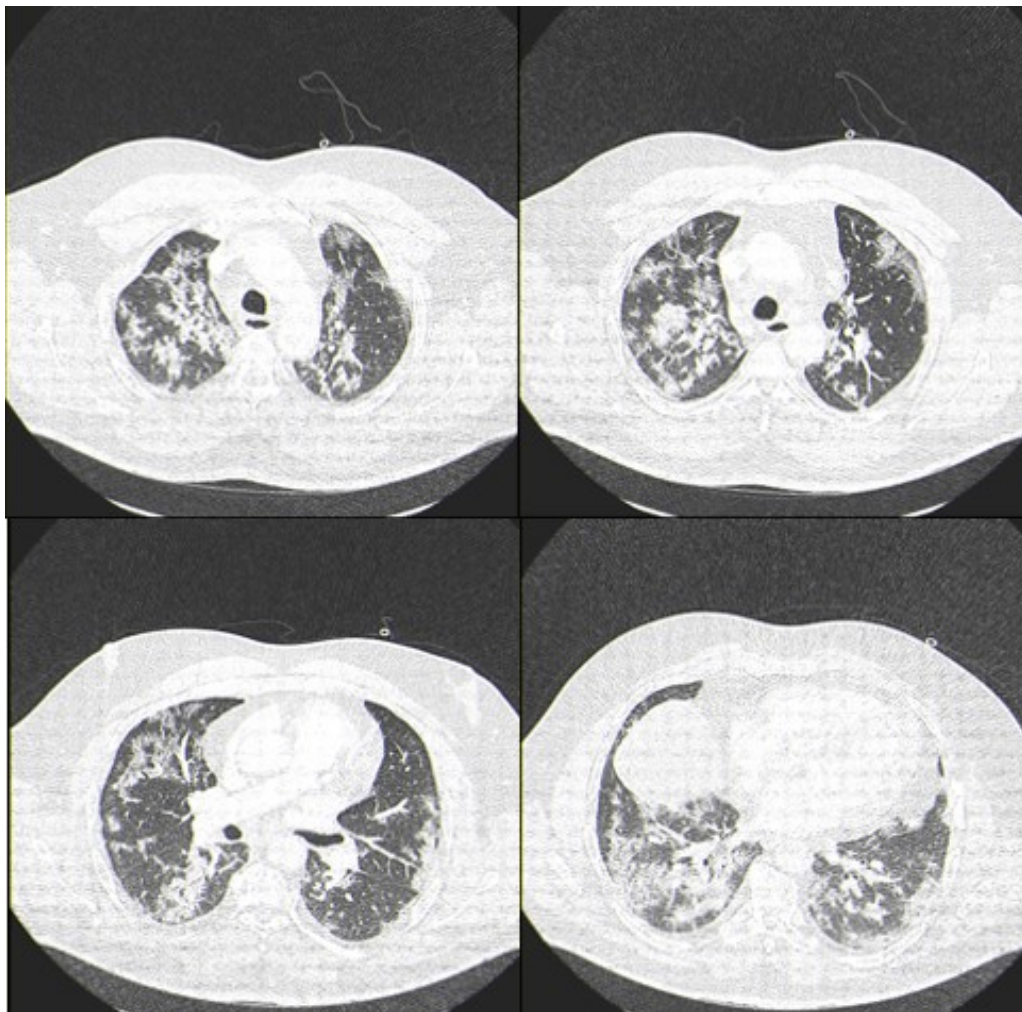


Abbildung 5 CT-Bild einer COVID-19 Pneumonie mit peripheren Konsolidierungen und milchglasartigen Eintrübungen (axiale Ebene)

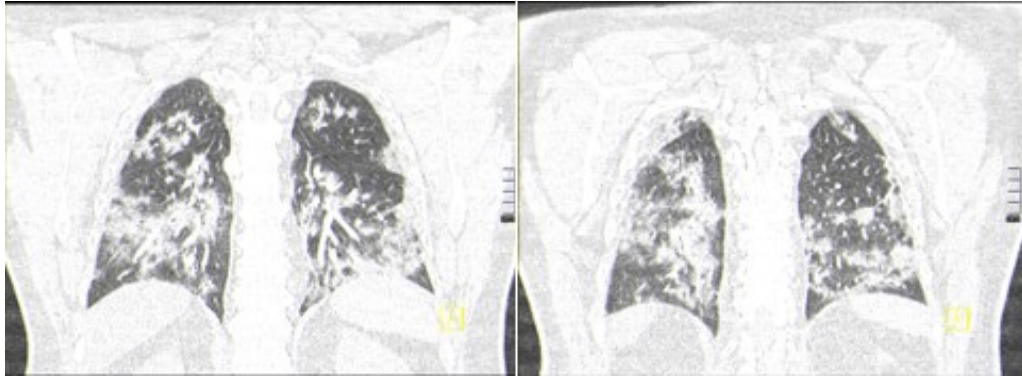


Abbildung 6 CT-Bild einer COVID-19 Pneumonie mit peripheren Konsolidierungen und milchglasartigen Eintrübungen (koronare Ebene)

## 7.2 Spezielle Radiomorphologie

### 7.2.1 Milchglasinfiltrate

Bei Milchglasinfiltraten im Thoraxröntgen zeigen sich trübe Bereiche mit gering verminderter Strahlentransparenz, in welcher die Gefäße unscharf begrenzt sind. In der CT-Untersuchung ist eine geringe Dichteanhebung zu erkennen, wo die Bronchial- und Gefäßränder erkennbar sind. Bedingt ist diese radiologische Veränderung durch die Verdrängung von Luft aus dem Alveolarraum und durch eine Verdickung des Interstitiums (Ye et al., 2020, Wormanns D., 2015). Bei COVID-19 Patient\*innen sind die Milchglasinfiltrate vorwiegend unilateral und bilateral in den peripheren und subpleuralen Lungenabschnitten verteilt. Milchglasinfiltrate sind die häufigsten Veränderungen bei COVID-19 Pneumonien und zählen auch zu den frühesten radiologischen Veränderungen. Je nach Studie waren diese bei bis zu 98% der Patient\*innen nachweisbar (Ye et al., 2020).

Autor*in	Anzahl an Patient*innen	Milchglasinfiltrate
Wu et al (Wu et al., 2020b)	80	91% (73/80)
Pan et al (Pan et al., 2020a)	63	86% (54/63)
Shi et al (Shi et al., 2020)	81	65% (53/81)
Chung et al (Chung et al., 2020)	21	57% (12/21)
Song et al (Song et al., 2020)	51	76% (39/51)
Pan et al (Pan et al., 2020b)	21	73% (60/82)
Fang et al (Fang et al., 2020)	51	72% (36/50)
Bernheim et al (Bernheim et al., 2020)	121	34% (41/121)
Ai et al (Ai et al., 2020)	1014	46% (409/888)
NG et al (Ng et al., 2020)	21	86% (18/21)
Li et al (Li, 2020)	83	98% (81/83)
Chen et al (Chen et al., 2020)	99	14% (14/99)
Guan et al (Guan et al., 2020)	1099	56% (550/975)

Tabelle 1 Milchglasinfiltrate (Ye et al., 2020: 4383)

### 7.2.2 Konsolidierungen

Eine Konsolidierung in der Bildgebung kommt durch eine Füllung der Alveolen mit Flüssigkeit, Zellen oder Gewebe der jeweiligen Lungenareale zustande (Ye et al., 2020). Bei einer Biopsie zeigt sich hier auf histologischer Ebene ein fibromyxoides Exsudat als Ursache

der Konsolidierung (Xu et al., 2020c). Bei den betroffenen Lungenbereichen kommt es in der Radiomorphologie zu einer Zunahme der Parenchymdichte, wodurch keine Gefäß- oder Bronchialwände mehr sichtbar sind. Bei einer Infektion mit dem SARS-CoV-2 kommt es in der Regel zu fleckigen, multifokalen oder segmentalen Konsolidierungen. Diese sind bevorzugt in den subpleuralen Lungenarealen oder um bronchovaskuläre Strukturen angeordnet (Ye et al., 2020). Die Konsolidierungen sind bei einer COVID-19 Pneumonie häufige radiologische Veränderungen und kommen bei bis zu 64% der Patient\*innen vor (Li, 2020). Studien zeigen, dass ein Auftreten von Konsolidierungen für das Fortschreiten der Pneumonie spricht. Die am Anfang der Pneumonie entstehenden Milchglasinfiltrate können innerhalb von 1-3 Wochen zu Konsolidierungen fortschreiten oder mit diesen zeitgleich in der Lunge vorhanden sein (Shi et al., 2020, Pan et al., 2020b). Die Studie von Song et al zeigte außerdem, dass es bei über 50-jährigen Patient\*innen vermehrt zu Konsolidierungen in der Lunge kam, daher könnte das Auftreten von Konsolidierungen als Alarmsymptom im Hinblick auf das Behandlungsmanagement dienen (Song et al., 2020).

<b>Autor*in</b>	<b>Anzahl an Patient*innen</b>	<b>Konsolidierung</b>	<b>Milchglasinfiltrate + Konsolidierung</b>
Wu et al (Wu et al., 2020b)	80	63% (50/80)	-
Pan et al (Pan et al., 2020a)	63	19% (12/63)	-
Shi et al (Shi et al., 2020)	81	17% (14/81)	-
Chung et al (Chung et al., 2020)	21	29% (6/21)	29% (6/21)
Song et al (Song et al., 2020)	51	55% (28/51)	59% (30/51)
Pan et al (Pan et al., 2020b)	21	63% (52/82)	-
Fang et al (Fang et al., 2020)	51	-	-
Bernheim et al (Bernheim et al., 2020)	121	2% (2/121)	41% (50/121)
Ai et al (Ai et al., 2020)	1014	50% (447/888)	-
NG et al (Ng et al., 2020)	21	62% (13/21)	19% (4/21)
Li et al (Li, 2020)	83	64% (53/83)	-
Chen et al (Chen et al., 2020)	99	-	-
Guan et al (Guan et al., 2020)	1099	-	-

Tabelle 2 Konsolidierung (Ye et al., 2020: 4383)

### 7.2.3 Retikuläres Muster

Bei einem retikulären Muster kommt es zu einer Verdickung der interstitiellen Strukturen, wie den Interlobulärsepten und zu intralobulären irregulären Linien. Im Röntgenbild sind kleine lineare Verschattungen erkennbar, welche netzartig imponiert. Im CT-Bild ist ebenfalls eine feine lineare Trübung zu erkennen (Wormanns D., 2015, Ye et al., 2020). Als Ursache für ein retikuläres Muster wird eine Infiltration durch Lymphozyten vermutet (Xu et al., 2020c). Bei COVID-19 Patient\*innen stellt das retikuläre Muster und eine Verdickung der Interlobulärsepten eine häufige radiologische Veränderung dar (Song et al., 2020, Wu et

al., 2020b). Eine Studie zeigte, dass die Prävalenz dieser Pathologien mit der Dauer der Erkrankung positiv korrelieren könnte (Shi et al., 2020).

<b>Autor*in</b>	<b>Anzahl an Patient*innen</b>	<b>Verdickte Interlobularsepten</b>	<b>Retikuläres Muster</b>
Wu et al (Wu et al., 2020b)	80	59% (47/80)	-
Pan et al (Pan et al., 2020a)	63	-	-
Shi et al (Shi et al., 2020)	81	35% (28/81)	4% (3/81)
Chung et al (Chung et al., 2020)	21	-	14% (3/21)
Song et al (Song et al., 2020)	51	75% (38/51)	22% (11/51)
Pan et al (Pan et al., 2020b)	21	-	-
Fang et al (Fang et al., 2020)	51	-	-
Bernheim et al (Bernheim et al., 2020)	121	-	-
Ai et al (Ai et al., 2020)	1014	1% (8/888)	1% (8/888)
NG et al (Ng et al., 2020)	21	-	-
Li et al (Li, 2020)	83	63% (52/83)	5% (4/83)
Chen et al (Chen et al., 2020)	99	-	-
Guan et al (Guan et al., 2020)	1099	-	-

Tabelle 3 Retikuläres Muster (Ye et al., 2020: 4383)

### 7.2.4 Crazy paving-Muster

Beim crazy paving-Muster kommt es in der CT-Bildgebung zu Milchglasinfiltraten, welche durch verdickte inter- und intralobuläre Septen überlagert werden und so wie unregelmäßig angeordnete Pflastersteine imponieren. Diese radiologischen Veränderungen kommen bei diffusen Lungenparenchymerkrankungen vor, die sowohl das Interstitium als auch den Alveolarraum betreffen (Wormanns D., 2015, Ye et al., 2020). Aufgrund bisheriger Studien zu SARS-Pneumonien, ist davon auszugehen, dass ein crazy paving-Muster auch bei der SARS-CoV-2 Erkrankung durch ein Alveolarödem und eine interstitielle Entzündung bedingt ist (Wong et al., 2003, Wu et al., 2020b, Ye et al., 2020). Studien zeigten, dass sich das crazy paving-Muster bei 5-36% der erkrankten Personen nachweisen ließ (Li, 2020, Bernheim et al., 2020).

<b>Autor*in</b>	<b>Anzahl an Patient*innen</b>	<b>Crazy paving-Muster</b>
Wu et al (Wu et al., 2020b)	80	29% (23/80)
Pan et al (Pan et al., 2020a)	63	-
Shi et al (Shi et al., 2020)	81	10% (8/81)
Chung et al (Chung et al., 2020)	21	19% (4/21)
Song et al (Song et al., 2020)	51	-
Pan et al (Pan et al., 2020b)	21	23% (19/82)
Fang et al (Fang et al., 2020)	51	-
Bernheim et al (Bernheim et al., 2020)	121	5% (6/121)
Ai et al (Ai et al., 2020)	1014	-
NG et al (Ng et al., 2020)	21	-
Li et al (Li, 2020)	83	36% (30/83)
Chen et al (Chen et al., 2020)	99	-
Guan et al (Guan et al., 2020)	1099	-

Tabelle 4 Crazy paving-Muster (Ye et al., 2020: 4383)

## 7.2.5 Bronchopneumogramm

Bei diesem radiologischen Zeichen kommt es zum Hervortreten von luftgefüllten Bronchien, da es zu einer Verdichtung des umliegenden peribronchialen Lungenparenchyms kommt (Wormanns D., 2015, Ye et al., 2020). Dieses Zeichen ist ebenfalls eine häufige CT-Manifestation bei der COVID-19-Pneumonie. Song et al beschrieb das Auftreten eines Bronchopneumogramm sogar bei bis zu 80% der Patient\*innen (Song et al., 2020).

Autor*in	Anzahl an Patient*innen	Bronchopneumogramm
Wu et al (Wu et al., 2020b)	80	-
Pan et al (Pan et al., 2020a)	63	-
Shi et al (Shi et al., 2020)	81	47% (38/81)
Chung et al (Chung et al., 2020)	21	-
Song et al (Song et al., 2020)	51	80% (41/51)
Pan et al (Pan et al., 2020b)	21	-
Fang et al (Fang et al., 2020)	51	-
Bernheim et al (Bernheim et al., 2020)	121	-
Ai et al (Ai et al., 2020)	1014	-
NG et al (Ng et al., 2020)	21	-
Li et al (Li, 2020)	83	-
Chen et al (Chen et al., 2020)	99	-
Guan et al (Guan et al., 2020)	1099	-

Tabelle 5 Bronchopneumogramm (Ye et al., 2020: 4383)

## 7.2.6 Luftwegveränderungen

Zu den Veränderungen der Luftwege zählen unter anderem Bronchiektasen oder Bronchialwandverdickungen. Eine Bronchiektase wurde bei einigen COVID-19 Patient\*innen entdeckt und eine Verdickung der Bronchialwände zeigte eine Häufigkeit von bis zu 23% in der Bildgebung (Shi et al., 2020, Li, 2020). Ein möglicher Grund für die radiologischen Veränderungen kann eine entzündliche Schädigung der Bronchialwände und eine Obstruktion der Atemwege sein. In weiterer Folge kann es in der kranken Lunge zu einer Fibrose und Traktionsbronchiektasen kommen. Im Thoraxröntgen und in der CT Bildgebung ist eine Bronchiektase erkennbar, wenn der Bronchus einen größeren Durchmesser als die begleitende Arterie hat oder es zu keiner Verjüngung des Bronchiallumens nach peripher kommt. Die Studie von Li et al zeigte, dass bei einem schweren Krankheitsverlauf von COVID-19 die Inzidenz von Bronchiektasen signifikant höher war als bei einem milderem Verlauf (Li, 2020, Wormanns D., 2015, Ye et al., 2020).

