

Aus der Klinik für Strahlenheilkunde
der Medizinischen Fakultät Charité
der Humboldt-Universität zu Berlin

DISSERTATION

Einsatz der mobilen Computertomographie in der Intensivmedizin

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät Charité
der Humboldt-Universität zu Berlin

von
Jens Georg Pinkernelle
aus Kamen

Dekan: Prof. Dr. med. J. Dudenhausen

Gutachter: 1. PD Dr. med. Jens Ricke
2. PD Dr. med. Udo Kaisers
3. PD Dr. med. Heiko Alfke

Datum der Promotion: 9. April 2003

Zusammenfassung

Thema: Ziel der Studie war die Evaluierung der mobilen CT im intensivmedizinischen Einsatz

Methodik: Es wurde eine Prozessanalyse der mobilen CT in einem Interventionsraum auf der Intensivstation sowie der ortsfesten CT in der radiologischen Abteilung vorgenommen. Der klinische Teil richtete sich auf die Evaluierung des intensivmedizinischen Personals bezüglich der Bewertung der mobilen CT. Weiterhin wurden die mit der mobilen CT untersuchten Patienten hinsichtlich ihrer Transportfähigkeit anhand intensivmedizinischer Bewertungssysteme bewertet.

Ergebnisse: Die CT-Untersuchungen mit der mobilen CT im Interventionsraum haben einen leichten zeitlichen Vorteil gegenüber denen in der radiologischen Abteilung (55 vs 65 Minuten). Die mobile CT wurde von der Mehrheit des intensivmedizinischen Personals positiv bewertet, z.B. empfanden sie 81 % der Ärzte sowie mehr als 50 % der Pflegekräfte als Arbeitserleichterung. Bei vier der 24 untersuchten Patienten hätte es keine Alternative zur mobilen CT gegeben.

Schlussfolgerung: Die mobile CT hat sich im klinischen Einsatz bewährt. Sie gewährleistet eine kontinuierliche intensivmedizinische Umgebung bei der CT-Untersuchung. Darüber hinaus ermöglicht sie bei nicht transportfähigen Patienten eine adäquate radiologische Diagnostik.

Computertomographie
Intensivmedizin
Prozessevaluierung

Abstract

Purpose: To evaluate portable CT in ICU settings.

Methods: Assessment of workflow of portable and stationary CT. Evaluation of ICU staff by questionnaire. Risk of transportation Assessment of examined patients by ICU-scores).

Results: Examination by portable CT is little less time consuming compared to CT-examination in the radiology department (55 vs. 65 minutes). There was a great acceptance of portable CT by ICU staff. 81 % of ICU physicians and more than 50 % of nurses assessed portable CT as a reduction of work load. Portable CT could not have been missed in four of 24 examined patients for examination by computed tomography.

Conclusions: Portable CT enables ICU-care to be continued during CT-examination. By Bedside CT patients can be examined who otherwise would have to abandon advanced radiologic diagnostic.

Computed tomography
Intensive Care Unit
Process management

1	EINLEITUNG	7
1.1	MOBILE RADIOLOGISCHE DIAGNOSTIK.....	7
1.2	MOBILE COMPUTERTOMOGRAPHIE	7
1.2.1	<i>Mobiler Computertomograph Tomscan M.....</i>	7
1.3	EINSATZMÖGLICHKEITEN DES MOBILEN COMPUTERTOMOGRAPHEN	8
1.3.1	<i>Einsatzorte und zu beachtende Richtlinien</i>	8
1.3.2	<i>Die erweiterte und unverzügliche radiologische Diagnostik in der Frühphase von Erkrankungen</i>	10
2	ZIELE DER STUDIE	11
3	MATERIAL UND METHODEN	12
3.1	MIT DER MOBILEN CT UNTERSUCHTE PATIENTEN.....	12
3.2	ZEITMESSUNGEN	13
3.2.1	<i>Die Vorbereitung.....</i>	14
3.2.2	<i>Das Umlagern</i>	14
3.2.3	<i>Erstellung des Topogramms.....</i>	14
3.2.4	<i>Die Bildakquisition.....</i>	15
3.2.5	<i>Die Nachbereitung</i>	15
3.3	ENTFERNUNGMESSUNGEN	15
3.4	ZEIT-/ENTFERNUNGSKORRELATION	16
3.5	EVALUATION DES INTENSIVMEDIZINISCHEN PERSONALS	16
3.6	INTENSIVMEDIZINISCHE PUNKTWERTSYSTEME (SCORES)	17
3.6.1	<i>Überlegungen zur Evaluation der Erkrankungsschwere</i>	17
3.6.2	<i>Das APACHE-System.....</i>	18
3.6.3	<i>Bestimmung der Erkrankungsschwere im Verlauf der Intensivbehandlung</i>	21
3.6.4	<i>Die Wahrscheinlichkeit der Entwicklung eines Multiorganversagens</i>	21
3.6.5	<i>Indirekte Evaluierung der Erkrankungsschwere durch Pflegepunktwertssysteme</i>	22
3.6.6	<i>Korrelation der verwendeten Punktwertssysteme.....</i>	24
3.7	AUSWERTUNG DER PATIENTENFÄLLE MIT EINEM ERFAHRENEN INTENSIVMEDIZINER	26
3.8	MOBILE COMPUTERTOMOGRAPHISCHE EINHEIT TOMOSCAN M.....	26
3.8.1	<i>Allgemeines</i>	26
3.8.2	<i>Maße und Gewichte.....</i>	27
3.8.3	<i>Stromversorgung</i>	28
3.8.4	<i>Steuerung.....</i>	28
3.8.5	<i>Die Strahlenerzeugung</i>	29
3.8.6	<i>Rechnerkonsole</i>	29
3.9	INTERVENTIONSRAUM DER NEPHROLOGISCH ORIENTIERTEN INTENSIVSTATION	29
3.10	AUFLAGEN DES LAGETSI BEZÜGLICH DER GENEHMIGUNG DIE MOBILE CT IM KLINISCHEN ALLTAG ZU BETREIBEN.....	30
4	ERGEBNISSE	32
4.1	ZEITNAHMEN.....	32
4.1.1	<i>Zusammenfassung der Zeitnahmen</i>	32
4.1.2	<i>Transferzeiten von den Zimmern zu den CTs</i>	33
4.1.3	<i>Zeitdauer der Topogrammerstellung und der Bildakquisition.....</i>	34
4.2	DISTANZBESTIMMUNGEN	36
4.3	KORRELATION DER WEGZEITEN ZU DEN ENTFERNUNGEN	38
4.4	EVALUIERUNG DES INTENSIVPERSONALS	38

4.4.1	<i>Rücklauf der Fragebögen</i>	38
4.4.2	<i>Häufigkeitsverteilung der CT-Untersuchungen auf das Personal</i>	39
4.4.3	<i>Einschätzung der Arbeitserleichterung</i>	40
4.4.4	<i>Einschätzung der Patientenbelastung</i>	41
4.4.5	<i>Logistischer Aufwand</i>	41
4.4.6	<i>Integration in die klinische Routine</i>	42
4.4.7	<i>Bevorzugter Untersuchungsort</i>	43
4.5	ERKRANKUNGSSCHWERE DER PATIENTEN.....	44
4.5.1	<i>Evaluierung nach TISS 28</i>	44
4.5.2	<i>Evaluierung nach MODS</i>	45
4.5.3	<i>Korrelation von TISS 28 und MODS</i>	46
4.6	CHARAKTERISIERUNG DES PATIENTENGUTS.....	47
4.7	DISKUSSION DER PATIENTENFÄLLE MIT EINEM INTENSIVMEDIZINER.....	48
4.7.1	<i>Dringlichkeit der Indikation der CT-Untersuchung mit der mobilen CT</i>	48
4.7.2	<i>Indikationen und Konsequenzen der Untersuchung mit der mobilen CT</i>	49
4.8	FÄLLE DER ERWEITERTEN RADIOLOGISCHEN DIAGNOSTIK BEI PATIENTEN IM RAHMEN DER AUFNAHME AUF DER INTENSIVSTATION.....	52
4.9	ZUSAMMENFASSUNG DER CT-INDIKATIONEN, -KONSEQUENZEN, -DIAGNOSEN.....	53
5	DISKUSSION	54
5.1	ZIELSETZUNGEN DER STUDIE.....	54
5.2	ZEITENANALYSE.....	54
5.2.1	<i>Transferzeiten</i>	55
5.2.2	<i>Dauer der Erstellung des Topogramms</i>	56
5.2.3	<i>Zeiten des Umlagerns</i>	56
5.2.4	<i>Vor- und Nachbereitungszeiten</i>	57
5.2.5	<i>Flexiblerer Untersuchungszeitpunkt mit der mobilen CT</i>	57
5.3	EVALUIERUNG DES PERSONALS DER INTENSIVSTATION.....	58
5.3.1	<i>Überwiegend positive Einschätzung der mobilen CT durch das Personal</i>	58
5.3.2	<i>Erleichterung für die Patienten</i>	58
5.3.3	<i>Verringerte Arbeitsbelastung</i>	61
5.3.4	<i>Verbesserte Logistik</i>	61
5.3.5	<i>Bessere Einbindung in die klinische Routine</i>	62
5.3.6	<i>Der Interventionsraum als bevorzugter Untersuchungsort</i>	62
5.4	DER ANTEIL DER KRITISCHEN INTENSIVPATIENTEN BEI DER CT-UNTERSUCHUNG...	63
5.4.1	<i>Intensivmedizinische Punktwertsysteme</i>	63
5.4.2	<i>Die Patientencharakterisierung anhand physiologischer Parameter</i>	64
5.4.3	<i>Die Patientencharakterisierung anhand therapeutischer Maßnahmen</i>	65
5.4.4	<i>Die Patientencharakterisierung durch einen erfahrenen Intensivmediziner</i> ...	67
5.5	EINSATZ DES TOMOSCAN M IM INTERVENTIONSRAUM DER INTENSIVSTATION.....	68
5.6	ÖRTLICH FLEXIBLER EINSATZ DES TOMOSCAN M.....	71
5.6.1	<i>Allgemeine Überlegungen</i>	71
5.6.2	<i>Fall 1: Notfalldiagnostik eines schweren, stumpfen Bauchtraumas</i>	72
5.6.3	<i>Fall 2: Notfalldiagnostik zur Vorbereitung einer Lebertransplantation</i>	73
5.6.4	<i>Fall 3: Notfalldiagnostik eines akuten Lungenversagens</i>	74
5.6.5	<i>Bilanz der mobilen CT im Patientenzimmer</i>	75
5.7	MOBILE CT WIRD IN SEQUENTIELLEN ARBEITSSCHRITTEN AUSGEFÜHRT.....	76
5.8	VORTEILE DER MOBILEN CT.....	77
5.8.1	<i>Bessere Überwachung von Patient und Station</i>	77
5.8.2	<i>Manipulation an Katheterschläuchen erhöht das Kontaminationsrisiko</i>	80
5.8.3	<i>CT-Untersuchung unter Isolierbedingungen</i>	80

5.8.4	<i>Für Diagnostik und Verlaufskontrolle ausreichende Bildqualität</i>	81
5.9	FEHLER DES TOMOSCAN M	82
5.9.1	<i>Von der Diagnose zur Therapie; AWIGS als Alternative zur mobilen CT</i>	83
5.9.2	<i>Mobile CT: Frühzeitige, umfassende radiologische Diagnostik</i>	84
5.10	ERFAHRUNGSBERICHTE UND STUDIEN ÜBER DIE MOBILE CT	86
5.10.1	<i>Der Tomoscan M im Virchow-Klinikum der Universitätsklinik Charité zu Berlin</i>	86
5.10.2	<i>Orientierende Evaluierung des Tomoscan M</i>	87
5.10.3	<i>Nutzen der Translationsbewegung in der Neurochirurgie</i>	87
5.10.4	<i>Intraoperativer Einsatz des Tomoscan M</i>	89
5.10.5	<i>Kombination von mobiler CT und Fluoroskopie</i>	91
5.10.6	<i>Nutzen der mobilen CT für die Thoraxdiagnostik auf der Intensivstation</i>	92
5.10.7	<i>Evaluierung der Bildqualität des Tomoscan M</i>	92
5.10.8	<i>Sonstige Quellen zum Tomoscan M</i>	92
5.10.9	<i>Diskussion der Literatur unter Reflexion der eigenen Ergebnisse</i>	93
6	ZUSAMMENFASSUNG	96
6.1.1	<i>Einleitung</i>	96
6.1.2	<i>Methoden</i>	96
6.1.3	<i>Ergebnisse</i>	97
6.1.4	<i>Diskussion</i>	98
8	LEBENS LAUF (STAND APRIL 2003)	102
9	EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	103
10	DANKSAGUNG	104
11	ANHANG	105
11.1	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	105

1 Einleitung

1.1 *Mobile radiologische Diagnostik*

Die diagnostische Radiologie verwendet sehr verschiedene Instrumente (z.B. Sonographie, Röntgenröhren), denen ebenso unterschiedliche technisch-physikalische Prinzipien (Schallwellen, Gammastrahlung) zugrunde liegen. Die Gemeinsamkeit dieser Instrumente liegt in der bildlichen Darstellung von anatomischen Gegebenheiten beim Patienten. Viele der eingesetzten Geräte gibt es sowohl für die ortsfeste Anwendung in der radiologischen Abteilung, als auch für den Einsatz am Patientenbett. Auf der Intensivstation werden häufig konventionelle Röntgenaufnahmen benötigt, aber auch im Operationssaal (OP), beispielsweise, wenn komplizierte Frakturen reponiert werden müssen. Für diese Aufgaben stehen fahrbare Röntgenröhren zur Verfügung, die ohne großen technischen Aufwand mobil zu betreiben sind. Die interventionelle Durchleuchtung wird ebenfalls je nach Indikation stationär oder mobil durchgeführt. Beispielsweise leistet die mobile digitale Subtraktionsangiographie (DSA) im OP bei gefäßchirurgischen Eingriffen gute Dienste[1]. Für die Isotopen gestützte Diagnostik außerhalb der nuklearmedizinischen Abteilung stehen mobile Gamma-Kameras zur Verfügung. Bei Verdacht auf Lungenembolie können damit Szintigramme des pulmonalen Gefäßsystems von instabilen Patienten auf der Intensivstation erstellt werden[2]. Sonographiegeräte werden aufgrund der kompakten Bauweise seit ihrer klinischen Einführung mobil verwendet. Im Gegensatz dazu wurden Computertomographen wegen der zugrundeliegenden technischen Prinzipien und der baulichen Komplexität bis vor kurzem nur als stationäre Geräte konzipiert. Jedoch gibt es seit neuerem mobil einsetzbare Computertomographen wie den Tomoscan M (Philips, Utrecht, Niederlande), wodurch CT-Untersuchungen vor Ort auf der Station oder im OP möglich geworden sind.

1.2 *Mobile Computertomographie*

1.2.1 **Mobiler Computertomograph Tomscan M**

Die mobile Computertomographie (mCT) verfügt grundsätzlich über die gleichen Fähigkeiten und Eigenschaften wie ein herkömmliches, ortsfestes Gerät. Mit ihm lassen sich sowohl axiale Einzelschicht-, als auch Spiralaufnahmen durchführen. Zur Realisierung der mobilen Einsatzfähigkeit wurde das Gerät modular konzipiert. Es

besteht aus den drei Komponenten Gantry, Untersuchungstisch und Computerkonsole, die auf Rollen gelagert sind und getrennt voneinander transportiert werden können.

1.3 Einsatzmöglichkeiten des mobilen Computertomographen

1.3.1 Einsatzorte und zu beachtende Richtlinien

Vielfältige Einsatzorte und –möglichkeiten sind bei der mCT denkbar, wie die Intensivstation oder der Operationssaal. In unserem Klinikum wurden die Genehmigungen für die einzelnen Einsatzorte wie Interventionsraum, Notaufnahme, Angiographie, oder Patientenzimmer auf Grundlage der Röntgenverordnung erteilt. Dabei mussten besondere Auflagen des Landesamtes für Arbeitsschutz (LAGetSi), Gesundheitsschutz und technische Sicherheit in Berlin erfüllt werden, wie sie aus **3.10** im Teil Material und Methoden dieser Arbeit ersichtlich werden.

1.3.1.1 Intensivstation

Aus der Literatur ist ersichtlich, dass insbesondere Patienten von Intensivstationen profitieren könnten, die für einen Transport in die radiologische Abteilung aufgrund des schlechten Gesundheitszustands nicht geeignet sind. Aber gerade für dieses Patientengut ist die sensitive computertomographische Diagnostik besonders wichtig [2-5]. Der Transport und die Untersuchung außerhalb der Intensivstation können aufgrund des kritischen Gesundheitszustands ein unkalkulierbares Risiko darstellen[6, 7]. Aus der ärztlichen und pflegerischen Sicht heraus, könnte sich die CT-Untersuchung auf der Station zudem als Erleichterung bei der Bewältigung der klinischen Routine erweisen. Diese wird durch den hohen logistischen Aufwand für den Transport und den Aufenthalt eines kritisch Kranken außerhalb der sicheren intensivmedizinischen Umgebung eher negativ beeinflusst. Aus der ärztlichen und pflegerischen Sicht heraus, könnte die CT-Untersuchung auf der Station zudem eine Erleichterung bei der Bewältigung der klinischen Routine sein. Diese wird bisher durch den hohen logistischen Aufwand für den Transport und den Aufenthalt eines kritisch Kranken außerhalb der sicheren intensivmedizinischen Umgebung eher negativ beeinflusst. Arbeiten über den Einsatz der mCT in der Intensivmedizin stellen in den bis zum jetzigen Zeitpunkt vergleichsweise wenig vorhandenen Erfahrungsberichten in der Literatur einen Schwerpunkt dar[8, 9].

1.3.1.2 Operationssaal

Ein weiterer Schwerpunkt der Studien über den Tomoscan M ist sein Einsatz im Operationssaal[10, 11]. Auch in diesem Bereich scheint eine besondere Indikation für eine unverzügliche computertomographische Diagnostik gegeben zu sein. Denkbar ist dies vor allem bei polytraumatisierten Patienten, die notfallmäßig und umfassend chirurgisch versorgt werden müssen [12]]. Hierbei könnte in der unmittelbaren, intraoperativen computertomographischen Kontrolle der Operationsergebnisse ein wesentlicher Vorteil liegen, da postoperative Komplikationen, die besonders als Blutungen in Erscheinung treten[13], frühzeitig erkannt und behandelt werden können[14]. Die über den chirurgischen Aspekt der CT-Diagnostik vorliegenden Erfahrungsberichte widmen sich vor allem dem Einsatz im neurochirurgischen Operationssaal. Mit letzterem steht die Neuronavigation in einem unmittelbaren Zusammenhang, da die Computertomographie durch ihre hochauflösende Bildgebung die anatomischen Verhältnisse genau widerzugeben vermag. Somit könnten bessere Resektionsergebnisse bei zerebralen Tumoren erreicht werden. Aufgrund der engen Platzverhältnisse und der sensiblen anatomischen Strukturen, deren Lageverhältnisse sich innerhalb weniger Stunden ändern können, ist hier ein gezielteres operatives Vorgehen angezeigt. Darüber hinaus hat die CT-Diagnostik auch bei Eingriffen in anderen Körpersystemen ihre Berechtigung. Dies trifft auch auf interventionelle Maßnahmen zu[11, 15]. Bei perkutanen Eingriffen kann mittels einer CT-Aufnahme das Zielgebiet für die Katheterisierung exakt aufgesucht werden [16].

1.3.1.3 Sondereinsätze

Isolierpatienten, die entweder besonders infektionsgefährdet oder –gefährdend sind könnten mit geringerem hygienischen und infektionspräventivem Aufwand computertomographisch untersucht werden. Beispielsweise könnte dadurch die für pulmonale Läsionen weniger sensitive, konventionelle Röntgendiagnostik bei immunsupprimierten Patienten ersetzt werden[17], welche zudem erst nach einer größeren Latenzzeit verglichen mit der CT positiv wird. Auch sind außergewöhnliche Verwendungen der mobil einsetzbaren CT denkbar. So könnte ein solches Gerät in Katastrophengebieten betrieben werden, in dem das gesundheitliche Versorgungssystem überfordert (oder zerstört) ist und daher viele Schwerverletzte erst spät adäquat behandelt werden können. Ebenso könnte die mobile CT im Rahmen von militärischen Missionen flexibel im jeweiligen Krisenherd die Diagnostik bei verwundeten Soldaten vor Ort verbessern und sicherstellen.

1.3.2 Die erweiterte und unverzügliche radiologische Diagnostik in der Frühphase von Erkrankungen

Der Einsatz des Tomoscan M im Sinne des AUDI-Prinzips schließt den Bogen zu der eingangs erwähnten Verwendung bei kritisch kranken Patienten auf der Intensivstation. AUDI steht als Abkürzung für Advanced Use of Diagnostic Imaging. Die Realisierung dieses Prinzips bedeutet, dass Patienten schon im Rahmen der Aufnahme entweder in der Rettungsstelle oder auf der Intensivstation computertomographisch untersucht werden[4, 18]. Dadurch soll eine frühzeitige Diagnosesicherung erreicht werden, die eine unverzügliche, adäquate Behandlung des Patienten sicherstellt. Möglicherweise ließe sich so letztlich die Aufenthaltsdauer der Patienten im Krankenhaus verringern, was in Zeiten wachsender Kosten ein wichtiger Aspekt ist.

2 Ziele der Studie

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, die mobile CT hinsichtlich ihrer klinischen Anwendbarkeit zu evaluieren. Dabei wurden vor allem folgende Aspekte berücksichtigt:

1. Erfassung des Arbeitsablaufs der mobilen CT im Einsatz auf der Intensivstation, Ermittlung der Zeitdauer der Untersuchungen
2. Evaluierung des Intensivpersonals anhand von anonymisierten Fragebögen
3. Abschätzung der Transportfähigkeit der untersuchten Patienten mit Hilfe standardisierter intensivmedizinischer Bewertungssysteme

3 Material und Methoden

3.1 Mit der mobilen CT untersuchte Patienten

Insgesamt 60 Patienten wurden in einem Zeitraum von einem Jahr (01/01/2000 bis 12/31/2000) auf der Intensivstation mit der mobilen CT untersucht. Davon wurde bei 25 konsekutiv untersuchten Patienten die Zeitdauer der mCT gemessen und der Gesundheitszustand von 24 Patienten jeweils für den Aufnahmetag und den Tag der Untersuchung auf der Intensivstation anhand der Akten retrospektiv analysiert (Tab.1).

Tabelle 1: Patientenkollektiv, Alters- und Geschlechtsverteilung sowie Dauer der Intensivbetreuung

Patient	Geschlecht	Alter	Dauer der Intensivbetreuung
1	W	62	14
2	M	55	26
3	W	38	3
4	W	47	3
5	M	70	34
6	M	68	5
7	W	86	3
8	W	63	10
9	W	74	8
10	W	74	18
11	W	71	12
12	M	57	48
13	M	60	13
14	M	54	32
15	M	57	7
16	W	53	16
17	M	61	47
18	W	39	32
19	W	82	3
20	M	41	120
21	W	31	30
22	W	57	50
23	M	62	53
24	M	48	98

Zur Anwendung kamen die intensivmedizinischen Punktwertssysteme Acute

Physiology and Chronic Health Evaluation II (APACHE II), Multiple Organ Dysfunction Score (MODS) und Therapeutic Intervention Scoring System 28 (TISS 28). Analysiert wurden 14 weibliche und 11 männliche Patienten. Das durchschnittliche Alter der Patienten betrug 59 Jahre (31-86 Jahre, Standardabweichung 13,8 Jahre). Die durchschnittliche Dauer der Intensivbetreuung waren 28 Tage (3-120 Tage, Standardabweichung 29,8 Tage)

3.2 Zeitmessungen

Der Grad der Unterteilung des Gesamtvorgangs CT-Untersuchung hing davon ab, wie genau die Zeiterfassung der einzelnen Tätigkeiten sein musste, damit eventuelle Zeitunterschiede zwischen der Untersuchung mit dem mobilen CT und in der radiologischen Abteilung analysiert und interpretiert werden konnten. Da das Ziel dieser Arbeit die Evaluierung der mobilen CT war, rückten vor allem der Transport-, sowie der Untersuchungsabschnitt in den Blickpunkt des Interesses. Genau in diesen Punkten war ein Unterschied zwischen den Methoden von vornherein denkbar gewesen. Bezogen auf die Transportzeit begründet sich dieser Gedankengang auf die offensichtlichen und später genau bestimmten zurückzulegenden unterschiedlichen Entfernungen zu den Geräten entweder im Interventionsraum oder der radiologischen Abteilung. Die Teilschritte Erstellung des Topogramms, sowie die Bildakquisition waren unmittelbar von der Leistungsfähigkeit der einzelnen CT-Geräte abhängig. Mindestens diese Arbeitsschritte mussten also getrennt voneinander betrachtet werden: (Hin-) Transport, Topogramm, Bildakquisition, (Rück-)Transport. Somit waren auch die übrigen Teilschritte gegeben, die entweder den Rahmen des Gesamtvorgangs bildeten (Vor- und Nachbereitung) oder zwischen den kritischen Teilschritten gelegen waren (Umlagern). Die Gesamtgliederung wurde demnach so vorgenommen:

1. Vorbereitung des Patienten
2. (Hin-)Transport
3. Umlagern auf den CT-Tisch
4. Erstellung des Topogramms
5. Bildakquisition
6. Umlagern auf das Bett
7. (Rück-)Transport
8. Nachbereitung (Wiedereinbindung des Patienten in seinen Intensivplatz, Befundung)

3.2.1 Die Vorbereitung

Die Vorbereitung des Patienten für Transport und Untersuchung stellte den ersten Arbeitsschritt dar. Zur Vorbereitung gehörte die Diskonnektion des Patienten von Perfusoren und Infusomaten mit nicht lebensnotwendigen Medikamenten. Des Weiteren beinhaltete sie die Umstellung von der stationären Bennett auf eine mobile Beatmungseinheit (Oxylog Fa. Dräger, Medumat), sowie gegebenenfalls eine Intensivierung der Sedierung. Der Überwachung der Herz-Kreislauffähigkeit während Transport und Untersuchung diente die Installation eines mobilen EKG-Monitors. Für die Verlaufskontrolle wurde der Status der Vitalparameter des Patienten vor der Untersuchung von Arzt oder Pflegepersonal erfasst und in der Kurve dokumentiert. Die Zeitmessung begann, sobald der erste Handgriff für die Vorbereitung von Arzt oder Pflegekraft getätigt wurde. Wenn der Patient bereit für den Transport war, endete die Erfassung der Vorbereitungszeit.

3.2.2 Das Umlagern

Nach der Ankunft des Patienten am Gerät erfolgte sein Umlagern auf die CT-Liege. Dieser Vorgang beinhaltete die Höhenanpassung von Bett und CT-Liege, das Unterschieben eines Rollbrettes, das Herüberziehen des Patienten und dessen untersuchungstaugliche Lagerung sowie die Positionierung der Überwachungs- und Medikationsgeräte. Mit der Betätigung der Repositionstaste am CT-Gerät, woraufhin sich der Untersuchungstisch in seine Ausgangslage bewegt, begann die Zeitnahme für das Umlagern des Patienten von der CT-Liege auf das Intensivbett. Dieser Vorgang umfasste analog zum Arbeitsschritt 3 das Heranholen des Bettes, das Unterschieben eines Rollbretts, das Hinüberziehen des Patienten und das Positionieren der Überwachungs- und Medikationsgeräte. Sobald Transportbereitschaft hergestellt war, endete die Zeitnahme für die Umlagerung und die für den Rücktransport begann.

3.2.3 Erstellung des Topogramms

Der Arbeitsschritt Erstellung des Topogramms beinhaltete die Positionierung der CT-Liege in eine für die Untersuchung geeignete Stellung. Die sich daran anschließende Erfassung der Scanparameter war für die Erstellung des Topogramms (Referenzscan) notwendig. Gegebenenfalls musste eine Lagekorrektur des Patienten erfolgen, was die Zeitdauer dieses Schrittes erhöhte. Wurden Kontrastmittelaufnahmen benötigt addierte sich zusätzlich die Zeit zur Einrichtung der Kontrastmittelpumpe und Applikation des Kontrastmittels hinzu.

3.2.4 Die Bildakquisition

Während der eigentlichen Untersuchung fand die Bildakquisition statt. Bei Einsatz von Kontrastmittel wurden die Zeiten von Nativ- und Kontrastmittelaufnahmen addiert. Der Untersuchungsvorgang endete, sobald die letzte Aufnahme erfolgt war. In dieser Arbeit wird nicht in Nativ- und Kontrastmitteluntersuchung unterschieden, da die Anteile beider Verfahren an der Gesamtzahl der Untersuchungen mit der mobilen CT bzw. der CT in der radiologischen Abteilung gleich sind.

3.2.5 Die Nachbereitung

Der letzte Arbeitsschritt bestand in der Wiedereinbindung des Patienten in seinen Intensivplatz (Nachbereitung). Er begann, sobald das Bett in der Ausgangsposition im Patientenzimmer stand. Zur Nachbereitung gehörte der Anschluss des Patienten an das Beatmungsgerät und die Überwachungseinheiten (Monitor, RR). Weiterhin zählte der Anschluss von Perfusoren und Infusomaten an den zentralen Venenkatheter des Patienten dazu. Weitere Tätigkeiten bestanden in der Erfassung der Vitalparameter des Patienten nach der CT-Untersuchung und deren schriftlicher Dokumentation und der Entfernung und Säuberung der mobilen Überwachungsgeräte. Die Zeitmessung berücksichtigte nicht Tätigkeiten, die parallel zum jeweiligen CT-Arbeitsschritt durchgeführt wurden. Beispielsweise stoppte die Zeiterfassung, wenn die mit der Vorbereitung beschäftigte Schwester wegen anderer Aufgaben von ihrer Tätigkeit abgerufen wurde. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, um präzise Aussagen bezüglich des CT-spezifischen Zeitaufwands treffen zu können. Die Zeiten von Hin- und Rücktransport wurden für die Ergebnispräsentation und -diskussion addiert. Die ermittelten Zeitwerte der einzelnen CT-Arbeitsschritte wurden für die statistische Analyse in einer Rangfolge-Skala angeordnet. Die Mediane wurden für die Ergebnisdiskussion verwendet.

3.3 Entfernungsmessungen

In Ergänzung zu den Zeitmessungen wurden die Entfernungen der einzelnen Zimmer zu den jeweiligen CT-Untersuchungsorten bestimmt (siehe Anhang). Die Distanzen wurden mittels eines Distanzlauftrahls (Ralle) erfasst (**Abb.1/2**). Hierbei wurden die Entfernungen von der Türschwelle des jeweiligen Patientenzimmers bis zur Türschwelle des jeweiligen CT-Untersuchungsraumes abgegriffen. Für die Intensivstation, auf der die mobile CT evaluiert wurde, wurden sowohl die Entfernungen bis zur mobilen CT, als auch zu den Geräten in der radiologischen Abteilung bestimmt. In einer Zeit-Entfernungskurve wurden dann die gemessenen

Werte

miteinander

korreliert.



Abb. 1 DistanzlaufRad („Ralle“)



Abb. 2 DistanzlaufRad (Detailansicht)

3.4 Zeit-/Entfernungskorrelation

Die für die CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung zurückgelegten Entfernungen wurden mit den zugehörigen Zeiten korreliert. Dazu wurden die zum Teil recht unterschiedlichen Entfernungen zu Gruppen zusammengeschlossen. Diese Gruppen umfassten jeweils die Entfernungen und zugehörigen Zeiten bis 100 m, 101-150 m, 151-200 m, 201-250 m, 251-300 m und 301-351 m.

3.5 Evaluation des intensivmedizinischen Personals

Die Erfahrungen, die das intensivmedizinische Personal mit dem Einsatz der mobilen CT auf der Station gemacht hat, wurden anhand eines anonym auszufüllenden Fragebogens evaluiert. Der Fragebogen wurde sowohl an das Pflegepersonal, als auch an die jeweiligen Ärzte ausgegeben. Bei der Ausarbeitung der Fragen wurden die folgende Aspekte im besonderen berücksichtigt. Die Beantwortung der Fragen sollte keine hohen Gedächtnisleistungen oder besondere analytische Fähigkeiten

vom Personal abfragen, sondern intuitiv zu beantworten sein. Diese Aspekte waren wichtig im Hinblick auf die Motivation der Befragten, die sich letztlich auch auf den Rücklauf der Bögen auswirkte. Darüber hinaus war es gerade die alle intensivmedizinische Erfahrungen integrierende Antwort, die für die Evaluierung der mobilen CT im Rahmen dieser Arbeit im Vordergrund stehen sollte. Mit dem Fragebogen sollte die medizinische Erfahrung des Intensivpersonals für die Bewertung der mobilen CT genutzt werden. Anhand der standardisierten Antworten wurde eine orientierende Bewertung der mobilen CT durch das Personal ermöglicht. Zum Zweck der Standardisierung waren Antwortmöglichkeiten vorgegeben. Bei den Fragen, bei denen das Personal eine Wertung vornehmen musste (z.B. Patientenbelastung), gab es jeweils fünf Antwortmöglichkeiten. Diese waren im Sinne einer Nominalskala aufeinander abgestuft (**Tab. 2**).

Tabelle 2: Fragenkategorien und Antwortmöglichkeiten

Arbeits erleichterung	Stark erleichtert	Erleichtert	Gleich	Erschwert	Sehr erschwert
Patientenbelastung	Stark erniedrigt	Erniedrigt	Gleich	Erhöht	Stark erhöht
Logistischer Aufwand	Stark verbessert	Verbessert	Gleich	Verschlechtert	Stark verschlechtert
Integration in klinische Routine	Stark erleichtert	Erleichtert	Gleich	Verschlechtert	Stark verschlechtert
Bevorzugter Untersuchungsort	Interventionsraum	Patientenzimmer	Radiologische Abteilung		

3.6 Intensivmedizinische Punktwertssysteme (Scores)

3.6.1 Überlegungen zur Evaluation der Erkrankungsschwere

Der Gesundheitszustand der konsekutiv untersuchten Patienten war bei der Evaluierung des Einsatzfähigkeit der mobilen CT von besonderer Bedeutung. Die mobile CT könnte sich nämlich gerade bei der Diagnostik kritisch Kranker bewähren. Diejenigen Patienten, für die ein Transport in die radiologische Abteilung aufgrund ihrer Krankheitsschwere ein unkalkulierbares Risiko darstellt, könnten nun vor Ort auf der Intensivstation untersucht werden. Somit stünde bei auftretenden Komplikationen die gesamte medizinische Ausstattung der Intensivstation zur Behandlung unmittelbar bereit. Geleitet von dieser Überlegung wurden die Patienten retrospektiv anhand ihrer Akten mittels intensivmedizinischer Punktwertssysteme (Scores) auf ihren Gesundheitszustand am Tag der CT-Untersuchung evaluiert. Die in der

Literatur bereits für große Patientenkollektive validierten Scores sollten in der Kombination mit der jeweiligen Krankheit des Patienten und der Diskussion mit einem erfahrenen Intensivmediziner eine Abschätzung des Komplikationsrisikos beim Transport und der CT-Untersuchung erlauben. Die meisten Scores basieren auf dem Prinzip, die Erkrankungsschwere anhand der Abweichung physiologischer Parameter von ihrer Norm zu bewerten.

