

Aus dem Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie (ZOU) der Universitätsmedizin der  
Johannes Gutenberg-Universität Mainz  
und der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Bundeswehr Zentralkrankenhaus  
Koblenz, akademisches Lehrkrankenhaus der Universitätsmedizin der Johannes  
Gutenberg-Universität Mainz

Analyse der effektiven Strahlenbelastung in Abhängigkeit der Einführung eines  
Algorithmus im Rahmen der Schockraumbehandlung

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der Universitätsmedizin  
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Marius Eberhardt Schaller  
Aus Rüdesheim am Rhein

Mainz, 2024

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. H. Schild

1. Gutachter: Oberstarzt Prof. Dr. med. E. Kollig

2. Gutachter: Oberfeldarzt Prof. Dr. med. habil D. Overhoff

Tag der Promotion: 05.03.2025

# Inhalt

---

1	Abkürzungsverzeichnis.....	4
2	Abbildungsverzeichnis.....	5
3	Einleitung.....	6
4	Radiologische Grundlagen .....	7
5	Literaturdiskussion.....	12
5.1	Bestehende Algorithmen.....	12
5.1.1	Canadian C-Spine Rule .....	14
5.1.2	National Emergency X-Radiography Utilization Low-Risk Criteria (NEXUS) .....	16
5.1.3	NEXUS Chest .....	16
5.2	Erhebungsinstrumente .....	19
5.2.1	Glasgow Coma Scale (GCS).....	19
5.2.2	Abbreviated Injury Scale (AIS) .....	20
5.2.3	Injury Severity Score (ISS).....	20
6	Material, Methoden und Patienten.....	21
6.1	Studiendesign .....	21
6.2	Statistische Methoden.....	25
6.3	Methodik und erhobene Parameter.....	26
6.4	Konversionsfaktoren .....	26
7	Ergebnisse .....	29
7.1	Studienpopulation .....	29
7.2	Diagnostik .....	32
7.3	Applizierte Strahlung.....	38
7.4	Relative Strahlenbelastung .....	39
7.5	ISS und effektive Dosis .....	40
8	Diskussion.....	43
8.1	Studienpopulation .....	43
8.2	Untersuchungen.....	44
8.3	Nachuntersuchungen und Nachbefunde.....	47
8.4	Strahlenbelastung .....	47
8.5	Nebenbefunde.....	50
9	Limitationen .....	51

10	Ausblick .....	51
11	Fazit.....	52
12	Appendix .....	54
12.1	Danksagung .....	56
13	Tabellarischer Lebenslauf .....	62

## 1 Abkürzungsverzeichnis

---

AIS.....	Abbreviated Injury Scale
BwZKrhs.....	Bundeswehrzentral Krankenhaus
CTDI <sub>w</sub> .....	Gewichteten CT-Dosis-Index
CTDI <sub>vol</sub> .....	Volumen-CT-Dosis-Index
DFP.....	Dosisflächenprodukt
DLP.....	Dosislängenprodukt
GCS.....	Glasgow-Coma-Scale
Gy.....	Gray
HWS.....	Halswirbelsäule
ICRP	International Commission on Radiological Protection
ISS.....	Injury Severity Score
IRCP.....	International Commission on Radiological Protection
KIS.....	Krankenhausinformationssystem
MRT .....	Magnetresonanztomographie
nach EA.....	Nach Einführung des Algorithmus
NEXUS .....	National Emergency X-Radiography Utilization Study criteria
Sv.....	Sievert
vor EA.....	Vor Einführung des Algorithmus
WBCT.....	Whole body computed tomography

## 2 Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1:	Canadian CT Head Rule.....	13
Abbildung 2:	Canadian C-Spine Rule.....	15
Abbildung 3:	NEXUS Chest.....	17
Abbildung 4:	Kriterien für ein WBCT.....	18
Abbildung 5:	WBCT im Rahmen der Schockraumbehandlung 1a.....	22
Abbildung 6:	WBCT im Rahmen der Schockraumbehandlung 1b.....	23
Abbildung 7:	WBCT im Rahmen der Schockraumbehandlung 1c.....	234
Abbildung 8:	Absolute und durchschnittliche Anzahl an Untersuchungen.....	32
Abbildung 9:	Gruppeneinteilung ISS.....	33
Abbildung 10:	Durchschnittliche Anzahl und Arten der Röntgenuntersuchungen ...	34
Abbildung 11:	Absolute und durchschnittliche Anzahl der Nachuntersuchungen....	35
Abbildung 12:	Anteil der Patienten innerhalb der ISS-Untergruppe mit einem WBCT .....	36
Abbildung 13:	Durchschnittliche und absolute Anzahl an Einzeluntersuchungen innerhalb eines WBCT .....	37
Abbildung 14:	Anteil der WBCT ohne pathologischen Befund .....	38
Abbildung 15:	Durchschnittlich applizierte Strahlung .....	39
Abbildung 16:	Durchschnittliche effektive Dosis der Untersuchungen .....	40
Abbildung 17:	Durchschnittliche effektive Dosis innerhalb der ISS-Untergruppen ..	41
Abbildung 18:	Anatomische Anomalien und Pathologika innerhalb der Nebenbefunde.....	42
Abbildung 19:	Anteil der Patienten mit Nebenbefunden in ihrer Körperregion .....	42
Tabelle 1:	Energieeinstufung der Röntgenstrahlung.....	8
Tabelle 2:	Strahlungs-Wichtungsfaktor wR .....	9
Tabelle 3:	Gewebe-Wichtungsfaktor wT .....	10
Tabelle 4:	Glasgow Coma Scale.....	20
Tabelle 5:	Konversionsfaktoren des Körperstammes „(DLP) over various body regions an (standard) patient age“ .....	27
Tabelle 6:	Konversionsfaktoren der oberen Extremitäten .....	27
Tabelle 7:	Konversionsfaktoren der unteren Extremitäten .....	28
Tabelle 8:	Konversionsfaktoren der Röntgenuntersuchungen .....	28
Tabelle 9:	Deskriptive Statistiken der erfolgten Untersuchungen der Versuchsgruppe vor EA und nach EA. ....	300
Tabelle 10:	Deskriptive Statistiken der emittierten und errechneten Strahlung der Versuchsgruppe vor EA und nach EA .....	311
Tabelle 11:	Deskriptive Statistiken der ermittelten Befunde, der Verletzungsschwere und allgemeiner Daten der Versuchsgruppe vor EA und nach EA.....	31
Tabelle 12:	Genutzte Konversionsfaktoren für die CT-Untersuchungen des Körperstammes .....	54
Tabelle 13:	Konversionsfaktoren CT-Untersuchungen obere Extremität .....	544

Tabelle 14:	Konversionsfaktoren CT-Untersuchungen untere Extremität .....	555
Tabelle 15:	Konversionsfaktoren Röntgenuntersuchungen .....	55

### 3 Einleitung

---

Beim Einsatz ionisierender Strahlung in der Diagnostik ist stets eine kritische Abwägung zwischen Erkenntnisgewinn und der durch die Untersuchung entstehenden Strahlenbelastung im Sinne der rechtfertigenden Indikation vorzunehmen.

Evidenzbasierte Algorithmen können als Entscheidungshilfe dienen, da diese den aktuellen, wissenschaftlichen Wissensstand zur Verfügung stellen und somit subjektiv erfahrungsunabhängig funktionieren sollten.

Vor Einführung des Diagnostikalgorithmus im Bundeswehrzentralkrankenhauses Koblenz in die Schockraumversorgung erfolgte die Anforderung an Diagnostik nach Trauma aufgrund der situativen Einschätzung der behandelnden Ärzte vor Ort. Mit der Einführung des neuen Algorithmus am 31.03.2015 wurde mit Anbringen einer grafischen Darstellung im Schockraum ein standardisiertes Entscheidungstool bereitgestellt, das die anfordernde Diagnostik auf der Basis klarer Kriterien definiert und somit bei der Entscheidung unterstützt.

Im Rahmen des Qualitätsmanagements, aus Gründen wissenschaftlicher Evaluation und nicht zuletzt vor dem Hintergrund der Strahlenschutzbestimmungen soll überprüft werden, welche Auswirkungen die Unterstützung dieses Diagnostikalgorithmus auf die Strahlenbelastung der Schockraumpatienten hat.

Gegenstand dieser Arbeit ist die Evaluation dieses Algorithmus und seiner Auswirkungen auf die Strahlenbelastung der Patienten im Kontext ihrer Verletzungsschwere, zusätzlich wird die Anzahl und Art der Untersuchungen unter Verwendung ionisierender Strahlung analysiert.

Es wird dazu untersucht, ob sich die applizierte Strahlung auf die Gesamtheit der im Schockraum behandelten Patienten signifikant veränderte, ob sich ggfs. die effektive Dosis im Schnitt reduzierte und auf welchem Teilgebiet der Diagnostik mit ionisierender Strahlung sich eine etwaige Änderung vollzog. Dies soll unter Berücksichtigung der Verletzungsschwere der einzelnen Patienten erfolgen und jeweils vor und nach der Einführung des Algorithmus vergleichend ausgewertet werden.

#### **Ziel der vorliegenden Dissertation ist:**

1. Die Erhebung der Art und Anzahl der radiologischen Diagnostik sowie deren applizierte Strahlung jeweils vor und nach der Einführung des Algorithmus.

2. Die Erhebung der Verletzungsschwere, sowie Art und Anzahl der Befunde, pathologisch sowie physiologisch.
3. Der Vergleich der erhobenen Daten in Bezug auf die beiden Gruppen (vor und nach Einführung des Algorithmus) und mit der aktuellen Literatur.

**Hypothesen, die im Zuge dieser Arbeit überprüft werden sollen:**

1. Die Einführung des Algorithmus führte zu einer Reduktion der applizierten Strahlung.
2. Die Einführung des Algorithmus führte zu einer Reduktion der relativen Strahlenbelastung unter Berücksichtigung der Verletzungsschwere.
3. Der Algorithmus führte zu einer verbesserten Diagnostik im Sinne der primären Detektion aller Verletzungen im Rahmen der Schockraumbehandlung.

## 4 Radiologische Grundlagen

---

### **Strahlenschutz und Strahlenschäden**

Ionisierende Strahlung hat einen schädlichen Effekt auf Menschen und ihre Gesundheit und gemäß § 8 des StrlSchG gibt es die Pflicht zur Geringhaltung von Strahlenexposition [52].

Der gesetzliche Grenzwert für Strahlenexposition des einzelnen Bürgers ist dabei in § 80 des StrlSchG auf 1 Millisievert pro Jahr gesetzlich festgelegt[1]. Diese Strahlung stammt dabei teils aus natürlichen Quellen, wie z.B. kosmischer Strahlung, terrestrischer Strahlung, oder auch der Exposition mit Radon. Andere Teile dieser Strahlenbelastung stammen aus zivilisatorischen Quellen, z. B. Kernkraftwerken oder aus Folgen von Reaktorunfällen wie Tschernobyl und der Anwendung ionisierender Strahlung innerhalb der Medizin.[17]

Die Folgen radiologischer Expositionen können deterministischer sowie stochastischer Art sein.

### **Deterministische Strahlenschäden**

Deterministische Strahlenschäden beruhen auf einer direkten Schädigung von Zellen aufgrund der Strahlenwirkung. Diese Art der Strahlenschäden tritt erst ab einem Schwellenwert von ca. 500 mSv pro Applikation auf und verstärkt sich mit steigender Dosis. [10] Die letale Dosis liegt bei ungefähr 7 Sv. [6]

### **Stochastische Strahlenschäden**

Stochastische Strahlenschäden sind Schäden auf Ebene des Erbguts einer Zelle. Es lässt sich nicht vorhersagen, ob diese Schäden auftreten, lediglich steigt, mit steigender Exposition gegenüber ionisierender Strahlung, die Wahrscheinlichkeit für solche Schäden. Die Entstehung von Tumorerkrankungen kann durch stochastische Strahlenschäden begünstigt werden. [6]

Für das Auftreten von stochastischen Strahlenschäden gibt es keinen Dosiswellenwert, weshalb keine Strahlendosis als ungefährlich deklariert werden kann. [6]

## Röntgenstrahlung

Röntgenstrahlung ist elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge von 0,01-10 nm, einer Frequenz von  $3 \times 10^4 - 2 \times 10^8$  THz, sowie einer Energie von  $100 - 1 \times 10^6$  eV ( $1 \text{ THz} = 1 \times 10^{12}$  Hz (Hertz)) [7].

Röntgenstrahlung wird nach ihrem Energiegehalt weiter in Subgruppen unterteilt. [7]

Tabelle 1: Energieeinstufung der Röntgenstrahlung

Röntgenstrahlung	Energie
Überweich	5–21 keV
Weich	21–62 keV
Mittelhart	62–124 keV
Hart	124–248 keV
Überhart	>248 keV“

Quelle: Blasenbrey, T., Kildal, D., and Geibel, M.-A. 2016. Physikalische Grundlagen. In Medizinische Fremdkörper in der Bildgebung. Seite 7

## Energiedosis D

Die Energiedosis ist eine physikalische Messgröße und beschreibt die für einen bestimmten Ort im Gewebe, während der Durchstrahlung, übertragene Energie.

Gemessen wird diese Energie in Gray (Gy) wobei  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule pro Kilogramm (J. kg}^{-1})$  entspricht. [20]

## Äquivalentdosis H

Die Äquivalentdosis H ist eine physikalische Messgröße für einen Punkt im durchstrahlten Gewebe. Die Äquivalentdosis H stellt dabei das in einem Punkt im Gewebe messbare Produkt aus der Energiedosis und einem Qualitätsfaktor Q dar. Der Qualitätsfaktor Q trägt dabei dem Umstand Rechnung, dass verschiedene Strahlenarten in verschiedenen Geweben unterschiedlich starke Schäden verursachen. [20]

Die Einheit der Äquivalentdosis H ist das Sievert (Sv) [44]

„Die Werte des Strahlungs-Wichtungsfaktors  $w_R$  richten sich nach Art und Qualität des äußeren Strahlungsfeldes oder nach Art und Qualität der von einem inkorporierten Radionuklid emittierten Strahlung.“[2]

**Tabelle 2: Strahlungs-Wichtungsfaktor  $w_R$**

Strahlungsart	Strahlungs-Wichtungsfaktor $w_R$
Photonen	1
Elektronen und Myonen	1
Protonen und geladene Pionen	2
Alphateilchen, Spaltfragmente, Schwerionen	20
Neutronen, Energie $E_n < 1$	$2,5 + 18,2 e^{-[\ln(E_n)]^2/6}$
Neutronen, $1 \leq$ Energie $E_n \leq 50$	$5,0 + 17,0 e^{-[\ln(2 E_n)]^2/6}$
Neutronen, Energie $E_n > 50$	$2,5 + 3,25 e^{-[\ln(0,04 E_n)]^2/6}$

Quelle: Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV)  
 Anlage 18 (zu den §§ 171, 197)  
 Dosis- und Messgrößen, Teil C: 1

$E_n$  ist der Zahlenwert der Neutronenenergie in MeV.“ [2]

### Organdosis

So wie es unterschiedlichen Strahlungsarten gibt, deren Verhalten auf Gewebe mit den Qualitätsfaktoren  $Q$  näher erfasst werden soll, gibt es im menschlichen Körper verschiedene Gewebe, die eine unterschiedliche Sensibilität gegenüber einer Strahlung aufweisen. Deshalb führte die International Commission on Radiological Protection (ICRP) 1990 das Prinzip der relativen biologischen Wirksamkeit ein. Innerhalb dieses Prinzips wird der Qualitätsfaktor  $Q$  durch einen Gewebe-Wichtungsfaktor  $w_T$  ersetzt. [20]

Die somit berechnete Organdosis zählt nicht zu den physikalischen Messgrößen, sondern stellt eine Schutzgröße dar. Diese Schutzgrößen dienen der Festlegung von Grenzwerten. Die Organdosis berechnet sich, in Anlehnung an die Äquivalentdosis aus dem Produkt der Energiedosis und einem Berechnungsfaktor, im Falle der Organdosis, dem Gewebe-Wichtungsfaktor. [20]

**Tabelle 3: Gewebe-Wichtungsfaktor  $w_T$**

Gewebe oder Organe	Gewebe-Wichtungsfaktor $w_T$
1. Knochenmark (rot)	0,12
2. Dickdarm	0,12
3. Lunge	0,12
4. Magen	0,12
5. Brust	0,12
6. Keimdrüsen	0,08
7. Blase	0,04
8. Speiseröhre	0,04
9. Leber	0,04
10. Schilddrüse	0,04
11. Haut	0,01
12. Knochenoberfläche	0,01
13. Gehirn	0,01
14. Speicheldrüsen	0,01
15. Andere Organe oder Gewebe <sup>1</sup>	0,12

„Der Gewebe-Wichtungsfaktor für andere Organe oder Gewebe bezieht sich auf das arithmetische Mittel der Dosen der 13 Organe und Gewebe für jedes Geschlecht, die nachfolgend aufgelistet sind. Restliche Gewebe: Nebennieren, obere Atemwege, Gallenblase, Herz, Nieren, Lymphknoten, Muskelgewebe, Mundschleimhaut, Bauchspeicheldrüse, Prostata (Männer), Dünndarm, Milz, Thymus, Gebärmutter/Gebärmutterhals (Frauen).“ [2]

### **Effektive Dosis**

In § 5 Absatz 11 des Strahlenschutzgesetzes wird festgestellt: „(11) Effektive Dosis: Das zur Berücksichtigung der Strahlenwirkung auf verschiedene Organe oder Gewebe gewichtete Mittel von Organ-Äquivalentdosen; die Organe oder Gewebe werden mit den Wichtungsfaktoren berücksichtigt, die in der Rechtsverordnung nach § 175 Absatz 2 Nummer 2 festgelegt sind.“ [52]

Bildgebende Verfahren werden nicht nur benutzt, um einzelne Körperregionen z.B. die Hand abzubilden bzw. zu durchleuchten, sondern auch um größere Regionen im Sinne

von Übersichtsaufnahmen zu untersuchen z.B. den Thorax. Gerade bei diesen Übersichtsaufnahmen werden viele unterschiedliche Gewebe gleichzeitig einer Strahlendosis ausgesetzt. Eine Röntgenaufnahme des Thorax betrifft, u.a. Lunge, Speiseröhre und Haut. All diese Gewebe reagieren unterschiedlich sensibel auf die emittierte Strahlung (Siehe Tabelle 3 Gewebe-Wichtungsfaktor  $w_T$ ). Um die Strahlenbelastung nun näherungsweise zu bestimmen, gilt es die emittierte Strahlung mit dem Gewebewichtungsfaktor der einzelnen Gewebe zu multiplizieren sowie mit dem prozentualen Anteil des bestrahlten Gewebes an der Gesamtaufnahme. Die effektive Dosis ist nun die Summe all dieser errechneten Organdosen. [20]

Die effektive Dosis wird in Sievert angegeben, ein Sievert ist definiert als 1 Joule pro Kilogramm.[11]

### **Dosisflächenprodukt (DFP)**

Das Dosisflächenprodukt ist das Produkt aus emittierter Strahlendosis und der bestrahlten Fläche. Das DFP wird genutzt, um die Strahlenbelastung bei konventionellen Projektionsaufnahmen anzugeben. Die Strahlenbelastung kann dabei direkt mittels Dosimeter gemessen werden. [21]

Die Einheiten für das Dosislängenprodukt ist  $\text{mGy}\cdot\text{cm}$  [15].

### **Dosislängenprodukt (DLP)**

Anders als bei der konventionellen Durchleuchtung hat man es bei einer CT-Untersuchung mit einer sich bewegenden Strahlenquelle zu tun, weshalb man die Strahlenbelastung auch nicht mehr mit dem DFP angeben kann. Anstatt einer Strahlenemission aus einer konstanten Richtung, z.B. von posterior nach anterior, kommt es durch die Bewegung der Strahlenquelle zu Überlappungen und Kreuzung der Strahlenfelder. Um die Strahlenbelastung nun näher angeben zu können bedarf es dem Dosislängenprodukt.

