

Aus der Abteilung für Kinderkardiologie und Pädiatrische Intensivmedizin
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand: Prof. Dr. Nikolaus Haas

**Hämodynamische Stabilität von Kindern unter
intensivmedizinischen Bedingungen während des
Lufttransports**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Humanmedizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Paul Rohr

aus Mannheim

2022

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Nikolaus Haas

Mitberichterstatter: PD. Dr. Karin Berger-Thürmel

Mitbetreuung durch die
promovierten Mitarbeiter: Dr. M. Fischer und Dr. M. Hübner

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 06.10.2022

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungen	9
1. Einleitung	10
Der Ablauf eines luftgebundenen Intensivtransportes	13
1.1. Zielsetzung	14
2. Material und Methodik	15
2.1. Patientenkollektiv	15
2.1.1. Ein- und Ausschlusskriterien	15
2.2. Erstellung der Datenbank	15
2.3. Das Transportprotokoll	16
2.3.1. Flugdaten	16
2.3.2. Organisatorische Daten	16
2.3.3. Patientenbezogene Daten	16
2.3.4. Medizinische Daten	17
2.3.4.1. Vitalparameter	17
2.3.4.2. Medizinische Maßnahmen	19
2.3.4.3. Medikamente	20
2.3.5. Zwischenfälle während des Transportes	20
2.4. Scores	21
2.4.1. Interventions-Score	21
2.4.2. Pediatric Airtransport Safety Score (PATSS; Vitalparameter-Score)	22
2.5. Methodik	25
2.5.1. Statistische Auswertung	25
2.5.2. Analytische Auswertung	26
2.5.3. Testung auf Normalverteilung	26
2.5.4. Mittelwertvergleich	26
2.5.5. Regressionsanalyse	27
2.6. Ethikantrag	27
3. Ergebnisse	28

3.1.	Testung auf Normalverteilung	28
3.2.	Demographische Daten	28
3.3.	Deutschlandweite Verteilung der Transporte und Transporthäufigkeit.....	29
3.4.	Erkrankung der Patienten.....	29
3.5.	Schwere der Erkrankung	30
3.6.	Verlegungsgrund und Abteilungen die am Transport beteiligt waren	30
3.7.	Das Transportteam.....	31
3.8.	Flugdaten	32
3.8.1.	Startzeiten und Wochentage	32
3.8.2.	Verlegungsdringlichkeit.....	33
3.8.3.	Zeiten bis zum Transport.....	34
3.9.	Transportdauer und Distanz	34
3.9.1.	Subgruppenanalyse.....	34
3.9.2.	Regressionsanalyse Transportzeit	36
3.10.	Maßnahmen	37
3.10.1.	Medikamentengabe.....	39
3.10.2.	Interventions-Score	40
3.10.2.1.	Regressionsanalyse Interventions-Score	42
3.11.	Vitalparameter.....	43
3.11.1.	Sauerstoffsättigung.....	43
3.11.2.	Atemfrequenz	44
3.11.3.	Blutdruck	45
3.11.3.1.	Systolischer Blutdruck.....	45
3.11.3.2.	Diastolischer Blutdruck	46
3.11.4.	Herzfrequenz	48
3.11.5.	Glasgow Coma Scale	49
3.12.	Pediatric Airtransport Safety Score (PATS-Score)	50
3.12.1.	Veränderungen des PATS über den Zeitraum des Transportes.....	50
3.12.2.	Der Einfluss einzelner Vitalparameter auf den PATS-Score	52
3.12.3.	Regressionsanalyse der Veränderung des PATS-Scores.....	53
3.13.	Zwischenfälle während des Transportes.....	53
4.	Diskussion	55
4.1.	Diskussion der Methoden.....	55
4.1.1.	Pediatric Airtransport Safety Score (PATS-Score).....	55
4.1.2.	Interventions-Score.....	56
4.2.	Diskussion der Ergebnisse	56

4.2.1. Patienten	56
4.2.2. Transporte	58
4.2.3. Transportteams	59
4.2.4. Maßnahmen	59
4.2.5. Medikamente	60
4.2.6. Interventions-Score.....	60
4.2.7. Vitalparameterstabilität.....	61
4.2.8. Pediatric Airtransport Safety Score	61
4.2.9. Zwischenfälle	62
5. Zusammenfassung.....	65
Literaturverzeichnis	67
Anhang	70
Publikationen	72
Lebenslauf	73
Danksagungen	74
Eidesstattliche Versicherung	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der NACA – Score (übernommen aus (25)) Benannt wurde der Score nach dem National Advisory Committee for Aeronautics. Er wird verwendet, um die Schwere von Verletzungen oder Erkrankungen in der Medizin zu beschreiben. ROSC (Return of spontaneous circulation) wird das Wiedereinsetzen eines Spontankreislaufs nach Herzkreislaufstillstand bezeichnet.	17
Abbildung 2 Alter und Geschlechtsverteilung der Patienten	28
Abbildung 3: Am Transport beteiligte Stationen	31
Abbildung 4: Startzeiten der Transporte.....	32
Abbildung 5: Verteilung der Transporte auf die Wochentage	33
Abbildung 6: Punktwerte der Veränderungen im PATS-Score im Vergleich zu vor dem Transport (ein negativer Wert entspricht einer Stabilisierung der Vitalparameter)	52
Abbildung 7: Empfehlungen der DIVI zur ärztlichen Qualifikation im Intensivtransport (aus (61)).....	71
Abbildung 8: Standorte der deutschen Rettungshubschrauber (aus (1))	71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kategoriale Speicherung der Vitalparameter	18
Tabelle 2: Die Glasgow Coma Scale (nach (29))	19
Tabelle 3: Punktwerte des Interventions-Scores	22
Tabelle 4: Punktwerte des Pediatric Airtransport Safety Scores (PATs-Score)	23
Tabelle 5: Mittelwerte der Vitalparameter für die Berechnung	26
Tabelle 6: Aufschlüsselung der Häufigsten Erkrankungen die zum Transport führten (Zeilenprozent)	29
Tabelle 7: Begleitung der Transporte ohne oder mit einem zusätzlichen pädiatrischen Team nach Alter in Jahren	31
Tabelle 8: Verlegungsdringlichkeit aufgrund verschiedener Verlegungsgründe (Relativ)	33
Tabelle 9 Vorlaufzeiten des Transportes bei unterschiedlichen Teams.....	34
Tabelle 10: Transportdauer und Transportstrecke in Abhängigkeit des Patientenalters	34
Tabelle 11: Transportdauer und Transportstrecke in Abhängigkeit des NACA-Scores	35
Tabelle 12: Transportdauer und Transportstrecke in Abhängigkeit des Transportteams	35
Tabelle 13: Transportdauer und Transportstrecke in Abhängigkeit der Grunderkrankung der Patienten	36
Tabelle 14: Einflüsse auf die Transportzeit	36
Tabelle 15: Maßnahmen am Patienten vor und während der Transporte	38
Tabelle 16: Medikamentengabe vor und während des Transportes	39
Tabelle 17: Interventions-Score insgesamt (Interventionen durch KH und Transportteam).	40
Tabelle 18: Interventions-Score der Maßnahmen der Klinik oder Transportteam .	41
Tabelle 19: Interventions-Score der Maßnahmen der standardmäßigen Hubschrauberbesetzung vs. pädiatrische Begleitung.	42
Tabelle 20: Einflüsse auf den Interventions-Score	42
Tabelle 21: Sauerstoffsättigung vor und nach dem Transport.....	43
Tabelle 22: Atemfrequenz vor und nach dem Transport	44
Tabelle 23: Systolischer Blutdruck vor und nach dem Transport.....	46
Tabelle 24: Diastolischer Blutdruck vor und nach dem Transport	47
Tabelle 25: Herzfrequenz vor und nach dem Transport	48
Tabelle 26: Glasgow Coma Scale vor und nach dem Transport	49
Tabelle 27: Veränderungen im PATs-Score im Vergleich zu vor dem Transport	51
Tabelle 28: Differenzen der Mittelwerte einzelner Vitalparameter des PATs-Scores vor und nach dem Transport	52
Tabelle 29: Regressionsanalyse des PATs-Scores	53
Tabelle 30: Patientenbezogene Komplikationen	54
Tabelle 31: Gerätebezogene Komplikationen	54

Tabelle 32: Organisatorische Komplikationen	54
Tabelle 33: Grunderkrankungen die zum Transport führten (aufgeschlüsselt nach den Hauptgruppen des DRG-Code).	70

Abkürzungen

ECMO	Extrakorporale Membranoxygenierung
Diast.	Diastolisch
DRG	Diagnosis Related Group (diagnosebezogene Fallgruppierungen)
EKG	Elektrokardiogramm
GCS	Glasgow Coma Scale
LP15	LifePack15
HEMS-TC	Helicopter Emergency Medical Services Technical Crew Member
HEMSDER	System zur Datenerfassung und Abrechnung von Einsätzen
NACA	Score zur Einschätzung der Schwere einer Erkrankung oder Verletzung benannt nach dem National Advisory Committee for Aeronautics
NIBP	Non-invasive blood pressure (nicht invasive Blutdruckmessung)
PATS-Score	Pediatric Airtransport Safety Score
PRISM	Pediatric Risk of Mortality
ROSC	Return of spontaneous circulation
RR	Riva Rocci (Abkürzung für Blutdruck)
SpO ₂	Sauerstoffsättigung
Syst.	Systolisch
TISS	Therapeutic Intervention Scoring System
Tr.	Transport

1. Einleitung

Transporte zwischen Krankenhäusern, sogenannte Interhospitaltransfers, haben in den letzten Jahren stark zugenommen. Im Jahre 2018 wurden mit 16.883 luftgebundenen Sekundäreinsätzen¹ deutschlandweit die meisten Einsätze seit Beginn der Einsatzzahlerhebung 2002 durchgeführt. Im Vergleich zu 2017 ist dies eine Zunahme von fast 6% (3). Dabei haben alle Arten von Sekundäreinsätzen zugenommen, sowohl arztbegleitete als auch Krankentransporte ohne Arzt. Zu Sekundäreinsätzen werden auch Intensivtransporte gezählt, die dazu dienen, kontinuierlich intensivüberwachungs- und behandlungspflichtige Patienten in Begleitung von medizinischem Personal mit besonderer Qualifikation zu transportieren.

Die möglichen Gründe für steigende Einsatzzahlen sind vielfältig: Durch eine Zunahme der Anzahl an Hubschrauberstandorten in Deutschland und gebesserten Technologien für Flüge unter Nachtflugbedingungen ist die Kapazität der luftgebundenen Transporte stetig gestiegen (4).

Abseits der flugtechnischen Besonderheiten trägt die Veränderung der Krankenhausstruktur zu einer steigenden Anzahl an Intensivtransporten bei. Dieser Strukturwandel ist in neuen Möglichkeiten bei Diagnostik und Therapie sowie Änderungen der Krankenhausfinanzierung begründet, welche zur Spezialisierung und zum Zusammenschluss von Kliniken zu regionalen Versorgungszentren beigetragen haben (5). So kam es zu Schließungen von peripheren Zentren. Bereits 2014 machte die Deutsche Gesellschaft für Kinder- und Jugendmedizin e.V. in der Aktion „Rettet die Kinderstation“ darauf aufmerksam.

„In der Kinder- und Jugendmedizin wurde im Zeitraum von 1991 – 2012 nahezu jede 5. Abteilung für Kinder- und Jugendmedizin geschlossen, ihre Zahl ging von 440 auf 364 zurück. Zudem wurden 4 von 10 Betten in der stationären Kinder- und Jugendmedizin gestrichen: eine Reduzierung um 39,45%. Von 99 Kinderchirurgien in 1991 sind heute [2014; Anmerkung d. Verfassers] 10% nicht mehr existent. Die Anzahl von Kindern, die eine stationäre Versorgung benötigen, ging hingegen trotz der demographischen Entwicklung nicht zurück, sondern blieb relativ konstant.“(6)

Zukünftig ist mit einer weiteren Zentralisierung der Krankenhausstruktur zu rechnen. So fordert beispielsweise die Bertelsmann-Stiftung in einer Studie aus dem Jahr 2019 eine Verringerung der Zahl der Krankenhäuser in Deutschland von derzeit 1400 auf deutlich unter 600 (7). Diese Veränderungen tragen dazu bei, dass Transporte aus peripheren Kliniken in Krankenhäuser einer höheren Versorgungsstufe oder in spezialisierte Kliniken immer häufiger werden (8, 9).

¹ Ein Sekundäreinsatz ist ein Einsatz bei dem ein bereits (erst-) versorgter Patient zwischen zwei Gesundheitseinrichtungen (z.B. Krankenhäusern) unter der Erhaltung und Überwachung der lebenswichtigen Körperfunktionen transportiert wird. (2. Medizin D-N. DIN 13050:2015-04. 2015.

Da die Kapazitäten in diesen Einrichtungen jedoch beschränkt sind, werden viele Patienten bereits kurz nach der Versorgung erneut in Krankenhäuser einer niedrigeren Versorgungsstufe zurückverlegt (8). Auch für diese Transporte wird oftmals eine intensivmedizinische Überwachung benötigt. Für die Zukunft ist somit neben einer weiteren Zunahme der Transportzahlen auch insbesondere mit einer Zunahme der Intensivtransporte zu rechnen.

Für den Transport von intensivüberwachungspflichtigen Patienten werden spezielle Transportmittel eingesetzt: Man unterscheidet zwischen bodengebundenen und luftgebundenen Transportmitteln. Für den bodengebundenen Transport steht der Intensivtransportwagen (ITW) oder der Rettungswagen (RTW) mit zusätzlichem Equipment und mit ärztlicher Begleitung zur Verfügung (10). Da Flugzeuge aufgrund der räumlichen Struktur bei innerdeutschen Verlegungen nur eine untergeordnete Rolle spielen, werden luftgebundene Transporte zumeist mit dem Helikopter durchgeführt (3).

Die Auswahl des Rettungsmittels ist hauptsächlich von der geplanten Distanz der Verlegung abhängig (11). Kurze Transportstrecken werden meistens mit dem Intensivtransportwagen oder dem Rettungswagen zurückgelegt (12). Oftmals wird bei der Auswahl des Rettungsmittels auch die Erkrankungsart der Patienten berücksichtigt, so ist bei Verletzungen der Wirbelsäule beispielsweise ein schonender Transport indiziert, um eine weitere Schädigung oder Belastung der Wirbelsäule zu vermeiden. In diesen Fällen wird oftmals auch bei kurzen Distanzen der luftgebundene Intensivtransport bevorzugt, da so Erschütterungen vermieden werden (10, 12). Aufgrund der Abhängigkeit von Wetter und Sichtverhältnissen sind luftgebundene Transporte bei schlechtem Wetter und nachts nur eingeschränkt verfügbar. Der Einsatz von Nachtsichtgeräten erlaubt einigen Intensivtransporthubschraubern allerdings den Betrieb auch während der Nachtstunden (13).

Betrachtet man die reine Transportzeit, ist der luftgebundene Transport aufgrund der hohen Reisegeschwindigkeit sowie seiner Unabhängigkeit von Streckenführung und Verkehr deutlich schneller (14). Der Einsatz eines Hubschraubers erfordert jedoch eine längere Vorbereitungszeit und ist mit höheren Kosten verbunden, sodass der Nutzen des luftgebundenen Transportes erst bei längeren Strecken überwiegt (10, 15).

Luftgebundene Intensivtransporte werden in Deutschland von mehreren Organisationen durchgeführt. Neben staatlichen Helikopterstandorten, die durch das Bundesministerium des Inneren betrieben werden, gibt es Standorte, die von privaten Organisationen betrieben werden. Zu den größten privaten Betreibern zählen die

Deutsche Rettungsflugwacht Luftrettung (DRF-Luftrettung), die Allgemeine Deutsche Automobil Club Luftrettung GmbH (ADAC) und die Johanniter-Unfall-Hilfe (JUH) (16).

Neben ‚klassischen‘ Rettungshubschraubern für den Primäreinsatz, also das Heranbringen des Notarztes an den Notfallort sowie den Transport des Patienten in eine geeignete Zielklinik, gibt es sogenannte Dual-Use Helikopter. Sie sind für Primär- und Sekundäreinsätze gleichermaßen einsetzbar. Für den sekundären Transport stehen Intensivtransporthubschrauber zur Verfügung, die im Vergleich zu reinen Rettungshubschraubern deutlich größer sind und mehr Platz zur Behandlung der Patienten bieten. Darüber hinaus verfügen sie über eine höhere Flugreichweite (1).

Die Ausstattung eines Intensivtransporthubschraubers für Monitoring und Patientenüberwachung wird durch die DIN EN 13718-1:2020-10 und DIN EN13718-2:2020-10 festgelegt. In vielen Intensivtransporthubschraubern können neben dem standardmäßigen medizinischen Equipment auch spezielle Geräte wie eine extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO) oder eine Herz-Lungen-Maschine transportiert werden (17).

Für einen sicheren Transport ist es wichtig, den Patienten vor der Verlegung so gut wie möglich zu versorgen und zu stabilisieren, da aufgrund des geringen Platzangebots im Hubschrauber nicht alle Maßnahmen während des Transportes durchgeführt werden können (8). Treten während des Fluges medizinische Komplikationen auf, die eine Intervention erforderlich machen, die aus Platzgründen nicht möglich ist, so muss der Hubschrauber zwischenlanden. Im Idealfall wäre eine Zwischenlandung in einem Krankenhaus durchzuführen, andernfalls ist auch eine Landung im freien Gelände möglich.

Neben dem medizinischen Gerät ist die Hubschrauberbesatzung für einen sicheren Patiententransport unerlässlich. Die fliegerische Crew besteht mindestens aus einem Piloten sowie einem Rettungsassistenten oder Notfallsanitäter mit der Zusatzausbildung zum Helikopter Emergency Medical Services Technical Crew Member (TC HEMS)². Der TC HEMS unterstützt den Piloten bei Funkverkehr und Navigation, zudem beobachtet er den Luftraum. Bei Nachtflügen wird das Team von einem zweiten Piloten verstärkt. Die medizinische Besatzung besteht aus einem Arzt, der neben der Zusatzbezeichnung Notfallmedizin (19, 20) auch noch weitere Voraussetzungen erfüllen muss (s. Abb. 7) und dem TC HEMS, der den Arzt bei der Patientenversorgung unterstützt (12). Bei besonders schwer erkrankten Patienten, Neugeborenen oder Kindern sowie bei Transport unter speziellen Therapien wird die medizinische Besatzung des Helikopters

² Mindestens 7 Tage Theorie und 2,5 Tage praktische Weiterbildung 18. Sanitätsschulenord. Ausbildung im Luftrettungsdienst: Sanitätsschulenord; 2020 [cited 2021 25.03.21]. Available from: <https://www.sanitaetsschulenord.de/ausbildung-zertifizierte-ausbildung-in-der-luftrettung-im-luftrettungsdienst/>.

durch Teams aus den angeflogenen Krankenhäusern verstärkt oder ersetzt. Bei Kindern besteht dieses zusätzliche Team meist aus einem intensivmedizinisch erfahrenen Kinderarzt und einer intensivmedizinisch erfahrenen Kinderkrankenpflegekraft.