3.6.2 Das APACHE-System

Das bekannteste Punktwertsystem ist die Klassifizierung nach APACHE (Acute Physiology And Chronic Health Evaluation), von welchem es inzwischen drei Versionen gibt. Die ursprüngliche Version APACHE wurde 1981 von Knaus et al. publiziert [80]. Sie basiert auf der Bestimmung von 34 physiologischen Parametern in einem Zeitraum von 32 Stunden nach der Aufnahme des Patienten auf der Intensivstation. Dabei wird je nach Grad der Abweichung des Parameters von der Norm ein Punktwert von 0 (normal) bis 4 Punkten (maximale Abweichung) vergeben. Die Summe der Werte der einzelnen Parameter ergibt den APS (Acute Physiology Score). Demnach gilt, dass je höher der Punktwert ausfällt, desto stärker beeinträchtigt ist der Gesundheitszustand des Patienten. Wurden über den Evaluationszeitraum mehrere Werte eines Parameters bestimmt, so wird der mit der größten Abweichung gewichtet. Ein fehlender Wert geht mit 0 Punkten in die Wertung ein. Die Prognose des akuten Krankheitsbildes wird maßgeblich von der(n) Vorerkrankung(en) des Patienten beeinflusst. Daher lässt APACHE neben der akuten Krankheitsschwere auch die Krankheitsgeschichte des Patienten mit in die Bewertung einfließen. Je nach Anamnese wird dem APS noch ein Buchstabe (A, B, C, D) zur genaueren Charakterisierung der Erkrankungsschwere zugeordnet. Dabei bezeichnet der Buchstabe A einen guten Gesundheitszustand vor der Gesundheitsstörung, die zur Aufnahme auf die Intensivstation geführt hat. D hingegen charakterisiert Patienten mit einem schweren chronischen Organleiden. Die Anamnese, die durch B oder C gekennzeichnet wird liegt graduell dazwischen.

3.6.2.1 APACHE II

1985 publizierten Knaus et al. den APACHE II [43], den überarbeiteten Nachfolger der ursprünglichen Version. Das grundlegende Prinzip dieses erneuerten Systems ist gleich geblieben. Die Autoren beabsichtigten mit APACHE II ein Score-System zu etablieren, das in der klinischen Routine einfacher zu erheben ist. Die Zahl der zum

APS gehörigen Parameter hat sich von 34 auf 12 verringert. Weiterhin werden je Parameter und Grad der Abweichung vom Normalwert 0 bis 4 Punkte vergeben. 24 Stunden umfasst der Zeitraum, der für die Bestimmung der einzelnen Parameter angesetzt ist. Bei mehreren Bestimmungen eines Parameters in diesem Zeitraum wird der am meisten abweichende gewichtet. Anders als bei der ursprünglichen Version müssen für eine korrekte Erhebung des APACHE II alle physiologischen Parameter vorhanden sein. Bei Vorliegen eines akuten Nierenversagens geht die Punktzahl für den Kreatinin-Wert zweifach in die Wertung ein. Für den APS (**Tab.4**) werden die Einzelbewertungen addiert. Anders als sein Vorgänger bewertet APACHE II ebenso die Krankengeschichte des Patienten mit Punktwerten. Dafür werden fünf physiologische Systeme des Körpers evaluiert: Renales System, Hepatisches System, Kardiovaskuläres System, Pulmonales System und das Immunsystem. Bei Erfüllung bestimmter Kriterien addiert sich pro chronisch beeinträchtigtem System ein Punkt zum APS. Beispielsweise wird eine Herzinsuffizienz Grad IV nach NYHA mit einem Punkt für das kardiovaskuläre System bewertet. Ebenso verhält es sich mit einer COLD beim pulmonalen usw.. Im weiteren finden Operationen bei APACHE II Berücksichtigung. Notfalleingriffe werden mit 5 Punkten und elektive Operationen mit 2 Punkten gewichtet. Das Alter eines Patienten bestimmt wesentlich die Prognose des akuten Krankheitsbildes. In APACHE II werden 5 Altersklassen unterschieden, wobei Punktwerte von 0-6 entsprechend des Alters eines Patienten vergeben werden (**Tab.3**). Die maximale APACHE II-Punktzahl sind 71 Punkte.

Tabelle 3: Altersklassenbewertung in APACHE II

Lebensalter	≤ 44	45 – 54	55 – 64	65 – 74	≥ 75
Punktwert	0	2	3	5	6

Tabelle 4: Der APS des APACHE II, bei ANV Verdoppelung des Serumkreatininwertes, bei fehlendem arteriellem pH-Wert Verwendung von HCO₃

Physiolog. Parameter	Abweichung nach oben					Abweichung nach unten			
	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3	-4
Temperatur (°C)	≥41	39-40,9		38,5-38,9	36-38,4	34-35,9	32-33,9	30-31,9	≤29,9
Arterieller Mitteldruck (mmHg)	≥ 160	130-159	110-129		70-109		50-69		≤ 49
Herzfrequenz	≥ 180	140-179	110-139		70-109		55-69	40-54	≤ 39
Atemfrequenz	≥ 50	25-49		25-34	12-24	10-11	6-9		≤ 5
Oxygenierung (mmHg)									
FIO ₂ ≥ 0,5 A-aDO ₂	≥500	350-499	200-349		< 200				
FIO ₂ < 0,5 PaO ₂					> 70	61-70		55-60	< 55
Arterieller pH	≥ 7,7	7,6-7,69		7,5-7,59	7,33-7,49		7,25-7,32	7,15-7,24	< 7,15
Serum-Natrium (mMol/l)	≥ 180	160-179	155-159	150-154	130-149		120-129	111-119	≤ 110
Serum-Kalium (mMol/l)	≥ 7	6-6,9		5,5-5,9	3,5-5,4	3-3,4	2,5-2,9		< 2,5
Serum-Kreatinin (mg/100 ml)	≥ 3,5	2-3,4	1,5-1,9		0,6-1,4		< 0,6		
Hämatokrit (%)	≥ 60		50-59,9	46-49,9	30-45,9		20-29,9		< 20
Leukozyten (1000/mm ³)	≥ 40		20-39,9	15-19,9	3-14,9		1-2,9		< 1
Glasgow Coma Score (Score = 15 – GCS)									
Summe									
Venös HCO ₃ (mMol/l)	≥ 52	41-51,9		32-40,9	22-31,9		18-21,9	15-17,9	< 15

Eine dritte Version (APACHE III) wurde im Jahre 1991 ebenfalls von Knaus und seinen Mitarbeitern vorgestellt [42]. Die Verwendung dieser Version bringt einen erheblichen Mehraufwand für die Bestimmung des Punktwerts mit sich. Sie bietet geringe Vorteile gegenüber der zweiten APACHE-Version bei der Vorhersage der Letalität. Ansonsten korrelieren die Validitätskriterien von APACHE II und APACHE III eng. Grundsätzlich muss festgestellt werden, dass Punktwertsysteme allein nicht für eine Entscheidung bezüglich der Therapieplanung für einen Patienten herangezogen werden dürfen. Dafür ist ihre Vorhersagefähigkeit bezogen auf einen individuellen Patienten zu gering. Sie eignen sich jedoch, um Tendenzen bezüglich der Prognose für einen Patienten aufzuzeigen. Für die für diese Arbeit konsekutiv mit der mobilen CT untersuchten Patienten wurde jeweils der APACHE II-Score des Aufnahmetags erhoben. Jedoch wurden nur fünf Patienten des Patientenkollektiv am Aufnahmetag untersucht.

3.6.3 Bestimmung der Erkrankungsschwere im Verlauf der Intensivbehandlung

Da aber vor allem der Gesundheitszustand der Patienten am Untersuchungstag von Bedeutung war, wurden noch zwei weitere Score-Systeme eingesetzt. Für die Evaluierung der Erkrankungsschwere am Untersuchungstag wurden der MODS und der TISS 28 verwendet. Beide können täglich bestimmt werden.

3.6.4 Die Wahrscheinlichkeit der Entwicklung eines Multiorganversagens

Der MODS (Multiple Organ Dysfunction Score) wurde 1995 von Marshall et al. publiziert [50]. Die Grundlage dieses Punktwertsystems ist das Multi-Organversagen, als Haupttodesursache auf der Intensivstation. Obwohl dieses Syndrom ein recht einheitliches Erscheinungsbild bietet, entwickelt es sich unabhängig von der Gesundheitsstörung bei der Aufnahme des Patienten auf der Intensivstation. Das Prinzip der Werteerhebung des MODS ähnelt dem des APS des APACHE-Systems. Für die Bestimmung des MODS ist die Analyse von sechs Organsystemen erforderlich (**Tab.5**). Durch diese Auswahl sind die wichtigsten physiologischen Systeme, die im Prozess des Multi-Organversagens involviert sind, repräsentiert. Auch beim MODS werden dem Grad der Abweichung des jeweiligen Parameters von der Norm entsprechend Punktwerte von 0 bis 4 vergeben. Es ist nicht notwendig, dass jeder Parameter erhoben wird. Ein fehlender Wert geht mit 0 Punkten in die Wertung ein. Das Ziel, das die Autoren mit der Entwicklung dieses Scores verfolgten war es, ein System hervorzubringen, das in erster Linie den intensivmedizinischen Therapieerfolg quantifiziert. Die prognostische Wertigkeit des MODS war von sekundärer Bedeutung. Jedoch zeigte es sich bei bestimmten Studien, dass sich der MODS bei der Mortalitätsprognose teilweise besser verhielt als der APACHE II. Für diese Arbeit war von Interesse, die Erkrankungsschwere der Patienten am Untersuchungstag zu bestimmen. Auch hier war die Prognose des Patienten bezüglich seiner krankheitsbedingten Mortalität von untergeordneter Bedeutung. Vielmehr sollte der Score in Kombination mit der jeweiligen Diagnose Aufschluss über das Risiko geben, die die CT-Untersuchung mit sich brachte. Dafür eignete sich der MODS am besten, nicht zuletzt aufgrund seiner unkomplizierten Bestimmung. Der Hauptgrund war jedoch, dass nur wenige der Patienten in dieser Arbeit am Aufnahmetag computertomographisch untersucht wurden. Ein Wert, der nur die

Prognose des Patienten schätzt, war für die Evaluierung der mobilen CT ohne Bedeutung, da die Untersuchungen bezüglich des Aufnahmetags zu sehr unterschiedlichen Zeitpunkten stattfanden. Es ist davon auszugehen, dass sich der Zustand im Zeitintervall von Aufnahme bis zum Untersuchungszeitpunkt sehr variabel gestaltete.

Tabelle 5: Evaluierte Organsysteme im MODS

Organ-System	Punktwert				
	0	1	2	3	4
Atmung (PO2/FIO2)	> 300	226 - 300	151 - 225	76 - 150	≤ 75
Niere (Serum-Kreatinin)	≤ 100	101 - 200	201 - 350	351 - 500	> 500
Leber (Serum-Bilirubin)	≤ 20	21 - 60	61 - 120	121 - 240	> 240
Herz- /Gefäße (Druck angepasste Herzfrequenz)	≤ 10,0	10,1 - 15,0	15,1 - 20,0	20,1 - 30,0	> 30,0
Blutbildung (Anzahl der Thrombozyten)	> 120	81 - 120	51 - 80	21 - 50	≤ 20
Zentrales Nervensystem (ZNS) (Glasgow Coma Score)	15	13 - 14	10 - 12	7 - 9	≤ 6

3.6.5 Indirekte Evaluierung der Erkrankungsschwere durch Pflegepunktwertsysteme

Das zweite Punktwertsystem, das für die tägliche Abschätzung des Gesundheitszustands geeignet ist und in dieser Arbeit verwendet wurde, ist der TISS 28 (Therapeutic Intervention Scoring System 28)[19]. Durch den Einsatz dieses Scores sollte eine präzisere Aussage bezüglich des Gesundheitszustands des Patienten ermöglicht werden. Beim TISS 28 handelt es sich um eine vereinfachte Form des ursprünglichen TISS[37]. Das Prinzip, das diesen Score-Systemen zugrunde liegt, unterscheidet sich zu dem der bisher abgehandelten. Beim APACHE

und MODS wird unmittelbar der Zustand des Patienten über die Messung physiologischer Parameter charakterisiert. TISS und TISS 28 jedoch bewerten indirekt die Erkrankungsschwere des Patienten über die therapeutischen und pflegerischen Maßnahmen, die seine Behandlung erfordert (**Tab.6**). Der ursprüngliche TISS wurde im Jahre 1974 von Cullen und seinen Mitarbeitern vorgestellt und hat im Jahre 1983 eine Erweiterung erfahren [52]. TISS wird hauptsächlich dafür verwendet, den Pflegeaufwand auf Intensivstationen zu ermitteln, damit Empfehlungen für das Personal-Management gegeben werden können. So machen TISS und TISS 28 beispielsweise Angaben darüber, dass eine Pflegekraft pro Tag eine Arbeit leisten kann, die 40-50 Punkten entspricht. Dennoch lässt dieses System eine Abschätzung der Erkrankungsschwere eines Patienten aufgrund seiner Pflegebedürftigkeit zu. Zusammen mit den Scores, die auf der Bestimmung physiologischer Parameter basieren, kann hier eine präzisere Aussage über den Zustand des Patienten getroffen werden. Dies ist vor allem vor dem Hintergrund zu sehen, dass abweichende physiologische Parameter therapeutische Interventionen nach sich ziehen. Und umgekehrt wird durch die Therapie versucht, die Homöostase wiederherzustellen. Letzteres hat bei Erfolg der Maßnahmen zur Konsequenz, dass sich ein in Relation zum APS hoher TISS-Wert ergibt. Für die Bestimmung des TISS 28 ist eine Liste mit 28 pflegerischen / therapeutischen Maßnahmen abzuarbeiten, die jeweils mit verschiedenen hohen Punktzahlen bewertet werden (Tab. 3.6.7.1). Beim ursprünglichen TISS waren es zunächst 59 Maßnahmen (1974), die nach der Erweiterung im Jahre 1983 auf dann 76 erweitert wurden. Da sich manche der in der Liste aufgeführten Maßnahmen gleichzeitig an einem Patienten ausschließen, ist klar, dass nicht alle Maßnahmen für die Erhebung des TISS 28 notwendig sind. Es gibt vier Parameterpaare, die sich innerhalb einer Score-Erhebung ausschließen:

1. Einmalmedikation vs. mehrfache i.v.-Medikation
2. Maschinelle Beatmung vs. Oxygenierungshilfen
3. Mehrfache vasoaktive Medikation vs. einmalige vasoaktive Medikation
4. Mehrmalige spezielle Maßnahmen vs. einmalige spezielle Maßnahmen

Ein Ziel von Miranda et al. war es, dass die TISS 28-Werte mit den TISS-Werten korrelieren, damit die bisher auf Grundlage des TISS durchgeführten Studien für Vergleichszwecke weiterhin Gültigkeit haben. Die Korrelation des TISS 28 mit TISS

beträgt $r = 0.96$ bzw. $r^2 = 0.93$ [20]. Ein Punktwert von größer 40 kennzeichnet einen Patienten, der eine intensivmedizinische Maximaltherapie bedarf [28].

3.6.6 Korrelation der verwendeten Punktwertsysteme

Zur Kontrolle der Validität der verwendeten Punktwertsysteme (MODS und TISS 28) wurde eine Korrelation der Werte vorgenommen. Hierfür wurden die TISS 28-Werte in Gruppen unterteilt:

1. Gruppe 1: 20-29 TISS 28-Punkte
2. Gruppe 2: 30-39 TISS 28-Punkte
3. Gruppe 3: 40-49 TISS 28-Punkte
4. Gruppe 4: > 50 TISS 28-Punkte

Die MODS-Werte der Patienten wurden den jeweiligen TISS 28-Gruppen zugeordnet (siehe Ergebnisteil).

Tabelle 6: TISS 28 Maßnahmenkatalog und zugehörige Punktwerte. Kursiv gedruckte Maßnahmen innerhalb einer Kategorie schließen sich aus und können nicht gleichzeitig bei derselben Score-Bestimmung erhoben werden

Maßnahmenkatalog	Punkte
Basis-Maßnahmen	
Standard-Überwachung (stündl. Vitalparameter, Flüssigkeitsbilanz,...)	5
Labor (biochemische und mikrobiologische Tests)	1
<i>Einmalmedikation</i> (i.v., i.m., s.c., oral, intratracheal)	2
<i>Mehrmalige i.v.-Medikation</i> (mehr als ein Medikament, kontinuierliche Gabe)	3
Routine-Verbandwechsel (Dekubitusprophylaxe / -versorgung, Verbandwechsel)	1
Häufige Verbandwechsel und ausgedehnte Wundversorgung (mind. 1x pro Schicht)	1
Drainagepflege (alle außer Magendrainage)	3
Beatnungsmaßnahmen	
<i>Maschinelle Beatmung</i> (jede Form d. masch. Beatmung +/- Muskelrelaxantien, Spontanatmung mit PEEP)	5
<i>Oxygenierungshilfen</i> (Spontanatmung mit Tubus ohne PEEP, O ₂ -Applikation ohne Beatmungsparameter)	2
Pflege von künstlichen Atemwegen (Endotrachealtubus, Tracheostoma)	1
Atmungstherapie (Thoraxphysiotherapie, Stimulationsspirometrie, Inhalationstherapie, intratracheales Saugen)	1
Kardiovaskuläre Maßnahmen	
<i>Einmalige vasoaktive Medikation</i> (jedes vasoaktive Medikament)	3
<i>Mehrfache vasoaktive Medikation</i> (mehrere Dosen desselben oder verschiedener Medikamente)	4
I.v.-Ersatz von Volumenverlusten (Volumenersatz von mehr als 3l/m ² /d, Art des Ersatzmittels bedeutungslos)	4
Peripherer arterieller Katheter	5
Monitoring des linken Vorhofs (Pulmonalarterienkatheter mit oder ohne Herzauswurfsleistung)	8
Zentraler Venenkatheter (ZVK)	2
Herzwerdenbelebung nach Stillstand (bezogen auf die letzten 24 h, einmaliger Präkordialschlag zählt nicht)	3
Renale Maßnahmen	
Hämodilutionstechniken (Dialysetechniken)	3
Quantitative Urinvolumenbestimmung (z.B. mittels Blasenkatheter)	2
Aktive Diurese (z.B. mit Furosemid mehr als 0,5 mg/kg/d bei Flüssigkeitseinlagerung)	3
Neurologische Maßnahmen	
Messung des Hirndrucks	4
Metabolische Maßnahmen	
Behandlung von komplizierter metabolischer Alkalose/Azidose	4
I.v. Überernährung	3
Enterale Ernährung	2
Spezielle Maßnahmen	
<i>Einmalige spezielle Maßnahmen</i> (Endoskopie, Intubation, Kardioversion, Notfall-OP, Röntgen, Echographie,...)	3
<i>Mehrmalige spezielle Maßnahmen</i> (mehrfache Notwendigkeit der oben beschriebenen Maßnahmen)	5
Spezielle Maßnahmen außerhalb der Intensivstation (Operation, CT)	5

3.7 Auswertung der Patientenfälle mit einem erfahrenen Intensivmediziner

Anhand der Akten wurden die konsekutiv untersuchten Patienten für den jeweiligen Untersuchungstag durch einen erfahrenen Intensivmediziner bezüglich der Transporteignung und der CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung bewertet. Zusätzlich wurde durch den Intensivmediziner eine Einschätzung vorgenommen, inwieweit eine dringliche Indikation zur CT-Untersuchung vorgelegen hatte. Hierfür wurden die Indikationen anhand einer Skala von 1 (dringend indiziert) bis 5 (nicht indiziert) bewertet. Dem Intensivmediziner waren die Patientenfälle durch seine Arbeit auf der nephrologischen Intensivstation bekannt. Die Ergebnisse der Patientenanalyse nach den einzelnen intensivmedizinischen Punktwertsystemen waren dem Intensivmediziner nicht bekannt.

3.8 Mobile computertomographische Einheit Tomoscan M

3.8.1 Allgemeines

In der vorliegenden Studie wurde der mobile Computertomograph Tomoscan M der Firma Philips (Utrecht) verwendet. Das Gerät besteht aus den drei Komponenten Gantry, Untersuchungstisch und Steuerkonsole, von denen jede auf vier Rollen für den mobilen Einsatz gelagert ist. Für die Anfertigung einer CT-Untersuchung sind nur die Gantry und die Steuerkonsole unverzichtbar. Aufgrund der Möglichkeit von Translationsbewegungen der Gantry lassen sich kranielle CT-Untersuchungen auch dann durchführen, wenn der Patient in seinem Bett liegt. Die modulare Bauweise des Tomoscan M ist eine wesentliche Grundlage seiner Mobilität. Die einzelnen Komponenten können schnell und unkompliziert über Steckverbindungen voneinander getrennt und separat transportiert werden. Für den Transport der einzelnen Komponenten bedarf es auf ebenen Strecken jeweils nur einer Person. Besonders bezüglich der Gantry, die mit 460 kg die schwerste Komponente darstellt, ist es jedoch wesentlich praktikabler, wenn mindestens zwei Personen für den Transport des Geräts zur Verfügung stehen. Die Computerkonsole und die Gantry verfügen jeweils über eigene Netzstecker für die externe Stromversorgung. Bei vollem Ladezustand der Akkumulatoren können mehrere CT-Untersuchungen unabhängig vom Stromnetz durchgeführt werden, was einen weiteren Aspekt des mobilen Konzepts des Tomoscan M darstellt. An jeder der Komponenten ist ein Not-Stopp-Schalter angebracht, mit dem bei Bedarf alle Aktionen der CT-Einheit sofort gestoppt werden können. Der Elektronengenerator (Varian GS 298) leistet 6,5 kW

bei einer Röhrenspannung von wahlweise 120 kV oder 130 kV und einer Stromstärke von maximal 50 mA. Die Anode leistet nominal 15 W und besteht aus einer Rhenium-Wolfram-Legierung, die auf einer Molybdän-Graphit-Platte aufgebracht ist.

3.8.2 Maße und Gewichte

Für einen Computertomographen sind die Abmessungen und die Gewichte der einzelnen Komponenten sehr gering. Die Gantry passt wie ein Patientenbett bequem in die Fahrstühle des Klinikums, was eine wesentliche Voraussetzung für ihre Mobilität ist. Das Gesamtgewicht der CT-Einheit liegt mit 800 kg deutlich unter einer Tonne. Davon entfällt mit 460 kg ein Großteil des Gewichts auf die Gantry, was die oben erwähnte Schwerfälligkeit des Geräts erklärt. Mit knapp 1,9 m in der Breite und Höhe, sowie ca. 90 cm in der Tiefe hat die Gantry für einen Computertomographen recht geringe Abmessungen. Bei bestimmten Untersuchungen oder Fragestellungen wie einer kraniellen CT (CCT) bedarf es eines gekippten Gantry-Winkels, was bei der äußersten Einstellung den Platzbedarf in der Tiefe um etwa 34 cm erhöht. Über einen Bereich von -25° bis 30° und in Schritten von $0,1^\circ$ lassen sich die Winkelstellungen der Gantry wählen. Eine Sagittalbewegung der Gantry ist über einen Bereich von 35 cm möglich, was eine CT-Untersuchung direkt am Patientenbett erleichtert. Der Durchmesser der Untersuchungsöffnung beträgt 60 cm, was für die untersuchten Patienten mindestens ausreichend war. Der Untersuchungstisch wiegt 240 kg und liegt damit vom Gewicht her in der Mitte der drei Komponenten. Die vier Rollen unter dem Tisch sind sehr leichtgängig, weshalb diese Komponente schnell und einfach von einer Person zu bewegen ist. Das höchstzulässige Patientengewicht ist mit 160 kg spezifiziert. Allerdings wird die volle elektrische Kontrolle über die Tischfunktionen nur bis zu einer Masse von maximal 140 kg garantiert. Ca. 65 cm beträgt die Mindesthöhe der Liege. Die Höhe ist je nach Untersuchungsanforderungen bis zu 103 cm einstellbar, wobei auf einen Millimeter genau skaliert werden kann. Der Tisch weist eine Breite von 84 cm auf, wovon etwa 40 cm auf die Patientenliege entfallen. Die Tiefe des Untersuchungstisches ist 2,29 m. Die sagittale Verstellbarkeit der Untersuchungsliege beträgt 150 cm, wovon 129 cm für die Bilddatenakquisition zur Verfügung stehen (mit optionalem Kopfteil 150 cm für CT-Aufnahmen). Bei minimaler Tischvorschubgeschwindigkeit (5,5 cm/s) kann der gesamte Aufnahmebereich der Liege in ca. 27 s untersucht werden. Die Patientenliege verfügt über einen Kern, der aus wabig strukturiertem Karbon besteht, was ihr besondere Stabilität bei extremen Untersuchungsstellungen verleiht. In

maximal ausgefahrenem Zustand und bei gleichmäßiger Belastung der Liege mit 150 kg verbiegt sich das Kopfende maximal 1,5 cm nach unten. Die Computerkonsole stellt die Steuerzentrale des Geräts dar. Sie besteht aus einem kleinen fahrbaren Tisch, auf dem der Steuercomputer und seine Komponenten (Monitor, Laufwerke, Spannungsüberbrückung) untergebracht sind. Das Gesamtgewicht beträgt 100 kg. Die Abmessungen betragen ca. 130 cm in der Höhe (inkl. Monitor), 50 cm in der Breite und Tiefe. Ein Untersuchungsraum, in dem alle Komponenten der CT-Einheit bequem Platz finden, sollte mindestens 19 qm (5,4m x 3,5m) aufweisen.

3.8.3 Stromversorgung

Wie schon erwähnt besitzt der Tomoscan M Stromakkumulatoren, die über Netzsteckdosen gespeist werden und das Gerät unabhängig von externen Stromquellen macht. Die Gantry verfügt über fünf 48 V Akkus, wovon sich vier im Detektorengehäuse und einer im Chassis befinden. Die Maximalkapazität beträgt 5,9 MJ, was theoretisch für 160 Bilder bei 100 mA ausreicht. Das Aufladen bis zum Erreichen der maximalen Kapazität dauert ca. 164 Minuten bei einer Geschwindigkeit von 36 kJ pro Minute. Im Untersuchungstisch sind zwei 48 V Akkus untergebracht, die eine elektrische Steuerung der Tischfunktionen (Höhenverstellbarkeit) unabhängig von der Gantry erlauben. Da jedoch der Untersuchungstisch die einzige Komponente der CT-Einheit ohne eigenes Kabel für die externe Stromversorgung ist, kann das Aufladen der Akkus nur über die Gantry erfolgen. Die Computerkonsole verfügt ebenso wie die Gantry über ein eigenes Kabel für die externe Stromversorgung. Auch sie kann unabhängig vom Netzstrom arbeiten, da die Konsole im Notstrom über eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) gespeist wird.

3.8.4 Steuerung

Über die Computerkonsole (Sparc Workstation) werden die untersuchungsrelevanten Parameter (z.B. Pitch, Schichtkollimation, Stellung der Gantry, etc.) eingestellt. Nach der Untersuchung findet hier auch die Nachbearbeitung statt, in der die Bilder aufgearbeitet werden. Von hier aus kann der Radiologe die Bildinformationen über das Netzwerk des Klinikums an den Drucker in der radiologischen Abteilung versenden. Auch ist es möglich, die Bilder an einen beliebigen Rechner im Netzwerk zu Dokumentationszwecken zu verschicken. Am Chassis der Gantry ist zu beiden Seiten der Liege je ein Bedien- und Kontrollfeld angebracht. Von hier aus lassen sich

über Steuertasten Einstellungen wie Sagittalbewegung der Gantry, Gantry-Winkel oder auch die Steuerung der Liege vornehmen. Über die Displays können der Gantry-Winkel und die Position des Tisches abgelesen werden. Am Tisch selbst kann im entkoppelten Zustand nur die Höheneinstellung der Liege vorgenommen werden sowie über einen Not-Stoppsschalter alle Aktionen der CT-Einheit unterbrochen werden.

3.8.5 Die Strahlenerzeugung

Der Elektronengenerator (Varian GS 298) leistet 6,5 kW bei einer Röhrenspannung von wahlweise 120 kV oder 130 kV und einer Stromstärke von maximal 50 mA. Die Anode besteht aus einer Rhenium-Wolfram-Legierung, die auf einer Molybdän-Graphit-Platte aufgebracht ist. Sie leistet nominal 15 kW und ist in einem Winkel von 12° zum Elektronenstrahl angeordnet. Für eine balancierte Wärmeverteilung dreht sich der Anodenteller mit einer Geschwindigkeit von 3000 rpm. Seine maximale Hitzekapazität beträgt 445 kJ. Die Wärmeabgabe der Anode liegt bei etwa 93 kJ pro Minute. Zum Schutz vor Überhitzung dient ein Öl-Kreislauf. Das zur Kühlung verwendete Öl wiederum gibt die überschüssige Wärmeenergie an durch zwei Ventilatoren beschleunigte Luft ab. Nach voller Hitzebeanspruchung (445 kJ) dauert die Abkühlung auf 25 % (111,25) des Maximalwerts etwa 20 Minuten. Der erzeugte Röntgenstrahl wird durch eine Aluminium-Kupfer-Legierung, die einer Dicke von 2,7mm Aluminiumäquivalent entspricht, aufgehärtet. Der 48° einschließende Detektor besteht aus 384 Elementen, exklusive 16 Referenzkanäle, die neben der Röhre angeordnet sind.

3.8.6 Rechnerkonsole

Es handelt sich bei der Computerkonsole um eine voll Multitasking fähige Unix & Windows Sparc-Workstation. Sie verfügt über 32 MB RAM an einem 32 Bit Bus. Als Massenspeicher dient eine 2 GB SCSI-Festplatte. Als externes Speichersystem kommt ein 644 MB MO-Laufwerk zum Einsatz, das pro Medium 1000 Bilder mit einer 512² Matrix aufnehmen kann.

3.9 *Interventionsraum der nephrologisch orientierten Intensivstation*

Die Evaluierung der mobilen CT fand größtenteils im Interventionsraum (**Abb.3**) der nephrologisch orientierten Intensivstation des Universitätsklinikums Charité Campus Virchow-Klinikum statt. Das Konzept des Raumes sah den Einsatz der

interventionellen Durchleuchtung vor, weshalb die Wände a priori mit einer Bleiabschirmung versehen wurden. Dies erleichterte die Abnahme des mobilen CT-Gerätes bezüglich der Bestimmungen des Strahlenschutzes. Für den Betrieb des Geräts musste der benachbarte Korridor, der außerhalb der Station gelegen ist, abgesperrt werden. Dadurch wurden Personen vor einer Strahlenexposition gewarnt, bevor sie sich während einer Untersuchung in den Kontrollbereich begeben konnten. Die Tür zum Stationskorridor wurde während der CT-Untersuchung geschlossen und mit einem Warnschild versehen. Darüber hinaus wurde eine Warnleuchte eingeschaltet.

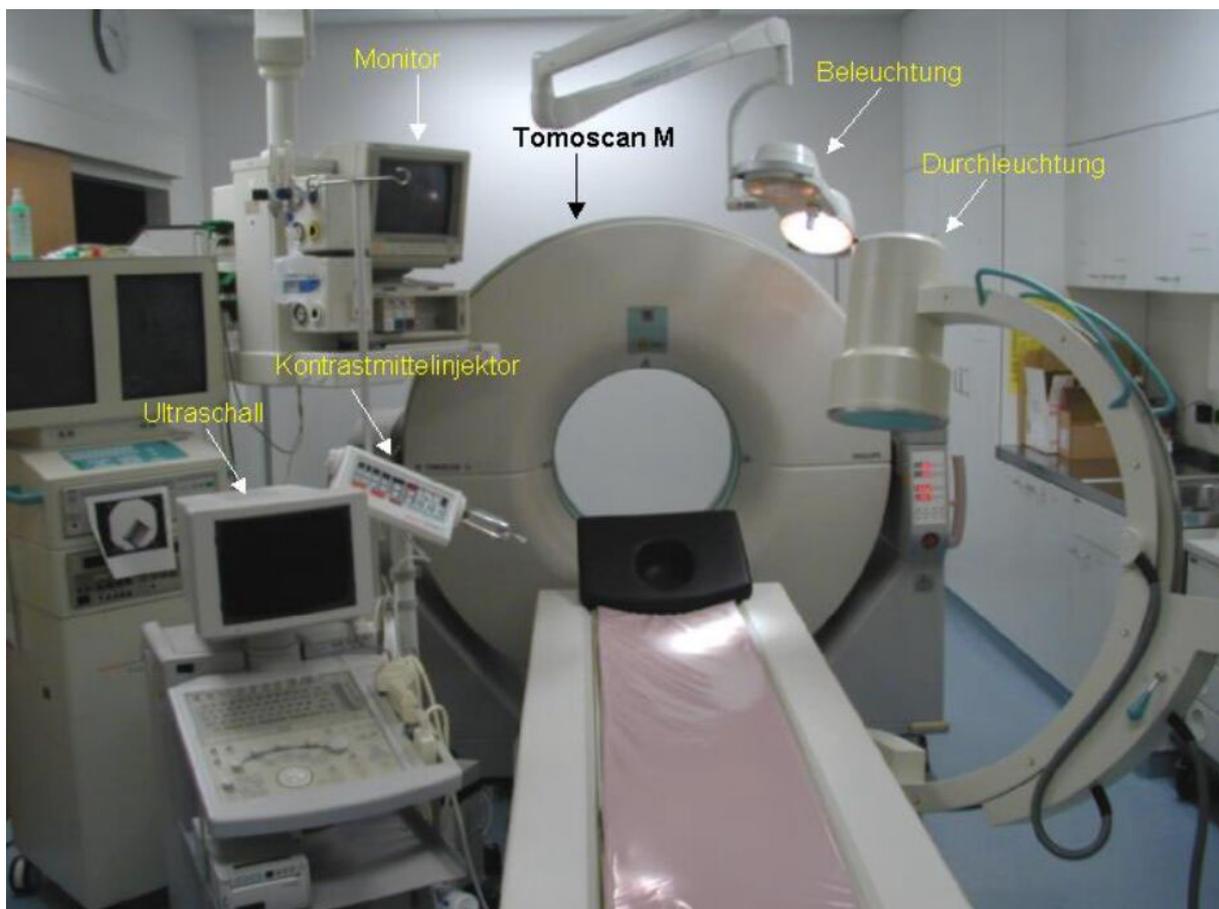


Abb. 3 Interventionsraum

3.10 Auflagen des LAGetSi bezüglich der Genehmigung die mobile CT im klinischen Alltag zu betreiben

Eine Änderung der Strahlenschutzverantwortung war unverzüglich der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde anzuzeigen. Der Genehmigungsbescheid war den zuständigen Strahlenschutzbeauftragten zur Kenntnisnahme vorzulegen. Jede Ortsveränderung der CT-Einheit war mit Datumsangabe zu dokumentieren. Im vierteljährigen Abstand mußten die Ortsveränderungen des Computertomographen

der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde schriftlich mitgeteilt werden. Jeder neue Aufstellungsort bzw. jede neue Betriebsposition der CT-Einheit erforderte eine erneute Sachverständigenprüfung und eine vorherige Anzeige an die atomrechtliche Aufsichtsbehörde. Während des Betriebes des Computertomographen ist der Betriebsraum Kontrollbereich. Es war durch organisatorische Maßnahmen sicher zu stellen, dass sich während des Betriebs keine Personen außer des Patienten und soweit erforderlich Anwender in diesem Bereich aufhielten. Der Computertomograph sowie die zugehörige Steuerkonsole waren auf den von dem Sachverständigen nach ortsdosimetrischen Festlegungen markierten Flächen aufzustellen. Nach spätestens drei Monaten nach Aufnahme des Betriebes des Computertomographen waren der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde die Dosiswerte frei Luft in der Systemachse für die üblicherweise verwendeten Untersuchungsparameter auf einem Formblatt mitzuteilen. Der Genehmigungsbescheid ist zurückzugeben, wenn der Betrieb des Computertomographen eingestellt oder die Genehmigung unwirksam wurde.