„Das Dosislängenprodukt (DLP) erhält man, indem man den ( $\text{CTDI}_{\text{vol}}$ ) mit der Scan-Länge der gesamten Untersuchung in der z-Richtung multipliziert.“ [22]

Der Volumen-CT-Dosis-Index ( $\text{CTDI}_{\text{vol}}$ ) selbst ist das Produkt aus dem gewichteten CT-Dosis-Index ( $\text{CTDI}_w$ ) und dem Tischvorschub oder auch Pitch-Faktor. Der Tischvorschub ist dabei ein Maß für die Geschwindigkeit, mit der der Untersuchungstisch durch die Gantry geschoben wird. Der gewichteten CT-Dosis-Index selbst wird für jedes CT-Gerät individuell mittels standardisiertem Plexiglasphantom ermittelt. [22]

Die Einheit für das Dosislängenprodukt ist  $\text{mGy}\cdot\text{cm}^2$  [25].

## 5 Literaturdiskussion

---

### 5.1 Bestehende Algorithmen

Der im März 2015 im Bundeswehrzentral Krankenhaus etablierte Diagnostikalgorithmus ist nicht der erste Algorithmus mit dem Ziel die Indikationsstellung strahlenintensiver Diagnostik zu standardisieren und an objektivierbare Kriterien zu knüpfen.

Im Jahr 2001 veröffentlichten Stiel, Wells et al. die Canadian head rule [50]. Dieses Entscheidungstool wurde entwickelt, um bei Patienten mit leichten Kopfverletzungen die Indikationsfindung zur CT-Untersuchung zu standardisieren [44]. Dargestellt wird die Canadian head rule in Abbildung 1.

Abbildung 1: Canadian CT Head Rule

### *Canadian CT Head Rule*

CT Head is only required for minor head injury patients with any one of the following findings. Minor head injury patients present with a GCS score of 13-15 after witnessed loss of consciousness, amnesia, or confusion.

*High-Risk (for Neurosurgical Intervention)*

1. GCS score < 15 at 2 hours after injury
2. Suspected open or depressed skull fracture
3. Any sign of basal skull fracture \*
4. Vomiting  $\geq$  2 episodes
5. Age  $\geq$  65 years

*Medium-Risk (for Brain Injury on CT)*

6. Amnesia before impact  $\geq$  30 minutes
7. Dangerous mechanism \*\*

\* Signs of Basal Skull Fracture:

- hemotympanum, 'raccoon' eyes, CSF otorrhea / rhinorrhea, Battle's sign

\*\* Dangerous Mechanism:

- pedestrian struck by motor vehicle
- occupant ejected from motor vehicle
- fall from elevation  $\geq$  3 feet or 5 stairs

Rule not applicable if:

- Non-trauma case
- GCS < 13
- Age < 16 years
- Warfarin or bleeding disorder
- Obvious open skull fracture

Quelle: Stiell, I. G., Wells, G. A., Vandemheen, K., Clement, C., Lesiuk, H., Laupacis, A., McKnight, R. D., Verbeek, R., Brison, R., Cass, D., Eisenhauer, M. E., Greenberg, G., and Worthington, J. 2001. The Canadian CT Head Rule for patients with minor head injury. *Lancet* (London, England) 357, 9266, 1391–1396. [50]

Dieses Entscheidungstool teilt die angegebenen Kriterien in zwei Gruppen, einmal in eine Hoch-risiko Gruppe, diese beinhaltet einen GCS < 15 Punkte zwei Stunden nach erfolgtem Trauma, eine erwartete offene Schädelfraktur oder einen Hinweis auf eine Fraktur der Schädelbasis. Zusätzlich wird ein Alter  $\geq$  65 Jahren und mehrmalige

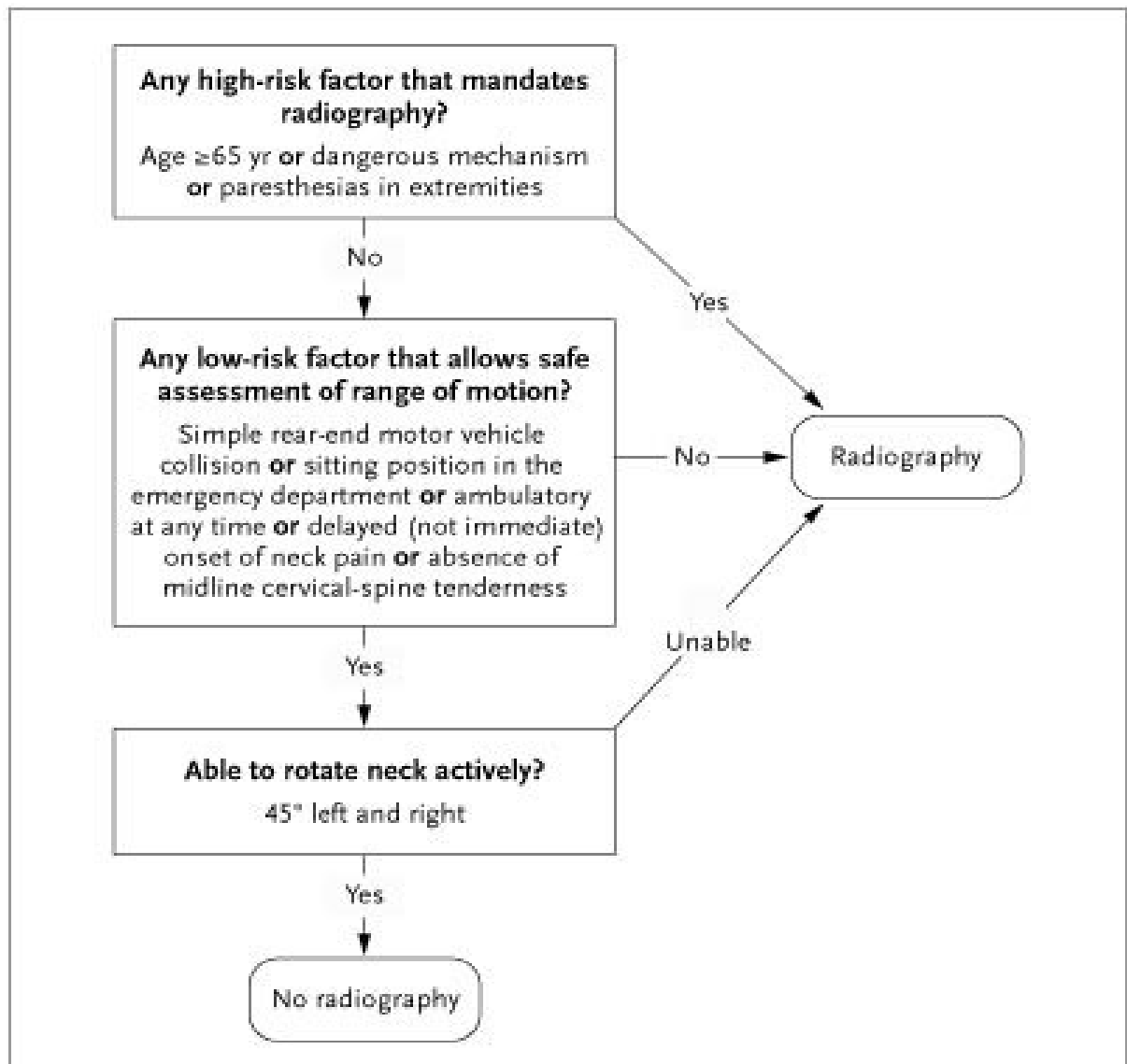
Emesis  $\leq 2$  in dieser Kategorie genannt. Die zweite Gruppe beinhaltet die Kriterien für ein mittleres Risiko, dazu zählen eine Retrograde Amnesie  $\geq 30$  Minuten vor dem Unfall und der Unfallmechanismus findet Berücksichtigung [50].

#### 5.1.1 Canadian C-Spine Rule

Die Canadian C-Spine Rule wurde durch Stiell, Wells et al entwickelt und 2001 publiziert. Der Algorithmus liefert Entscheidungskriterien, welche Patienten mit einem stumpfen Trauma der Halswirbelsäule (HWS) einer Radiographie zugeführt werden sollten und welche nicht. Die Kriterien werden dabei gemäß ihrem Risiko eingestuft. Ein Alter größer 65 Jahren, ein gefährlicher Unfallmechanismus und neu aufgetretene Parästhesien bilden die Hoch-Risikogruppe.

Die Kriterien, die ein geringes Risiko definieren, sind unter anderem ein einfacher Auffahrunfall mit einem Kraftfahrzeug, ein verzögertes Einsetzen von Nackenschmerzen oder das Vorliegen einer cervicalen Verhärtung der Wirbelsäule. Ebenso führt eine Bewegungseinschränkung der HWS zur Empfehlung einer HWS-Bildgebung [51].

Abbildung 2: Canadian C-Spine Rule



Quelle: Stiell, I. G., Wells, G. A., Vandemheen, K. L., Clement, C. M., Lesiuk, H., Maio, V. J. de, Laupacis, A., Schull, M., McKnight, R. D., Verbeek, R., Brison, R., Cass, D., Dreyer, J., Eisenhauer, M. A., Greenberg, G. H., MacPhail, I., Morrison, L., Reardon, M., and Worthington, J. 2001. The Canadian C-spine rule for radiography in alert and stable trauma patients. *JAMA* 286, 15, 1841–1848. [49]

Die Canadian C-Spine Rule lässt sich nicht auf jeden Patienten anwenden, da sie für wache Patienten mit einem GCS-Score von 15 und Zustand nach stumpfen Kopf,- oder Nackentrauma entwickelt wurde [51].

### 5.1.2 National Emergency X-Radiography Utilization Low-Risk Criteria (NEXUS)

Im Bereich der HWS können ebenso die NEXUS-Kriterien zur Steuerung der strahlenintensiven Diagnostik herangezogen werden. 1992 etablierte Hoffmann, Wolfson et al. die National Emergency X-Radiography Utilization Low-Risk Criteria, die die Durchführung einer Röntgenuntersuchung der HWS an das Fehlen einer dieser fünf Kriterien knüpft:

- kein Schmerz über der HWS,
- keine Intoxikation,
- Wachheit,
- keine fokalneurologischen Defizite,
- keine ablenkenden Verletzungen [26].

NEXUS ist nicht für alle Patienten bedenkenlos anzuwenden, denn es zeigt bei älteren Patienten ( $\geq 65$  Jahre) eine geringere Sensitivität [37].

Michaeleff et al. konnten zeigen, dass die Canadian-C-Spine Rule im Vergleich zu den National Emergency X-Radiography Utilization Study criteria das genauere diagnostische Werkzeug darstellt [32].

Außerdem konnten Ngatchou et al. in ihrer retrospektiven Studie feststellen, dass auch bei korrekter Anwendung der NEXUS Kriterien lediglich 37,7% der Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule adäquat aufgenommen wurden. Ein Einflussfaktor für die geringe Qualität der Aufnahmen war unter anderem das Fehlen des Halswirbels C7 bei 64,7% der Aufnahmen[34].

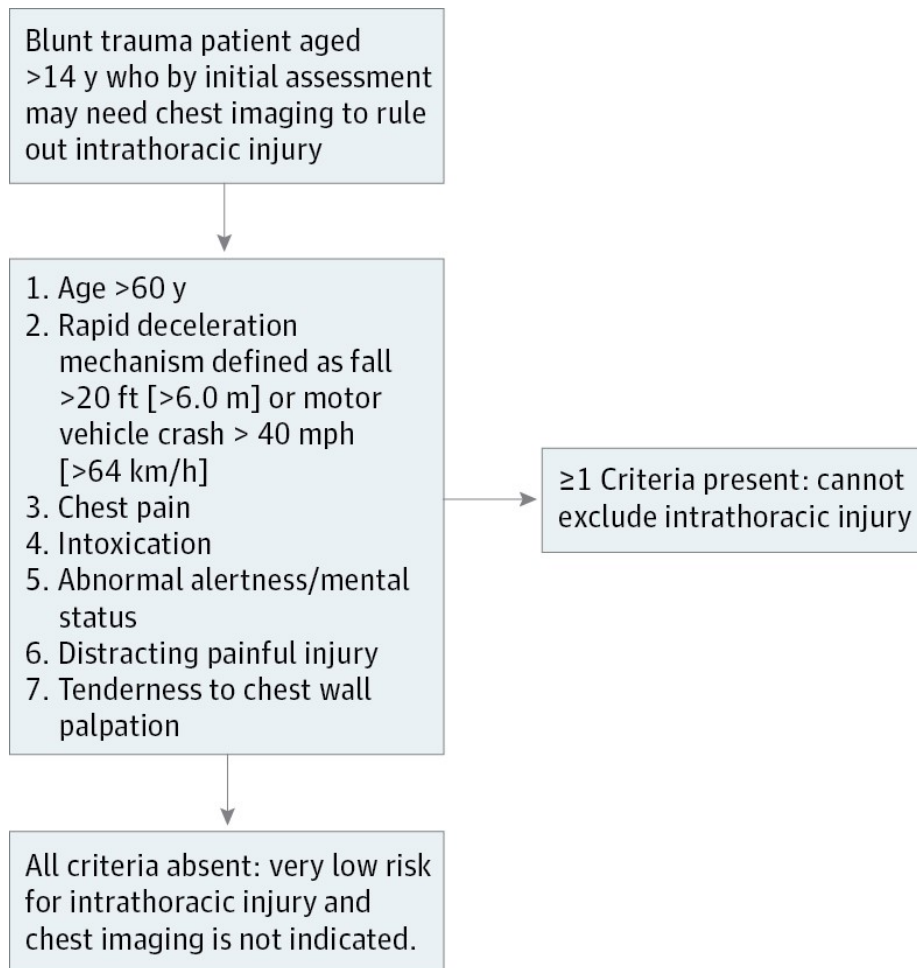
### 5.1.3 NEXUS Chest

Für die Entscheidung zur radiologischen Untersuchung des Thorax steht der „Nexus Chest“ zur Verfügung. Rodriguez et al. 2013 konnten einen Entscheidungsalgorithmus darlegen, der es ermöglicht, die Anzahl an strahlenintensiver Diagnostik zu reduzieren. Der „NEXUS Chest“ kann für Patienten ab 15 Jahren genutzt werden und empfiehlt eine radiologische Untersuchung, sobald eines von sieben Kriterien erfüllt ist. Die Kriterien setzen sich aus Patientendaten, dem Unfallhergang und dem klinischen Zustand des Patienten zusammen. Diese Kriterien sind:

- Patientenalter  $>60$  Jahren,
- Dezelerationstrauma bei einem Autounfall oder einer plötzlichen Abbremsung  $>64$  km/h oder ein Sturz von über vier Metern Höhe,
- Brustschmerzen,
- Intoxikation,
- Veränderte Vigilanz des Patienten, dem
- Vorliegen einer ablenkenden Verletzung oder

- auffällige körperliche Untersuchung der Brust [41].

Abbildung 3: NEXUS Chest



Quelle: Rodriguez, R. M., Anglin, D., Langdorf, M. I., Baumann, B. M., Hendey, G. W., Bradley, R. N., Medak, A. J., Raja, A. S., Juhn, P., Fortman, J., Mulkerin, W., and Mower, W. R. 2013. NEXUS chest: validation of a decision instrument for selective chest imaging in blunt trauma. *JAMA surgery* 148, 10, 940–946. [41]

Zur standardisierten Indikationsstellung zur Durchführung eines WBCT stellt J.J. Harvey in drei Kategorien geteilte Kriterien zur Verfügung:

- Kriterien der Kategorie A beschreiben den Unfallhergang bzw. den Mechanismus.
- Kategorie B die Ergebnisse der körperlichen Untersuchung und
- Kategorie C die Physiologie sowie die Eigenschaften des Patienten, wie Alter und etwaige Antikoagulation. Die Indikation zum WBCT sollte bei einem oder mehr erfüllten Kriterien von zwei unterschiedlichen Kategorien gestellt werden [22].

Abbildung 4: Kriterien für ein WBCT

*J.J. Harvey, A.T.H. West / Clinical Radiology 68 (2013) 871–886*

**A: High Risk Mechanism of Injury (any one of the following):**

- RTC with death of another passenger in the same vehicle
- RTC with ejection of casualty from vehicle
- RTC with prolonged extrication (>15 mins) of casualty from vehicle
- Pedestrian/Cyclist/motorcyclist vs. vehicle
- Fall > 2 metres / flight of stairs

**B: Anatomical (any one of the following):**

- Visible injury to >2 body regions (head/neck/chest/abdomen/pelvis/long bones)
- Hard signs of vascular injury (expanding haematoma, deep laceration over arterial course)
- Hard signs of spinal cord injury

**C: Physiological (any one of the following):**

- GCS < 12 or intubated or surgical airway
- Systolic BP <90 mmHg in the ED
- Respiratory rate <10 or >30 per minute
- Pulse > 120 bpm in the ED
- Age >65 years
- Warfarinised patient

Quelle: Harvey, J. J. and West, A. T. H. 2013. The right scan, for the right patient, at the right time: the reorganization of major trauma service provision in England and its implications for radiologists. *Clinical radiology* 68, 9, 871–886. [23]

Gordic, Alkadhi et al. konnten zeigen, dass die Durchführung einer WBCT in Punkto Geschwindigkeit der Durchführung einzelner CT-Untersuchungen überlegen ist [18]. Außerdem erhöht die frühzeitige Nutzung des WBCT signifikant das Überleben und wird entsprechend der Studie von Lefering et al. als Standarduntersuchung bei polytraumatisierten Patienten empfohlen [25].

Die reine Betrachtung des Unfallmechanismus zur Indikationsstellung des WBCT greift zu kurz. So hat Linder et al. zeigen können, dass man gerade bei wachen, nicht intoxikierten Patienten ohne sichtbare Anzeichen für eine schwere Verletzung auf die direkte Durchführung eines WBCT zu Gunsten einer Beobachtung und einer erneuten Untersuchungen verzichten kann [31].

## 5.2 Erhebungsinstrumente

Um die angefallene Strahlenbelastung der beiden Gruppen beurteilen und in Beziehung setzen zu können, ist es unumgänglich, den Gesundheitszustand, bzw. den Schweregrad der Verletzungen des einzelnen Patienten zu erheben und quantifizierbar zu machen.

Die Patienten wurden wegen der unterschiedlichsten Indikationen der Schockraumbehandlung zugeführt, manche kamen z.B. aufgrund von Verkehrsunfällen, andere aufgrund von Stürzen. Die verschiedenen Unfallmechanismen brachten unterschiedliche Verletzungsmuster in unterschiedlichen Schweregraden hervor.

Diese Verletzungen waren nicht direkt vergleichbar, sondern mussten erst in Zahlenwerte umcodiert werden.

Dafür stehen verschiedene Scores zur Verfügung, mit deren Hilfe die Verletzungen quantifizierbar und vergleichbar gemacht werden können.

In den folgenden Kapiteln werden die im Trauma-Kontext gebräuchlichsten Scores und ihr Nutzen vorgestellt.

### 5.2.1 Glasgow Coma Scale (GCS)

Erstmals eingeführt 1974 von Teasdale und Jennett, dient der GCS der Beurteilung des Bewusstseinszustandes bzw. des Schweregrades eines Schädel-Hirn-Traumas, des Patienten [53]. Der GCS verteilt einen Punktwert für die jeweils beste Reaktion des Patienten in den Kategorien, Augenöffnen, beste verbale Antwort und beste motorische Antwort.

Tabelle 4: Glasgow Coma Scale

Prüfung	Stimulus	Reaktion	Bewertung
<b>Augenöffnen</b>	spontan		4
	auf Anruf	Augenöffnen	3
	auf Schmerzreiz		2
	trotz Schmerzreiz	kein Augenöffnen	1
<b>motorische Reaktion</b>	verbale Aufforderung	adäquate motorische Reaktion	6
		gezielte Reaktion	5
	auf Schmerzreiz	ungezielte Abwehr	4
		tonische Beugung	3
		Streckbewegung	2
		keine Reaktion	1
<b>verbale Reaktion</b>	Ansprechen	ist orientiert	5
		ist verwirrt	4
		Wortsalat	3
		unverständliche Äußerungen	2
		keine Reaktion	1

Quelle: Niethard, F. U., Pfeil, J., and Biberthaler, P. 2022. Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart. [35]

Insgesamt können maximal 15 Punkte erreicht werden und minimal 3 [13].