Autor*in	Anzahl an Patient*innen	Bronchiektasen	Bronchialwandverdickung
Wu et al (Wu et al., 2020b)	80	-	11% (9/80)
Pan et al (Pan et al., 2020a)	63	-	-
Shi et al (Shi et al., 2020)	81	11% (9/81)	-
Chung et al (Chung et al., 2020)	21	-	-
Song et al (Song et al., 2020)	51	-	-
Pan et al (Pan et al., 2020b)	21	-	-

Fang et al (Fang et al., 2020)	51	-	-
Bernheim et al (Bernheim et al., 2020)	121	-	12% (14/121)
Ai et al (Ai et al., 2020)	1014	-	-
NG et al (Ng et al., 2020)	21	-	-
Li et al (Li, 2020)	83	-	23% (19/83)
Chen et al (Chen et al., 2020)	99	-	-
Guan et al (Guan et al., 2020)	1099	-	-

Tabelle 6 Atemwegsveränderungen(Ye et al., 2020: 4383)

## 7.2.7 Pleuraveränderungen

Bei einer COVID-19 Pneumonie kann es zu einem Pleuraerguss oder zu einer Verdickung der Pleura kommen. In einer Studie von Shi et al zeigten bis zu 32% der Patient\*innen eine verdickte Pleura, während es bei 5% der Erkrankten zu einem begleitenden Pleuraerguss kam. Die Studien von Wu et al und Li et al zeigten auch, dass es in manchen Fällen zu subpleuralen kurvilinearen Opazitäten kam. Jene Studien gaben eine Inzidenz der Veränderung von bis zu 20% an. Hier kommt es zu subpleuralen und parallel zur Pleura angeordneten linearen Verdichtungen. Diese haben meist einen Durchmesser zwischen ein und drei Millimeter und können mehrere Zentimeter lang sein. Die Veränderungen können hinweisend auf ein Lungenödem oder eine Lungenfibrose sein (Ye et al., 2020, Wu et al., 2020b, Shi et al., 2020, Li, 2020, Wormanns D., 2015).

Autor*in	Anzahl an Patient*innen	Pleuraverdickung	Pleuraerguss	Subpleurale Linie
Wu et al (Wu et al., 2020b)	80	-	6% (5/80)	20% (16/80)
Pan et al (Pan et al., 2020a)	63	-	-	-
Shi et al (Shi et al., 2020)	81	32% (26/81)	5% (4/81)	-
Chung et al (Chung et al., 2020)	21	-	-	-
Song et al (Song et al., 2020)	51	-	8% (4/51)	-
Pan et al (Pan et al., 2020b)	21	-	-	-
Fang et al (Fang et al., 2020)	51	-	-	-
Bernheim et al (Bernheim et al., 2020)	121	-	1% (1/121)	-
Ai et al (Ai et al., 2020)	1014	-	-	-
NG et al (Ng et al., 2020)	21	-	-	-
Li et al (Li, 2020)	83	-	8% (7/83)	20% (17/83)
Chen et al (Chen et al., 2020)	99	-	-	-
Guan et al (Guan et al., 2020)	1099	-	-	-

## **7.2.8 Weitere radiologische Veränderungen bei COVID-19**

Weitere radiologische Manifestationen einer SARS-CoV-2 Infektion sind Rundherde, ein umgekehrtes Halozeichen, Lymphadenopathie oder ein Perikarderguss. Diese Bildmorphologien kommen jedoch weitaus seltener vor als die zuvor erwähnten und sind nicht spezifisch für eine COVID-19 Erkrankung (Ye et al., 2020).

### **7.2.8.1 Rundherde**

Das Auftreten eines Rundherdes wird häufig mit einer viralen Pneumonie assoziiert und wird bei einer COVID-19-Pneumonie mit einer Inzidenz von 3-13% beschrieben. Hier kommt es zu multifokalen soliden irregulären Knoten oder Knoten mit einem umgekehrten Halozeichen (Pan et al., 2020b, Ai et al., 2020, Ye et al., 2020, Li et al., 2020, Pan et al., 2020a).

### **7.2.8.2 Halozeichen und umgekehrtes Halozeichen**

Als Halozeichen wird das Auftreten eines Rundherdes oder einer Konsolidierung umgeben von Milchglastrübung bezeichnet. Dieses radiologische Zeichen kommt meist aufgrund einer alveolären Hämorrhagie bei einer invasiven Aspergillose zustande. In seltenen Fällen können jedoch auch Karzinome oder Entzündungen zu dieser Veränderung führen (Wormanns D., 2015, Pinto, 2004). Ein Halozeichen bei einer COVID-19-Pneumonie wurde bisher als Case Report von Li et al beschrieben (Li et al., 2020).

Ein umgekehrtes Halozeichen ist in der CT-Bildgebung als Milchglastrübung umgeben von einer ringförmigen Konsolidierung zu erkennen. In seltenen Fällen wird es in der Literatur auch als Atoll-Zeichen bezeichnet. Typischerweise ist dieses Zeichen bei einer (kryptogenen) organisierenden Pneumonie zu finden. Jedoch kann es auch bei nicht-infektiösen oder infektiösen Erkrankungen der Lunge wie beispielweise Tuberkulose zu diesen radiologischen Veränderungen kommen (Wormanns D., 2015). Das Auftreten eines umgekehrten Halozeichen bei einer Coronavirus-Infektion wurde in manchen Studien als Zeichen einer Krankheitsprogression interpretiert. Drei Studien zeigten, dass sich ein umgekehrtes Halozeichen bei 2-3% der Patient\*innen nachweisen ließ (Li and Xia, 2020, Yoon et al., 2020, Bernheim et al., 2020).

### **7.2.8.3 Lymphadenopathie**

Eine Vergrößerung der Lymphknoten konnte bei 4-8% der Patient\*innen mit einer SARS-CoV-Infektion nachgewiesen werden (Wu et al., 2020b, Shi et al., 2020). Die Studie von Li

et al zeigte, dass eine Lymphadenopathie bei erkrankten Personen für einen schweren Krankheitsverlauf sprach (Li, 2020). Ein zeitgleiches Auftreten von einer Lymphadenopathie, einem Pleuraerguss und zahlreichen kleinen Rundherden ist selten und daher eher mit einer bakteriellen Superinfektion oder einer anderen Diagnose vereinbar (Kanne et al., 2020).

#### 7.2.8.4 Perikarderguss

Eine sehr seltene Komplikation im Zuge einer Pneumonie bedingt durch das Coronavirus ist der Perikarderguss. In der Bildgebung zeigten je nach Studie bis zu 5% der Patient\*innen eine Flüssigkeitsansammlung im Herzbeutel. Die Ursache war eine schwere Entzündungsreaktion, daher war die Inzidenz bei Patient\*innen mit einem schweren Krankheitsverlauf höher als bei einem milderem Verlauf (Li, 2020, Wu et al., 2020b).

Autor*in	Anzahl an Patient*innen	Rundherd	Umgekehrtes Halozeichen	Lymphadenopathie	Perikarderguss
Wu et al (Wu et al., 2020b)	80	-	-	4% (3/80)	5% (4/80)
Pan et al (Pan et al., 2020a)	63	13% (8/63)	-	-	-
Shi et al (Shi et al., 2020)	81	6% (5/81)	-	6% (5/81)	-
Chung et al (Chung et al., 2020)	21	-	-	-	-
Song et al (Song et al., 2020)	51	-	-	6% (3/51)	6% (3/51)
Pan et al (Pan et al., 2020b)	21	-	-	-	-
Fang et al (Fang et al., 2020)	51	-	-	-	-
Bernheim et al (Bernheim et al., 2020)	121	-	2% (2/121)	-	-
Ai et al (Ai et al., 2020)	1014	3% (24/888)	-	-	-
NG et al (Ng et al., 2020)	21	-	-	-	-
Li et al (Li, 2020)	83	7% (6/83)	-	8% (7/83)	5% (4/83)
Chen et al (Chen et al., 2020)	99	-	-	-	-
Guan et al (Guan et al., 2020)	1099	-	-	-	-

### **7.3 COVID-19 im Vergleich zu anderen viralen Pneumonien**

Bei einer viralen Pneumonie kommt es zu einem diffusen Alveolarschaden (Chong et al., 2010). Auf histologischer Ebene zeigt sich eine Füllung der Alveolen mit Eiter, Wasser, Blut oder Zellen. Dieser Pathomechanismus präsentiert sich in der Bildgebung durch multifokale Milchglasverdichtungen. Die meisten viralen Pneumonien zeigen aufgrund eines ähnlichen Pathomechanismus auch eine ähnliche Bildgebung. Das ist im Speziellen bei Erregern einer gemeinsamen viralen Familie zu beobachten. Wie zu erwarten, zeigt die Familie der Coronaviren weitgehend übereinstimmende radiologische Veränderungen. Eine SARS-CoV-2 Erkrankung zeigt große Ähnlichkeiten mit einer SARS und MERS Pneumonie. Studien zeigten jedoch, dass es in der Frühphase einer SARS/MERS Pneumonie häufiger zu einem unilateralen Befall als zu einem multifokalen Befall kam, während eine Infektion mit SARS-CoV-2 häufiger eine multifokale Beteiligung im initialen Thorax-CT zeigte. Zudem waren bei der COVID-19 Pneumonie häufiger Milchglasinfiltrate in den peripheren Bereichen der Oberlappen und in den subpleuralen Arealen zu finden. Der Schweregrad der radiologischen Veränderungen und die Anzahl an Konsolidierungen war bei der SARS-CoV-2 Infektion geringer ausgeprägt als bei einer SARS-CoV-1 Infektion. Die radiologischen Unterschiede innerhalb der Familie der Coronaviren zeigen jedoch noch Forschungsbedarf auf (Xu et al., 2020b, Koo et al., 2018, Ooi and Daqing, 2003, Carotti et al., 2020).

### **7.4 Zeitliche Entwicklung der Bildmorphologie bei COVID-19**

Die radiologischen Kennzeichen der Pneumonie sind vom Stadium der Erkrankung abhängig. Der Verlauf der Bildmorphologie kann in vier Stadien eingeteilt werden.

1. Frühstadium: Hier kommt es 0-4 Tage nach Symptombeginn zum Nachweis von Milchglasinfiltraten. Diese stellen das Hauptkennzeichen im Frühstadium dar. Die Infiltrate sind vorwiegend subpleural, in den unteren Lungenarealen unilateral oder bilateral lokalisiert. Die CT Bildgebung kann in diesem Stadium noch initial negativ sein. Die Studie von Bernheim et al zeigte, dass es im frühen Krankheitsverlauf (0-2 Tage) bei bis zu 56% der Patient\*innen zu einem normalen CT Befund kam (Pan et al., 2020a, Bernheim et al., 2020).
2. Progressives Stadium: Nach 5-8 Tagen breitet sich die Infektion rapide aus und es kommt zur Expansion auf weitere Lungenareale. In diesem Stadium ist die Lunge

meist bilateral und multilobär mit diffusen Milchglasinfiltraten, crazy paving-Muster und Konsolidierungen befallen (Pan et al., 2020a).

3. Peak-Stadium: Nach 9-13 Tagen sind die radiologischen Veränderungen in der Regel am stärksten ausgeprägt. Hier kommt es zu zunehmenden Konsolidierungen, Milchglasinfiltrate und crazy paving-Muster. Es kann zur Ausbildung eines postentzündlichen Parenchybandes kommen (Pan et al., 2020a).
4. Absorptions-Stadium: Nach mehr als 14 Tagen ist die Infektion am Abklingen und die Konsolidierungen sind allmählich verschwunden. Als Zeichen von den verschwindenden Konsolidierungen kann es während diesem Prozess zum Auftreten von Milchglasinfiltraten kommen. In der Regel sind im Zuge der Genesung keine crazy paving-Muster mehr sichtbar. Dieses Stadium dauert bis zu 26 Tage (Pan et al., 2020a).

Die radiologische Präsentation verändert sich mit dem Fortschreiten beziehungsweise mit dem Abheilen der Pneumonie. Die Abbildung 7 Veränderungen der COVID-19 Pneumonie (Shi et al., 2020: 430) präsentiert die Veränderung bezogen auf den zeitlichen Verlauf. Bei der ersten Gruppe wurde ein CT-Scan vor dem Beginn der Symptome durchgeführt. Die CT-Bildgebung in der zweiten Gruppe wurde bei Patient\*innen durchgeführt welche  $\leq 1$  Woche Symptome zeigten und in der dritten Gruppe zeigten die Patient\*innen seit 1-2 Wochen Symptome. In der vierten Gruppe spiegelte das CT-Bild den Krankheitsverlauf 2-3 Wochen nach Symptombeginn wider. Bei Patient\*innen in der Gruppe 1 beziehungsweise im Frühstadium zeigten sich vorwiegend Milchglasinfiltrate. In der Gruppe 2 kam es zu einer bilateralen und diffusen Ausbreitung. Die Hauptkennzeichen in diesem Stadium waren jedoch noch immer Milchglasinfiltrate (81%). Im zeitlichen Verlauf der Erkrankung nahmen diese ab und es kam zu einer Zunahme der Konsolidierungen. In der dritten Gruppe kam es bereits bei bis zu 30% der Patient\*innen zu Konsolidierungen. Zwei bis drei Wochen nach Symptombeginn (Gruppe 4) zeigten sich im CT Bild zusätzlich retikuläre Muster (Shi et al., 2020).

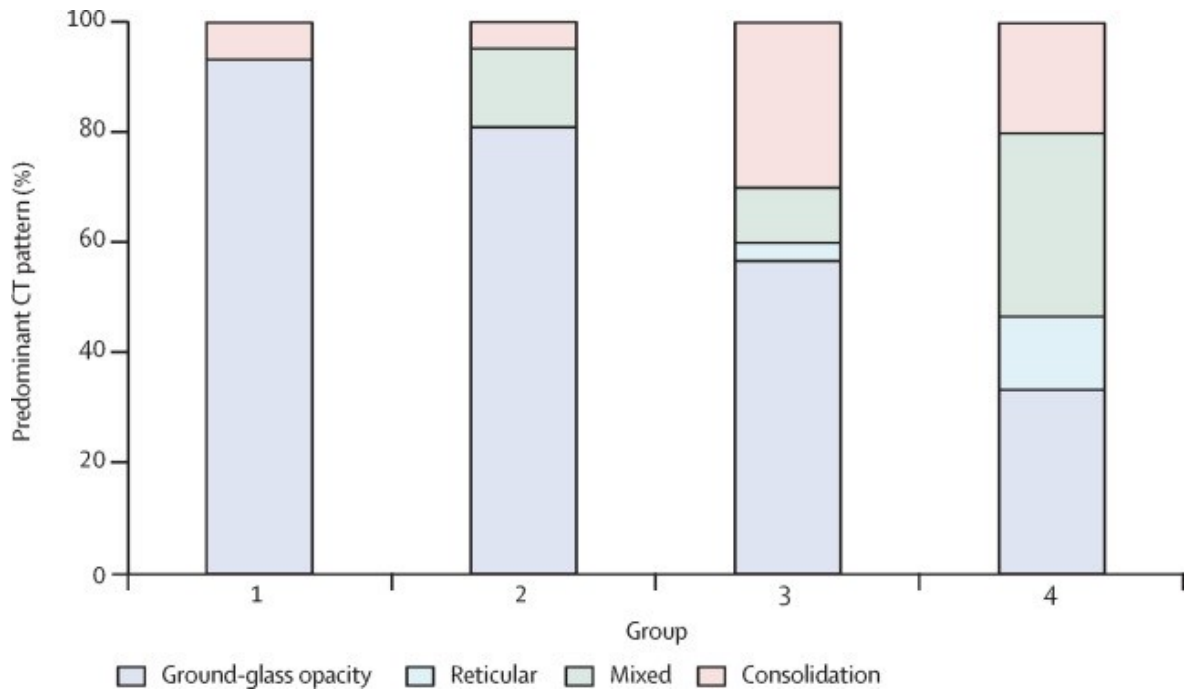


Abbildung 7 Veränderungen der COVID-19 Pneumonie (Shi et al., 2020: 430)

## 8 Komplikationen

### 8.1 Pulmonalarterienembolie

Im Zuge einer COVID-19 Erkrankung kann es vermehrt zu venösen als auch arteriellen thrombembolischen Ereignissen kommen. Die Patient\*innen zeigen ein erhöhtes Risiko eine Pulmonalarterienembolie (PAE), tiefe Venenthrombosen, ischämischen Insult sowie einen myocardialen Infarkt zu erleiden. Die Pulmonalarterienembolie stellt hier eine der wichtigsten Komplikationen dar, welche zu einer erhöhten Morbidität und Mortalität führen kann. So zeigt sich bei den meisten verstorbenen COVID-19 Patient\*innen eine disseminierte intravasale Gerinnung. Die Ursachen für vermehrt thrombembolische Ereignisse bei COVID-19 Patient\*innen sind auf eine exzessive Entzündungsreaktion, Hypoxie, Immobilisation und auf eine diffuse intravaskuläre Gerinnung zurückzuführen (Bikdeli et al., 2020, Klok et al., 2020, Poyiadji et al., 2020, Tang et al., 2020).