4 Ergebnisse

4.1 Zeitnahmen

4.1.1 Zusammenfassung der Zeitnahmen

Die durchschnittliche Gesamtzeit, die der Untersuchungsvorgang mit der mobilen CT dauerte, war verglichen mit der Untersuchung in der radiologischen Abteilung um 9 Minuten geringer: 55 (47-76) Minuten mobile CT, 65 (51-84) Minuten ortsfeste CT. Erhebliche Unterschiede waren bezüglich einzelner Arbeitsschritte der CT-Untersuchung zu verzeichnen. Die Untersuchung mit der mobilen CT bot eine erheblich kürzere Transferzeit als die CT in der radiologischen Abteilung. Die reine Transportzeit bei der CT in der radiologische Abteilung ohne die Wartezeiten auf den Transportdienst war noch einmal wesentlich geringer als die Transferzeit. Bei der CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung kam es häufig zu längeren Wartezeiten auf den Transportdienst, was die Dauer des Transfers erhöhte. Der zeitliche Nachteil, den die CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung bot, wurde durch die kürzere durchschnittliche Dauer der eigentlichen Untersuchung (Topogramm und Bildakquisition) wieder ausgeglichen. Die Erstellung des Topogramms gestaltete sich bei der mobilen CT deutlich länger als in der radiologischen Abteilung. Die Mediane der Bildakquisitionszeiten wichen zum Nachteil der Untersuchung mit der mobilen CT ebenfalls recht deutlich voneinander ab. Weiterhin unterschieden sich die Untersuchung mit dem mobilen CT von der in der radiologischen Abteilung hinsichtlich der Zeiten, die das Umlagern des Patienten benötigte. Die Mediane der Zeiten in der radiologischen Abteilung sind für das Umlagern auf den CT-Untersuchungstisch und das Zurücklagern des Patienten auf das Bett jeweils kleiner als bei der Untersuchung mit der mobilen CT. Das an den Umlagerungen beteiligte Personal war im Durchschnitt bei der mobilen CT geringer als in der radiologischen Abteilung. Die zeitlichen Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungsmethoden für die Vorbereitung des Patienten für den Transport und die Untersuchung und seiner Wiedereinbindung in den Intensivplatz waren gering.

4.1.2 Transferzeiten von den Zimmern zu den CTs

Minuten

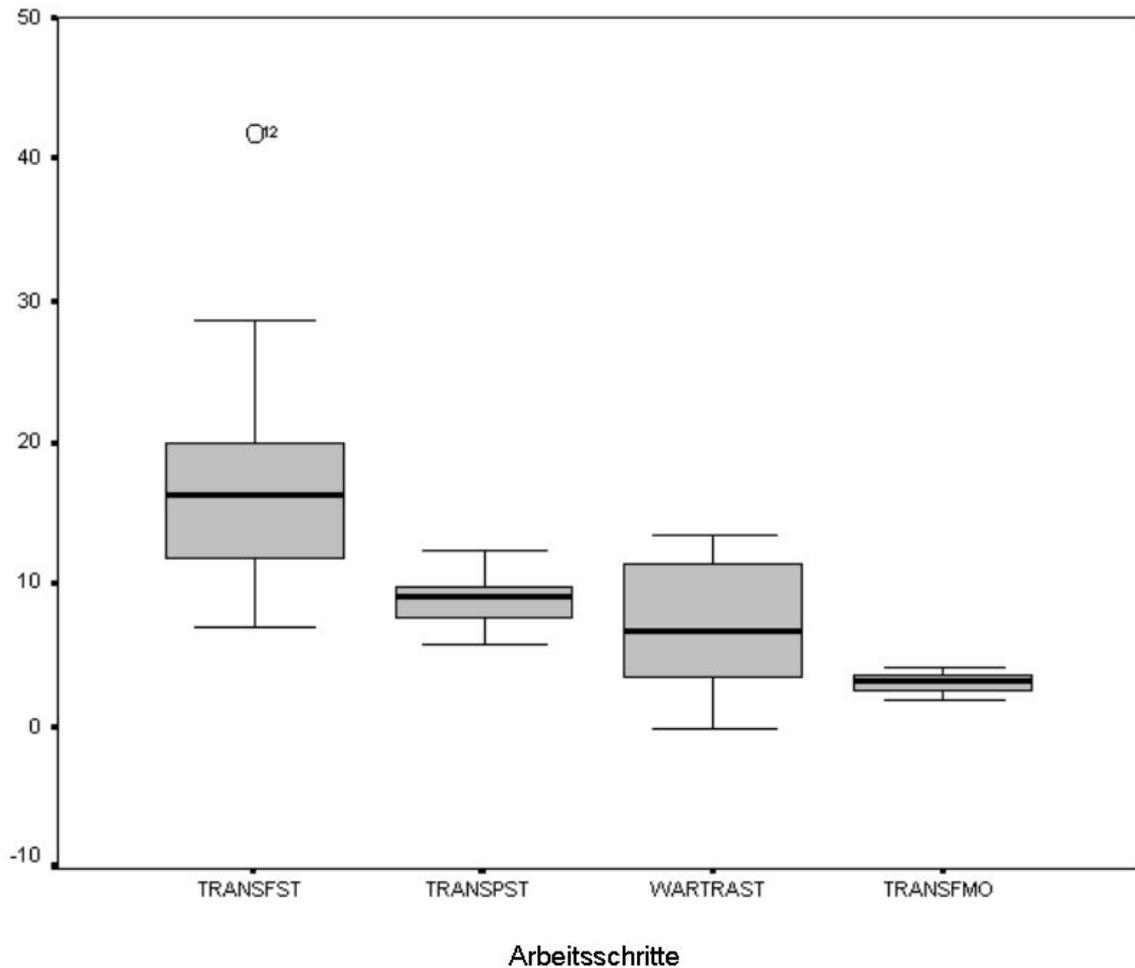


Abb. 4 Transferzeiten von den Zimmern zu den Geräten. Dargestellt ist die Boxplotanalyse der Transferzeiten (n=22) zur mobilen oder zur ortsfesten CT. Die Transferzeit zur ortsfesten CT (TRANSFST) ist deutlich höher als zur mobilen CT (TRANSFMO) im Interventionsraum. Bei der mobilen CT gab es keine Verzögerungen durch Warten auf den Transportdienst oder ein nicht einsatzfähiges Gerät. Die reine Transportzeit (TRANSPST) zu der ortsfesten CT ist deutlich geringer als die zugehörige Transferzeit. Die Transferzeit setzt sich aus der Transportzeit und der Wartezeit auf den Transportdienst (WARTRAST) zusammen.

4.1.3 Zeitdauer der Topogrammerstellung und der Bildakquisition

Minuten

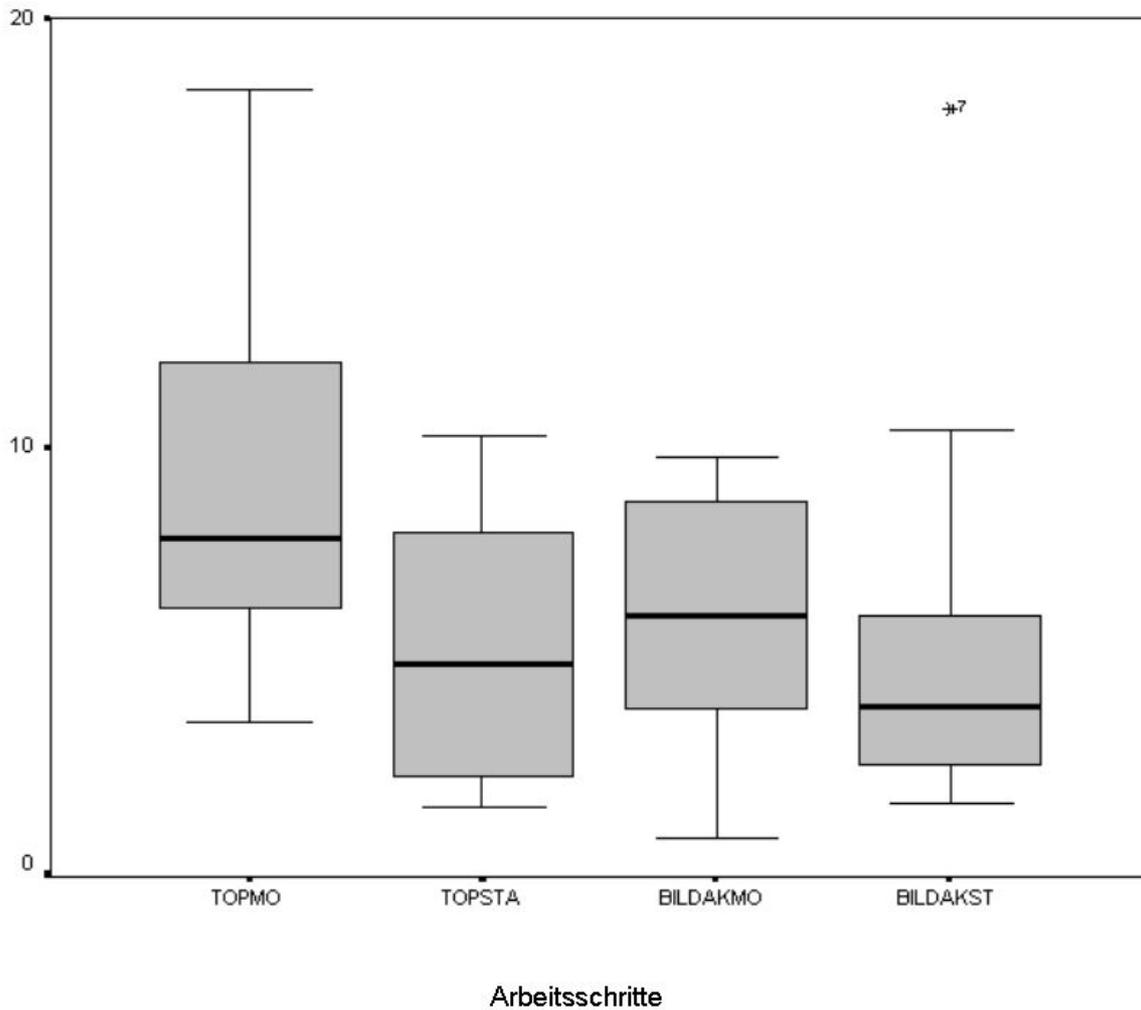


Abb. 5 Zeitdauer der Topogrammerstellung und der Bildakquisition. Die Abbildung zeigt die Boxplotanalysen der Zeitdauer der eigentlichen Untersuchungsvorgänge (n=22). Sowohl die Erstellung des Topogramms (TOPMO), als auch die Bildakquisition (BILDAKMO) dauerten mit der mobilen CT länger als die Topogrammerstellung und Bildakquisition in der radiologischen Abteilung (TOPSTA, BILDAKST).

Minuten

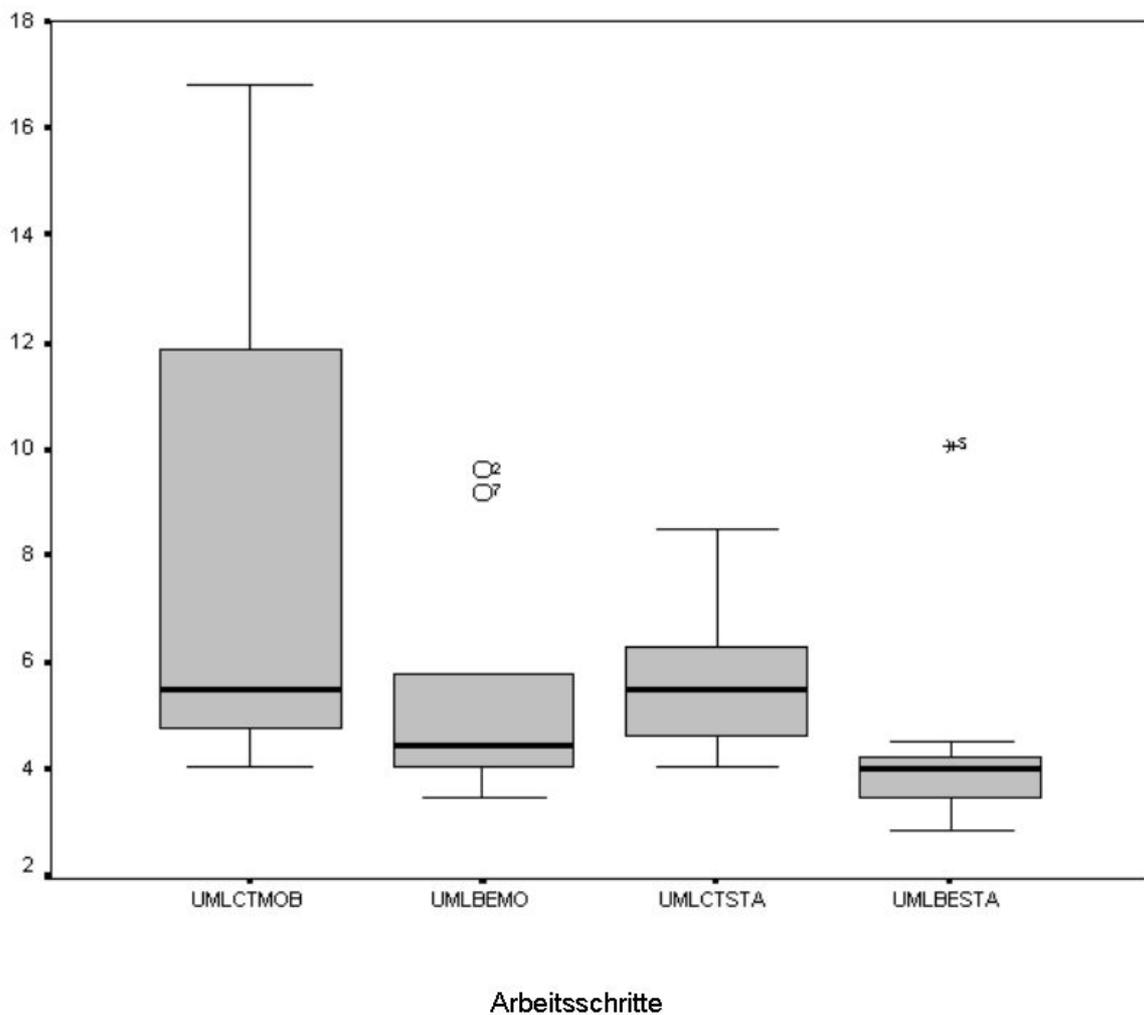


Abb. 6 Zeitdauer der Umlagerungen. Die Boxplotdarstellungen des zeitlichen Aufwands für die Umlagerung der Patienten (n=22) zeigen, dass dieser Vorgang bei der CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung weniger Zeit benötigte. Das Lagern des Patienten auf den Untersuchungstisch der mobilen CT (UMLCTMOB) dauerte tendenziell deutlich länger als das Umlagern auf die Untersuchungsliege der ortsfesten CT (UMLCTSTA) in der radiologischen Abteilung. Ähnlich verhielt es sich mit dem Umlagern vom Untersuchungstisch zurück auf das Bett (UMLBEMO = Umlagern des Patienten von Liege der mobilen CT auf das Bett; UMBESTA = Umlagern des Patienten von der Liege der ortsfesten CT auf das Bett).

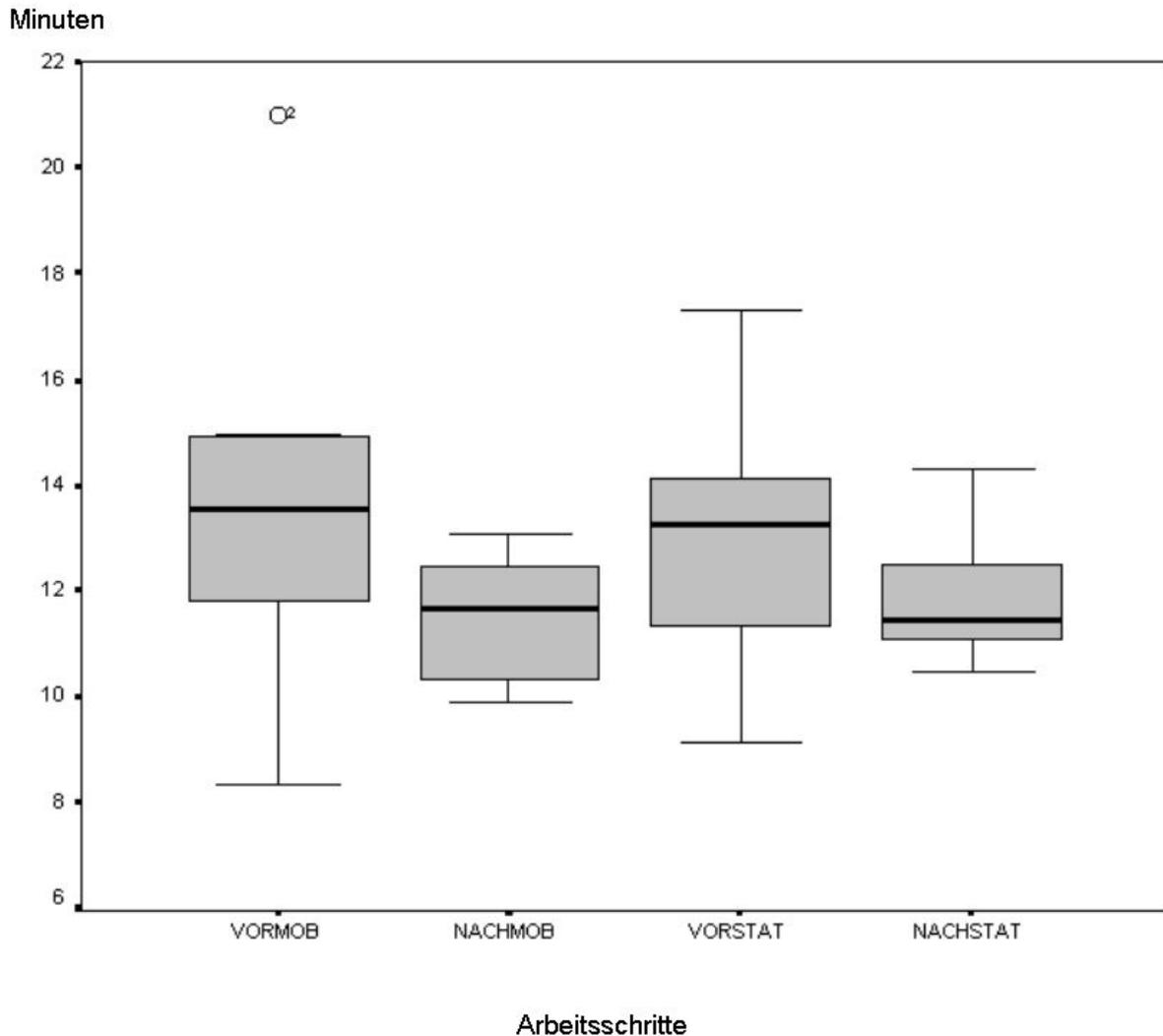


Abb. 7 Zeitdauer der Patientenvor und Nachbereitungszeiten. Der Boxplotanalyse der Vor- und Nachbereitungszeiten (n=22) für die CT-Untersuchungen mit der mobilen CT (VORMOB / NACHMOB) oder in der radiologischen Abteilung (VORSTAT / NACHSTAT) zeigen, dass sich beide Methoden diesbezüglich nur geringfügig unterscheiden.

4.2 Distanzbestimmungen

Die kürzeste Wegstrecke auf der Intensivstation zur mobilen CT im Interventionsraum lag bei 11 Metern. Die längste Distanz maß 67 Meter. Dagegen betrug die kürzeste Entfernung von einem Patientenzimmer der anderen Intensivstationen zur nächstgelegenen CT 68 Meter. Die größte Wegstrecke über 407 Meter ist von der nephrologischen Intensivstation zur CT 1 in der radiologischen Abteilung zurückzulegen (**Abb. 8**).

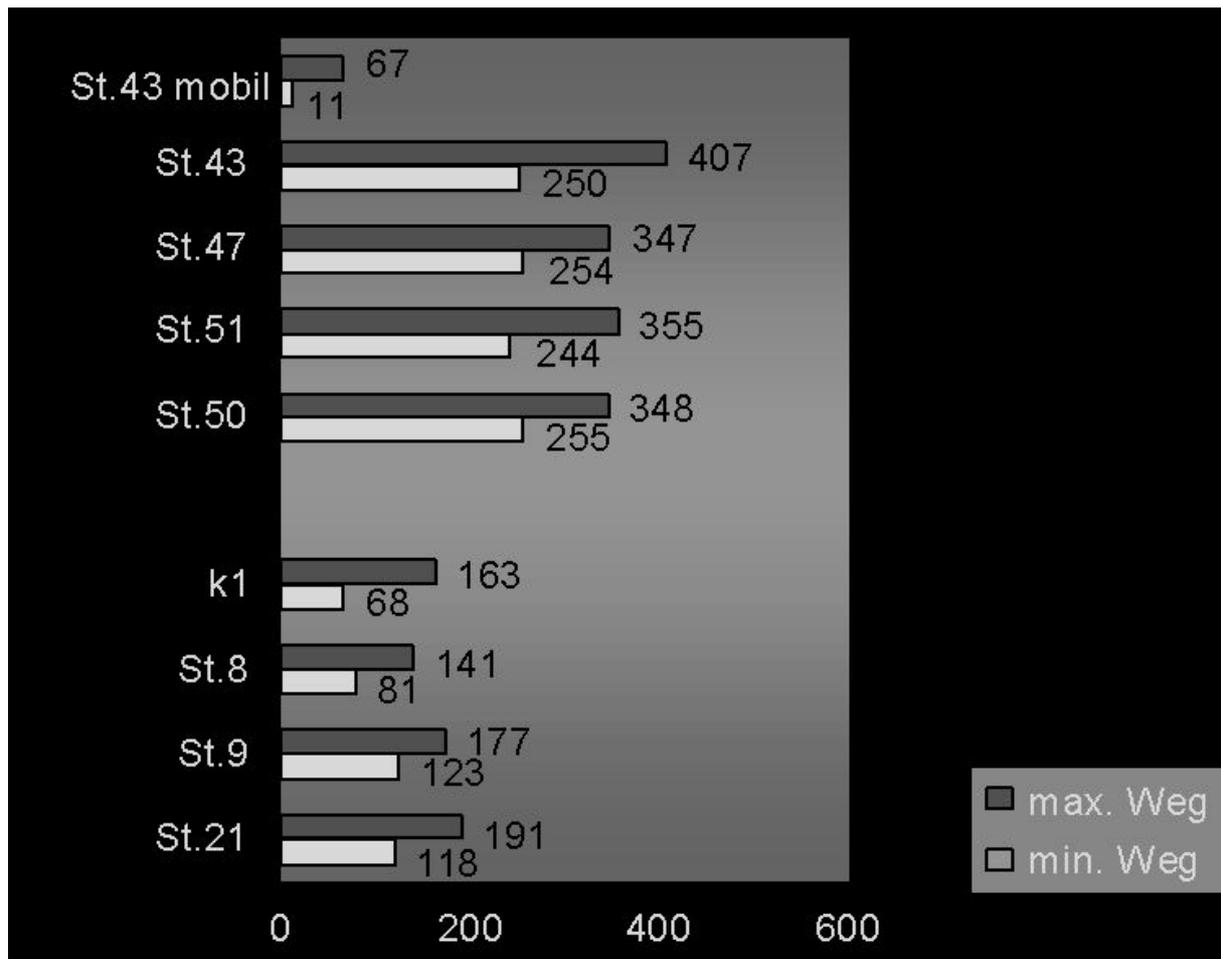


Abb. 8 Vergleich der Entfernungen zwischen intrastationärer CT und der Untersuchung in der radiologischen Abteilung. Dunkelgrau: Größtmögliche Distanz eines Zimmers zu einem CT-Untersuchungsraum. Weiß: Kürzest mögliche Distanz eines Zimmers zum nächstgelegenen CT-Untersuchungsraum

4.3 Korrelation der Wegzeiten zu den Entfernungen

Zeit-Entfernungskorrelation Radiol. Abteilung

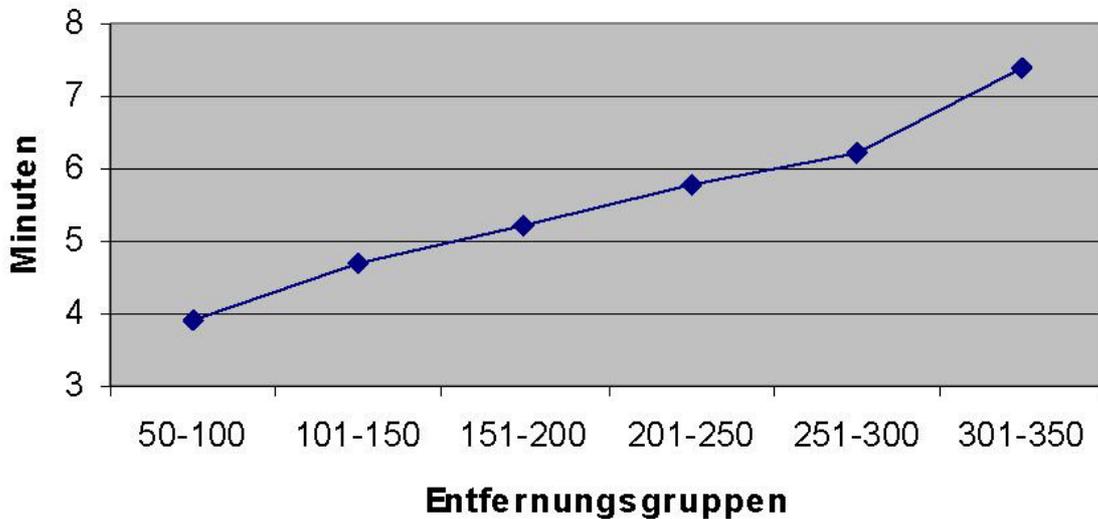


Abb. 9 Zeit-Entfernungskorrelation. Auf der Abbildung ist die Korrelation der Transportdauer mit dem Transportweg für die CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung dargestellt. Die ermittelten Entfernungen wurden zu Gruppen (50-100 Meter, 101-150 Meter, etc.) zusammengefasst. Für die Zeiten, die für die jeweiligen Transportwege bestimmt wurden, wurden die Mittelwerte bestimmt, die in der Grafik den zugehörigen Entfernungsgruppen zugeordnet wurden.

4.4 Evaluierung des Intensivpersonals

4.4.1 Rücklauf der Fragebögen

Es wurden die 22 Ärzte und die 75 Pflegekräfte der nephrologischen Intensivstation mittels anonym auszufüllenden Fragebogen evaluiert. Der Rücklauf der Fragebögen betrug 73 % bei den Ärzten und 43 % bei den Pflegekräften (**Abb.10**).

Rücklauf der Fragebögen

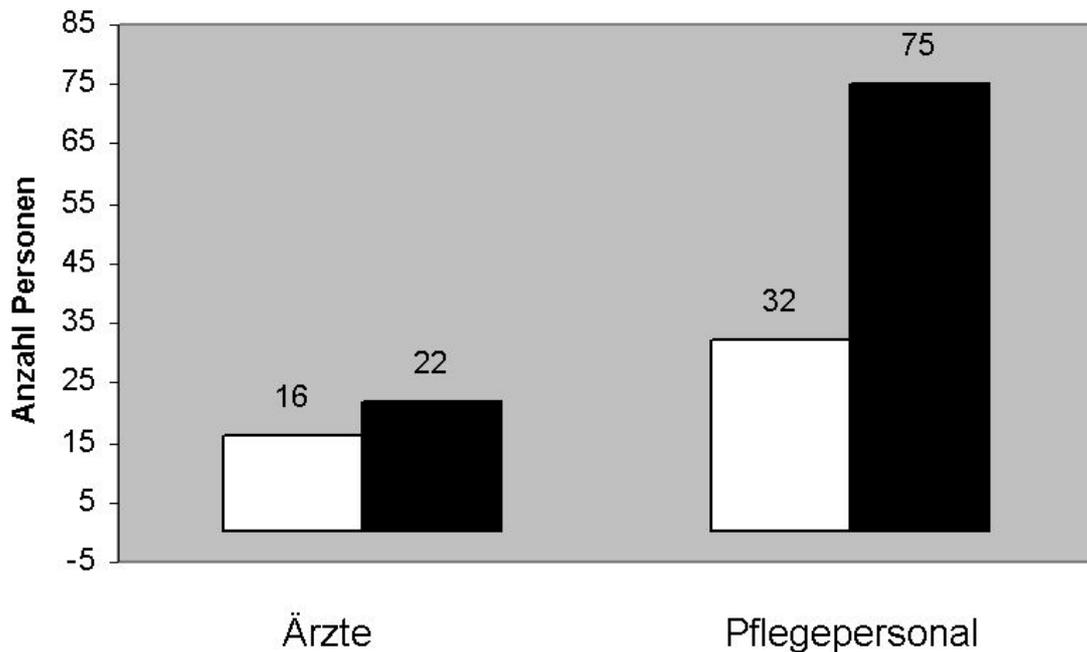


Abb. 10 Rücklauf der Fragebögen. Weiß dargestellt der Anteil der beantworteten Fragebögen an der Gesamtzahl des Personals (Schwarz)

4.4.2 Häufigkeitsverteilung der CT-Untersuchungen auf das Personal

62,5 % der antwortenden Ärzte haben mindestens 5 Untersuchungen mit der mobilen CT begleitet, weitere 25 % 2 Untersuchungen. Von den Pflegekräften gaben 41 % an mindestens 5 Untersuchungen mit der mobilen CT absolviert zu haben. Immerhin 5 der 32 Befragten Schwestern / Pfleger gaben ihre Einschätzung über die mobile CT ab, obwohl sie nie eine Untersuchung durch die mobile CT begleitet haben (**Abb.11**).

Zahl der CT-Untersuchungen

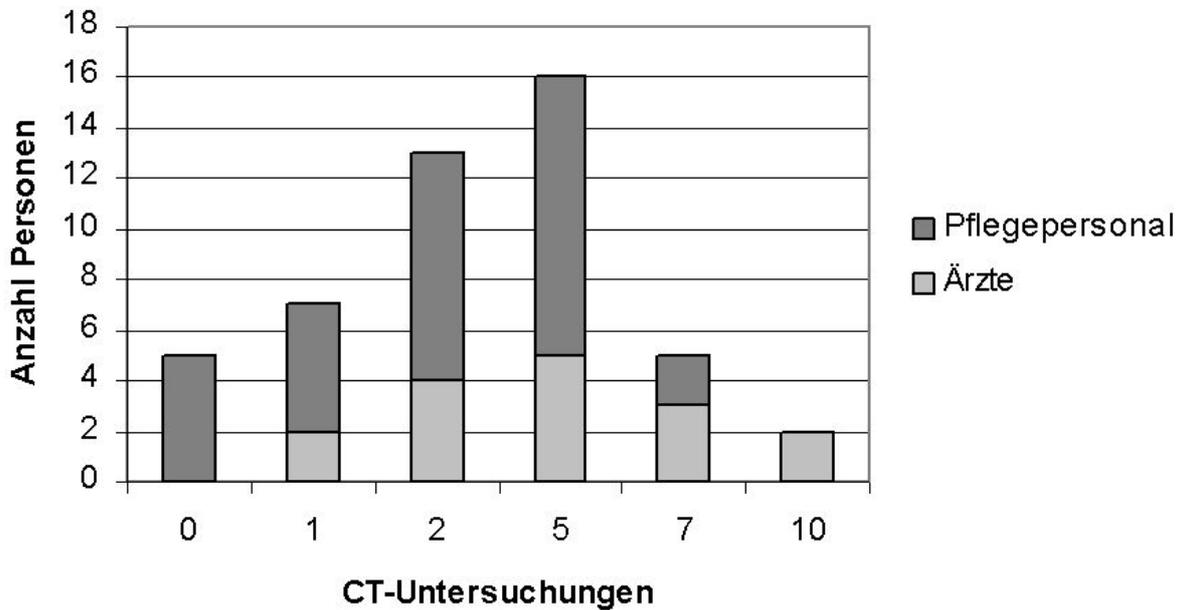


Abb. 11 Häufigkeit der CT-Untersuchungen, die das evaluierte Personal mit der mobilen CT untersucht hat

4.4.3 Einschätzung der Arbeitserleichterung

Arbeitserleichterung

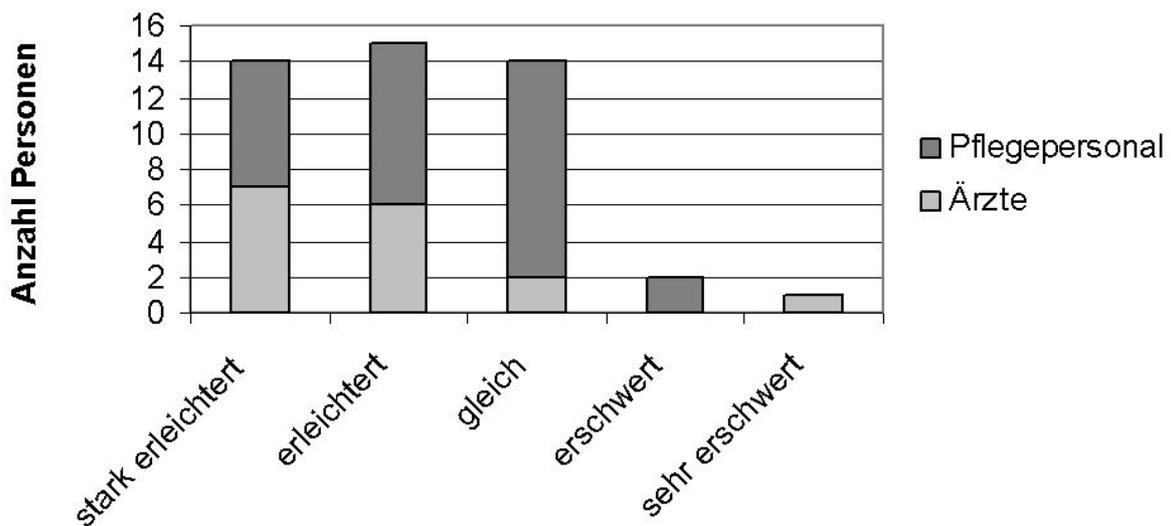


Abb. 12 Arbeitserleichterung, Einschätzung der Arbeitserleichterung der CT-Untersuchung mit der mobilen CT im Vergleich zur Untersuchung in der radiologischen Abteilung

Die Einschätzung der Arbeitserleichterung von mobiler CT im Vergleich zur CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung fiel überwiegend positiv zu Gunsten

der mobilen CT aus. 13 von 16 Ärzten (81 %) empfanden die Arbeit mit der mobilen CT als Erleichterung bzw. starke Erleichterung. Nur einer gab der mobilen CT eine schlechte Bewertung bezüglich der Arbeitserleichterung. 40 % des Pflegepersonals sah keinen Unterschied zwischen beiden Methoden. Mehr als jede zweite Pflegekraft bewertete die mobile CT als (starke) Erleichterung (**Abb.12**).