Die Einteilung des Schweregrades des Schädel-Hirn-Traumas (SHT) erfolgt anhand der Summe der drei erreichten Punktwerte. Eine Summe von 3-8 Punkten spricht für ein schweres SHT. 9-12 für ein mittelschweres SHT und 13-15 für ein leichtes SHT [43].

### 5.2.2 Abbreviated Injury Scale (AIS)

Der AIS ist ein Codierungssystem für die Standardisierung und Klassifizierung von Verletzungen. Die Version AIS 2005 umfasst ca. 2000 Diagnosen [27], die jeweils mit einem sechsstelligen Zifferncode dargestellt werden.

Die Schwere der Verletzung erhält dabei einen Punktwert von 1-6 wobei 1 einer leichten Verletzung entspricht, 6 einer tödlichen [3].

### 5.2.3 Injury Severity Score (ISS)

Die Verletzungen, Schweregrade, Unfallmechanismen und ganz allgemein, die Gründe, warum Patienten in die Notaufnahmen gebracht wurden, waren sehr

unterschiedlich. Sie reichten von z.B. Verkehrsunfällen, Arbeitsunfällen mit Baumaschinen, bis hin zu Suizidversuchen. Alle diese Unterschiede erschweren den Vergleich der Patienten.

Auf dem Fundament des AIS mit seinem Katalog an gewichteten Diagnosen, baut der ISS auf und gibt dem vielfachverletzten Patienten einen vergleichbaren Punktwert.

Die Punktwerte der drei schwerwiegendsten Verletzungen innerhalb des AIS werden jeweils quadriert und die Summe bildet dabei den ISS. Die maximal mögliche Punktzahl ist dabei 75, das Minimum liegt bei 0. Sollte eine Verletzung im AIS mit 6 klassifiziert worden sein, so ist automatisch ein ISS von 75 anzugeben. Jeder ISS größer 15 ist als schwere Verletzung anzusehen. [30]

Es zeigten sich Hinweise, dass der ISS bei Kindern, in der Studie von Brown, Gestring et al. definiert als Personen jünger als 16 Jahren, unzureichende Aussagen über die Verletzungsschwere trifft. Ein ISS > 25 scheint der genauere Grenzwert für eine schwere Verletzung zu sein als 15. Der Verletzungsmechanismus spielt dabei eine größere Rolle, Verletzungen des Kopfes und des Thorax steigern bei singulärer Verletzung dieser Region die Mortalität [9].

## 6 Material, Methoden und Patienten

---

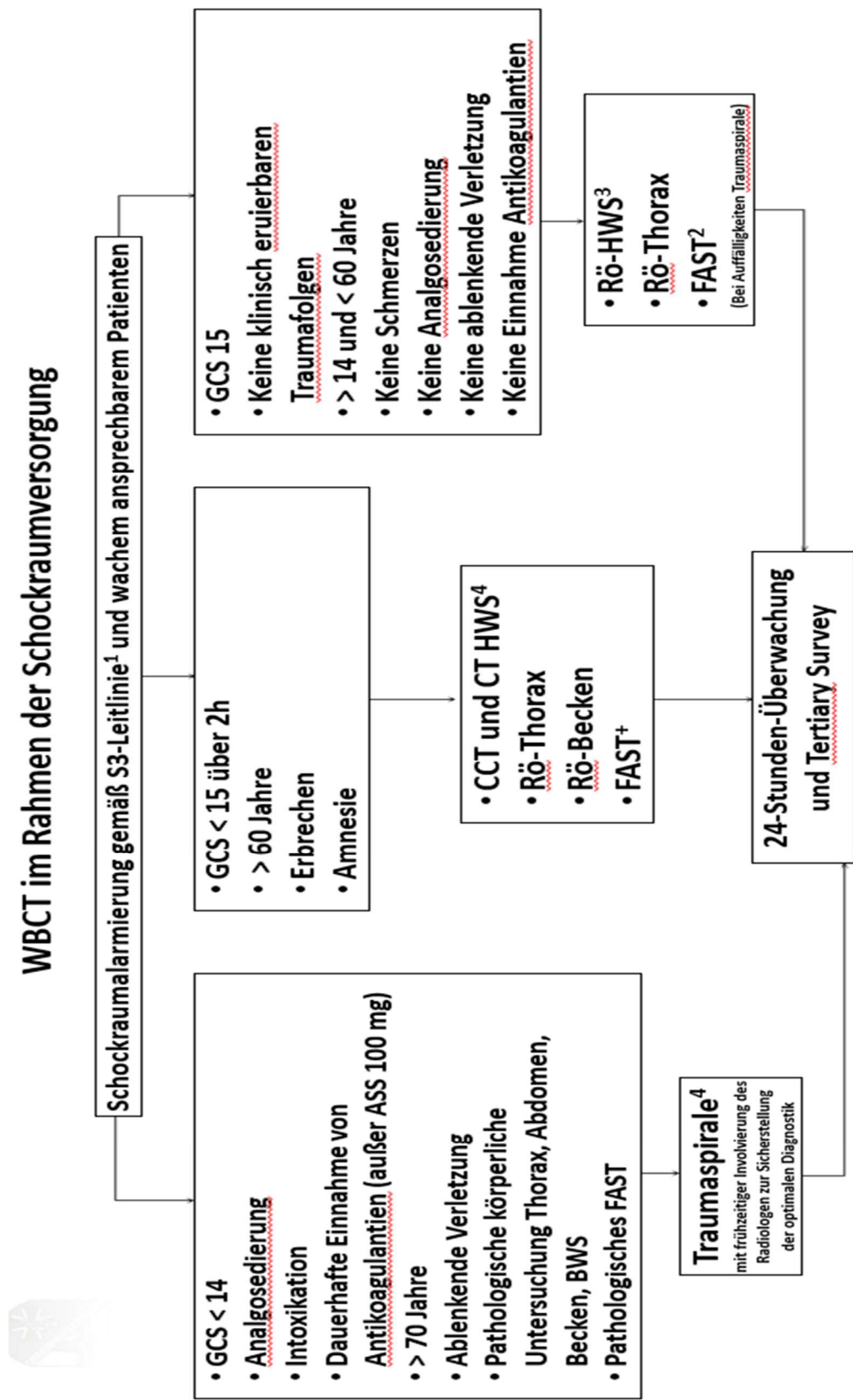
### 6.1 Studiendesign

Diese Studie ist eine retrospektive Betrachtung und basiert auf dem Patientenkollektiv der am 22. Oktober 2019 veröffentlichten Studie „Implementierung eines Algorithmus zur Indikationsstellung einer Ganzkörpercomputertomographie nach Trauma“ [4]. Es handelt sich um eine statistische Auswertung der routinemäßig erhobenen Daten.

Betrachtet wurde der Zeitraum vom 01.05.2014 bis zum 31.03.2015 & 01.04.2015 bis zum 28.02.2016, also ein Zeitraum von 11 Monaten um die Implementierung des Diagnostikalgorithmus im Schockraum am 31.03.2015.

Die Forschungsgruppen, sind gemäß der Implementierung des Algorithmus, als vor Einführung des Algorithmus (vor EA) und nach Einführung des Algorithmus (nach EA) definiert.

Abbildung 5: WBCT im Rahmen der Schockraumbehandlung 1a



Quelle: Bieler D, 2014 [5]

Abbildung 6: WBCT im Rahmen der Schockraumbehandlung 1b

### <sup>1</sup>S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung

Bei folgenden Verletzungen soll das Trauma-/Schockraumteam aktiviert werden: Bei folgenden zusätzlichen Kriterien sollte das Trauma-/Schockraumteam aktiviert werden:

- Systolischer Blutdruck < 90 mmHg nach Trauma
- Vorliegen von penetrierenden Verletzungen der Rumpf-Hals-Region
- Vorliegen von Schussverletzungen der Rumpf-Hals-Region
- GCS < 9 nach Trauma
- Atemstörungen/Intubationspflicht nach Trauma
- Frakturen von > 2 proximalen Knochen
- Instabiler Thorax
- Beckenfrakturen
- Amputationsverletzung proximal der Hände/Füße
- Querschnittsverletzung
- Offene Schädelverletzung
- (Verbrennung >20 % und Grad ≥ 2b)

- Sturz aus über 3 Metern Höhe
- Verkehrsunfall mit:
  - Frontalaufprall mit Intrusion von > 50-75cm
  - Einer Geschwindigkeitsveränderung von  $\Delta > 30\text{km/h}$
  - Fußgänger-/Zweiradkollision
  - Tod eines Insassen
  - Ejektion eines Insassen

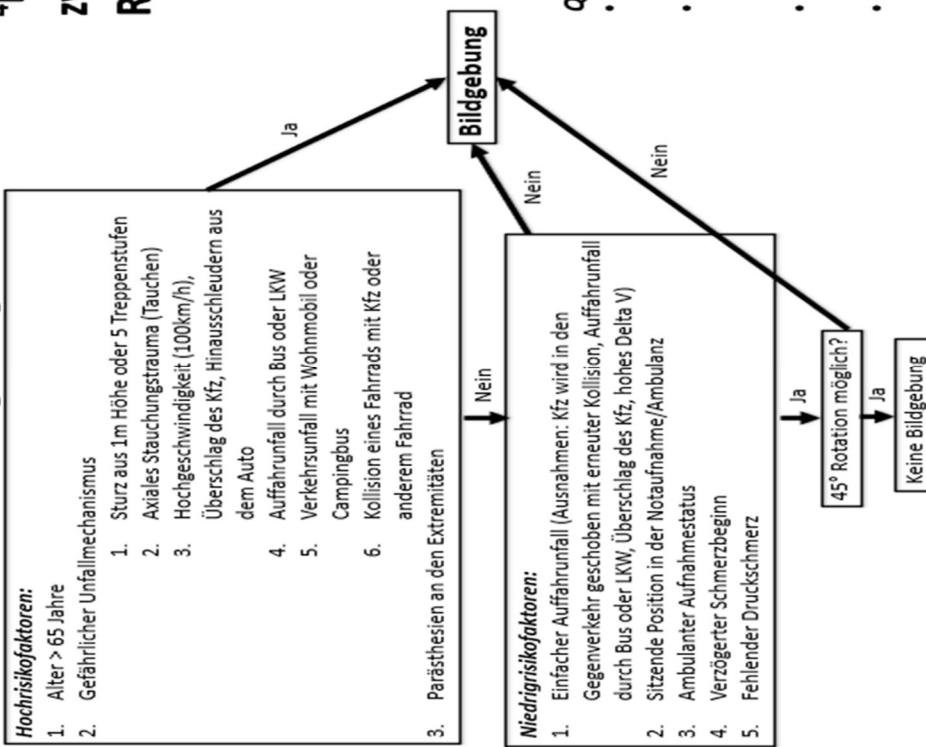
- <sup>2</sup>FAST-Zeitpunkte:
1. im Rahmen primary survey
  2. 30 Minuten nach erstem FAST
  3. 4-6 Stunden nach 1. FAST

Quelle: Bieler D, 2014 [5]

Abbildung 7: WBCT im Rahmen der Schockraumbehandlung 1c

**4Bei Kindern unter 16 Jahren und Schwangeren muss zwingend die vitale / dringliche Indikation mit dem Radiologen vom Dienst vorab geklärt werden.**

### 3 Evidenz basierte Bildgebung der HWS



#### Quellen und weitere Literatur zum Nachschlagen:

- Evidenz based Bildgebung des Kopfes: Stiell IG, et al. The Canadian CT Head Rule for Patients with Minor Head Injury. Lancet 2001; 357:1391-96.
- Evidenz based Bildgebung der HWS: Stiell IG, Clement CM et al. Comparative Validation of the Canadian C-Spine Rule and the NEXUS Low-Risk Criteria in Alert and Stable Trauma Patients. New Engl J Med 2003.
- Evidenz based Bildgebung des Thorax: Rodriguez et al. Nationale Emergency X-Radiography Utilization Study chest. JAMA Surg, 2013
- Zeitkritische Indikationen für eine Traumaspirale: Harvey JJ, West ATH, Clinical Radiology, 2013

© Bieler et al., Koblenz

Quelle: Bieler D, 2014 [5]

Das Patientenkollektiv besteht aus insgesamt 479 Patienten, die im Beobachtungszeitraum vom 01.05.2014 bis 28.02.2016 eine Schockraumbehandlung

im Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz (BwZKrhs) erhielten, 235 davon vor Einführung des Algorithmus und 244 danach. Die Ausgabe der Fallnummern erfolgte durch das krankenhauseigene Informationssystem (KIS).

Ausgewertet wurden die routinemäßig erhobenen Daten zur radiologischen Diagnostik der Patienten, also CT- und Röntgenuntersuchungen in und außerhalb der Schockraumbehandlung sowie deren Dosiswerte im Zeitraum ihres Klinikaufenthaltes. Außerdem wurde ausgewertet, ob die Patienten initial ein Whole Body CT-Scan (WBCT) in der Schockraumbehandlung erhielten oder nicht. Zusätzlich wurden Art und Anzahl der Befunde und möglicher Zufallsbefunde ausgewertet.

Für alle Patienten wurden die vorhandenen Dokumente wie z.B. Arztbriefe retrospektiv ausgewertet. Des Weiteren wurden die Dosisprotokolle der verschiedenen radiologischen Diagnostiken im JiveX<sup>®</sup> Programm analysiert.

Ausgewertet wurden alle routinemäßig vorliegenden Daten den Unfall betreffend, auch über den Primäraufenthalt hinaus, wenn die Patienten binnen 30 Tagen mit Beschwerden, die eindeutig auf den Unfallhergang des ersten Klinikbesuchs zurückzuführen sind, wieder vorstellig wurden. Dieser erweiterte Beobachtungszeitraum wurde betrachtet, um zu beobachten, ob im ersten Klinikaufenthalt, trotz der durchgeführten Diagnostik, pathologische Befunde übersehen wurden.

## 6.2 Statistische Methoden

### Chi-Quadrat-Test

Der Chi-Quadrat-Test dient zur Untersuchung der Unabhängigkeit von Merkmalen.

Diesem Test liegen in der Anwendung eine Stichprobe mit der Größe  $n$  und die Häufigkeit der jeweiligen Alternativmerkmale zugrunde.

Deren verschiedene Ausprägungen mit A oder B und den jeweiligen Kombinationen in einer Vierfeldertafel dargestellt werden können [58].

Innerhalb der Nullhypothese wird von einer Unabhängigkeit der Ereignisse ausgegangen [58].

Zu den Voraussetzungen für die Durchführung des Vierfeldertests zählt die erwartete Mindesthäufigkeit von 5 [58].

### Fishers exakter Test

Bei Häufigkeiten kleiner als 5 stellt der Exakt-Test nach Fisher eine Alternative dar und wurde zur Berechnung der Signifikanzwerte (p-Werte) genutzt [58].

Der Signifikanzwert wird bei dieser Testmethode direkt berechnet, daher der Name „exakter“ Test [58].

#### t-Test für unverbundene Stichproben

Der t-Test ist ein Lagetest der die Mittelwerte zweier Stichproben vergleicht. Die Grundvoraussetzung für diesen Test ist eine normalverteilte Grundgesamtheit [57].

Als Nullhypothese wird die Gleichheit der beiden Versuchsgruppen angenommen [57].

Als Signifikanzschwelle für alle beschriebenen Testverfahren wurde  $p < 0,05$  als \* und  $p < 0,01$  als \*\* festgelegt.

#### Mann-Whitney U-Test

Der Mann-Whitney U-Test ist ein Rangsummentest der für eine unverbundene Stichprobe den Vergleich zweier Mediane anstellt. Dabei ist keine bestimmte Verteilungsform vorausgesetzt.[59]

Als Nullhypothese wird die Gleichheit der beiden Versuchsgruppen angenommen.[59]

Als Signifikanzschwelle für dieses Testverfahren wurde  $p < 0,05$  als \* und  $p < 0,01$  als \*\* festgelegt.

### 6.3 Methodik und erhobene Parameter

Die initiale Datenaufbereitung erfolgte mit Microsoft Excel® (Version 2009). Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS Statistics® Version 23.0. Die Tabellen und Grafiken wurden mittels Microsoft Excel® erstellt.

Die Texterstellung und Bearbeitungen erfolgten mit Microsoft Word®.

### 6.4 Konversionsfaktoren

Die Strahlenbelastung der CT-Untersuchungen und Röntgenuntersuchungen werden in unterschiedlichen Einheiten, nämlich  $\text{mGy} \cdot \text{cm}$  für das Dosislängenprodukt der CT-[15] und  $\text{mGy} \cdot \text{cm}^2$  für das Dosisflächenprodukt der Röntgenuntersuchungen [25]. Um diese beiden Untersuchungstypen und die emittierte Strahlendosis direkt vergleichen zu können, müssen sie vorher durch Konversionsfaktoren in die gleiche Einheit überführt werden.

## Konversionsfaktoren CT-Untersuchungen

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Konversionsfaktoren, die zur Umrechnung der Strahlenbelastung aus den verschiedenen Untersuchungsarten genutzt wurden.

### Körperstamm

Tabelle 5: Konversionsfaktoren des Körperstammes „(DLP) over various body regions an (standard) patient age“

Region of Body	Effective Dose per DLP (mSv(mGy*cm) <sup>-1</sup> by age	10Y	Adult
Head/Neck		0,0042	0,0031
Head		0,0032	0,0021
Neck		0,0079	0,0059
Chest		0,013	0,014
Abdomen/Pelvis		0,015	0,015
Trunk		0,014	0,015

Quelle: Paul C. Shrimpton. 2004. Assessment of Patient Dose in CT. UR - <https://www.semanticscholar.org/paper/Assessment-of-Patient-Dose-in-CT-Shrimpton/47865e33daafb478ded8688940ff29f6290790c1>. [36]

### Obere Extremitäten

Tabelle 6: Konversionsfaktoren der oberen Extremitäten

„Adaption of conversion factors by The European Guidelines on Quality Criteria for Computed Tomography, Appendix C and Appendix B\* 5.“ [28]

Region scanned	EDLP conversion factors (mSv/mGyXcm)
Shoulder	0,014 (chest)
Elbow (adjacent to torso)	0,015 (abdomen)
Elbow (limb) (above head)	0,002 – passes through skull (head)
Elbow (limb) above skull	0,0008 (limb)*- above skull
Wrist	0,0008 (limb)*
Pelvis	0,015 (pelvis)

Quelle: Iordache, S. D., Goldberg, N., Paz, L., Peylan, J., Hur, R. B., and Steinmetz, A. 2017. Radiation Exposure From Computed Tomography Of The Upper Limbs. Acta orthopaedica Belgica 83, 4, 581–588. [28]

## Untere Extremitäten

Tabelle 7: Konversionsfaktoren der unteren Extremitäten

„Estimates of Effective Dose for CT Scans of the Lower Extremities“

Region scanned	EDLP conversion factors (mSv/mGyXcm)
Hip	0,011
Knee	0,0004
Ankle	0,0002
CT- Angiographie	0,0062

Quelle: Natalia Saltybaeva, Mary Ellen Jafari, Martin Hupfer, and Willi A Kalender. 2014. Estimates of Effektivem Dose for CT Scans of the Lower Extremities. Radiology 273, 1, 132903. [33]

## Konversionsfaktoren Röntgenuntersuchungen

Tabelle 8: Konversionsfaktoren der Röntgenuntersuchungen

„Dosisfaktoren eDAP für Durchleuchtungen:“[46]

Lokalisation der Aufnahme	eDAP [mSv/ mGy*cm <sup>2</sup> ]
Schädel	$5 \cdot 10^{-5}$
Rumpf	$3 \cdot 10^{-4}$
Extremitäten	$< 2 \cdot 10^{-5}$

Quelle: SKRIPT\_XR\_A02 – Xradiat\_Phys.pdf. [https://home.zhaw.ch/~scst/Radiophysics-Dateien/XRadiat\\_Phys.pdf](https://home.zhaw.ch/~scst/Radiophysics-Dateien/XRadiat_Phys.pdf). Accessed 16 January 2021.151Z. Seite 64

Eine Auflistung der gesammelten Konversionsfaktoren und für welche Art von Untersuchung sie verwendet wurden, befindet sich im Appendix.