Die Inzidenz für ein venöses thrombembolisches Ereignis bei Intensivpatient\*innen mit einem schweren Verlauf liegt je nach Studie zwischen 22 und 38% (Grillet et al., 2020, Cui et al., 2020, Léonard-Lorant et al., 2020, Poyiadji et al., 2020, Ooi et al., 2020). Im Gegenzug dazu, erleiden lediglich 12,7% der Intensivpatient\*innen ohne COVID-19 ein thrombembolisches Ereignis (Malato et al., 2015). In Summe liegt die Gesamtprävalenz, als COVID-19 positive\*r Patient\*Patientin, eine PAE zu erleiden bei circa 3,3%. Dabei beeinflussen weder das Alter noch das Geschlecht das Risiko eine PAE zu entwickeln. Eine positive Korrelation zeigt sich jedoch mit der Schwere der Erkrankung, so zeigen Patient\*innen mit einem schweren Krankheitsverlauf häufiger thrombembolische Ereignisse als jene mit einem leichten Verlauf (Ooi et al., 2020). Es kommt zudem zu signifikanten Unterschieden zwischen dem CRP und D-Dimer Wert bei Patient\*innen mit und ohne PAE. Auch hier besteht eine starke Korrelation zwischen einem erhöhten D-Dimer Wert und einem schweren Krankheitsverlauf. Die Studie von Poyiadji et al wies darauf hin, dass eine vorrausgehende Statintherapie und ein erhöhtes Körpergewicht ebenfalls das Risiko eine PAE zu entwickeln beeinflusste. Die Studie zeigte, dass Patient\*innen mit einem Body-Mass-Index von mehr als 30 kg/m<sup>2</sup> ein 2,7-mal höheres Risiko für eine PAE hatten. Bei jenen Patient\*innen, welche eine vorrausgegangene Statintherapie erhalten haben, war das Risiko für eine PAE verringert (Poyiadji et al., 2020). Die Lokalisation des Thrombus ist bei 75% der PAE-Patient\*innen in kleinen Gefäßen oder subsegmental lokalisiert und bei 25% der Patient\*innen befinden sich Thromben sowohl in kleineren als auch in größeren Gefäßen (Ooi et al., 2020). Im Hinblick auf das Behandlungsmanagement zeigte die Studie von

Poyiadji et al, dass die Aufnahme auf die Intensivstation, die Intubationsindikation und die Intubationsdauer unabhängig vom Auftreten einer PAE waren. Hier konnten keine signifikanten Unterschiede bei Patient\*innen mit und ohne PAE nachgewiesen werden (Poyiadji et al., 2020).

## **8.2 Kavitationen/Nekrosen**

Bei Patient\*innen mit einer Aspirationspneumonie oder vorbestehender Lungenerkrankung wie beispielsweise COPD kommt es vermehrt zur Ausbildung von Nekrosen oder Kavitationen. Die infektiöse Ursache bei immunkompetenten Patient\*innen ist meist das Bakterium *Staphylococcus aureus*, gram-negative Bakterien wie Klebsiellen oder Pseudomonaden, Anaerobier, *Proteus* oder Mykobakterien. Für diese Art von Pathologien sind in der Regel keine Mykoplasmen oder Viren verantwortlich. Eine Kavitation kann durch eine ischämisch bedingte Gewebsnekrose und bronchialer Drainage entstehen. Eine weitere Möglichkeit ist durch gasbildende Bakterien, wo es zu lufthaltigen Abszessen kommt. In der CT Bildgebung ist bei Kavitationen zunächst eine Konsolidierung mit einer zentralen Flüssigkeitsansammlung erkennbar. Kommt es bei einem Röntgenbild zu lokalisierten Infiltraten in den Oberlappen oder den apikalen Unterlappensegmenten und zusätzlichen Kavitationen muss an eine postprimäre Infektion mit dem *Mycobacterium tuberculosis* gedacht werden (Beyer and Wormanns, 2011, Wormanns et al., 2017, Franquet, 2001).

## **8.3 Abszess**

Für die Ausbildung von Abszessen sind meist Anaerobier verantwortlich (Wormanns et al., 2017). In der Bildgebung sind Abszesse nur schwer von Empyemen zu unterscheiden. In der CT-Bildgebung ist ein Abszess meist als dickwandige, kugelförmige Konsolidierung mit oder ohne Spiegelbildung erkennbar. In diesem Areal kann es zu einem positiven Pneumobronchogramm kommen. Ein Lungenabszess befindet sich direkt in der Lunge, wohingegen ein Empyem laut Definition in einer vorbestehenden Körperhöhle entsteht. Demnach kommt es bei einem Empyem zu einer Eiteransammlung im Pleuraraum. Aufgrund der unterschiedlichen Lokalisation der Entzündung kann der gemessene Winkel zur Pleura helfen Abszesse und Empyeme voneinander zu unterscheiden. In der Regel bildet ein Abszess mit der Pleura einen spitzen Winkel, wohingegen das Empyem einen stumpfen Winkel zur Pleura bildet. Bei Verdacht auf einen Abszess wird eine Kontrolle mittels CT empfohlen, um wichtige Differentialdiagnosen auszuschließen. Unter anderem dient die Untersuchung zum Ausschluss einer Raumforderung, welche zur Bronchusobstruktion führt, oder eines Fremdkörpers, sowie einer superinfizierten Infarktpneumonie. Durch die gute

medikamentöse Ansprache ist nur selten ein operativer Eingriff oder eine perkutane Katheterdrainage mittels CT notwendig (Wormanns et al., 2017).

#### **8.4 Pneumatozele**

Pneumatozelen sind im Röntgen vor allem im Anschluss an eine Influenzainfektion zu finden. Es kommt zu einer sekundären Infektion mit dem Bakterium *Staphylococcus aureus* aber auch *Streptococcus pneumoniae* und *Klebsiella pneumoniae*. Insbesondere bei Kindern ist der *Streptococcus pneumoniae* für die zystischen Lungenveränderungen verantwortlich. Im Röntgen als auch im CT ist die Komplikation als dünnwandiger gasgefüllter Hohlraum zu erkennen. Hier ist die Abgrenzung von vorbestehenden emphysematösen Lungenveränderungen wichtig (Beyer and Wormanns, 2011, Franquet, 2001, Wormanns D., 2015).

#### **8.5 Pleuraempyem**

Zu einem Pleuraempyem kommt es meist bei einer Infektion mit *Streptococcus pneumoniae*, *Staphylococcus aureus* und gram-negativen Bazillen. Die Eiteransammlung zwischen den Pleurablättern zeigt sich in der Bildgebung als Flüssigkeitsansammlung und später kommt es zum Auftreten von Kammerungen. Das Empyem kann auch mehrfach gekammert sein. In der CT Bildgebung können drei verschiedene Stadien unterschieden werden. Im Stadium 1, dem exsudativen Stadium, kommt es zu einer gesteigerten Kapillarpermeabilität und somit zu einer Ansammlung von Pleuraflüssigkeit. Hier ist noch keine Verdickung der Pleurablätter erkennbar. Im Stadium 2 kommt es zu einer Verdickung und einer Trennung der Pleura viszeralis und parietalis. Das ist bei 68% der Patient\*innen als „split-pleura“ Zeichen erkennbar. Besonders bei der kontrastmittelunterstützten CT-Untersuchung kann es zu einer erhöhten Kontrastmittelaufnahme der beiden Pleurablättern kommen und das Stadium ist dann besonders gut erkennbar. Im Stadium 3 kommt es zu einer Pleurafibrose, „air-trapping“ und manchmal auch zu Spiegelbildung. Bei bis zu 36% der Patient\*innen kommt es zusätzlich zu einer Lymphadenopathie (Reynolds et al., 2010). Selbst im CT-Bild ist jedoch die genaue Unterscheidung zwischen einem nicht infizierten, begleitendem Pleuraerguss und einem parapneumonischen Erguss bzw. Pleuraempyem nicht sicher möglich (Beyer and Wormanns, 2011, Franquet, 2001). Bei passender Klinik kann die Verdachtsdiagnose mit einer Pleurapunktion bestätigt werden (Wormanns et al., 2017). Bei einem komplizierten Erguss kann die Anlage einer Drainage notwendig sein, um eine Pleuraentzündung und sekundäre Schäden wie eine Pleurafibrose zu verhindern und die Re-expansion der Lunge zu ermöglichen (Reynolds et al., 2010). In manchen Fällen können

auch extrapulmonale Infiltrate in der Bildgebung erkennbar sein, jedoch meist nur bei Pilzinfektionen oder Infektionen durch Anaerobier (Beyer and Wormanns, 2011, Franquet, 2001).

## 9 Nicht-infektiöse Differentialdiagnosen

Die Diagnose einer Pneumonie wird durch die vorhandene Klinik und anhand von radiologischen Veränderungen gestellt. Das Auftreten der Bildmorphologie ist für eine Pneumonie jedoch nicht spezifisch, es kann auch eine nicht-infektiöse Ursache vorliegen. Es zeigt sich, dass bei Patient\*innen mit Verdacht auf eine infektiöse Lungenerkrankung in bis zu 5% eine andere Lungenerkrankung vorliegt. Insbesondere, wenn es sich um eine „therapieresistente“ Pneumonie handelt, sollte man die Differentialdiagnosen überdenken (Wielandner et al., 2017). Das trifft vor allem bei älteren und multimorbiden Patient\*innen zu. Hier sind häufige Erkrankungen der Lunge wie Ödeme, Arzneimitteltoxizität oder Lungeninfarkte von jenen der Pneumonie zu unterscheiden (Herold and Sailer, 2004). Ebenso kann die Pneumoniediagnostik bei beatmeten Patient\*innen eine Herausforderung darstellen, da die Abgrenzung eines ARDS zu einer Pneumonie sich schwierig gestalten kann. Hierbei kommt es häufig zu falsch-positiven oder falsch-negativen Befunden in der Diagnostik (Winer-Muram et al., 1993, Herold and Sailer, 2004).

### 9.1 Lungenödem

Beim Lungenödem wird das hydrostatische Ödem vom Permeabilitätsödem abgegrenzt. Beide sind wichtige nicht-infektiöse Differentialdiagnosen einer Pneumonie. Beim hydrostatischen Ödem kommt es aufgrund eines erhöhten pulmonalvenösen Druck oder einem erniedrigten intravasalen onkotischen Druck zum Austritt von Flüssigkeit aus den Kapillaren. In der Bildgebung kennzeichnet sich das hydrostatische Ödem mit Milchglasinfiltraten. Diese sind in der Regel bilateral, symmetrisch verteilt, bevorzugt basal lokalisiert und gravitationsabhängig. Es kann eine Bronchialwandverdickung in der Bildgebung sichtbar sein. Zusätzlich zeigen sich im Thoraxröntgen verdickte Interlobulärsepten, welche horizontal und peripher als lineare Verschattungen erkennbar sind. Sie scheinen ihren Ursprung bei der Pleura zu haben und werden auch als Kerley-B-Linien bezeichnet. Im Thorax-CT ist die Verdickung zusätzlich als glatt begrenzte Linie erkennbar. Zudem kann in der Bildgebung ein vergrößerter Herzschatten als Zeichen einer Herzinsuffizienz und ein bilaterale Pleuraerguss Hinweise auf ein hydrostatisches Ödem geben. Als weitere Differentialdiagnose ist das Permeabilitätsödem abzugrenzen. Die Ursache dafür kann ein diffuser Alveolarzellschaden sein. Ein Alveolarzellschaden kann durch eine akute interstitielle Pneumonie bedingt sein. Weitere Ursachen können Medikamente, Infektionen, Fettembolie, Aspiration, toxische Gase, Traumen, Beinahe-Ertrinken, Schock oder Sepsis sein. Durch den Alveolar- und Kapillarendothelschaden

kommt es zu diffusen und fleckigen Milchglasinfiltraten in der Bildgebung (Wormanns D., 2015, Wielandner et al., 2017).

## **9.2 Aspiration**

Bei einer Aspirationspneumonie zeigen sich im Thoraxröntgen schlecht definierte, alveoläre Verschattungen, welche vorwiegend perihilär lokalisiert sind. Es kann auch zu multifokalen, fleckigen Verschattungen kommen, welche segmental oder lobär in den basalen Arealen der Lunge verteilt sind. Im HRCT kommt es bei einer Aspiration zu zentrilobulären Knoten und verdickten Septen, welche das radiologische Bild eines „tree-in-bud“ Zeichen präsentieren. Meist finden sich die Veränderungen im posterobasalen oder superioren Segment des Unterlappens (Wielandner et al., 2017).

## **9.3 Hämorrhagische Infarzierung**

Bei einer hämorrhagischen Infarzierung, bedingt durch eine Pulmonalarterienembolie, können trapezförmige periphere Verschattungen im Thoraxröntgen hinweisend darauf sein. Die radiologischen Veränderungen sind pleuraständig und können auch multipel auftreten. Zusätzlich kann eine abgerundete Kappe Richtung Hilum, auch Hampton's Hump genannt, erkennbar sein. Im Röntgenbild kann es zu einem Zwerchfellhochstand, einer verplumpten Hilusregion oder zentral dilatierten Lungengefäßen mit einer peripheren Oligämie kommen. Zur genauen Diagnose einer hämorrhagischen Infarzierung dient jedoch die CT-Angiographie (Wormanns et al., 2017, Wielandner et al., 2017).

## **9.4 Diffus alveoläre Einblutung**

Bei einer diffusen Verlegung der Alveolen mit Blut resultieren in der Bildgebung fleckige Transparenzminderungen oder Konsolidierungen (Wielandner et al., 2017).

## **9.5 Medikamenteninduzierte Lungenschäden**

Zahlreiche Medikamente können zu Lungenschäden führen. Daher gibt es große radiomorphologische Unterschiede zwischen den Medikamenten und dem schädigenden Mechanismus. Prinzipiell gibt es zwei Arten der Schädigung, die immunmedierte und die zytotoxisch bedingte Lungenschädigung. Bei der immunmedierten Lungenschädigung kann sich das radiologische Muster einer interstitiellen Pneumonie, organisierende Pneumonie, eosinophilen Pneumonie oder Hypersensitivitätspneumonie zeigen. Die zytotoxisch bedingte Lungenschädigung zeigt sich hingegen mit einem Ödem, ARDS oder einem diffusen Alveolarschaden in der Bildgebung (Wielandner et al., 2017).

## 9.6 **Adenokarzinom**

Eine herdförmige Veränderung in der Bildgebung kann sowohl bei der Herdpneumonie als auch bei einem bronchioalveolärem Karzinom vorkommen. So kann ein lepidisch wachsendes Adenokarzinom eine große radiologische Ähnlichkeit mit einer Pneumonie aufweisen. Das Karzinom wird oftmals erst erkannt, wenn es durch einen respiratorischen Infekt symptomatisch wird und als Zufallsbefund diagnostiziert wird. Das Adenokarzinom wächst entlang der bronchoalveolären Strukturen. Im Thoraxröntgen oder CT ist das anhand von Milchglasinfiltraten oder Konsolidierungen in diesen Bereichen erkennbar. Die Pathologien sind vorwiegend in den unteren Zonen der Lunge zu finden und das Pneumobronchogramm ist meist positiv. Die genaue Unterscheidung der Differentialdiagnose ist jedoch selbst im CT als auch bei Hybridverfahren wie PET/CT nicht sicher möglich. Zur Unterscheidung wird eine Kontrolle nach vorangegangener Antibiotikatherapie verordnet, wenn keine Besserung sichtbar ist muss eine invasive Diagnostik wie beispielweise Bronchoskopie oder eine CT-gezielte Punktion durchgeführt werden (Beyer and Wormanns, 2011, Wielandner et al., 2017).