Der Ablauf eines luftgebundenen Intensivtransportes

Das verlegende Krankenhaus kontaktiert die Rettungsleitstelle, die den Auftrag für die Intensivverlegung an den Intensivtransporthubschrauber disponiert. Anschließend kontaktieren die Ärzte des verlegenden Krankenhauses zusätzlich das durchführende Transportteam, um erste Informationen über den Patienten und eventuell benötigtes Zusatzmaterial weiterzugeben. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Indikation des Transportes, den Infektionsstatus des Patienten sowie seine kardiopulmonale Stabilität gelegt.

Nach Eingang des Verlegungsauftrags wird durch die fliegerische Besatzung die Flugplanung durchgeführt. Hierbei werden Informationen zu Landeplätzen, Wetter und Flugroute gesammelt. Je nach Dringlichkeit des Transportes erfolgt daraufhin der zeitnahe Transport des medizinischen Transportteams zum Patienten. Im Krankenhaus angekommen, findet die detaillierte Übergabe der verlegenden Ärzte an das Transportteam statt. Der transportierende Notarzt entscheidet anhand der Übergabe und der Patientenunterlagen, ob der Patient stabil genug für den Transport ist oder ob noch weitere Maßnahmen vor Transportbeginn durchgeführt werden müssen (12). Nach dem Umlagern des Patienten auf die Transportliege werden alle medizinischen Geräte des Krankenhauses, wie Spritzenpumpen, Monitoreinheit und Beatmungsmaschine durch die Geräte des Hubschraubers ersetzt. Anschließend finden der Transport zum Hubschrauber, das Einladen in den Hubschrauber und der eigentliche Verlegungsflug statt. Während des Transportes wird das im Vorfeld informierte, aufnehmende Krankenhaus durch die Rettungsleitstelle über die genaue Ankunftszeit des Patienten informiert. In einigen Fällen ist die direkte Landung unmittelbar am Zielkrankenhaus nicht möglich, sodass ein Zwischentransport mit einem bodengebundenen Rettungsmittel nötig wird. Hierfür wird der Patient mit der Trage und sämtlichem medizinischen Equipment in einen Rettungs- oder Intensivtransportwagen umgeladen und zusammen mit dem transportierenden medizinischen Personal zum Krankenhaus gebracht. Dort findet die Übergabe von Transportteam an Ärzte und Pflegepersonal des Zielkrankenhauses statt (12).

Trotz der steigenden Anzahl der luftgebundenen Intensivtransporte ist bisher noch wenig über die Auswirkungen auf den Gesundheitszustand und die Vitalparameterstabilität der Patienten bekannt. Bis dato gab es nur wenige Studien, die sich mit dieser Thematik beschäftigen, insbesondere über pädiatrische luftgebundene

Intensivtransporte gibt es nur sehr wenig Literatur. Das Hauptaugenmerk dieser wenigen Veröffentlichungen lag dabei auf patientenschädigenden Zwischenfällen während der Transporte (21)(22). Die Studien, die sich mit der Sicherheit und der Vitalparameterstabilität von Kindern auseinandersetzen, beziehen sich meist auf eine geringe Probandenzahl und sind größtenteils im Ausland durchgeführt worden (23-25).

Daher untersucht diese Arbeit die Sicherheit und Vitalparameterstabilität von pädiatrischen Patienten in Deutschland während luftgebundener Verlegungstransporte.

1.1. Zielsetzung

Die Studie wurde initiiert, um die Auswirkungen von luftgebundenen Transporten auf die hämodynamische Stabilität von pädiatrischen Patienten zu untersuchen. Auch die Identifizierung von prognostisch günstigen Faktoren für einen sicheren Transport war Ziel der Studie. Dies geschah vor dem Hintergrund, dass die Transportzahlen jedes Jahr steigen und bisher noch wenig über die Sicherheit dieser pädiatrischen Transporte in Deutschland bekannt ist. Langfristig soll diese Studie einen Beitrag zur Sicherheit von pädiatrischen Intensivtransporten leisten.

Um dies zu erreichen, wurde eine retrospektive Analyse der Intensivtransporte durchgeführt.

2. Material und Methodik

2.1. Patientenkollektiv

Das Datenkollektiv umfasst 1300 Patienten, die zwischen dem 01.01.2015 und dem 31.12.2018 luftgebunden durch die DRF Luftrettung zwischen zwei Kliniken transportiert wurde.

2.1.1. Ein- und Ausschlusskriterien

In die Studie wurden Patienten eingeschlossen die zum Zeitpunkt des Transportes das elfte Lebensjahr noch nicht vollendet hatten. Es wurden nur Sekundärtransporte berücksichtigt, die mit einem in Deutschland stationierten Hubschrauber der DRF Luftrettung durchgeführt wurden. Sämtliche Transporte, die zwischen dem 01.01.2015 und dem 31.12.2018 stattfanden, wurden berücksichtigt. Für die Aufnahme in die Studie wurde die Vollständigkeit des Datensatzes nicht berücksichtigt. So kann es sein, dass bei einigen Auswertungen Patienten fehlen, da nicht alle Variablen für die Untersuchung vorlagen. Neben Patienten, die durch andere Hilfsorganisationen als die DRF Luftrettung transportiert wurden, konnten auch Kinder, welche einen Transport im Inkubator erhielten, nicht berücksichtigt werden, da sich das Transportprotokoll in diesen Fällen vom übrigen Datensatz unterschied und somit nicht vergleichbar war.

2.2. Erstellung der Datenbank

Als Grundlage für die Auswertung dienten die elektronischen Transportprotokolle der DRF Luftrettung, welche nach jedem Transport durch den begleitenden Notarzt und den HEMS-TC erstellt wurden. Mit Hilfe einer Eingabemaske in HEMSDER³ wurden alle Daten elektronisch erfasst. Der Umfang dieser erfassten Daten ist unter Punkt „2.3 Das Transportprotokoll“ zu finden.

Die für die Auswertung erforderlichen Datensätze konnten durch die Suchfunktion der DRF Datenbank entsprechend den Einschlusskriterien ausgewählt werden. Aus den so ausgewählten Datensätzen wurden die für die Fragestellung benötigten Datenfelder durch einen Mitarbeiter der DRF in eine Excel-Tabelle übertragen. Diese Tabelle wurde anonymisiert für die Auswertung zur Verfügung gestellt.

³ Programm zur Erfassung und Abrechnung von Einsätzen aller DRF Luftrettungsstationen.

2.3. Das Transportprotokoll

Im Folgenden sollen kurz die im elektronischen Transportprotokoll erfassten Daten aus den verschiedenen Bereichen des Transportes vorgestellt werden.

2.3.1. Flugdaten

Die Flugdaten enthalten sämtliche Zeiten des Transportes. Neben der Alarmierungszeit werden Startzeit, Landezeit, Flugzeit und Übergabezeit dokumentiert. Letztere gibt an, wie lange das Transportpersonal zu Beginn des Flugs benötigt, um alle medizinisch relevanten Informationen für den Flug zu erhalten und den Patienten für den Transport vorzubereiten. Zusätzlich zu den Start- und Landepunkten werden die jeweiligen abgebenden und aufnehmenden Kliniken sowie die zurückgelegte Transportstrecke dokumentiert.

Tritt der Fall ein, dass der Hubschrauber nicht direkt am Krankenhaus landen kann, sodass der Patient vom Landeplatz mit einem bodengebundenem Rettungsmittel weiter transportiert werden muss, so werden diese Zwischentransporte ebenfalls im Transportprotokoll festgehalten.

2.3.2. Organisatorische Daten

Bei jeder Verlegung muss der Arzt des verlegenden Krankenhauses, der die Indikation zum Intensivtransport stellt, verschiedene Angaben machen. Neben den Kliniken, zwischen denen der Patient transportiert wird, müssen die Dringlichkeit (innerhalb von 30 Minuten, innerhalb von 2 Stunden, im Tagesverlauf oder am Folgetag) und der Grund der Verlegung (weitere Diagnostik, Intensivtherapie, OP oder andere Intervention und sonstige) angegeben werden. Ob ein Kinderarzt die Verlegung begleitet hat und ob es zu Verzögerungen kam, wurde ebenfalls in den organisatorischen Daten gespeichert.

2.3.3. Patientenbezogene Daten

Bei jedem Transport werden Alter und Geschlecht der Patienten gespeichert. Neben der Erkrankung der Patienten, die zum Transport führte (ICD-10 Kodierung), wird auch die Schwere der akuten Erkrankung im Transportprotokoll hinterlegt. Die Abstufung erfolgt hierbei gemäß dem NACA-Score (s. Abb. 1).

NACA Score	Erklärung
0	Keine Verletzung oder Erkrankung
I	Geringfügige Verletzung/Erkrankung – keine Intervention durch Notarzt erforderlich
II	Leichte bis mäßige Verletzung/Erkrankung – ambulante Behandlung notwendig
III	Mäßige bis schwere Verletzung/Erkrankung, jedoch ohne Lebensgefahr – stationäre Behandlung
IV	Verletzung/Erkrankung, bei der die Lebensgefahr nicht ausgeschlossen werden kann
V	Akute Lebensgefahr, Transport unter Reanimationsbereitschaft
VI	Post-ROSC, Transport nach Wiederbelebung
VII	Verletzung/Erkrankung mit letalem Ausgang, mit oder ohne Wiederbelebungsmaßnahmen

Abbildung 1: Der NACA - Score (übernommen aus (26))
Benannt wurde der Score nach dem National Advisory Committee for Aeronautics. Er wird verwendet, um die Schwere von Verletzungen oder Erkrankungen in der Medizin zu beschreiben. ROSC (Return of spontaneous circulation) wird das Wiedereinsetzen eines Spontankreislaufs nach Herzkreislaufstillstand bezeichnet.

2.3.4. Medizinische Daten

Die medizinischen Daten der Patienten wurden zu mindestens zwei Zeitpunkten dokumentiert. Diese Daten wurden bei der Übernahme des Patienten durch das transportierende Team und bei der Übergabe des Patienten im Ziel-Krankenhaus erfasst.

2.3.4.1. Vitalparameter

Zur Erhebung der Vitalparameter während des Transportes wurde das Lifepak® 15 (Physio-Control®, Redmond, USA) oder das Corpulse3® (Corpulse®, Kaufering, Deutschland) verwendet.

Für die Auswertung wurden folgende Vitalparameter herangezogen: Atemfrequenz, Sauerstoffsättigung, systolischer und diastolischer Blutdruck, Herzfrequenz und der GCS Score. Bei den übrigen Vitalparametern war keine ausreichende Anzahl an Datensätzen vorhanden.

In der Eingabemaske des HEMSDEK wurden die Vitalparameter nicht mit den exakten Werten gespeichert, sondern entsprechend der in Tabelle 1 dargestellten Kategorien aufgeschlüsselt.

Tabelle 1: Kategoriale Speicherung der Vitalparameter

	I	II	III	IV	V	VI
Atemfrequenz /min:	6-9	10-19	20-29	>30		
SpO ₂ in %:	<85	85-89	90-94	95-100		
Systolischer Blutdruck in mmHg:	0-49	50-75	76-89	90-99	100-119	
	120-139	140-159	160-179	180-199	200-219	
Diastolischer Blutdruck in mmHg:	1-39	40-59	60-79	80-99	100-119	
Herzfrequenz /min:	30-49	50-59	60-99	100-119	120-159	>160

Atemfrequenz:

Die Messung der Atemfrequenz erfolgte mit Hilfe der Impedanzpneumographie. Dabei wird die Zu- bzw. Abnahme des Thoraxvolumens während der Ein- und Ausatmung genutzt. Während der Atmung kommt es durch die Volumenänderung zu einer Veränderung des Widerstandes zwischen den für die EKG-Ableitung genutzten Thoraxelektroden. Diese Veränderung erzeugt ein Atemsignal. Die Anzahl dieser Signale wird in Atemzügen pro Minute angegeben (27).

Sauerstoffsättigung:

Die Sauerstoffsättigung wurde mittels Pulsoxymetrie bestimmt. Der Prozentwert gibt die O₂-Sättigung des Hämoglobins an. Spektrophotometrisch wird dazu die unterschiedliche Absorption von reduziertem und oxygeniertem Hämoglobin in Abhängigkeit von der arteriellen Pulsation gemessen (28).

Blutdruck:

Der systolische und diastolische Blutdruck konnte manuell mittels Blutdruckmanschette, Stethoskop und der Auskultation der Korotkow Geräusche gemessen werden oder mittels der oszillometrischen Messmethode der NIBP-Monitore. Hierbei wird die Blutdruckmanschette über den systolischen Druck des Patienten aufgepumpt und mittels eines Sensors beim Ablassen der Luft die Druckamplituden registriert (29).

Herzfrequenz:

Die Herzfrequenz wird in der Regel über das EKG-Monitoring bestimmt. Hierbei werden die Kammeraktionen pro Minute registriert und als Herzfrequenz angegeben (29).

Glasgow Coma Scale:

Zur Berechnung der Glasgow Coma Scale dienen die jeweiligen Maxima der Kategorien Augenöffnen, Motorik und Sprache. Das Minimum liegt hierbei bei drei, das Maximum

bei fünfzehn Punkten (30).

Tabelle 2: Die Glasgow Coma Scale (nach (29))

Prüfen	Reaktion	Punkte
Augenöffnen	Spontan	4
	Nach Aufforderung	3
	Auf Schmerzreiz	2
	Keine Reaktion	1
Bewegung (Motorik)	Nach Aufforderung	6
	Gezielt Abwehrbewegungen	5
	Ungezielte Abwehrbewegungen	4
	Beugebewegungen	3
	Streckbewegungen	2
	Keine Reaktion	1
Sprache	Orientiert, klar	5
	Verwirrt	4
	Einzelne Wörter	3
	Einzelne Laute	2
	Keine Reaktion	1

2.3.4.2. Medizinische Maßnahmen

Zusätzlich zu den Vitalparametern der Patienten wurden auch durchgeführte medizinische Maßnahmen verschlüsselt. Neben den folgenden interventionellen Maßnahmen wurden auch einige diagnostische Maßnahmen dokumentiert:

- Sauerstoffgabe
- Freimachen der Atemwege
- Endotracheales Absaugen
- Anlage eines Tracheostomas
- Intubation
- Larynxmaske
- Larynxtubus
- Thoraxdrainage
- Maschinelle Beatmung
- EKG
- 12-Kanal-EKG
- Peripherer venöser Zugang
- Intraossärer Zugang
- Zentralvenöser Zugang
- Shaldon-Katheter
- Arterielle Punktion
- Perikardpunktion
- Perfusor
- Blutgasanalyse
- Stiffneck
- Vakuummatratze
- Spineboard
- Verband
- Schienung
- Reposition
- Sonographie
- Magensonde
- Urinkatheter
- Aktive Kühlung
- Wärmedecke

2.3.4.3. Medikamente

Bei der Medikamentengabe wurde sowohl Art und Name der Arznei als auch die verabreichende Person dokumentiert. Hierbei wurde unterschieden, ob das Medikament ausschließlich durch das abgebende Krankenhaus, ausschließlich durch den begleitenden Notarzt oder durch beide gegeben wurde.

Auch wenn eine genauere Aufschlüsselung der verabreichten Arzneimittel im Transportprotokoll gespeichert wurde, wurden die Medikamente für die Auswertung in folgende Übergruppen zusammengefasst.

- | | | |
|-------------------|-------------------|-----------------|
| • Analgetika | • Antikoagulanzen | • Narkotika |
| ○ Opiode | • Broncho- | • Sedativa |
| ○ Nicht | dilatatoren | • Thrombolytika |
| Opiode | • Diuretika | • Vasodilatoren |
| • Antiarrhythmika | • Gerinnungs- | • Blutzucker- |
| • Antidote | fördernde | Medikamente |
| • Antieemetika | Medikamente | • Puffer |
| • Antiepileptika | • Katecholamine | • Infusionen |
| • Antihistaminika | • Kortison | |
| • Antihypertensia | • Muskelrelax. | |

Die Dosierung der Medikamente wurde in den elektronischen Transportprotokollen nicht angegeben.

2.3.5. Zwischenfälle während des Transportes

Insofern es während des Transportes zu unerwünschten Zwischenfällen kam, wurden auch diese dokumentiert. Die Komplikationen wurden dabei in drei Gruppen eingeordnet:

1. Komplikationen, die in Zusammenhang mit dem Patienten stehen,
2. Komplikationen, die durch eine Fehlbedienung oder einen Defekt von Medizinprodukten entstanden sind,
3. Komplikationen, welche auf organisatorischen Fehlern basieren.

Patientenbezogene Komplikationen:

- Kurzzeitiger SpO₂-Abfall
- Verlegung des Beatmungstubus
- Andere respiratorische Störungen
- Hypotension

- Mehrfache Gefäßpunktion
- Patient lehnt Therapie ab
- Kreislaufstillstand
- Tod vor Eintreffen des Rettungsmittels

Gerätebezogene Komplikationen:

- Beatmungsgerät
- Kapnometrie
- Andere medizinische Geräte
- Verzögerung durch technischen Defekt am Hubschrauber

Organisatorische Komplikationen:

- Einsatz außerhalb des regulären Einsatzgebietes
- Erforderliches Rettungsmittel nicht verfügbar
- Fehlerhafte Einsatzinformation
- Inadäquate Assistenz durch den Rettungsdienst
- Mangelnde Vorbereitung durch das Krankenhaus
- Nächstes geeignetes Krankenhaus abgemeldet
- Transport aus medizinischen Gründen nicht möglich

2.4. Scores

2.4.1. Interventions-Score

Zur erleichterten Auswertung der Interventionen wurde ein Score gebildet. Der Score beschreibt den Umfang der während des Transports vorgenommenen Interventionen.

Der verwendete Interventions-Score wurde erstmals von S.H. Cray und Kollegen im Journal of Pediatric Anaesthesia veröffentlicht (25). Hierbei wurden in Anlehnung an das weit verbreitete, vielfach validierte Therapeutic Intervention Scoring System (TISS) (31, 32) einzelnen Interventionen am Patienten Punktwerte zugeordnet. Zur Verwendung in der aktuellen Analyse wurden die häufigsten Interventionen einbezogen, die durch das abgebende Krankenhaus oder das Transportteam durchgeführt wurden. Die Summe der Punktwerte wurde anschließend für jeden Patienten berechnet. Minimal waren 0 Punkte zu erreichen und maximal konnten 25 Punkte erreicht werden. Die berücksichtigten Interventionen mit dem dazugehörigen Punktwert können der nachfolgenden Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: Punktwerte des Interventions-Scores

Intervention	Punktwert
Tracheale Intubation	3
Kontrollierte Beatmung	4
Peripherer Zugang	1
Zentraler Zugang	2
Arterieller Zugang	3
Kolloidale Infusion	3
Bluttransfusion	3
Gabe von Sedativa	1
Muskelrelaxantien	1
Ionotrope Medikamente	3
Blutgasanalyse	1
Andere	(nicht bewertet)

2.4.2. Pediatric Airtransport Safety Score (PATS; Vitalparameter-Score)

Die Vitalparameter wurden in Anlehnung an den Physiologic-Score von S.H. Cray und Kollegen (25), sowie den Score von B. Gunnarson et al. (23) zu einem Score verrechnet. In beiden Publikationen wurde jeweils anhand von sechs Variablen entsprechend dem Pediatric Risk of Mortality-Score (PRISM-Score(33)) ein Punktwert berechnet. Dabei war ein niedriger Punktwert mit einem guten Gesundheitszustand des Patienten verbunden, ein hoher Wert deutete auf einen instabilen Patienten hin. Mithilfe von Scores lassen sich genauere Aussagen über den Gesundheitszustand der Patienten treffen. Werden nur einzelne Vitalparameter miteinander verglichen, gehen viele Informationen über den Patienten verloren.