## 7 Ergebnisse

---

### 7.1 Studienpopulation

In dieser Dissertation wurden Patienten, die eine Schockraumbehandlung im BwZKrhs erhalten haben, aus dem Zeitraum vom 01.05.2014 bis 28.02.2016 eingeschlossen. Insgesamt konnten die Daten von 479 der 588 Patienten aus der Studie „Implementierung eines Algorithmus zur Indikationsstellung einer Ganzkörpercomputertomographie nach Trauma“ [4], ausgewertet werden. 70 Patienten wurden ausgeschlossen, um den Beobachtungszeitraum auf elf Monate zu beiden Seiten der Implementierung zu begrenzen. 39 Fallnummern bzw. Patienten konnten nicht berücksichtigt werden bzw. waren nicht für eine Auswertung geeignet. Diese 39 Patienten wurden ausgeschlossen, weil 19 der Patienten, die im Datensatz der vorangegangenen Studie aufgeführt, ungültig bzw. fehlerhaft hinterlegt waren. Zwei Fallnummern waren nicht im Datensatz hinterlegt. Zehn Fallnummern waren doppelt aufgelistet worden, bei diesen Fällen wurde für diese Studie jeweils nur ein Fall aufgenommen. Bei acht Patienten lagen keine oder unvollständige Dosisprotokolle vor, weshalb diese ebenfalls nicht berücksichtigt werden konnten.

Von den 479 aufgenommenen Patienten zählten 235 zu der Gruppe der Patienten vor Einführung des Algorithmus und 244 zu der Gruppe nach dessen Einführung. Das Geschlechterverhältnis der gesamten Studienpopulation lag bei 323 Männern (67,4 %) und 156 Frauen (32,6%).

Das Geschlechterverhältnis in der Gruppe vor EA lag bei 153 Männern (65,1%) und 82 Frauen (34,9%) und in Gruppe nach EA mit 170 Männern (69,67%) und 74 Frauen (30,33%). Es bestand kein signifikanter Unterschied in der Geschlechterverteilung der beiden Versuchsgruppen ( $p=0,287$ ).

Das durchschnittliche Alter der Gruppe vor EA lag bei 48,09 Jahren, wohingegen die Gruppe nach EA im Schnitt 46,68 Jahre alt war. Dieser Unterschied ist nicht signifikant ( $p=0,467$ ). Die Übersicht über die Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Versuchsgruppen liegen in Tabelle 9 bis 11 vor.

**Tabelle 9: Deskriptive Statistiken der erfolgten Untersuchungen der Versuchsgruppe vor EA und nach EA.**

Variable	Vor Einführung des Algorithmus (vor EA) N = 235		Nach Einführung des Algorithmus (nach EA) N = 244	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Gesamtuntersuchungen	3,55	2,76	3,86	3,08
Voruntersuchungen	3,22	2,56	3,62	3,03
Anzahl Nachuntersuchungen	0,33	0,97	0,24	0,88
Anzahl der WBCT	0,61	0,49	0,71	0,45
Anzahl der Einzeluntersuchungen der WBCT	3,46	1,62	4,94	1,46
Anzahl der CT-Untersuchungen	1,96	1,16	2,76	1,43
Anzahl der Röntgenuntersuchungen	4,02	2,5	4,12	2,43

**Tabelle 10: Deskriptive Statistiken der emittierten und errechneten Strahlung der Versuchsgruppe vor EA und nach EA**

Variable	Vor Einführung des Algorithmus (vor EA) N = 235		Nach Einführung des Algorithmus (nach EA) N = 244	
	M	SD	M	SD
DLP WBCT (mSv*cm)	1970,80	751,96	2293,31	773,11
DLP CT-Untersuchungen (mSv*cm)	829,50	406,91	832,87	733,55
DFP Röntgenuntersuchungen (mSv*cm <sup>2</sup> )	1273,64	3189,27	994,78	2226,69
Effektive Gesamtdosis (mSv)	11,03	9,37	16,56	12,42
Effektive Gesamtdosis der WBCT (mSv)	15,85	7,73	21,76	9,58
Effektive Gesamtdosis der CT-Untersuchungen (mSv)	3,87	4,62	4,27	6,48
Effektive Gesamtdosis der Röntgenuntersuchungen (mSv)	0,30	0,85	0,17	0,35

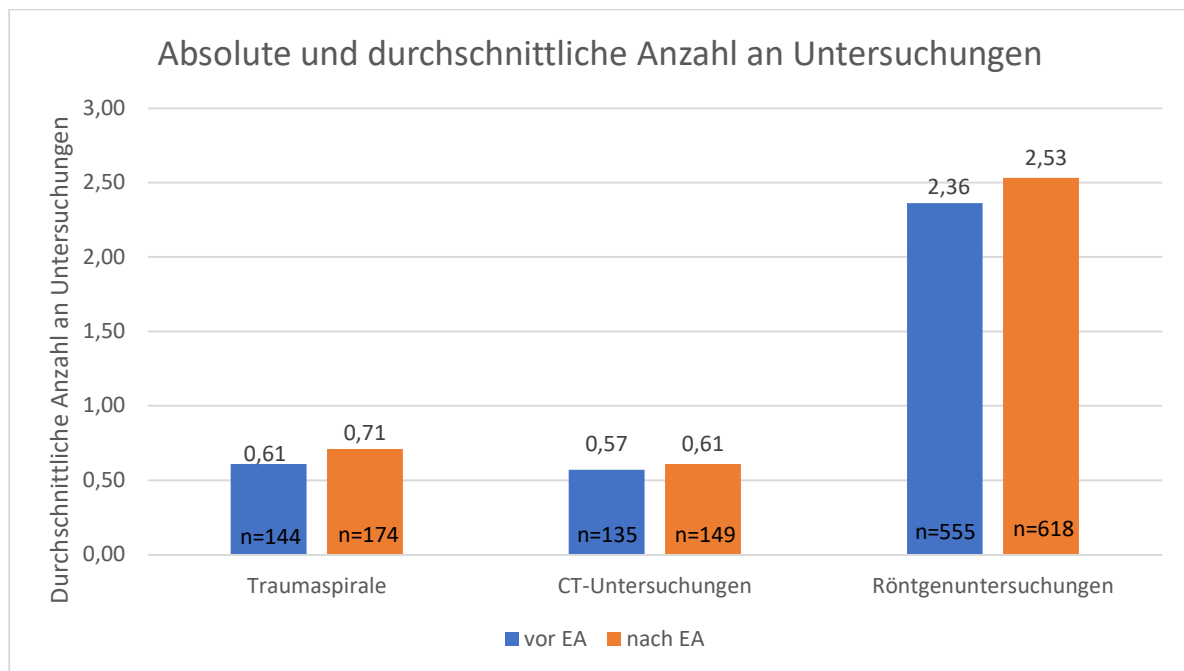
**Tabelle 11: Deskriptive Statistiken der ermittelten Befunde, der Verletzungsschwere und allgemeiner Daten der Versuchsgruppe vor EA und nach EA**

Variable	Vor Einführung des Algorithmus (vor EA) N = 235		Nach Einführung des Algorithmus (nach EA) N = 244	
	M	SD	M	SD
Anzahl pathologische Befunde	2,08	2,02	2,45	2,37
Anzahl Nebenbefunde	,41	0,70	0,43	0,79
ISS	8,71	11,47	10,82	12,92
Liegedauer (Tage)	8,31	11,74	8,61	11,95
Alter (Jahre)	48,09	21,60	46,68	20,85

## 7.2 Diagnostik

Die applizierte Strahlung wurde in Form von verschiedenen einzelnen Untersuchungen angewendet. Dieses Kapitel befasst sich mit den verschiedenen Arten der Untersuchungen sowie deren Anzahl. Die absolute sowie die durchschnittliche Anzahl an Untersuchungen für die beiden Gruppen wird in Abbildung 8 gezeigt.

Abbildung 8: Absolute und durchschnittliche Anzahl an Untersuchungen



Absolute Anzahl sowie die durchschnittliche Anzahl der durchgeführten Untersuchungen innerhalb der Versuchsgruppen vor EA N=235 und nach EA N=244

Auf dem Gebiet der CT-Untersuchungen zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Indikationsstellung zur CT-Diagnostik und der Einführung des Algorithmus ( $p=0,70$ ).

Auf die 69 Patienten der Gruppe vor EA, bei denen die Indikation zur CT-Untersuchung gestellt wurde, entfielen 135 CT-Untersuchungen, also ca. 1,96 pro Patienten, in Gruppe nach EA sind es bei 54 Patienten im Schnitt ca. 2,76 CT-Untersuchungen. Das entspricht einer signifikanten Steigerung ( $p<0,001$ ) von durchschnittlich 41,03%.

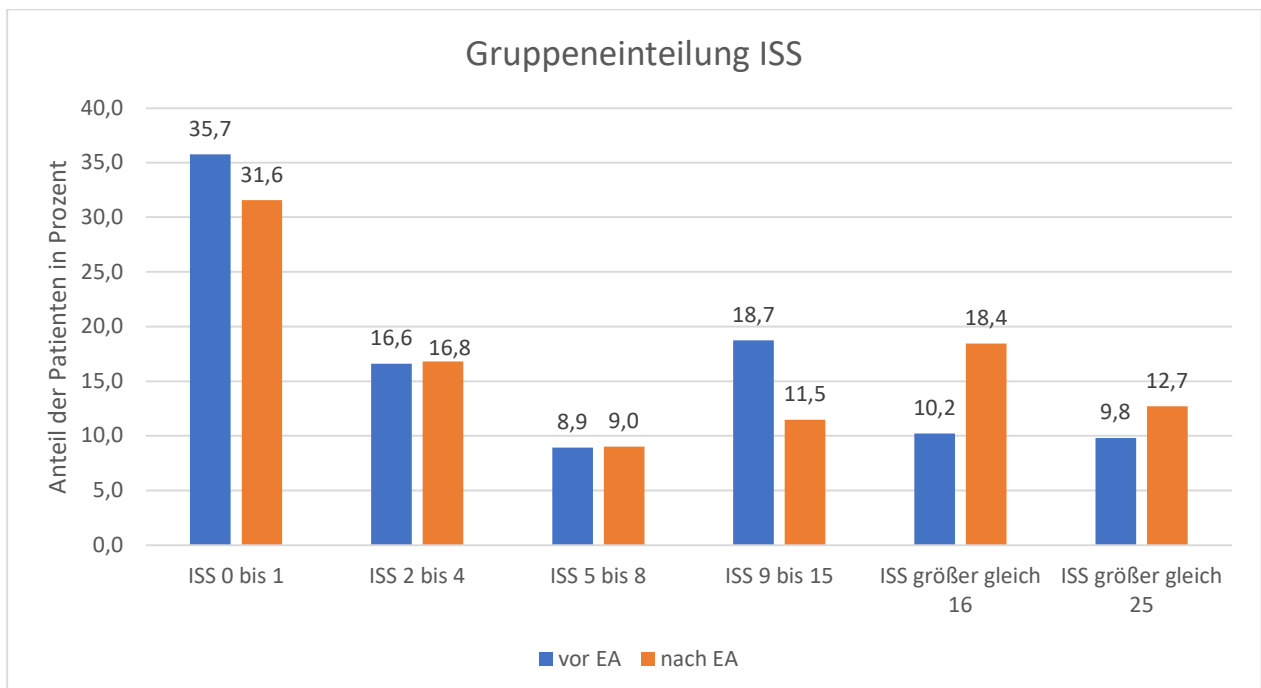
Die gesenkte Häufigkeit der Indikationsstellung für eine CT-Einzeluntersuchung ist nicht signifikant ( $p=0,07$ ). Angewandt auf die ISS-Untergruppen lagen 71,01% der Indikationsstellungen auf den beiden Gruppen ISS 0 bis 1 und ISS 2 bis 4. Bei der Gruppe nach EA waren es 57,4%.

## ISS Gruppeneinteilung

Die Verletzungsschwere der Patienten wird mithilfe des ISS quantifiziert. In der Gruppe vor EA betrug der durchschnittliche ISS 8,71 in der Gruppe nach EA 10,82.

Aufgetragen in die einzelnen ISS-Untergruppen bestehen die größten Unterschiede in den Gruppen ISS 9 bis 15 und ISS größer 16. Es herrscht ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Vergleichsgruppe vor EA und den Patienten der ISS-Untergruppe ISS 9 bis 15 vor ( $p=0,02$ ), ebenso ist der Zusammenhang der Vergleichsgruppe nach EA und der ISS- Untergruppe ISS größer 16 signifikant ( $p=0,01$ ).

Abbildung 9: Gruppeneinteilung ISS



Anteil der Patienten in Prozent innerhalb der ISS-Untergruppen, aufgeteilt in die Versuchsgruppen vor EA N=235 und nach EA N=244

## Röntgenuntersuchungen

Die Indikation zur Durchführung von Röntgenuntersuchungen wurde in der Gruppe vor EA bei 138 Patienten gestellt und in der Gruppe nach EA bei 150 Patienten, 59% der Patienten der Gruppe vor EA und 61% der Patienten der Gruppe nach EA ( $p=0,540$ ). Im Zuge der Einführung des Algorithmus kam es somit zu keiner signifikanten Änderung der Häufigkeit der Indikationsstellung für Röntgenuntersuchungen.

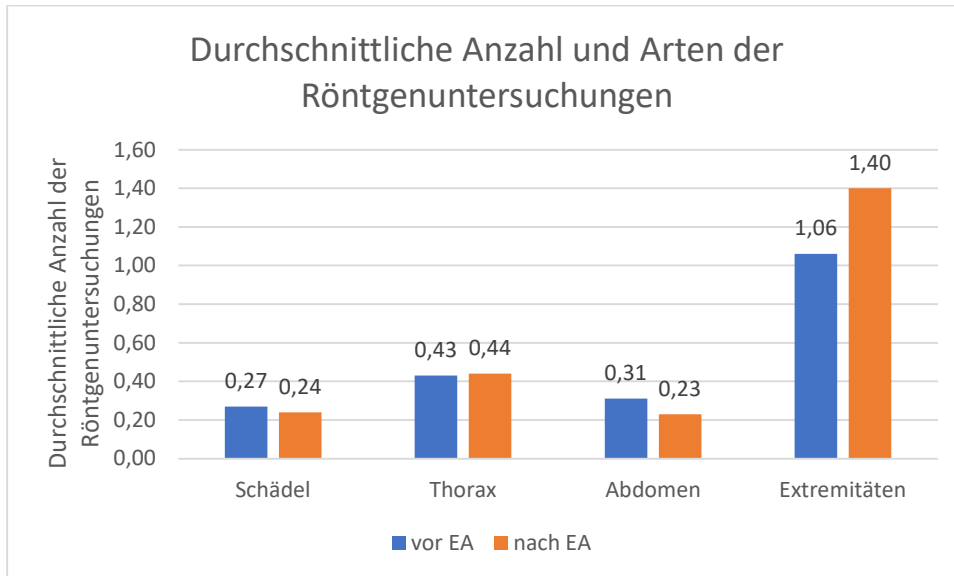
Im Schnitt erhielt ein Patient der Gruppe vor EA ca. 2,36 Röntgenuntersuchungen und ein Patient der Gruppe nach EA ca. 2,53, das entspricht einer nicht signifikanten ( $p=0,593$ ) Steigerung von ca. 7,2%.

Dabei erfolgten in der Gruppe vor EA ca. 58,7% der Indikationsstellungen an Patienten in den ISS-Untergruppen ISS 0 bis 1 und ISS 2 bis 4. In der Versuchsgruppe nach EA

lag der Anteil an gestellten Röntgenindikationen bei ca. 51,3%. Hierbei zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Stellung der Röntgenindikation in der ISS-Untergruppe ISS 0 bis 1 für die Forschungsgruppe vor EA ( $p=0,034$ ).

Abbildung 10 zeigt die durchschnittliche Anzahl und die untersuchte Körperregion der Röntgenuntersuchungen vor und nach Einführung des Algorithmus.

Abbildung 10: Durchschnittliche Anzahl und Arten der Röntgenuntersuchungen

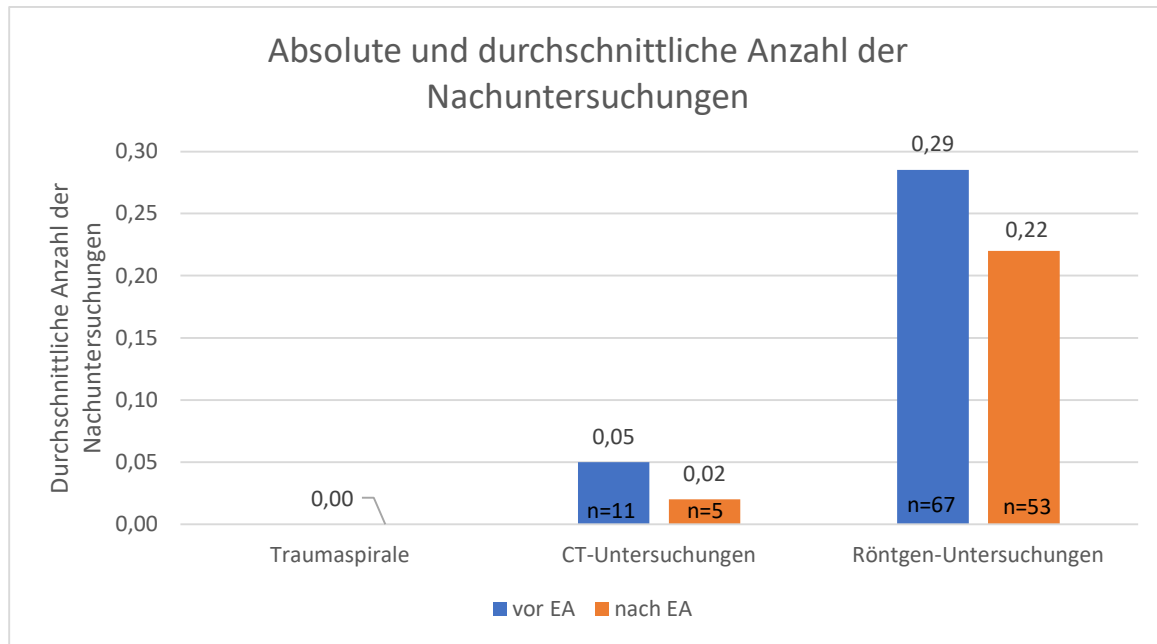


Durchschnittliche Anzahl und durchleuchtete Körperregion innerhalb der Versuchsgruppen vor EA N=235 und nach EA N=244.

Der deutlichste Zugewinn von 32,08% an durchschnittlichen Röntgenuntersuchungen zeigte sich in der Gruppe nach EA an den Extremitäten, dieser stellte sich als nicht signifikant heraus.

Abbildung 11 zeigt die nachträglich durchgeführte Diagnostik in absoluten Zahlen und im Durchschnitt für die Versuchsgruppen vor EA und nach EA.

Abbildung 11: Absolute und durchschnittliche Anzahl der Nachuntersuchungen



Absolute und durchschnittliche Anzahl der durchgeführten Nachuntersuchungen innerhalb der Versuchsgruppen vor EA N=235 und nach EA N=244.

Als Nachuntersuchungen werden alle Untersuchungen gewertet, die mindestens 24 Stunden nach der Schockraumalarmierung erfolgten und deren Indikation oder Diagnosen auf den Unfallhergang zurückzuführen waren.