## 9.7 **Lymphom**

Bei einem Lymphom sind in der Bildgebung multiple, diffuse Rundherde und Konsolidierungen mit umgebenden Milchglasinfiltrat zu sehen. Diese sind meist schlecht begrenzt, können uni- oder bilateral vorkommen und zeigen vereinzelt Kavitationen. Die Pathologien verteilen sich meist um das peribronchiale Gewebe oder sind perilymphatisch angeordnet. Zudem kann es zu Lymphadenopathien oder interstitiellen Verschattungen (Wielandner et al., 2017).

## 9.8 **Organisierende Pneumonie**

Bei einer organisierenden Pneumonie sind im CT-Bild typischerweise peripher lokalisierte Milchglasinfiltrate als auch periphere Konsolidierungen zu sehen. Diese ordnen sich vorwiegend fokal und um das bronchovaskuläre Gewebe an. Zudem kann es zur Ausbildung eines zentralen Milchglasinfiltrats mit umgebender Konsolidierung kommen, was als „reversed-halo“ Zeichen definiert ist. Das Bronchopneumogramm kann positiv sein (Wielandner et al., 2017).

## 9.9 **Sarkoidose**

Das radiomorphologische Erscheinungsbild einer Sarkoidose kann dem einer Pneumonie ähnlich schauen. Es kommt zu schlecht begrenzten Milchglasinfiltraten, welche vorwiegend perihilär lokalisiert sind. In der Bildgebung sind zudem perilymphatische und periphere Konsolidierungen erkennbar. Durch eine konfluierende perilymphatische Anordnung der einzelnen Noduli kann das Bild einer Galaxie entstehen, daher wird es auch als „Galaxy-Sign“ bezeichnet. Dieses radiologische Merkmal kann helfen eine Sarkoidose als Differentialdiagnose einzuengen. Zusätzlich sind bei der Sarkoidose die Pathologien meist in den oberen Arealen der Lunge erkennbar. Ein weiteres typisches Merkmal ist eine hiläre, mediastinale und symmetrische Lymphadenopathie auf beiden Seiten als auch ein positives Bronchopneumogramm (Wielandner et al., 2017).

## 9.10 **Akut eosinophile Pneumonie**

Eine akute eosinophile Pneumonie präsentiert sich in der Bildgebung durch bilaterale, fleckige Konsolidierungen welche bevorzugt peripher lokalisiert sind und einem begleitenden Pleuraerguss. In der CT Bildgebung können zudem noch Milchglasinfiltrate, verdickte Interlobulärsepte und schlecht begrenzte Noduli erkennbar sein (Wielandner et al., 2017).

## 9.11 **Exogen allergische Alveolitis**

Bei passender Anamnese muss eine exogen allergische Alveolitis als Differentialdiagnose miteinbezogen werden. Hier kommt es zu diffus verteilten Milchglasinfiltraten. Noduli befinden sich zentrilobulär und haben einen Durchmesser von zirka 5mm. Die Noduli können milchglasartig oder weichteildicht sein und oftmals ist zusätzlich eine zentrale Aufhellung erkennbar. In der CT Bildgebung zeigt sich zudem „air trapping“. Im endexpiratorischen CT-Bild erkennt man einen verminderten Dichteanstieg, einen fehlenden Volumsverlust und eine Verminderung der arteriellen Gefäßkaliber. Häufig sind in den apikalen und basalen Bereichen der Lunge keine pathologischen Veränderungen zu sehen (Wielandner et al., 2017, Wormanns D., 2015).

## 9.12 **Atelektase**

Bedingt durch ein zentrales Bronchuskarzinom kann es zur Minderbelüftung von Lungenarealen kommen. Im Röntgen oder CT ist das als Volumenverminderung des

jeweiligen Lungenareals sichtbar. Zeitgleich kommt es zu einer Dichteanhebung des Areals im CT oder Verschattung im Röntgen. Durch die Volumenabnahme kann es zudem zur Verschiebung der intrathorakalen Strukturen kommen (Wormanns D., 2015, Wielandner et al., 2017).

## **10 Bildgebung zur Pneumoniediagnostik**

### **10.1 Thoraxröntgen**

Das Thoraxröntgen ist das Mittel der Wahl zur Verdachtsbestätigung und hilft außerdem die Ausdehnung des Infiltrats, weitere Begleiterkrankungen sowie mögliche Komplikationen zeitnah festzustellen als auch Differentialdiagnosen einzuengen. Zudem wird das Thoraxröntgen bei bestimmten Fragestellungen zur Verlaufs- und Therapiekontrolle eingesetzt (Bewick et al., 2010, S.Ewig, 2016). In manchen Fällen wird das Thoraxröntgen auch dazu verwendet, um eine invasive Diagnostik einzuleiten. Für eine erfolgreiche Behandlung in der Klinik ist es notwendig, die Radiomorphologie, die Komplikationen und den Verlauf genau beurteilen zu können. Somit ist das Röntgen mit einer angemessenen Genauigkeit und einer breiten Verfügbarkeit sowie geringen Kosten und geringen Strahlenbelastung optimal beim Verdacht auf eine Pneumonie (Herold and Sailer, 2004, Franquet and Chung, 2019).

Eine Studie zeigte, dass ein Thoraxröntgen bei einer CAP innerhalb der ersten 4 Stunden nach Krankenhausaufnahme zu einem signifikant verkürzten Krankenhausaufenthalt und einer verkürzten Antibiotikatherapie führte (Bewick et al., 2010). Zusätzlich kann die Bildgebung in manchen Fällen auch zur Abschätzung der Mortalität dienen. Es hat sich gezeigt, dass ein entzündlicher Befall von mehreren Lappen ein unabhängiger Prädiktor für die Mortalität ist (Herold and Sailer, 2004).

Studien belegten jedoch, dass die Einigkeit über radiomorphologische Veränderungen zwischen Radiolog\*innen sehr unterschiedlich sein kann und es somit zu Unstimmigkeiten zwischen den einzelnen Befunden kommt. Es zeigt sich, dass Infiltrate, multilobare Erkrankungen und ein Pleuraerguss von unterschiedlichen Radiolog\*innen in einem ähnlich häufigen Ausmaß erkannt werden. Die Übereinstimmungen zwischen den Ärzt\*innen bezüglich Infiltratmuster und Bronchopneumogramm sind jedoch schlechter (Albaum et al., 1996). Bei einer weiteren Studie wurden 319 verschiedene Thoraxaufnahmen von unterschiedlichen Ärzt\*innen befundet. Hier zeigte sich, dass die Unstimmigkeiten zwischen den Befunden sehr von der Berufserfahrung der Ärzt\*innen abhängig waren. So

kam es gerade bei Assistenzärzt\*innen und Fachärzt\*innen zu deutlichen unterschieden in den Diagnosen (Melbye and Dale, 1992).

### **10.1.1 Infiltratsnachweis im Thoraxröntgen**

In der Regel dauert es 12 Stunden bis bei vorhandenen Symptomen die ersten radiologischen Hinweise einer Pneumonie im Thoraxröntgen sichtbar werden. Bei immunsupprimierten Patient\*innen verzögert sich der bildliche Nachweis noch weiter (Herold and Sailer, 2004). Bei bis zu 21% der Patient\*innen mit bestätigter klinischer Diagnose einer CAP zeigt das initiale Thoraxröntgen keine Infiltrate oder pathologische Hinweise (S.Ewig, 2016). Jedoch kommt es bei bis zu 55% jener Patient\*innen, welche initial ein negatives Röntgen hatten, innerhalb der ersten 48 Stunden zu einem radiologischen Nachweis eines Infiltrats (Hagaman et al., 2009). Besonders bei Patient\*innen, welche unter Alkoholismus, Diabetes oder Urämie erkrankt sind, kommt es zu einer gestörten Granulozytenfunktion und somit zu einem verzögerten Auftreten eines pneumonischen Infiltrats. Bei diesen Patient\*innen muss der\*die Radiologe\*Radiologin damit rechnen, keine typischen Merkmale einer Pneumonie in der Bildgebung zu sehen. Hier kann zur Pneumoniediagnostik eine CT Untersuchung hilfreich sein (Heussel et al., 1997, Herold and Sailer, 2004).

### **10.1.2 Follow-up Röntgen**

Die Verbesserung des radiomorphologischen Erscheinungsbildes kann sehr unterschiedlich verlaufen und unter Umständen mehrere Wochen benötigen. Daher wird die Indikation für ein follow-up Röntgen nur unter bestimmten Voraussetzungen gestellt. Prinzipiell verändert sich das Bild im Röntgen nur langsam, so kann es bereits zu einer klinischen Verbesserung gekommen sein, obwohl die Bildgebung noch unverändert ist. Im Röntgenbild sind bei einer klassischen Pneumonie meist nach 2 Wochen keine Veränderungen mehr erkennbar. In manchen Fällen kann die Rückbildung jedoch bis zu 6 Monate dauern. Es ist unter anderem vom Alter, Erreger, Raucheranamnese und von der Ausdehnung der Entzündung abhängig, wie schnell es zu einer Verbesserung der Bildgebung kommt. So wirkt sich ein Befall von mehreren Lappen negativ auf die Rückbildungstendenz aus. Bei älteren Patient\*innen kann sich das mehrere Wochen hinziehen, daher kann man hier erst bei persistierenden Veränderungen über 12 bis 14 Wochen von einem pathologischen Verlauf sprechen. Der Rückgang der pathologischen Veränderungen kann auch vom Erregertyp abhängig sein. Bei atypischen Bakterien und Viren kommt es zu einer schnellen Verbesserung, wohingegen eine Infektion mit Legionellen oder Pneumokokken unter Umständen lange in der Bildgebung zu sehen ist (Herold and Sailer, 2004, Reynolds et al., 2010).

Bei längerer Persistenz einer Pneumonie muss an eine nicht-infektiöse Differentialdiagnose, wie ein malignes Geschehen gedacht werden. Ein weiterer Grund könnte eine inadäquate Antibiotikabehandlung oder ein resistenter Erreger sein. Bei Patient\*innen mit einem erhöhten Risiko für ein Bronchuskarzinom sollte bei rezidivierenden Pneumonien oder therapieresistenten Entzündungszeichen eine follow-up Bildgebung durchgeführt werden. Eine Studie zeigte, dass diese Patient\*innen in bis zu 1,3-6% ein Bronchuskarzinom statt einer infektiösen Lungenerkrankung aufwiesen. Zusammenfassend zeigt sich keine Evidenz ein Kontrollröntgen nach 6 Wochen durchzuführen, wenn der\*die Patient\*Patientin klinisch gesund und genesen ist. Bei Patient\*innen mit persistierenden Symptomen, Krankheitsgefühl, oder einem erhöhten Risiko für Malignität sollte nach 6 Wochen ein follow-up Röntgen durchgeführt werden (Reynolds et al., 2010).

## **10.2 CT-Thorax**

Die Thoraxaufnahme mittels CT oder HRCT wird nur unter bestimmten Voraussetzungen durchgeführt. Die Vorteile dieser Aufnahme ergeben sich durch die überlagerungsfreie Darstellung der Lunge, hier gelingt eine bessere Zuordnung der pathologischen Muster zu den einzelnen Kompartimenten. So kann zum Beispiel erfasst werden, ob sich die Entzündung alveolär, interstitiell oder in beiden Kompartimenten befindet. Ein weiterer Vorteil der CT Untersuchung ergibt sich durch die erhöhte Kontrastierung des Bildes, dadurch ist eine Unterscheidung zwischen einer milchglasartigen Dichteanhebung und einer Konsolidierung möglich. Die Darstellung der Lunge ist hier bis auf die Einheit des sekundären pulmonalen Lobulus möglich (Beyer and Wormanns, 2011).

Auch im Vergleich zum Thoraxröntgen zeigt die CT-Untersuchung bei der Pneumoniediagnostik eine höhere Sensitivität. Eine Studie zeigte, dass 27% der Patient\*innen mit unauffälligem Thoraxröntgen einen positiven CT-Befund hatten. Die Vorteile der CT-Untersuchung beziehen sich auch auf den Ausschluss möglicher Differentialdiagnosen und das Einleiten weiterer therapeutischer Maßnahmen. Des Weiteren hat die CT-Untersuchung einen höheren negativen Voraussagewert. Das heißt, bei einem unauffälligem CT-Bild kann eine Pneumonie eher ausgeschlossen werden (Beyer and Wormanns, 2011). Zudem zeigt sich im CT eine bessere Vorhersagekraft was die Erregerfrage betrifft (Reynolds et al., 2010). Ein weiterer positiver Aspekt der CT-Untersuchung ist, dass sich Hinweise auf eine Pneumonie bis zu 5 Tage vorher erkennen lassen als im Thoraxröntgen (Franquet and Chung, 2019).

Die Vorteile müssen mit den Nachteilen jedoch gut abgewogen werden. Die CT Untersuchung hat eine deutlich höhere Strahlenbelastung und der aufwändigere Transport kann bei schwer kranken Patient\*innen zu einem Problem werden (Beyer and Wormanns, 2011).

### **10.2.1 CT-Indikationen**

Die Abbildung der Lunge mittels Computertomografie wird nur unter bestimmten Voraussetzungen durchgeführt (Beyer and Wormanns, 2011). Bei den klinischen Zeichen einer Pneumonie und einem unauffälligen Thoraxröntgen, bei suspekten Komplikationen, bei dem Verdacht auf eine malignes Erkrankung und bei fehlenden Therapieansprechen besteht die Indikation zur CT-Bildgebung (Franquet and Chung, 2019). Bei immunkomprimierten Patient\*innen wird die Indikation zur CT-Diagnostik großzügiger gestellt, da diese Patient\*innen ein erhöhtes Risiko für opportunistische Infektionen haben (Beyer and Wormanns, 2011).

#### **10.2.1.1 CT-Indikation bei COVID-19 Verdacht**

Die Bildgebung ist bei Verdachtspatient\*innen mit milden Symptomen nicht indiziert, außer sie stehen unter dem Risiko einen schweren Krankheitsverlauf zu entwickeln. Eine CT-Bildgebung sollte dann durchgeführt werden, wenn COVID-19 Patient\*innen zunehmende respiratorische Probleme zeigen. Die Indikationsstellung ist jedoch auch von der Ressourcenkapazität der jeweiligen Einrichtung abhängig. So kann die Bildgebung in ressourcenschwachen Regionen für eine strukturierte Triage dienen. Das ist insbesondere bei einer hohen Vortestwahrscheinlichkeit von Nutzen und betrifft jene Patient\*innen, welche ein hohes Erkrankungsrisiko haben und einen milden-schweren Krankheitsverlauf zeigen (Rubin et al., 2020).

### **10.3 Erregerdiagnostik mithilfe der Bildgebung**

Die typischen radiologischen Veränderungen durch bestimmte Erreger können helfen, die Erregerdiagnostik zu unterstützen. Insbesondere zur Unterscheidung von großen Erregergruppen wie Viren, Bakterien und Pilze kann die Bildgebung hilfreich sein. Die diagnostische Aussagekraft ist jedoch begrenzt. Die unterschiedlichen Muster können zeitgleich auftreten und sich überschneiden. Außerdem kann ein einzelner Erreger mehrere Pneumonieformen auslösen, wie zum Beispiel das Bakterium *Mycoplasma pneumoniae* oder das Coronavirus. Beide Erreger können eine Vielzahl von unterschiedlichen Mustern auslösen. Auch Pneumokokken können sowohl die Auslöser einer Lobär- als auch einer

Bronchopneumonie sein. Auf der anderen Seite führen unterschiedliche Erreger zu einer identischen Radiomorphologie. Ein weiterer Grund für die eingeschränkte Aussagekraft ist, dass die Präsentation der radiologischen Muster vom Immunstatus abhängig ist. Das ist insbesondere bei Mykobakterien oder *Aspergillus fumigatus* der Fall, hier kommt es je nach immunologischer Situation eines\*einer Patienten\*Patientin zu unterschiedlicher radiologischer Präsentation. Schließlich kann eine begleitende Lungenerkrankung die radiologische Bildgebung nochmals beeinflussen. Somit kann ein exakter Rückschluss auf einen bestimmten Erreger nicht gelingen und im Hinblick auf die Erregerfrage zeigt die Bildgebung nur einen geringen diagnostischen Wert. Es können lediglich, unter Einbeziehung der passenden klinischen Information, die jeweiligen Muster versucht werden zu interpretieren um einen Verdacht auf ein wahrscheinliches Erregerspektrum zu ziehen (Herold and Sailer, 2004, Wormanns et al., 2017, S.Ewig, 2016). Die therapeutische Konsequenz ist jedoch fraglich, da in der Regel als Therapie eine Kombination von Antibiotika verabreicht wird, welche sowohl typische als auch atypische Bakterien abdeckt (Herold and Sailer, 2004).