4.4.4 Einschätzung der Patientenbelastung

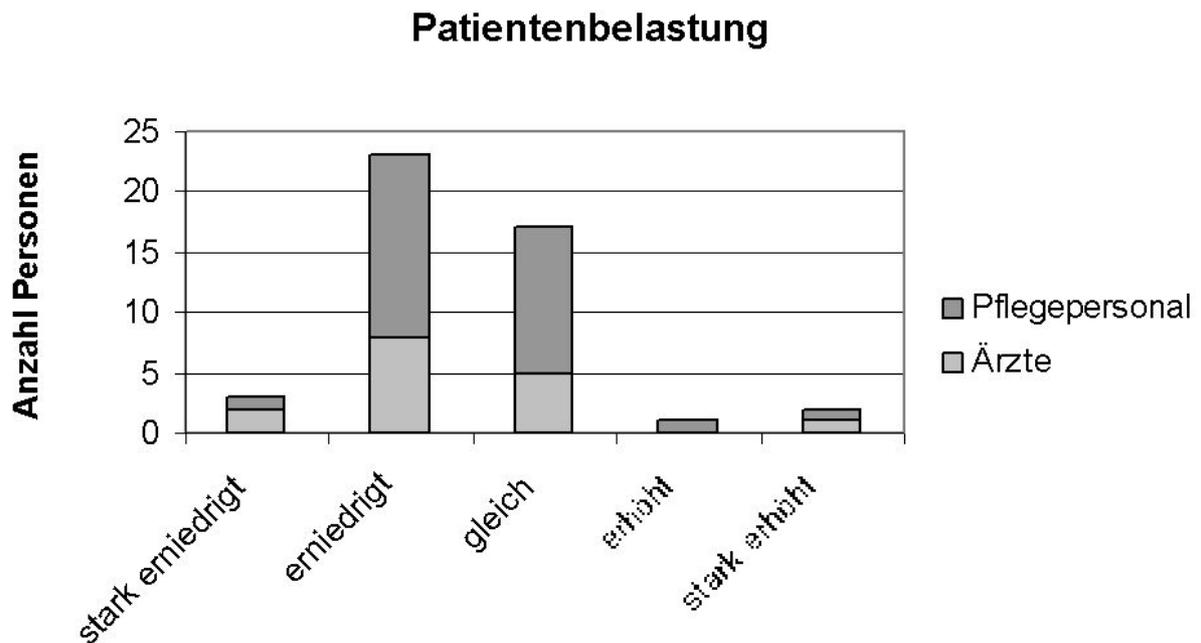


Abb. 13 Patientenbelastung, Einschätzung der Patientenbelastung der CT-Untersuchung mit der mobilen CT im Vergleich zur Untersuchung in der radiologischen Abteilung

Die Patientenbelastung war nach mehrheitlicher Einschätzung durch das Personal bei der Untersuchung mit der mobilen CT geringer als in der radiologischen Abteilung. 63 % der Ärzte konnten eine geringere Patientenbelastung feststellen. Bei den Pflegekräften waren es 53 %. 31 % der Ärzte und 40 % der Schwestern / Pfleger empfanden keinen Unterschied zwischen der CT in der radiologischen Abteilung und der Untersuchung mit der mobilen CT. Die übrigen (ein Arzt, zwei Pflegekräfte) gaben der mobilen CT eine schlechtere Bewertung als der radiologischen Abteilung (**Abb.13**).

4.4.5 Logistischer Aufwand

Die dritte Frage zielte auf den logistischen Aufwand der beiden Methoden (mobile CT vs. radiologische Abteilung) ab (**Abb.14**). Hier sehen 88 % der Ärzte eine Verbesserung durch die mobile CT. Gut jede zweite Pflegekraft unterstrich mit seiner Einschätzung dieses positive Votum für die mobile CT. 40 % der Schwestern und

Pfleger konnten keinen Unterschied zwischen beiden Methoden feststellen. Jeweils einer der 16 Ärzte gab eine neutrale bzw. für die mobile CT negative Bewertung ab.



Abb. 14 Logistischer Aufwand und Einschätzung des logistischen Aufwands der Arbeit mit der mobilen CT im Vergleich zur CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung

4.4.6 Integration in die klinische Routine

Die Einbindung der mobilen CT in die klinische Routine sahen 69 % der Ärzte als gut bis sehr gut an. Ähnlich stimmten 53 % der Pflegekräfte. Kein Unterschied zur CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung war für 19 % der Ärzte und für 37 % der Schwestern und Pfleger zu verzeichnen. Immerhin 10 % des Pflegepersonals und zwei der 16 Ärzte empfanden die Integration der CT-Untersuchung mit der mobilen CT als schwieriger im Vergleich zur radiologischen Abteilung (**Abb.15**).

Integration in klinische Routine

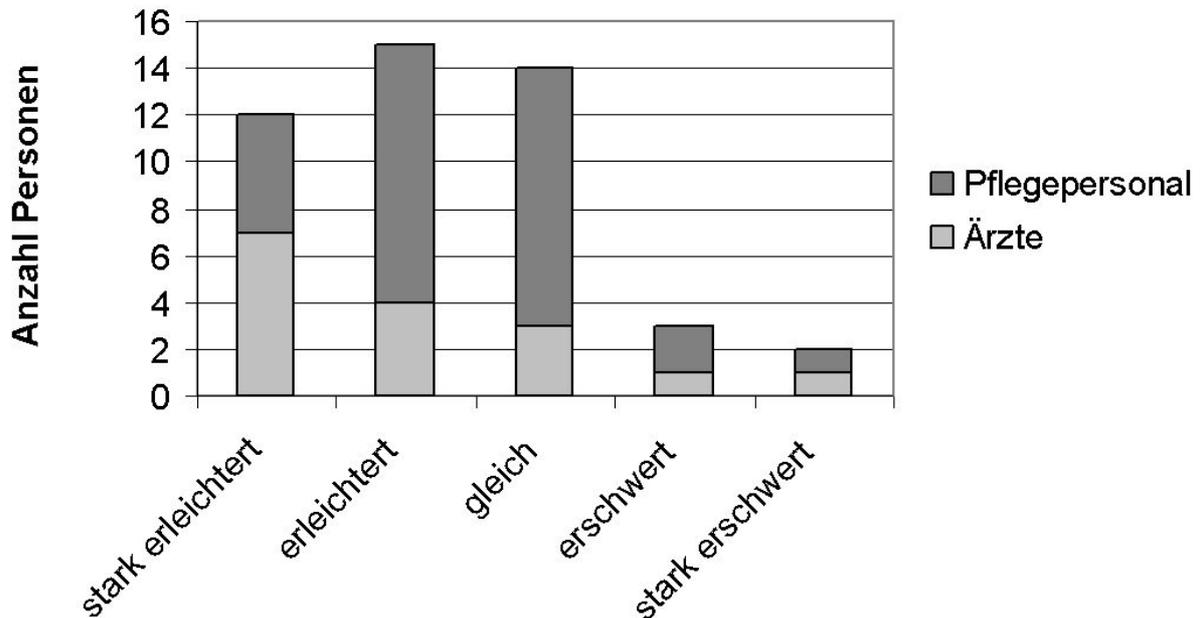


Abb. 15 Integration in die klinische Routine, Einschätzung der Einbindung der mobilen CT in den klinischen Alltag durch das intensivmedizinische Personal

4.4.7 Bevorzugter Untersuchungsort

Eine zusammenfassende Bewertung gaben die Befragten mit der Beantwortung der Frage nach dem bevorzugten Untersuchungsort ab (**Abb.16**). Hier wurde der Interventionsraum der nephrologischen Intensivstation mit der mobilen CT am häufigsten (69 % der Ärzte, 63 % der Schwestern und Pfleger) genannt. Einer der 16 Ärzte nannte das Patientenzimmer, von den Pflegekräften votierten 23 % für die CT-Untersuchung direkt im Patientenzimmer. 25 % der Ärzte bevorzugten weiterhin die radiologische Abteilung für die CT-Untersuchungen, beim Pflegepersonal waren es 13 %.

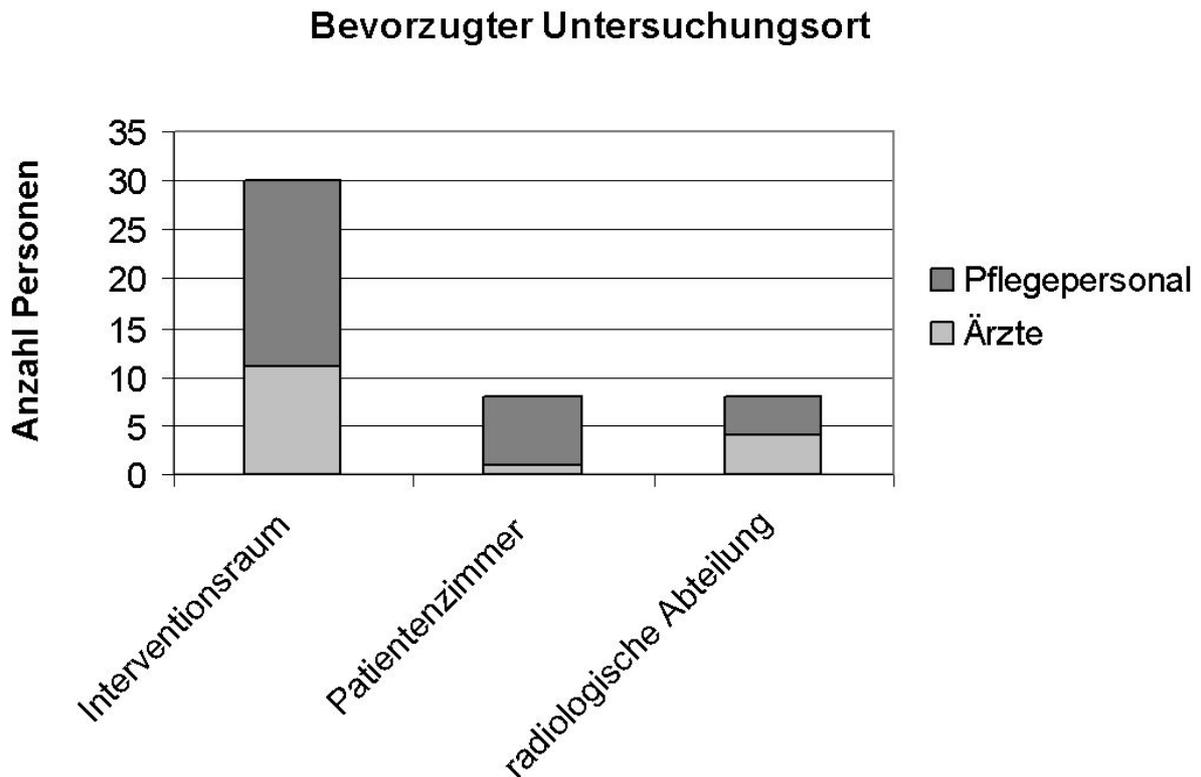


Abb. 16 Bevorzugter Untersuchungsort, Bevorzugter Untersuchungsort nach Einschätzung des in die Evaluierung der mobilen CT involvierten intensivmedizinischen Personals

4.5 Erkrankungsschwere der Patienten

4.5.1 Evaluierung nach TISS 28

Es wurden 24 konsekutiv untersuchte Patienten retrospektiv anhand der Patientenakten und –kurven auf ihre Erkrankungsschwere nach TISS 28 (Therapeutic Intervention Scoring System 28) am Tag der Untersuchung mit der mobilen CT untersucht. Da einige Patienten mehrfach untersucht wurden, ist die Anzahl der Punktwerte (34) höher als die Zahl der Patienten (24). 50 % der CT-Untersuchungen fanden zu einem Zeitpunkt statt, da die Patienten einer intensivmedizinischen Maximalbetreuung (Wert > 40 Punkten) bedurften (**Abb.17**). Dabei waren 14 % der Werte größer als 50. 11 der 34 Punktwerte (33 %) sind im Bereich von 30-39 Punkten angesiedelt.

TISS 28 bei Untersuchung

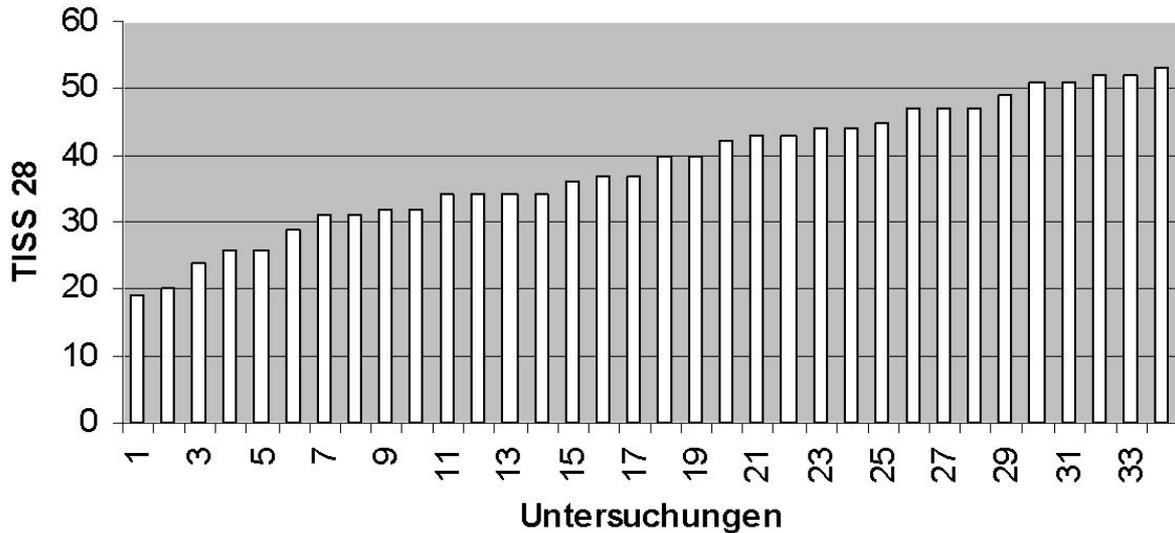


Abb. 17 TISS 28 bei Untersuchung, Darstellung der TISS 28 Punktwerte am jeweiligen Untersuchungstag. 49 % der Werte liegen im Bereich, der eine intensivmedizinische Maximaltherapie charakterisiert (> 40 TISS 28)

4.5.2 Evaluierung nach MODS

Ähnlich wie bei der Evaluation nach TISS 28 wurden die konsekutiv mit der mobilen CT untersuchten Patienten retrospektiv auch anhand des MODS (Multiple Organ Dysfunction Score) analysiert (**Abb.18**). An drei (9 %) der 34 Untersuchungstage bestand bei den jeweiligen Patienten eine Mortalitätswahrscheinlichkeit von 50 %. An 10 (29 %) der 34 Untersuchungstage trugen die untersuchten Patienten ein Mortalitätsrisiko von 25 %. An den übrigen Untersuchungstagen war die Mortalitätswahrscheinlichkeit der untersuchten Patienten am jeweiligen Tag laut MODS 3% oder darunter.

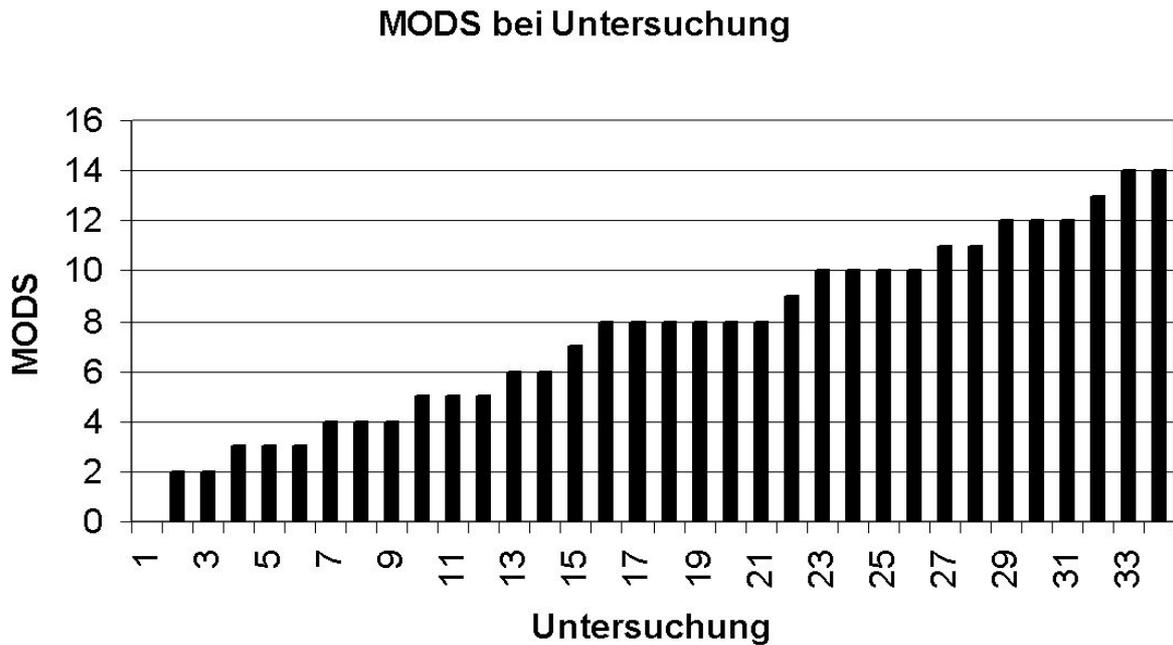


Abb. 18 MODS bei Untersuchung, Dargestellt sind die MODS-Werte zu den einzelnen Untersuchungszeitpunkten. Es besteht in dieser Grafik keine Beziehung zu Abbildung 23 bezüglich der Position der Werte auf der X-Achse

4.5.3 Korrelation von TISS 28 und MODS

Die für den jeweiligen Untersuchungstag ermittelten TISS 28 und MODS-Werte wurden anhand eines zweidimensionalen Koordinatensystems miteinander korreliert (**Abb. 19**). Für die TISS 28-Gruppen 20-29, 30-39 und 40-49 besteht ein linearer Anstieg. Der mittlere MODS der TISS 28-Gruppe 50-59 ist nur geringfügig höher als der der Gruppe 40-49 (9,8 vs. 9,8).

Korrelation TISS 28 / MODS

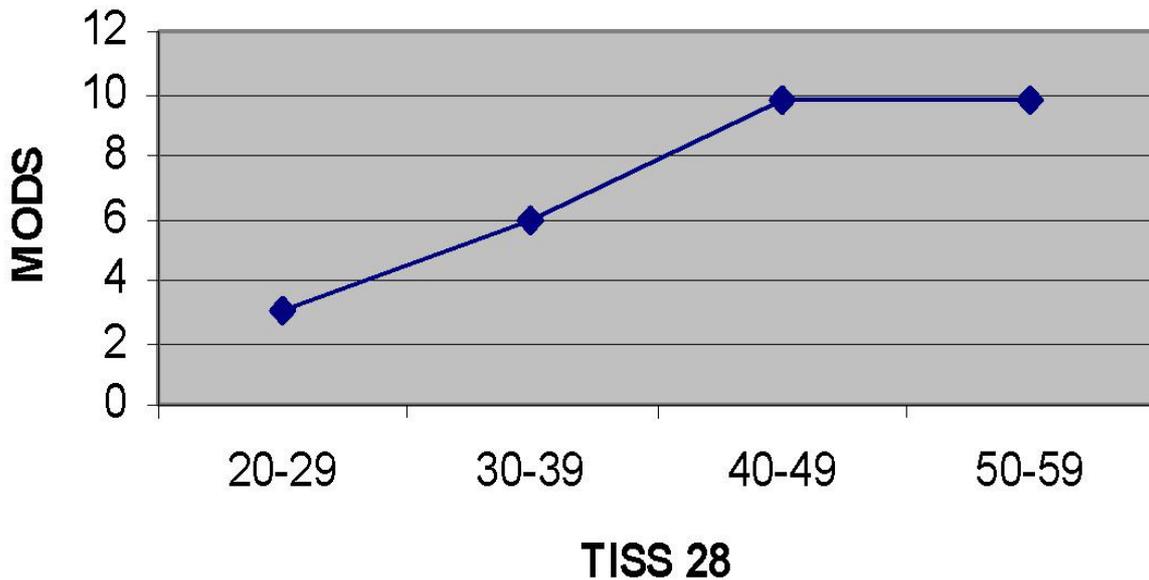


Abb. 19 Korrelation TISS 28 / MODS, Dargestellt ist die Korrelation der MODS-Werte zu den zugehörigen, gruppierten TISS 28-Werten zum Untersuchungszeitpunkt. Den gruppierten TISS 28-Werten (20-29, 30-39, 40-49, 50-59) wurden die Mittelwerte der zugehörigen MODS-Punktwerte zugeordnet

4.6 Charakterisierung des Patientenguts

Tabelle 7: Charakterisierung des Patientenguts

Patient	APACHE II	TISS 28	MODS	Outcome	Erste Diagnose	Letzte Diagnose
1	38	47	18	Gestorben	ARDS bei Pneumonie (Goodpasture-Syn.)	Zerebraler Insult
		53	13			
2	16	34	8	Pflegefall	Staphylokokkensepsis, okzipitale Infarkte	Multiple zerebrale Infarzierungen
		32	5			
		37	6			
		43	10			
3	13	43	12	Pflegefall	Z.n. Karotisdissektion, Apoplex	Brachiofazial betonte Hemiparese links
		20	3			
4	19	19	8	Gestorben	Exazerbation M. Moschcowitz	Ausgedehnter Myokardinfarkt
5	24	34	4	Pflegefall	Z.n. Rea, Myokardinfarkt	
6	21	34	4	Gestorben	Term. Niereninsuff., Pneumonie	Herz-Kreislauf-Versagen
7	23	24	4	Pflegefall	Z.n. Apoplex, Krampfanfall	Rechtsseitig betonte Markdegeneration
8	17	51	8	Verlegt, beatmet	Sepsis mit V.a. Perikardabszeß	Sepsis mit V.a. Perikardabszeß
		52	12			
9	12	26	2	Pflegefall	Apoplex	Rechtsseitig betonte Hemiparese
10	34	51	11	Gestorben	Sepsis, Panzytopenie	Multiorganversagen
11	21	31	8	Gestorben	ANV	Herz-Kreislaufversagen
12	34	26	2	Verlegt	Hinterwandinfarkt	Chronische Arrhythmien,

						Niereninsuff.
13	13	34	3	Verlegt	ANV	ANV
14	23	44	10	Gestorben	Sepsis, Leberabszeß, CMV	Multiorganversagen
15	23	42	5	Pflegefall	Z.n: Rea, subdurale Hämatome	Kognitiv reduzierter Zustand
		32	0			
16	14	31	7	Gestorben	Leberzirrhose, Leberversagen	Leberversagen (hepato renales Syndrom)
17	21	40	3	Pflegefall	Pneumonie, Meningitis	Multiple zerebrale Infarzierungen
		36	6			
18	39	37	18	Gestorben	Sepsis, ANV (Z.n. Hochdosischemotherapie)	Multiorganversagen
19	22	29	4	Gestorben	Dekomp. Herzinsuff., Aortenvitium	Dekomp. Herzinsuff.
20	17	47	10	Verlegt	ARDS, M. Wegener, Panzytopenie	M. Wegener
		52	8			
21	39	49	13	Gestorben	Multiorganversagen n. stumpfen Körpertrauma	Multiorganversagen
22	36	47	9	Verlegt	Akute Abstoßungsreaktion	Z.n. NTX, AKE
23	39	45	11	Verlegt	ARDS	Z.n. asept. Knochennekrose
24	31	44	8	Gestorben	ARDS bei Varizellenpneumonie	Sepsis

4.7 Diskussion der Patientenfälle mit einem Intensivmediziner

4.7.1 Dringlichkeit der Indikation der CT-Untersuchung mit der mobilen CT

Von den 25 evaluierten Patienten wurden zum Zeitpunkt der CT-Untersuchung drei (12 %) für nicht transportfähig befunden (5 von 36 Untersuchungen, 14 %). Bei zwei der Patienten wurden die CT-Untersuchungen mit der mobilen CT im jeweiligen Patientenzimmer durchgeführt. Beim dritten Patienten fand eine CT-Untersuchung im Sinne des AUDI-Prinzips im Interventionsraum statt. Aufgrund der schlechten Oxygenierung des Patienten war die sofortige Beatmung mit einem modernen Respirator vital indiziert, die nur auf der Intensivstation frühzeitig gewährleistet war. In drei der Fälle kam der Intensivmediziner zu dem Schluss, dass der Patient zwar transportfähig war, jedoch ein größeres Risiko für den Patienten vorlag (z.B. instabile Oxygenierung), so dass der CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung die mit der mobilen CT vorzuziehen wäre (**Abb.25**). Die Untersuchungen wurden in 27 von 34 Fällen (79 %) als sehr dringend (1) oder dringend (2) bewertet. 4 (12 %) der Untersuchungen bewertete der Intensivmediziner als mäßig (3) bis kaum indiziert (4) (**Tab.8**).

Tabelle 8: Indikationsgrade, Dargestellt sind die Einschätzungen der Dringlichkeiten der Indikationen der einzelnen CT-Untersuchungen mit der mobilen CT durch den Intensivmediziner. Anhand einer Skala von 1-5 wurden die Indikationsstellungen bezüglich ihrer Dringlichkeit bewertet (1=sehr dringend; 5=nicht indiziert)

Bewertung	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
	Sehr dringend		Dringend		Mäßig indiziert		Kaum indiziert		Nicht indiziert
Anzahl	13	6	8	4	3	1	-----	-----	-----

Transportfähigkeit

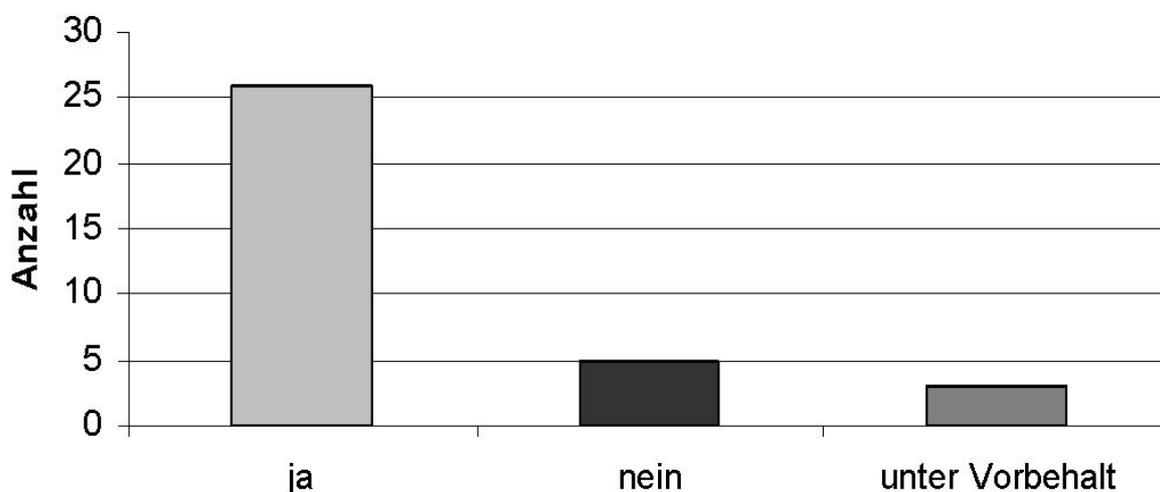


Abb. 20 Transportfähigkeit, Das Balkendiagramm zeigt die Anzahl der Untersuchungen, bei denen der Gesundheitsstatus des Patienten nach Ansicht des Intensivmediziners eine uneingeschränkte Transportfähigkeit (hellgrauer Balken), keine Transportfähigkeit (schwarzer Balken) oder eine Transportfähigkeit unter Vorbehalt (dunkelgrauer Balken) gestattete. Eine bedingte Transportfähigkeit (unter Vorbehalt) lag vor, wenn z.B. die kontrollierte Oxygenierung des Patienten mit portablen Beatmungsgeräten nicht sicherzustellen war, so dass die CT-Untersuchung mit der mobilen CT der in der radiologischen Abteilung vorzuziehen wäre, da dort die kontinuierliche Beatmung nach intensivmedizinischen Standards möglich ist

4.7.2 Indikationen und Konsequenzen der Untersuchung mit der mobilen CT

Es konnten fünf Hauptgruppen von Indikationen zur CT-Untersuchung ermittelt werden (**Abb.21**). Die erste Gruppe umfasste alle Indikationen, die primär den radiologischen Ausschluss von Differentialdiagnosen zum Ziel hatten. Dadurch sollte indirekt die Diagnose, die auf klinischen Zeichen oder Laborparametern beruhte, gestützt werden. Beispiele hierfür ist z.B. der Ausschluss einer Hirnblutung bei Vorliegen einer Anisokorie oder motorischer / sensibler Ausfälle auf der Basis eines

ischämischen Hirninfarktes als Diagnose. Sie konnte als Indikation in 10 der 36 CT-Untersuchungen festgestellt werden. Sie führte in 2 der Fällen zu einer direkten CT-Konsequenz. Zum einen wurde infolge des CT-Befundes eine Nasennebenhöhlenfensterung durchgeführt, zum anderen wurde ein Pleuraerguß drainiert. Die zweite Gruppe der CT-Indikationen umfasste die radiologische Sicherung einer Diagnose. In 6 Fällen konnte die radiologische Sicherung einer Diagnose als Indikation zur CT festgestellt werden. Als Beispiel sei hierfür die computertomographische Sicherung eines Lungenversagens (ARDS) mittels hochauflösender (High Resolution) CT-Bilder im Lungenfenster angeführt. In einem Fall zog die Sicherung der Diagnose eine direkte Konsequenz nach sich. Verlaufskontrollen stellten die dritte Gruppe der CT-Indikationen dar, welche beispielsweise als computertomographische Folgeuntersuchung bei der Kontrolle der Entwicklung subduraler Hämatome durchgeführt werden. Durch radiologische Verlaufskontrollen mit der mobilen CT begründeten sich drei direkte Konsequenzen: Zweimal wurde ein Patient trotz geplantem chirurgischen Eingriffs als nicht operabel befunden und einmal wurde eine bestehende Intensivtherapie aufgrund der infausten physiologischen Situation des Patienten beendet.

CT-Indikationen / CT-Konsequenzen

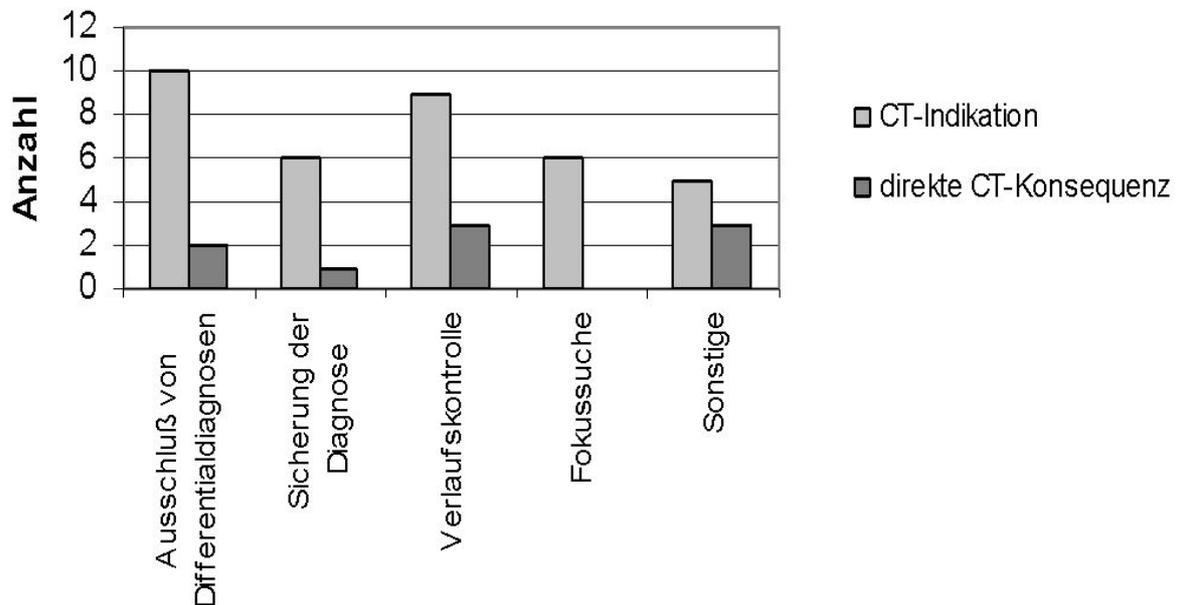


Abb. 21 CT-Indikationen / CT-Konsequenzen, Die Grafik zeigt den Anteil für die einzelnen Gruppen der Indikationen (helle Balken) der CT-Untersuchungen mit der mobilen CT. Es ergaben sich fünf Gruppen, die der X-Achse des Diagramms zu entnehmen sind. Weiterhin ist der Anteil der Konsequenzen der CT-Untersuchungen für die jeweilige Indikationsgruppe dargestellt (dunkle Balken)

Die vierte Hauptgruppe (Fokussuche) war die Suche nach septischen Herden bei Vorliegen einer Bakteriämie oder septisch embolischen Absiedelungen (z.B. im Gehirn). In dem evaluierten Kollektiv führte die computertomographische Fokussuche in keinem Fall zu einer direkten Konsequenz. Die fünfte Gruppe (Sonstige) umfasste verschiedene einzelne Indikationen wie die Leber-CT bei Evaluierung zur Lebertransplantation oder der Nierenaufnahme bei Vorliegen einer akuten Abstoßungsreaktion nach Nierentransplantation. Durch die CT-Untersuchung wurde in dieser Indikationsgruppe in drei Fällen eine direkte Konsequenz begründet: Bei dem Patientenfall mit dem stumpfen Bauchtrauma war eine ausgeprägte abdominelle und mediastinale Sanierung der traumatisch bedingten Verletzungen notwendig. Bei dem Fall der akuten Abstoßungsreaktion der transplantierten Niere wurde aufgrund des radiologischen Befundes eine konservative Therapie anstatt der chirurgischen Entfernung des Transplantats bevorzugt. Als dritte Konsequenz wurde ein indizierter

Herzklappenersatz wegen der Situation im kraniellen CT (septische Infarzierungen) nicht durchgeführt (**Tab.10**).