Von den 235 Patienten der Gruppe vor EA erhielten insgesamt 78 Nachuntersuchungen, im Durchschnitt 0,33 Nachuntersuchungen pro Patienten. Die Gruppe nach EA erhielt insgesamt 58, im Schnitt 0,24 Nachuntersuchungen pro Patienten. Die Reduktion beider Untersuchungsarten, nach Einführung, war nicht signifikant. Es fanden keine nachträglichen WBCT statt.

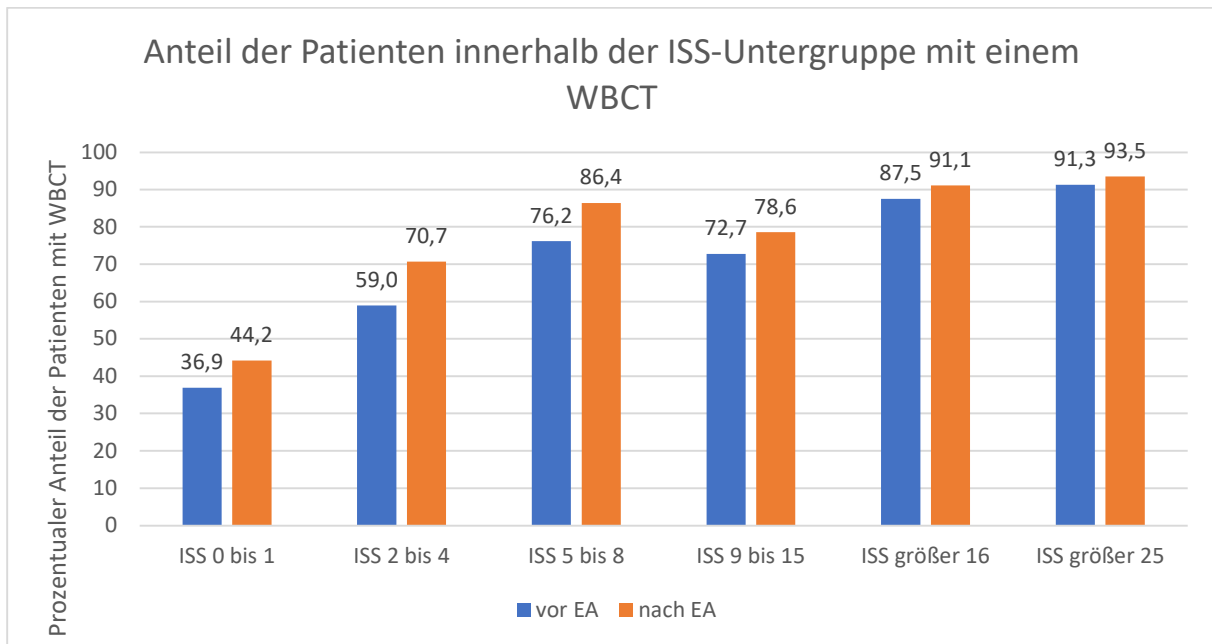
In der Versuchsgruppe vor EA zeigten sich durch die nachträgliche Diagnostik bei 9,4% der Patienten weitere pathologische Befunde. In der Gruppe nach EA lag dieser Anteil bei 9% Nachbefunden im Schnitt pro Patienten. Dieser Unterschied war nicht signifikant.

## WBCT

Im Vergleich der Untersuchungsgruppen erhielten in der Gruppe vor EA ca. 61,3% der Patienten eine WBCT, in der Gruppe nach EA ca. 71,3%. Es zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang für das Vorliegen einer WBCT und der Einführung des Algorithmus ( $p=0,02$ ).

Abbildung 12 zeigt den Anteil der Patienten innerhalb der ISS-Untergruppe, die eine WBCT erhielten.

**Abbildung 12: Anteil der Patienten innerhalb der ISS-Untergruppe mit einem WBCT**

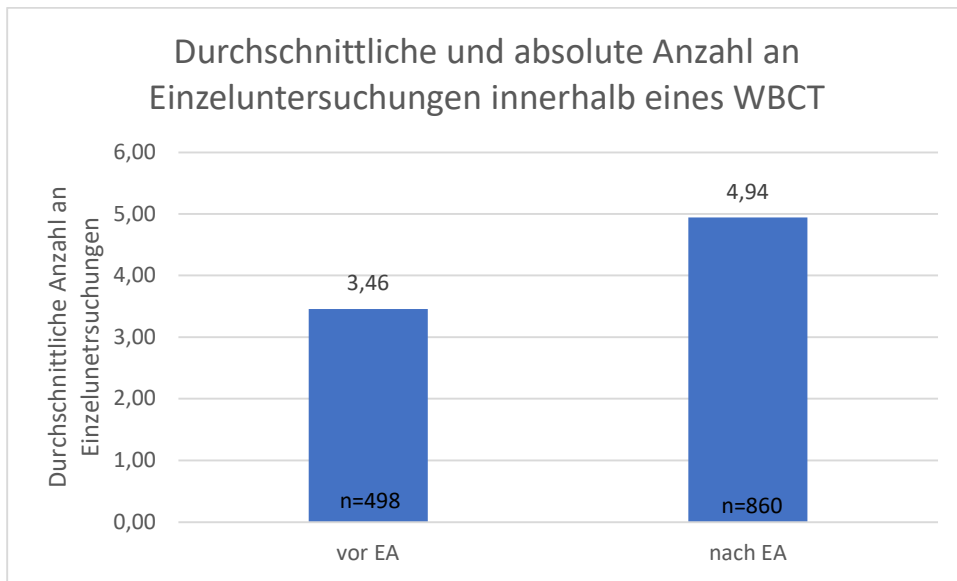


Anteil der Patienten der eine WBCT erhielt, innerhalb ihrer ISS-Untergruppe und ihrer jeweiligen Versuchsgruppe in Prozent vor EA N=235 und nach EA N=244.

Es zeigten sich die deutlichsten Unterschiede innerhalb der ISS-Untergruppen ISS 2 bis 4 bis ISS 9 bis 15. Dabei liegt in keiner dieser ISS-Untergruppen ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Durchführung eines WBCT und der Einführung des Algorithmus vor.

Signifikante Zusammenhänge bestanden jeweils für beide Versuchsgruppen innerhalb der ISS-Untergruppen ISS 0 bis 1 ( $p > 0,01$  vor EA und nach EA) und den Gruppen der Schwerverletzten. Die Einführung des Behandlungsalgorithmus hatte, in Bezug auf die Verletzungsschwere, keinen Einfluss auf die Indikationsstellung zum WBCT.

**Abbildung 13: Durchschnittliche und absolute Anzahl an Einzeluntersuchungen innerhalb eines WBCT**

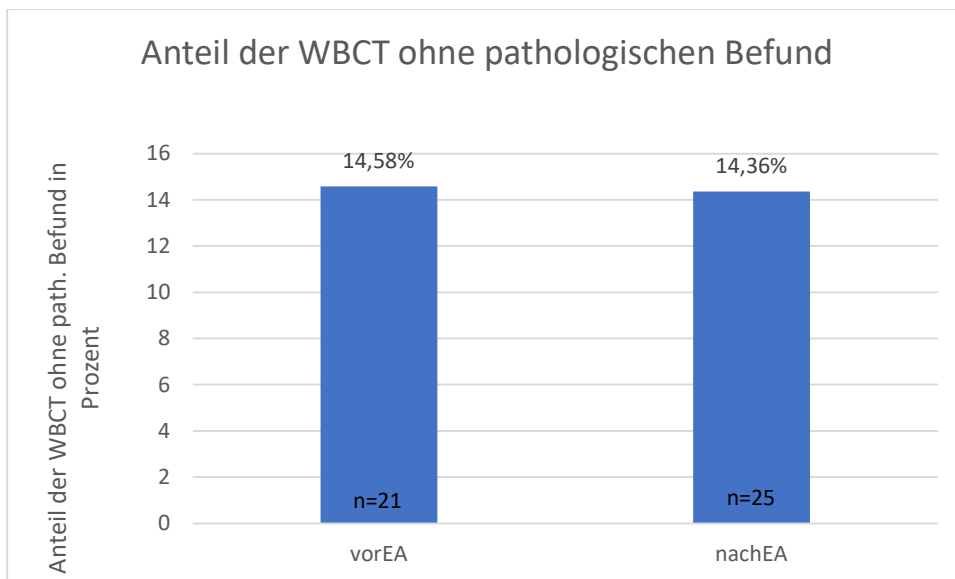


Absolute Anzahl, sowie die durchschnittliche Anzahl, der Einzeluntersuchungen einer WBCT, pro Patienten, innerhalb der Versuchsgruppen vor EA N=235 und nach EA N=244.

Die WBCT der Gruppe vor EA sind mit im Schnitt 3,46 Untersuchungen weniger umfangreich als die der Gruppe nach EA mit 4,94. Es handelt sich dabei um ein Plus von ca. 42,77 %. Die WBCT haben nach Einführung des Algorithmus signifikant ( $p < 0,001$ ) an Umfang gewonnen und sind in ihrer Häufigkeit signifikant gestiegen ( $p = 0,02$ ).

Es zeigte sich, dass von den 144 Patienten der Gruppe vor EA, die eine WBCT erhielten, 21 davon keine pathologischen Befunde aufwiesen, ca. 14,58%. Die Gruppe nach EA wies 174 Patienten mit einer WBCT auf, davon waren 25 Patienten ohne pathologischen Befund, ca. 14,36%. Diese Reduktion mit ca. 0,22% ist nicht signifikant, dargestellt in Abbildung 14.

**Abbildung 14: Anteil der WBCT ohne pathologischen Befund**



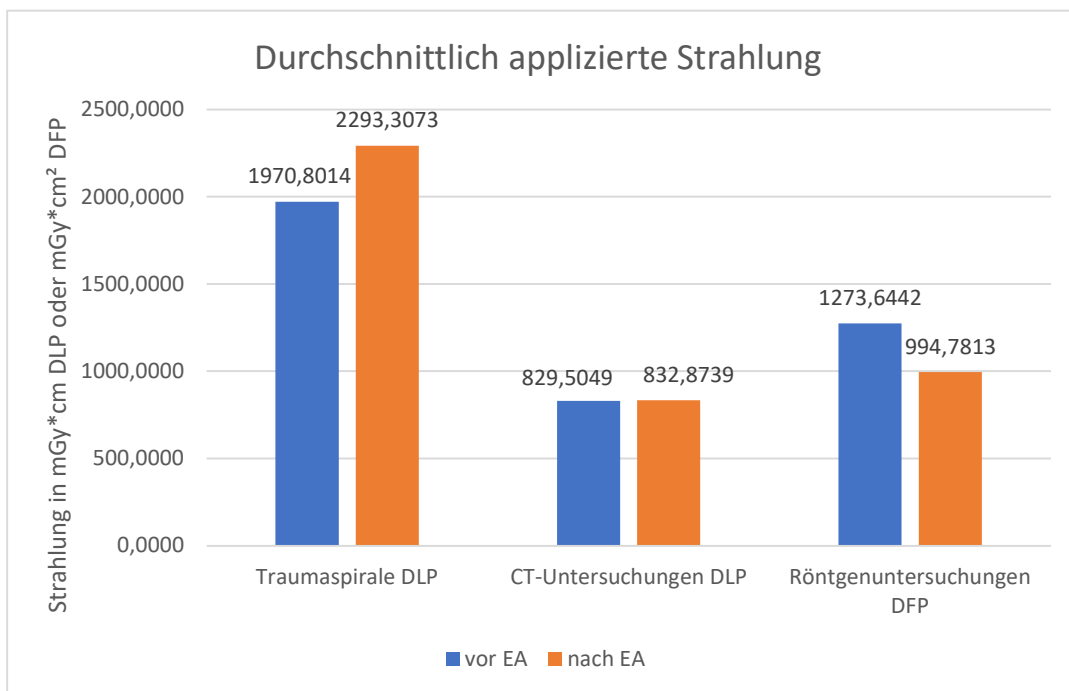
Anzahl der WBCT ohne pathologischen Befund, sowie deren prozentualer Anteil an der Gesamtheit der WBCT innerhalb der Versuchsgruppen vor EA N=235 und nach EA N=244.

### 7.3 Applizierte Strahlung

Für die rein applizierte Strahlung zeigte sich, dass nach der Einführung die absolut applizierte Strahlung aus den Röntgenuntersuchungen um 15,10% sank und aus den CT-Untersuchungen um 21,42%, gestiegen ist. Das DLP aus den WBCT ist um 40,61% angestiegen. Die Änderung der Strahlenbelastung war für die WBCT signifikant ( $p < 0,001$ ) und für die CT, sowie Röntgenuntersuchungen gab es keinen signifikanten Zusammenhang.

Abbildung 15 zeigt die durchschnittlich applizierte Strahlendosis (DLP und DFP) der Röntgenuntersuchungen, der CT- Einzeluntersuchungen und der WBCT, in der Gegenüberstellung der beiden Versuchsgruppen.

**Abbildung 15: Durchschnittlich applizierte Strahlung**



Durchschnittliche DLP aus den WBCT und den CT-Untersuchungen sowie durchschnittliche DFP der Röntgenuntersuchungen innerhalb der Versuchsgruppen vor EA N=235 und nach EA N=244.

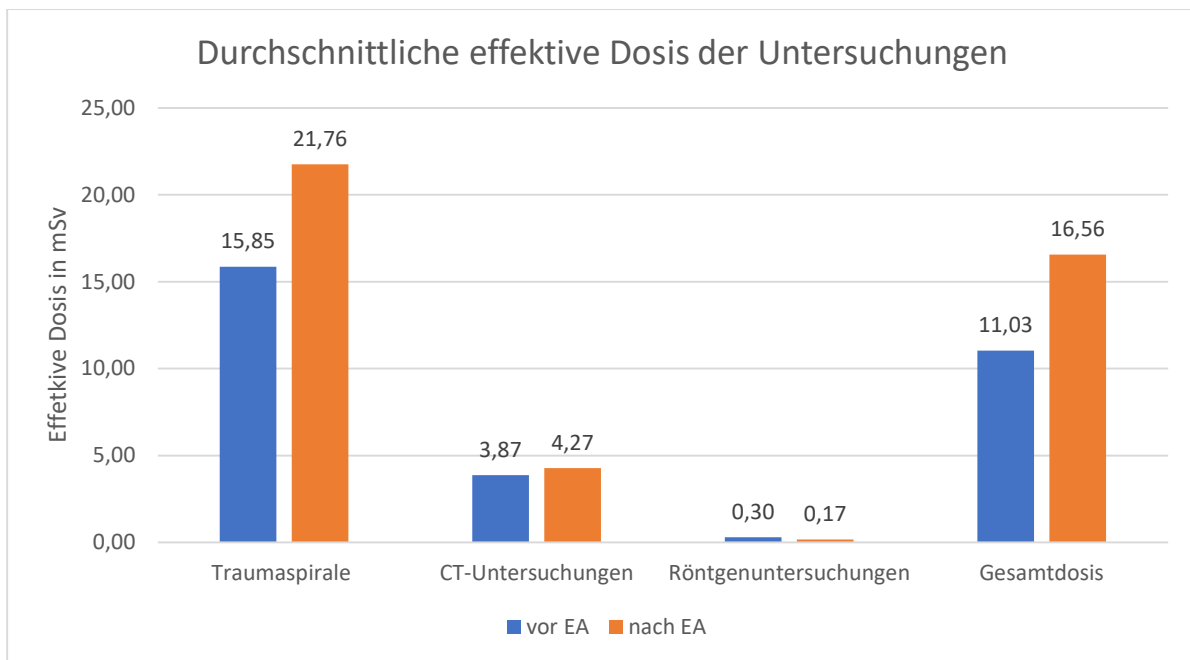
Unter Einbeziehung der Patienten zeigte sich nach der Einführung ein signifikanter Anstieg der Strahlenbelastung auf dem Gebiet der WBCT von 16,36% ( $p < 0,001$ ). Außerdem ist die durchschnittliche Strahlenbelastung aus den CT-Untersuchungen um 0,4% gestiegen. Die applizierte Strahlung der Röntgenuntersuchungen fiel um 21,89%. Die Änderungen in der Gesamt-Strahlenbelastung der CT-Untersuchungen waren nicht signifikant ( $p = 0,976$ ).

## 7.4 Relative Strahlenbelastung

Die Untersuchung der DFP und DLP liefert ein unvollständiges Abbild der Strahlenbelastung, denn es zeigt nur, wie viel Strahlung emittiert wurde, nicht aber deren Auswirkung auf die stochastischen Strahlenschäden. Zur Darstellung dieser biologischen Wirkung bedarf es der effektiven Dosis [11].

Abbildung 16 zeigt die durchschnittliche effektive Dosis der einzelnen Untersuchungsarten sowie die durchschnittliche effektive Gesamtdosis der beiden Versuchsgruppen.

**Abbildung 16: Durchschnittliche effektive Dosis der Untersuchungen**



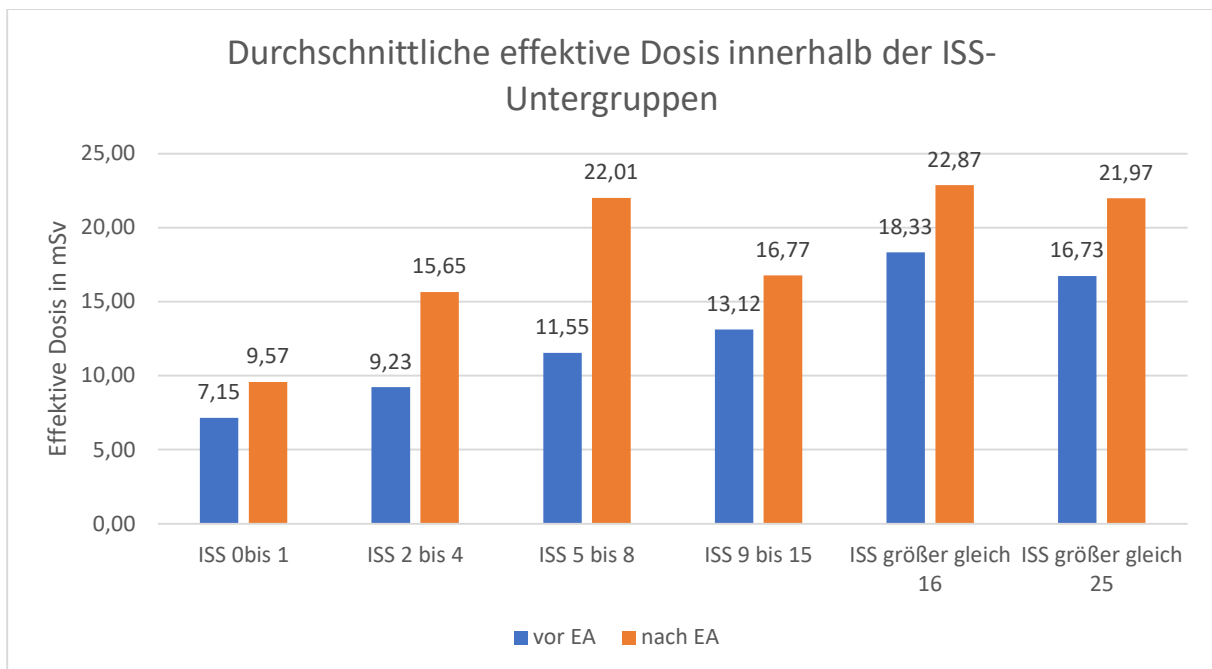
Durchschnittliche effektive Dosis aus den durchgeführten Untersuchungen der WBCT, CT-Untersuchungen und Röntgenuntersuchungen sowie die durchschnittliche Gesamtdosis innerhalb der beiden Versuchsgruppen vor EA N=235 und nach EA N=244.