## **11 Stellenwert der CT bei COVID-19**

### **11.1 *Diagnose von COVID-19 mittels RT-PCR***

Der Goldstandard bei der Diagnose einer SARS-CoV-2 Infektion ist die Reverse-Transkriptase-Polymerase-Kettenreaktion. Die RT-PCR Testung bei COVID-19 Patient\*innen hat eine hohe Spezifität und eine niedrige Sensitivität. Die Sensitivität des RNA-Nachweises wurde je nach Studie mit circa 71% angegeben (Kanne et al., 2020, Fang et al., 2020). Die Gründe für eine niedrige RT-PCR Sensitivität können auf der einen Seite die erst kürzlich entwickelten Tests oder eine Varianz zwischen den unterschiedlichen Herstellern sein. Eine niedrige Viruslast in dem\*der Patienten\*Patientin und eine unsachgemäße Probenentnahme können ebenfalls zu einer verringerten Sensitivität führen (Fang et al., 2020). Auch der Ort der Probenentnahme spielt eine große Rolle bei der Aussagekraft der Testung. So zeigt zum Beispiel eine bronchoalveoläre Lavage mit 93% die höchste Positivrate beim Nachweis des SARS-CoV-2, gefolgt von Sputum, Nasalabstrich und pharyngealem Abstrich (Wiersinga et al., 2020, Wang et al., 2020). Der Zeitpunkt der Probenentnahme schlägt sich ebenfalls auf die Sensitivität des Testergebnisses wieder. So zeigt sich, dass die Sensitivität 4 Tage nach Exposition bei 33% liegt. Bei Symptombeginn steigt die Sensitivität der PCR-Testung auf 62% und 3 Tage nach Symptombeginn liegt sie bei 80% (Kucirka et al., 2020, Wiersinga et al., 2020). Sinkt die detektierbare Anzahl der

Viruslast im Zuge der Genesung weiter, kann es wenige Tage nach Krankheitsbeginn wieder zu einem falsch-negativen PCR-Ergebnis kommen (Udugama et al., 2020).

Ein weiteres Problem bei der PCR-Testung stellt die Verfügbarkeit dar. Die Anzahl an benötigten Tests überschreitet die Anzahl an vorhandenen Testkits. Kleinere Krankenhäuser sind oftmals nicht mit der nötigen Infrastruktur ausgestattet, um eine PCR Testung durchzuführen (Udugama et al., 2020). Die Testung ist außerdem zeitaufwändig. Das kann bei dringenden Entscheidungen in einer epidemischen Situation ein großer Nachteil sein, denn die Patient\*innen würden nicht behandelt oder isoliert werden und die Krankheit könnte sich so weiter ausbreiten (Carotti et al., 2020, Ai et al., 2020).

### **11.2 Diagnose von COVID-19 mittels Computertomographie**

Im Gegenzug dazu steht die Diagnose der Erkrankung mittel Computertomographie. Die CT-Untersuchung zeigt je nach Studie eine hohe Signifikanz in der Diagnose einer COVID-19 Erkrankung (Fang et al., 2020). Aus einem systemischen Review von Xu et al mit 16 eingeschlossenen Studien und 3186 Patient\*innen konnte eine gepoolte Sensitivität von 92% ermittelt werden. Die erfassten Sensitivitäten wiesen jedoch eine deutliche Heterogenität untereinander auf. In den drei Studien der Region Wuhan, wo die Epidemie am stärksten ausgeprägt war, konnten die höchsten Sensitivitätsraten (96%, 97%, 99%) ermittelt werden. In den anderen Regionen schwankte die Sensitivität zwischen 61 und 68%. Die Schwere der Erkrankung, die Erfahrung der Radiolog\*innen und die epidemiologische Situation einer Region könnten zu dieser Heterogenität geführt haben (Xu et al., 2020a). Deutlich niedrigere Sensitivitätswerte wurde von den Studien von Wu et al (69%) und Inui et al (61%) angegeben. Zu beachten ist hier, dass bei der Studie von Wu et al der Anteil an schwer Erkrankten nur bei etwa 3,8% lag, wohingegen das durchschnittliche Niveau in China zu diesem Zeitpunkt bei 15% lag. Auch die niedrige Sensitivität von Inui et al könnte darauf zurückzuführen sein, dass 73% der eingeschlossenen Patient\*innen asymptomatisch waren und die restlichen nur milde Symptome zeigten (Xu et al., 2020a, Wu et al., 2020a, Guan et al., 2020, Inui et al., 2020).

Die Untersuchung von Fang et al zeigte im Thorax-CT eine Sensitivität von 98% während die RT-PCR eine Sensitivität von 71% hatte. Laut dieser Studie war die CT-Thoraxuntersuchung bei begründetem Verdacht, wie epidemiologische Situation oder passender Klinik sehr sinnvoll. Vor allem bei einem negative RT-PCR Test muss an ein falsch-negatives Ergebnis gedacht werden (Fang et al., 2020). Im Review von Xu et al zeigten mehr als 5% der Patient\*innen einen anfänglich falsch-negativen RT-PCR Test,

welcher erst nach mehreren Tests positiv wurde. Jedoch hatten bereits 86% jener Patient\*innen ein positives Thorax-CT (Guan et al., 2020, Xu et al., 2020a, Wu et al., 2020a). Daher nutzte die Provinz Hubei in China aufgrund fehlender RT-PCR Tests und einer hohen falsch-negativ Rate die CT-Bildgebung vorrübergehend als diagnostisches Mittel (Udugama et al., 2020). In China wurde das Vorhandensein von typischen Merkmalen im CT-Befund als ausreichend für die Diagnose einer COVID-19-Pneumonie definiert, selbst wenn der RT-PCR Test negativ war. Dieses Vorgehen hat zu einer vermutlich höheren Anzahl an Erkrankten geführt und einer Zunahme der Rolle der CT-Untersuchung in der Diagnose von COVID-19 (Kanne et al., 2020, Fang et al., 2020). Es zeigte sich außerdem, dass die CT-Bildgebung die Genesung in manchen Fällen besser detektieren kann. Bis zu 42% der Patient\*innen wiesen bereits eine verbesserte Bildgebung auf noch bevor die RT-PCR negativ wurde (Ai et al., 2020).

Ein Problem bei der CT-Bildgebung stellt jedoch die Spezifität dar. Diese ist mit 25% relativ niedrig, da das Bild einer COVID-19-Pneumonie anderen viralen Pneumonien ähnelt (Udugama et al., 2020). Es kann auch vorkommen, dass die initiale Bildgebung negativ ist. Das Vorhandensein milder oder fehlender computertomographischer Hinweise bei frühen Infektionsfällen zeigte die Schwierigkeit bei der Diagnose mittels CT (Kanne et al., 2020, Fang et al., 2020). Somit ist die Aussagekraft der CT-Befunde im Hinblick auf die Diagnose begrenzt. In manchen Fällen weisen bestätigte Fälle einen negativen CT-Befund auf und in anderen Fällen ist die CT-Bildgebung auffällig, während die PCR-Testung negativ ist (Wiersinga et al., 2020).

### **11.2.1 CT-Score**

Das Ausmaß der Lungenbeteiligung während einer COVID-19 Pneumonie kann durch Zuhilfenahme eines CT-Scores abgeschätzt werden. Francone et al entwickelte in einer Studie einen semiquantitativen CT-Score mit dem Ziel, diesen in Korrelation mit dem Krankheitsstadium und der Kurzzeitmortalität zu setzen.

Für die Berechnung des CT-Scores wurde das Vorhandensein von Milchglasinfiltraten, crazy paving-Muster und Konsolidierungen bewertet. Jeder der fünf Lungenlappen wurde einzeln auf das Auftreten von diesen pathologischen Mustern beurteilt. Wie in Tabelle 9 ersichtlich wurden Punkte verteilt, deren Summe ergab den CT-Score und konnte somit Werte zwischen Null und 25 annehmen.

<b>Lappenbeteiligung</b>	<b>Punkte pro Lappen</b>
Keine pathologischen Muster	0

<5%	1
5-25%	2
26-50%	3
51-75%	4
>75%	5

*Tabelle 9 CT-Score (Francone et al., 2020)*

Im Mittel betrug der CT-Score  $12,3 \pm 11,1$ . Die Studie zeigte, dass es signifikante Unterschiede im CT-Score zwischen einer milden und einer schweren/kritischen Krankheitsmanifestation gibt. Auch im Krankheitsverlauf zeigten sich signifikante Unterschied zwischen der Früh- und Spätphase. Die Studie von Francone et al zeigte, dass ein Score von  $\geq 18$  ein erhöhtes Mortalitätsrisiko bedeutete.

Die Vergleiche zwischen den einzelnen Lungenlappen zeigten, dass der rechte Unterlappen im Schnitt einen signifikant höheren CT-Score aufwies als der rechte Mittel- und Oberlappen. Auch bei der linken Lunge zeigte sich, dass der mittlere Score im Unterlappen höher als im Oberlappen war. Zudem wies die Studie darauf hin, dass eine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem CT-Score und dem D-Dimer sowie zwischen dem CT-Score und dem CRP besteht. Der CT-Score kann somit helfen das individuelle Krankheitsrisiko und die Kurzzeitmortalität abzuschätzen (Francone et al., 2020).

### **11.2.2 COVID-RADS**

RADS steht für Reporting and Data System und wurde von dem American College of Radiology (ACR) entwickelt. Das RADS soll die Variabilität der Terminologie in Befunden reduzieren und dadurch die Kommunikation zwischen Ärzt\*innen erleichtern. Die Befunde bedienen sich meist einer Standardterminologie und zeigen eine Kategorie zur Einschätzung der Krankheitswahrscheinlichkeit auf (Radiology, 2021).

In der systematischen Übersichtsarbeit von Salehi et al wurde mithilfe von 37 Studien eine mögliche COVID-RADS Klassifikation entwickelt. Sie soll die Interpretation einer Thoraxbildgebung im Hinblick auf COVID-19 erleichtern und als Rahmen für eine einheitliche Befundung dienen. Das Ziel der COVID-RADS ist es, das Kommunikationsproblem durch unterschiedliche Termini zu verringern sowie eine verbesserte Patient\*innenversorgung und Diagnosestellung zu erreichen. In weiterer Folge soll so eine rechtzeitige Isolierung und ein adäquates medizinisches Management für die Patient\*innen eingeleitet werden. Auf Basis der Bildinterpretationen von insgesamt 3647 Patient\*innen wurden deren Erscheinungsmuster im Thorax-CT zu einzelnen Kategorien

zusammengefasst. Diese umfassten atypische Befunde, mäßig typische Befunde sowie typische Befunde im Zusammenhang mit COVID-19. Die detaillierte Beschreibung ist in der Tabelle 10 COVID-RADS näher angeführt (Salehi et al., 2020).

<b>CT-Befunde</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>COVID-RADS Grad</b>	<b>Krankheitswahrscheinlichkeit</b>
<b>Normales Thorax-CT</b>	-	0	Niedrig
<b>Atypische Befunde</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pleuraerguss</li> <li>• Kaverne</li> <li>• Lungenrundherd</li> <li>• Noduläres Muster</li> <li>• Lymphadenopathie</li> <li>• Peribronchovaskuläre Verteilung</li> <li>• Halozeichen</li> <li>• Tree-in-bud Zeichen</li> <li>• Bronchiektasien</li> <li>• Atemwegssekrete</li> <li>• Lungenemphysem</li> <li>• Lungenfibrose</li> <li>• Fokale oder diffuse Pleuraverdickung</li> <li>• Pneumothorax</li> <li>• Perikarderguss</li> </ul>	1	Niedrig
<b>Mäßig typische Befunde</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• einzelne Milchglasverschattungen (im Frühstadium)</li> <li>• Konsolidierung ohne Milchglasverschattung (im Spätstadium/ als Komplikation)</li> <li>• fokale Pleuraverdickung mit angrenzender Milchglasverschattung</li> <li>• vergrößerter Gefäßdurchmesser</li> <li>• Bronchopneumogramm</li> <li>• Bronchialwandverdickung</li> <li>• totale Verdichtung einer Lungenseite (white-lung im Spätstadium/ als Komplikation)</li> <li>• Parenchymbänder (im Spätstadium, bei Remission)</li> </ul>	2A	Moderat

<b>Kombination aus atypischen und mäßig typischen/typischen Befunden</b>		2B	Moderat
<b>Typische Befunde</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multifokale Milchglasverschattungen</li> <li>• Milchglasverschattungen mit überlagerter Konsolidierung</li> <li>• Konsolidierungen als prädominierendes Muster (im Spätstadium/ als Komplikation)</li> <li>• Crazy paving-Muster (im Spätstadium/ als Komplikation)</li> <li>• Melting sugar-Muster (Zunahme der Milchglasverschattungen oder Konsolidierungen bei gleichzeitig verringerter Dichte, im Spätstadium/ als Komplikation (Han et al., 2021))</li> </ul>	3	Hoch

*Tabelle 10 COVID-RADS (Salehi et al., 2020:3)*

Die tatsächliche Krankheitswahrscheinlichkeit muss zusammen mit dem klinischen Kontext und der Vortestwahrscheinlichkeit interpretiert werden. Die endgültige Diagnose orientiert sich demnach am klinischen Erscheinungsbild sowie einem bestätigten RT-PCR Test. Die vorliegende COVID-RADS Klassifikation basiert auf der Interpretation von zahlreichen Publikationen und nicht aus detaillierten statistischen Analysen. Sie stellt damit kein validiertes System dar und soll daher in erster Linie als Orientierungshilfe für Radiolog\*innen dienen (Salehi et al., 2020).

### **11.2.3 Künstliche Intelligenz zur COVID-19 Diagnostik**

Zur schnelleren Triage und besseren Behandlung der COVID-19 Patient\*innen kann unter anderem die künstliche Intelligenz (KI) bei der Interpretation eines Thorax-CT zu Hilfe gezogen werden. Die KI soll ein validiertes System bilden, welches unter Verwendung von CO-RADS und dem CT-Score die Krankheitswahrscheinlichkeit und das Ausmaß der Lungenbeteiligung bei einer COVID-19 Pneumonie beurteilen soll.

Das KI-System von Lessmann et al verwendete drei Deep-Learning-Algorithmen, welche automatisch die fünf Lungenlappen abgrenzte und mit Hilfe von CO-RADS und dem CT-Score die Lunge interpretierte. Im ersten Schritt wurde eine automatische Lungenlappensegmentierung und -markierung durchgeführt. In weiterer Folge wurden die Läsionen beurteilt und der CT-Score vergeben und im letzten Durchlauf ist der CO-RADS Grad vergeben worden. Für die Entwicklung des Systems wurden retrospektiv Bilddaten von

Patient\*innen mit COVID-19 Verdacht verwendet. Der Algorithmus wurde so trainiert, validiert und getestet. Die Leistungsfähigkeit wurde im Anschluss an einer internen Kohorte und an einer externen Kohorte, in einem zweiten medizinischen Zentrum erprobt. Die Interpretationen der KI sind mit den Befunden von acht unabhängigen Radiolog\*innen verglichen worden. Die Unterschiede in den Befunden wurden mittels Grenzwertoptimierungskurve (ROC)-Analyse und linear gewichtetem Kappa gemessen. Die Studie von Lessmann et al zeigte, dass der Algorithmus zwischen COVID-19 positiven und negativen Patient\*innen bei der ersten Kontrollgruppe eine Fläche unter der ROC-Kurve (AUC) von 0,95 zeigte und bei der externen Kontrollgruppe eine AUC von 0,88 zeigte. Am optimalen Schwellenwert betrug die Sensitivität des Algorithmus bei der internen Analyse 85,7% und die Spezifität 89,8%. Bei der externen Analyse betrug die Sensitivität am optimalen Schwellenwert 82% und die Spezifität 80,5 %. Die Radiolog\*innen erzielten im Vergleich bei der internen Analyse eine Sensitivität von 61,4% und eine Spezifität von 99,7% und bei der externen Analyse eine Sensitivität von 74,9% und eine Spezifität von 89,2%.