Da bei unserer Auswertung aufgrund der elektronischen Dokumentation der Vitalparameter in Wertebereichen keine genaue Zuordnung zu den bestehenden Scores möglich war und zu zwei Variablen (Temperatur und Pupillenreaktion) nur wenige Datensätze vorlagen, wurde für die vorliegende Arbeit ein modifizierter Score entwickelt. In Anlehnung an die Fragestellung dieser Untersuchung nannten wir den Score: Pediatric Airtransport Safety Score (PATS-Score).

Um eine Über- oder Unterrepräsentation einzelner Vitalparameter zu vermeiden, konnten pro Parameter maximal drei Punkte vergeben werden. Zusätzlich wurden die Werte für die Sauerstoffsättigung in die Berechnungen mit einbezogen. Die Abstufung erfolgte dabei nach den physiologischen Werten der Patienten: War ein Vitalparameter im optimalen Bereich, so wurden keine Punkte vergeben. Bei Abweichungen von der Norm wurden je nach Stärke der Abweichung Punkte zu einer Summe addiert. Aufgrund der unterschiedlichen Vitalparameternormen für die unterschiedlichen Altersklassen der pädiatrischen Patienten wurden die Normwerte des Scores entsprechend den

Altersgruppen angepasst. Anschließend wurden die einzelnen Punktwerte der Vitalparameter addiert. Je mehr Punkte ein Patient erreichte, desto auffälliger waren seine Vitalparameter. Die maximal mögliche Anzahl an Punkten beträgt 18.

Zum Vergleich der Score-Werte vor und nach dem Transport dienten die berechneten Punktwerte aus den Vitalparametern beim Abflug und bei der Übergabe des Patienten. Anschließend wurde der Punktwert beim Abflug vom Punktwert bei der Übergabe abgezogen. Ein negatives Endergebnis bedeutete somit eine Verbesserung des PATS-Scores im Rahmen des Transportes, ein positives Ergebnis eine Verschlechterung. Je negativer/positiver der Punktwert, desto größer war die Verbesserung/Verschlechterung der Vitalparameter. Die einzelnen Vitalparameter und die jeweils zugeordneten Punktwerte können den nachfolgenden Tabellen entnommen werden.

Tabelle 4: Punktwerte des Pediatric Airtransport Safety Scores (PATS-Score)

Atemfrequenz:

	Säuglinge	1-10 Jahre
6-9/min	3 Punkte	3 Punkte
10-19/min	1 Punkt	0 Punkte
20-29/min	0 Punkte	0 Punkte
>30/min	1 Punkte	1 Punkt

Sauerstoffsättigung:

	Säuglinge und 1-10 Jahre
<85%	3 Punkte
85-89%	2 Punkte
90-94%	1 Punkt
95-100%	0 Punkte

Systolischer Blutdruck:

	Säuglinge	1-10 Jahre
0-49mmHg	3 Punkte	3 Punkte
50-75mmHg	2 Punkte	2 Punkte
76-89mmHg	0 Punkte	1 Punkt
90-99mmHg	0 Punkte	0 Punkte
100-119mmHg	1 Punkt	0 Punkte
120-139mmHg	1 Punkt	1 Punkt
140-159mmHg	2 Punkte	1 Punkt
160-179mmHg	2 Punkte	2 Punkte
180-199mmHg	2 Punkte	2 Punkte
200-219mmHg	2 Punkte	2 Punkte

Diastolischer Blutdruck:

	Säuglinge	1-10 Jahre
1-39mmHg	3 Punkte	3 Punkte
40-59mmHg	0 Punkte	0 Punkte
60-79mmHg	1 Punkt	0 Punkte
80-99mmHg	1 Punkt	1 Punkt
100-119mmHg	2 Punkte	2 Punkte

Herzfrequenz:

	Säuglinge	1-10 Jahre
30-49/min	3 Punkte	3 Punkte
50-59/min	2 Punkte	2 Punkte
60-99/min	1 Punkt	0 Punkte
100-119/min	0 Punkte	0 Punkte
120-159/min	0 Punkte	1 Punkt
≥160/min	2 Punkte	2 Punkte

Glasgow Coma Scale:

Für alle Altersgruppen gleich:

3-7 = 3 Punkte	8-10 = 2 Punkte	11-12 = 1 Punkt	13-15 = 0 Punkte
-------------------	--------------------	--------------------	---------------------

2.5. Methodik

Die Datenbank wurde in Microsoft® Excel (ab Version 16) erstellt. Die retrospektive Auswertung der Daten erfolgte mit SPSS® für MAC (Version 26, SPSS inc., Chicago; IL, USA).

2.5.1. Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung der Daten wurde einerseits der gesamte Datensatz untersucht, andererseits wurden aus dem Datensatz Untergruppen gebildet und diese weiter untersucht: So erfolgten Subgruppenanalysen klassifiziert nach Geschlecht, Alter, Transportteam, Flugdauer, NACA-Score und Grunderkrankung:

Die Geschlechter wurden unterschieden in eine männliche, eine weibliche und eine Gruppe, bei der kein Geschlecht im Transportprotokoll dokumentiert war.

Darüber hinaus wurden die Patienten gemäß ihrem Alter in vier Gruppen eingeteilt: Die Gruppe Neugeborene beinhaltet die Patienten im Alter von null bis 28 Tagen, zur Gruppe Säuglinge wurden Patienten zwischen einem Monat und einem Jahr gerechnet. Patienten zwischen dem ersten und dem fünften Lebensjahr wurden als Kleinkinder bezeichnet. Die restlichen Patienten im Alter von sechs bis einschließlich zehn Jahren wurden zur Gruppe der Schulkinder gezählt.

Es wurde untersucht, ob zusätzliche pädiatrische Teammitglieder den Transport begleiteten.

In Hinblick auf die Transportdauer wurden die Gruppen in 30 Minutenschritten aufgeteilt. Patienten, die länger als 120 Minuten transportiert wurden, wurden als eigenständige Gruppe analysiert. Über 120 Minuten wurden nur wenige Patienten transportiert und die Transportzeit wies große Schwankungen auf, sodass diese Patienten für die Auswertung in einer Gruppe zusammengefasst wurden.

Die Aufteilung der Gruppen nach Schwere der Grunderkrankung erfolgte anhand des initialen NACA-Scores. Hierbei wurden die am häufigsten vergebenen Punktwerte als eigenständige Gruppe betrachtet. Dadurch ergaben sich vier Gruppen: Beginnend bei einem NACA-Score von drei bis zu einem NACA-Score von sechs. Die NACA-Scores von 0-2 und 7 wurden aufgrund ihrer geringen Patientenzahl nicht mit in die Subgruppenanalyse aufgenommen. Dadurch kann es zu Differenzen zwischen der Gesamtsumme und der Summe aller Untergruppen kommen.

Für die Aufteilung der Patienten nach ihrer Grunderkrankung wurden sie entsprechend ihrer ICD-10 Diagnose zu den Hauptgruppen des ICD-10 zugeordnet (s. Tabelle Nr. 33). Die fünf häufigsten Diagnosegruppen wurden mit in die Subgruppenanalyse

aufgenommen. Dementsprechend kann es auch hier zu Differenzen zwischen der Gesamtsumme und der Summe aller Untergruppen kommen.

Die Darstellung der einzelnen Parameter und der jeweiligen Gruppen erfolgte durch Ermittlung von Häufigkeiten und Prozentwerten. Zur weiteren Beschreibung von Werten wie Alter, Transportstrecke, Transportdauer und NACA-Score wurden Mittelwerte, Standardabweichung und Streubreiten errechnet.

Die Vergleiche der Vitalparameter wurden aufgrund fehlender exakter Werte jeweils mit den Mittelwerten (s. Tabelle 5) der in Tabelle 1 dokumentierten Kategorien berechnet.

Tabelle 5: Mittelwerte der Vitalparameter für die Berechnung

	I	II	III	IV	V	VI
Atemfrequenz /min:	7,5	15	25	35		
SpO ₂ in %:	80	87	92	97,5		
Systolischer Blutdruck in mmHg:	25	62,5	82,5	95	110	
	130	150	170	190	210	
Diastolischer Blutdruck in mmHg:	20	50	70	90	110	
Herzfrequenz /min:	40	55	80	110	140	180

2.5.2. Analytische Auswertung

Als Signifikanzniveau für alle Analysen wurde $p < 0,05$ festgelegt.

2.5.3. Testung auf Normalverteilung

Mittels Kolmogorov-Smirnov-Tests sowie des Shapiro-Wilk-Tests wurden die Variablen auf eine Normalverteilung getestet.

2.5.4. Mittelwertvergleich

Für die Vergleiche von Transportdauer und Transportstrecke diente der t-Test für unabhängige Stichproben auf Mittelwertgleichheit. Für Vergleiche zweier unabhängiger Stichproben, die nicht normalverteilt, oder nicht metrisch skaliert waren, wurde der

Mann-Whitney-Test angewandt. Die verbundenen, nicht normalverteilten Variablen wurden mittels Wilcoxon-Rangtest verglichen.

2.5.5. Regressionsanalyse

Der Einfluss von verschiedenen unabhängigen Variablen auf die Transportdauer, den PATS-Score und den Interventions-Score wurde jeweils mit einer multiplen linearen Regression untersucht.

Zunächst wurde überlegt, welche Faktoren Einfluss auf die zu testende abhängige Variable ausüben könnten. Anschließend wurde die Regression mit den in den theoretischen Überlegungen festgelegten unabhängigen Variablen berechnet. Zunächst wurde ein Modell mit der Einschlussmethode berechnet, hierbei wurden alle unabhängigen Variablen berücksichtigt. Eine Modellanpassung erfolgte im Anschluss mit der Rückwärtselimination. Dabei wurden schrittweise die Variablen aus dem Modell entfernt, welche Signifikanzwerte von über $p=0,1$ aufwiesen. Die Auswahl des aussagekräftigsten Modells erfolgte anhand des höchsten korrigierten R^2 .

Eine Multikollinearität der unabhängigen Variablen konnte durch einen Varianzinflationsfaktor (VIF) ausgeschlossen werden.

Eine binär logistische Regression der Zwischenfälle konnte aufgrund der geringen Anzahl an Zwischenfällen und vielen möglichen Einflussfaktoren nicht durchgeführt werden.

2.6. Ethikantrag

Gemäß aktuellen Empfehlungen der medizinischen Fakultät der LMU ist die Analyse von bereits vorliegenden Daten nicht beratungspflichtig, d.h. es ist kein Votum einer Ethikkommission notwendig. (www.med.uni-muenchen.de/ethik/beratungspflicht/index.html).

Die Daten der Transporte wurden a priori anonymisiert zur Verfügung gestellt, vor der Nutzung der Daten war gesichert, dass bei der Erhebung der Daten ethische Grundsätze eingehalten wurden. Daher war nach Abstimmung mit der DRF Luftrettung sowie der Abteilung für Kinderkardiologie und pädiatrische Intensivmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität das Einholen eines Votum der Ethikkommission nicht notwendig.

3. Ergebnisse

3.1. Testung auf Normalverteilung

Da der p-Wert des Kolmogorov-Smirnov-Tests sowie des Shapiro-Wilk-Tests für das Patientenalter und sämtliche Vitalparameter vor und nach dem Transport signifikant war ($p < 0,05$), wurde angenommen, dass Patientenalter und Vitalparameter keine Normalverteilung aufweisen. Für Transportdauer und Transportstrecke kann jedoch von einer Normalverteilung ausgegangen werden ($p > 0,05$).

3.2. Demographische Daten

Von den 1300 transportierten Patienten waren 708 männlich (54,5%) und 554 weiblich (42,6%). Bei 38 Patienten (2,9%) wurde kein Geschlecht dokumentiert. Das durchschnittliche Alter betrug 3,32 Jahre (Median= 2,02; IQR: 0,78-5,49). Das Alter der männlichen Patienten betrug im Durchschnitt 3,24 Jahre (Median= 1,93; IQR: 0,79-5,29) und war somit etwas geringer als bei den weiblichen Patienten 3,37 Jahre (Median= 2,03; IQR: 0,73-5,64). Allerdings war dieser Unterschied nicht signifikant ($p = 0,472$).

Die Auswertung ergab, dass Patienten im ersten Lebensjahr am häufigsten transportiert wurden ($n=391$; 30%), wohingegen die Häufigkeit der Transporte mit zunehmendem Alter abnahm.

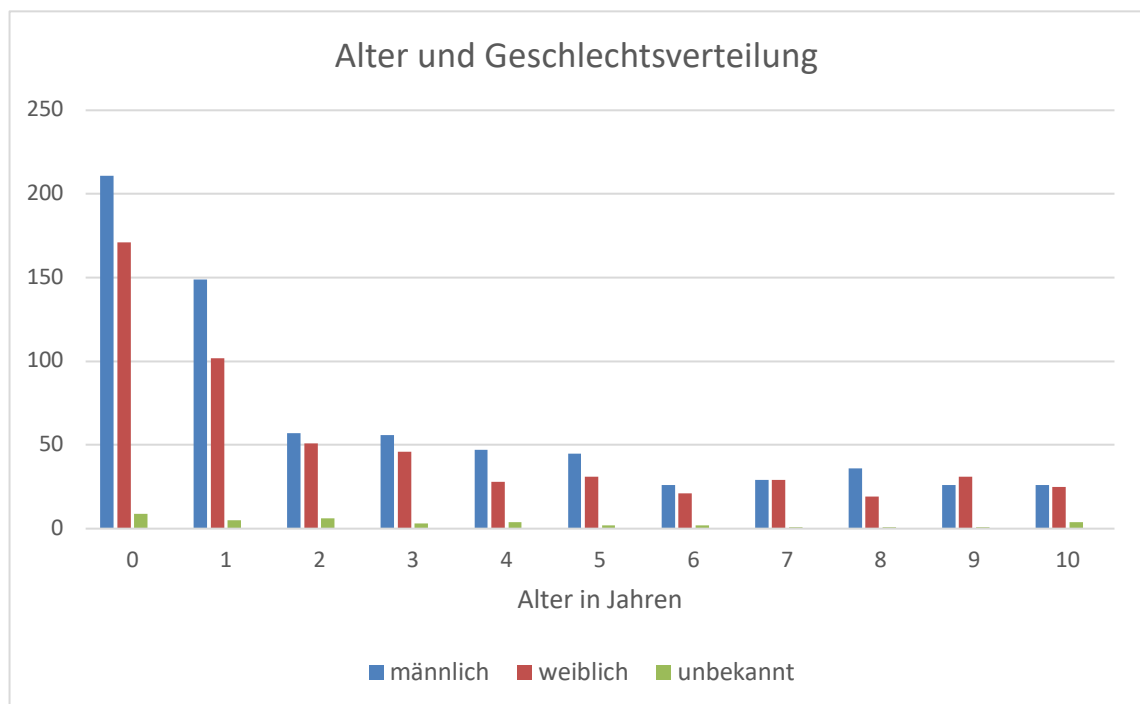


Abbildung 2: Alter und Geschlechtsverteilung der Patienten

3.3. Deutschlandweite Verteilung der Transporte und Transporthäufigkeit

Die Transporte verteilen sich auf alle 29 Hubschrauber der DRF Luftrettung in Deutschland. Die Stationen mit den meisten pädiatrischen Transporten waren München mit 141 Patienten (11%), Berlin mit 127 Patienten (10%), Hannover mit 126 Patienten (10%), sowie Bad Berka mit 98 Patienten (8%).

Die Anzahl der Transporte nahm seit 2015 stetig zu, lediglich 2016 wurde ein leichter Rückgang dokumentiert. So lag die Zahl der transportierten Patienten im Jahr 2015 bei 301, 2016 bei 298, 2017 bei 323 und im Jahr 2018 bei einem Höchstwert von 378 Patienten.

3.4. Erkrankung der Patienten

Die häufigsten Ursachen für einen Transport stellten Verletzungen und Vergiftungen mit 473 Transporten (36%) dar. Gefolgt von Erkrankungen des Atemsystems mit 264 Transporten (20%), Störungen des Kreislaufs mit 189 Flügen (15%), des Nervensystems mit 127 Patienten (10%) und des Verdauungssystems mit 52 Patienten (4%).

Betrachtet man die verschiedenen Altersgruppen, so zeigen sich große Unterschiede. Bei Neugeborenen standen vor allem Erkrankungen des Kreislaufsystems (50%) und des Atmungssystems (16%) im Vordergrund, wohingegen bei älteren Kindern Traumata häufiger wurden. Zwischen den Geschlechtern gab es nur geringe Abweichungen.

Patienten mit Traumafolgen waren bei den niedrigen NACA-Gruppen häufiger vertreten, während Patienten mit internistischen Erkrankungen meist schwerer erkrankt waren.

In Tabelle 6 wurden lediglich die fünf häufigsten Erkrankungen berücksichtigt. Eine genaue Verteilung aller Erkrankungen kann Tabelle 33 entnommen werden.