Die Gegenüberstellung der durchschnittlichen effektiven Dosen zeigte eine signifikante Steigerung der effektiven Gesamtdosis ( $p < 0,001$ ) von 50,14% sowie einen signifikanten Anstieg der effektiven Dosis aus den WBCT ( $p < 0,001$ ) von 37,29%. Die durchschnittliche Reduktion der effektiven Dosis aus Röntgenuntersuchungen von 43,33% war signifikant  $U = 9176,0$ ,  $z = -1,66$   $p(2\text{-seitig}) = 0,096$ . Der Anstieg von durchschnittlich 10,34 % der effektiven Dosis aus den CT-Untersuchungen war nicht signifikant. Mit einer maximalen Einzelbelastung von ca. 63 mSv waren die untersuchten Patienten nicht durch deterministische Strahlenschäden gefährdet.

## 7.5 ISS und effektive Dosis

Trägt man die emittierte effektive Dosis der beiden Versuchsgruppen auf die ISS-Untergruppen auf, so zeigt sich die Darstellung dessen in Abbildung 17.

**Abbildung 17: Durchschnittliche effektive Dosis innerhalb der ISS-Untergruppen**



Durchschnittliche effektive Dosis innerhalb der ISS-Untergruppen aufgeteilt in die Versuchsgruppen vor EA N=235 und nach EA N=244

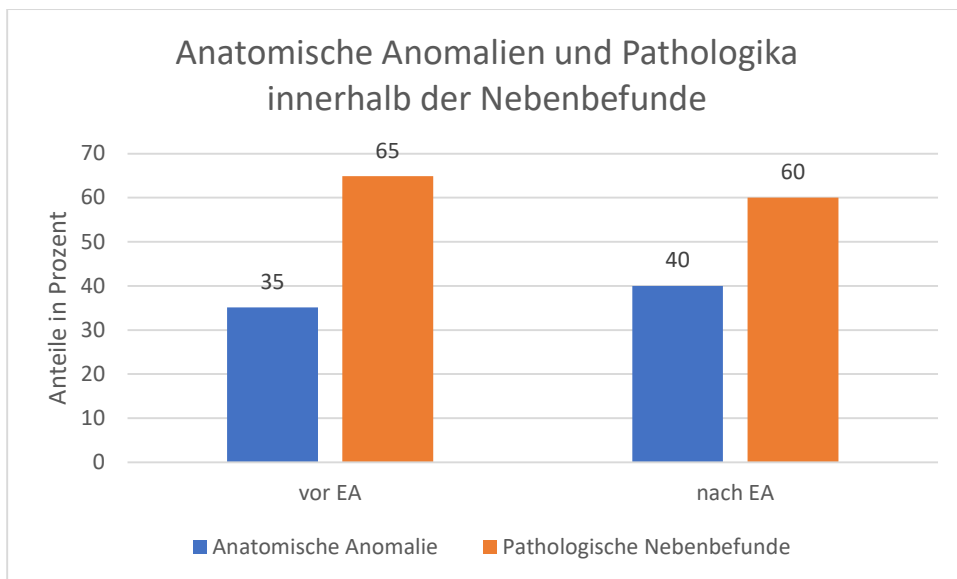
In der Analyse der durchschnittlichen effektive Dosis innerhalb der ISS-Untergruppen zeigten sich die Unterschiede in den Gruppen ISS 2 bis 4 ( $p < 0,01$ ) und ISS 5 bis 8 ( $p < 0,01$ ) signifikant.

### **Nebenbefunde**

Bei jeder Form der Diagnostik können Nebenbefunde entdeckt werden. Die Einführung des Algorithmus stellt einen Eingriff in die bisherigen Entscheidungskriterien für Strahlendiagnostik dar, mit einem bisher unklaren Einfluss auf das Auftreten von Nebenbefunden. Nebenbefunde werden in dieser Arbeit als Befunde, die nicht durch den Unfallhergang verursacht, sondern zufällig im Rahmen der Diagnostik entdeckt wurden, definiert.

Die Nebenbefunde lassen sich nach ihrer Charakteristik weiter unterteilen, in anatomische Anomalien wie, z.B. dem Vorliegen einer Nebenmilz, oder dem Vorliegen eines Pathologikums. In der Gruppe vor EA zeigten sich 65% der Nebenbefunde als Pathologikum, gegenüber 60% der Gruppe nach EA. Dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant.

**Abbildung 18: Anatomische Anomalien und Pathologika innerhalb der Nebenfunde**

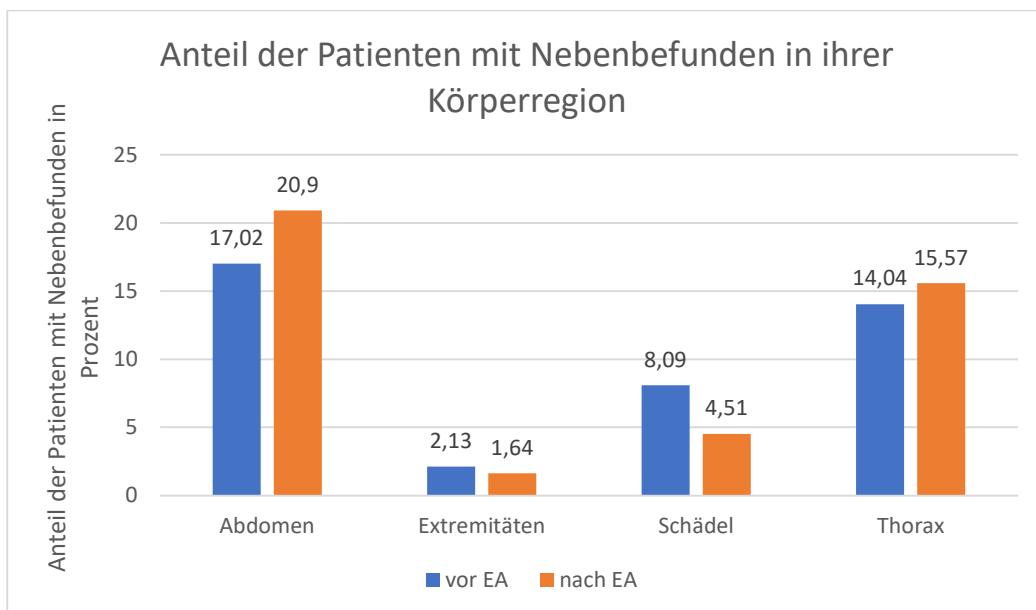


Anteil der anatomischen Anomalien und Pathologien innerhalb der Nebenfunde, aufgeteilt in die Versuchsgruppen vor EA N=235 und nach EA N=244

Innerhalb der Versuchsgruppe vor EA wiesen 31,1% der Patienten Nebenfunde auf und in der Gruppe nach EA waren es 29.1%.

Die einzelnen Nebenfunde wurden in ihrer Anzahl dokumentiert und innerhalb ihrer Körperregion, in der sie entdeckt wurden, gruppiert. Die Darstellung zeigt den prozentualen Anteil der Nebenfunde auf die Patienten der Versuchsgruppen Abbildung19.

**Abbildung 19: Anteil der Patienten mit Nebenfunden in ihrer Körperregion**



Anteil der Patienten mit Nebenfunden in Prozent, innerhalb der Versuchsgruppen vor EA N=235 und nach EA N=244 aufgereiht nach Körperregion.

Insgesamt zeigten sich in Gruppe vor EA 97 Nebenbefunde und in Gruppe nach EA 104. Es handelt sich dabei um ein Plus von 7,2%, dieses ist nicht signifikant ( $p=0,714$ ).

In der Gegenüberstellung der gesamt durchgeführten Untersuchungen, in Gruppe vor EA 834 und Gruppe nach EA 941, zeigt sich der Quotient aus Nebenbefunden und Untersuchungen für vor EA von 8,60 und nach EA 9,05. Dieser Unterschied ist nicht signifikant.

## 8 Diskussion

---

### 8.1 Studienpopulation

Für die Untersuchungsgruppen zeigte sich eine gute Vergleichbarkeit, da es keine signifikanten Unterschiede in Alter und Geschlechtsverteilung gab. Es ist in beiden Versuchsgruppen eine Ungleichheit im Verhältnis der Geschlechter festzustellen, dass sich dabei grob mit eins zu zwei zugunsten der Männer angeben lässt. Zu einem ähnlichen Geschlechterverhältnis kommt die Studie von Schweigkofler et al., mit ca. 65,9% Männern und ca. 34,1% Frauen in der Studienpopulation [56]. Ähnlich zeigte sich die Geschlechterverteilung im Jahresbericht des TraumaRegisters DGU® s. Hier ist der Anteil an Männern für das Jahr 2020 mit 70,1% angegeben [55]. Die deutliche Überrepräsentation an Männern scheint somit für die Schockraumpopulation typisch zu sein.

Die Verletzungsschwere, wiedergegeben im ISS der beiden Versuchsgruppen dieser Studie, lag vor EA im Schnitt bei 8,71 danach bei 10,82. Im direkten Vergleich mit anderen Studien ergaben sich Unterschiede. So sind diese ISS-Werte deutlich geringer als die im Jahresbericht des TraumaRegisters DGU® s für 2020 angegebenen 18,4 Punkte [55]. Der Unterschied innerhalb der ISS-Werte zwischen dieser Studie und dem TraumaRegisters DGU®, liegt darin begründet, dass ein Einschlusskriterium für die Aufnahme in das TraumaRegisters DGU® eine Mindestverletzungsschwere und ggf. die notwendige Intensivtherapie nach der Schockraumbehandlung ist [55]. Dieses Einschlusskriterium fehlt in dieser Studie, weshalb auch deutlich leichter verletzte Patienten berücksichtigt wurden.

Allgemein gilt, dass der direkte Vergleich der Studienpopulation zwischen den Studien aufgrund verschiedener Einschlusskriterien nur bedingt möglich ist. So wurden z.B. für die Studie von Huber et. al. nur Patienten mit einem ISS von  $\geq 16$  eingeschlossen [40].

Das Durchschnittsalter der Patienten dieser Studie ist mit 47,37 Jahre etwas höher angesetzt als das Durchschnittsalter von 41,5 der Studie von Schweigkofler et al. [56] und niedriger als das angegebene Durchschnittsalter der Patienten des

TraumaRegisters DGU® s aus 2020 mit 54,2 Jahren [55]. Das höhere Patientenalter lässt sich ebenso wie die ISS-Differenz auf die vorhandenen Einschlusskriterien zurückführen.

Für die einzelnen ISS-Untergruppen zeigte sich die Gruppe ISS 9 bis 15 ( $p=0,02$ ) in der Versuchsgruppe vor EA signifikant häufiger und in der Gruppe nach EA die ISS Untergruppe ISS größer 16 ( $p=0,01$ ). Es kann mit an dieser Ungleichverteilung innerhalb der Verletzungsschwere liegen, dass die Indikation zur WBCT in der Gruppe nach EA häufiger gestellt wurde.

Trotzdem ist bei dem untersuchten Patientenkollektiv von einer korrekten Wiedergabe der durchschnittlichen Patientenzusammensetzung einer Schockraumbehandlung auszugehen.

Das Vorkommen von leicht- oder nichtverletzten Patienten innerhalb der Forschungsgruppen stellt eine Übertriage dar.

Eine mögliche Ursache dieser Übertriage liegt den Schockraumalarmierungskriterien zugrunde. Die Alarmierungskriterien sind in zwei Gruppen unterteilt A- und B-Kriterien. Die A-Kriterien enthalten Angaben zum Gesundheitszustand und dem vorliegenden Verletzungsmuster des Patienten. Die B-Kriterien beziehen sich auf den Unfallmechanismus und die Unfallmechanik [39].

Eine Schockraumalarmierung nach den B-Kriterien führt eine signifikante Anzahl an schwerverletzten Patienten einer Schockraumbehandlung zu, vergleiche Schweigkofler et al. 2020 [45]. Die einzelnen B-Kriterien unterscheiden sich in ihrer Aussagekraft.

Stephan et al. 2020 konnte zeigten, dass das B-Kriterium für eine Schockraumalarmierung, Geschwindigkeitsveränderung von Delta  $>30$  km/h, keine sichere Aussage über den Verletzungsgrad der Patienten treffen kann [48].

Eine Überarbeitung der Kriterien könnte die Übertriagierung und die damit einhergehende Strahlenbelastung aus der Diagnostik reduzieren.

Aufgrund der gegebenen Gruppengrößen ist trotz der unterschiedlichen Gruppenstärke mit 235 vor EA und 244 nach EA, aus statistischer Sicht keine Verzerrung zu erwarten.

## 8.2 Untersuchungen

Es galt in der vorliegenden Arbeit zu evaluieren, ob die Einführung des Algorithmus zu einer Verbesserung der Diagnostik führte. Dafür wurden alle Untersuchungen nach Art, Strahlenbelastung und Befunden untersucht.

Es zeigte sich, dass die WBCT sowohl in ihrer Indikation als auch in ihrem Umfang nach Einführung des Algorithmus signifikant zunahm. Die Indikation eines WBCT ist

von 61,3% in der Gruppe vor EA auf 71,3% gestiegen. Diese Zunahme an WBCT hat gesundheitliche Konsequenzen für die einzelnen Patienten, denn allgemein steigt bei einem 45-Jährigen die Lebenszeitmortalität aufgrund einer Krebserkrankung durch ein WBCT um 0,08%, so dargestellt in einer Studie von Brenner et. al [8].

In Bezug auf die Verletzungsschwere unterteilt in die einzelnen ISS-Untergruppen zeigte sich eine signifikante Häufung der Indikationsstellung für beide Versuchsgruppen innerhalb der ISS-Untergruppe ISS größer gleich 16. Für die Versuchsgruppe nach EA ist dieser allerdings mit ( $p=0,001$ ) signifikanter. Als Ursache dieser Häufung ist das insgesamt schwerer verletzte Patientenkollektiv der Gruppe nach EA zu sehen.

Eine mögliche andere Erklärung für diese gehäuften Indikationsstellung könnten die Entscheidungskriterien des Algorithmus selbst sein. Während einige Kriterien klar definiert sind, wie z.B. „Alter >70“ sind es gerade die „pathologische körperliche Untersuchung Thorax, Abdomen, Becken, BWS“ sowie die „ablenkende Verletzung“ nicht. Bei diesen Kriterien handelt es sich um subjektive Kriterien. Die Entscheidung zur Durchführung einer WBCT lag bei den Ärzten im Schockraum vor Ort. Die vermehrte Indikationsstellung kann im Kontext des Algorithmus gewertet werden, so wird die Indikation unter anderem auch bei ablenkenden Verletzungen gestellt, so z. B. bei einer Extremitätenfraktur nach Hochrasanztrauma. Der Fokus liegt auf einer klinischen Indikationsstellung, die so im Vorfeld nicht derart visualisiert war.

Das Kriterium „ablenkende Verletzung“, wie es in den NEXUS-Kriterien aufgeführt ist, wird dort nicht näher definiert [26]. Heffernan et al. konnten in ihrer prospektiven Beobachtungsstudie eine Einschränkung dieses Kriteriums aufzeigen. Von den 99 Patienten mit einer isolierten Verletzung des Unterkörpers und einem nicht schmerzenden Nacken hatte keiner eine Verletzung der HWS ( $p<0,05$ ). Die Patienten, die eine nicht schmerzende HWS-Fraktur aufwiesen, hatten alle eine Verletzung des Oberkörpers. Die Schlussfolgerung wurde gezogen, dass eine Verletzung des Oberkörpers die Aussagekraft einer klinischen Untersuchung der HWS beeinträchtigt [24]. Im Gegensatz dazu konnte Rostas et al. in ihrer prospektiven Studie zeigen, dass sich ablenkende Verletzungen nicht negativ auf die Aussagekraft der körperlichen, abdominellen Untersuchung auswirkt. Die Sensitivität der körperlichen Untersuchung des Abdomens bei den 451 Patienten mit ablenkenden Verletzungen lag bei 90%, der negativ prädiktive Wert bei 97% [42]

Ein möglicher Faktor für diese genauere Identifizierung der Schwerverletzten Patienten könnte an der permanenten optischen Darstellung der Kriterien für eine WBCT im Schockraum selbst liegen. Die behandelnden Ärzte vor Ort konnten jederzeit auf das ausgehängte Plakat zugreifen und sich der gestellten Kriterien vergewissern.

Da sich die Rate an unauffälligen WBCT im Zuge der Einführung des Algorithmus nicht signifikant änderte, ist durch diese Kriterien weniger von einer Verschlechterung in der Indikationsstellung auszugehen aber es kann als ein contributiver Faktor zur vermehrten Strahlenbelastung gesehen werden. Trotz gehäufter Indikationsstellung im Zuge des Algorithmus, ist von einer Verbesserung innerhalb der Diagnostik

auszugehen, denn der prozentuale Anteil von WBCT bei Patienten ohne pathologischen Befund ist mit 14,58% in vor EA und 14,36% in nach EA praktisch identisch geblieben. Es kann somit postuliert werden, dass mit Hilfe des Algorithmus eher die Patienten einen WBCT erhalten, die pathologischen Befunde aufweisen. Im Vergleich mit den Daten des TraumaRegisters DGU® erhielten dort im Jahr 2020 76,6% der Patienten einen WBCT [55]. Diese Diskrepanz zwischen den 76,6% und den 61,3% der Gruppe vor EA ist wieder im Kontext der Einschlusskriterien zur Aufnahme in das TraumaRegisters DGU® zu bewerten.

Der Anteil der Patienten innerhalb der ISS-Untergruppen, die ein WBCT erhielten, änderte sich nach der Einführung des Algorithmus nicht signifikant. Hierbei kann von einer Verbesserung des Diagnosealgorithmus ausgegangen werden, denn obwohl die Forschungsgruppe nach EA mehr Schwerverletzte Patienten aufwies, hat sich der prozentuale Anteil an WBCTs nicht verändert.

Die bloße Häufigkeit der Indikationsstellung der WBCT greift in seiner Betrachtung zu kurz, denn auch eine WBCT besteht aus Einzeluntersuchungen und die können in ihrer Anzahl nochmal untereinander variieren. Im Vergleich der Gruppen konnte eine durchschnittliche, signifikante Steigerung der Teiluntersuchungen der WBCT von 1,48 Untersuchungen festgestellt werden.

Es zeigte sich für die durchschnittliche Anzahl an CT-Einzeluntersuchungen keine signifikante Änderung, ebenso wenig für die Indikationsstellung innerhalb der beiden Versuchsgruppen. Die 54 Patienten der Gruppe nach EA haben durchschnittlich 41,03% mehr CT-Einzeluntersuchungen erhalten als die 69 Patienten, der Gruppe vor EA, die CT-Untersuchungen erhielten. Somit haben weniger Patienten in der Gruppe nach EA CT-

Allgemein hat sich die Rate an CT-Untersuchungen in Verbindung mit der Verletzungsschwere aus den Gruppen der Leichtverletzten hin zu den schwerer Verletzten verschoben. Dies kann als eine Änderung im Screeningverhalten gesehen werden. Die CT-Untersuchung scheint weniger zur primären Diagnostik genutzt zu werden, sondern eher der Ergänzung des WBCT bei Mittel,- und Schwerverletzten zu dienen.

Nach der Einführung des Algorithmus stieg die Anzahl der CT-Untersuchungen pro Patienten signifikant, bei gleichzeitig nicht signifikanter Verringerung der Indikationsstellung ( $p=0,07$ ). In Zusammenschau mit der beschriebenen Verschiebung dieser Indikationsstellungen zur CT-Einzeluntersuchungen aus den niedrigen ISS-Untergruppen hin zu den schwer verletzten Patienten, ist von einer Verbesserung innerhalb der Diagnostik auszugehen. Der Algorithmus identifiziert besser die Patienten, die von einer ergänzenden CT-Diagnostik profitieren, bei gleichbleibender Rate an unauffälligen WBCT.

Bei den Röntgenuntersuchungen konnte in dieser Studie gezeigt werden, dass es sowohl in der Indikationsstellung als auch in der Anzahl der Röntgenuntersuchungen, keinen signifikanten Unterschied innerhalb der beiden Versuchsgruppen

vor EA und nach EA gab. Es deutete sich zwar eine Verschiebung aus den niedrigen ISS-Untergruppen in Richtung der Mittel,- und Schwerverletzten an, allerdings stellte sich diese als nicht signifikant heraus. Dennoch ließe sich daraus eine Tendenz ableiten, dass sich, wie für die CT-Einzeluntersuchungen gezeigt, die durchgeführte Einzeldiagnostik eher ergänzend zu den WBCT verhält.