Im Hinblick auf die CO-RADS Krankheitswahrscheinlichkeit zeigte sich, dass die automatische CO-RADS Vergabe in der internen Kohorte in 54,8% der Fälle mit den Ergebnissen der Radiolog\*innen übereinstimmte. In der externen Kohorte zeigte sich eine Übereinstimmung in 64,12% der Fälle. Das mittlere Kappa in der internen Kohorte lag bei 0,6 und bei der externen Kohorte bei 0,69. Die Studie zeigte somit moderate bis erhebliche Übereinstimmungen zwischen der KI und den Ärzt\*innen. Die Übereinstimmung zwischen den acht Radiolog\*innen ist jedoch mit einem Kappa von 0,79 signifikant höher.

Für die Errechnung des CT-Scores segmentiert die KI die Lunge in ihre Lappen und filtert pathologische Bereiche heraus. Das Ausmaß des betroffenen Lungenparenchyms wird in Prozent angegeben, während Ärzt\*innen einen kategorialen CT-Score vergeben. Es gab eine mäßige Übereinstimmung zwischen dem vorhergesagten Schweregrad der KI und den Befunden der Radiolog\*innen. Für die internen Kohorte betrug das mittlere Kappa 0,54 und für die externe Kohorte betrug das Kappa 0,49. Es zeigte sich, dass die Übereinstimmung der CT-Scores jedoch zwischen den Radiolog\*innen höher war (Lessmann et al., 2021). Eine Ursache dafür könnte sein, dass die visuelle Krankheitsabschätzung subjektiv ist. Die Studie von Gietema et al zeigte, dass Radiolog\*innen zudem das Krankheitsausmaß tendenziell höher einschätzen (Gietema et al., 2011).

Die Ergebnisse der Studie von Lessmann et al zeigten, dass der KI-Algorithmus eine hohe diagnostische Leistung bei der Interpretation eines Thorax-CT zeigte. Das System konnte

COVID-19 positive Patient\*innen mit einer großen Wahrscheinlichkeit identifizieren und vergab den CT-Score sowie die CO-RADS Klassifikation in guter Übereinstimmung mit den unabhängigen Radiolog\*innen.

Seit Ausbruch der Pandemie wurden zahlreiche KI-Algorithmen entwickelt um Ärzt\*innen bei der COVID-19 Diagnose zu unterstützen. Die meisten Studien analysieren kleinere Datensätze und verwenden zweidimensionale Methoden um axiale Schnitte automatisch zu Befunden. Der KI-Algorithmus von Lessmann et al verwendete eine dreidimensionale Methode und zeigte im Vergleich zu den zweidimensionalen Analysen bessere Ergebnisse (Lessmann et al., 2021). Der KI-Algorithmus von Zhang et al unterschied zusätzlich zwischen dem Auftreten von Konsolidierungen und Milchglatrübungen. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass die KI bessere Ergebnisse lieferte als die Befunde von Radiologen\*innen mit geringer Berufserfahrung (Zhang et al., 2020). Einen weiteren Fortschritt in der KI-Entwicklung machte die Forschungsgruppe von Mei et al. Sie entwickelten zusätzlich zu der zweidimensionalen Analyse einen Algorithmus, welcher klinische Symptome und fünf Laborparameter in die Befundung miteinbezog (Mei et al., 2020). Diese automatisierte Befundung brachte gute Ergebnisse und könnte in Zukunft in andere KI-Systeme eingebaut werden.

Es zeigt sich, dass der Einsatz eines KI-Algorithmus bei Patient\*innen mit COVID-19 Verdacht hilfreich sein kann. Die Vorteile ergeben sich insbesondere, wenn standardisierte Befunde geliefert werden, wie durch die CO-RADS Grade und den CT-Score. Die automatisierte Befundung kann jedoch durch Bewegungsartefakte oder Überlagerungen, zum Beispiel durch eine Aspirationspneumonie falsch hohe Werte berechnen. Aus diesem Grund ist die anschließende Überprüfung durch den\*die Radiologen\*Radiologin essenziell (Lessmann et al., 2021).

## 12 Diskussion

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird die Rolle der Bildgebung bei infektiösen Lungenkrankheiten mit besonderer Berücksichtigung von COVID-19 untersucht. Die Relevanz der Bildgebung ist unter anderem durch die Tatsache erklärbar, dass ein neu aufgetretenes Infiltrat in der Bildgebung als Hauptkriterium bei der Diagnosesicherung einer Pneumonie definiert wird (Herold, 2019).

Die Literaturrecherche zeigt, dass ein Thoraxröntgen geeignet ist, um die Ausdehnung des Infiltrats, weitere Nebendiagnosen sowie mögliche Komplikationen frühzeitig festzustellen. Es ermöglicht eine schnelle Abgrenzung zu Differentialdiagnosen und kann zur Verlaufs- und Therapiekontrolle eingesetzt werden. Die Vorteile ergeben sich aus der breiten Verfügbarkeit bei gleichzeitig meist ausreichender Genauigkeit, sowie den geringen Kosten und der geringen Strahlenbelastung (Herold and Sailer, 2004, Franquet and Chung, 2019). Dem gegenüber steht die CT-Untersuchung zur Pneumoniediagnostik. Diese zeigt eine höhere Sensitivität und zeigt insbesondere um Differentialdiagnosen auszuschließen oder therapeutische Maßnahmen einzuleiten einen großen Nutzen. Darüber hinaus eignet sich die Untersuchung aufgrund des höheren negativen Voraussagewert zum Ausschluss einer Pneumonie. Abgeleitet aus den Studien zeigt sich, dass eine CT-Untersuchung eine bessere Vorhersagekraft bezogen auf die Erregerfrage hat und eine Pneumonie oftmals einige Tage vorher radiomorphologischer Veränderungen im CT zeigen kann als in einem Röntgenbild. Die negativen Aspekte sind unter anderem die höhere Strahlenbelastung und der aufwändigere Patient\*innentransport (Franquet and Chung, 2019, Beyer and Wormanns, 2011, Reynolds et al., 2010). Bei der Frage, ob ein Thoraxröntgen oder eine CT-Untersuchung indiziert ist, müssen vor einer Anordnung diese Tatsachen beachtet werden. Die Vor- und Nachteile sollen abgewogen werden und die erhoffte klinische Konsequenz beachtet werden. In diesem Zusammenhang zeigt die Literaturrecherche, dass insbesondere bei COVID-19-Patient\*innen mit einer hohen Vortestwahrscheinlichkeit und einem hohem Erkrankungsrisiko die Durchführung einer CT-Thorax Untersuchung sinnvoll sein kann. Zudem weißt die Studie von Rubin et al darauf hin, dass bei zunehmenden respiratorischen Problemen im Zuge einer COVID-19 Pneumonie die Indikationsstellung für eine CT-Untersuchung gegeben ist (Rubin et al., 2020).

Bei der Frage nach der Prognoseabschätzung durch die Bildgebung zeigt sich, dass bestimmte radiomorphologische Veränderungen für einen schweren Krankheitsverlauf sprechen. Das kann in Zukunft helfen, den Krankheitsverlauf abzuschätzen und das klinische Behandlungsmanagement zu beeinflussen.

Ein weiteres Kapitel der Diplomarbeit bezieht sich auf Publikationen welche, anhand spezieller radiomorphologischer Veränderungen versuchen, einen Zusammenhang zu den auslösenden Erregern darzustellen. Die Literaturrecherche zeigt, dass typisch radiologische Veränderungen helfen können, um Rückschlüsse auf die Infektionsursache zu geben. Die Studien zeigen jedoch, dass radiologische Veränderungen zeitgleich auftreten können und sich somit Überlappen können. Darüber hinaus können unterschiedliche Erreger zu einer ähnlichen Radiomorphologie führen oder derselbe Erreger bei einem\*einer anderen Patienten\*Patientin ein ungleiches radiologisches Erscheinungsbild verursachen. Insbesondere virale Pneumonien zeigen aufgrund eines ähnlichen Pathomechanismus auch eine ähnliche Bildgebung. Kommt es im Zuge der Erkrankung zu einer bakteriellen Superinfektion gestaltet sich die Befundung noch schwieriger und der Rückschluss auf bestimmte Erreger ist nicht zulässig (Wormanns et al., 2017, Reynolds et al., 2010, Kim et al., 2002). Das Auftreten von speziellen Mustern, wie in den oben angeführten Kapiteln beschrieben, ist zudem nicht spezifisch für eine infektiöse Lungenkrankheiten. Die Ursachen können ebenso nicht-infektiös sein. Insbesondere bei Patient\*innen mit ARDS, Ödemen oder nach Lungeninfarkten gestaltet sich die Abgrenzung oft nicht eindeutig und es kann zu falsch-positiven oder falsch-negativen Befunden kommen (Herold and Sailer, 2004, Winer-Muram et al., 1993).

Demzufolge ist die diagnostische Aussagekraft im Hinblick auf die Infektionsursache begrenzt und die Differenzierung zwischen einzelnen Erregern ist nur eingeschränkt möglich. Die CT-Untersuchung kann, zusammen mit der klinischen Situation einen Verdacht verhärten, den Erreger jedoch nicht exakt bestimmen. Diese Erkenntnisse bestätigen, dass zusätzlich zum radiologischen Befund der klinische Kontext miteinbezogen werden muss. Es sinnvoll das Alter, den Immunstatus, die Symptome und die epidemische/endemische Situation in die Diagnosefindung miteinzubeziehen und hier in Kontext zu setzten. Auch die therapeutische Konsequenz ist fraglich, da im klinischen Alltag in der Regel unabhängig davon eine Kombination aus Antibiotika verabreicht wird (Herold and Sailer, 2004).

Bezogen auf die COVID-19 Diagnostik ist nach wie vor die RT-PCR der Goldstandart. Hier ist jedoch zu beachten, dass die Sensitivität und Spezifität von den Hersteller\*innen abhängig sein kann und wie oben erwähnt eine ständige Entwicklung in diesem Bereich stattfindet (Fang et al., 2020). Somit ist die Angabe der Gütekriterien eines Tests in einer Publikation immer in Bezug zum damaligen oder aktuellen Pandemiegeschehen zu Interpretieren. Die Ergebnisse der Diplomarbeit zeigen, dass auch die CT-Untersuchung eine

hohe Signifikanz in der Diagnose von COVID-19 zeigt. Hier zu beachten ist, dass sich die Limitationen dieser Studien ebenfalls aus der rasanten Entwicklung der Pandemie ergeben. Die Veränderung des Immunstatus der Bevölkerung sowie die neuartigen Virusvarianten durch Mutationen beeinflussen diesen Bereich und lassen sich daher nur bedingt auf die aktuelle Coronasituation ableiten.

In der Arbeit werden Publikationen über den CT-Score untersucht. Dieser dient zur einheitlichen Angabe des Ausmaßes der Lungenbeteiligung bei einer COVID-19 Erkrankung. Es zeigt sich, dass der CT-Score unterstützend bei der Abschätzung des Krankheitsrisikos und der Kurzzeitmortalität sein kann (Francone et al., 2020). Dementgegen ist jedoch kritisch zu beachten, dass der CT-Score nicht auf detaillierten statistischen Analysen basiert und daher nur als Orientierungshilfe für Radiolog\*innen dienen soll.

Nebstdem ist die Verwendung von KI-Systemen in diese Diplomarbeit miteinbezogen. Die Literaturrecherche zeigt, dass die künstliche Intelligenz bei der Befundung von Verdachtspatient\*innen helfen kann und so eine schnelle Triage und bessere Behandlung von COVID-19 Patient\*innen eingeleitet werden kann. Um in Zukunft weiter von dieser Technologie profitieren zu können ist es wichtig, dass die Ergebnisse standardisierte Befunde liefern. Aus diesem Grund ist es notwendig eine einheitliche Terminologie, wie zum Beispiel durch CO-RADS zu verwenden und das Ausmaß der Lungenbeteiligung mit Hilfe von einem Score festzumachen (Lessmann et al., 2021, Salehi et al., 2020). Der Einsatz von einem KI-Algorithmus kann den\*die Radiologen\*Radiologin nicht ersetzen, da die automatisierte Befundung durch Bewegungsartefakte oder Überlagerungen eine falsche Interpretation liefern kann und somit die Überprüfung eines\*einer Radiologen\*Radiologin erforderlich ist. Neu entwickelte KI-Algorithmen können zwischen einzelnen radiomorphologischen Erscheinungsbildern unterscheiden oder zusätzlich klinische Symptome und Laborparameter in die Interpretation miteinbeziehen (Zhang et al., 2020, Mei et al., 2020). Die Weiterentwicklung von KI-Systemen kann die Arbeit eines\*einer Radiologen\*Radiologin zunehmend positiv verändern und zeigt noch umfangreiche Möglichkeiten für weiteren Forschungsbedarf auf.

Die vorliegende Diplomarbeit hat COVID-19 spezifischen Ergebnisse dieser Arbeit insbesondere durch Vergleiche von Publikationen aus den Jahren 2019 und 2020 erzielt. Dahingehen ist zu beachten, dass durch COVID-Impfungen und Medikamente sowie neuartige SARS-CoV Varianten die Studienergebnisse in Zukunft von dieser Arbeit abweichen können. Die vorliegende Arbeit muss daher im Zusammenhang mit der rasanten

Dynamik der Pandemie interpretiert werden. Insbesondere im Bereich der COVID-19 Forschung ist aktuell ein großer Fortschritt eingetreten, welcher zu diesem Zeitpunkt nicht exakt abgebildet werden kann. Diese Arbeit kann durch die Auswertung nachfolgender Literatur aus diesem Bereich ergänzt werden, um weitere relevante Erkenntnisse miteinzubeziehen.

Eine weitere Limitation im Zuge der Literaturarbeit ergibt sich daraus, dass sich eine Vielzahl der Forschungsliteratur mit der quantitativen Häufigkeit von verschiedenen radiologischen Mustern in der Bildgebung beschäftigt. Hierbei gestaltet sich der Vergleich einzelner Literaturquellen oft problematisch, da zahlreiche Muster nicht durchgängig thematisiert werden und eine große Variabilität in der Terminologie vorhanden ist. Einen möglichen Lösungsansatz für zukünftige Studien bietet hier unter anderem die COVID-RADS Klassifikation, durch welche die Terminologie vereinheitlicht werden kann.

Die Befundergebnisse der verglichenen Studien stammen darüber hinaus von unterschiedlichen Radiolog\*innen aus unterschiedlichen Kliniken. Hier ist die Tatsache, dass unterschiedliche Radiolog\*innen bei derselben Pathologie unterschiedliche Ergebnisse liefern, nicht außer Acht zu lassen. Es zeigt sich, dass die Befundabweichung insbesondere von der Berufserfahrung abhängig ist (Melbye and Dale, 1992). Unter der Annahme, dass ein unterschiedlicher Ausbildungsgrad der Ärzt\*innen besteht, ist der direkte Vergleich einzelner Publikationen von unterschiedlichen Radiolog\*innen oder Kliniken limitiert.