Tabelle 6: Aufschlüsselung der Häufigsten Erkrankungen die zum Transport führten (Zeilenprozent)

Gruppe	Traumata	Atmungs- system	Kreislauf- system	Nerven- system	Verdauungs- system
Gesamt	473 (36%)	264 (20%)	189 (15%)	127 (10%)	52 (4%)
Männlich	256 (36%)	132 (19%)	102 (14%)	72 (10%)	28 (4%)
Weiblich	202 (37%)	126 (23%)	82 (15%)	51 (9%)	22 (4%)
Geschlecht unbek.	15 (39%)	6 (16%)	5 (13%)	4 (11%)	2 (5%)
Neugeborene	7 (7%)	15 (16%)	47 (50%)	2 (2%)	5 (5%)
Säuglinge	68 (23%)	93 (31%)	58 (20%)	20 (7%)	21 (7%)
Kleinkinder	292 (35%)	115 (18%)	52 (8%)	70 (11%)	19 (3%)
Schulkinder	106 (40%)	41 (16%)	32 (12%)	35 (13%)	7 (3%)

Transport ohne Pädiater	462 (42%)	176 (16%)	141 (13%)	112 (10%)	41 (4%)
Transport mit Pädiater	11 (6%)	88 (43%)	48 (24%)	15 (7%)	11 (5%)
Flugzeit 0-30min	201 (47%)	56 (13%)	49 (11%)	35 (8%)	15 (4%)
Flugzeit 31-60min	222 (40%)	107 (19%)	84 (15%)	52 (9%)	21 (4%)
Flugzeit 61-90min	45 (23%)	62 (32%)	36 (19%)	16 (8%)	4 (2%)
Flugzeit 91-120min	5 (8%)	23 (34%)	10 (16%)	11 (17%)	5 (8%)
Flugzeit ≥120min	0 (0%)	16 (30%)	10 (19%)	13 (25%)	7 (14%)
NACA-Score 3	241 (62%)	35 (9%)	20 (5%)	32 (8%)	10 (3%)
NACA-Score 4	133 (31%)	91 (20%)	60 (14%)	58 (13%)	22 (5%)
NACA-Score 5	92 (21%)	134 (30%)	98 (22%)	33 (7%)	20 (5%)
NACA-Score 6	1 (5%)	4 (19%)	10 (48%)	2 (10%)	0 (0%)

3.5. Schwere der Erkrankung

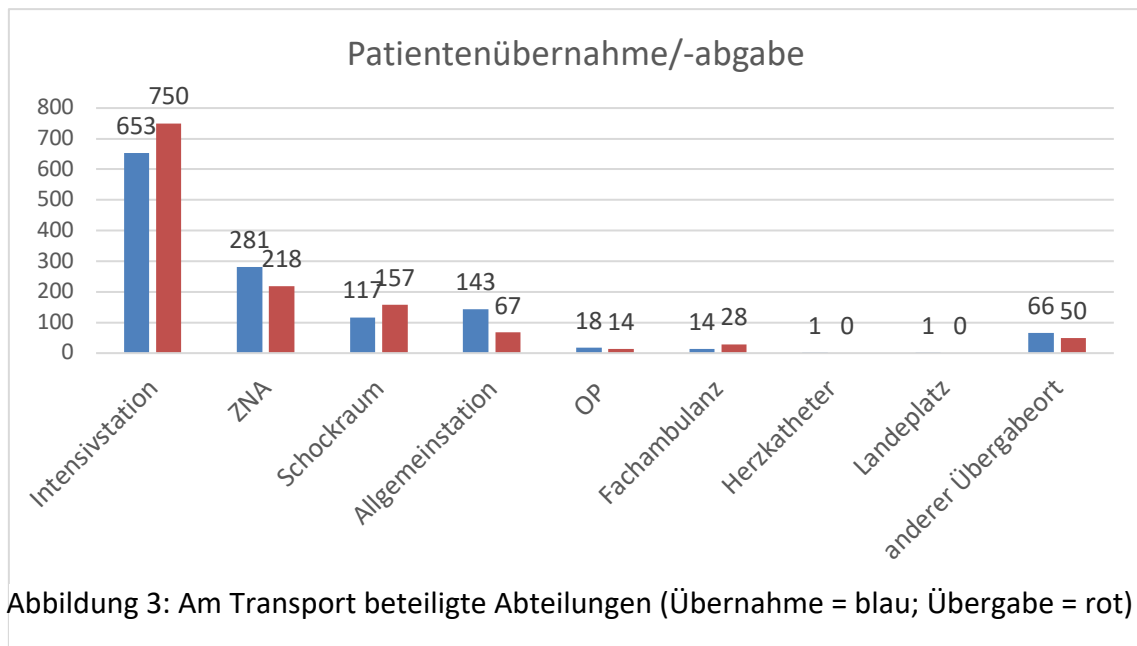
Der durchschnittliche NACA-Score betrug vier, ebenso der Median. Bei vielen Patienten wurde die Erkrankungsschwere mit einem NACA-Score von fünf bewertet (n=448; 34,5%). Die Punktwerte drei (n=386; 29,7%) und vier (n=435; 33,5%) wurden ebenfalls häufig vergeben. Einen NACA-Score von zwei und somit nur leicht erkrankt waren lediglich neun Patienten (0,7%). Reanimationsbedürftig waren 21 Patienten (1,6%), der Großteil von ihnen litt an einer Herz-Kreislauferkrankung (n=10; 48%). Nur ein Patient verstarb während des Fluges.

3.6. Verlegungsgrund und Abteilungen die am Transport beteiligt waren

Die Hauptverlegungsgründe stellten Operationen oder interventionelle Eingriffe dar (n=613; 47%). 511 Patienten (39%) wurden für eine Intensivtherapie, 118 Patienten (9%) zur weiteren Diagnostik in ein anderes Krankenhaus verlegt. Auf 56 Patienten traf keiner der oben genannten Verlegungsgründe zu. Bei 2 Patienten wurde der Verlegungsgrund nicht angegeben.

Das Transportteam übernahm die Hälfte der 653 Patienten (50%) von Intensivstationen. 398 Kinder (31%) wurden in der Notaufnahme abgeholt, von diesen Kindern befanden sich 117 Patienten während der Übernahme im Schockraum der Notaufnahme. Von einer Normalstation wurden 143 (11%) der Erkrankten verlegt. Bei 6 Patienten wurde keine abgebende Station dokumentiert. Im Zielkrankenhaus wurde der Großteil der Patienten auf eine Intensivstation gebracht (750, 58%). Rund ein Drittel der Patienten wurde in die Notaufnahme oder den Schockraum transportiert (375 Patienten; 29%).

Lediglich 67 (5%) Patienten wurden an die Allgemeinstation übergeben. Bei 16 Patienten wurde keine Zielstation gespeichert.



3.7. Das Transportteam

Die meisten Transporte erfolgten mit der standardmäßigen Helikopterbesatzung. In 203 Fällen (16%) begleitete jedoch zusätzlich zum Hubschraubernotarzt ein pädiatrisches Team die Verlegung. Besonders junge Patienten wurden von diesem pädiatrischen Team begleitet. Kinder unter einem Jahr machten dabei den größten Anteil aus (128 Patienten; 33%).

Tabelle 7: Begleitung der Transporte ohne oder mit einem zusätzlichen pädiatrischen Team nach Alter in Jahren

Alter in Jahren	ohne Pädiater	Zeilenprozent ohne Pädiater	mit Pädiater	Zeilenprozent mit Pädiater
0	263	67,3%	128	32,7%
1	230	89,8%	26	10,2%
2	101	88,6%	13	11,4%
3	96	91,4%	9	8,6%
4	77	97,5%	2	2,5%
5	75	96,2%	3	3,8%
6	46	93,9%	3	6,1%
7	51	86,4%	8	13,6%

8	51	91,1%	5	8,9%
9	53	91,4%	5	8,6%
10	54	98,2%	1	1,8%

Hinsichtlich der Erkrankungsart begleiteten pädiatrische Teams vor allem internistische Patienten (94%). Die häufigste Diagnose war dabei mit 88 Patienten eine Erkrankung der Atmungsorgane. Diese machten insgesamt 43% aller Transporte aus, die in Begleitung eines Pädiaters erfolgten. Auch Patienten mit Erkrankungen des Kreislaufsystems (n=48; 24%), sowie Erkrankungen des Nervensystems (n=15; 4%) und Erkrankungen des Verdauungssystems (n=11; 5%) wurden häufig in Beisein eines pädiatrischen Teams durchgeführt. Der Transport aufgrund eines Traumas machte nur 6% dieser zusätzlich begleiteten Einsätze aus.

Unterscheidet man die Patienten aufgrund der Schwere ihrer Grunderkrankungen, so zeigt sich, dass Patienten mit einem höheren NACA-Score häufiger durch Pädiater begleitet wurden. Den größten Teil machte hierbei die Patientengruppe mit einem NACA-Score von 5 (Akute Lebensgefahr, Transport in Reanimationsbereitschaft) aus. Diesen Score-Wert wiesen 61% der zu verlegenden Erkrankten auf.

3.8. Flugdaten

3.8.1. Startzeiten und Wochentage

Die meisten Transporte wurden zwischen 9:00 Uhr und 15:00 Uhr begonnen. Zum Abend hin nahm die Anzahl der Einsätze pro Stunde kontinuierlich ab und erreichte gegen 6:00 Uhr ihren Tiefstwert.

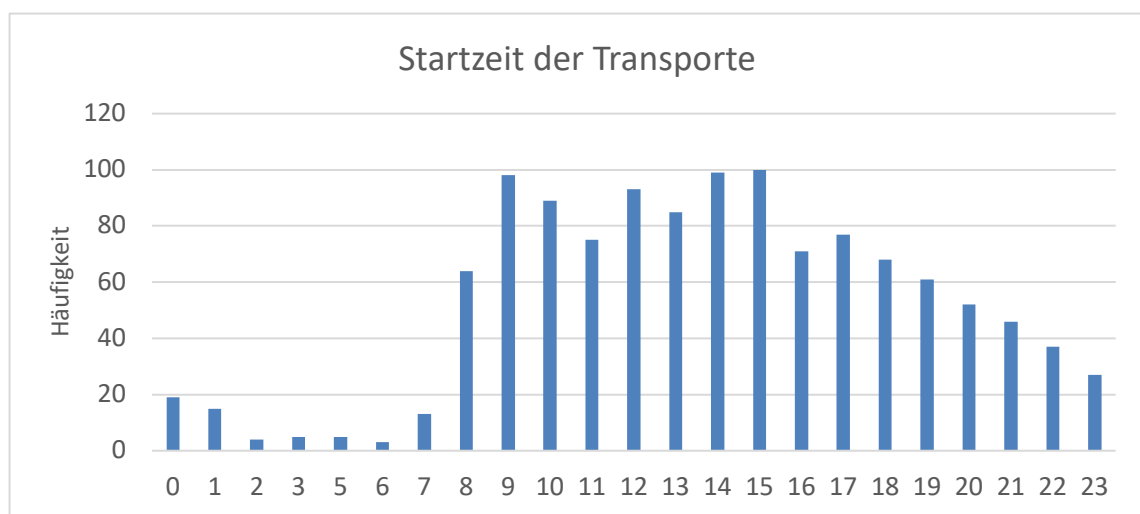


Abbildung 4: Startzeiten der Transporte

Im Vergleich der Wochentage gibt es kaum Unterschiede, an Mittwochen wurden die meisten Transporte durchgeführt (n=201). Der Wochentag Sonntag wies mit durchschnittlich 157 Einsätzen das insgesamt geringste Einsatzaufkommen pro Woche auf.

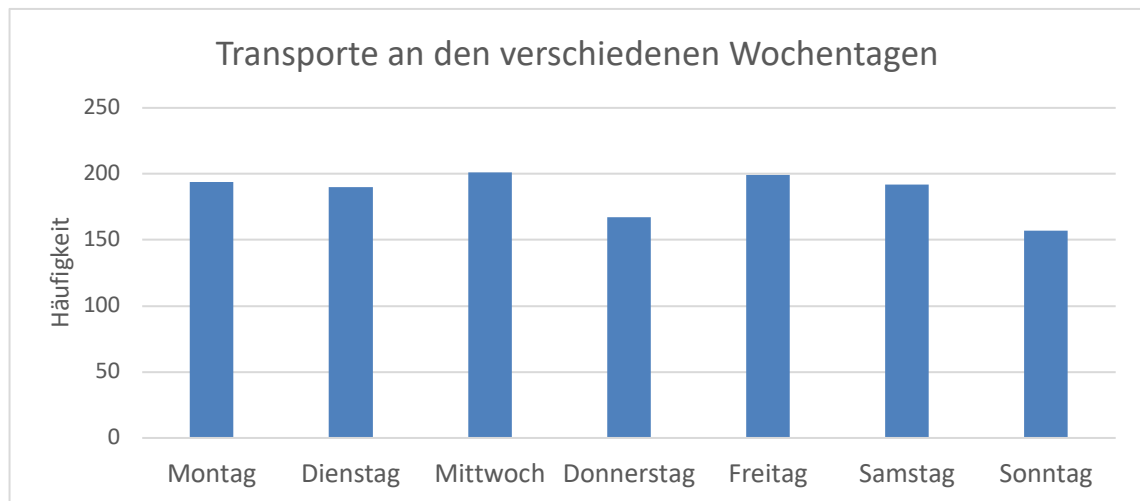


Abbildung 5: Anzahl der der Transporte pro Wochentag

3.8.2. Verlegungsdringlichkeit

Für die meisten Patienten wurde ein Transport innerhalb von zwei Stunden nach Anmeldung angefordert (583 Patienten; 45%). Patienten, die dringend innerhalb der nächsten 30 Minuten transportiert werden mussten, waren am zweithäufigsten (490 Patienten; 38%). Die Zusammenhänge zwischen der Dringlichkeit der Verlegung und dem Verlegungsgrund sind aus Tabelle 8 ersichtlich. Für eine Intensivtherapie oder OP/Intervention wurden häufig zeitnahe Transporte angefordert. Verlegungen, die unter dem Punkt „Sonstiges“ dokumentiert wurden, waren hingegen meist weniger dringlich. Bei zwei Patienten wurde keine Dringlichkeit dokumentiert.

Tabelle 8: Verlegungsdringlichkeit aufgrund verschiedener Verlegungsgründe (Relativ)

Dringlichkeit	Diagnostik	Intensivtherapie	OP/Intervention	Sonstiges
<30 Minuten	38 (8%)	179 (37%)	266 (54%)	7 (1%)
<2 Stunden	55 (9%)	249 (43%)	269 (46%)	10 (2%)
Tagesverlauf	21 (12%)	67 (38%)	67 (38%)	21 (12%)
Am Folgetag	4 (8%)	16 (33%)	11 (22%)	18 (37%)

3.8.3. Zeiten bis zum Transport

Im Mittel vergingen 44 Minuten zwischen Anmeldung des Transportes und dem Transportbeginn. Wenn zusätzlich die Begleitung eines Pädaters gefordert wurde, dauerte der Transportbeginn länger (Mittel: 35 Minuten vs. 88 Minuten, $p=0,002$). Auch die Dauer bis zum Eintreffen des Teams am Verlegungsort des Patienten, wurde durch die Mitnahme eines Pädaters verlängert. (Mittel: 31 Minuten vs. 52 Minute, $p\leq 0,0001$). Damit einhergehend nahm die Versorgungszeit vor Transportbeginn zu ($p\leq 0,0001$).

Tabelle 9: Vorlaufzeiten des Transportes bei unterschiedlichen Teams

Zeit	Gesamt		Ohne Pädater		Mit Pädater	
	Mittel	SD	Mittel	SD	Mittel	SD
Mobilisierungszeit	00:44	02:44	00:35	02:26	01:28	03:56
Start bis Ankunft am Patienten	00:34	00:27	00:31	00:18	00:52	00:48
Versorgungszeit	00:33	00:25	00:29	00:21	00:53	00:36

3.9. Transportdauer und Distanz

3.9.1. Subgruppenanalyse

Die durchschnittliche Dauer eines Transportes betrug 48 Minuten (Range: 5min-220min; SD=32min), dabei wurden im Schnitt 104 Kilometer (Range: 2km-590km; SD=88km) zurückgelegt. Zwischen der Verlegungszeit der Patienten konnte kein geschlechtsspezifischer Unterschied (männlich vs. weiblich) festgestellt werden (48,42min vs. 49,16min; $p=0,690$) (104km vs. 102km; $p=0,164$).

Patienten in ihrem ersten Lebensjahr wurden mit knapp einer Stunde Transportzeit am längsten und mit 124 km Transportstrecke am weitesten transportiert. Bei den älteren Patienten schwankten sowohl Transportstrecke als auch Transportzeit.

Tabelle 10: Transportdauer und Transportstrecke in Abhängigkeit des Patientenalters

Alter in Jahren	Transportdauer in Minuten		Transportstrecke in Kilometer	
	Mittel	SD	Mittel	SD
0	56	36	124	97
1	47	28	96	77
2	45	37	94	96
3	47	30	91	70
4	48	32	108	92
5	42	25	85	73

6	44	26	96	77
7	50	37	117	74
8	40	19	85	53
9	45	30	91	88
10	42	26	88	79

Mit zunehmender Erkrankungsschwere, gemessen am NACA-Score, steigt sowohl der Median der Transportdauer als auch der Transportstrecke. Patienten, die während oder nach einem Herz-Kreislaufstillstand (NACA-Score 6) transportiert wurden, wurden im Durchschnitt zwar länger transportiert, die währenddessen zurückgelegte Transportstrecke war allerdings im Vergleich zu den NACA-Stufen vier und fünf deutlich geringer.

Tabelle 11: Transportdauer und Transportstrecke in Abhängigkeit des NACA-Scores

NACA-Score	Transportdauer in Minuten		Transportstrecke in Kilometern	
	Mitte	SD	Mittel	SD
2	29	21	70	56
3	43	28	99	82
4	51	35	110	96
5	52	33	104	86
6	53	25	79	83

Bei Transporten, die zusätzlich von einem Kinderarzt begleitet wurden, war sowohl die mittlere Transportdauer (45min vs. 65min, $p \leq 0,0001$), als auch die Transportstrecke (96km vs. 146km, $p \leq 0,0001$) signifikant höher als bei Transporten ohne zusätzlichen Kinderarzt.

Tabelle 12: Transportdauer und Transportstrecke in Abhängigkeit des Transportteams

Transportteam	Transportdauer in Minuten		Transportstrecke in Kilometern	
	Mittel	SD	Mittel	SD
Ohne Pädiater	45	30	96	84
Mit Pädiater	65	38	146	100

Die Transportstrecke und Transportdauer war bei Traumapatienten niedriger als bei Patienten mit internistischen Erkrankungen (29min vs. 44min $p \leq 0,0001$; 75km vs. 121km $p \leq 0,0001$). Unter den internistischen Erkrankungen wurden Patienten mit Erkrankungen des Kreislaufsystems am kürzesten und Patienten mit Erkrankungen des Verdauungssystems am weitesten transportiert.

Tabelle 13: Transportdauer und Transportstrecke in Abhängigkeit der Grunderkrankung der Patienten

Grunderkrankung	Transportdauer in Minuten		Transportstrecke in Kilometer	
	Mittel	SD	Mittel	SD
Nervensystem	58	45	130	124
Kreislaufsystem	54	34	114	92
Atmungssystem	60	36	128	100
Verdauungssystem	59	44	139	121
Verletzung/ Vergiftung	37	18	75	46

3.9.2. Regressionsanalyse Transportzeit

Mit Hilfe einer Regressionsanalyse wurde untersucht, wie sich verschiedene Einflussfaktoren auf die Transportzeit auswirken. Als unabhängige Einflussvariablen wurden die Dringlichkeit des Transportes, das Alter des Patienten, der NACA-Score des Patienten, chirurgische oder internistische Grunderkrankung, der Interventions-Score, der Vitalparameterscore vor dem Transport und die Zusammensetzung des Transportteams in das Modell aufgenommen. Aufgrund von Signifikanzwerten von $p > 0,1$ wurden das Alter und die Zusammensetzung des Transportteams aus dem ursprünglichen Modell ausgeschlossen. Bei Ausschluss weiterer Variablen trotz p -Werten $> 0,1$ hätte das korrigierte R^2 wieder abgenommen. Für die Berechnung des Modells wurden alle Patienten berücksichtigt, bei denen alle benötigten Variablen dokumentiert wurden ($n=610$). Das endgültige Modell ist in Tabelle 14 beschrieben.