### 8.3 Nachuntersuchungen und Nachbefunde

Eine etwaige Verbesserung der Diagnostik durch den Algorithmus, herleitbar durch niedrigere Raten an notwendigen Nachuntersuchungen und Nachbefunden, ließ sich in dieser Studie nicht bestätigen. Es konnte gezeigt werden, dass in der Gruppe vor EA im Schnitt jeder Patient 0,33 Nachuntersuchungen erhielt, in der Gruppe nach EA im Schnitt 0,24, diese Reduktion war nicht signifikant.

Mit den erhobenen Daten lässt sich keine abschließende Beurteilung der Nachuntersuchungen anstellen, denn es wurde lediglich die strahlen-radiologische Diagnostik beobachtet. Andere oder ergänzende Untersuchungsmethoden wie z.B. MRT-Bildgebung, Sonografien oder klinische Befunderhebungen wurden hier nicht mitbetrachtet. Für die in den genannten Nachuntersuchungen festgestellten Befunde (Nachbefunde) zeigte sich zwischen den beiden Untersuchungsgruppen kein signifikanter Unterschied.

Von den Patienten, bei denen nachträglich Untersuchungen durchgeführt wurden, hatten in der Gruppe vor EA 9,4 % der Patienten Nachbefunde und in der Gruppe nach EA 9%. Es ist somit davon auszugehen, dass die Einführung des Algorithmus nicht zu einer signifikanten Verbesserung der Detektionsrate an Befunden geführt hat.

Bei den nachträglich diagnostizierten Befunden handelte es sich häufig um Frakturen an kleineren Knochen oder ligamentäre Verletzungen der Extremitäten, die bei der primary survey nicht detektiert worden waren.

### 8.4 Strahlenbelastung

Die erste Studienfrage befasste sich mit der applizierten Strahlung und ob die Einführung des Algorithmus zu einer Reduktion derselbigen führte.

Es konnte gezeigt werden, dass die Senkung innerhalb der applizierten Strahlung pro Patienten der Versuchsgruppe aus den Röntgenuntersuchungen von 21,89% nicht signifikant war und ebenso wenig zeigte sich die Steigerung der Strahlung aus den CT-Einzeluntersuchungen von 0,4% als signifikant. Auf dem Feld der WBCT konnte eine signifikante Steigerung um 16,36% ( $p < 0,001$ ) pro Patienten der Versuchsgruppe verzeichnet werden. Die Einführung des Algorithmus führte demnach nicht zu einer Reduktion der applizierten Strahlung, sondern auf dem Gebiet der WBCT zu einer Erhöhung. Diese Erhöhung ist mit einer signifikant häufigeren Indikationsstellung und

mit einem gesteigerten Umfang der WBCT auf dem Boden eines schwerer verletzten Patientenkollektivs zu erklären.

Für die einzelnen ISS-Untergruppen zeigte sich nämlich die Gruppe ISS 9 bis 15 in der Versuchsgruppe vor EA signifikant häufiger ( $p=0,02$ ) und in der Gruppe nach EA die ISS Untergruppe ISS größer 16 ( $p=0,01$ ), die Gruppe der Schwerstverletzten. Es kann mit an dieser Ungleichverteilung innerhalb der Verletzungsschwere liegen, dass die Indikation zur WBCT in der Gruppe nach EA häufiger gestellt wurde.

Bei der applizierten Strahlung der Röntgenuntersuchungen in dieser Studie ist von einer Unterschätzung auszugehen. Bei der Auswertung der Dosisprotokolle fiel auf, dass die vom Computer gemessene applizierte Strahlung und die, Strahlung, die sich aus den Einzeluntersuchungen des ausgewerteten Protokolls ergaben, teilweise Diskrepanzen aufzeigten. Die von den Computersystemen gemessene Dosis war mitunter höher als die Summe der angegebenen Einzeluntersuchungen. Die Dosisprotokolle werden durch das Computersystem erstellt und können durch die

medizinisch-technischen Assistenten manuell bearbeitet werden. Eine mögliche Erklärung für diese Diskrepanzen können, nicht protokollierte, Fehlaufnahmen darstellen. In dieser Studie wurden nur die in den Dosisprotokollen einzeln aufgeführten Untersuchungen und nicht die automatisch erfassten Dosiswerte betrachtet.

Der Vorteil dieser Studie ist, dass sämtliche Diagnostik durch ionisierende Strahlung betrachtet und sich nicht auf eine Untersuchungsmethode beschränkt wurde. Allgemein gilt, dass von der Anzahl der Untersuchungen sich nicht auf die Höhe der applizierten Strahlung schließen lässt, da diese, je nach Untersuchungsmethode, stark variiert. Der Referenzwert, in der Bekanntmachung des Bundesamtes für Strahlenschutz vom 17.11.2022, für eine Röntgenuntersuchungen des Thorax in posterior-anterior Richtung, ist mit  $12 \text{ cGycm}^2$  angegeben und eine Röntgenuntersuchung der Lendenwirbelsäule in lateraler Richtung mit  $330 \text{ cGycm}^2$  [14]. Zwar steigt mit Höhe der applizierten Strahlung die Wahrscheinlichkeit für stochastische Strahlenschäden, ein definitiver Schaden muss nicht zwangsläufig erfolgen. [12]

Für die Ermittlung der effektiven Dosis kamen Konversionsfaktoren gemäß exponiertem Gewebe oder Körperregion zum Einsatz. Diese unterschieden sich teils deutlich in ihrer Dimensionierung voneinander. So ist der Konversionsfaktor Pelvis für CT-Untersuchungen mit seinen  $0,015 \text{ (mSv/mGy*cm)}$  um den Faktor 75 größer als der Konversionsfaktor Ankle mit  $0,0002 \text{ (mSv/mGy*cm)}$ . Dieser Größenunterschied zeigt deutlich die Schwäche der alleinigen Betrachtung der applizierten Strahlung auf. Es kommt somit nicht nur darauf an, wie viel Strahlung appliziert wird, sondern welche Körperregion bestrahlt werden.

Die zweite Studienhypothese stellt die Frage nach einer Reduktion der relativen Strahlenbelastung unter Berücksichtigung der Verletzungsschwere für den Zeitraum nach der Einführung des Algorithmus.

Dafür wurden die erhobenen Dosiswerte gemäß ihrer Untersuchungsart und bestrahlter Körperregion mittels Konversionsfaktoren in die effektive Dosis umgerechnet.

Hierbei zeigte sich, obwohl die durchschnittliche effektive Dosis der Röntgenuntersuchungen nach der Einführung des Algorithmus signifikant um 43,33% ( $U = 9176.0$ ,  $z = -1,66$ ,  $p(2\text{-seitig}) = 0,096$ ) sank, eine signifikante Steigerung der gesamten effektiven Dosis von 50,14% ( $p < 0,001$ ) für die Versuchsgruppe nach EA. Wie in Abbildung 16 gezeigt, lag die durchschnittliche effektive Dosis aus einem WBCT in der Forschungsgruppe vor EA bei 15,85 mSv, mit einer signifikanten Steigerung der effektiven Dosis des Algorithmus von 37,29% auf 21,76 mSv entsprach dies mehr als dem Fünffachen einer CT-Einzeluntersuchung mit 4,27 mSv und mehr als dem Dreiundneunzigfachen einer durchschnittlichen Röntgenuntersuchung mit 0,17 mSv. Das WBCT zeigte sich zudem als einzige Untersuchungsart signifikant nach Einführung des Algorithmus über die Gruppe nach EA erhöht. Die Steigerung der effektiven Gesamtdosis ist somit mit der signifikant erhöhten Anzahl und gestiegenen effektiven Dosis der WBCT in Einklang zu bringen. Die Steigerung der effektiven Dosis aus den CT-Untersuchungen erwies sich als nicht signifikant. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch die Studie von Gordic, Alkadhi et al. dort zeigte sich ebenfalls nach Einführung des WBCT als primäre radiologische Diagnostik ein signifikanter Anstieg der effektiven Dosis [19]. Mit der gesteigerten Indikationsrate an WBCT und der damit gestiegenen Strahlenbelastung steigt ebenso die Wahrscheinlichkeit für stochastische Strahlenschäden. Die Studie von Pearce et al. fand eine signifikante Steigerung von Hirntumoren und Leukämien bei Patienten, die im Kindesalter Strahlung der CT-Untersuchungen ausgesetzt waren, steigend in Abhängigkeit der Strahlendosis [38]. In der Studie von Tien et al. wird beschrieben, dass der Einsatz von CT-Untersuchungen zu zusätzlichen 190 fatalen Krebserkrankungen pro 100000 Patienten führt [54].

Um die Änderungen der effektiven Strahlenbelastung nach Einführung des Algorithmus genauer bewerten zu können, muss die Verletzungsschwere der Forschungsgruppen betrachtet werden. Die Verletzungsschwere der Patienten wird durch den ISS-Wert dargestellt und diese in ihre jeweiligen ISS-Untergruppen eingeteilt, vergleiche 5.2.3. Für die ISS-Untergruppen zeigte sich in der Forschungsgruppe nach EA eine signifikante Zunahme der effektiven Dosis in den Gruppen ISS 2 bis 4 und ISS 5 bis 8, die Gruppen der leicht Verletzten. Diese Steigerung kann auf die erhöhte Anzahl an WBCT zurückgeführt werden.

Eine Limitation dieser Dissertation sind die verwendeten Konversionsfaktoren. So beschreibt N. Saltybaeva et al. in ihrer Studie, dass die angegebenen Konversionsfaktoren für die unteren Extremitäten für eine Schätzung der effektiven Dosis genutzt werden können, diese effektive Dosen aber stark von Alter und Größe des genutzten Phantoms des Monte Carlo-Berechnungstools abhängen [33]. Ähnlich

beschreibt auch S. Scheidegger in „Grundlagen der Strahlenphysik und Dosimetrie“ die Abschätzung der effektiven Dosis mit Hilfe von Konversionsfaktoren als grob[47].

Da bei allen Dosiswerten in beiden Gruppen die gleichen Konversionsfaktoren genutzt wurden ist davon auszugehen, dass trotz der systematischen Ungenauigkeit der Konversionsfaktoren die Auswirkungen des Algorithmus, wenn auch nicht in exakten Zahlen, zumindest in Ihrer Tendenz präzise abgebildet wurden.

## 8.5 Nebenbefunde

Als potentieller Nebeneffekt des eingeführten Algorithmus könnte sich ein „diagnostischer Beifang“ mit einer veränderten Quote an Zufalls- oder Nebenbefunden herausstellen.

Nebenbefunde wurden in dieser Studie als solche definiert, die nicht in direktem Zusammenhang zum Unfall und dessen Folgen stehen, dem ursprünglichen Grund der Schockraumbehandlung.

Es konnte kein signifikanter Unterschied innerhalb der Häufigkeit dieser Nebenbefunde verzeichnet werden. In Ihrer Charakteristik waren diese Nebenbefunde in beiden Gruppen mit ca. 65%% in vor EA und ca. 60 % in nach EA als pathologisch zu werten und nicht als anatomische Anomalie.

Furtado et. al beschrieben in ihrer Studie, dass 86 % der Patienten Nebenbefunde auswiesen. Hierbei ist zu beachten, dass in der genannten Studie alle Probanden einen WBCT erhielten und mit 54 Jahren im Durchschnitt älter waren als die Studienpopulation der hier vorgelegten Untersuchung [18]. Es ist daher nicht unwahrscheinlich, dass einige Nebenbefunde aufgrund der gewählten Untersuchungsmethode unentdeckt geblieben sind. Die klinische Konsequenz aus diesen Befunden ist kritisch zu prüfen, da auch in der Studie von Furtado et. al die meisten Befunde gutartiger Natur waren [18]. In einer anderen Studie von Ruessler et al. wurden bei 50,9% der Patienten Zufallsbefunde entdeckt. Die niedrigere Rate an Zufallsbefunden kann sich aus der unterschiedlichen Diagnostik erklären. Die Patienten der genannten Studie erhielten CT-Untersuchungen, wohingegen die Patienten dieser Dissertation verschiedene und mit dem z.B. dem WBCT auch umfangreichere Untersuchungen erhielten. Es zeigte sich weiterhin, dass die meistens Nebenbefunde bei beiden Versuchsgruppen in den Körperregionen des Thorax und des Abdomens diagnostiziert wurden. Damit deckt sich diese Studie mit den Ergebnissen von Kroczeck et al., die ebenfalls in Abdomen/Becken sowie Thorax die meisten Zufallsbefunde detektierten [29].

Es wurde auf eine weitergehende Untersuchung der in dieser Studie beschriebenen pathologischen Nebenbefunde und deren etwaige weitere Behandlung verzichtet, da diese nicht Teil der Forschungsfragen dieser Dissertation waren.

## 9 Limitationen

---

Die Limitationen dieser Dissertation ergeben sich aus ihrem retrospektiven Design. Alle Daten wurden aus dem krankenhauseigenen Informationssystem KIS und JiveX® entnommen. Außerdem ist die Inhomogenität der beiden Versuchsgruppen in Hinblick auf ihre Verletzungsschwere zu bedenken. Die Gruppe nach EA hatte signifikant mehr Schwerverletzte, was bei der Gewichtung der durchgeführten Diagnostik zu beachten ist. Ein prospektives Studiendesign könnte diesen Punkten entgegenwirken und homogenere Forschungsgruppen ermöglichen.

Bei den analysierten Dosisprotokollen der Röntgenuntersuchungen zeigten sich bei einigen Differenzen in der Gesamtdosis zwischen den einzelnen Dosen der angegebenen Untersuchungen und der durch die Computer ermittelten gesamtemittierte Strahlung. Bei diesen Protokollen wurden vermutlich etwaige Fehlaufnahmen nicht als solche separat angegeben, sondern nicht dokumentiert. Diese Dissertation unterschätzt somit die eigentliche Höhe der emittierten Strahlung aus den Röntgenuntersuchungen, da sie nur die dokumentierten Einzeluntersuchungen betrachtet und die etwaigen Fehlaufnahmen unberücksichtigt lässt.

Eine weitere Limitation ist die Nutzung von Konversionsfaktoren zur Ermittlung der effektiven Dosis. Die Konversionsfaktoren stellen nur ein Hilfskonstrukt zur Umrechnung der Strahlendosen dar [46].

## 10 Ausblick

---

Von dieser Arbeit unberührt bleiben technische Fragestellungen, wie z.B. die verschiedenen Arten von CT-Geräten, deren Kalibrierungen und die physikalischen Einstellungsmöglichkeiten. Allein hier lässt sich ein zusätzliches Feld für wissenschaftliche Untersuchungen ableiten, die mit den Parametern unter verbessertem, technischem Support neu bewerten und weiter am Optimierungspotential zu arbeiten. Allein durch technische Weiterentwicklungen sind weitere Einsparmöglichkeiten für die Strahlenbelastung der Patienten möglich.

Zusätzlich bietet sich eine Wiederholung dieser Forschungsarbeit an, wobei Größe und Gewicht der Patienten miterfasst werden sollten. Anstelle von Konversionsfaktoren zur Berechnung der effektiven Dosis sollte dann auf ein Monte-Carlo-Verfahren zur Berechnung der Strahlendosis zurückgegriffen werden, da dieses Verfahren die Dosis bei menschlichem Gewebe bis auf wenige Prozent genau vorhersagt. [16]

# 11 Fazit

---

Am 31.05.2015 wurde ein neuer Diagnostikalgorithmus in der Schockraumversorgung am Bundeswehrzentral Krankenhaus etabliert. Ziel dieser Dissertation war die Evaluation dieses Algorithmus und dessen Auswirkungen auf die Strahlenbelastung der Patienten.

Es konnte gezeigt werden, dass in der schwerer verletzten Studienkohorte ausschließlich auf dem Gebiet der WBCT die applizierte Strahlung signifikant um 40,61% ( $p < 0,001$ ) gestiegen ist. Gleichzeitig blieben die Rate an unauffälligen WBCT und auch die prozentuale Verteilung der WBCT innerhalb der beiden verglichenen Gruppen gleich.

Die applizierte Strahlung aus den Röntgen,- und CT-Untersuchungen zeigte sich dagegen unverändert. Dies ist als eine Veränderung des Indikationsverhalten zusehen und damit verbunden ist die Evaluation der Verbesserung der Diagnostik. Es gab keine signifikante Steigerung der Gesamtzahl an Röntgenuntersuchungen. Die Röntgenuntersuchungen wurden nach der Einführung des Algorithmus eher ergänzend zum WBCT genutzt. Nach der Einführung zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang mehr zwischen der Indikationsstellung zur Röntgenuntersuchung in der ISS-Untergruppe der Nicht- bis Leichtverletzten.

1. Weniger Patienten erhielten CT-Einzeluntersuchungen. Wenn die Patienten CT-Einzeluntersuchungen erhielten, dann durchschnittlich 41,03% mehr ( $p < 0,001$ ). Die CT-Einzeluntersuchungen verschoben sich aus den niedrigen ISS-Untergruppen in die Untergruppen der Schwerverletzten.

2. Die WBCT nahmen nach der Einführung des Algorithmus in der Häufigkeit der Indikationsstellung und im Untersuchungsumfang signifikant zu. Die schwerverletzten Patientengruppe wurden besser identifiziert und erhielte die korrekte Diagnostik.

3. Die Rate an nachträglich angeforderter Diagnostik und Befunden, blieb durch die Einführung des Algorithmus unverändert.

Es ist davon auszugehen, dass der Diagnostikalgorithmus den Einsatz der diagnostischen Mittel verbesserte.

Die Einführung des Algorithmus hatte signifikante Auswirkungen auf die applizierte effektive Dosis der Patienten. Durch den neuen, ergänzenden Charakter der Röntgendiagnostik, konnte die effektive Dosis aus den Röntgenuntersuchungen signifikant um 43,33%  $U = 9176.0$ ,  $z = -1,66$   $p(2\text{-seitig}) = 0,096$  gesenkt werden. Nach der Einführung zeigte sich dennoch eine Steigerung der gesamten effektiven Dosis um 50,15% ( $p < 0,001$ ). Diese Steigerung ist auf die gehäufte Nutzung des WBCT zurückzuführen, wobei sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Nutzung des WBCT und den ISS-Untergruppen der Nicht,- bis Leichtverletzten zurückführen

lässt. Diesem Umstand könnte mit einer Präzisierung der Einschlusskriterien, wie z. B. ablenkenden Verletzungen, effektiv entgegengewirkt werde.

Die effektive Dosis aus den CT-Untersuchungen zeigte sich hingegen nicht signifikant verändert.

Die Limitation dieser Arbeit ist ihre Unterschätzung der effektiven Dosis aus den Röntgenuntersuchungen, bei teilweise unvollständigen, manuell ergänzten Dosisprotokollen. Zusätzlich bieten die angewendeten Konversionsfaktoren nur einen Anhalt auf die tatsächlichen effektiven Dosen.

In der Zusammenfassung lässt sich sagen, dass bei gleichbleibenden Raten an unauffälligen WBCT und einer identischen Verteilung innerhalb der ISS-Untergruppen, der eingeführte Behandlungsalgorithmus die schwerverletzten Patienten genauer identifizierte und somit zu einer Verbesserung innerhalb der Schockraumdiagnostik führte.