4.8 Fälle der erweiterten radiologischen Diagnostik bei Patienten im Rahmen der Aufnahme auf der Intensivstation

Fünf Patienten des retrospektiv analysierten Kollektivs wurden am Tag ihrer Aufnahme gemäß des AUDI-Prinzips (Aggressive Use of Diagnostic Imaging) auf der Intensivstation computertomographisch untersucht. Dabei handelte es sich um vier weibliche und einen männlichen Patienten mit einem durchschnittlichen Alter von 56 Jahren (31-82 Jahre). Zwei der Patienten wurden direkt in ihrem Zimmer untersucht (Bedside-Untersuchung). Bei vier Patienten lag eine internistische Grunderkrankung vor, bei einem Patienten war die umfangreiche chirurgische Therapie nach stumpfem Bauchtrauma notwendig (**Tab.9**). Die CT-Indikationen richteten sich nach den Grunderkrankungen. Bei den zwei Patienten mit ARDS machte die schlechte Oxygenierung eine CT-Untersuchung der Lunge notwendig (HR-Aufnahmen). Bei dem traumatisierten Patienten war aufgrund der massiven Kontusion des Abdomens und des unteren Thoraxbereichs die CT-Diagnostik indiziert. Bei dem Fall mit dem exazerbierten Morbus Moschcowitz galt es, intrakranielle Blutungen auszuschließen. Die kardiale Situation bei dem Patienten mit der dekompensierten Herzinsuffizienz bedurfte einer umfassenden morphologischen Abklärung zum Ausschluss der Differentialdiagnosen (Aortenaneurysma, Herzbeutel tamponade).

Tabelle 9: Fälle der erweiterten radiologischen Diagnostik

Transportfähigkeit	Notwendigkeit der CT	APACHE II	TISS 28	MODS	Therapieerfolg	Grunddiagnose	Letzte Diagnose
Nein	dringend	41	49 / 53	18 / 13	Gestorben	ARDS bei Pneumonie, Vaskulitis	Zerebraler Insult
Ja	Dringend	39	45	11	Verlegt	ARDS	Z.n. asept. Knochennekrose
Ja	Mäßig indiziert	24	29	4	Gestorben	Dekomp. Herzinsuff. bei Aortenvitium	Dekomp. Herzinsuff.
Ja	Mäßig indiziert	19	19	8	Gestorben	Exazerbation M. Moschcowitz	Multiple Myokardinfarzierung
Nein	Sehr dringend	39	52	13	Gestorben	Multiorganversagen, Z.n. stumpfem Bauchtrauma	Trauma Patientin, Bedside Untersuchung

4.9 Zusammenfassung der CT-Indikationen,-Konsequenzen, -Diagnosen

Tabelle 10: Zusammenfassung der CT-Indikationen, -Konsequenzen, -Diagnosen

CT-Indikation	CT-Konsequenz	CT-Diagnose
Ausschluß intrakranieller Blutungen (Vigilanzschwächung)	Ausschluß	
Ausschluß neurologischer Diagnosen (Blutung, NNH-Fokus)	Fensterung der NNH	Meningitis (auf Grundlage der Laborparameter)
Ausschluß neurologischer Diagnosen (Vigilanzschwächung)	Ausschluß	Zerebrale Infarzierungen
Ausschluß intrakranieller Blutungen (Vigilanzschwächung)	Ausschluß	Alter Infarkt
Ausschluß Herztamponade, Aortenaneurysma (verbreitertes Mediastinum im Rö-Thorax)	Ausschluß	Dekomp. Herzinsuff
Ausschluß Infekte, Verwachsung (linksseitige Verschattung im Rö-Thor.)	Drainage Pleuraerguß	
Ausschluß Anastomoseninsuffizienz (nach Rektum-Ca-Resektion)	Ausschluß	
Ausschluß neurologischer Diagnosen		
Ausschluß zerebraler Raumforderungen	Ausschluß	
Ausschluß zerebraler Ischämien / Embolien	Ausschluß	
Sicherung ARDS, Fokussuche (HNO), Pneuausschluß, Abszedierung (Lunge)	Bestätigung der Verdachtsdiagnose ARDS	Disseminierte Blutungen (Vaskulitis)
Sicherung Mediainfarkt (Hemiparese, Aphasie)	Sicherung	Erweichung (Kolliquationsnekrose)
Sicherung ARDS bei Pilzpneumonie	Bestätigung ARDS	ARDS gesichert
Sicherung Perikardabszeß	Operation	Perikardabszeß
Sicherung ARDS	Bestätigung ARDS	Sicherung ARDS
Sicherung ARDS bei Varizellenpneumonie	Bestätigung ARDS	ARDS gesichert
Verlaufskontrolle Thorax, Hirndiagnostik wg. entgleistem Hypertonus und Anisokorie		Hirnblutung
Verlaufskontrolle Hirnblutung	Beendigung der Intensivtherapie	
Verlaufskontrolle		
Verlaufskontrolle, V.a. SAB	Nicht operabel	Zerebrale Infarzierungen
Verlaufskontrolle sept. Embolisation	Nicht operabel	Zerebrale Infarzierungen
Verlaufskontrolle subdurale Hämatome		Konsolidierung Hämatome
Verlaufskontrolle subdurale Hämatome		Konsolidierung Hämatome
Verlaufskontrolle Leberabszedierungen		
Verlaufskontrolle Mediainfarkt		Kolliquationsnekrose
Fokussuche Sepsis, Ausschluß neurologischer Diagnosen (Herd, Infarkt)		Embolisationen intrazerebral
Fokussuche bei Sepsis		
Fokussuche bei Sepsis		
Fokussuche bei Fieberanstieg		
Fokussuche bei Fieberanstieg		
Fokussuche bei akutem Abdomen		
Fokussuche bei Leberausfall		
Abklärung Atelektase (Rö-Thorax)		Pneumonie, Meningitis
Abklärung Operabilität (Kardiologie / Aortenklappe / Embolisierungen)	Nicht operabel	Hirnblutung, sept. Embolisation
Abklärung Leberstatus (Evaluierung Lebertransplantation)		
Abklärung akute Abstoßungsreaktion	Konservative Therapie	

5 Diskussion

5.1 Zielsetzungen der Studie

Mit der Entwicklung der mobilen CT wurde ein bis dahin nur für den ortsfesten Einsatz genutztes diagnostisches Verfahren für die örtlich flexible Anwendung konzipiert. In dieser Arbeit wird der Frage nachgegangen, ob sich das Konzept eines mobil betreibbaren Computertomographen im klinischen Einsatz bewährt. Dazu wurden im besonderen folgende Aspekte evaluiert: Die Zeitdauer der CT-Untersuchung mit der mobilen CT im Vergleich zur CT in der radiologischen Abteilung war aufgrund der geringeren Transportwege bei der mobilen CT von Interesse. Es war a priori denkbar, dass der geringere zeitliche Aufwand beim Transport zu einer relevanten zeitlichen Verkürzung des Gesamtaufwands führen könnte. Für die Evaluierung des klinische Nutzens der mobilen CT war die Charakterisierung des untersuchten Patientenguts ein geeigneter Ansatz. Auf Grundlage von intensivmedizinischen Punktwertsystemen und der Diskussion der Erkrankungsschwere des Patienten mit einem erfahrenen Intensivmediziner sollte eine genaue Charakterisierung der Patienten erreicht werden. Auf dieser Basis sollte determiniert werden, für welche Patienten die mobile CT essentiell bei der CT-Diagnostik war. Durch die Evaluierung der Einschätzung der neuen Methode mobile CT durch das intensivmedizinische Personal sollte die Erfahrung des Personals für die Beurteilung der mobilen CT genutzt werden.

5.2 Zeitanalyse

Führt der vereinfachte Patiententransport bei der mobilen CT zu einem relevanten zeitlichen Vorteil gegenüber der CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung? Geleitet von dieser Frage wurden alle für die mobile und stationäre CT-Untersuchung notwendigen Arbeitsschritte (**Abb.22**) bestimmt. Der zeitliche Gesamtaufwand war für beide Methoden in etwa im Bereich von einer Stunde gelegen: 55 (47-76) Minuten mobiles CT, 65 (51-84) Minuten ortsfeste CT. Dennoch gab es erhebliche zeitliche Differenzen zwischen den Methoden, wenn man die Ergebnisse der Arbeitsschritte Transport und Untersuchung (Topogramm / Bilddatenakquisition) im einzelnen betrachtet (**Abb.5**).

5.2.1 Transferzeiten

Wie zu erwarten, war die Transferzeit bei der mobilen CT (Median: 3,1 Minuten) deutlich kürzer als bei der ortsfesten (Median: 16,1). Diese Differenz war zum einen in den deutlich geringeren Distanzen für den Transport zur mobilen CT und im Fehlen von Hindernissen (Fahrstuhl) begründet. Zum anderen trugen die Wartezeiten auf den Transportdienst erheblich zu diesem Zeitunterschied bei, im Vergleich war der Median der Transferzeiten ohne zeitliche Verzögerungen 9 Minuten.

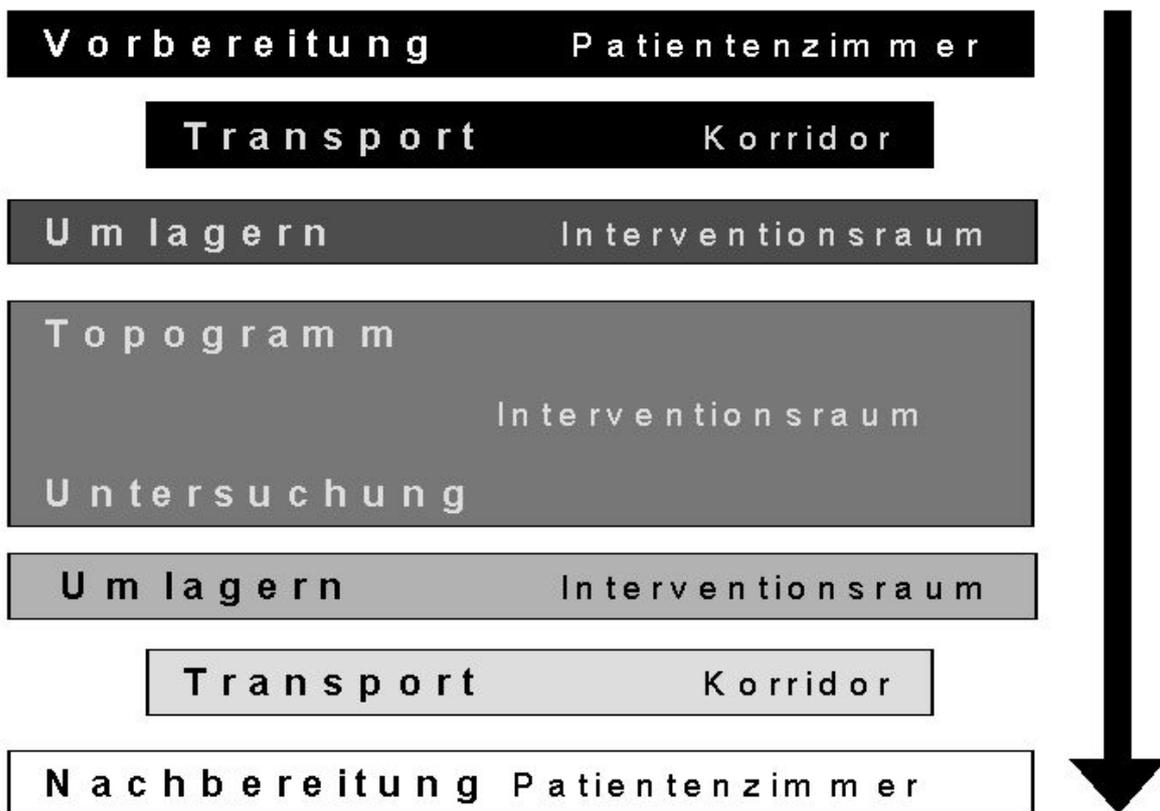


Abb. 22 Untersuchungsschritte, Darstellung der zeitrelevanten Untersuchungsschritte. Neben der Bezeichnung der Tätigkeit (z.B. Vorbereitung) bei jedem Arbeitsschritt ist der Ort der Tätigkeit angegeben (z.B. Patientenzimmer)

Das Warten auf ein noch nicht einsatzfähiges CT spielte aufgrund der Seltenheit nur eine untergeordnete Rolle. Es ist schwierig einzuschätzen, welche Bedeutung die genannten Verzögerungen für den klinischen Tagesablauf hatten, zumal es sich jeweils nur um wenige Minuten handelte. Auf der Station konnte das Personal die Wartezeit mit kleineren, aber notwendigen Tätigkeiten überbrücken. Diese Option war im CT-Untersuchungsraum der radiologischen Abteilung nicht gegeben. Jedoch war es meistens so, dass das intensivmedizinische Begleitpersonal (Arzt und Pflegekraft) den Transport selbst übernahm, wenn sich nach der CT-Untersuchung

längere Wartezeiten auf den Transportdienst ergaben. Letzteres stellt die Notwendigkeit eines Transportdienstes für Patienten, die einer intensivmedizinischen Überwachung bedürfen, in Frage. Denn das Fahren des Betts kann durchaus auch vom intensivmedizinischen Personal bewerkstelligt werden, das aus Gründen der Überwachung den Transport begleiten muss. Der zeitliche Nachteil der ortsfesten CT beim Transfer könnte demnach ohne Aufwand vermindert werden.

5.2.2 Dauer der Erstellung des Topogramms

Die Erstellung des Topogramms dauert bei der mobilen CT (Median: 7,9 Minuten) deutlich länger als bei der stationären (Median: 4,9 Minuten). Die Gründe hierfür liegen unter anderem in der geringeren Kapazität der Arbeitskonsole der mobilen CT bei der Berechnung der Bilder. Außerdem ist die Software nur recht umständlich zu bedienen und darüber hinaus fehleranfällig. Letzteres führte manchmal zu kompletten Systemabstürzen oder Fehlfunktionen des Systems, was erhebliche zeitliche Verzögerungen bei der Untersuchung verursachte. Die genannten Probleme sollten in Zukunft vermeidbar sein, wenn schnellere Prozessoren verwendet werden und die Software überarbeitet ist. Ähnliches gilt für die Bilddatenakquisition. Auch hier ist die mobile CT (Median: 6 Minuten) den stationären Geräten (Median 4 Minuten) unterlegen. Dies hat technische Gründe, da aufgrund der kompakten Bauweise des mobilen Computertomographen Kompromisse bei der technischen Ausstattung eingegangen werden mussten: Bei der mobilen CT hat der Motor für die Rotation der Detektoren nur eine relativ kleine Leistung. Eine Rotation der Detektoreinheit um 360° benötigt zwei Sekunden. Demgegenüber ist eine Rotationszeit > 1 bei den heutigen ortsfesten Computertomographen standard. Darüber hinaus ist die Zahl der Detektoren in der Detektoreinheit der mobilen CT geringer als bei modernen ortsfesten Geräten.

5.2.3 Zeiten des Umlagerns

Das Umlagern des Patienten war bei der mobilen CT etwas zeitaufwendiger als bei der stationären (Mediane: 5,5 und 4,5 mobil vs. 5,2 und 4 ortsfest). Wie schon bei der Vorbereitung des Patienten waren auch beim Umlagern im Durchschnitt mehr Personen beim stationären als bei der mobilen CT beteiligt (4,5 stationär vs. 3,3 mobil). Dies könnte eine Erklärung für den geringen zeitlichen Vorteil der stationären CT sein. Weiterhin ist denkbar, dass die Installation des regulären Beatmungsgeräts des Patienten im Untersuchungsraum einen Grund für die Zeitdifferenz darstellte.

Möglich scheint auch, dass die Routine des Personals in der radiologischen Abteilung bezüglich der günstigsten Positionierung der Überwachungs- und Medikationsgeräte für die CT-Untersuchung eine Rolle spielte. Eine akkurate Positionierung ist wichtig, damit Bildartefakte vermieden werden und eine optimale Darstellungsqualität erzielt wird. Dass das Umlagern von der CT-Liege auf das Bett jeweils weniger Zeit in Anspruch nahm als das Umlagern auf die CT-Liege, könnte dadurch begründet sein, dass es hierbei nicht auf eine exakte Positionierung der intensivmedizinischen Geräte ankam.

5.2.4 Vor- und Nachbereitungszeiten

Die Vorbereitungszeit war bei der stationären CT etwas geringer als bei der mobilen (Mediane: 13,5 Minuten mobil; 13,3 Minuten stationär). Dass dieser Unterschied so gering ausfällt, war zu erwarten, da die Tätigkeiten für die Vorbereitung des Patienten für den Transport und die CT-Untersuchung in etwa gleich waren. Der vorhandene kleine Unterschied könnte darin begründet sein, dass im Durchschnitt mehr Personal (1,36 Personen) bei der stationären CT mit der Vorbereitung des Patienten beschäftigt war. Bei der mobilen CT waren es durchschnittlich 1,25 Personen. Fast gleich fallen die Zeiten für die Wiedereinbindung des Patienten an seinen Bettplatz (Nachbereitung) nach mobiler und stationärer CT aus (Mediane 11,4 Minuten mobil vs. 11,5 Minuten ortsfest). Im Durchschnitt waren mit der Nachbearbeitung 1,37 Personen bei der mobilen CT und 1,27 Personen bei der stationären CT beschäftigt. Wie eingangs erwähnt ist der zeitliche Gesamtaufwand für beide Untersuchungsmethoden nahezu gleich. Der geringe Unterschied (im Durchschnitt 9 Minuten) zugunsten der mobilen CT dürfte in der Praxis kaum eine Bedeutung haben.

5.2.5 Flexiblerer Untersuchungszeitpunkt mit der mobilen CT

Der Zeitpunkt der Untersuchung lies sich bei der mobilen CT flexibler bestimmen. Hierbei bedurfte es lediglich der Absprache des Stationspersonals mit dem Radiologen. Bei der ortsfesten CT in der Röntgenabteilung musste der Termin zusätzlich mit den Bedürfnissen der anderen Stationen des Hauses abgestimmt werden. Bei der zurzeit aufgrund der finanziellen Ausstattung der Krankenhäuser kaum denkbaren Situation, dass auch andere Intensivstationen mit einem mobilen Computertomographen ausgerüstet werden, wäre dieser Vorteil jedoch relativiert. Denn dann müsste der Radiologe unter Umständen zwischen zwei oder mehreren Anforderungen eine CT-Untersuchung eine Vereinbarung finden. Zu bedenken ist

weiterhin, dass für die mobile CT ein Arzt aus der radiologischen Abteilung abgezogen werden muss, so dass es auch zu Überschneidungen mit anderen Aufgaben dieses Arztes kommen kann. Der in unserem Haus für die mobile CT zuständige Radiologe war auch für die Stationssonographien verantwortlich gewesen, wodurch sich die mobile CT mit der sonographischen Arbeit auf den Stationen gut abstimmen lies.

5.3 Evaluierung des Personals der Intensivstation

5.3.1 Überwiegend positive Einschätzung der mobilen CT durch das Personal

Die Evaluierung des intensivmedizinischen Personals ergab eine überwiegend positive Einschätzung der CT-Untersuchung auf der Intensivstation. Ähnliche Erfahrungen hat auch Mirvis in seiner Studie über die mobile CT gemacht [9].

5.3.2 Erleichterung für die Patienten

Die Mehrzahl der behandelnden Ärzte und Pflegekräfte bewertete die mobile CT als eine Erleichterung für die Patienten. So schätzten 63 % der Ärzte und 53 % der Pflegekräfte die mobile CT als weniger belastend im Vergleich mit der Untersuchung in radiologischen Abteilung ein. Inwieweit die Belastung des Patienten bei der Untersuchung mit der mobilen CT gegenüber der CT in der radiologischen Abteilung vermindert oder, wie es einer der 16 Ärzte sah, erhöht ist, wurde in dieser Studie nicht anhand physiologischer Parameter bestimmt. Die Beurteilung der Patientenbelastung stützt sich allein auf die klinische Erfahrung und damit die subjektive Einschätzung des Personals. Besonders intensivmedizinisch erfahrenes Personal verfügt über einen geschulten Blick für die Verfassung der Patienten. Die Behandlung eines Patienten auf der Intensivstation ist viel eingehender als auf den peripheren Stationen. Diese Intensität der Betreuung äußert sich z.B. darin, dass das Personal viel mehr Zeit für den einzelnen Patienten aufwendet. Das Verhältnis der Zahl des Personals zu der der Patienten ist auf der Intensivstation geringer als auf einer peripheren (1:2 – 1:1 vs. 1:5-1:14). Dadurch ist es dem Personal der Intensivstation möglich, sich mit den Patienten besser vertraut zu machen. Mittels des Fragebogens wurde versucht, die Erfahrung des Personals in der intensivmedizinischen Praxis für die Evaluation der mobilen CT zu nutzen. Dieser Ansatz wurde bewusst gewählt, da so eine die subjektiven klinischen Erfahrungen des Personals evaluierende Einschätzung ermittelt werden konnte. Die Belastung

eines Patienten bezüglich der Veränderung seines klinischen Status, der physiologischen oder biochemischen Werte während eines Transportvorgangs oder einer Untersuchungsmaßnahme ist in der Literatur anhand großer Patientenkollektive ausreichend belegt[21] [22] [23] [24] [6] [25] [26] [27] [28]. Während der Patiententransporte im Rahmen dieser Studie konnten keine bedeutsamen Änderungen bezüglich des Gesundheitszustands der Patienten während des Transports oder der CT-Untersuchung festgestellt werden. Auch Zwischenfälle, über die es ebenfalls in der Literatur zahlreiche Berichte gibt[29] [30], wie die Diskonnektion des Endotrachealtubus oder die Dislokation von intravenösen Zugängen, konnten während der Patiententransporte im Rahmen der vorliegenden Studie nicht registriert werden. Die die mobile CT überwiegend als Erleichterung für die Patienten ausweisenden Ergebnisse der Personalevaluierung müssen im Zusammenhang mit der verfügbaren Literatur bewertet werden. In dieser werden oft über signifikante Änderungen physiologischer Parameter beim Patienten berichtet (Hypotension, kardiale Arrhythmien, Minderoxygenierung). Jedoch kommt keine Studie zu dem Schluss, dass der Patiententransport für diagnostische oder operative Maßnahmen inner- oder außerhalb des Krankenhauses für eine erhöhte Mortalität der transportierten Patienten verantwortlich ist[22, 31]. Bisher wurde noch über keinen Todesfall berichtet, der direkt durch den Transport hervorgerufen wurde[32]. Allerdings weisen einige Literaturstellen darauf hin, dass die Vermeidung von Komplikationen während eines Transports oder einer Untersuchungsmaßnahme von der Anwesenheit von intensivmedizinisch geschultem Personal und einer adäquaten Ausstattung an Überwachungsgeräten abhängig ist[33] [34] [29]. Dennoch scheint der Transport und die CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung von dem evaluierten Intensivpersonal als eine kritische Phase der Behandlung des Patienten angesehen zu werden. Dieses spiegelte sich auch in vereinzelt geführten Gesprächen mit den Pflegekräften und Ärzten wider. Es scheint aus Sicht des Intensivpersonals ein Vorteil der CT-Untersuchung vor Ort auf der Intensivstation zu sein, dass der Patient in der sicheren Umgebung der Station mit den unmittelbar verfügbaren intensivmedizinischen Überwachungs- und Therapiemöglichkeiten bleibt. Auch wenn die verfügbare Literatur über die Gefahren von Patiententransporten eher zu dem Urteil gelangt, dass diese bei adäquater Überwachung des Patienten und der Anwesenheit von qualifiziertem Personal größtenteils sicher durchzuführen sind, so besteht dennoch für einen kleinen Teil der

transportierten Patienten ein erhöhtes Risiko von Komplikationen. Solche Komplikationen können sich als Blutdruckschwankungen oder auch als inadäquate Oxygenierung äußern. Es ist denkbar, dass in Einzelfällen eine solche Veränderung des physiologischen und klinischen Zustands des Patienten auch mit schwereren Folgen bezüglich seiner weiteren Morbidität oder auch Mortalität einhergehen kann. Vor allem bezüglich der adäquaten Oxygenierung eines Patienten bietet die Untersuchung mit der mobilen CT den Vorteil, der kontinuierlichen intensivmedizinischen Beatmung mit hochwertigen Respiratoren, welche eng an die Bedürfnisse des Patienten bezüglich der Beatmungsparameter angepasst werden können. Patienten mit Lungenversagen (ARDS) können aufgrund ihrer kaum zu bewerkstelligen Oxygenierung auf die kontinuierliche Beatmung mit einem hochwertigen Beatmunserät angewiesen sein oder die Beatmung mit portablen Beatmungsgeräten kann einen hohen Grad der Belastung für dieses Patientengut darstellen. Im Rahmen dieser Studie hätte der Intensivmediziner laut eigener Aussage bei einem Patienten im Lungenversagen (siehe Ergebnisse) wegen der kritischen Oxygenierung keine CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung verantwortet. Bei einem anderen hätte er das Risiko der CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung nur sehr ungern in Kauf genommen, um die indizierte CT durchführen zu können. Beide Patienten wurden unter Beibehaltung der hochwertigen intensivmedizinischen Beatmung mit der mobilen CT untersucht. Ob die Entwicklung des zweiten Patienten zu einer Restitutio ad integrum jedoch nach einer CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung nicht erfolgt wäre, bleibt hypothetisch. Die Einschätzung der Patientenbelastung durch das intensivmedizinische Personal ist eine sehr subjektive. Sie bot jedoch den Vorteil der Integration von objektiv erfassbaren Parametern mit den nicht unmittelbar messbaren Reaktionen des Patienten auf eine Behandlung. So können sich z.B. zwei Patienten mit der gleichen Herzfrequenz darin unterscheiden, dass der eine ein unruhiges Verhalten bei der CT-Untersuchung zeigte und der andere nicht. Der Idealfall für die Erfassung der Patientenbelastung wäre die Synthese aus vielen unterschiedlichen, objektiv quantifizierbaren Parametern und der Einschätzung durch das Personal gewesen, sodass der individuelle klinische Hintergrund des Patienten mit dem aktuellen physiologischen Zustand korreliert worden wäre. Ein solches Vorgehen hätte jedoch den Rahmen dieser Arbeit gesprengt, da hier eine orientierende

Evaluation der mobilen CT erfolgte, die mögliche Tendenzen für den klinischen Einsatz des Geräts aufzeigen sollte.

5.3.3 Verringerte Arbeitsbelastung

Die Arbeitsbelastung wurde von 81 % der befragten Ärzte als starke bzw. sehr starke Verbesserung gegenüber der CT in der radiologischen Abteilung angesehen. Eine ähnliche Ansicht vertrat gut jede zweite Pflegekraft (53%). Die Gründe für diese positive Bewertung bezüglich der Arbeitsbelastung durch die mobile CT könnten vor allem darin gelegen haben, dass die Station für die CT-Untersuchung nicht verlassen werden musste. Somit war sicherlich der Stressfaktor durch drohende Komplikationen während des Transports oder bei der CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung, der wohl vor allem für das ärztliche Personal bestand, vermindert. Die CT-Untersuchung auf der Intensivstation könnte dem Personal insofern Sicherheit gegeben haben, als dass alle intensivmedizinischen Mittel, die für die Beherrschung möglicher Komplikationen notwendig sind, unmittelbar zur Verfügung standen. Weiterhin konnte das Personal im Falle von unvorhergesehenen Verzögerungen die Zeit leichter sinnvoll überbrücken als dies in der radiologischen Abteilung möglich wäre. Selbst wenn es nicht zu Verzögerungen kam, konnte das Personal anderen Tätigkeiten während der CT-Untersuchung nachgehen. Bei unkompliziertem Verlauf der CT-Untersuchung konnte der Radiologe die Überwachung des Patienten übernehmen. Dies war über den im Interventionsraum installierten und von der radiologischen Computerkonsole aus leicht zu sehenden Monitor, der alle gängigen Überwachungsmodule (z.B. Blutdruck, Sauerstoffsättigung, etc.) unterstützt, möglich. Dadurch konnten kleinere, aber notwendige Tätigkeiten, wie Gespräche mit Angehörigen oder auch die ebenso notwendige persönliche Pflege des Personals auch während einer CT-Untersuchung stattfinden, ohne dass die Versorgung des Patienten darunter gelitten hätte. Denn das Personal war immer in Reichweite und konnte bei Bedarf ohne nennenswerten Zeitverlust herbeigeholt werden.

5.3.4 Verbesserte Logistik

Mit dem letztgenannten Aspekt hängt sicherlich auch die nach der Meinung von 88 % der Ärzte und 53 % der Schwestern / Pfleger verbesserte Logistik der CT-Untersuchung mit der mobilen CT gegenüber der Untersuchung in der radiologischen Abteilung zusammen. Die Logistik der CT-Untersuchung meint die Maßnahmen, die

für die Planung und Durchführung der CT-Untersuchung notwendig waren. Eine Erleichterung der Logistik durch die Untersuchung auf der Station war dadurch gegeben, dass keine Vertretung auf der Station für die den Transport begleitenden Ärzte und Schwestern / Pfleger organisiert werden musste. Darüber hinaus konnte die Durchführung der CT-Untersuchung auf der Station zeitlich flexibler gehandhabt werden, da der Untersuchungstermin nicht mit den Bedürfnissen der anderen Stationen abgestimmt werden musste.

5.3.5 Bessere Einbindung in die klinische Routine

Letzteres wiederum hatte sicherlich seinen Anteil daran, dass 69 % der Ärzte die Einbindung des mobilen CT in die klinische Routine als erleichtert bis stark erleichtert im Vergleich zur CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung bewerteten. Ähnlich empfanden es 53 % des Pflegepersonals. Ein weiterer Faktor könnte wiederum die Tatsache sein, dass das Personal die Station für die CT-Untersuchung nicht verlassen musste. Eine typische CT-Untersuchung dauert nach der in dieser Arbeit vorgenommenen Gliederung des Gesamtvorgangs etwa eine Stunde. Davon wurde bisher mindestens ein Drittel der Zeit außerhalb der Intensivstation verbracht (Transport und CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung). Wie oben schon ausgeführt, konnte diese Zeit nicht mit anderen kleineren Routinetätigkeiten ausgefüllt werden.

5.3.6 Der Interventionsraum als bevorzugter Untersuchungsort

Die positive Einschätzung der CT auf der Intensivstation durch das dort tätige Personal wird auch dadurch unterstrichen und gebündelt, dass die Intensivstation gegenüber der radiologischen Abteilung von der überwiegenden Zahl der Befragten als Untersuchungsort bevorzugt wird. 69 % der Ärzte und 63 % der Schwestern / Pfleger favorisierten den Interventionsraum der Intensivstation als Untersuchungsort. Einer der 16 Ärzte bevorzugt sogar die CT-Untersuchung direkt im Patientenzimmer, beim Pflegepersonal waren es sogar 25 % der Befragten. Letzteres könnte seine Begründung darin haben, dass dadurch der Transport und die mit seiner Vorbereitung zusammenhängenden Tätigkeiten (z.B. Diskonnektion der nicht lebensnotwendigen Medikamente) wegfallen könnten. Die genannten Einschätzungen sind bis jetzt nicht in Zahlen quantifizierbar, etwa anhand einer verbesserten Morbidität oder erniedrigten Mortalität der untersuchten Patienten. Weitergehende Studien müssen in Zukunft klären, welchen quantifizierbaren Effekt

die mobile CT auf das Wohl des Patienten besitzt. Die CT-Untersuchung im Patientenzimmer erfordert einen immensen zeitlichen und logistischen Aufwand vom Personal der Intensivstation. Da die Zimmer bei ihrer Planung nicht für den Einsatz der mobilen CT vorgesehen waren, sind die Platzverhältnisse für eine komfortable Installation der mobilen CT in der Regel nicht gegeben. Dies kann erhebliche Anstrengungen zur Neupositionierung der Überwachungs- und Therapiegeräte des Patienten erfordern. Zusätzlich sind etwaige Zimmernachbarn des zu untersuchenden Patienten vor Strahlenbelastung zu schützen. Durch diese Aspekte könnte die eher ablehnende Haltung des Personals bezüglich der CT-Untersuchung im Patientenzimmer begründet sein. Der Interventionsraum bietet genügend Platz, ohne dass auf eine adäquate intensivmedizinische Behandlung des Patienten auch während der Untersuchung verzichtet werden muss. Aufgrund der Ausstattung des Interventionsraums lässt sich sogar von einer radiologischen Abteilung in der schützenden Umgebung der Intensivstation sprechen. Er bildet eine eigene Entität auf der Station, ohne von ihr isoliert zu sein. Dadurch sind CT-Untersuchungen auf der Station möglich, bei denen einerseits der Routineablauf auf der Station nicht gestört wird (z.B. Transport der mobilen CT über die Station in die einzelnen Zimmer). Andererseits können die zu untersuchenden Patienten während der gesamten Prozedur der CT-Untersuchung intensivmedizinisch überwacht werden, wobei der überwachende Arzt ständig auf seiner Station zugegen ist.

5.4 Der Anteil der kritischen Intensivpatienten bei der CT-Untersuchung

Der Gesundheitszustand der evaluierten Patienten zum Zeitpunkt der CT-Untersuchung wurde in dieser Studie anhand dreier Aspekte determiniert. Zum ersten war er durch die Grunderkrankung des Patienten charakterisiert. Zum zweiten wurden zum Zwecke der Quantifizierung der Erkrankungsschwere intensivmedizinische Punktwertsysteme verwendet. Zum dritten wurden die zwei vorhergehenden Aspekte in Zusammenhang mit dem Urteil durch einen erfahrenen Intensivmediziner gebracht und diskutiert.

5.4.1 Intensivmedizinische Punktwertsysteme

In dieser Studie wurden drei verschiedene Intensivscores für die Patientencharakterisierung verwendet. Hierdurch sollte die Phase der jeweiligen Grunderkrankung in ihrer Schwere zum Zeitpunkt der Untersuchung mit der mobilen CT quantifiziert werden. Dies wiederum sollte die untersuchten Patienten hinsichtlich

eines möglichen erhöhten Transportrisikos vergleichbar machen. Intensivmedizinische Punktwertssysteme werden im allgemeinen dazu verwendet, Mortalitätsprognosen für Patientengruppen, die unter einer bestimmten Krankheit leiden oder einem bestimmten Therapieregime unterzogen werden, zu erstellen[35] [36]. Für diesen Zweck werden unter anderem die Abweichungen physiologischer Parameter von der Norm oder die Notwendigkeit bestimmter therapeutischer oder pflegerischer Maßnahmen mit Punkten bewertet[19, 37]. Die jeweilige Summe ergibt für den jeweiligen Bestimmungstag eine bestimmte Mortalitätswahrscheinlichkeit, die anhand verschieden großer Patientenkollektive z.T. im Rahmen von Multicenterstudien ermittelt wurde. In dieser Studie wurden die Scores dazu verwendet, den Gesundheitszustand des Patienten zum Zeitpunkt der CT-Untersuchung festzulegen. Dies geschah unter der Überlegung, dass man von der Mortalitätsprognose eines Patienten auf seinen Gesundheitszustand rückschließen kann. Denn je schlechter der Zustand eines Patienten ist, desto höher ist dessen Wahrscheinlichkeit im Laufe der Intensivtherapie zu sterben. Darüber hinaus lassen sich anhand der Störungen der physiologischen Systeme (z.B. hämodynamische Instabilität) oder der Notwendigkeit bestimmter Therapiemaßnahmen (z.B. Hämodialyse) [38] [39] [40] Aussagen über die Transport- oder auch Untersuchungsfähigkeit machen. In einer Studie über den Nutzen der transoesophagealen Echokardiographie bei Trauma-Patienten zum Ausschluss von aortalen Läsionen waren 19 % des untersuchten Patientenkollektivs aufgrund hämodynamischer Instabilität nicht für den Transport in die radiologische Abteilung geeignet[41]. Ein hämodynamisch instabiler Zustand rangierte auch in Gesprächen mit Intensivmedizinern als Grund für die Transportunfähigkeit eines Patienten an erster Stelle.