Tabelle 14: Einflüsse auf die Transportzeit

Variable	Unstandardisiert	Standardisiert	Standardfehler
Konstante	0,780		3,982
NACA-Score	1,196	0,034	0,787
Flugdistanz	0,260***	0,806	0,007
Grunderkrankung	-2,626*	-0,045	1,245
Dringlichkeit	3,869***	0,109	0,800
Interventions-Score	0,128	0,036	0,088

Vitalparameterscore vor Transport	-0,303	-0,028	0,266
R ²	0,778		
Korr. R ²	0,776		
F (df=6; 610)	352,3***		

*p<0,05; ***p<0,001

Die Transportzeit wird dabei signifikant von der Dringlichkeit des Transportes ($p<0,0001$), der Art der Grunderkrankung ($p=0,035$) und der Flugdistanz ($p<0,0001$) beeinflusst. Musste ein Patient besonders dringend transportiert werden, so verringerte sich die Transportzeit. Die Transportzeit war ebenfalls geringer, wenn Patienten mit einer chirurgischen Grunderkrankung transportiert wurden. Mit steigender Flugdistanz nahm selbstverständlich auch die Transportzeit zu, im Durchschnitt um 0,26 Minuten pro geflogenen Kilometer.

Die anderen Variablen beeinflussten die Transportdauer nicht. Es ist jedoch zu erkennen, dass mit steigendem NACA-Score sowie mit einem steigenden Interventions-Score auch die Transportstrecke ansteigt.

3.10. Maßnahmen

Die erste Gruppe von Maßnahmen diente der Etablierung oder dem Erhalt einer ausreichenden Ventilation und somit einer suffizienten Sauerstoffversorgung. Maßnahmen dieser Gruppe machten ca. 29% aller Maßnahmen aus. Nach der Sauerstoffgabe ($n=405$) und der maschinellen Beatmung ($n=403$) war die Intubation ($n=333$) die häufigste Intervention zum Erhalt der Sauerstoffversorgung der Patienten. Sauerstoffgabe und maschinelle Beatmung wurden in den meisten Fällen durch das abgebende Krankenhaus begonnen und vom Transportteam fortgesetzt. Auch die Intubation wurde meistens bereits in der Klinik durchgeführt.

Die häufigste diagnostische Maßnahme, das EKG ($n=924$), wurde meistens von Klinik und Transportteam durchgeführt. Die zweithäufigste Intervention, die Blutgasanalyse, wurde in der Regel im Krankenhaus durchgeführt.

Bei den Gefäßpunktionen wurde meistens eine periphere Venenverweilkanüle verwendet ($n=1063$). Sämtliche Arten von Punktionen wurden hauptsächlich durch das Krankenhaus durchgeführt. Insgesamt waren die Gefäßpunktionen die häufigste Maßnahme. Etwa ein Fünftel der Patienten benötigte während des Transportes Medikamente, welche über einen Perfusor appliziert wurden. Der Großteil der Patienten war bereits vor der Verlegung auf eine kontinuierliche Medikamentengabe

angewiesen (vgl. Tabelle 16). Allerdings wurde bei 87 Patienten (36%) der Perfusor erst vom Transportteam gestartet.

Die immobilisierenden Maßnahmen wurden häufig ebenfalls bereits durch das abgebende Krankenhaus durchgeführt. Nur die Vakuummatratze wurde hauptsächlich vom Transportteam verwendet.

Sonstige Maßnahmen wie Magensonde, Urinkatheter, aktive Kühlung oder Wärmedecke wurden ebenfalls zu großen Teilen bereits in der Klinik begonnen.

Die nachfolgende Tabelle stellt dar, welche Maßnahmen von wem vorgenommen wurden.

Tabelle 15: Maßnahmen am Patienten vor und während der Transporte

Maßnahme	Anzahl insg.	Durch KH	Durch Transportteam	KH und Transportteam
Sauerstoffgabe	405	70 (17%)	33 (8%)	302 (75%)
Freimachen d. Atemwege	31	26 (84%)	4 (13%)	1 (3%)
Endotracheales Absaugen	32	27 (91%)	2 (6%)	3 (9%)
Tracheotomie	47	47 (100%)	0	0
Intubation	333	302 (91%)	31 (9%)	0
Larynxmaske	2	2 (100%)	0	0
Larynxtubus	1	1 (100%)	0	0
Thoraxdrainage	15	14 (93%)	1 (7%)	0
Masch. Beatmung	403	0	6 (1%)	397 (99%)
EKG	924	46 (5%)	74 (8%)	804 (87%)
12-Kanal-EKG	6	2 (33%)	0	4 (67%)
Sonographie	33	30 (91%)	1 (3%)	2 (6%)
BGA	141	133 (94%)	3 (2%)	5 (4%)
Peripherer Zugang	1063	858 (81%)	24 (2%)	181 (17%)
Intraossärer Zugang	30	22 (73%)	6 (20%)	2 (7%)
ZVK	242	211 (87%)	1 (0%)	30 (12%)
Sheldon-Katheter	5	3 (60%)	1 (20%)	1 (20%)
Arterielle Punktion	125	118 (94%)	4 (3%)	3 (2%)
Perikardpunktion	1	1 (100%)	0	0
Perfusor	244	46 (19%)	87 (36%)	111 (45%)

Stiffneck	39	26 (67%)	6 (15%)	7 (18%)
Vakuummatratze	17	4 (24%)	12 (71%)	1 (6%)
Spineboard	3	3 (100%)	0	0
Verband	68	64 (94%)	0	4 (6%)
Schienung	20	16 (80%)	3 (15%)	1 (5%)
Reposition	5	4 (80%)	1 (20%)	0
Magensonde	58	42 (72%)	0	16 (28%)
Urinkatheter	42	34 (81%)	0	8 (9%)
Aktive Kühlung	6	5 (83%)	1 (17%)	0
Wärmedecke	44	7 (16%)	13 (30%)	24 (55%)
Summe	4385	2164 (49%)	314 (7%)	1907 (43%)

3.10.1. Medikamentengabe

Während der Transporte wurden häufig Analgetika und Sedativa eingesetzt. Bei den Analgetika machten die Opioide (86%) den größten Anteil aus. Neben Propofol und Katecholaminen wurden auch Muskelrelaxantien oft eingesetzt (vgl. Tabelle 16).

Die meisten Medikamente wurden sowohl durch das abgebende Krankenhaus als auch durch das Transportteam verabreicht (n=823; 49%; s. Tab. 16). Medikamente, welche hauptsächlich im Krankenhaus verwendet wurden, waren: Nicht-Opioid-Analgetika, Antihistaminika, Diuretika, Kortikosteroide und pH-Puffer. Antiemetika hingegen wurden häufig während des Transportes verabreicht.

Tabelle 16: Medikamentengabe vor und während des Transportes

Medikamente	Anzahl insg.	Durch KH vorbehandelt	Durch Transportteam	KH und Notarzt
Opioide	426	100 (24%)	100 (24%)	226 (53%)
Sonstige Analgetika	67	52 (78%)	10 (15%)	5 (8%)
Antiarrhythmika	15	5 (33%)	3 (20%)	7 (48%)
Antidote	3	2 (67%)	1 (33%)	0
Antiemetika	52	8 (15%)	42 (81%)	2 (4%)
Antiepileptika	23	10 (44%)	6 (26%)	7 (30%)
Antihistaminika	7	6 (86%)	1 (14%)	0
Anthypertensiva	16	4 (25%)	3 (19%)	9 (56%)
Antikoagulation	27	10 (37%)	1 (4%)	16 (59%)
Bronchodilatoren	23	12 (52%)	6 (26%)	5 (22%)
Diuretika	11	10 (91%)	0	1 (9%)

Gerinnungsfördernde Präparate	6	2 (33%)	3 (50)	1 (17%)
Katecholamine	151	27 (18%)	22 (15%)	102 (68%)
Kortikosteroide	25	16 (64%)	6 (24%)	3 (12%)
Muskelrelaxantien	110	21 (19%)	46 (42%)	43 (39%)
Propofol	210	30 (14%)	53 (25%)	127 (61%)
Ketamin	53	12 (23%)	15 (28%)	26 (49%)
Sedativa	394	81 (21%)	101 (26%)	212 (54%)
Thrombolytikum	2	0	0	2 (100%)
Vasodilatoren	6	2 (33%)	2 (33%)	2 (33%)
Blutzuckermedikamente	34	4 (12%)	4 (12%)	26 (77%)
pH Puffer	12	7 (58%)	4 (33%)	1 (8%)
Summe	1673	421 (25%)	427 (26%)	823 9%)

3.10.2. Interventions-Score

Im Mittel wurde bei den Patienten ein Interventions-Score von 6,46 Punkten erreicht. Der Interventions-Score war bei jüngeren Patienten höher als bei älteren Patienten. Begleitete ein Pädiateer den Transport, so wurden durchschnittlich mehr Interventionen durchgeführt (5,53 Punkte vs. 11,55 Punkte, $p \leq 0,0001$). Mit steigender Flugzeit nahm der Interventions-Score bis zu einer Transportzeit von 90 Minuten zu. Dauerten die Flüge länger als 90 Minuten so nahm der Mittelwert des Interventions-Scores mit zunehmender Dauer wieder ab. Bei Patienten mit einer Erkrankung des Atemsystems (10,33 Punkte) oder des Kreislaufsystems (8,11 Punkte) wurden die meisten Maßnahmen durchgeführt. Patienten mit einer Erkrankung des Verdauungssystems (3,73 Punkte) oder mit Verletzungen (4,16 Punkte) erreichten die niedrigsten Punktwerte im Interventions-Score. Mit zunehmender Schwere der Erkrankung oder Verletzung wurden mehr Maßnahmen durchgeführt. Patienten mit einem NACA-Score von 6 (19,00 Punkte) erreichten im Schnitt mehr als sechsmal mehr Punkte als Patienten mit einem NACA-Score von drei (2,79 Punkte).

Tabelle 17: Interventions-Score insgesamt (Interventionen durch KH und Transportteam).

Gruppe	Anzahl Transporte	Score Mittelwert	Score Minimum	Score Maximum
Gesamt	1300	6,46	0	31
Männlich	708	6,50	0	27
Weiblich	554	6,47	0	31
Geschlecht unbek.	38	5,63	0	23

Neugeborene	94	8,86	0	26
Säuglinge	298	7,37	0	31
Kleinkinder	640	6,01	0	28
Schulkinder	268	5,69	0	26
Ohne Pädiater	1097	5,53	0	27
Mit Pädiater	203	11,55	0	31
Flugzeit 0-30min	656	5,60	0	31
Flugzeit 31-60min	450	6,81	0	28
Flugzeit 61-90min	115	9,07	0	26
Flugzeit 91-120min	42	8,16	0	25
Flugzeit ≥120min	37	7,51	1	25
G00-G99	127	6,60	0	25
Nervensystem				
I00-I99	189	8,11	0	26
Kreislaufsystem				
J00-J99	264	10,33	0	31
Atmungssystem				
K00-K93	52	3,73	0	24
Verdauungssystem				
S00-T98	473	4,16	0	26
Verletzung/Vergiftung				
NACA-Score 3	386	2,79	0	24
NACA-Score 4	435	5,14	0	26
NACA-Score 5	448	10,46	0	31
NACA-Score 6	21	19,00	8	27

Vergleicht man die Scores des abgebenden Krankenhauses und des Transportteams, so ergibt sich ein signifikant höherer Score für das abgebende Krankenhaus ($p \leq 0,0001$).

Tabelle 18: Interventions-Score der Maßnahmen der Klinik oder Transportteam

Gruppe	Anzahl Transporte	Score Mittelwert	Score Minimum	Score Maximum
Klinik	1300	4,24	0	19
Transportteam	1300	2,22	0	12

Betrachtet man ausschließlich Interventionen, welche durch das Transportteam durchgeführt wurden, so ergeben sich signifikant höhere Mittelwerte des Interventions-Scores durch das pädiatrische Transportteam ($p \leq 0,0001$).

Tabelle 19: Interventions-Score der Maßnahmen der standardmäßigen Hubschrauberbesetzung vs. pädiatrische Begleitung.

Gruppe	Anzahl Transporte	Score Mittelwert	Score Minimum	Score Maximum
Gesamt	1300	2,22	0	12
Mit Pädiater	203	3,98	0	12
Ohne Pädiater	1097	1,90	0	12

3.10.2.1. Regressionsanalyse Interventions-Score

Um einen Zusammenhang zwischen einzelnen Transportfaktoren und der Höhe des Interventions-Scores zu finden, wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt. Als unabhängige Variablen wurde im initialen Modell der Vitalparameterscore vor dem Transport, die Versorgungszeit des Transportteams am abgebenden Krankenhaus, das Alter der Patienten, die Flugdistanz, der NACA-Score sowie das Transportteam berücksichtigt. Aufgrund von Signifikanzwerten von $p > 0,1$ wurden das Alter und die Flugdistanz aus dem ursprünglichen Modell ausgeschlossen. Für die Berechnung des Modells wurden alle Patienten berücksichtigt, bei denen alle benötigten Variablen dokumentiert wurden ($n=649$). Das endgültige Modell ist in Tabelle 20 beschrieben.

Tabelle 20: Einflüsse auf den Interventions-Score

Variable	Unstandardisiert	Standardisiert	Standardfehler
Konstante	-5,545		1,480
NACA-Score	1,489***	0,151	0,308
Pädiater	1,605*	0,077	0,630
Versorgungszeit	0,86***	0,304	0,009
Vitalparameterscore vor dem Transport	1,242***	0,407	0,098
R^2	0,482		
Korr. R^2			
F (df=4; 649)	0,472		
	149,772***		

* $p < 0,05$; *** $p < 0,001$

Der NACA-Score hatte einen signifikanten Einfluss auf die Höhe des Interventions-Scores ($p < 0,0001$), ebenso wie die Zusammensetzung des Transportteams ($p = 0,011$), die Versorgungszeit der Patienten ($p < 0,0001$) und der Vitalparameterscore vor dem Transport ($p < 0,0001$). Transportiert ein Kinderarzt den Patienten, so wirkt sich das mit

einem steigenden Score aus. Mit steigender Versorgungszeit nahm der Interventions-Score im Durchschnitt 0,85 Punkte pro Minute zu.

3.11. Vitalparameter

3.11.1. Sauerstoffsättigung

Die Sauerstoffsättigung wurde bei 1242 Transporten zu beiden Zeitpunkten (Übernahme und Übergabe des Patienten) dokumentiert. Sie betrug vor dem Transport im Durchschnitt 95,87% und stieg während des Transportes statistisch signifikant, aber klinisch nicht relevant, auf 96,46% an ($p \leq 0,001$). Auch bei Betrachtung einzelner Untergruppen konnte stets eine Verbesserung der Sättigung während des Transportes gemessen werden.

Bei männlichen Patienten lag die Sauerstoffsättigung im Durchschnitt etwas höher als bei weiblichen Patienten (vgl. Tabelle 21). Patienten im Kleinkindalter zeigten die höchste und Neugeborene die niedrigste Sauerstoffsättigung. Die Sättigung war bei Patienten, die ohne zusätzlichen Kinderarzt transportiert wurden im Durchschnitt etwas höher als bei Patienten mit Kinderarzt. Erkrankungen der Atemwege führten neben Erkrankungen des Kreislaufsystems zu den niedrigsten Messwerten vor und nach dem Transport. Patienten mit Trauma hatten jeweils die höchste Sauerstoffsättigung.

Tabelle 21: Sauerstoffsättigung vor und nach dem Transport

Gruppe	Anzahl	SpO ₂ in % vor Tr. Mittel (±SD)	SpO ₂ in % nach Tr. Mittel (±SD)	p-Wert
Gesamt	1242	95,87 (±3,974)	96,46 (±3,088)	$p \leq 0,0001$
Männlich	680	96,06 (±3,880)	96,60 (±3,055)	$p \leq 0,0001$
Weiblich	527	95,63 (±4,146)	96,30 (±3,158)	$p \leq 0,0001$
Unbekannt	35	95,79 (±2,868)	96,41 (±2,545)	$p = 0,046$
Neugeborene	88	93,81 (±5,336)	95,38 (±3,885)	$p \leq 0,0001$
Säuglinge	289	95,48 (±4,581)	95,80 (±4,208)	$p = 0,003$
Kleinkinder	600	96,33 (±3,282)	96,80 (±2,411)	$p \leq 0,0001$
Schulkinder	265	95,95 (±3,911)	96,80 (±2,444)	$p \leq 0,0001$
Ohne Pädiater	1042	96,16 (±3,666)	96,77 (±2,607)	$p \leq 0,0001$
Mit Pädiater	200	94,34 (±5,037)	94,85 (±4,559)	$p = 0,003$
Flugzeit 0-30min	404	96,43 (±3,318)	96,91 (±2,403)	$p \leq 0,0001$
Flugzeit 31-60min	536	95,66 (±3,412)	96,27 (±3,613)	$p \leq 0,0001$
Flugzeit 61-90min	188	95,07 (±4,588)	96,04 (±3,720)	$p \leq 0,0001$
Flugzeit 91-120min	63	95,68 (±3,767)	95,99 (±3,528)	$p = 0,258$

Flugzeit ≥ 120 min	51	95,24 ($\pm 4,420$)	95,82 ($\pm 3,950$)	p=0,166
G00-G99	125	96,97 ($\pm 2,187$)	97,33 ($\pm 1,161$)	p=0,112
Nervensystem				
I00-I99	183	94,42 ($\pm 5,581$)	95,14 ($\pm 5,033$)	p $\leq 0,0001$
Kreislaufsystem				
J00-J99	257	94,16 ($\pm 4,988$)	95,54 ($\pm 3,706$)	p $\leq 0,0001$
Atmungssystem				
K00-K93	48	96,39 ($\pm 2,888$)	97,16 ($\pm 1,345$)	p=0,026
Verdauungssystem				
S00-T98	444	97,14 ($\pm 1,746$)	97,32 ($\pm 1,050$)	p=0,004
Verletzung/Vergiftung				
NACA-Score 3	354	96,97 ($\pm 1,952$)	97,10 ($\pm 1,720$)	p=0,047
NACA-Score 4	423	96,20 ($\pm 3,749$)	96,72 ($\pm 2,773$)	p $\leq 0,0001$
NACA-Score 5	439	94,76 ($\pm 4,850$)	95,83 ($\pm 3,816$)	p $\leq 0,0001$
NACA-Score 6	20	93,55 ($\pm 6,718$)	93,88 ($\pm 5,898$)	p=0,833

3.11.2. Atemfrequenz

Die Atemfrequenz wurde während 1074 Transporten im elektronischen Transportprotokoll dokumentiert und betrug vor dem Transport im Mittel 24,5 Atemzüge pro Minute. Während des Transportes sank der Mittelwert auf 24,3 Atemzüge pro Minute (p=0,012). In den einzelnen Untergruppen konnten ebenfalls eine Abnahme der Atemfrequenz beobachtet werden. Lediglich bei Schulkindern, einer Flugzeit zwischen 91 und 120 Minuten, sowie Erkrankungen des Kreislaufsystems konnte über den Transport keine Veränderung festgestellt werden.