## Literaturverzeichnis

- AI, T., YANG, Z., HOU, H., ZHAN, C., CHEN, C., LV, W., TAO, Q., SUN, Z. & XIA, L. 2020. Correlation of Chest CT and RT-PCR Testing for Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in China: A Report of 1014 Cases. *Radiology*, 296, E32-E40.
- ALBAUM, M. N., HILL, L. C., MURPHY, M., LI, Y. H., FUHRMAN, C. R., BRITTON, C. A., KAPOOR, W. N. & FINE, M. J. 1996. Interobserver reliability of the chest radiograph in community-acquired pneumonia. PORT Investigators. *Chest*, 110, 343-50.
- AUMÜLLER, G., AUST, G. & ENGELE, J. 2017. *Anatomie*, Stuttgart, Georg Thieme Verlag.
- BERNHEIM, A., MEI, X., HUANG, M., YANG, Y., FAYAD, Z. A., ZHANG, N., DIAO, K., LIN, B., ZHU, X., LI, K., LI, S., SHAN, H., JACOBI, A. & CHUNG, M. 2020. Chest CT Findings in Coronavirus Disease-19 (COVID-19): Relationship to Duration of Infection. *Radiology*, 295, 200463.
- BEWICK, T., GREENWOOD, S. & LIM, W. S. 2010. The impact of an early chest radiograph on outcome in patients hospitalised with community-acquired pneumonia. *Clin Med (Lond)*, 10, 563-7.
- BEYER, F. & WORMANN, D. 2011. Bildgebende Diagnostik von Pneumonien. *Der Radiologe*, 51, 405-418.
- BIKDELI, B., MADHAVAN, M. V., JIMENEZ, D., CHUICH, T., DREYFUS, I., DRIGGIN, E., NIGOGHOSSIAN, C. D., AGENO, W., MADJID, M., GUO, Y., TANG, L. V., HU, Y., GIRI, J., CUSHMAN, M., QUÉRÉ, I., DIMAKAKOS, E. P., GIBSON, C. M., LIPPI, G., FAVALORO, E. J., FAREED, J., CAPRINI, J. A., TAFUR, A. J., BURTON, J. R., FRANCESE, D. P., WANG, E. Y., FALANGA, A., MCLINTOCK, C., HUNT, B. J., SPYROPOULOS, A. C., BARNES, G. D., EIKELBOOM, J. W., WEINBERG, I., SCHULMAN, S., CARRIER, M., PIAZZA, G., BECKMAN, J. A., STEG, P. G., STONE, G. W., ROSENKRANZ, S., GOLDHABER, S. Z., PARIKH, S. A., MONREAL, M., KRUMHOLZ, H. M., KONSTANTINIDES, S. V., WEITZ, J. I., LIP, G. Y. H., GLOBAL COVID-19 THROMBOSIS COLLABORATIVE GROUP, E. B. T. I. N. E., THE IUA, S. B. T. E. S. C. W. G. O. P. C. & RIGHT VENTRICULAR, F. 2020. COVID-19 and Thrombotic or Thromboembolic Disease: Implications for Prevention, Antithrombotic Therapy, and Follow-Up: JACC State-of-the-Art Review. *Journal of the American College of Cardiology*, 75, 2950-2973.
- CAROTTI, M., SALAFFI, F., SARZI-PUTTINI, P., AGOSTINI, A., BORGHERESI, A., MINORATI, D., GALLI, M., MAROTTO, D. & GIOVAGNONI, A. 2020. Chest CT features of coronavirus disease 2019 (COVID-19) pneumonia: key points for radiologists. *La radiologia medica*, 125, 636-646.
- CHEN, N., ZHOU, M., DONG, X., QU, J., GONG, F., HAN, Y., QIU, Y., WANG, J., LIU, Y. & WEI, Y. 2020. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. *The Lancet*, 395, 507-513.
- CHONG, S., KIM, T. S. & CHO, E. Y. 2010. Herpes simplex virus pneumonia: high-resolution CT findings. *Br J Radiol*, 83, 585-9.
- CHUNG, M., BERNHEIM, A., MEI, X., ZHANG, N., HUANG, M., ZENG, X., CUI, J., XU, W., YANG, Y. & FAYAD, Z. A. 2020. CT imaging features of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV). *Radiology*, 295, 202-207.
- CILLONIZ, C., MARTIN-LOECHES, I., GARCIA-VIDAL, C., SAN JOSE, A. & TORRES, A. 2016. Microbial Etiology of Pneumonia: Epidemiology, Diagnosis and Resistance Patterns. *International Journal of Molecular Sciences*, 17, 2120.

- CUI, S., CHEN, S., LI, X., LIU, S. & WANG, F. 2020. Prevalence of venous thromboembolism in patients with severe novel coronavirus pneumonia. *J Thromb Haemost*, 18, 1421-1424.
- FANG, Y., ZHANG, H., XIE, J., LIN, M., YING, L., PANG, P. & JI, W. 2020. Sensitivity of Chest CT for COVID-19: Comparison to RT-PCR. *Radiology*, 296, E115-E117.
- FRANCONE, M., IAFRATE, F., MASCI, G. M., COCO, S., CILIA, F., MANGANARO, L., PANEBIANCO, V., ANDREOLI, C., COLAIACOMO, M. C., ZINGAROPOLI, M. A., CIARDI, M. R., MASTROIANNI, C. M., PUGLIESE, F., ALESSANDRI, F., TURRIZIANI, O., RICCI, P. & CATALANO, C. 2020. Chest CT score in COVID-19 patients: correlation with disease severity and short-term prognosis. *European radiology*, 30, 6808-6817.
- FRANQUET, T. 2001. Imaging of pneumonia: trends and algorithms. *European Respiratory Journal*, 18, 196-208.
- FRANQUET, T. & CHUNG, J. H. 2019. Imaging of Pulmonary Infection. *Diseases of the Chest, Breast, Heart and Vessels 2019-2022*, 65-77.
- FRITSCH H., K. W. 2009. *Taschenatlas Anatomie*, Stuttgart, Georg Thieme Verlag.
- GALLOWAY, R. W. & MILLER, R. S. 1959. Lung changes in the recent influenza epidemic. *Br J Radiol*, 32, 28-31.
- GARG, M., PRABHAKAR, N., GULATI, A., AGARWAL, R. & DHOORIA, S. 2019a. Spectrum of imaging findings in pulmonary infections. Part 1: Bacterial and viral. *Pol J Radiol*, 84, e205-e213.
- GARG, M., PRABHAKAR, N., GULATI, A., AGARWAL, R. & DHOORIA, S. 2019b. Spectrum of imaging findings in pulmonary infections. Part 2: Fungal, mycobacterial, and parasitic. *Pol J Radiol*, 84, e214-e223.
- GIETEMA, H. A., MÜLLER, N. L., FAUERBACH, P. V., SHARMA, S., EDWARDS, L. D., CAMP, P. G. & COXSON, H. O. 2011. Quantifying the extent of emphysema: factors associated with radiologists' estimations and quantitative indices of emphysema severity using the ECLIPSE cohort. *Acad Radiol*, 18, 661-71.
- GRAHAM, B. S. & SNELL, J. D., JR. 1983. Herpes simplex virus infection of the adult lower respiratory tract. *Medicine (Baltimore)*, 62, 384-93.
- GREMILLION, D. H. & CRAWFORD, G. E. 1981. Measles pneumonia in young adults. An analysis of 106 cases. *Am J Med*, 71, 539-42.
- GRILLET, F., BEHR, J., CALAME, P., AUBRY, S. & DELABROUSSE, E. 2020. Acute Pulmonary Embolism Associated with COVID-19 Pneumonia Detected with Pulmonary CT Angiography. *Radiology*, 296, E186-E188.
- GUAN, W.-J., NI, Z.-Y., HU, Y., LIANG, W.-H., OU, C.-Q., HE, J.-X., LIU, L., SHAN, H., LEI, C.-L., HUI, D. S. C., DU, B., LI, L.-J., ZENG, G., YUEN, K.-Y., CHEN, R.-C., TANG, C.-L., WANG, T., CHEN, P.-Y., XIANG, J., LI, S.-Y., WANG, J.-L., LIANG, Z.-J., PENG, Y.-X., WEI, L., LIU, Y., HU, Y.-H., PENG, P., WANG, J.-M., LIU, J.-Y., CHEN, Z., LI, G., ZHENG, Z.-J., QIU, S.-Q., LUO, J., YE, C.-J., ZHU, S.-Y. & ZHONG, N.-S. 2020. Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China. *New England Journal of Medicine*, 382, 1708-1720.
- HAGAMAN, J. T., PANOS, R. J., ROUAN, G. W. & SHIPLEY, R. T. 2009. Admission Chest Radiograph Lacks Sensitivity in the Diagnosis of Community-Acquired Pneumonia. *The American Journal of the Medical Sciences*, 337, 236-240.
- HAN, B. K., SON, J. A., YOON, H. K. & LEE, S. I. 1998. Epidemic adenoviral lower respiratory tract infection in pediatric patients: radiographic and clinical characteristics. *AJR Am J Roentgenol*, 170, 1077-80.
- HAN, X., FAN, Y., ALWALID, O., LI, N., JIA, X., YUAN, M., LI, Y., CAO, Y., GU, J., WU, H. & SHI, H. 2021. Six-month Follow-up Chest CT Findings after Severe COVID-19 Pneumonia. *Radiology*, 299, E177-E186.

- HARAPAN, H., ITOH, N., YUFIKA, A., WINARDI, W., KEAM, S., TE, H., MEGAWATI, D., HAYATI, Z., WAGNER, A. L. & MUDATSIR, M. 2020. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): A literature review. *Journal of Infection and Public Health*, 13, 667-673.
- HEROLD, C. J. & SAILER, J. G. 2004. Community-acquired and nosocomial pneumonia. *Eur Radiol*, 14 Suppl 3, E2-20.
- HEROLD, G. 2019. *Innere Medizin 2020*, Köln, Gerd Herold.
- HEUSSEL, C. P., KAUCZOR, H. U., HEUSSEL, G., FISCHER, B., MILDENBERGER, P. & THELEN, M. 1997. Early detection of pneumonia in febrile neutropenic patients: use of thin-section CT. *American Journal of Roentgenology*, 169, 1347-1353.
- HÖFLER, G., KREIPE, H. H., MOCH, H., AGAIMY, A. & ONLINE, U. 2019. *Pathologie das Lehrbuch*, München, Elsevier.
- INUI, S., FUJIKAWA, A., JITSU, M., KUNISHIMA, N., WATANABE, S., SUZUKI, Y., UMEDA, S. & UWABE, Y. 2020. Chest CT Findings in Cases from the Cruise Ship Diamond Princess with Coronavirus Disease (COVID-19). *Radiology: Cardiothoracic Imaging*, 2, e200110.
- K.DALHOFF, M. A.-H., S. ANDREAS, M. DEJA, S. EWIG, P. GASTMEIER, S. GATERMANN, H. GERLACH, B. GRABEIN, CP. HEUßEL, G. HÖFFKEN, M. KOLDITZ, E. KRAMME, H. KÜHL, C. LANGE, K. MAYER I. NACHTIGALL, M. PANNING, M. PLETZ, P.-M. RATH, G. ROHDE, S. ROSSEAU, B. SCHAAF, D. SCHREITER, H. SCHÜTTE, H. SEIFERT, C. SPIES, T. WELTE. 2017. *S3-Leitlinie Epidemiologie, Diagnostik und Therapie erwachsener Patienten mit nosokomialer Pneumonie* [Online]. AWMF online Das Portal der wissenschaftlichen Medizin. Available: [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/020-0131\\_S3\\_Nosokomiale\\_Pneumonie\\_Erwachsener\\_2017-11.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/020-0131_S3_Nosokomiale_Pneumonie_Erwachsener_2017-11.pdf) [Accessed 31.05 2020].
- KANNE, J. P., LITTLE, B. P., CHUNG, J. H., ELICKER, B. M. & KETAI, L. H. 2020. Essentials for Radiologists on COVID-19: An Update—Radiology Scientific Expert Panel. *Radiology*, 296, E113-E114.
- KIM, E. A., LEE, K. S., PRIMACK, S. L., YOON, H. K., BYUN, H. S., KIM, T. S., SUH, G. Y., KWON, O. J. & HAN, J. 2002. Viral Pneumonias in Adults: Radiologic and Pathologic Findings. *RadioGraphics*, 22, S137-S149.
- KLOK, F. A., KRUIP, M. J. H. A., VAN DER MEER, N. J. M., ARBOUS, M. S., GOMMERS, D. A. M. P. J., KANT, K. M., KAPTEIN, F. H. J., VAN PAASSEN, J., STALS, M. A. M., HUISMAN, M. V. & ENDEMAN, H. 2020. Incidence of thrombotic complications in critically ill ICU patients with COVID-19. *Thrombosis research*, 191, 145-147.
- KOO, H. J., LIM, S., CHOE, J., CHOI, S. H., SUNG, H. & DO, K. H. 2018. Radiographic and CT Features of Viral Pneumonia. *Radiographics*, 38, 719-739.
- KUCIRKA, L. M., LAUER, S. A., LAEYENDECKER, O., BOON, D. & LESSLER, J. 2020. Variation in false-negative rate of reverse transcriptase polymerase chain reaction-based SARS-CoV-2 tests by time since exposure. *Annals of Internal Medicine*.
- KÖHLER, D., SCHÖNHOFER, B., VOSHAAR, T. & ONLINE, U. 2015. *Pneumologie ein Leitfaden für rationales Handeln in Klinik und Praxis*, Stuttgart, Thieme.
- LANGE, S. 2010. *Radiologische Diagnostik der Thoraxerkrankungen Lehrbuch und Atlas*, Stuttgart, Thieme.
- LAUER, S. A., GRANTZ, K. H., BI, Q., JONES, F. K., ZHENG, Q., MEREDITH, H. R., AZMAN, A. S., REICH, N. G. & LESSLER, J. 2020. The Incubation Period of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) From Publicly Reported Confirmed Cases: Estimation and Application. *Ann Intern Med*, 172, 577-582.

- LESSMANN, N., SÁNCHEZ, C. I., BEENEN, L., BOULOGNE, L. H., BRINK, M., CALLI, E., CHARBONNIER, J.-P., DOFFERHOFF, T., EVERDINGEN, W. M. V., GERKE, P. K., GEURTS, B., GIETEMA, H. A., GROENEVELD, M., HARTEN, L. V., HENDRIX, N., HENDRIX, W., HUISMAN, H. J., IŞGUM, I., JACOBS, C., KLUGE, R., KOK, M., KRZALIC, J., LASSEN-SCHMIDT, B., LEEUWEN, K. V., MEAKIN, J., OVERKAMP, M., VELLINGA, T. V. R., RIKXOORT, E. M. V., SAMPERNA, R., SCHAEFER-PROKOP, C., SCHALEKAMP, S., SCHOLTEN, E. T., SITAL, C., STÖGER, J. L., TEUWEN, J., VENKADESH, K. V., VENDE, C. D., VERMAAT, M., XIE, W., WILDE, B. D., PROKOP, M. & GINNEKEN, B. V. 2021. Automated Assessment of COVID-19 Reporting and Data System and Chest CT Severity Scores in Patients Suspected of Having COVID-19 Using Artificial Intelligence. *Radiology*, 298, E18-E28.
- LI, K. W., JIONG. WU, FAQI. GUO, DAJING. CHEN, LINLI. FRANG, ZHENG. LI, CHUANMING. 2020. The Clinical and Chest CT Features Associated With Severe and Critical COVID-19 Pneumonia. *Investigative radiology*, 55, 327-331.
- LI, X., ZENG, X., LIU, B. & YU, Y. 2020. COVID-19 infection presenting with CT halo sign. *Radiology: Cardiothoracic Imaging*, 2, e200026.
- LI, Y. & XIA, L. 2020. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): Role of Chest CT in Diagnosis and Management. *American Journal of Roentgenology*, 214, 1280-1286.
- LORENZ, J., NOWAK, D. & ONLINE NICHT MEHR VERFÜGBAR, U. 2004. *Checkliste XXL Pneumologie*, Stuttgart [u.a.], Thieme.
- LÉONARD-LORANT, I., DELABRANCHE, X., SÉVERAC, F., HELMS, J., PAUZET, C., COLLANGE, O., SCHNEIDER, F., LABANI, A., BILBAULT, P., MOLIÈRE, S., LEYENDECKER, P., ROY, C. & OHANA, M. 2020. Acute Pulmonary Embolism in Patients with COVID-19 at CT Angiography and Relationship to d-Dimer Levels. *Radiology*, 296, E189-E191.
- MACFARLANE, J. & ROSE, D. 1996. Radiographic features of staphylococcal pneumonia in adults and children. *Thorax*, 51, 539-40.
- MALATO, A., DENTALI, F., SIRAGUSA, S., FABBIANO, F., KAGOMA, Y., BODDI, M., GENSINI, G. F., PERIS, A., CROWTHER, M. & NAPOLITANO, M. 2015. The impact of deep vein thrombosis in critically ill patients: a meta-analysis of major clinical outcomes. *Blood transfusion = Trasfusione del sangue*, 13, 559-568.
- MARSHALL, D. C., GOODSON, R. J., XU, Y., KOMOROWSKI, M., SHALHOUB, J., MARUTHAPPU, M. & SALCICCIOLI, J. D. 2018. Trends in mortality from pneumonia in the Europe union: a temporal analysis of the European detailed mortality database between 2001 and 2014. *Respir Res*, 19, 81.
- MATTHYS H., S. W. 2008. *Klinische Pneumologie*, Heidelberg, Springer Medizin Verlag.
- MEI, X., LEE, H. C., DIAO, K. Y., HUANG, M., LIN, B., LIU, C., XIE, Z., MA, Y., ROBSON, P. M., CHUNG, M., BERNHEIM, A., MANI, V., CALCAGNO, C., LI, K., LI, S., SHAN, H., LV, J., ZHAO, T., XIA, J., LONG, Q., STEINBERGER, S., JACOBI, A., DEYER, T., LUKSZA, M., LIU, F., LITTLE, B. P., FAYAD, Z. A. & YANG, Y. 2020. Artificial intelligence-enabled rapid diagnosis of patients with COVID-19. *Nat Med*, 26, 1224-1228.
- MELBYE, H. & DALE, K. 1992. Interobserver variability in the radiographic diagnosis of adult outpatient pneumonia. *Acta Radiol*, 33, 79-81.
- MIYAKE, H., MATSUMOTO, A., KOMATSU, E., MATSUMOTO, S., TAKEOKA, H., MORI, H. & YOKOYAMA, S. 1996. Infectious mononucleosis with pulmonary consolidation. *J Thorac Imaging*, 11, 158-60.
- NG, M.-Y., LEE, E. Y., YANG, J., YANG, F., LI, X., WANG, H., LUI, M. M.-S., LO, C. S.-Y., LEUNG, B., KHONG, P.-L., HUI, C. K.-M., YUEN, K.-Y. & KUO, M. D.