5.4.2 Die Patientencharakterisierung anhand physiologischer Parameter

Es wurden zwei intensivmedizinische Punktwertssysteme verwendet, die die Erkrankungsschwere der Patienten anhand physiologischer Parameter determinieren. Das bekannteste System dürfte das APACHE-System sein[19, 42]. In dieser Studie wurde der APACHE II-Score eingesetzt. Er besteht aus drei Komponenten und bestimmt den Status des Patienten anhand sogenannter Akutparameter (Herzfrequenz, Elektrolyte, etc.), der Anamnese bezüglich chronischer Erkrankungen und seinem Alter[43]. Für diese Studie hatte dieses

System allerdings nur untergeordnete Bedeutung, da es nur für die Bestimmung am Aufnahmetag des Patienten validiert ist. Diese Einschränkung ist aufgrund der relativ leichten therapeutischen Beeinflussung vieler Parameter (z.B. Serumkalium, -natrium) in diesem System gegeben. Daher muss davon ausgegangen werden, dass sich solche Parameter nach einer gewissen Zeit der intensivmedizinischen Therapie in Homeostase befinden, so dass keine eindeutige Aussage mehr bezüglich der Erkrankungsschwere des Patienten anhand dieses Evaluierungssystems vorgenommen werden kann. Im Rahmen dieser Studie wurde der Aufnahmezustand zwar auch für jeden Patienten anhand des APACHE II bestimmt, hatte jedoch nur für die unmittelbar nach der Aufnahme untersuchten Patienten (AUDI-Fälle, n=5) ergebnisrelevante Bedeutung. Ein weiterer Grund für die Verwendung des APACHE II war seine in der Literatur weite Verbreitung und Akzeptanz[44] [45] [46] [47] [48] [49]. Das zweite Score-System, das in dieser Studie verwendet wurde und auf der Evaluierung von physiologischen Parametern basiert, ist der MODS[50]. Er ähnelt dem Akutparametersystem (APS) des APACHE II. Jedoch werden nur 6 Parameter erhoben, die als Referenz für die 6 großen physiologischen Systeme stehen, die wesentlich beim Multiorganversagen betroffen sind[51]. Anders als das APACHE-System handelt es sich beim MODS nicht um einen Aufnahmescore, sondern um ein Evaluierungssystem, das täglich anwendbar ist. Neben seiner einfachen und schnellen Bestimmbarkeit war das der Grund für die Wahl des MODS als Evaluierungssystem für das Transportrisiko der Patienten, die mit der mobilen CT untersucht wurden.

5.4.3 Die Patientencharakterisierung anhand therapeutischer Maßnahmen

Eine andere Methode zur Feststellung des Gesundheitszustands eines Patienten ist die Bestimmung der notwendigen therapeutischen und pflegerischen Maßnahmen und deren quantitative Bewertung. Ein solches Punktwertsystem basiert auf der Annahme, dass die Menge der indizierten Maßnahmen positiv mit der Erkrankungsschwere der evaluierten Patienten korreliert. Das zugrunde liegende Prinzip lautet: Je schwerer ein Patient erkrankt ist, desto mehr therapeutische und pflegerische Zuwendung braucht er. Der in dieser Studie verwendete, auf diesem Prinzip basierende Intensivscore ist der TISS 28[20], der sich vom ursprünglichen TISS (76) [37, 52] herleitet und mit diesem eine hohe Korrelation aufweist[53, 54] [55]. Die hohe Korrelation zum ursprünglichen TISS mit 76 zu erhebenden

Therapiemaßnahmen und die einfachere Bestimmbarkeit gaben den Ausschlag für die Verwendung des TISS 28. Durch den Einsatz von Scores, die auf der Bestimmung von physiologischen Parametern beruhen und dem Einsatz des Pflegescores TISS 28 sollte die Aussagefähigkeit bezüglich der Erkrankungsschwere der Patienten erhöht werden. Denkbar ist, dass ein Patient durch einen Score, der auf der Bestimmung physiologischer Parameter basiert, in einem besseren Gesundheitszustand erscheint als er tatsächlich ist. Dies könnte durch den Erfolg der therapeutischen Maßnahmen bedingt sein. Bei einem solchen Patienten könnte dann umgekehrt ein höherer Aufwand bezüglich der therapeutischen Maßnahmen bestimmbar sein. Durch einen solchen Ausgleich sollte die Möglichkeit der Fehlklassifizierung eines Patienten minimiert werden. Die Höhe des TISS 28 wird einerseits durch den Gesundheitszustand des Patienten bestimmt, andererseits aber auch durch die Therapieregimes, die vom jeweiligen Arzt oder auch Patienten, der Station, dem Land oder sogar dem Kontinent abhängig sind. Dies ist ein Kritikpunkt an den Therapie- und Pflege-basierten Intensivscores[50]. Durch die gleichzeitige Bestimmung des MODS sollte die Gefahr einer sich darauf begründenden Fehlklassifizierung eines Patienten verringert werden. Auszuschließen sind die angesprochenen Fehlklassifizierungen allein auf Grundlage der Verwendung mehrerer Punktwertsysteme jedoch nicht. Gefordert bei der Interpretation der Punktwerte ist immer auch die Mitberücksichtigung der Grunderkrankung, die entscheidend für die Einschätzung des Transportrisikos des Patienten ist. So können sich zwei Patienten mit sich entsprechenden Punktwerten von TISS 28 und MODS bezüglich ihrer Transportfähigkeit deutlich unterscheiden. Ein Patient mit der Diagnose ARDS, der mittels künstlicher Lunge oxygeniert wird ist beispielsweise als nicht transportfähig einzustufen. Demgegenüber kann ein Patient mit terminaler Niereninsuffizienz bei indizierter CT-Untersuchung durchaus noch in die radiologische Abteilung transportiert werden (siehe Ergebnissteil). Für die genaue Zuordnung bestimmter Risiken beim Transport und der CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung, wurden die bezüglich ihrer Diagnose und des Intensivscores charakterisierten Patienten abschließend mit einem erfahrenen Intensivmediziner diskutiert. Die Korrelation des TISS 28 und des MODS diente der Überprüfung der richtigen Verwendung der Scores für die Patientencharakterisierung. Die Korrelation nach Pearson ergab einen Koeffizienten von $r = 0,7$.

5.4.4 Die Patientencharakterisierung durch einen erfahrenen Intensivmediziner

Um zu einer umfassenden Charakterisierung der Patienten bezüglich ihres Gesundheitsstatus zum Zeitpunkt der CT-Untersuchung mit der mobilen CT zu gelangen, wurden die Fälle abschließend mit einem erfahrenen Intensivmediziner diskutiert. Dieser nahm zum einen eine Einschätzung über die Transportfähigkeit der Patienten zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt vor. Damit der Intensivarzt seine Bewertung unbeeinflusst vornehmen konnte, wurden ihm die Ergebnisse der Scoreanalysen erst nachher mitgeteilt. Zum anderen urteilte der Intensivmediziner über die Indikation zur CT-Untersuchung, wobei er diese Bewertung anhand einer Skala von 1 (dringend indiziert) bis 5 (nicht indiziert) vornahm. Die subjektive Einschätzung des Intensivmediziners fiel überraschend aus. Laut seinen Aussagen hätte der überwiegende Anteil der Patienten anstatt mit der mobilen CT auch in der radiologischen Abteilung untersucht werden können. Auf Grundlage der Ergebnisse der Scoreanalysen, bei denen jeder zweite zum Zeitpunkt der CT-Untersuchung einer intensivmedizinischen Maximaltherapie (TISS 28 >40 Punkte) bedurfte und in fünf Fällen gar ein TISS 28-Wert von über 50 Punkten ermittelt wurde, konnte durchaus ein höherer Anteil an Patienten erwartet werden, für den der Transport und die CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung ein unkalkulierbares Risiko bedeutet hätte. Drei Patienten wurden von dem Intensivarzt zum Zeitpunkt der Untersuchung mit der mobilen CT als transportunfähig eingestuft. Zwei der Patienten wurden in ihrem Zimmer auf der Intensivstation computertomographisch untersucht. Bei dem einen Fall (stumpfes Bauchtrauma) wäre aufgrund der extrem instabilen hämodynamischen Situation ein Transport nur unter höchstem Risiko für den Patienten durchführbar gewesen. Der zweite Fall (ARDS) war wegen schlechter Oxygenierung auf die extrakorporale Lunge angewiesen. Der dritte Patient, der als nicht transportfähig befunden wurde, wurde gleichsam im Patientenzimmer mit der mobilen CT untersucht. Auch in diesem Fall lag ein schweres Lungenversagen vor. Nach Aussagen des behandelnden Arztes war die Oxygenierung des Patienten schon im Rettungswagen extrem schwierig, weshalb die unverzügliche intensivmedizinische (Beatmungs-)Therapie dringend indiziert war. Aus diesem Grund schied eine vorhergehende CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung trotz gegebener Indikation aus. Dieser Patient wurde im Rahmen der weiteren Intensivbehandlung noch zweimal im Interventionsraum untersucht und wurde auch für diese beiden CT-Untersuchungen wegen seiner sehr instabilen

hämodynamischen und pulmonalen Situation als nicht transportfähig eingestuft. Im Fall der genannten drei Patienten war die Verfügbarkeit der mobilen CT für die weitergehende radiologische Diagnostik unverzichtbar. Bei zwei der drei Fälle, die alle im Laufe der Intensivtherapie verstarben, folgte eine direkte Konsequenz aus der CT-Untersuchung. In einem Fall wurde aufgrund der infausten Situation die weitere Therapie abgebrochen, im anderen kam es zu einer umfassenden chirurgischen Versorgung des Abdomens. Alle drei Patienten konnten sowohl durch ihre Grunddiagnose (1x stumpfes Überrolltrauma, 2x ARDS), als auch durch ihre Punktwerte (TISS 28: 44-53 Punkte und MODS: 8-18 Punkte) als Hochrisikopatienten eingestuft werden. Bei weiteren drei Patienten lautete das Urteil des Intensivmediziners, dass er diese Patienten nur unter Vorbehalt in die radiologische Abteilung gebracht hätte. Ein Patient (im Zustand der Sepsis; TISS 28: 37 Punkte, MODS: 6 Punkte) bot ausgelöst durch ischämisch neurologische Insulte ausgeprägte hämodynamische Schwankungen. Der zweite (ARDS; TISS 28: 47, MODS: 10) befand sich in einer grenzwertigen Oxygenierungssituation. Im dritten Fall (Sepsis; TISS 28: 37; MODS: 18) lag eine ausgeprägte Immunsuppression vor. Die TISS 28-Werte liegen in zwei der drei Fälle, wenn auch nur knapp, unter der Grenze von 40 Punkten. Die MODS-Werte weisen eine hohe Schwankungsbreite (6-18 Punkte) auf. Daraus lässt sich ableiten, dass die Scores für sich allein genommen nur eine Tendenz bezüglich des Transportrisikos wiedergeben. Alle Patienten, die vom Intensivarzt als nicht transportfähig angesehen wurden, wiesen in mindestens einem Scoresystem Höchstwerte auf. Diejenigen Patienten, die als bedingt transportfähig eingestuft wurden, zeigten in mindestens einem der Scoresysteme Mittel- bis Höchstpunktwerte. Den vorliegenden Ergebnissen zufolge muss als Schlussfolgerung für die Verwendung von intensivmedizinischen Bewertungssystemen zur Einschätzung der Transportfähigkeit festgestellt werden, dass sich die Punktwerte nur in Zusammenhang mit der Grunderkrankung und gegebenenfalls deren individueller oder phasenweiser Ausprägung sicher interpretieren lassen.

5.5 Einsatz des Tomoscan M im Interventionsraum der Intensivstation

Die Evaluation des Geräts erfolgte auf einer Intensivstation, wobei die Untersuchungen nur in wenigen Ausnahmefällen (4) im Patientenzimmer stattfanden

(siehe Falldiskussionen). Der überwiegende Teil der Untersuchungen wurde im Interventionsraum der Station durchgeführt (**Abb.3/23**).

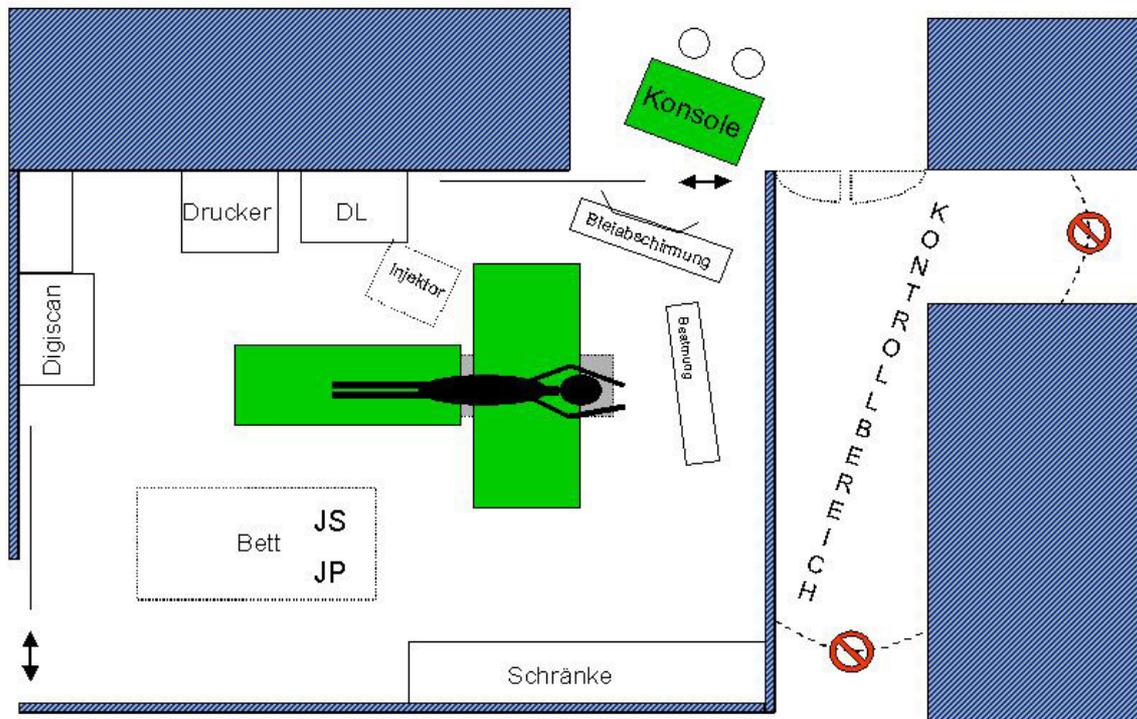


Abb. 23 Skizze des Interventionsraumes, Auf der Abbildung ist der Interventionsraum der internistischen Intensivstation, in dem die mobile CT evaluiert wurde, skizziert. Grün sind die Komponenten des Tomoscan M-Systems dargestellt. Der Flur außerhalb der Station ist zum Schutz von Passanten mit Ketten abgesperrt. Die akquirierten Bilder können im Dicom-Format per Netzwerk in Marvin (einem Mini-PACS) archiviert werden und stehen von dort aus den anderen Stationen zur Verfügung.

Nur letztere waren für die im Ergebnisteil präsentierten Zeitergebnisse relevant. Die Gründe für den Interventionsraum als Hauptuntersuchungsort liegen vor allem in den Bestimmungen zum Strahlenschutz. Aufgrund der geltenden Regeln beim Umgang mit ionisierenden Strahlen sind für den Betrieb eines Computertomographen bestimmte bauliche Vorgaben der Patientenzimmer zu erfüllen. Einerseits darf keine Strahlenbelastung für die Zimmernachbarn bei der Untersuchung mit der mobilen CT entstehen. Andererseits muss die Streustrahlenemission in die benachbarten Räume auf ein Minimum reduziert werden. Es ist klar, dass die Patientenzimmer zum Zeitpunkt ihrer Erbauung nicht für den Einsatz eines Computertomographen vorgesehen waren. Die Umrüstung der Zimmer ist aus mehreren Gründen zumindest in der Gegenwart nicht realisierbar. Der finanzielle Aufwand ist hierbei an erster Stelle zu nennen. Gerade in der Zeit von drastischen Maßnahmen zur Verringerung

der Kosten im Gesundheitswesen wäre eine Aufrüstung der Patientenzimmer nicht überzeugend zu begründen. Dies ist insbesondere bei einer neuen Methode wie der mobilen CT der Fall, deren Nutzen im klinischen Alltag zum jetzigen Zeitpunkt erst ansatzweise abzuschätzen ist. Ein weiterer Aspekt sind die Umbaumaßnahmen selbst, die zu einer Belastung der jeweiligen Station führen. In den Zimmern, in denen die Arbeiten gerade stattfinden, können keine Patienten behandelt werden, wodurch die Bettenkapazität eingeschränkt wäre. Außerdem gehen Bauarbeiten mit Verschmutzung und Lärmbelästigung einher, was den klinischen Betrieb zusätzlich beeinträchtigt. Es konnten nur wenige Räume der Station, die aufgrund ihrer Lage und Größe (Ein-Patientenzimmer) den Bedingungen des Strahlenschutzes gerecht wurden, für den Einsatz der mobilen CT zugelassen werden. Damit aber das Gerät dennoch für die Untersuchung aller Patienten der Station eingesetzt werden konnte, wurde der Interventionsraum für den Betrieb des Tomoscan M geprüft und abgenommen. Dieser Raum ist ein zentrales Element der Station und von den Patientenzimmern aus leicht zu erreichen. Er war schon vor der Installation des mobilen Computertomographen für die Anwendung der interventionellen Durchleuchtung vorgesehen. Beim Betrieb der mobilen CT muss der benachbarte Flur außerhalb der Station, auf dem sonst auch Besucherverkehr stattfindet, abgesperrt werden. Damit ist sicher gestellt, dass sich während einer CT-Untersuchung niemand ungewarnt der Strahlung aussetzen kann. Über der Tür zum Stationskorridor leuchtet während des Betriebs der CT eine Warnlampe. Der Idealfall der mobilen CT wäre der Einsatz im jeweiligen Patientenzimmer, was aber aus den genannten Gründen zur Zeit nicht möglich ist. Außerdem wäre der Aufwand aufgrund der Installation der mobilen CT im jeweiligen Patientenzimmer sowohl vom zeitlichen, als auch vom personellen Aufwand her um ein Vielfaches höher gewesen (siehe Falldiskussionen). Das Gesamtgewicht der Tomoscan M-Komponenten liegt bei 800 kg, von denen 460 kg auf die Gantry entfallen. Diese ist in der Praxis, obwohl sie geringere Abmessungen (auf die Fußbodenebene bezogen) als ein Intensivbett hat, nur sehr schwerfällig zu bewegen. Ein Intensivbett hingegen ist von einer Person leicht von einem Ort an den anderen zu fahren. Demgegenüber ist der Transport der Gantry des Tomoscan M selbst von zwei Transporteuren, besonders wenn es sich um einen verwinkelten Weg handelt, nicht leicht zu bewerkstelligen. Für den routinemäßigen örtlich flexiblen Einsatz der mobilen CT zwischen den Stationen, bei denen längere Strecken, zurückzulegen wären und der den Transfer von Patienten

zu den CT-Geräten in der radiologischen Abteilung ersetzen könnte, scheint das Gerät nicht geeignet. Zweimal in der Zeit seiner Evaluation wurde die mobile CT von anderen Stationen angefordert, was einen Transport der Komponenten notwendig machte, was nur unter außerordentlich hohem personellen und zeitlichem Aufwand zu bewerkstelligen war. Unter den genannten Aspekten ist der mobile Computertomograph Tomoscan M demnach eher nicht als mobil einzustufen in dem Sinne, wie dies beispielsweise für Ultraschallgeräte gilt. Dennoch kann man anhand der Fallvorstellungen auch für den Tomoscan M argumentieren. Die CT-Untersuchungen der Patienten waren absolut indiziert und hätten ohne Verfügbarkeit der mobilen CT nicht oder nur unter extremem logistischen Aufwand und Risiko beim Transport des Patienten durchgeführt werden können. Für diese Ausnahmefälle war es also ein Vorteil bezüglich der Qualität der Diagnostik, dass ein transportabel konzipiertes CT-Gerät vorhanden war. Für die erste Stufe der Evaluation der mobilen CT war der Kompromiss, die CT-Untersuchungen im Interventionsraum auszuführen, jedoch zu akzeptieren. Denn die klinische Einsatzfähigkeit und Tauglichkeit des Geräts konnte auch im Interventionsraum evaluiert werden. Inwieweit sich durch einen derartigen Einsatz der mobilen CT Vorteile für die Patienten oder das Intensivpersonal ergaben, wurde anhand der Bestimmung der Erkrankungsschwere der Patienten (Scores) und der Befragung des Personals (Fragebogen) zu ermitteln versucht.

5.6 Örtlich flexibler Einsatz des Tomoscan M

5.6.1 Allgemeine Überlegungen

Bei örtlich flexiblem Einsatz eines mobilen CT-Gerätes käme der Radiologe aufgrund des notwendigen Geräte-Transports nicht mehr ohne weitere personelle Hilfe aus (siehe Falldiskussionen). Für einen schnellen und reibungslosen Transport der Tomoscan M-Komponenten werden mindestens 4 Personen benötigt: 2 Personen für den Transport der recht unhandlichen Gantry. Eine für den CT-Tisch und eine weitere für die Computerkonsole und gegebenenfalls den fahrbaren Kontrastinjektomat. Sind weniger Personen beteiligt, ist der Transport ebenso möglich, jedoch dauert der Vorgang entsprechend länger. Für diese Aufgaben müssten aber keine medizinisch-technisch ausgebildeten Kräfte angefordert werden. Da bei der mobilen CT der Transport des Patienten entfällt, könnte das dafür frei

werdende Transportpersonal alternativ die CT-Komponenten auf die anfordernde Station bringen.

5.6.2 Fall1: Notfalldiagnostik eines schweren, stumpfen Bauchtraumas

Der Patient wurde nach einem Überrolltrauma als schwerer Notfall in die Klinik eingewiesen. Der Patient befand sich in einem schweren Schock, der auf den immensen Blutverlust zurückzuführen war. Die hämodynamische Situation blieb aufgrund der zahlreichen abdominellen Sickerblutungen sehr instabil. Zusätzlich zeichnete sich ein beginnendes Multiorganversagen ab, mit der Gefahr eines ARDS. Eine CT-Untersuchung war indiziert, damit sich die Traumatologen ein Bild von der Schwere der inneren Verletzungen machen konnten und dadurch eine adäquate chirurgische Sanierung der Verletzungen planen zu können. Jedoch wurde der Patient von den behandelnden Anästhesisten und Chirurgen als nicht transportfähig eingestuft. Daher wurde der mobile Computertomograph, der im Rahmen der vorliegenden Studie evaluiert wurde, von der anästhesiologischen Intensivstation angefordert. Da die anfordernde Station in einem anderen Gebäude des Klinikums gelegen ist, forderten die eingesetzten Radiologen für den Transport der Tomoscan M-Komponenten drei technische Assistenten aus der radiologischen Abteilung an. Mit Hilfe des zusätzlichen Personals war der Transport in einem Zeitraum von 33 Minuten durchführbar. Die Installation der Komponenten im Patientenzimmer verlief aufgrund der Größe des Raumes unkompliziert (**Abb.24**). Der Patient wurde auf den CT-Tisch umgelagert. Die gesamte Medikation, sowie die intensivierete Beatmung konnten kontinuierlich über den gesamten Zeitraum der CT-Untersuchung beibehalten werden. Letzteres war ein wesentlicher Grund für die Anforderung der mobilen CT. Die Untersuchung ließ sich schnell und sicher durchführen, und der Patient bot keinerlei Komplikationen. Für das Umlagern des maximaltherapierten Patienten waren elf Personen (3 Anästhesisten, 2 Radiologen, 6 Pfleger) anwesend. Der Zeitpunkt der Untersuchung war in der Nacht gelegen, was die Situation bezüglich des logistischen Aspektes erschwerte. Der zeitliche Aufwand gemessen vom Zeitpunkt der Indikationsstellung betrug fünf Stunden.



Abb. 24 Tomoscan M im Notfall I, Dargestellt ist die Anordnung des Tomoscan M-Systems auf der anästhesiologischen Intensivstation. Weiterhin kann man einen Eindruck vom personellen Aufwand zur Vorbereitung der CT-Untersuchung zu gewinnen.

5.6.3 Fall 2: Notfalldiagnostik zur Vorbereitung einer Lebertransplantation

Dieser Fall wurde nicht in die Ergebniszusammenfassung integriert, da es sich bei dem untersuchten Patienten um ein Kind (11 Jahre) handelte. Bei dem Patienten lag ein Multiorganversagen bei Zustand nach Transplantatabstoßung vor. Der Junge wurde von den behandelnden Anästhesisten und Chirurgen als nicht transportfähig eingestuft. Zur Zeit der CT-Untersuchung wurde eine maximale intensivmedizinische Therapie mit einer Hämodialyse durchgeführt. Zur Entscheidung, ob der Junge für eine erneuten Lebertransplantation in Frage kommt, war eine Abklärung seines neurologischen Zustands erforderlich. Insbesondere die Frage nach einem Hirnödem oder einer Hirnblutung sollte durch ein neurologisches Konsil beantwortet werden. Die klinische Untersuchung durch den Neurologen konnte keine sichere Diagnose wegen der Sedierung des Patienten leisten. Nach Aussagen des Neurologen war die Durchführung einer computertomographischen Untersuchung des Kopfes zur neurologischen Abklärung notwendig. Das weitere Vorgehen wurde von drei

erfahrenen Klinikärzten (Chirurg, Pädiater, Radiologe) diskutiert. Ergebnis dieser Diskussion war eine Befürwortung der mobilen CT vor Ort als sinnvolle und einzig mögliche Option für die Entscheidungsfindung zur Re-Transplantation. Aufgrund der Transportunfähigkeit des Patienten wurde die mobile CT für die Untersuchung angefordert. Das Gerät musste von der Internistischen Intensivstation, wo es im Rahmen der vorliegenden Studie installiert war, auf die chirurgische Intensivstation in einem anderen Gebäude des Klinikums gebracht werden. Das Tomoscan M-System wurde von zwei Radiologen und drei technischen Assistenten zum Einsatzort transportiert. Der Patient war nicht mobilisierbar, was die Durchführung der CT-Untersuchung erschwerte. Daher musste die CT-Untersuchung ohne CT-Tisch mit der Gantry am Patientenbett durchgeführt werden. Es existierten keine CT-Positionierungs-vorrichtungen für Intensivbetten, die eine Untersuchung ohne Umlagerung des Patienten ermöglicht hätten. Daher wurde mit Plastiklagerungshilfen und einem Holzregalbrett der Station eine den Anforderungen gerecht werdende Positionierungsvorrichtung improvisiert. Die Untersuchung wurde unter extremen personellen Anstrengungen mit 4 Pflegekräften, 2 Intensivmedizinern und 2 Radiologen durchgeführt. Erschwerend kam auch hier der in der Nacht gelegene Untersuchungszeitpunkt hinzu. Der gesamte Vorgang von der Indikationsstellung über die Untersuchung bis zum Abbau und Rücktransport des mobilen Computertomographen benötigte ca. sieben Stunden.

5.6.4 Fall 3: Notfalldiagnostik eines akuten Lungenversagens

Im Gegensatz zu den zwei zuvor dargestellten Fällen wurde der im folgenden besprochene Patient auf der evaluierten internistischen Intensivstation untersucht. Jedoch fand die CT-Untersuchung auch in diesem Fall im Patientenzimmer statt. Da sich der Patient im Stadium eines Lungenversagens (ARDS) befand und eine extrakorporale Oxygenierung indiziert war, war die CT-Untersuchung Patientenzimmer unabdingbar. Die Tomoscan M-Komponenten wurden vom Interventionsraum der Station in das Patientenzimmer transportiert. Aufgrund der geringen Abmessungen des Raumes, konnte das mobile CT nicht parallel zum Bett des Patienten aufgestellt werden, sondern musste in eine diagonale Position gebracht werden (**Abb.25**). Der Patient wurde für die CT-Untersuchung des Thorax auf den CT-Tisch umgelagert. Aufgrund seiner schlechten Oxygenierungssituation wurde er auf dem Bauch liegend computertomographisch untersucht. An der Umlagerung des Patienten waren acht Personen (3 Intensivmediziner, 1 Radiologe, 4

Pfleger) beteiligt. Auch in diesem Fall verlief die CT-Untersuchung, die nach Ansicht der behandelnden Ärzte nicht in der radiologischen Abteilung hätte durchgeführt werden können, komplikationslos. Von der Indikationsstellung über die Planung bis zur Beendigung der CT-Untersuchung vergingen viereinhalb Stunden.



Abb. 25 Tomoscan M im Notfall II, Die Abbildung zeigt die Anordnung des Tomoscan M-Systems im Patientenzimmer. Aufgrund der geringen Abmessungen des Raums musste das mobile CT diagonal im Zimmer positioniert werden

5.6.5 Bilanz der mobilen CT im Patientenzimmer

Wie den Fallvorstellungen zur CT-Untersuchung im Patientenzimmer zu entnehmen ist, bedarf es zu ihrer Durchführung eines hohen personellen und zeitlichen Aufwands (4,5 bis 7 Stunden). Es handelte sich jeweils um Patienten, deren Transport in die radiologische Abteilung aufgrund des kritischen Gesundheitszustands von den behandelnden Ärzten als unverantwortlich angesehen wurde. Zur Wahrung eines stabilen physiologischen Zustands der Patienten, waren diese auf eine kontinuierliche, maximal intensivste medizinische Überwachung und Therapie, wie sie nur auf der Intensivstation gewährleistet ist, angewiesen. In allen der drei Fälle hatte das CT eine direkte Konsequenz (chirurgische Intervention), jedoch waren letztlich alle Patienten ihrer schweren Erkrankung erlegen. Die

Erfahrungen mit der computertomographischen Untersuchung der Patienten vor Ort im Patientenzimmer sind im Rahmen dieser Studie noch sehr gering. Es lässt sich aber zumindest tendenziell die Aussage treffen, dass derlei diagnostische Maßnahmen mit einem enormen zeitlichen und personellen Aufwand verbunden sind. Allerdings hat sich auch gezeigt, dass Fälle, die unter keinen Umständen als transportfähig eingeschätzt werden, eher selten sind. Weitergehende Studien müssen die klinische Bedeutung der mobilen CT im Patientenzimmer klären.

5.7 Mobile CT wird in sequentiellen Arbeitsschritten ausgeführt

Der Radiologe arbeitet bei der CT-Untersuchung vor Ort auf der jeweiligen Station ohne die Hilfe einer technischen Assistenz (MTRA). Alle Arbeiten von der Vorbereitung des Geräts über das Umlagern des Patienten bis zur Vorbereitung des CT-Gerätes für eine neue Untersuchung muss der Radiologe allein bewerkstelligen. Daher lässt sich die CT-Untersuchung auf der Station als rein sequentieller Vorgang beschreiben. Demgegenüber kann sich die technische Assistenz in der radiologischen Abteilung um die Bedienung und Wartung des Geräts kümmern und so den Arzt entlasten. Dieser kann sich dadurch vermehrt der medizinischen Tätigkeiten wie Aufklärung des Patienten, Befundung von Bildern, etc. widmen.

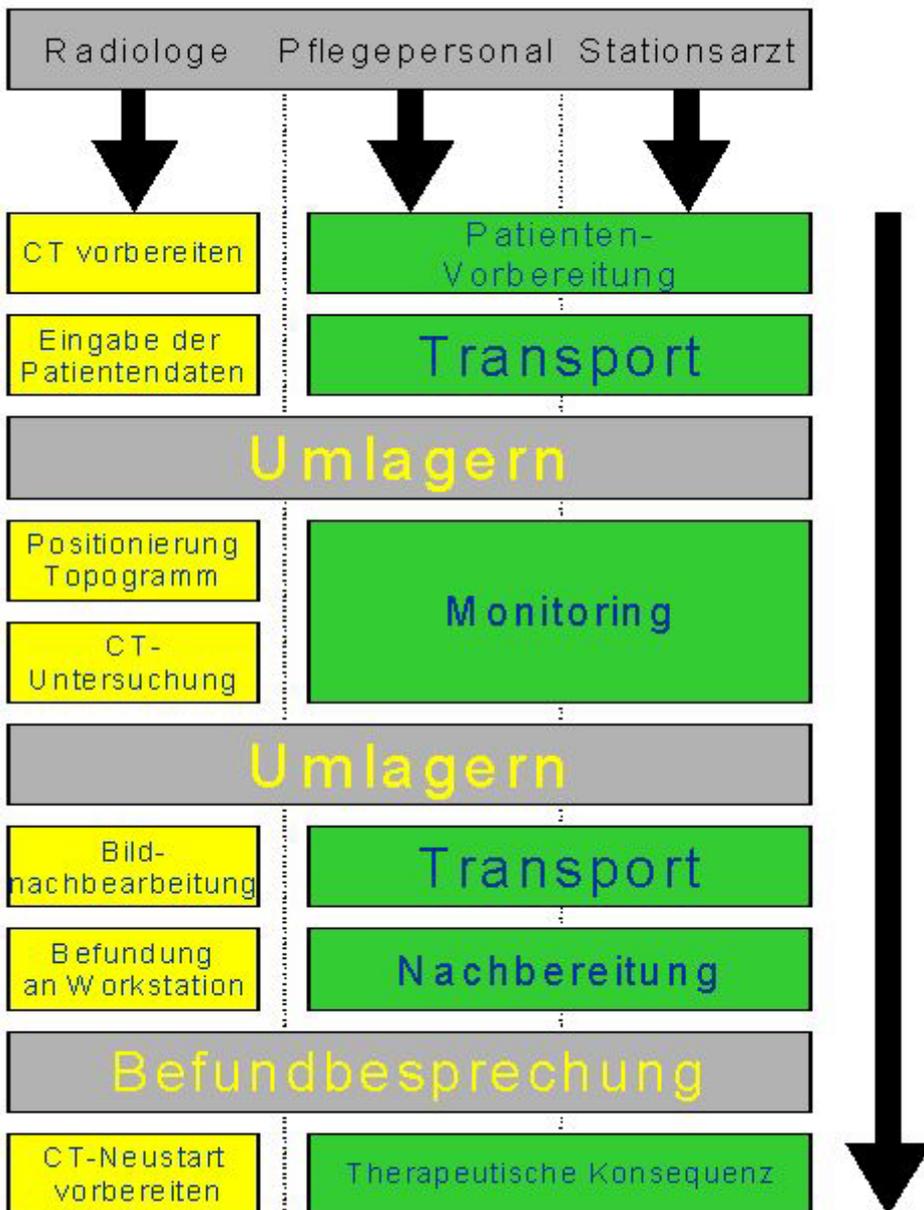


Abb. 26 Arbeitsablauf der mCT, Schematische Übersicht des Arbeitsablaufs einer CT-Untersuchung. Gelb sind die Tätigkeiten, die der Radiologe allein ausführen muß unterlegt. Die hellgraue Unterlegung kennzeichnet die Tätigkeiten, die vom Radiologen, dem Pflegepersonal und dem Stationsarzt gemeinsam unternommen werden. Grün sind die Maßnahmen, die vom jeweiligen Stationspersonal verrichtet werden unterlegt.