Mit zunehmendem Alter nahm sowohl die Atemfrequenz vor als auch nach dem Transport ab (ausgenommen Säuglinge). Bei Patienten, die von einem Pädiater begleitet wurden, war die Atemfrequenz aufgrund der jüngeren Patienten im Durchschnitt deutlich höher (23,6/min bei unbegleiteten Patienten vs. 29,1/min bei von einem Pädiater begleiteten Patienten). Insgesamt zeigten Säuglinge die höchste Atemfrequenz.

Tabelle 22: Atemfrequenz vor und nach dem Transport

Gruppe	Anzahl	Atemfrequenz /min vor Tr. Mittel ($\pm$ SD)	Atemfrequenz /min nach Tr. Mittel ($\pm$ SD)	p-Wert
Gesamt	1074	24,47 ($\pm 7,629$)	24,30 ($\pm 7,536$)	p=0,012
Männlich	589	24,36 ($\pm 7,634$)	24,30 ($\pm 7,550$)	p=0,521
Weiblich	456	24,83 ($\pm 7,636$)	24,52 ($\pm 7,521$)	p=0,008
Unbekannt	29	21,21 ($\pm 6,769$)	20,86 ($\pm 6,823$)	p=0,317

Neugeborene	77	23,60 ($\pm 9,358$)	23,47 ($\pm 9,267$)	p=0,317
Säuglinge	241	29,25 ($\pm 7,717$)	29,04 ($\pm 6,663$)	p=0,096
Kleinkinder	523	24,31 ($\pm 7,056$)	24,07 ($\pm 7,015$)	p=0,023
Schulkinder	233	20,19 ($\pm 6,438$)	20,19 ($\pm 6,234$)	p=1,0
Ohne Pädiater	898	23,58 ($\pm 7,416$)	23,39 ($\pm 7,294$)	p=0,023
Mit Pädiater	176	29,05 ($\pm 7,060$)	28,93 ($\pm 7,043$)	p=0,157
Flugzeit 0-30min	358	22,89 ($\pm 7,466$)	22,65 ($\pm 7,336$)	p=0,056
Flugzeit 31-60min	452	24,52 ($\pm 7,551$)	24,32 ($\pm 7,401$)	p=0,050
Flugzeit 61-90min	165	27,13 ($\pm 7,328$)	26,95 ($\pm 7,253$)	p=0,366
Flugzeit 91-120min	54	26,34 ($\pm 7,901$)	26,34 ($\pm 7,901$)	p=1,0
Flugzeit ≥ 120 min	45	24,39 ($\pm 7,671$)	24,83 ($\pm 7,984$)	p=0,157
G00-G99	103	22,57 ($\pm 7,066$)	22,86 ($\pm 7,363$)	p=0,180
Nervensystem				
I00-I99	156	24,10 ($\pm 8,062$)	24,10 ($\pm 7,970$)	p=1,0
Kreislaufsystem				
J00-J99	234	28,57 ($\pm 7,275$)	28,18 ($\pm 7,189$)	p=0,020
Atmungssystem				
K00-K93	39	28,33 ($\pm 7,009$)	28,08 ($\pm 6,941$)	p=0,317
Verdauungssystem				
S00-T98	386	22,17 ($\pm 6,633$)	21,92 ($\pm 6,520$)	p=0,027
Verletzung/Vergiftung				
NACA-Score 3	297	22,56 ($\pm 7,084$)	22,36 ($\pm 7,083$)	p=0,058
NACA-Score 4	357	22,39 ($\pm 7,436$)	23,19 ($\pm 7,257$)	p=0,071
NACA-Score 5	394	27,02 ($\pm 7,500$)	26,87 ($\pm 7,334$)	p=0,239
NACA-Score 6	19	24,47 ($\pm 8,481$)	25,00 ($\pm 8,819$)	p=0,317

3.11.3. Blutdruck

3.11.3.1. Systolischer Blutdruck

Der systolische Blutdruck wurde bei 842 Transporten festgehalten und nahm während des Transportes im Durchschnitt von 105,64mmHg auf 106,24mmHg zu ($p=0,117$). Insgesamt konnte in fast allen Untergruppen eine Zunahme des systolischen Blutdrucks gemessen werden. Ein signifikanter Anstieg des Blutdrucks zeigte sich in der Gruppe der Patienten mit einem NACA-Score von fünf ($p=0,005$) und bei Säuglingen ($p=0,009$).

Bei Patienten mit einer Flugzeit von unter 30 Minuten war der Blutdruck nach dem Transport etwas niedriger (vgl. Tabelle 23).

Tabelle 23: Systolischer Blutdruck vor und nach dem Transport

Gruppe	Anzahl	Blutdruck in mmHg vor Tr. Mittel ($\pm$ SD)	Blutdruck in mmHg nach Tr. Mittel ($\pm$ SD)	p-Wert
Gesamt	842	105,64 ($\pm$ 23,862)	106,24 ($\pm$ 22,202)	p=0,117
Männlich	474	106,70 ($\pm$ 24,458)	106,81 ($\pm$ 23,164)	p=0,426
Weiblich	343	104,10 ($\pm$ 23,278)	105,52 ($\pm$ 21,212)	p=0,087
Unbekannt	25	106,80 ($\pm$ 19,599)	105,30 ($\pm$ 16,509)	p=0,458
Neugeborene	77	110,26 ($\pm$ 40,294)	107,63 ($\pm$ 35,62)	p=0,221
Säuglinge	155	96,86 ($\pm$ 22,240)	99,60 ($\pm$ 21,298)	p=0,009
Kleinkinder	412	105,12 ($\pm$ 20,019)	105,75 ($\pm$ 19,315)	p=0,235
Schulkinder	198	111,78 ($\pm$ 21,499)	111,98 ($\pm$ 19,989)	p=0,773
Ohne Pädiater	692	107,86 ($\pm$ 22,751)	108,46 ($\pm$ 20,900)	p=0,159
Mit Pädiater	150	95,42 ($\pm$ 26,178)	96,02 ($\pm$ 25,071)	p=0,423
Flugzeit 0-30min	270	111,47 ($\pm$ 23,450)	111,46 ($\pm$ 21,352)	p=0,983
Flugzeit 31-60min	370	103,81 ($\pm$ 23,368)	104,70 ($\pm$ 21,388)	p=0,160
Flugzeit 61-90min	129	102,44 ($\pm$ 24,796)	103,39 ($\pm$ 25,088)	p=0,199
Flugzeit 91-120min	40	94,37 ($\pm$ 22,869)	95,94 ($\pm$ 19,731)	p=0,306
Flugzeit $\geq$ 120min	33	106,82 ($\pm$ 20,844)	107,20 ($\pm$ 20,727)	p=0,888
G00-G99	83	108,43 ($\pm$ 23,357)	108,40 ($\pm$ 20,610)	p=0,806
Nervensystem				
I00-I99	149	104,38 ($\pm$ 32,204)	104,41 ($\pm$ 27,580)	p=0,880
Kreislaufsystem				
J00-J99	185	102,24 ($\pm$ 22,111)	103,19 ($\pm$ 22,428)	p=0,113
Atmungssystem				
K00-K93	27	102,96 ($\pm$ 20,370)	105,46 ($\pm$ 17,335)	p=0,230
Verdauungssystem				
S00-T98	273	108,91 ($\pm$ 18,506)	109,29 ($\pm$ 16,740)	p=0,826
Verletzung/Vergiftung				
NACA-Score 3	166	110,71 ($\pm$ 20,914)	109,13 ($\pm$ 20,017)	p=0,065
NACA-Score 4	290	108,99 ($\pm$ 22,726)	109,12 ($\pm$ 20,702)	p=0,515
NACA-Score 5	365	101,34 ($\pm$ 24,470)	103,66 ($\pm$ 22,649)	p=0,005
NACA-Score 6	20	92,38 ($\pm$ 33,319)	86,38 ($\pm$ 34,674)	p=0,950

3.11.3.2. Diastolischer Blutdruck

Der diastolische Blutdruck wurde bei 831 Patienten dokumentiert. In den meisten Untergruppen konnte eine Zunahme festgestellt werden. Bei Patienten mit

unbekanntem Geschlecht, einer Flugzeit zwischen 91 und 120 Minuten, einer Erkrankung des Nervensystems oder einem NACA-Score von 3 nahm der diastolische Blutdruck während des Transportes leicht ab.

Tabelle 24: Diastolischer Blutdruck vor und nach dem Transport

Gruppe	Anzahl	Blutdruck in mmHg vor Tr. Mittel ($\pm$ SD)	Blutdruck in mmHg nach Tr. Mittel ($\pm$ SD)	p-Wert
Gesamt	831	60,32 ($\pm$ 19,314)	60,79 ($\pm$ 17,640)	p=0,069
Männlich	465	61,29 ($\pm$ 20,152)	61,44 ($\pm$ 18,273)	p=0,367
Weiblich	341	59,21 ($\pm$ 17,994)	60,26 ($\pm$ 16,915)	p=0,051
Unbekannt	25	57,60 ($\pm$ 20,469)	56,00 ($\pm$ 14,720)	p=0,75
Neugeborene	77	57,53 ($\pm$ 25,76)	55,84 ($\pm$ 24,026)	p=0,185
Säuglinge	152	53,86 ($\pm$ 18,039)	55,69 ($\pm$ 16,491)	p=0,026
Kleinkinder	404	60,59 ($\pm$ 17,686)	61,04 ($\pm$ 15,969)	p=0,098
Schulkinder	198	65,81 ($\pm$ 18,907)	66,21 ($\pm$ 17,019)	p=0,681
Ohne Pädiater	682	62,48 ($\pm$ 18,644)	62,86 ($\pm$ 16,691)	p=0,131
Mit Pädiater	149	50,47 ($\pm$ 19,324)	51,34 ($\pm$ 18,804)	p=0,221
Flugzeit 0-30min	265	66,37 ($\pm$ 18,242)	66,68 ($\pm$ 16,147)	p=0,530
Flugzeit 31-60min	366	58,19 ($\pm$ 19,116)	58,68 ($\pm$ 17,254)	p=0,201
Flugzeit 61-90min	127	58,49 ($\pm$ 18,934)	58,81 ($\pm$ 18,226)	p=0,563
Flugzeit 91-120min	40	51,00 ($\pm$ 20,229)	49,75 ($\pm$ 16,869)	p=0,480
Flugzeit $\geq$ 120min	33	55,15 ($\pm$ 19,704)	59,39 ($\pm$ 19,834)	p=0,136
G00-G99 Nervensystem	82	62,07 ($\pm$ 17,226)	61,34 ($\pm$ 14,637)	p=0,672
I00-I99 Kreislaufsystem	148	58,18 ($\pm$ 23,095)	58,11 ($\pm$ 20,516)	p=0,953
J00-J99 Atmungssystem	185	56,70 ($\pm$ 18,663)	57,84 ($\pm$ 17,897)	p=0,070
K00-K93 Verdauungssystem	27	58,89 ($\pm$ 16,718)	62,59 ($\pm$ 19,134)	p=0,202
S00-T98 Verletzung/Vergiftung	266	63,31 ($\pm$ 16,923)	63,61 ($\pm$ 14,735)	p=0,591
NACA-Score 3	159	64,65 ($\pm$ 16,373)	63,90 ($\pm$ 14,965)	p=0,344
NACA-Score 4	286	63,11 ($\pm$ 19,060)	63,57 ($\pm$ 17,508)	p=0,319
NACA-Score 5	365	56,52 ($\pm$ 19,799)	57,95 ($\pm$ 17,879)	p=0,013
NACA-Score 6	20	55,00 ($\pm$ 22,827)	48,00 ($\pm$ 21,909)	p=0,608

3.11.4. Herzfrequenz

Die Herzfrequenz wurde bei 1158 Patienten dokumentiert. Sie sank signifikant von ursprünglich 124,46 Schlägen pro Minute auf 121,52 Schläge pro Minute nach dem Transport ab ($p \leq 0,0001$). Im Großteil der Untergruppen war die Abnahme der Herzfrequenz ebenfalls signifikant (vgl. Tabelle 25). Lediglich bei unbekanntem Geschlecht, sehr langen Transporten über 120 Minuten, Erkrankungen des Nervensystems und Erkrankungen des Verdauungssystems war die Abnahme nicht signifikant. Die einzige Untergruppe mit einer Zunahme der Herzfrequenz waren Patienten mit einem NACA-Score von sechs (140,00/min vs. 141,76/min; $p=0,317$).

Tabelle 25: Herzfrequenz vor und nach dem Transport

Gruppe	Anzahl	Herzfrequenz /min vor Tr. Mittel, ($\pm$ SD)	Herzfrequenz /min nach Tr. Mittel ($\pm$ SD)	p-Wert
Gesamt	1158	124,46 ($\pm$ 30,364)	121,52 ($\pm$ 29,219)	$p \leq 0,0001$
Männlich	631	123,11 ($\pm$ 29,908)	120,67 ($\pm$ 29,231)	$p \leq 0,0001$
Weiblich	494	126,11 ($\pm$ 30,614)	122,57 ($\pm$ 29,139)	$p \leq 0,0001$
Unbekannt	33	125,45 ($\pm$ 34,739)	121,82 ($\pm$ 30,563)	$p=0,098$
Neugeborene	88	116,87 ($\pm$ 39,409)	114,55 ($\pm$ 38,392)	$p=0,027$
Säuglinge	266	139,50 ($\pm$ 24,667)	137,43 ($\pm$ 24,104)	$p=0,010$
Kleinkinder	558	125,57 ($\pm$ 28,256)	121,92 ($\pm$ 26,778)	$p \leq 0,0001$
Schulkinder	246	108,41 ($\pm$ 28,200)	105,96 ($\pm$ 26,863)	$p=0,003$
Ohne Pädiater	967	121,24 ($\pm$ 29,789)	118,35 ($\pm$ 28,548)	$p \leq 0,0001$
Mit Pädiater	191	140,73 ($\pm$ 27,994)	137,54 ($\pm$ 27,313)	$p \leq 0,0001$
Flugzeit 0-30min	376	119,57 ($\pm$ 32,626)	116,92 ($\pm$ 30,623)	$p \leq 0,0001$
Flugzeit 31-60min	499	125,96 ($\pm$ 29,843)	122,46 ($\pm$ 28,848)	$p \leq 0,0001$
Flugzeit 61-90min	174	129,13 ($\pm$ 26,782)	127,28 ($\pm$ 27,175)	$p=0,014$
Flugzeit 91-120min	63	131,43 ($\pm$ 25,136)	128,10 ($\pm$ 24,221)	$p=0,038$
Flugzeit ≥ 120 min	46	121,52 ($\pm$ 31,761)	118,48 ($\pm$ 30,548)	$p=0,084$
G00-G99 Nervensystem	112	116,52 ($\pm$ 28,772)	115,85 ($\pm$ 28,236)	$p=0,369$
I00-I99 Kreislaufsystem	182	120,82 ($\pm$ 35,087)	119,04 ($\pm$ 33,904)	$p=0,023$
J00-J99 Atmungssystem	249	136,51 ($\pm$ 26,416)	132,81 ($\pm$ 26,246)	$p \leq 0,0001$
K00-K93 Verdauungssystem	42	131,34 ($\pm$ 28,591)	130,48 ($\pm$ 26,774)	$p=0,603$
S00-T98 Verletzung/Vergiftung	395	116,89 ($\pm$ 27,519)	113,70 ($\pm$ 25,922)	$p \leq 0,0001$

NACA-Score 3	309	119,89 ($\pm 26,648$)	116,63 ($\pm 25,412$)	$p \leq 0,0001$
NACA-Score 4	396	122,15 ($\pm 29,950$)	118,94 ($\pm 28,825$)	$p \leq 0,0001$
NACA-Score 5	431	129,48 ($\pm 32,604$)	126,79 ($\pm 31,328$)	$p \leq 0,0001$
NACA-Score 6	17	140,00 ($\pm 25,249$)	141,76 ($\pm 21,574$)	$p = 0,317$

3.11.5. Glasgow Coma Scale

Bei allen Transporten wurde die GCS im elektronischen Protokoll dokumentiert (n=1300). Die GCS lag nach dem Transport im Durchschnitt etwas niedriger als vor dem Transport (10,78 vs. 10,67; $p = 0,008$). Auch in fast allen Untergruppen lag der Wert nach dem Transport unter dem Wert vor dem Transport.

Mit zunehmendem Alter nahm auch der GCS zu beiden Messpunkten zu. Von einem Pädiater begleitete Patienten hatten im Durchschnitt eine niedrigere GCS als Patienten mit einem Transportteam ohne Pädiater. Mit zunehmender Schwere der Erkrankung nahm die GCS ab. Die niedrigste GCS von allen Untergruppen wurde bei Patienten mit einem NACA-Score von sechs beobachtet.

Betrachtet man nur Patienten, die während des Transportes spontan atmeten, so zeigt sich eine Verbesserung der GCS während des Transportes (n=897; $13,73 \pm 2,87$ vs. $13,78 \pm 2,83$; $p = 0,213$). Bei den beatmeten Patienten konnte eine signifikante Abnahme der GCS nachgewiesen werden (n=403; $4,72 \pm 3,78$ vs. $4,29 \pm 3,42$; $p \leq 0,0001$).