# 12 Appendix

Tabelle 12: Genutzte Konversionsfaktoren für die CT-Untersuchungen des Körperstammes

Head/Neck	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CCT/CT-HWS,</li> <li>• CCT/MG/HWS,</li> <li>• CTA-Hals-Hirn-Gef.,</li> <li>• CT-Hals-Hirn-Gef.,</li> <li>• CT-HWS/MG</li> <li>• CT-Perfusion</li> <li>• CT-MG/HWS</li> <li>• CT-Stroke-Perfusion</li> <li>• Polytrauma-CCT/MG/HWS</li> </ul>
Neck	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CT-Hals,</li> <li>• CT-HWS,</li> <li>• CT-HWS-Fraktur</li> <li>• CT-Stroke-Carotis-Angio</li> </ul>
Chest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CTA-Aorta,</li> <li>• CT-BWS,</li> <li>• CT-Herz+Aorta(Tavi)</li> <li>• CT-Thoracale Aorta</li> <li>• CT-Tx</li> <li>• CT-Tx mit KM</li> <li>• CT-Tx-nativ</li> <li>• TAVI</li> </ul>
Abdomen/Pelvis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CT-Abd</li> <li>• CT-Abd-spaet</li> <li>• CT-Abd-Steinsuche</li> <li>• CT-Becken</li> <li>• CT-LWS</li> </ul>
Trunk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CT-BWS/LWS,</li> <li>• CT-Tx/Abd</li> <li>• CT-Tx/Abd mit KM</li> <li>• CT-Tx/Abd-Polytrauma</li> <li>• CT-Wirbelsäule</li> </ul>

Tabelle 13: Konversionsfaktoren CT-Untersuchungen obere Extremität

Shoulder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CT-Schulter</li> </ul>
Elbow (adjacent to torso)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CT-Ellenbogen</li> </ul>
Elbow (above head)	-
(limb) above skull	-

Tabelle 14: Konversionsfaktoren CT-Untersuchungen untere Extremität

Knee	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CT-Kniegelenk</li> <li>• CT-Unterschenkel</li> </ul>
CT- Angiographie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CT-Becken-Bein-Angio</li> </ul>

Gemäß ihrer abgebildeten Körperregionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CTA- PreMonitoring</li> <li>• CTA-Monitoring</li> <li>• CT-Kontrollscan</li> <li>• CT-Monitoring</li> <li>• CT-PreMonitoring</li> <li>• CT-Topogramm</li> <li>• Topogramm</li> </ul>
---	---

Tabelle 15: Konversionsfaktoren Röntgenuntersuchungen

Schädel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DSA,</li> <li>• Roe-HWS,</li> <li>• Roe-Dens,</li> <li>• Roe-HWS Dens</li> </ul>
Rumpf	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchleuchtung allgemein,</li> <li>• Roe-LWS,</li> <li>• Roe-Tx,</li> <li>• Roe-Abdomen,</li> <li>• Roe-Becken,</li> <li>• Roe-BWS,</li> <li>• Roe-Clavicula,</li> <li>• Roe-Hüfte,</li> <li>• Roe-Knoecherner-Tx,</li> <li>• Roe-Schulter,</li> </ul>
Extremitäten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C-Ellenbogen,</li> <li>• Roe-Ellenbogen,</li> <li>• Roe-Fersenbein,</li> <li>• Roe-Finger,</li> <li>• Roe-Fuß,</li> <li>• Roe-Hand,</li> <li>• Roe-Handgelenk,</li> <li>• Roe-Knie,</li> <li>• Roe-Kniegelenk,</li> <li>• Roe-Oberarm,</li> <li>• Roe-Oberschenkel,</li> <li>• Roe-OSG,</li> <li>• Roe-Sprunggelenk,</li> <li>• Roe-Unterarm,</li> <li>• Roe-Unterschenkel,</li> <li>• Roe-Zitherspiel</li> </ul>

## 12.1 Danksagung

Mein besonderer Dank geht an Herrn Oberstarzt Prof. Dr. med. Kollig und an Herr Oberfeldarzt PD Dr. med. Bieler für Ihre Führung und herausragende fachliche Betreuung während dieser Dissertation.

## References

- [1] 2021.000Z. § 80 StrlSchG - Einzelnorm. [https://www.gesetze-im-internet.de/strlschg/\\_\\_\\_80.html](https://www.gesetze-im-internet.de/strlschg/___80.html). Accessed 23 May 2021.303Z.
- [2] 2020.000Z. Anlage 18 StrlSchV - Einzelnorm. [http://www.gesetze-im-internet.de/strlschv\\_2018/anlage\\_18.html](http://www.gesetze-im-internet.de/strlschv_2018/anlage_18.html). Accessed 26 December 2020.915Z.
- [3] Association for the Advancement of Automotive Medicine. 2021+00:00. *Abbreviated Injury Scale (AIS) - Association for the Advancement of Automotive Medicine*. <https://www.aaam.org/abbreviated-injury-scale-ais/>. Accessed 24 October 2022.566Z.
- [4] Bieler, D., Richardsen, I., Becker, B., Kollig, E., and Franke, A. 2019. *Implementierung eines Algorithmus zur Indikationsstellung einer Ganzkörpercomputertomographie nach Trauma*. DOI=10.3205/19DKOU135.
- [5] Bieler Dan. *Bieler D, 2014*.
- [6] 2021.000Z. *Biologische Strahlenwirkung | LEIF/physik*. <https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/radioaktivitaet-einfuehrung/grundwissen/biologische-strahlenwirkung>. Accessed 23 May 2021.872Z.
- [7] Blasenbrey, T., Kildal, D., and Geibel, M.-A. 2016. Physikalische Grundlagen. In *Medizinische Fremdkörper in der Bildgebung. Thorax, Abdomen, Gefäße und Kinder*, D. Kildal, Ed. Springer, Berlin, Heidelberg, 3–15. DOI=10.1007/978-3-662-47296-5\_1.
- [8] Brenner, D. J. and Elliston, C. D. 2004. Estimated radiation risks potentially associated with full-body CT screening. *Radiology* 232, 3.
- [9] Brown, J. B., Gestring, M. L., Leeper, C. M., Sperry, J. L., Peitzman, A. B., Billiar, T. R., and Gaines, B. A. 2017. The value of the Injury Severity Score in pediatric trauma: Time for a new definition of severe injury? *The journal of trauma and acute care surgery* 82, 6, 995–1001.
- [10] Bundesamt für Strahlenschutz. 2021.000Z. *Wie wirkt Strahlung?* <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/wirkung/einfuehrung/einfuehrung.html>. Accessed 23 May 2021.591Z.
- [11] Bundesamt für Strahlenschutz. 2023.000Z. *Effektive Dosis*. <https://www.bfs.de/SharedDocs/Glossareintraege/DE/E/effektive-dosis.html>. Accessed 29 January 2023.545Z.
- [12] Bundesamt für Strahlenschutz. 2023.000Z. *Wie wirkt ionisierende Strahlung?* <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/wirkung/einfuehrung/einfuehrung.html>. Accessed 11 March 2023.994Z.
- [13] Dellas, C. 2014. *Kurzlehrbuch Pharmakologie*. Elsevier Urban & Fischer, München.

- [14] *Diagnostische Referenzwerte - drw-roentgen.pdf*. [https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/fachinfo/ion/drw-roentgen.pdf;jsessionid=0B572007D48ED4C06598AF9811702C11.2\\_cid382?\\_\\_blob=publicationFile&v=11](https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/fachinfo/ion/drw-roentgen.pdf;jsessionid=0B572007D48ED4C06598AF9811702C11.2_cid382?__blob=publicationFile&v=11). Accessed 19 January 2023.721Z.
- [15] Engelke, C., Jörgensen, M., Keberle, M., Lehmann, K.-J., Leppert, A., and Stamm, G. 2007. *Ganzkörper-Computertomographie: Spiral- und Multislice-CT*. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart.
- [16] Fippel, M. and Nüsslin, F. 2001. Grundlagen der Monte-Carlo-Methode für die Dosisberechnung in der Strahlentherapie. *Zeitschrift für Medizinische Physik* 11, 2, 73–82.
- [17] Fuhrmann, A. 2013. Strahlenpathologie. In *Zahnärztliche Radiologie*, A. Fuhrmann, Ed. Georg Thieme Verlag KG, 40–42. DOI=10.1055/b-002-57159.
- [18] Furtado, C. D., Aguirre, D. A., Sirlin, C. B., Dang, D., Stamato, S. K., Lee, P., Sani, F., Brown, M. A., Levin, D. L., and Casola, G. 2005. Whole-body CT screening: spectrum of findings and recommendations in 1192 patients. *Radiology* 237, 2, 385–394.
- [19] Gordic, S., Alkadhi, H., Hodel, S., Simmen, H.-P., Brueesch, M., Frauenfelder, T., Wanner, G., and Sprengel, K. 2015. Whole-body CT-based imaging algorithm for multiple trauma patients: radiation dose and time to diagnosis. *The British journal of radiology* 88, 1047, 20140616.
- [20] Grunert, J.-H. 2019. Dosisbegriffe und Dosimetrie. In *Strahlenschutz für Röntgendiagnostik und Computertomografie. Grundkurs und Spezialkurse*, J.-H. Grunert, Ed. Springer, Berlin, Germany, 39–51. DOI=10.1007/978-3-662-59275-5\_2.
- [21] Grunert, J.-H. 2019. Dosisbegriffe und Dosimetrie in der Röntgendiagnostik. In *Strahlenschutz für Röntgendiagnostik und Computertomografie. Grundkurs und Spezialkurse*, J.-H. Grunert, Ed. Springer, Berlin, Germany, 137–143. DOI=10.1007/978-3-662-59275-5\_8.
- [22] Grunert, J.-H. 2019. Dosismessgrößen und Beeinflussung der Dosis in der Computertomografie. In *Strahlenschutz für Röntgendiagnostik und Computertomografie. Grundkurs und Spezialkurse*, J.-H. Grunert, Ed. Springer, Berlin, Germany, 269–291. DOI=10.1007/978-3-662-59275-5\_15.
- [23] Harvey, J. J. and West, A. T. H. 2013. The right scan, for the right patient, at the right time: the reorganization of major trauma service provision in England and its implications for radiologists. *Clinical radiology* 68, 9, 871–886.
- [24] Heffernan, D. S., Schermer, C. R., and Lu, S. W. 2005. What defines a distracting injury in cervical spine assessment? *The Journal of trauma* 59, 6, 1396–1399.

- [25] Heiland, M., Smeets, R., Schulze, D., and Habermann, C. R., Eds. 2021. *Atlas der digitalen Volumentomografie*. Thieme, Stuttgart.
- [26] Hoffman, J. R., Wolfson, A. B., Todd, K., and Mower, W. R. 1998. Selective cervical spine radiography in blunt trauma: methodology of the National Emergency X-Radiography Utilization Study (NEXUS). *Annals of emergency medicine* 32, 4, 461–469.
- [27] 2020.000Z. *Injury Severity Score - eRef, Thieme*. <https://eref.thieme.de/cockpits/clScores0001/0/coScores00071/4-309>. Accessed 26 December 2020.050Z.
- [28] Iordache, S. D., Goldberg, N., Paz, L., Peylan, J., Hur, R. B., and Steinmetz, A. 2017. Radiation Exposure From Computed Tomography Of The Upper Limbs. *Acta orthopaedica Belgica* 83, 4, 581–588.
- [29] Kroczek, E. K. 2017. *Zufallsbefunde in der Ganzkörper-Computertomographie bei Polytrauma-Patienten*.
- [30] Legome, E. and Shockley, L. W., Eds. 2011. *Trauma. A comprehensive emergency medicine approach*. Cambridge medicine. Cambridge University Press, Cambridge.
- [31] Linder, F., Mani, K., Juhlin, C., and Eklöf, H. 2016. Routine whole body CT of high energy trauma patients leads to excessive radiation exposure. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine* 24, 7.
- [32] Michaleff, Z. A., Maher, C. G., Verhagen, A. P., Rebbeck, T., and Lin, C.-W. C. 2012. Accuracy of the Canadian C-spine rule and NEXUS to screen for clinically important cervical spine injury in patients following blunt trauma: a systematic review. *CMAJ : Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne* 184, 16, E867-76.
- [33] Natalia Saltybaeva, Mary Ellen Jafari, Martin Hupfer, and Willi A Kalender. 2014. Estimates of Effective Dose for CT Scans of the Lower Extremities. *Radiology* 273, 1, 132903.
- [34] Ngatchou, W., Beirnaert, J., Lemogoum, D., Bouland, C., Youatou, P., Ramadan, A. S., Sontou, R., Alima, M. B., Plumaker, A., Guimfacq, V., Bika, C., and Mols, P. 2018. Application of the Canadian C-Spine rule and nexus low criteria and results of cervical spine radiography in emergency condition. *The Pan African Medical Journal* 30.
- [35] Niethard, F. U., Pfeil, J., and Biberthaler, P. 2022. *Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie*. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart.
- [36] Paul C. Shrimpton. 2004. Assessment of Patient Dose in CT. *UR - <https://www.semanticscholar.org/paper/Assessment-of-Patient-Dose-in-CT-Shrimpton/47865e33daafb478ded8688940ff29f6290790c1>*.

- [37] Paykin, G., O'Reilly, G., Ackland, H. M., and Mitra, B. 2017. The NEXUS criteria are insufficient to exclude cervical spine fractures in older blunt trauma patients. *Injury* 48, 5, 1020–1024.
- [38] Pearce, M. S., Salotti, J. A., Little, M. P., McHugh, K., Lee, C., Kim, K. P., Howe, N. L., Ronckers, C. M., Rajaraman, P., Craft, A. W., Parker, L., and Berrington de González, A. 2012. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet (London, England)* 380, 9840, 499–505.
- [39] Prengel, P. S3\_Polytrauma\_Schwerverletzten-Behandlung\_2016-07, 147–149.
- [40] PubMed Central. 2023.000Z. *Whole-Body CT in Haemodynamically Unstable Severely Injured Patients – A Retrospective, Multicentre Study*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3722202/>. Accessed 16 January 2023.422Z.
- [41] Rodriguez, R. M., Anglin, D., Langdorf, M. I., Baumann, B. M., Hendey, G. W., Bradley, R. N., Medak, A. J., Raja, A. S., Juhn, P., Fortman, J., Mulkerin, W., and Mower, W. R. 2013. NEXUS chest: validation of a decision instrument for selective chest imaging in blunt trauma. *JAMA surgery* 148, 10, 940–946.
- [42] Rostas, J., Cason, B., Simmons, J., Frotan, M. A., Brevard, S. B., and Gonzalez, R. P. 2015. The validity of abdominal examination in blunt trauma patients with distracting injuries. *The journal of trauma and acute care surgery* 78, 6, 1095-100 ; discussion 1100 - 1.
- [43] 2020.000Z. *Schädel-Hirn-Trauma (SHT) - eRef, Thieme*. <https://eref.thieme.de/cockpits/clsport0001/0/coNeuro00457/0?context=search>. Accessed 26 December 2020.166Z.
- [44] Schlegel, W., Karger, C. P., and Jäkel, O., Eds. 2018. *Medizinische Physik. Grundlagen – Bildgebung – Therapie – Technik*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- [45] *Schweigkofler2020\_Article\_SchockraumindikationNachUnfall.pdf*. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00113-019-00733-1.pdf>. Accessed 13 June 2021.568Z.
- [46] *SKRIPT\_XR\_A02 - XRadiat\_Phys.pdf*. [https://home.zhaw.ch/~scst/Radiophysics-Dateien/XRadiat\\_Phys.pdf](https://home.zhaw.ch/~scst/Radiophysics-Dateien/XRadiat_Phys.pdf). Accessed 16 January 2021.151Z.
- [47] *SKRIPT\_XR\_A02 - XRadiat\_Phys.pdf*. [https://home.zhaw.ch/~scst/Radiophysics-Dateien/XRadiat\\_Phys.pdf](https://home.zhaw.ch/~scst/Radiophysics-Dateien/XRadiat_Phys.pdf). Accessed 19 January 2023.225Z.
- [48] Stephan, J. C., Grossner, T., Stephan-Paulsen, L. M., Weigand, M. A., Schmidmaier, G., and Popp, E. 2021. Evaluation der Aufnahmekriterien von Patienten nach Verkehrsunfall in den Schockraum. *Notfall Rettungsmed* 24, 2, 134–142.

- [49] Stiell, I. G., Clement, C. M., McKnight, R. D., Brison, R., Schull, M. J., Rowe, B. H., Worthington, J. R., Eisenhauer, M. A., Cass, D., Greenberg, G., Macphail, I., Dreyer, J., Lee, J. S., Bandiera, G., Reardon, M., Holroyd, B., Lesiuk, H., and Wells, G. A. 2003. The Canadian C-spine rule versus the NEXUS low-risk criteria in patients with trauma. *The New England journal of medicine* 349, 26, 2510–2518.
- [50] Stiell, I. G., Wells, G. A., Vandemheen, K., Clement, C., Lesiuk, H., Laupacis, A., McKnight, R. D., Verbeek, R., Brison, R., Cass, D., Eisenhauer, M. E., Greenberg, G., and Worthington, J. 2001. The Canadian CT Head Rule for patients with minor head injury. *Lancet (London, England)* 357, 9266, 1391–1396.
- [51] Stiell, I. G., Wells, G. A., Vandemheen, K. L., Clement, C. M., Lesiuk, H., Maio, V. J. de, Laupacis, A., Schull, M., McKnight, R. D., Verbeek, R., Brison, R., Cass, D., Dreyer, J., Eisenhauer, M. A., Greenberg, G. H., MacPhail, I., Morrison, L., Reardon, M., and Worthington, J. 2001. The Canadian C-spine rule for radiography in alert and stable trauma patients. *JAMA* 286, 15, 1841–1848.
- [52] 2021.000Z. *StrlSchG - Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung*. <https://www.gesetze-im-internet.de/strlschg/BJNR196610017.html>. Accessed 16 May 2021.974Z.
- [53] Teasdale, G. and Jennett, B. 1974. ASSESSMENT OF COMA AND IMPAIRED CONSCIOUSNESS. *The Lancet* 304, 7872, 81–84.
- [54] Tien, H. C., Tremblay, L. N., Rizoli, S. B., Gelberg, J., Spencer, F., Caldwell, C., and Brenneman, F. D. 2007. Radiation exposure from diagnostic imaging in severely injured trauma patients. *The Journal of trauma* 62, 1, 151–156.
- [55] TR-DGU\_Jahresbericht\_2021.
- [56] U. Schweigkofler, M. Sauter, D. Wincheringer, S. Barzen, and R. Hoffmann. 2020. Schockraumindikation nach Unfallhergang. *Unfallchirurg* 123, 5, 386–394.
- [57] Weiß, C. 2013. Lagetests. In *Basiswissen Medizinische Statistik*, C. Weiß and B. Rzany, Eds. Springer-Lehrbuch. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 179–197. DOI=10.1007/978-3-642-34261-5\_10.
- [58] Weiß, C. 2013. Tests zum Vergleich von Häufigkeiten. In *Basiswissen Medizinische Statistik*. Springer, Berlin, Heidelberg, 199–216. DOI=10.1007/978-3-642-34261-5\_11.
- [59] Weiß, C. 2019. *Basiswissen Medizinische Statistik*. Springer-Lehrbuch. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg., 147-151

# 13 Tabellarischer Lebenslauf

---

## Persönliche Daten:

Name: Marius Eberhardt Schaller  
Geburtsdatum und -ort: 12.09.1992 in Rüdesheim am Rhein  
Familienstand: ledig  
Staatsangehörigkeit: deutsch

## Studium und Ausbildung:

12/2021 - Heute: Weiterbildungsassistent, aktuell im dritten Ausbildungsjahr, für Dermatologie im Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz

Seit 07/2015: Eintritt in die Bundeswehr in der Laufbahn der Sanitätsoffiziere, aktuell Stabsarzt

11/2021: Abschluss des Studiums der Humanmedizin an der Philipps-Universität Marburg

11/2020 - 10/2021: Praktisches Jahr am Uniklinikum Marburg

10/2015 - 11/2021: Studium der Humanmedizin an der Philipps-Universität Marburg

10/2014 - 07/2015: Studium der Biologie an der Ruhr-Universität-Bochum

10/2013 - 10/2014: Studium der Chemie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena

07/2013 - 10/2013: Arbeit auf dem väterlichen Hof

06/2013 - 07/2013: Pflegepraktikum im Stadtkrankenhaus Korbach

06/2003 - 06/2013: Alte Landesschule in Korbach

07/1999 - 06/2003: Westwallschule Korbach