5.8 Vorteile der mobilen CT

5.8.1 Bessere Überwachung von Patient und Station

Für die Untersuchung mit der mobilen CT müssen der Patient und das Begleitpersonal die Intensivstation nicht verlassen. Treten bei dem zu untersuchenden Patienten Komplikationen auf, so kann unverzüglich auf das gesamte Spektrum der intensivmedizinischen Therapie zurückgegriffen werden. Ein

weiterer Vorteil ist, dass das Begleitpersonal für die Lösung eventueller Probleme anderer Patienten, wie sie auf der Intensivstation immer wieder vorkommen, permanent und unmittelbar zur Verfügung steht. Durch die mobile CT könnte demnach die Qualität der intensivmedizinischen Überwachung aller Patienten während der CT-Untersuchung verbessert werden. In diesem Zusammenhang ist besonders darauf hinzuweisen, dass bei der mobilen CT die gesamte intensivmedizinische Überwachung und Medikation des Patienten während der Untersuchung beibehalten werden kann. Letzteres könnte sich vor allem bei kritischen Patienten als vorteilhaft erweisen, da denkbar ist, dass eine kontinuierliche medikamentöse Therapie zur Stabilisierung des Patienten beiträgt. Bei Patienten mit Ventilationsstörungen ist die Beatmung mit Behelfsgeräten wie Oxylog, Medumat oder Ambobeutel nur kurzzeitig notwendig (während des Transports bei Untersuchung im Interventionsraum) oder kann sogar ganz entfallen (Untersuchung im Patientenzimmer). Bei der CT-Untersuchung auf der Intensivstation kann die intensivisierte Beatmung mit individuell auf die Bedürfnisse des Patienten einstellbaren Geräten erfolgen (**Abb.27**). Nachteilig wirkt sich bei den einfacheren portablen Respirationsgeräten aus, dass diesen Geräten diverse Beatmungsoptionen fehlen, da sie nur für die kurzzeitige Beatmung bei Transport oder Reanimation außerhalb der Intensivstation konzipiert sind. Bestimmte Einstellungen der Ventilation sind aber für Patienten, die unter Oxygenierungsstörungen (z.B. ARDS) leiden, erforderlich [56, 57].



Abb. 27 CT-Untersuchung bei Intensivbeatmung, Auf diesem Bild ist die Beibehaltung der intensivierten Beatmung während der CT-Untersuchung im Interventionsraum dargestellt

Es ist denkbar, dass es bei mobilen Beatmungsgeräten aufgrund der hohen mechanischen Beanspruchung eher zu Verschleißerscheinungen kommt. Auch wenn die regelmäßige Wartung solcher Geräte gesetzlich vorgeschrieben ist, liegen hier Gefahren von Fehlfunktionen, hervorgerufen durch Abnutzung oder unbemerkten Schäden. Zudem birgt das Konzept von tragbaren und kostengünstigen Beatmungsgeräten die Gefahr von Verarbeitungsmängeln [58]. Ein weiterer positiver Aspekt des weitgehenden Verzichts auf einfachere mobiler Beatmungsgeräte ist, dass es für die Untersuchung des Patienten keiner Intensivierung seiner Sedierung bedarf. Dadurch ist das Risiko von Nebenwirkungen durch sedierende Medikamente

(z.B. Herzkreislaufdepression, Wechselwirkungen mit anderen Medikamenten) bei der mobilen CT geringer einzuschätzen als bei der stationären.

5.8.2 Manipulation an Katheterschläuchen erhöht das Kontaminationsrisiko

Die mobile CT ermöglicht es, alle über den zentralen Venenkatheter infundierten Medikamente auch während der Untersuchung zu applizieren, was als Vorteil zu werten ist. Für die ortsfeste CT war es ohne Ausnahme so, dass die Infusionsautomaten mit den nicht lebensnotwendigen Medikamenten diskonnektiert wurden. Jedoch wurde von der Möglichkeit, die gesamte Medikation beizubehalten bei der Untersuchung im Interventionsraum nur selten Gebrauch gemacht. CT-Untersuchungen werden häufig außerhalb der Routine durchgeführt, so dass sich das zur Intensivpflege gehörende Wechseln der Infusionsleitungen nicht immer mit der Untersuchung abstimmen lässt. Durch das Diskonnektieren der nicht lebensnotwendigen Medikamente für die CT-Untersuchung kommt es also zu einer zusätzlichen Manipulation an den Leitungen zum ZVK. Dadurch steigt auch das Risiko einer Kontamination des zentralen Zugangs mit Keimen [59, 60]. Kontaminierte intravenöse Zugänge sind eine häufige Ursache von nosokomialen Infektionen [61]. Zudem mussten häufig nach der Untersuchung die Leitungen des ZVK mit Kochsalzlösung gespült werden, da sie wegen des unterbrochenen Flüssigkeitsstroms verstopften. Es ist denkbar, dass auch solche Ereignisse die Kontaminierung des zentralen Venenkatheters fördern können.

5.8.3 CT-Untersuchung unter Isolierbedingungen

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der mobilen CT ist die Möglichkeit der CT-Untersuchung im Isolierzimmer oder der Isolierstation. Hierbei ist vor allem der Einsatz auf der onkologischen Intensivstation bemerkenswert. Patienten, die sich im Zustand nach Knochenmarkstransplantation befinden, müssen für einen gewissen Zeitraum isoliert werden. Aufgrund ihrer Immunsuppression in der Phase der Aplasie oder Neutropenie sind sie stark infektionsgefährdet. Gerade bei diesen Patienten ist, vor allem, wenn sie klinische Entzündungszeichen bieten, eine frühzeitige, hochsensitive Diagnostik indiziert. Bei Infektionen, die zumeist den Respirationstrakt betreffen, oder sonstigen Komplikationen (Medikamenttoxizität, Graft versus Host-Reaktion) kann somit rechtzeitig gezielt medikamentös therapiert werden. Bisher konnte auf der onkologischen Intensivstation nur die konventionelle Röntgenaufnahme unter sterilen Bedingungen im Isolierzimmer angefertigt werden.

Das konventionelle Röntgen-Thorax ist das Mittel der Wahl für die Diagnose pulmonaler Infekte [62]. Bei frühzeitigen Zeichen einer drohenden Komplikation oder weitergehenden Fragestellungen wurde eine CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung unter eingehender Risiko-/Nutzenabwägung durchgeführt. Hierfür musste die Isolierung für die Zeit der Untersuchung aufgehoben werden, was ein erhöhtes Infektionsrisiko für den Patienten bedeutete. Mit der mobilen CT ist es nun möglich geworden, auch die CT-Untersuchung unter sterilen Bedingungen vorzunehmen. Möglicherweise kann die Prognose der genannten Patientengruppe in Zukunft durch den Einsatz der mobilen CT unter Isolierbedingungen verbessert werden. Die CT bedeutet eine Verbesserung der Diagnostik, vor allem, da die konventionelle Röntgen-Thoraxaufnahme nur gering sensitiv für die Detektion von Lungeninfiltraten in der Frühphase nach Knochenmarktransplantation ist [17].

5.8.4 Für Diagnostik und Verlaufskontrolle ausreichende Bildqualität

Nach eigenen und in der Literatur [9][70] belegten Erfahrungen bietet der Tomoscan M eine für die Diagnostik und Verlaufsbeurteilung akzeptable Bildqualität. Die folgenden drei Abbildungen (**Abb.28-30**) geben typische Untersuchungsbefunde, wie sie mit der mobilen CT angefertigt wurden, wider.

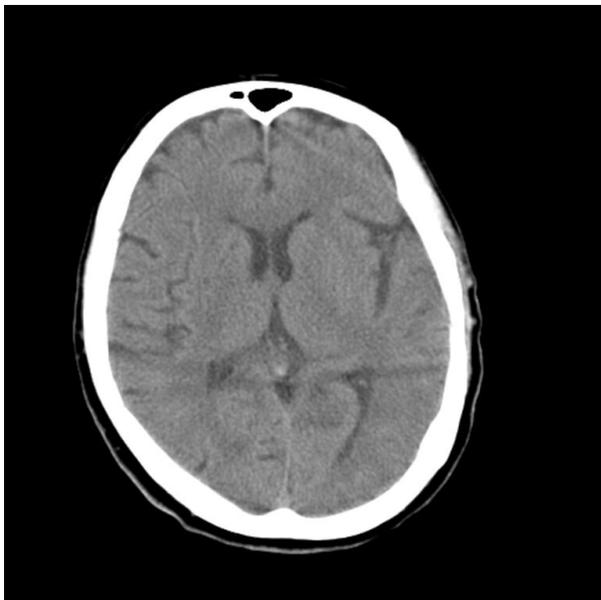


Abb. 28 CCT, Auf der Abbildung ist eine typische CCT, wie sie bei den Untersuchungen mit dem Tomoscan M angefertigt wurde, dargestellt

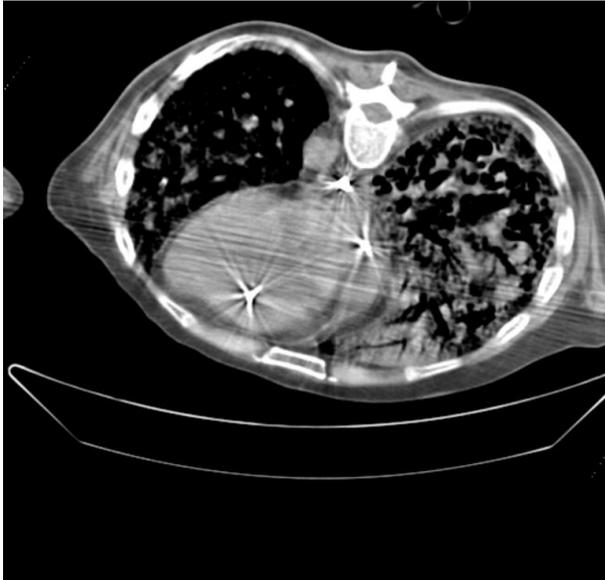


Abb. 29 HRCT, Die Abbildung zeigt eine High-Resolution-Aufnahme des Thorax bei einem Patienten im Lungenversagen (ARDS, 4.6.4 Fall 3: Notfalldiagnostik eines akuten Lungenversagens)



Abb. 30 CTBA, Auf der CT-Aufnahme, die mit der mobilen CT bei einem Patienten mit stumpfem Bauchtrauma erstellt wurde, zeigen sich deutlich Blutungsherde in der Leber

5.9 Fehler des Tomoscan M

Ein Nachteil der mobilen CT in der Anfangszeit seines Einsatzes war seine relativ hohe Reparaturanfälligkeit, die manchmal zur Störung des klinischen Ablaufs führte, weil auf die ortsfeste anstatt der geplanten mobilen CT zurückgegriffen werden musste. Diese Probleme wirkten sich sowohl auf die Schichtplanung der nephrologischen Station, als auch den Ablauf der stationären CT aus, da der Patient kurzfristig in den Untersuchungsplan der radiologischen Abteilung eingebunden werden musste. Die unerwarteten Problemen, die die mobile CT bereitete und zum Ausfall des Geräts für die CT-Untersuchung führten, waren vor allem Fehler in der

Steuerbarkeit der Untersuchungsliege, die durch einen störanfälligen Stecker mit der Gantry verbunden ist. Durch häufiges An- und Entkoppeln der Liege von der Gantry nahm dieser Stecker leicht Schaden. Das Auftreten dieses mechanischen Problems dürfte sich durch eine Verbesserung der Konstruktion seitens des Herstellers in Zukunft vermeiden lassen. Des Weiteren wurde der reibungslose Einsatz der mobilen CT durch Fehler in der Software der Workstation behindert, die manchmal zu Systemabstürzen führte. Damit lässt sich auch die bereits oben diskutierte, im Vergleich zur CT in der radiologischen Abteilung verlängerte Zeit für die Erstellung des Topogramms begründen.

5.9.1 Von der Diagnose zur Therapie; AWIGS als Alternative zur mobilen CT

Das Konzept der mobilen CT verfolgt eine Annäherung (örtlich und zeitlich) der erweiterten radiologischen Diagnostik mit den sich daran anschließenden therapeutischen Maßnahmen. Eine moderne Konzeption beim Bau eines neuen Krankenhauses sieht die enge räumliche Anordnung von Intensivstationen und der radiologischen Abteilung vor, damit die Wege zwischen Diagnostik und Therapie so kurz wie möglich sind. Hiermit soll eine umfassende Diagnostik der Patienten ohne den Aufwand und das Risiko langer Transporte mit kritischen Patienten erreicht werden. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang das AWIGS System (Advanced Workplace for Image Guided Surgery) [63], das eine umfassende und unverzügliche radiologische Diagnostik traumatisierter Patienten ermöglichen soll. Das zugrunde liegende Konzept beinhaltet die räumliche und zeitliche Integration von Chirurgie und CT für die optimale Versorgung schwer verletzter Patienten, wobei Diagnose, Operation und Kontrolle in engem zeitlichem Abstand aufeinander folgen sollen. Ermöglicht wird diese Vorgehensweise durch eigens für die einzelnen Anwendungen konstruierte Komponenten. Zentrales Element ist dabei das sogenannte Transferboard, bei dem es sich um eine strahlendurchlässige Patientenliege handelt, die sowohl auf dem zugehörigen OP-Tisch als auch auf dem CT-Untersuchungstisch installiert werden kann. Dadurch werden Umlagerungen des Patienten vermieden, was die Patientenbelastung vermindert. Das Transferboard bietet Adaptionsmöglichkeiten für Überwachungsgeräte, so dass es schon für die Erstversorgung am Unfallort verwendet werden kann. Mit dem sogenannten Transporter erhält das Transferboard einen fahrbaren Untersatz. Auf diesem kann es in der Klinik bis zur CT geschoben werden. Dann wird das Transferboard von dem

Transporter abgekoppelt und auf dem CT-Tisch befestigt. Nach erfolgter CT wird der auf Führungsschienen gelagerte OP-Tisch an den CT-Tisch im benachbarten CT-Raum herangefahren. Das Transferboard wird dann vom CT- auf den OP-Tisch herübergehoben. Nach erfolgter Operation kann dann wiederum ohne lagerungstechnischen Aufwand eine CT-Kontrolle erfolgen. Wenn der Patient schon am Unfallort auf das Transferboard gelagert wurde, so muss er trotz aller diagnostischen und operativen Prozeduren nur einmal auf sein Stationsbett umgelagert werden. Diese Vorgehensweise stellt das Ideal der verminderten Patientenbelastung bei diagnostischen Maßnahmen dar. Auf die Umlagerungen konnte im Rahmen der Untersuchungen mit der mobilen CT nicht verzichtet werden. Selbst bei zwei der drei CT-Untersuchungen im Patientenzimmer musste der Patient von seinem Bett auf die CT-Liege gehoben werden. Die Umlagerung schien der belastendste Vorgang für den Patienten bei der CT-Untersuchung mit der mobilen CT gewesen zu sein. Dennoch kann auch die Untersuchung mit der mobilen CT ohne eine komplette Umlagerung des Patienten auskommen. Dies trifft zumindest auf kranielle CT-Untersuchungen zu. Aufgrund der Möglichkeit die Gantry zu Translationsbewegungen und mit Unterlegen eines Kopfstücks unter den Patienten können kranielle CT-Aufnahmen auch direkt am Patientenbett stattfinden [8]. Für neu aufgenommene traumatisierte Patienten scheint das AWIGS geeignet zu sein. Die mobile CT jedoch könnte die Lücke schließen, die sich bezüglich der diagnostischen Versorgung von nicht zum Transport geeigneten Patienten auf der Intensivstation ergibt.

5.9.2 Mobile CT: Frühzeitige, umfassende radiologische Diagnostik

Der Einsatz der mobilen CT vor Ort auf der Intensivstation ermöglicht das AUDI-Prinzip. AUDI ist die Abkürzung für Aggressive Use of Diagnostic Imaging, was den umfassenden Einsatz bildgebender diagnostischer Verfahren bei neu aufgenommenen Patienten auf der Intensivstation bedeutet. Ziel dieses Prinzips ist es, frühzeitig einen möglichst kompletten Status des Patienten zu erheben, der Fehldiagnosen und eine dadurch fehlgeleitete Therapie zu verhindern hilft.

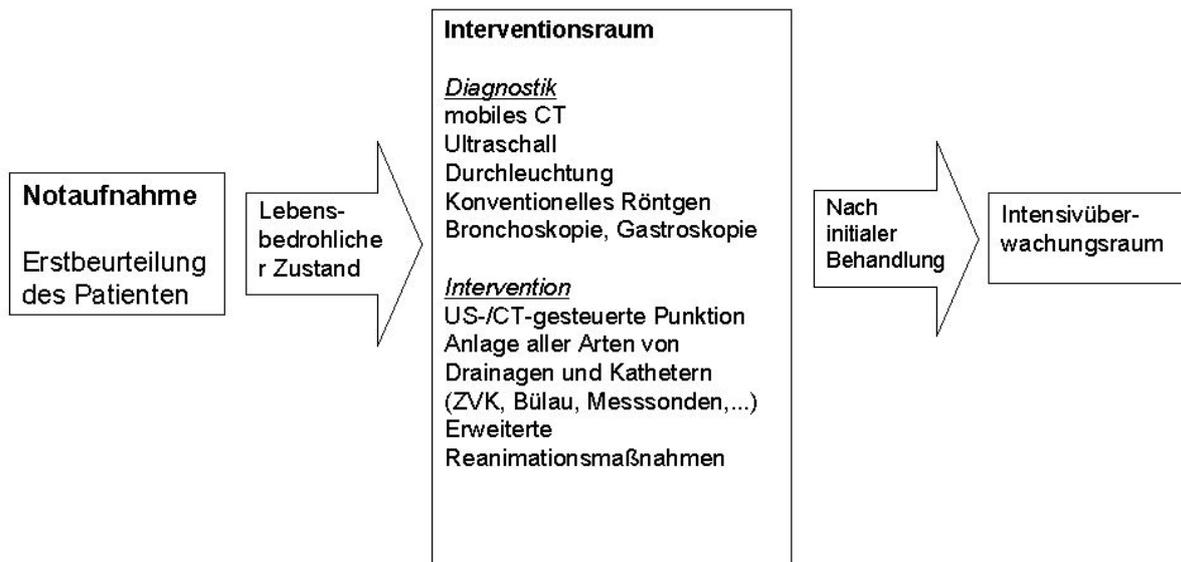


Abb. 31 AUDI-Prinzip, Schematische Darstellung des AUDI-Prinzips. Der Notfallpatient wird auf der Intensivstation frühzeitig einer erweiterten radiologischen Diagnostik, bei gleichzeitiger intensivmedizinischer Überwachung und Therapie

Diese Vorgehensweise kann bei instabilen Patienten wegen der besonderen Gefährdung aufgrund der fehlenden intensivmedizinischen Behandlung beim Transport und der CT in der radiologischen Abteilung nicht realisierbar sein. Weiterhin ermöglicht die mobile CT durch die Erstellung einer CT bei der Aufnahme des Patienten eine lückenlose Verlaufskontrolle seines Gesundheitszustands während der Zeit seines Aufenthalts auf der Intensivstation. In dem Interventionsraum der nephrologischen Intensivstation, in dem die mobile CT eingesetzt wurde, stehen weiterhin ein Ultraschallgerät, ein C-Arm für die Durchleuchtung und ein fahrbares Röntgengerät zur Verfügung. Diese Geräte erlauben im kombinierten Einsatz eine umfassende radiologische Diagnostik in einer intensivmedizinischen Umgebung. Die Möglichkeit der intensivgerechten Überwachung des Patienten ist durch das Monitorsystem gegeben. Dieses ist an einem Schwenkarm unter der Decke des Raumes angebracht und bietet dadurch je nach Einsatz einen optimalen Blickwinkel. Es kann die wichtigsten intensivmedizinischen Überwachungsmodule (Blutdruck, Sauerstoffsättigung) aufnehmen und bietet sogar einen Sauerstoffanschluss, was die Positionierung eines Beatmungsgeräts flexibler macht. Im Rahmen der für diese Studie evaluierten konsekutiv untersuchten Patienten wurden fünf direkt bei der Aufnahme auf die Intensivstation computertomographisch untersucht. Zwei der Patienten wurden aufgrund ihrer instabilen physiologischen Situation direkt im Patientenzimmer

untersucht. Bei einem Patienten (stumpfes Bauchtrauma) hatte die CT-Untersuchung eine ausgedehnte chirurgische Sanierung der Verletzungen zur Folge. Bei den übrigen drei CT-Untersuchungen ergaben sich keine direkten Konsequenzen aus der CT-Untersuchung. Dennoch erbrachten die CT-Untersuchungen gemäß der Fragestellung befriedigende Ergebnisse (Ausschluss einer intrakraniellen Blutung, Ausschluss Differentialdiagnosen dekompensierte Herzinsuffizienz, Bestätigung der Verdachtsdiagnose ARDS). Die mobile CT hatte hierbei nur für die Untersuchungen im Patientenzimmer unverzichtbare Bedeutung, da die übrigen Fälle bei gegebener Indikation auch noch am Aufnahmetag in der radiologischen Abteilung hätten untersucht werden können.

5.10 Erfahrungsberichte und Studien über die mobile CT

5.10.1 Der Tomoscan M im Virchow-Klinikum der Universitätsklinik Charité zu Berlin

Die radiologische Abteilung der Charité Campus Virchow-Klinikum gehört zu den bisher wenigen Abteilungen weltweit, die die mobile CT-Einheit Tomoscan M der Firma Philips einsetzen. Für den Einsatz des Gerätes sind verschiedene Stationen unterschiedlicher Fachrichtungen des Klinikums vorgesehen (**Tab.11**). Aufgrund der weltweit relativ niedrigen Zahl (ca. 100 Geräte installierte Basis) an Nutzern der mobilen CT gibt es bisher nur wenig Erfahrungsberichte über den klinischen Einsatz des Gerätes. In diesem Abschnitt sollen die bisher veröffentlichten Studien über die mobile CT vorgestellt und unter Berücksichtigung der im Rahmen der vorliegenden Studie ermittelten Ergebnisse diskutiert werden.

Tabelle 11: Untersuchungsorte der mCT, Zugelassene und in Vorbereitung befindliche Einsatzorte für den Tomoscan M in der Charité Campus Virchow Klinikum

Zugelassen	In Vorbereitung
Interventionsraum der internistischen Intensivstation	Weitere Operationssäle
„Schock Raum“ der chirurgischen Notaufnahme	Behandlungsraum auf der anästhesiologischen Intensivstation
Angiographieraum der Radiologie	Behandlungsraum auf der internistischen Notaufnahme
Bestrahlungsraum in der Strahlenklinik	
Neurochirurgischer Operationssaal	
Allgemeinchirurgischer Operationssaal	

5.10.2 Orientierende Evaluierung des Tomoscan M

Eine erste Studie, die von der Herstellerfirma des mobilen Computertomographen (Philips, Niederlande) in Auftrag gegeben wurde, beschreibt den Einsatz des Gerätes in verschiedenen medizinischen Abteilungen [9]. Die Studie war in 3 Phasen entsprechend der evaluierten Abteilung (Rettungsstelle, Intensivstation, Operationssaal) eingeteilt. In Phase 1 der Studie wurde der Notfalleinsatz der mobilen CT in der Rettungsstelle evaluiert. Durch den Einsatz des Tomoscan M sollten vermutete Verletzungen bei den Patienten schon im Rahmen der Aufnahme mittels CT-Untersuchung entweder verifiziert oder ausgeschlossen werden. Weiterhin wurde das Personal der Abteilung an der Evaluation der mobilen CT mit Hilfe eines Fragebogens beteiligt. Das ärztliche Personal gab dabei unter anderem eine Einschätzung der Bildqualität ab, wohingegen die Praktikabilität der Patientenumlagerung auf den CT-Tisch vom Pflegepersonal bewertet wurde. Die zweite Phase der Studie fand auf der Intensivstation statt. Dieser Abschnitt stand unter dem Aspekt der Vermeidung des mit Risiken behafteten und logistisch aufwendigen intrahospitalen Transports von Intensivpatienten zur radiologischen Abteilung [6, 7]. Das intensivmedizinische Personal wurde in dieser Phase ebenfalls mittels eines Fragebogens bezüglich seiner Einschätzung der mobilen CT evaluiert. Für Phase 3 der Untersuchung wurde die mobile CT im Operationssaal installiert. Ziel dieses Studienabschnitts war es, die Ergebnisse von Kraniotomien zu untersuchen. Nach neurochirurgischen Eingriffen dieser Art besteht insbesondere die Gefahr von postoperativen Nachblutungen (intrakranielles Hämatom) [64] [65].

5.10.3 Nutzen der Translationsbewegung in der Neurochirurgie

In der Studie von Butler et al. wird nur die Gantry des Tomoscan M-Systems für die Untersuchung von neurochirurgischen Patienten verwendet. In dieser Arbeit wird zum einen die Praktikabilität von Bedside-CT-Untersuchungen auf einer neurochirurgischen Intensivstation vorgestellt. Hierfür wurde eigens eine CT-taugliche Kopf- und Körperliege für die Untersuchung des Patienten in seinem Bett entwickelt, so dass auf den CT-Tisch und die Umlagerung des Patienten verzichtet werden konnte. Zum anderen wird über das Konzept der intraoperativen „CT on demand“ berichtet. Auch hierfür wurde ein CT-tauglicher Kopfadapter entwickelt, da herkömmliche OP-Tische zu breit sind, als dass sie zu der Gantry-Öffnung des mobilen Computertomographen (60 cm) kompatibel wären. Wie in der vorhergehenden Studie von Butler et al. wurde auch in der nun vorgestellten in

besonderer Weise die Fähigkeit der Gantry des Tomoscan M zur Translationsbewegung ausgenutzt [8]. Dazu wurde eine ungewöhnliche Raumkonzeption der Patientenzimmer auf der neurochirurgischen Intensivstation des Universitäts-Krankenhauses in Linköping (Schweden) ausgearbeitet. Damit die einmalige Fähigkeit der Translationsbewegung der Gantry des Tomoscan M am effizientesten bei der CT-Untersuchung zum Tragen kommt, wurden die Patientenbetten so angeordnet, dass die Köpfe der Patienten zur Raummitte hinzeigen. Das ermöglicht, kraniale CT-Aufnahmen anzufertigen, ohne die Patienten auf den CT-Untersuchungstisch umlagern zu müssen. In dieser Studie wurde evaluiert, ob diese Art der Untersuchung verglichen mit der CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung einen Zeitvorteil ergibt. Weiterhin wurde ermittelt, welche Methode der CT-Untersuchung mit dem größeren Risiko für das Auftreten von Komplikationen behaftet war. Zur besseren Differenzierung wurde das Patientengut retrospektiv anhand zweier Parameter ($FiO_2 > 50\%$; intrakranieller Druck ICP $FiO_2 > 20$ mmHg) analysiert und in eine Patientengruppe mit mittlerem Risiko des Auftretens von Zwischenfällen beim Transport und eine mit hohem Risiko untergliedert. Über die genannten Aspekte zur Evaluierung der mobilen CT hinaus wurden ebenfalls die Arbeitsbelastung des Personals (zeitlicher und personeller Aufwand) bestimmt und die Streustrahlenbelastung des Personals ermittelt.

Tabelle 12: Hoch- / Mittelrisikotransporte, Dargestellt sind die Komplikationen während Transport und Untersuchung in 44 hoch-Risiko und 45 mittel-Risiko-Patienten, die einem konventionellen Kopf-CT unterzogen wurden

Complication	High-Risk Transports	Medium-Risk Transports
Physiological changes		
Blood pressure	3	2
Cardiac arrhythmias		2
Decrease in O ₂ saturation	1	3
Rise in ICP	5	1
Seizures	1	
Respiratory arrest	1	
Technical mishaps		
Respirator-related mishaps	3	1
Malfunction of infusion pumps	1	1
Gastric tube pulled out	1	

5.10.4 Intraoperativer Einsatz des Tomoscan M

Fallvorstellungen von Patienten und Methoden beim intraoperativen Einsatz der mobilen CT werden von mehreren Studien geboten. Dabei liegt der operative Schwerpunkt eindeutig im neurochirurgischen bzw. laryngofazialen Bereich [10, 11]. Jedoch gibt es auch kleinere Erfahrungsberichte aus dem orthopädisch-operativen Bereich. Mattox und Mirvis beschreiben in einer Fallstudie (6 Patienten) den Einsatz des Tomoscan M bei CT gestützten otolaryngealen und neurochirurgischen Operationen. Dabei wurden vor allem die Vorteile diskutiert, die die mobile CT gegenüber anderen Methoden (rahmenlose, stereotaktische 3D-Visualisierung in Echtzeit) zur Darstellung der anatomischen Verhältnisse im Operationsgebiet haben könnte, welches sich durch besonders enge Lagebeziehungen der anatomischen Strukturen auszeichnet.

Tabelle 13: Fallstudie I, Fallstudie anhand von Patienten, die unter CT-Kontrolle otolaryngeal- bzw. neurochirurgisch operiert wurden

Geschlecht		Indikation	Therapie/Maßnahmen
Alter			
35	W	sphenoidale Liquorfistel	endoskopische intranasale Sphenotomie
65	W	Mukozele linksfrontaler Sinus	transnasale endoskopische Resektion
48	m	Pansinusitis, nasale Polyposis	Ethmoidektomie, Verschuß der Liquorfistel, Polypektomie
62	w	V.a. Esthesioneuroblastom	Biopsie
65	M	Cholesterinzyste der fossa posterior	Drainage der Zyste
74	M	Ophthalmoplegie, extensive orbitale Raumforderung	endoskopische transnasale Sphenotomie und Biopsie

Methodisch wurde so vorgegangen, dass die Patienten auf dem von der Gantry entkoppelten CT-Tisch anästhesiert wurden. Nach der Einleitung der Narkose wurden die CT-Komponenten gekoppelt. Für die Markierung des Operationsgebiets wurden Metallteile (Saugkopf, Pinzette) in situ belassen, da sie keine störenden Artefakte hervorriefen. Auch in dieser Studie wurden dosimetrische Bestimmungen der Streustrahlung durchgeführt, die zu einer Gefährdung des Personals führen könnten. Einen besonderen Aspekt stellen die im evaluierten Operationsgebiet besonders gefährdeten Augenlinsen (Katarrhakt) dar. Im weiteren wurden der

zeitliche Aufwand der CT gestützten Operationen mit den bisherigen stereotaktischen Methoden verglichen und eine Kostenabschätzung vorgenommen.

Ebenfalls im Rahmen einer Fallstudie (4 Patienten) wird über den Nutzen der mobilen CT bei der Resektion von subkortikalen, supratentoriellen Astrozytomen berichtet [11]. Auch hierbei wurden die chirurgischen Eingriffe auf dem strahlendurchlässigen CT-Tisch vorgenommen. Aufwand und Nutzen der mobilen CT für den intraoperativen Einsatz werden in dieser Studie eingehend diskutiert (personeller Aufwand, Flexibilität durch Mobilität). Es werden Vergleiche mit den bisherigen Methoden (EEP, intraoperatives Ultraschall, etc.) der neurochirurgischen, intraoperativen OP-Planung angestellt.

Tabelle 14: Fallstudie II, Ergebnis der CT-gestützten Operation von Hirntumoren bei Kindern

Patient	Geschlecht	Alter	Tumorlokalisation	Symptome vor OP	Symptome nach OP	Tumorresiduen
1	m	12	Caudatum/Gyrus rectus	Mäßige geistige Retardierung, Aphasie, Zeichen tuberöser Sklerose	Keine	Nein
2	w	17	Thalamus/Hypothalamus	Kopfschmerzen, intermitt. Visusverlust linkes Gesichtsfeld	Kraftminderung BEIN RECHTS,mäßige Amnesie	Ja, Tumor im Hypothalamus
3	m	7	Pulvinar/Mittelhirn	Kopfschmerzen, intermitt. Emesis, visuelle Störungen, Stauungspapille	Transitorisch Hemiplegie, milde Spastik links	Ja, mittleres / inferiores Mittelhirn
4	m	3	Thalamus/Mittelhirn	Linkssymptomatik (U.a. Babinski, Schwäche, Handtremor)	Spastische Parese linker Arm, faziale Symptome	Ja, inferomedialer Thalamus

Die Erfahrungen deckten sich im wesentlichen mit denen von Mattox und Mirvis. Entgegen dem sonst üblichen Operationsbereich des Craniums und Viszerocraniums verwendeten Haberland et al.[81] den Tomoscan M für die Navigation bei der chirurgische Behandlung der Wirbelsäule. Dabei wurde der CT-Tisch des Tomoscan M-Systems bei allen 35 berichteten Fällen als Operationstisch verwendet. Es wurden Markierungsschrauben aus Titan eingesetzt, um die Registrierung des Patienten anhand der CT-Bilder vorzunehmen. Der korrekte Sitz der therapeutischen Schrauben wurde direkt im Anschluss an die Operation mittels CT überprüft.

5.10.5 Kombination von mobiler CT und Fluoroskopie

Die Kombination von CT und angiographischer Durchleuchtung ist ein seit langem und vielfach eingesetztes Verfahren [82] [66] [67] [68]. Auch in diesem interventionell-operativen Gebiet hat die mobile CT Anwendung gefunden [69] [15]. Dowd et al.[69] verwendeten die mobile CT zusammen mit einem C-Arm für interventionelle Eingriffe. Die Geräte wurden so angeordnet, dass der Operateur während des Eingriffs je nach Bedarf zwischen der fluoroskopischen und der CT-Darstellung wählen konnte, indem der OP-Tisch entweder vor- oder zurückbewegt wurde. Diese Gerätekombination wurde anhand einer kleinen Fallstudie (5 Patienten) auf ihre Tauglichkeit untersucht. Die angewandte Untersuchungsmethode sah die Anfertigung dreier Serien von axialen CT-Bildern (10 mm Schichtkollimation) vor. Zunächst wurde die Abszessumgebung unter Verwendung eines auf die Haut aufgebrachten Einwegpositionierungsgitters (localisation grid) dargestellt. Nach der Betäubung des Operationsgebiets wurde die zweite Serie erstellt, wobei die Anästhesienadel als Markierung in situ verblieb. Nach der Punktion erfolgte die Kontrolle des korrekten Sitzes der Punktionsnadel anhand der letzten Serie. Abschließend kam der C-Arm für die fluoroskopische Kontrolle der Katheterisierung (Einbringen des Führungsdrahts, Ballondilatation Katheter) zum Einsatz.