Tabelle 26: Glasgow Coma Scale vor und nach dem Transport

Gruppe	Anzahl	GCS vor Tr. Mittel, ($\pm$ SD)	GCS nach Tr. Mittel, ($\pm$ SD)	p-Wert
Gesamt	1300	10,78 ($\pm 5,307$)	10,67 ($\pm 5,391$)	$p = 0,008$
Männlich	708	10,69 ($\pm 5,357$)	10,60 ($\pm 5,433$)	$p = 0,176$
Weiblich	554	10,88 ($\pm 5,238$)	10,75 ($\pm 5,331$)	$p = 0,023$
Unbekannt	38	11,11 ($\pm 5,471$)	10,79 ($\pm 5,585$)	$p = 0,317$
Neugeborene	94	9,51 ($\pm 3,885$)	9,36 ($\pm 5,875$)	$p = 0,463$
Säuglinge	297	10,65 ($\pm 5,361$)	10,62 ($\pm 5,411$)	$p = 0,755$
Kleinkinder	632	10,72 ($\pm 5,250$)	10,58 ($\pm 5,318$)	$p = 0,016$
Schulkinder	277	11,47 ($\pm 5,128$)	11,35 ($\pm 5,279$)	$p = 0,169$
Ohne Pädiater	1097	11,24 ($\pm 5,086$)	11,15 ($\pm 5,178$)	$p = 0,039$
Mit Pädiater	203	8,38 ($\pm 5,740$)	8,16 ($\pm 5,740$)	$p = 0,043$
Flugzeit 0-30min	430	11,80 ($\pm 4,887$)	11,74 ($\pm 4,965$)	$p = 0,197$
Flugzeit 31-60min	556	10,64 ($\pm 5,281$)	10,52 ($\pm 5,389$)	$p = 0,150$

Flugzeit 61-90min	196	9,19 ($\pm 5,671$)	8,98 ($\pm 5,708$)	p=0,049
Flugzeit 91-120min	66	10,02 ($\pm 5,611$)	9,80 ($\pm 5,611$)	p=0,180
Flugzeit ≥ 120 min	52	11,38 ($\pm 4,995$)	11,40 ($\pm 4,975$)	p=0,317
G00-G99 Nervensystem	127	9,83 ($\pm 5,278$)	9,78 ($\pm 5,312$)	p=0,713
I00-I99 Kreislaufsystem	189	10,51 ($\pm 5,417$)	10,52 ($\pm 5,65$)	p=0,723
J00-J99 Atmungssystem	264	8,81 ($\pm 5,684$)	8,45 ($\pm 5,745$)	p=0,006
K00-K93 Verdauungssystem	52	12,46 ($\pm 4,917$)	12,21 ($\pm 5,069$)	p=0,180
S00-T98 Verletzung/Vergiftung	473	11,86 ($\pm 4,785$)	11,81 ($\pm 4,845$)	p=0,182
NACA-Score 3	386	13,19 ($\pm 3,791$)	13,24 ($\pm 3,760$)	p=0,420
NACA-Score 4	435	11,72 ($\pm 4,875$)	11,49 ($\pm 5,051$)	p=0,004
NACA-Score 5	448	8,05 ($\pm 5,465$)	7,93 ($\pm 5,510$)	p=0,117
NACA-Score 6	21	3,81 ($\pm 2,600$)	3,33 ($\pm 1,528$)	p=0,317

3.12. Pediatric Airtransport Safety Score (PATs-Score)

3.12.1. Veränderungen des PATs über den Zeitraum des Transportes

Der PATs-Score konnte für 655 Patienten berechnet werden, bei den restlichen Patienten fehlte mindestens ein Vitalparameter zur Berechnung des Scores. Im Durchschnitt verbesserte sich der PATs-Score während des Transportes bei 180 Patienten (27%), bei 407 Patienten (62%) blieb der Score gleich und bei 68 Patienten (10%) verschlechterte sich der Score. Vergleicht man das Mittel aller Werte vor und nach dem Transport, so ergibt sich eine signifikante Verbesserung des PATs-Scores über den Transport ($p \leq 0,0001$).

Betrachtet man die Untergruppen so zeigt sich auch hier eine durchschnittliche Verbesserung in fast allen Bereichen. Lediglich Patienten mit unbekanntem Geschlecht verschlechterten sich durchschnittlich während des Transportes. Mit zunehmendem Alter werden Verbesserungen des Scores tendenziell häufiger, wobei in allen Altersgruppen der Score nach dem Transport signifikant besser ist als vor dem Transport. Transporte, die von einem Pädiater begleitet wurden, zeigen zwar eine Verbesserung des Scores, jedoch war diese im Gegensatz zu Transporten ohne Pädiater nicht signifikant ($p=0,152$ vs. $p < 0,0001$). Bei Transporten über 120 Minuten traten gleich häufig Verbesserungen und Verschlechterungen auf. Kreislaufferkrankungen und Verletzungen führten im Vergleich zu anderen Erkrankungen eher zu einer Verbesserung und nur in seltenen Fällen zu einer Verschlechterung. Mit zunehmender Schwere der Erkrankung wurden Verbesserungen während des Transportes immer häufiger.

Tabelle 27: Veränderungen im PATS-Score im Vergleich zu vor dem Transport

Gruppe	Anzahl	Abnahme =verbessert	Anstieg =verschlechtert	Gleich	p-Wert
Gesamt	655	180 (27%)	68 (10%)	407 (62%)	p≤0,0001
Männlich	362	98 (27%)	40 (11%)	224 (61%)	p≤0,0001
Weiblich	276	77 (28%)	28 (10%)	171 (62%)	p≤0,0001
Unbekannt	17	0 (0%)	5 (29%)	12 (71%)	p=0,042
Neugeborene	0	0	0	0	-
Säuglinge	131	31 (23%)	18 (13%)	82 (63%)	p=0,033
Kleinkinder	355	94 (26%)	39 (11%)	222 (63%)	p≤0,0001
Schulkinder	169	55 (33%)	11 (7%)	103 (61%)	p≤0,0001
Ohne Pädiater	543	160 (29%)	56 (10%)	327 (60%)	p≤0,0001
Mit Pädiater	112	20 (18%)	12 (11%)	89 (79%)	p=0,152
Flugzeit 0-30min	308	89 (29%)	28 (9%)	191 (62%)	p≤0,0001
Flugzeit 31-60min	242	69 (29%)	29 (12%)	144 (60%)	p≤0,0001
Flugzeit 61-90min	64	14 (22%)	6 (10%)	44 (68%)	p=0,270
Flugzeit 91-120min	21	6 (29%)	4 (19%)	11 (52%)	p=0,366
Flugzeit ≥120min	20	3 (15%)	3 (15%)	14 (70%)	p=0,915
G00-G99	66	16 (24%)	7 (11%)	43 (65%)	p=0,147
Nervensystem					
I00-I99	89	26 (29%)	6 (7%)	57 (64%)	p=0,001
Kreislaufsystem					
J00-J99	161	49 (30%)	27 (17%)	85 (53%)	p=0,002
Atmungssystem					
K00-K93	21	6 (29%)	3 (14%)	12 (57%)	p=0,327
Verdauungssystem					
S00-T98	225	55 (24%)	14 (6%)	156 (69%)	p≤0,0001
Verletzung/Vergiftung					
NACA-Score 3	123	29 (24%)	12 (10%)	82 (67%)	p=0,013
NACA-Score 4	228	51 (22%)	26 (11%)	151 (66%)	p=0,002
NACA-Score 5	290	92 (32%)	28 (10%)	170 (59%)	p≤0,0001
NACA-Score 6	14	8 (57%)	2 (14%)	4 (29%)	p=0,070

Es zeigt sich, dass Veränderungen im Score hauptsächlich im Wertebereich von -3 und +2 stattfanden. Größere Veränderungen im Score waren deutlich seltener, wobei die maximale Verbesserung acht Punkte, die maximale Verschlechterung lediglich vier Punkte betrug.

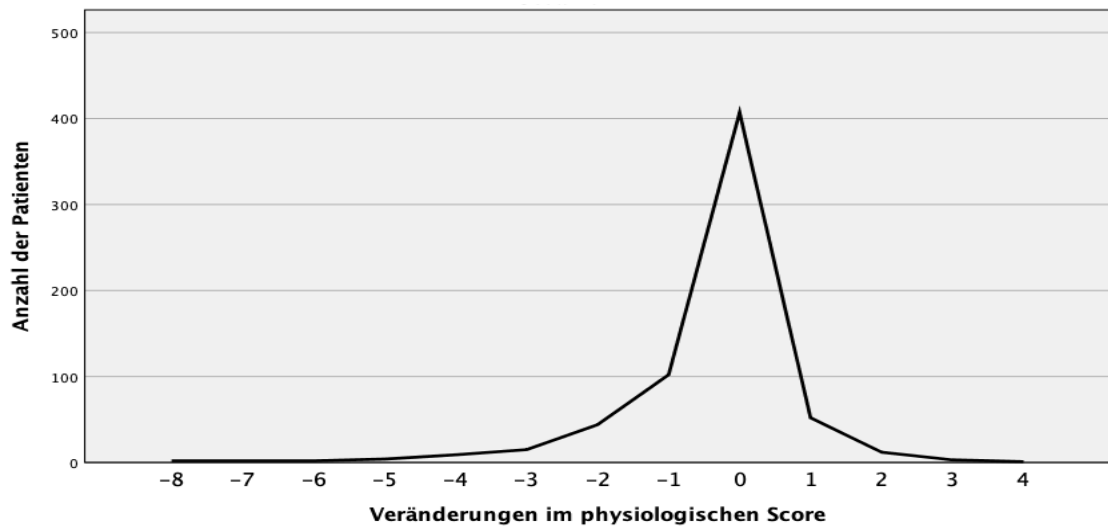


Abbildung 6: Punktweite der Veränderungen im PATS-Score im Vergleich zu vor dem Transport (ein negativer Wert entspricht einer Stabilisierung der Vitalparameter)

3.12.2. Der Einfluss einzelner Vitalparameter auf den PATS-Score

Bei allen Vitalparametern ist der durchschnittliche Punktwert im PATS-Score nach dem Transport niedriger als vor dem Transport, sie stabilisieren sich somit. Die einzige Ausnahme bildet die GCS, hier erreichen die Patienten im Score einen besseren Wert vor dem Transport.

Mit einer durchschnittlichen Differenz von -0,11 Punkten hat der diastolische Blutdruck den größten Einfluss auf den Vitalparameterscore.

Tabelle 28: Differenzen der Mittelwerte einzelner Vitalparameter des PATS-Scores vor und nach dem Transport

Vitalparameter	Mittel vor Transport	Mittel nach Transport	Differenz	p-Wert
Atemfrequenz	0,29	0,27	-0,02	p=0,009
Sauerstoffsättigung	0,27	0,17	-0,10	p≤0,0001
Systolischer RR	0,51	0,44	-0,07	p≤0,0001
Diastolischer RR	0,44	0,33	-0,11	p≤0,0001
Herzfrequenz	0,52	0,44	-0,08	p≤0,0001
GCS	1,06	1,08	0,02	p=0,192

3.12.3. Regressionsanalyse der Veränderung des PATS-Scores

Initial wurden als unabhängige Variablen der PATS-Score vor dem Transport, die Flugdistanz, das Alter der Patienten, internistische oder chirurgische Erkrankung, das Transportteam, der NACA-Score, die Versorgungszeit durch das Transportteam in der abgebenden Klinik und der Interventions-Score verwendet. Aufgrund von Signifikanzwerten von $p > 0,1$ wurden die Versorgungszeit durch das Transportteam in der abgebenden Klinik und die Flugdistanz aus dem ursprünglichen Modell ausgeschlossen. Für die Berechnung des Modells wurden alle Patienten berücksichtigt, bei denen alle benötigten Variablen dokumentiert wurden ($n=649$). Das endgültige Modell ist in Tabelle 29 beschrieben.

Tabelle 29: Regressionsanalyse des PATS-Scores

Variable	Unstandardisiert	Standardisiert	Standardfehler
Konstante	1,067		
Interventions-Score	0,60***	0,374	0,007
Chirurgische Erkrankung	-0,204*	-0,078	0,092
Alter	-0,047**	-0,119	0,014
NACA-Score	-0,137*	-0,087	0,058
Pädiater	0,249*	0,075	0,118
Vitalparameterscore vor dem Transport	-0,327***	-16,093	0,020
R^2	0,312		
Korr. R^2	0,306		
F (df=6; 649)	48,674***		

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Folgende unabhängige Variablen haben einen signifikant negativen Einfluss auf den PATS-Score, führen also zu einer Verbesserung des Scores während des Transports: chirurgische Erkrankung ($p=0,027$), höheres Alter ($p=0,001$), höherer NACA-Score ($p=0,019$) und ein höherer PATS-Score zu Beginn des Transportes ($p \leq 0,0001$).

Ein höherer Interventions-Score ($p \leq 0,0001$) und der Transport durch einen Pädiater ($p=0,035$) erhöhten hingegen signifikant den PATS-Score.

3.13. Zwischenfälle während des Transportes

Es kam lediglich während 57 der 1300 betrachteten Transporte (5%) zu Zwischenfällen. Hauptsächlich waren dies Komplikationen organisatorischer Art ($n=33$), hierbei war die mangelhafte Vorbereitung durch das Krankenhaus auffallend häufig ($n=9$). Bei den

patientenbezogenen Komplikationen (n=13) machten respiratorische Zwischenfälle den Hauptteil aus. Gerätedefekte waren sehr selten (n=11), davon war in knapp der Hälfte der Fälle das Beatmungsgerät betroffen. Bei den von Pädiatern begleiteten Transporten kam es nur zu organisatorischen Komplikationen (n=6), patientenbezogene oder gerätebezogene Komplikationen wurden nicht beobachtet.

Tabelle 30: Patientenbezogene Komplikationen

Komplikation	Anzahl
Kurzzeitiger SpO ₂ -Abfall	1
Andere respiratorische Störung	4
Tubus verlegt	2
Hypotension	1
Mehrfache Gefäßpunktion	1
Patient lehnt Therapie ab	1
Kreislaufstillstand	2
Tod vor Eintreffen	1

Tabelle 31: Gerätebezogene Komplikationen

Komplikation	Anzahl
Beatmungsgerät	5
Kapnometrie	1
Andere medizinische Geräte	4
Verzögerung durch technischen Defekt am Hubschrauber	1

Tabelle 32: Organisatorische Komplikationen

Komplikation	Anzahl
Einsatz außerhalb des regulären Einsatzgebietes	6
Erforderliches Rettungsmittel nicht verfügbar	2
Fehlerhafte Einsatzinformationen	4
Inadäquate Assistenz Rettungsdienst	2
Mangelnde Vorbereitung durch Krankenhaus	9
Nächstes geeignetes Krankenhaus abgemeldet	2
Transport aus med. Gründen nicht möglich	8

4. Diskussion

Aufgrund der stetig steigenden Transportzahlen im Rettungswesen und der bisher nicht ausreichend erforschten Auswirkungen auf die transportierten Patienten war es wichtig, mit dieser Studie erstmals die Vitalparameterstabilität während luftgebundener Intensivtransporte bei Kindern in Deutschland zu untersuchen. In den wenigen bisher veröffentlichten Studien zu diesen Transporten wurden jeweils nur bestimmte Patientengruppen oder eine geringe Fallzahl an Patienten berücksichtigt. Erstmals konnte an einem großen Patientenkollektiv diese Fragestellung genauer untersucht werden. Wir verglichen dazu die einzelnen Vitalparameter der Patienten zu zwei Zeitpunkten, außerdem bildeten wir den Pediatric Airtransport Safety Score um den allgemeinen Gesundheitszustand möglichst genau abzubilden. Zusätzlich wurden auch durchgeführte Maßnahmen und Zwischenfälle während der Transporte untersucht. Damit konnten wir nachweisen, dass luftgebundene Intensivtransporte in der Pädiatrie in allen Altersgruppen und mit allen Grunderkrankungen sicher durchgeführt werden konnten.

4.1. Diskussion der Methoden

Die vorhandene Datenbank ermöglichte es, Patienten retrospektiv entsprechend der Einschlusskriterien in die Studie aufzunehmen. Eine Ausdehnung des Zeitraums und somit der Einschluss weiterer Patienten war aufgrund einer Umstellung des Dokumentationssystems im Jahre 2014 nicht möglich.

Eine prospektive Studie hätte den Vorteil, dass zusätzliche Daten erhoben und somit weitere Fragestellungen untersucht werden könnten. Auch wäre die Motivation zur exakten und vollständigen Dokumentation vermutlich höher, wenn bekannt wäre, dass die Daten für eine Studie verwendet würden. Allerdings ist es aufgrund der Vielzahl an Luftrettungsstandorten und der wechselnden Besatzungen bei einer prospektiven Studie schwierig, alle Mitarbeiter zu erreichen. Aufgrund der großen Fallzahl der vorliegenden Studie ist nicht zu erwarten, dass eine prospektive Studie zu anderen Ergebnissen geführt hätte.

4.1.1. Pediatric Airtransport Safety Score (PATS-Score)

Der von uns erstellte Score bestand primär aus bereits in anderen Arbeiten verwendeten Scores (23, 25), die jeweils aus dem Pediatric Risk of Mortality-Score (PRISM-Score) (33) abgeleitet wurden. Der Pediatric Risk of Mortality-Score ist ein international häufig verwendeter und vielfach validierter Score, mit dem das Mortalitätsrisiko eines Patienten anhand einer Vielzahl an Parametern bestimmt werden kann (34-36). Die Verwendung des original PRISM-Scores für unsere Analyse war aufgrund von fehlenden, für die Berechnung jedoch notwendigen Parametern nicht möglich. Auch den

modifizierten PRISM-Score von Cray und Kollegen (25), sowie den ebenfalls angepassten Score von B. Gunnarson et al. (23) (jeweils gebildet aus: Blutdruck, Herzfrequenz, Atemfrequenz, Temperatur, PaO_2 , FiO_2 , Sauerstoffsättigung und Pupillenreaktion), konnten wir aufgrund der unvollständigen Vitalparameterdokumentation und fehlender Werte nicht verwenden. Stattdessen wurden für den PATS-Score die vorhandenen Vitalparameter und ihren Kategorien Punktwerte zugeordnet. Die Punktwerte wurden in Anlehnung an die Normwerte der Vitalparameter vergeben.

Der von uns entwickelte Score wurde somit erstmals in dieser Arbeit eingesetzt, um den Gesundheitszustand der Patienten zu einem Zeitpunkt abschätzen zu können. Aufgrund des ähnlichen Aufbaus der beiden anderen Scores, ist davon auszugehen, dass unser Score eine ähnliche Aussagekraft zulässt. Es fehlen allerdings Vergleiche mit bereits etablierten Scores, wie dem PRISM-Score, um diese Annahme zu bestätigen.

4.1.2. Interventions-Score

Der verwendete Interventions-Score wurde bereits von Cray und Kollegen (25) angewandt. Cray untersuchte ebenfalls die Sicherheit von pädiatrischen Intensivtransporten. Mit Hilfe des Scores wurde auch bei seiner Untersuchung der Aufwand von verschiedenen Interventionen vergleichbar gemacht. Der Score wurde aus dem Therapeutic Intervention Scoring System (TISS) abgeleitet. Der TISS wird häufig in der Intensivmedizin eingesetzt, um abzuschätzen zu können, wie aufwendig die Versorgung eines Patienten ist (31, 32). Der Vorteil für unsere Auswertung war somit, dass wir nicht nur einzelne Interventionen berücksichtigen konnten, sondern jede Intervention entsprechend ihrem Aufwand gewertet wurde. Außerdem war durch die frühere Verwendung des Scores von der Arbeitsgruppe um Cray eine Vergleichsmöglichkeit mit den Ergebnissen anderer Studien gegeben. Bei den meisten bisherigen Studien wurden die Interventionen nur entsprechend ihrer Anzahl untersucht, der Aufwand wurde dabei nicht berücksichtigt. Allerdings ist dies für die richtige Einschätzung des Versorgungsaufwandes eines Patienten unerlässlich. Beispielweise hätte in anderen Studien ein Patient mit zwei peripheren Gefäßzugängen einen Punktwert von zwei bekommen, während ein intubierter und beatmeter Patient ebenfalls einen Punktwert von zwei bekäme. Das Verhältnis der Interventionen würde somit verzerrt dargestellt.