2020. Imaging Profile of the COVID-19 Infection: Radiologic Findings and Literature Review. *Radiology: Cardiothoracic Imaging*, 2, e200034.
- OOI, G. C. & DAQING, M. 2003. SARS: radiological features. *Respirology*, 8 Suppl, S15-9.
- OOI, M. W. X., RAJAI, A., PATEL, R., GEROVA, N., GODHAMGAONKAR, V. & LIONG, S. Y. 2020. Pulmonary thromboembolic disease in COVID-19 patients on CT pulmonary angiography - Prevalence, pattern of disease and relationship to D-dimer. *European journal of radiology*, 132, 109336-109336.
- PAN, F., YE, T., SUN, P., GUI, S., LIANG, B., LI, L., ZHENG, D., WANG, J., HESKETH, R. L., YANG, L. & ZHENG, C. 2020a. Time Course of Lung Changes at Chest CT during Recovery from Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Radiology*, 295, 715-721.
- PAN, Y., GUAN, H., ZHOU, S., WANG, Y., LI, Q., ZHU, T., HU, Q. & XIA, L. 2020b. Initial CT findings and temporal changes in patients with the novel coronavirus pneumonia (2019-nCoV): a study of 63 patients in Wuhan, China. *Eur Radiol*, 30, 3306-3309.
- PARK, S. E. 2020. Epidemiology, virology, and clinical features of severe acute respiratory syndrome -coronavirus-2 (SARS-CoV-2; Coronavirus Disease-19). *Clin Exp Pediatr*, 63, 119-124.
- PINTO, P. S. 2004. The CT Halo Sign. *Radiology*, 230, 109-110.
- POETTER-LANG, S. & HEROLD, C. J. 2017. Ambulant erworbene Pneumonien. *Der Radiologe*, 57, 6-12.
- POYIADJI, N., CORMIER, P., PATEL, P. Y., HADIED, M. O., BHARGAVA, P., KHANNA, K., NADIG, J., KEIMIG, T., SPIZARNY, D., REESER, N., KLOCHKO, C., PETERSON, E. L. & SONG, T. 2020. Acute Pulmonary Embolism and COVID-19. *Radiology*, 297, E335-E338.
- RABI, F. A., AL ZOUBI, M. S., KASASBEH, G. A., SALAMEH, D. M. & AL-NASSER, A. D. 2020. SARS-CoV-2 and Coronavirus Disease 2019: What We Know So Far. *Pathogens*, 9.
- RADIOLOGY, A. C. O. 2021. *Reporting and Data System (RADS)* [Online]. Available: <https://www.acr.org/Clinical-Resources/Reporting-and-Data-Systems> [Accessed 3.8 2021].
- REISER, M., KUHN, F.-P., DEBUS, J. & BARTENSTEIN, P. 2017. *Radiologie*, Stuttgart, Georg Thieme Verlag.
- REITTNER, P., MÜLLER, N. L., HEYNEMAN, L., JOHKOH, T., PARK, J. S., LEE, K. S., HONDA, O. & TOMIYAMA, N. 2000. Mycoplasma pneumoniae Pneumonia. *American Journal of Roentgenology*, 174, 37-41.
- REYNOLDS, J. H., MCDONALD, G., ALTON, H. & GORDON, S. B. 2010. Pneumonia in the immunocompetent patient. *Br J Radiol*, 83, 998-1009.
- RUBIN, G. D., RYERSON, C. J., HARAMATI, L. B., SVERZELLATI, N., KANNE, J. P., RAOOF, S., SCHLUGER, N. W., VOLPI, A., YIM, J. J., MARTIN, I. B. K., ANDERSON, D. J., KONG, C., ALTES, T., BUSH, A., DESAI, S. R., GOLDIN, J., GOO, J. M., HUMBERT, M., INOUE, Y., KAUCZOR, H. U., LUO, F., MAZZONE, P. J., PROKOP, M., REMY-JARDIN, M., RICHELDI, L., SCHAEFER-PROKOP, C. M., TOMIYAMA, N., WELLS, A. U. & LEUNG, A. N. 2020. The Role of Chest Imaging in Patient Management During the COVID-19 Pandemic: A Multinational Consensus Statement From the Fleischner Society. *Chest*, 158, 106-116.
- RUUSKANEN, O., LAHTI, E., JENNINGS, L. C. & MURDOCH, D. R. 2011. Viral pneumonia. *Lancet*, 377, 1264-75.
- S.EWIG, G. H., W.V.KERN, G.ROHDE, H.FLICK, R. KRAUSE,S.OTT, T. BAUER, K. DALHOFF, S.GATERMANN, M.KOLDITZ, S.KRÜGER, J.LORENZ, M.PLETZ,

- A. DE ROUX, B.SCHAAF, T.SCHABERG, H.SCHÜTTE, T.WELTE. 2016. *S3-Leitlinie Behandlung von erwachsenen Patienten mit ambulant erworbener Pneumonie und Prävention* [Online]. Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin, der Paul-Ehrlich-Gesellschaft für Chemotherapie, der Deutschen Gesellschaft für Infektiologie, des Kompetenznetzwerks CAPNETZ, der Österreichischen Gesellschaft für Pneumologie, der Österreichischen Gesellschaft für Infektionskrankheiten und Tropenmedizin und der Schweizerischen Gesellschaft für Pneumologie. Available: [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/020-0201\\_S3\\_ambulant\\_erworbene\\_Pneumonie\\_Behandlung\\_Praevention\\_2016-02-2.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/020-0201_S3_ambulant_erworbene_Pneumonie_Behandlung_Praevention_2016-02-2.pdf) [Accessed 2020].
- SALEHI, S., ABEDI, A., BALAKRISHNAN, S. & GHOLAMREZANEZHAD, A. 2020. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) imaging reporting and data system (COVID-RADS) and common lexicon: a proposal based on the imaging data of 37 studies. *European radiology*, 30, 4930-4942.
- SANTIAGO EWIG, M. B. 2015. *Ambulant erworbene Pneumonie: Radiologische Bildgebung* [Online]. Berlin: Springer Medizin Verlag GmbH. Available: [https://www.springermedizin.de/emedpedia/pneumonie/ambulant-erworbene-pneumonie-radiologische-bildgebung?epediaDoi=10.1007%2F978-3-662-45996-6\\_8](https://www.springermedizin.de/emedpedia/pneumonie/ambulant-erworbene-pneumonie-radiologische-bildgebung?epediaDoi=10.1007%2F978-3-662-45996-6_8) Available: [https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-45996-6\\_8-1.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-45996-6_8-1.pdf) [Accessed 18.06.2020 2020].
- SHI, H., HAN, X., JIANG, N., CAO, Y., ALWALID, O., GU, J., FAN, Y. & ZHENG, C. 2020. Radiological findings from 81 patients with COVID-19 pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. *The Lancet Infectious Diseases*, 20, 425-434.
- SINGHAL, T. 2020. A Review of Coronavirus Disease-2019 (COVID-19). *The Indian Journal of Pediatrics*, 87, 281-286.
- SONG, F., SHI, N., SHAN, F., ZHANG, Z., SHEN, J., LU, H., LING, Y., JIANG, Y. & SHI, Y. 2020. Emerging 2019 Novel Coronavirus (2019-nCoV) Pneumonia. *Radiology*, 295, 210-217.
- STATISTIK AUSTRIA. 2019. *Absolute und relative Häufigkeit der Gestorbenen sowie durchschnittliches empirisches Sterbealter nach Todesursachen und Geschlecht 2018* [Online]. Statistik Austria. Available: <file:///Applications/EndNote%20X9/Todesursachen%20im%20Überblick.html> [Accessed 2020, April 27 2020].
- SUERBAUM, S., BURCHARD, G. D., KAUFMANN, S. H. E., SCHULZ, T. F. & ONLINE TEMPORÄRER KOSTENLOSER TESTZUGRIFF, U. 2016. *Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie*, Berlin Heidelberg, Springer.
- TANG, N., LI, D., WANG, X. & SUN, Z. 2020. Abnormal coagulation parameters are associated with poor prognosis in patients with novel coronavirus pneumonia. *Journal of thrombosis and haemostasis : JTH*, 18, 844-847.
- UDUGAMA, B., KADHIRESAN, P., KOZLOWSKI, H. N., MALEKJAHANI, A., OSBORNE, M., LI, V. Y. C., CHEN, H., MUBAREKA, S., GUBBAY, J. B. & CHAN, W. C. W. 2020. Diagnosing COVID-19: The Disease and Tools for Detection. *ACS Nano*, 14, 3822-3835.
- WANG, W., XU, Y., GAO, R., LU, R., HAN, K., WU, G. & TAN, W. 2020. Detection of SARS-CoV-2 in Different Types of Clinical Specimens. *JAMA*, 323, 1843-1844.
- WENMAN, W. M., PAGTAKHAN, R. D., REED, M. H., CHERNICK, V. & ALBRITTON, W. 1982. Adenovirus bronchiolitis in Manitoba: epidemiologic, clinical, and radiologic features. *Chest*, 81, 605-9.
- WHO. 2021. *WHO coronavirus disease (COVID-19) dashboard* [Online]. Genf: World Health Organization. Available: <https://covid19.who.int> [Accessed 4.8 2021].

- WIELANDNER, A., AGARWAL, P., TOELLY, A. & BARDACH, C. 2017. [Noninfectious differential diagnoses of pneumonia]. *Radiologe*, 57, 35-42.
- WIERSINGA, W. J., RHODES, A., CHENG, A. C., PEACOCK, S. J. & PRESCOTT, H. C. 2020. Pathophysiology, Transmission, Diagnosis, and Treatment of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): A Review. *JAMA*.
- WINER-MURAM, H. T., RUBIN, S. A., ELLIS, J. V., JENNINGS, S. G., ARHEART, K. L., WUNDERINK, R. G., LEEPER, K. V. & MEDURI, G. U. 1993. Pneumonia and ARDS in patients receiving mechanical ventilation: diagnostic accuracy of chest radiography. *Radiology*, 188, 479-85.
- WONG, K. T., ANTONIO, G. E., HUI, D. S., LEE, N., YUEN, E. H., WU, A., LEUNG, C. B., RAINER, T. H., CAMERON, P., CHUNG, S. S., SUNG, J. J. & AHUJA, A. T. 2003. Thin-section CT of severe acute respiratory syndrome: evaluation of 73 patients exposed to or with the disease. *Radiology*, 228, 395-400.
- WORMANNS, D., BIEDERER, J. & REHBOCK, B. 2017. *Thoraxdiagnostik*, Stuttgart New York, Georg Thieme Verlag.
- WORMANNS D., H. O. W. 2015. Glossary of Terms for Thoracic Imaging – German Version of the Fleischner Society Recommendations. *RöFö*, 187: 638–661.
- WU, J., LIU, J., ZHAO, X., LIU, C., WANG, W., WANG, D., XU, W., ZHANG, C., YU, J., JIANG, B., CAO, H. & LI, L. 2020a. Clinical Characteristics of Imported Cases of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in Jiangsu Province: A Multicenter Descriptive Study. *Clin Infect Dis*, 71, 706-712.
- WU, J., WU, X., ZENG, W., GUO, D., FANG, Z., CHEN, L., HUANG, H. & LI, C. 2020b. Chest CT Findings in Patients With Coronavirus Disease 2019 and Its Relationship With Clinical Features. *Invest Radiol*, 55, 257-261.
- WU, X., WANG, Q., WANG, M., SU, X., XING, Z., ZHANG, W. & SHI, Y. 2015. Incidence of respiratory viral infections detected by PCR and real-time PCR in adult patients with community-acquired pneumonia: a meta-analysis. *Respiration*, 89, 343-52.
- WU, Z. & MCGOOGAN, J. M. 2020. Characteristics of and Important Lessons From the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in China: Summary of a Report of 72 314 Cases From the Chinese Center for Disease Control and Prevention. *JAMA*, 323, 1239-1242.
- XU, B., XING, Y., PENG, J., ZHENG, Z., TANG, W., SUN, Y., XU, C. & PENG, F. 2020a. Chest CT for detecting COVID-19: a systematic review and meta-analysis of diagnostic accuracy. *European radiology*, 30, 5720-5727.
- XU, X., YU, C., QU, J., ZHANG, L., JIANG, S., HUANG, D., CHEN, B., ZHANG, Z., GUAN, W., LING, Z., JIANG, R., HU, T., DING, Y., LIN, L., GAN, Q., LUO, L., TANG, X. & LIU, J. 2020b. Imaging and clinical features of patients with 2019 novel coronavirus SARS-CoV-2. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 47, 1275-1280.
- XU, Z., SHI, L., WANG, Y., ZHANG, J., HUANG, L., ZHANG, C., LIU, S., ZHAO, P., LIU, H., ZHU, L., TAI, Y., BAI, C., GAO, T., SONG, J., XIA, P., DONG, J., ZHAO, J. & WANG, F. S. 2020c. Pathological findings of COVID-19 associated with acute respiratory distress syndrome. *Lancet Respir Med*, 8, 420-422.
- YE, Z., ZHANG, Y., WANG, Y., HUANG, Z. & SONG, B. 2020. Chest CT manifestations of new coronavirus disease 2019 (COVID-19): a pictorial review. *Eur Radiol*, 30, 4381-4389.
- YOON, S. H., LEE, K. H., KIM, J. Y., LEE, Y. K., KO, H., KIM, K. H., PARK, C. M. & KIM, Y.-H. 2020. Chest radiographic and CT findings of the 2019 novel coronavirus disease (COVID-19): analysis of nine patients treated in Korea. *Korean journal of radiology*, 21, 494-500.

ZHANG, K., LIU, X., SHEN, J., LI, Z., SANG, Y., WU, X., ZHA, Y., LIANG, W., WANG, C., WANG, K., YE, L., GAO, M., ZHOU, Z., LI, L., WANG, J., YANG, Z., CAI, H., XU, J., YANG, L., CAI, W., XU, W., WU, S., ZHANG, W., JIANG, S., ZHENG, L., ZHANG, X., WANG, L., LU, L., LI, J., YIN, H., WANG, W., LI, O., ZHANG, C., LIANG, L., WU, T., DENG, R., WEI, K., ZHOU, Y., CHEN, T., LAU, J. Y., FOK, M., HE, J., LIN, T., LI, W. & WANG, G. 2020. Clinically Applicable AI System for Accurate Diagnosis, Quantitative Measurements, and Prognosis of COVID-19 Pneumonia Using Computed Tomography. *Cell*, 181, 1423-1433.e11.