Tabelle 15: Fallstudie III, Fallstudie von fünf Patienten, die sich einer Abszessdrainage unter kombinierter Angiographie-/CT-Kontrolle unterzogen

Patient	Alter	Geschlecht	Diagnose	Therapieziel
1	32	M	Iliopsoas-Abszesse	Abszess-Drainage
2	70	M	Subphrenische Abszesse	Enterale Ernährung
3	66	M	Subphrenische Abszesse	Abszess-Drainage
4	63	M	Subphrenische Abszesse	Abszess-Drainage
5	30	M	Subphrenische Abszesse	Abszess-Drainage

5.10.6 Nutzen der mobilen CT für die Thoraxdiagnostik auf der Intensivstation

Eine retrospektive Evaluation von internistischen Intensivpatienten mit Indikation für CT-Thorax nahmen White et al. vor[70]. Im Mittelpunkt der Studie stand die radiologische Diagnostik des Thorax. Zu diesem Zweck wurden 14 Patienten, die 20 CT-Untersuchungen unterzogen wurden, retrospektiv analysiert. Anhand von gleichzeitig angefertigten Röntgen-Thorax-Bildern wurden Vergleiche bezüglich der Eignung der beiden bildgebenden Methoden für intensivmedizinische Fragestellungen besonders im Thoraxbereich gezogen. Die in der Literatur belegte Überlegenheit der CT-Aufnahme gegenüber der konventionellen Röntgenaufnahme beim Erkennen verborgener Läsionen wird im weiteren diskutiert [71] [3, 5, 72, 73]. Darüber hinaus wird eine subjektive Qualitätseinschätzung der Aufnahmen mit der mobilen CT im Vergleich zu Aufnahmen mit ortsfesten Geräten vorgenommen.

5.10.7 Evaluierung der Bildqualität des Tomoscan M

Viele der besprochenen Studien untersuchten unter anderem auch die Bildqualität der CT-Aufnahmen mit der mobilen CT. Matson et al. widmeten der diagnostischen Güte der CT-Bilder, die mit der mobilen CT aufgenommen wurden einen ganzen Artikel[74]. Es wurden dafür 44 mit der mobilen CT durchgeführte, konsekutive, kranielle CT-Aufnahmen mit 35 Bildern verglichen, die mit konventionellen Geräten (zwei Bauarten) in der radiologischen Abteilung angefertigt wurden. Die Bewertungskriterien, nach denen zwei unabhängige Gutachter die Bilder evaluierten, waren Hintergrundrauschen und Artefakte. Zwei weitere Aspekte der Studie waren die Streustrahlenbelastung und die Achsendosis, wie sie sich bei typischen Untersuchungen mit der mobilen CT ergeben.

5.10.8 Sonstige Quellen zum Tomoscan M

Im weiteren gibt es kleinere Erfahrungsberichte über den Einsatz des Tomoscan M, die im Rahmen von Fallstudien eine Orientierung über die klinische Tauglichkeit des Gerätes geben [15, 75]. Bei Internet-Recherchen lassen sich verschiedene Kurzartikel über den Einsatz des Tomoscan M finden. Die Verwendungsgebiete des Computertomographen entsprechen hierbei denen der obigen Studienbesprechung (neurochirurgische Navigation, intraoperative CT, Operationsrobotik).

5.10.9 Diskussion der Literatur unter Reflexion der eigenen Ergebnisse

Die medizinische Fachliteratur über die mobile CT ist aufgrund des relativ neuen Konzepts des Gerätes noch sehr spärlich. Ein Großteil der Artikel handelt von der Beschreibung der Methodik, nach der die mobile CT in der klinischen Praxis eingesetzt wird. Hierbei werden meistens nur geringe Fallzahlen von chirurgischen Patienten genannt. Gemeinsam ist den besprochenen Artikeln, dass sie die mobile CT, seine Eigenschaften und Praktikabilität sowie deren Einbindung in neue Untersuchungs- und Therapiemethoden in den Mittelpunkt der Studien rücken, mehr als die Patienten, die damit untersucht wurden. Diese Art und Weise der Berichterstattung geht jedoch häufig an dem medizinischen Grundsatz der Verbesserung der Patientenversorgung vorbei. Die Artikel aus dem nicht- oder postoperativen Gebiet argumentieren alle mit der Gefährdung kritischer Patienten beim Transport zur CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung. Zumeist bleibt aber die Definition darüber aus, was einen kritischen Gesundheitszustand ausmacht. Es wird in den meisten Fällen nur auf die verfügbare Literatur, die die Gefahren des Transports thematisiert[6, 7, 26, 29, 30], verwiesen. Eine Ausnahme macht die Studie von Gunnarsson et al., in der ein Versuch der Klassifizierung der Patienten in zwei Gruppen unternommen wird. Die Patienten wurden nach den Kriterien der Beatmung und des intrakraniellen Drucks[76] entweder in eine Gruppe mit mittlerem, oder in eine Gruppe mit hohem Transportrisiko eingeteilt. Diese Parameter sind stark mit dem Therapieerfolg (Outcome) von neurochirurgischen Patienten korreliert. Ein ähnliches Vorgehen wurde für die Patientencharakterisierung im Rahmen der vorliegenden Studie gewählt. Dafür wurden die Patienten anhand intensivmedizinischer Punktwertesysteme (TISS 28, MODS, APACHE II) evaluiert. Diese Systeme geben sowohl über den physiologischen Zustand des Patienten (MODS, APACHE II), als auch über die Ressourcenausschöpfung (TISS 28) für die Therapie und Pflege des Patienten Auskunft. Ähnlich den Parametern intrakranieller Druck und Sauerstoff bei neurochirurgischen Patienten, lässt sich anhand der Soresysteme eine Prognose über den Therapieerfolg des evaluierten internistischen Patientenguts treffen. Anhand der Quantifizierung der Schwere der Grunderkrankung des Patienten und der Diskussion mit dem erfahrenen Intensivmediziner konnte eine Differenzierung der nicht für den Transport in die radiologische Abteilung geeigneten Patienten und denen mit hohem Risiko getroffen werden. Auf diese Weise wurde ein patientenorientierter Nutzen der neuen Methode der mobilen CT ermittelt, der für

instabile Patienten vorhanden ist, die ansonsten nur verzögert eine erweiterte radiologische Diagnostik, wie sie die CT darstellt, erhalten hätten. Fraglich bleibt dennoch, ob der Verzicht auf den Transport bei transportgefährdeten Patienten und die frühzeitige computertomographische Diagnostik ein verbessertes Therapieergebnis zur Konsequenz haben. Beispielsweise konnten Szem et al.[30] keinen Zusammenhang von Patientenmorbidity und -mortality mit der Notwendigkeit des Transports feststellen. Die anderen genannten Studien zu den Gefahren des intrahospitalen Transports beschränken sich auf die Registrierung physiologischer Parameter (Blutdruck, Herzfrequenz) oder das Aufzählen technischer Zwischenfälle (Diskonnektion von Leitungen/Kabeln). Wie in den bisherigen Studien zur mobilen CT, berichten auch die zu den Gefahren des Transports nicht über eine negative Beeinflussung der Mortalität. Eher kommen sie zu dem Schluß, dass der Transport kritischer Patienten bei adäquater Überwachung kein erhöhtes Mortalitätsrisiko nach sich zieht[22, 30]. Weitere häufig untersuchte Aspekte der mobilen CT sind die Evaluierung des Personals bezüglich der Akzeptanz der neuen Methode mittels Fragebogen. Entsprechend den Ergebnissen der vorliegenden Studie, wurde der Tomoscan M größtenteils als positiv bewertet. Als weiterer Vorteil der mobilen CT wird übereinstimmend die Freihaltung von Untersuchungskapazitäten in der radiologischen Abteilung genannt, da das Gerät auch von anderen Stationen für Routineuntersuchungen aufgesucht bzw. angefordert wurde. Durch die mobile CT vor Ort auf der Intensivstation werde die radiologische Abteilung vor allem bei akuten Notfällen entlastet, da diese oft außerhalb der Routine stattfinden und wegen der möglichen Instabilität der Patienten auch sehr zeit- und personalaufwendig sind. Des weiteren werden die Streustrahlenbelastung und die Achsendosis (Patientenbelastung) bestimmt und als akzeptabel bewertet. Ebenso wird die Bildqualität den Ansprüchen zur Diagnostik und Verlaufskontrolle gerecht, was die im Rahmen der vorliegenden Studie gemachten Erfahrungen widerspiegelt. Mit den beiden zuletzt genannten Aspekten der mobilen CT hängt die im Vergleich zu modernen stationären Computertomographen verlängerten Expositionszeit bei bestimmten diagnostischen Anforderungen (z.B. Lungenfenster) zusammen. Für eine brauchbare Bildqualität muss hierbei die Scanzeit deutlich verlängert werden, was zu einer erhöhten Strahlenbelastung führt. Ein weiterer Nachteil, der sich durch eine verlängerte Scanzeit ergibt, ist dass die Aufnahme anfälliger gegenüber

Verwackelungen (z.B. durch den Atemzug) ist, was die Bildqualität erniedrigt. Am häufigsten wird die mobile CT intraoperativ für die Navigation oder die postoperative Qualitätskontrolle verwendet. Dies war auch schon vor der Entwicklung der mobilen CT möglich gewesen, z.B. in kombinierten CT-Operationseinheiten[77-79]. Jedoch liegt der Vorteil der mobilen CT in der örtlich flexiblen Verwendung. Wenn keine Operation mit der Notwendigkeit einer CT-Kontrolle stattfindet, so könne das CT auch in anderen Bereichen (z.B. Notaufnahme) eingesetzt werden. Vergleichbar wird für die mobile CT im Bereich der Angiographie argumentiert. Für den Bereich der neurochirurgischen Intensivstation könnte die mobile CT eine besondere Berechtigung haben. Hier geht es um die Diagnostik von Schädel-Hirn-Störungen. Mit dem außergewöhnlichen Raumkonzept in der Studie von Gunnarsson et al. wird die Fähigkeit der Gantry des Tomoscan M zur Translationsbewegung am effizientesten genutzt. Die Untersuchungen können unter Vermeidung einer Umlagerung des Patienten im Intensivbett stattfinden. Dadurch wird der Patient der geringsten Belastung ausgesetzt und die Untersuchungen können in relativ kurzer Zeit durchgeführt werden. Auf Intensivstationen mit internistisch orientiertem Patientengut kann in den meisten Fällen aufgrund der zu untersuchenden Körperregion (Thorax) nicht auf eine Umlagerung verzichtet werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die mobile CT in der Literatur auf Grundlage von Ergebnissen, die sich zum großen Teil mit denen im Rahmen der vorliegenden Studie decken (sicherere Überwachung des Patienten durch Verbleib auf der Intensivstation, Akzeptanz durch das Intensivpersonal, gute Bildqualität, akzeptable Strahlenbelastung), überwiegend positiv bewertet wird. Als Nachteil wird die bei bestimmten Untersuchungstechniken (z.B. Lungenfenster) verlängerte Scanzeit negativ bemerkt.

6 Zusammenfassung

6.1.1 Einleitung

Mit dem mobilen Computertomographen (mCT) Tomoscan M der Firma Philips wurde die bisher nur ortsfest verwendete Technik der Computertomographie (CT) für den mobilen Einsatz realisiert. Die mCT baut auf einem modularen Konzept der CT-Einheit auf. Gantry, Untersuchungstisch und Bedienkonsole sind per Steckverbindungen miteinander gekoppelt, so dass sie unabhängig voneinander transportiert werden können. Die mCT kann je nach Bedarf flexibel an verschiedenen Orten, wie dem OP, der Intensivstation, oder der Notaufnahme eingesetzt werden. Auch kann sie als Ergänzung zu den Geräten in der radiologischen Abteilung dienen. Ziel dieser Arbeit war es, den Einsatz der mCT auf einer internistischen Intensivstation zu evaluieren. Haupteinsatzort der mCT war ein speziell eingerichteter Interventionsraum auf der Station, jedoch wurden auch CT-Untersuchungen direkt im Patientenzimmer vorgenommen.

6.1.2 Methoden

Für die Evaluierung der mCT wurden die einzelnen Arbeitsschritte des Gesamtvorgangs der CT-Untersuchung herausgearbeitet und die Zeitdauer der einzelnen Schritte bestimmt. Diesbezüglich wurde die mCT mit der CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung verglichen. Das intensivmedizinische Personal wurde anhand eines anonymisierten Fragebogens evaluiert, wobei Aspekte wie Patientenbelastung oder Arbeitserleichterung von Interesse waren. Zur Abschätzung der Transportfähigkeit der mit der mCT untersuchten Patienten wurden diese mittels intensivmedizinischer Bewertungssysteme retrospektiv auf ihren Gesundheitszustand zum Zeitpunkt der CT-Untersuchung analysiert. Verwendung fanden die Scoresysteme APACHE II, MODS und TISS 28, wobei das erste nur für die Patienten (n=5) ergebnisrelevant war, die am Aufnahmetag im Sinne des AUDI-Prinzips mit der mCT untersucht wurden. Weiterhin wurden die einzelnen Patientenfälle mit einem erfahrenen Intensivmediziner diskutiert, so dass eine umfassende Bewertung der Patienten zum Zeitpunkt der Aufnahme und der Untersuchung der Patienten möglich war.

6.1.3 Ergebnisse

Die mCT dauerte im Durchschnitt 55 (47-76) Minuten, wohingegen die Untersuchung in der radiologischen Abteilung 65 (51-84) Minuten benötigte. Erhebliche Unterschiede zwischen der mCT und der CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung ergaben sich bei den Arbeitsschritten Transfer, Erstellung des Topogramms und der Bildakquisition. Die Transferzeit stimmte bei der mCT mit der Transportzeit überein. Die Werte der Transferzeiten für die CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung übertrafen die für die mCT deutlich. Das Personal der nephrologischen Intensivstation bewertete die mCT überwiegend positiv. 81 % der Ärzte und mehr als 50 % der Pflegekräfte empfanden die mCT als Arbeitserleichterung. Nach Ansicht von 63 % der Ärzten und 53 % der Schwestern und Pfleger war die Untersuchung mit der mCT weniger belastend im Vergleich zur CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung. Der logistische Aufwand für die mCT, den 88 % der Ärzte und 53 % der Pflegekräfte durch die mCT verringert sahen, wurde mehrheitlich positiv bewertet. Die Einbindung der mCT in die klinische Routine empfanden 69 % der Ärzte und mehr als die Hälfte des Pflegepersonals als erleichtert bzw. stark erleichtert. Beim Vergleich der CT-Untersuchungsorte votierten 66 % aller Befragten für den Interventionsraum der Intensivstation, die Alternativen Patientenzimmer bzw. radiologische Abteilung favorisierte jeweils die Hälfte der übrigen Befragten (17 %).

Es wurden 24 Patienten, die insgesamt 34 Untersuchungen mit dem mCT unterzogen wurden, retrospektiv anhand der Akten auf ihre Erkrankungsschwere untersucht. 50 % der CT-Untersuchungen fanden zu einem Zeitpunkt statt, da die Patienten einer intensivmedizinischen Maximalbetreuung (Wert > 40 Punkten) bedurften. Dabei waren 14 % der Werte größer als 50. Die Analyse der mit der mCT untersuchten Patienten nach dem MODS ergab für drei (9 %) der 34 Untersuchungstage eine Mortalitätswahrscheinlichkeit der jeweiligen Patienten von 50 %. An 10 (29 %) der 34 Untersuchungstage trugen die untersuchten Patienten ein Mortalitätsrisiko von 25 % nach MODS. Die Bewertung der Erkrankungsschwere der Patienten durch einen erfahrenen Intensivmediziner ergab für 26 der 34 (76 %) Untersuchungszeitpunkte eine uneingeschränkte Transportfähigkeit der Patienten. Bei fünf (15 %) mCT-Untersuchungen wäre eine CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung als Alternative nicht möglich gewesen. In drei Fällen wäre die radiologische Abteilung nur unter Vorbehalt eine Alternative zur mCT gewesen.

6.1.4 Diskussion

Die mCT hat sich als Option für die CT-Untersuchung von kritisch Kranken direkt auf der Intensivstation bewährt. Zeitlich ergibt sich ein geringer Vorteil gegenüber der Untersuchung in der radiologischen Abteilung, was vor allem auf die fehlenden Wartezeiten auf den Transportdienst zurückzuführen ist. Die kürzeren Transportwege zum Interventionsraum, die zudem noch innerhalb der schützenden Umgebung der Intensivstation stattfanden, ließen eine bessere Überwachung der Patienten zu. So konnte beispielsweise die Intensivbeatmung mit hochwertigen Beatmungsgeräten während der gesamten Dauer der CT-Untersuchung beibehalten werden. Dies könnte auch ein Grund dafür sein, warum die Evaluation des Personals eine überwiegend positive Einschätzung der mCT ergab, die mehrheitlich als weniger patientenbelastend bzw. auch als Arbeitserleichterung angesehen wurde. Ein weiterer positiver Aspekt der mCT war, dass das intensivmedizinische Personal die Station nicht verlassen musste und somit auch für die Versorgung der anderen Patienten zur Verfügung stand. Die mCT ermöglichte es bei nicht transportfähigen Patienten eine CT-Untersuchung direkt im Patientenzimmer durchzuführen, wodurch frühzeitig eine bessere Planung des weiteren therapeutischen Vorgehens ermöglicht wurde. Dennoch endete die intensivmedizinische Behandlung für alle im Patientenzimmer untersuchten Patienten letal, was die Schwere der zugrunde liegenden Diagnose unterstreicht. Der Aufwand dieser Untersuchungsmethode war sowohl zeitlich, als auch personell sehr viel höher als die mCT im Interventionsraum, was ebenfalls mit den besonders schweren Krankheitsbildern der jeweiligen Patienten zusammenhing. Der Scoreanalyse (TISS 28) zufolge waren die Patienten bei 50 % der Untersuchungszeitpunkte zumindest als Risikopatienten einzustufen, da sie einer maximalen Intensivtherapie bedurften. Für diese Patientengruppe stellte die mCT eine sicherere Option der CT im Vergleich zur CT-Untersuchung in der radiologischen Abteilung dar, da der Transport von der Intensivstation zur radiologischen Abteilung mit Risiken für die Patienten verbunden ist.

- 1 Bredenberg C et al.: Operative angiography by intraarterial digital subtraction angiography: A new technique for quality control of carotid endarterectomy.. Hrsg.: J Vasc Surg: 9. 530-534, Band 1989.
- 2 Jolliet P et al.: Pulmonary scintigraphy at the bedside in intensive care patients with suspended pulmonary embolism, Intensive Care Med. 21, 723-728; 1995
- 3 Snow N, Bergin K, Horrigan T: Thoracic CT scanning in critically ill patients information obtained frequently alters management, Chest 97, 1467-1470; 1990
- 4 Trupka A et al.: Schockraumdiagnostik beim Polytrauma. Wertigkeit der Thorax CT, Unfallchirurg 100, 469-476; 1997
- 5 Mirvis S et al.: Thoracic CT in detecting occult disease in critically ill patients, AJR 148, 685-689; 1987
- 6 Indeck M, Peterson S, Smith J: Risk, cost and benefit of transporting ICU patients for special studies, J Trauma 28, 1020-1025: 1988
- 7 Hurst J, Davis K, Johnson D: Cost and Complications during in-hospital transport of critically ill patients: A prospective cohort study, J Trauma 33, 582-585; 1992
- 8 Gunnarsson T et al.: Mobile computerized tomography scanning in the neurosurgery intensive care unit: increase in patient safety and reduction of staff workload, J Neurosurgery 93, 432-436; 2000
- 9 Mirvis S: Use of Portable CT in the R Adams Cowley Shock Trauma Center Trauma Care in the New Millennium, 79, 1317-1330; 1999
- 10 Mattox D, Mirvis S: Intraoperative portable computed tomography scanning: An adjunct to sinus and skull base surgery, Otolaryngology- Head and Neck Surgery 121, 776-780, 1999
- 11 Gwinn R, Cleary K, Medlock M: Use of Portable CT Scanner during Resection of Subcortical Supratentorial Astrocytomas of Childhood Pediatric, Neurosurgery 32, 37-34; 2000
- 12 Broos P et al.: Life saving surgery in polytrauma patients, Przegl Lek 57, 118-119; 2000
- 13 Tschernig H et al.: Internal fixation of multiple fractures in patients with polytrauma, Clin Orthop 34,762-78; 1998
- 14 Nast-Kolb D et al.: The role of an abdominal injury in follow up of polytrauma patients, Chirurg 64, 552-559; 1993
- 15 Choi I, Erdem E: Mobile CT in einem neurointerventionellen OP, Kontraste15, 45-50; 2000
- 16 Freeny P et al.: Percutaneous CT-guided catheter drainage of infected acute necrotizing pancreatitis: techniques and results, AJR 170, 969-975; 1998
- 17 Weber C et al.: Wertigkeit der digitalen Thoraxaufnahme bei der Detektion von Lungeninfiltraten knochenmarkstransplantierten Patienten in der Aplasie, Rofo Fortschr Rontgenstr 171, 294-301; 1999
- 18 Gartenschläger M et al.: Klinische Relevanz der Thorax-CT in Intensiv- und Notfallmedizin, Akt Radiol 8, 294-265;1998
- 19 Miranda D, de Rijk A, Schaufeli W: Simplified Therapeutic Intervention Scoring System: The TISS 28 items – Results from a multicenter study, Crit Care Med 24, 64-73;1996
- 20 Evans A, Winslow E: Oxygen saturation and hemodynamic response in critically ill, mechanically ventilated adults during intrahospital transport, Am J Crit Care 4, 106-111; 1995
- 21 Ehrenwerth J, Sorbo S, Hackel A: Transport of critically ill adults, Crit Care Med 14, 543-547; 1986
- 22 Brokalaki H et al.: Intrahospital transportation: monitoring and risks, Int Crit Care Nurs 12, 183-186; 1996
- 23 Tan T: Interhospital and intrahospital transfer of the critically ill patient, Singapore Med J 38, 244-248; 1997
- 24 Kalisch B et al.: Intrahospital transport of neuro ICU patients, J Neurosci Nurs 27, 69-77; 1995
- 25 Andrews P et al.: Secondary insults during intrahospital transport of head-injured patients, Lancet 335, 327-330; 1990
- 26 Gervais H et al.: Comparison of blood gases of ventilated patients during transport, Crit Care Med 15, 761-763; 1987
- 27 Braman S et al.: Complications of intrahospital transport in critically ill patients, Ann Int Med 107, 469-473; 1987
- 28 Rückoldt H et al.: Pulsoxymetrie und Kapnometrie bei Intensivtransporten: Kombiniertes Einsatz verringert das Transportrisiko, Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 32, 32-36; 1998
- 29 Smith I, Fleming S, Cernainu A: Mishaps during transport from the intensive care unit, Crit Care Med 18, 278-281; 1990
- 30 Szem J et al.: High-risk intrahospital transport of critically ill patients: safety and outcome of the necessary « road trip”, Crit Care Med 23, 1660-1666; 1995
- 31 Waydhas C: Intrahospital transport of critically ill patients, Crit Care 3, R83-R89; 1999
- 32 Moecke H: Standards für den Interhospital-Transport von Intensivpatienten, Notfallmedizin 16, 773-778; 1990
- 33 Bion J, Wilson I, Taylor P: Transporting critically ill patients by ambulance: audit by sickness scoring, Br Med J 296, 170; 1988

- 34 Kollef M, Schuster D: Predicting intensive care unit outcome with scoring systems, *Crit Care Clin* 10, 1-18; 1994
- 35 Bion J, Aitchinson T, Edlin S: Sickness scoring and response to treatment as predictors of outcome from clinical illness, *Int Care Med* 14, 167-172; 1988
- 36 Knaus W, Zimmerman J, Wagner D: APACHE-acute physiology and chronic health evaluation: A physiologically based classification system, *Crit Care Med* 9, 591-597; 1998
- 37 Cullen D et al.: Therapeutic Intervention Scoring System : a method for quantitative comparison of patient care, *Crit Care Med* 2, 57-60; 1974
- 38 Shortgen F et al.: Hemodynamic tolerance of intermittent hemodialysis in critically ill patients: usefulness of practice guidelines, *Am J Resp Crit Care Med* 162, 197-202; 2000
- 39 Diehl J, Mercat A: Management of serious pulmonary embolism, *Rev Mal Respir* 16, 996-1006; 1999
- 40 Van Bommel E et al.: High-risk surgical acute renal failure treated by continuous arteriovenous hemodiafiltration: metabolic control and outcome in sixty patients, *Nephron* 70, 185-192; 1995
- 41 Cohn S et al.: Exclusion of aortic tear in the unstable trauma patient: the utility of transoesophageal echocardiography, *J Trauma* 39, 1087-1090; 1995
- 42 Knaus W et al.: The APACHE III prognostic system. Risk prediction of hospital mortality for critically ill hospitalised adults *Chest* 100, 1619-1620; 1992
- 43 Knaus W et al.: APACHE II: A severity of disease classification system, *Crit Care Med* 13, 818-829; 1985
- 44 Kuhn C et al.: Improved outcome of APACHE II score-defined escalating systemic inflammatory response syndrome in patients post cardiac surgery in 1996 compared to 1988-1990 : the ESSICS-study pilot project, *Eur J Cardiothorac Surg* 17, 30-37; 2000
- 45 Markgraf R et al.: Comparison of acute physiology and chronic health evaluations II and III and simplified acute physiology score II : a prospective cohort study evaluating these methods to predict outcome in a German interdisciplinary intensive care unit, *Crit Care Med* 28, 26-33; 2000
- 46 Wong L, Young J: A comparison of ICU mortality prediction using the APACHE II scoring system and artificial neural networks, *Anaesthesia* 54, 1048-1054; 1999
- 47 De Sanctis J et al.: Prognostic indicators in acute pancreatitis : CT vs. APACHE II, *Clin Radiol* 52, 842-848 1997
- 48 Bein T, Unertl K: Potentialities and limitations of the score system in intensive medicine, *Anaesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 28, 476-483; 1993
- 49 Smith R, Meixler S, Simberkoff M: Excess mortality in critically ill patients with nosocomial bloodstream infections, *Chest* 100, 164-167; 1999
- 50 Marshall J et al.: Multiple Organ Dysfunction Score: A reliable descriptor of a complex clinical outcome, *Crit Care Med* 23, 1638-1652; 1995
- 51 Members of the American College of Chest Physicians/Society of Critical Care Medicine Consensus Conference Committee: Definitions for sepsis an organ failure and guidelines for the use of innovative therapies in sepsis, *Crit Care Med* 20, 864-874; 1992
- 52 Keene A, Cullen D: Therapeutic Intervention Scorino System: Update 1983, *Crit Care Med* 11, 1-3; 1983
- 53 Dellinger R: Outcome Assessment – the Pros and Cons of TISS as the Primary Objective, *Eur J Surg* 584, 49-50; 1999
- 54 Lefering R: Biostatistical Aspects of Outcome Evaluation Using TISS 28, *Eur J Surg* 584, 56-61; 1999
- 55 Moreno R, Morais P: Validation of the simplified therapeutic intervention scoring system on an independent database, *Intens Care Med* 16, 640-644; 1990
- 56 McQuillan P, Hillman D, Woods W: Positive end expiratory pressure and critical oxygenation during transport in ventilated patients, *Intens Care Med* 16, 513-516; 1990
- 57 Attebo L, Bengtsson M, Johnson A: Comparison of portable emergency ventilators using a lung model, *Brit J Anaesth* 70, 372-377; 1993
- 58 Morris R, Macken L, Tall G: Failure of exhalation during ventilation with the dragger oxylog 2000 ventilator, *Anaesth Intens Care* 27, 400-404; 1999
- 59 Hampton A, Shreretz R: Vascular access infections in hospitalised patients, *Surg Clin N Amer* 68, 57-71; 1988
- 60 Snyderman D et al.: Total parenteral nutrition related infections : prospective epidemiologic study using semiquantitative methods, *Am J Med* 73, 695-699; 1982
- 61 Raad I: The Pathogenesis and Prevention of Central Venous Catheter Related Infections, *MEJ Anesth* 12, 381-403; 1994
- 62 Katz D, Leung A: Radiology of pneumonia, *Clin Chest Med* 20, 549-562; 1999
- 63 Maquet AG: Advanced Workplace for Image Guided Surgery, *Rofo (als Beilage)* 172; 2000

- 64 Alvarez-Sabin J, Turon A, Lozano-Sanchez M: Delayed post-traumatic hemorrhage spatapoplexie, *Stroke* 26, 1531-1535; 1995
- 65 Stein S, Spettel C, Young G: Delayed and progressive brain injury in closed head trauma: Radiologic demonstration, *Neurosurgery* 32, 25-31; 1993
- 66 Barbaric Z, Cochran S: Percutaneous nephrostomy: placement under CT and fluoroscopy guidance, *AJR* 169, 151-155; 1997
- 67 Costello P, Gaa J: Clinical assessment of an interventional CT table, *Radiology* 189, 284-285; 1993
- 68 Dixon G: Combined CT and fluoroscopic guidance for liver abscess drainage, *AJR* 135, 397-399; 1980
- 69 Dowd M et al.: Combined use mobile CT and Fluoroscopy in the Angiography suite, *AJR* 172, 497-498; 1999
- 70 White C et al.: Portable CT: Assessing Thoracic Disease in the Intensive Care Unit, *AJR* 173, 1351-1356; 1999
- 71 Ovenfors C, Hedgecock M: Intensive care radiology: problems of interpretation *Radiol Clin North Am* 16, 407-439; 1978
- 72 Peruzzi W et al.: Portable chest roentgenography and computed tomography in critically ill patients, *Chest* 93, 722-726; 1988
- 73 Miller WJ, Tino G, Friedburg J: Thoracic CT in the intensive care unit: assessment of clinical usefulness, *Radiology* 209, 491-498; 1998
- 74 Matson M et al.: Evaluation of head examinations produced with a mobile CT unit, *Brit J Radiol* 72, 631-636; 1999
- 75 Teichgraeber U et al.: Mobile Computertomographie im Routinebetrieb auf einer internistischen Intensivstation, *Medica Mundi* 145-48; 2001
- 76 Marmarou A, Ward J, Young H: Impact of ICP instability and hypotension on outcome in patients with severe head trauma, *J Neurosurg* 77, 901-907; 1991
- 77 Lunsford L: A dedicated CT system for the stereotactic operating room, *Appl Neurophysiol* 45, 374-378; 1982
- 78 Shalit M et al.: Experience with intraoperative CT scanning in brain tumors, *Surg Neurol* 173, 76-82; 1982
- 79 Shalit M et al.: Intra operative computerized axial tomography, *Surg Neurol* 11, 382-384; 1979
- 80 Knaus WA, Zimmerman JE, Wagner DP: APACHE – acute physiology and chronic health evaluation: A physiologically based classification system, *Crit Care Med* 9, 591-597; 1981
- 81 Haberland N, Ebmeier K, Grunewald JP, Hliscs R, Kalf RL: Incorporation of intraoperative computerized tomography in a newly developed spinal navigation technique, *Comput Aided Surg* 5, 18-27; 2000
- 82 Capasso P, Trotteur G, Flandroy P: A combined CT and angiography suite with a pivoting table, *Radiology* 199, 563-566; 1996

8 Lebenslauf (Stand April 2003)

Name	Jens Georg Pinkernelle
Geburtsdatum	21.02.1974
Geburtsort	Kamen in Nordrheinwestfalen
Staatsangehörigkeit	Deutsch
Familienstand	Ledig
Grundschule	1980-1984 Schiller-Grundschule in Bergkamen
Gymnasium	1984-1993 St. Christophorus-Gymnasium in Werne an der Lippe
Zivildienst	1993-1994 Hellmig-Krankenhaus in Kamen
Studium	1995-2002 Studium der Humanmedizin an der medizinischen Fakultät Charité der Humboldt-Universität zu Berlin
Ärztliche Tätigkeit	Seit Januar 2003 AiP in der Klinik für Strahlenheilkunde am Campus Virchow-Klinikum der Charité zu Berlin

9 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, dass die vorliegende Arbeit von mir selbständig und ohne unzulässige Hilfe Dritter verfasst wurde. Diese Dissertation stellt auch in Teilen keine Kopie anderer Arbeiten dar. Die Anfertigung erfolgte unter ausschließlicher Verwendung der Literatur und Hilfsmittel.

10 Danksagung

Herrn PD Dr. med. J. Ricke möchte ich an dieser Stelle für die Überlassung des Themas und die Bereitschaft zur Übernahme der akademischen Betreuung dieser Promotion danken.

Ebenso bin ich Herrn Dr. med. U. Teichgräber sehr dankbar. Sein engagierter Einsatz erst ermöglichte die zügige und unkomplizierte Durchführung dieser Arbeit.

Weiterhin möchte ich mich bei der nephrologisch orientierten internistischen Intensivstation unter der Leitung von Prof. Dr. med. D. Barckow sowie Abteilungsleiter Prof. Dr. med. U. Frei für die gute Zusammenarbeit bei der Durchführung der klinischen Tätigkeiten im Rahmen dieser Arbeit bedanken.

Mein großer Dank gilt Dr. med. JS. Jürgensen für die unentbehrliche Unterstützung bei der Untersuchung der intensivmedizinisch betreuten Patienten.

Meinen Eltern bin ich für ihre Unterstützung dankbar, die mir eine ungeteilte Konzentration auf das intensive Studium der Humanmedizin ermöglicht hat.

11 Anhang

11.1 Abkürzungsverzeichnis

A-aDO ₂	Alveolo-arterielle Sauerstoffdifferenz
Abb.	Abbildung
ANV	Akutes Nierenversagen
APACHE	Acute Physiology And Chronic Health Evaluation
APACHE II	Acute Physiology And Chronic Health Evaluation II
APACHE III	Acute Physiology And Chronic Health Evaluation III
APS	Acute Physiology Parameter
ARDS	Adult Respiratory Distress Syndrom
AUDI	Aggressive Use of Diagnostic Imaging
AWIGS	Advanced Workplace for Image Guided Surgery
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
COLD	Chronic Obstructive Lung Disease
CT	Computertomographie
°C	Grad Celsius
d	Tag
d.h.	das heißt
DSA	Digitale Subtraktionsangiographie
EEP	Elektrisch evozierte Potentiale
et al.	et alii
etc.	et cetera
FiO ₂	Sauerstoffkonzentration in der Einatemungsluft
GCS	Glasgow Coma Scale
h	Stunde
HCO ₃	Hydrogencarbonat
Hg	Quecksilber
i.m.	Intramuskulär
ITS	Intensivstation
i.v.	Intravenös
ICP	Intra Cranial Pressure
Kg	Körpergewicht
kg	Kilogramm
kJ	Kilojoule
kW	Kilowatt
l	Liter
LAGetSi	Landesamt für Arbeitsschutz, Gesundheitsschutz und technische Sicherheit in Berlin

m	Meter, männlich
mA	Miliampere
mCT	mobile Computertomographie
mg	Miligramm
MJ	MegaJoule
mm ³	Kubikmillimeter
mMol	Milimolar
MO	Magneto Optical
MODS	Multiple Organ Dysfunction Score
MTRA	Medizinisch technische Röntgenassistenz
NYHA	New York Heart Association
O ₂	Sauerstoff
OP	Operationssaal
PaO ₂	arterieller Sauerstoff-Partialdruck
PEEP	Positive End Expiratory Pressure
PO ₂	Sauerstoffpartialdruck
qm	Quadratmeter
r	Korrelationskoeffizient (Pearson)
rpm	rounds per minute
s	Sekunde
s.c.	Subkutan
SCSI	Small Computer System Interface
Tab	Tabelle
TISS 28	Therapeutic Intervention Scoring System 28
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
usw.	und so weiter
V	Volt
vs.	versus
w	weiblich
z.B.	zum Beispiel
ZNS	Zentralnervensystem
ZVK	Zentraler Venenkatheter