4.2. Diskussion der Ergebnisse

4.2.1. Patienten

Die Ergebnisse der Alters- und Geschlechtsverteilung zeigen, dass am häufigsten Patienten mit einem Alter von unter einem Jahr verlegt wurden. Sie machen knapp ein Drittel der gesamten Transporte aus. Auch die Studien von Ramnarayan et. al. (37) und

Odetola und Kollegen (38) kommen zu einem ähnlichen Ergebnis. Bei Ramnarayan machten die Patienten unter einem Jahr 51,7% aus. Bei Odetola wurden Patienten zwischen null und neun Jahren in die Studie eingeschlossen, im Median waren die Patienten zwei Jahre alt. Der Hauptgrund für das junge Alter der transportierten Kinder dürfte die Altersverteilung der Patienten in pädiatrischen Intensivstationen sein. Hier machen Kinder unter einem Jahr den größten Teil der Patienten aus (39). Bei der Geschlechtsverteilung fällt auf, dass mehr männliche als weibliche Patienten transportiert wurden (55% vs. 43%). Eine ähnliche Geschlechterverteilung zeigte sich bereits in anderen Arbeiten aus den USA (57% vs. 43%) und Brasilien (57,6% vs. 42,4%) (22, 24, 38). Der Grund für die größere Anzahl an männlichen Patienten liegt unter anderem in der Grunderkrankung der Patienten, die zu einem Transport führt. Es wurden besonders viele Patienten mit Traumata verlegt. In dieser Patientengruppe machen Jungen 56% (vgl. Tabelle 7) den Großteil der Patienten aus. Neben der Grunderkrankung liegt ein weiterer Grund der unterschiedlichen Geschlechtsverteilung in der Bevölkerungsstruktur. In Deutschland gibt es mehr unter 10 jährige Jungen als Mädchen (51,3% vs. 48,7%) (40). In den Studien aus den USA und Brasilien ähnelt die Bevölkerungsstruktur der Deutschen (41, 42).

Betrachtet man die gesamte Stichprobe, so führten Verletzungen und Vergiftungen gefolgt von Erkrankungen der Atemwege am häufigsten zu Hubschraubertransporten. In anderen Studien (22, 38) waren Transporte aufgrund respiratorischer Probleme am häufigsten, Verletzungen waren der zweithäufigste Verlegungsgrund. In der Studie von Ramnarayan und Kollegen (37) in England waren ebenfalls Atemwegserkrankungen am häufigsten, Verletzungen waren jedoch mit lediglich 1,3% sehr selten. Die unterschiedlichen Ergebnisse der Studien könnten auf unterschiedliche Transportteams zurückzuführen sein. Betrachtet man die Erkrankungen der Patienten aufgeschlüsselt nach Transportteams, so fällt auf, dass Patienten, die von spezialisierten Teams begleitet wurden, eher an internistische Erkrankungen litten. Da bei Ramnarayan et. al. (37) ausschließlich Transporte in Begleitung von spezialisierten pädiatrischen Transportteams durchgeführt wurden, erklärt sich der geringe Teil der Patienten mit Traumata durch die hohe Komplexität der untersuchten Fälle. Bei unserer Stichprobe waren jedoch nur 16% der Transporte von Pädiatern begleitet, so dass hier ein höherer Anteil an Verletzungen zu erwarten war. Auch bei den Arbeitsgruppen um Meyer (22) und Odetola (38) wurden nur wenige Transporte von einem spezialisierten Team durchgeführt.

Neben den unterschiedlichen Transportteams scheint auch das Alter der eingeschlossenen Patienten einen Einfluss auf die häufigsten Erkrankungsarten zu haben. Bei Locke et al. (43) in Kanada wurden ausschließlich Verlegungen aufgrund von Traumata untersucht, hier betrug das Durchschnittsalter 9,6 ($\pm 5,5$). Auch bei unserer Untersuchung zeigt sich, dass mit zunehmendem Alter die Verletzungen ein häufigerer Transportgrund waren. Durch die mit steigendem Alter zunehmende Mobilität z.B. Laufen, Fahrradfahren, etc. nimmt auch das Risiko für Traumata zu (44).

Wie zu erwarten, wurden hauptsächlich schwer erkrankte Patienten transportiert. Bei über 60% konnte eine akute Lebensgefahr aufgrund der dokumentierten Erkrankung mindestens nicht ausgeschlossen werden. Da aufgrund der beschränkten Kapazitäten leicht erkrankte Patienten in der Regel nicht mit dem Hubschrauber transportiert werden können, muss der begleitende Arzt stets die Indikation des Transportes überprüfen (12). Dadurch soll eine Fehlbelegung des Rettungsmittels verhindert werden. In anderen Studien wurde hinsichtlich der Erkrankungsschwere nicht differenziert, sodass ein Vergleich nicht möglich war.

4.2.2. Transporte

Es zeigt sich, dass Hubschrauber aus München, Berlin und Hannover die meisten Einsätze mit Kindern durchführten. Dies liegt zum einen an der Lage der Standorte in großen, bevölkerungsreichen Städten und andererseits an der Hauptnutzung der Hubschrauber als Intensiv-Transport-Hubschrauber. In den anderen Ballungszentren in Deutschland werden die Intensivhubschrauber hauptsächlich durch andere Organisationen betrieben (s. Anhang Abb. 8). Unsere Daten aus diesen Regionen stammen somit von Hubschraubern, die primär nicht für Intensivtransporte ausgelegt sind. Diese Hubschrauber werden nur für Transporte herangezogen, wenn der eigentliche ITH bereits belegt ist und ein dringender Transport ansteht. Dadurch kommt es in unserer Auswertung an diesen Standorten zu einer geringeren Anzahl an pädiatrischen Intensivtransporten.

Im Median war die Vorbereitungszeit der Transporte, also die Zeit von Annahme bis zum Start des Transportes mit 11 Minuten deutlich kürzer als bei Ramnarayan et al. (37) und Kawaguchi et al. (45). Das englische Team benötigte im Median 29 Minuten und das kanadische Team 30 Minuten bis zum Beginn des Transportes. Bei Ramnarayan und seinen Kollegen wurden in England allerdings nur Transporte untersucht, die von einem spezialisierten pädiatrischen Team durchgeführt wurden. Der Vorlauf für ein spezialisiertes Team ist größer, da dieses Team in Bereitschaft ist und Vorlaufzeit benötigt, um zum Transportmittel zu kommen, während sich das Standard-Team bereits am Transportmittel befindet (46). Vergleicht man die 29 Minuten mit den 17 Minuten der pädiatrisch begleiteten Transporte aus der vorliegenden Untersuchung, so zeigt sich weiterhin ein deutlicher Unterschied. Vermutlich liegt dies an den bodengebundenen Transporten, die in den Studien von Ramnarayan et al. und Kawaguchi et al. ebenfalls berücksichtigt wurden. Patel (46) zeigte ebenfalls, dass bodengebundene Transporte eine längere Vorbereitungszeit benötigen. Bei Kawaguchi et al. wurden außerdem neben Hubschraubertransporten auch Transporte mit dem Flugzeug ausgewertet. Das Flugzeug war mit 60% das Transportmittel mit dem größten Anteil (45). Da Flugzeuge aufgrund der Kapazitäten von Start- und Landebahn mehr Vorlauf als Hubschraubertransporte benötigen, lässt sich der zeitliche Unterschied erklären.

Die zurückgelegte Transportstrecke und somit auch die Transportzeit war bei den verschiedenen Studien sehr variabel und hängt stark von den örtlichen Gegebenheiten ab. So betrug die mittlere Transportstrecke bei Lees et al. (47) im weitläufigen und dünn besiedelten Australien 391km, während es in England und Nordirland lediglich 31,5km waren (37). Bei unserer Untersuchung wurden im Durchschnitt 104km zurückgelegt (vgl. Tabelle 10). Dass schwerer Erkrankte weiter transportiert wurden, lässt sich durch die Notwendigkeit von Behandlungen in besser ausgestatteten und im Umgang mit schwer Erkrankten erfahrenen Krankenhäusern erklären. Diese sind jedoch nicht überall verfügbar, deshalb müssen die Patienten in diese spezialisierten Kliniken transportiert werden. Dies zeigt sich auch bei Kawaguchi et al. (45).

4.2.3. Transportteams

Der Großteil der Transporte wurde ohne einen zusätzlichen Pädiater durchgeführt, lediglich in 16% der Fälle wurde der Flug von einem Kinderarzt begleitet. In der Studie von Orr et. al (48) wurden 94% und bei Shetal et. al (46) 60% der Transporte von zusätzlichen Pädiatern begleitet. Die Unterschiede lassen sich durch die unterschiedlichen Rettungssysteme erklären: Bei Orr und Shetal wurden Transporte in den USA untersucht. Dort bestehen die Hubschrauberbesatzungen, im Gegensatz zu Deutschland, meistens aus nichtärztlichem Personal (49). Da besonders unter nichtärztlichem Personal eine subjektive Unsicherheit in der Versorgung von pädiatrischen Patienten besteht (50), ist es wahrscheinlich, dass hier häufiger eine spezialisierte Besatzung für den Transport herangezogen wurde.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass hauptsächlich junge und schwer erkrankte Patienten von einem Pädiater begleitet wurden. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Meyer (22) und Calhoun (51). Bei Meyer waren die von speziellen Teams begleiteten Patienten jünger (70 vs. 86 Monate; $p \leq 0,0001$) und hatten im PRISM-3 Score eine höhere Wahrscheinlichkeit zu versterben (0,05 vs. 0,03; $p \leq 0,0001$). Bei Calhoun waren die von einem Pädiater begleiteten Patienten ebenfalls jünger, hatten einen höheren Verletzungsgrad im Injury Severity Score und im Durchschnitt eine niedrigere GCS. Der Grund dafür könnte ebenfalls die Unsicherheit des begleitenden Teams im Umgang mit pädiatrischen Patienten sein. Die Versorgung von Kindern zwischen null und zwei Jahren wird vom Großteil der ärztlichen und nichtärztlichen Rettungsdienstmitarbeiter als schwierig eingeschätzt (52-54). Mit zunehmendem Patientenalter steigt die subjektive Sicherheit deutlich an (55)(56).

4.2.4. Maßnahmen

Fast jeder Patient erhielt vor dem Transport einen Gefäßzugang, meist bereits durch das abgebende Krankenhaus. Für den Transport von intensivpflichtigen Patienten ist dies

besonders wichtig, da man jederzeit mit einer Verschlechterung der Vitalparameter rechnen muss. Um diesen Veränderungen entgegenzuwirken, müssen schnell Medikamente oder Infusionen verabreicht werden können. Aufgrund des geringen Platzangebotes in Rettungs- und Intensivtransporthubschraubern ist es kaum möglich, während des Transportes einen Zugang zu legen, dies sollte daher bereits vor dem Flug durchgeführt werden.

Zentralvenöse Katheter, intraossäre und -arterielle Zugänge wurden in unserer Kohorte seltener angewandt als bei Ramnarayan und Kollegen (37). Es zeigte sich allerdings eine ähnliche Verteilung bei den durchführenden Teams. Auch bei Ramnarayan et al. wurden die meisten Zugänge bereits durch das abgebende Krankenhaus gelegt. Die Unterschiede in der Häufigkeit könnten durch die spezialisierten Teams der englischen Studie zustande kommen, da spezialisierte Teams insgesamt mehr Interventionen durchführen, wie sich im Vergleich der Interventions-Scores der vorliegenden Studie zeigt. Auch bei den Maßnahmen zur Sauerstoffversorgung und Ventilation, insbesondere bei der Intubation, zeigen sich große Unterschiede in der Häufigkeit der Interventionen. So waren bei Ramnarayan und seinen Kollegen (37) knapp 80% der Patienten intubiert, während es in unserer Untersuchung lediglich 30% waren. Neben dem Transportteam spielt auch die Grunderkrankung der Patienten eine Rolle bei der Häufigkeit der Atemwegssicherung. In England wurden über 40% der Patienten aufgrund eines respiratorischen Problems transportiert, in unserer Studie waren es lediglich 20%.

4.2.5. Medikamente

Bisher wurde der Einsatz von Medikamenten während eines pädiatrischen Intensivtransportes nicht genauer untersucht. Es zeigte sich, dass hauptsächlich Schmerzmittel und Sedativa eingesetzt wurden. Für intubiert beatmete Patienten ist grundsätzlich eine Analgosedierung erforderlich, sodass diese Medikamente bei vielen Transporten verwendet wurden (57). Auch vasoaktive Substanzen wie Katecholamine wurden häufig eingesetzt, um den Kreislauf der Patienten zu unterstützen (58). Die anderen Medikamente sind eher spezielleren Indikationen vorbehalten und wurden deshalb seltener verabreicht.

4.2.6. Interventions-Score

Wie zu erwarten hatten junge und schwer erkrankte Patienten im Durchschnitt einen höheren Interventions-Score (vgl. Tabelle 17). Da bei jüngeren Patienten die Herz-Kreislaufverhältnisse häufig instabiler und die pulmonalen Reserven deutlich geringer sind (59), ist es bei ihnen besonders wichtig, den Transport gut vorzubereiten. Auch bei Cray et al. (25) wurden bei schwerer erkrankten Patienten (entsprechend des

physiologischen Scores) mehr Interventionen durchgeführt. Während des Transportes ist es aufgrund der beengten Platzverhältnisse und bei möglicherweise fehlendem Material kaum möglich, weitere Interventionen am Patienten durchzuführen (12). Dies wird auch in der Studie von Patel et al. (46) bestätigt: hier wurden aufgrund der Platzverhältnisse bei luftgebundenen Transporten mehr Interventionen vor dem Transport durchgeführt als bei bodengebundenen. Es zeigte sich auch, dass von spezialisierten Teams signifikant mehr Interventionen durchgeführt wurden. Dies liegt vermutlich auch an der medizinischen Kompetenz des auf dieses Patientengut spezialisierten Team und der kränkeren Patienten.

4.2.7. Vitalparameterstabilität

Im Durchschnitt verbesserten sich sämtliche Vitalparameter während des Transportes signifikant. Lediglich die GCS nahm im Mittel ab (Sedierungseffekt). Dies deckt sich mit vielen anderen Studien (23-25, 46). In der brasilianischen Untersuchung von Romanzeira et al. verbesserte sich sowohl die Sauerstoffsättigung (90% vs. 91% SpO₂; p=0,233) als auch der systolische Blutdruck (56.68mmHg vs. 57.14mmHg; p=0,773). Bei Patel et al. verschlechterte sich der GCS bei fast allen Patientengruppen. Lediglich bei Patienten, die von einem spezialisierten Transportteam luftgebunden transportiert wurden, konnte eine Verbesserung der GCS gefunden werden. Die bei uns nachgewiesene durchschnittliche Verbesserung der Vitalparameter war nur gering und somit klinisch wenig bedeutsam. Die Signifikanz dieser geringen Unterschiede kommt durch die große Fallzahl der eingeschlossenen Patienten zustande. Durch die Untersuchung der Vitalparameterstabilität konnte jedoch nachgewiesen werden, dass durch den Transport keine Nachteile für die Vitalparameterstabilität zu befürchten sind. Eine genauere Untersuchung der Vitalparameterveränderungen in den Untergruppen wurde bisher nicht durchgeführt. Aufgrund der großen Fallzahl war es uns erstmals möglich, auch diese Untergruppen zu untersuchen: Es zeigte sich, dass in fast allen Untergruppen die Vitalparameter während des Transportes stabil blieben oder sich sogar leicht verbesserten. Bei den wenigen Verschlechterungen konnte keine Signifikanz nachgewiesen werden. Die durchschnittliche Abnahme der GCS ist mit der Intubation und Analgosedierung einiger Patienten zu erklären, da durch diese Maßnahmen die GCS gesenkt wird. In der Gruppe der spontan atmenden Patienten nahm die GCS während des Transportes im Durchschnitt sogar zu.

4.2.8. Pediatric Airtransport Safety Score

Der durchschnittliche PATS-Score verbesserte sich in der gesamten Patientengruppe signifikant. Auch bei den Teams um Cray (18% verschlechtert; 50% gleichbleibend; 32% verbessert über Transport; p=0,26) (25) und Gunnarson (3,5% verschlechtert; 79,3% gleichbleibend; 17,2% verbessert über den Transport) (23) war diese Tendenz zu

erkennen, allerdings wurde dort aufgrund der geringen Fallzahl keine signifikante Verbesserung nachgewiesen. Ähnlich wie bei den einzelnen Vitalparametern war es uns erstmals möglich, auch hier die Untergruppen zu untersuchen. Es bestätigte sich die durchschnittliche Verbesserung in jeder Untergruppe.

In der Regressionsanalyse zeigte sich, dass es bei Transporten mit einem hohen Interventions-Score oder bei Begleitung durch ein spezialisiertes Team eher zu einer Verschlechterung des PATS-Scores kommt. Vermutlich kommt dieses Ergebnis aufgrund eines Bias zustande, da durch Pädiater besonders junge, kranke und internistische Patienten transportiert werden, die anfälliger für Verschlechterungen waren (vgl. Tabelle 7). Diese Vermutung wird durch die Untersuchungen anderer Studien unterstützt. Dort zeigte sich, dass durch die Mitnahme eines spezialisierten Teams die Sicherheit und das Outcome für die Patienten positiv beeinflusst wird (46, 48, 60). Auch ist zu erwarten, dass instabile Patienten, die eine Vielzahl an Interventionen benötigen, ebenfalls anfälliger für Verschlechterungen des PATS-Scores sind.

4.2.9. Zwischenfälle

In unserer Studie wurden nur sehr wenige Zwischenfälle während der Transporte verzeichnet. Auch bei den Studien von Orr et al. (48) und Ramnarayan et al. (37) kam es jeweils bei nur ca. 5% der Transporte zu Zwischenfällen. Anders als in unserer Studie wurden hier hauptsächlich die geräte- und patientenbezogenen Zwischenfälle untersucht. Diese traten in unserer Kohorte bei lediglich 2% auf und waren somit deutlich seltener. Grundsätzlich besteht eine ärztliche Dokumentationspflicht auch zur juristischen Absicherung (61). Möglicherweise kommt die Differenz der Zwischenfälle zu anderen Studien dennoch durch eine unzureichende Dokumentation zustande, da kleinere Zwischenfälle ohne klinische Relevanz vermutlich selten dokumentiert werden. Bei den anderen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass durch spezialisierte Teams die Anzahl an Zwischenfällen reduziert werden konnte (48, 60). Auch bei unserer Auswertung war dies zu erkennen, da kein einziger gerätebezogener oder patientenbezogener Zwischenfall bei der Mitnahme eines Pädiaters gefunden wurde.

4.3. Limitationen und Stärken

Durch die große Anzahl von eingeschlossenen Patienten und die deutschlandweite Verteilung der beteiligten Hubschrauberstandorte lassen sich solide Rückschlüsse auf die Sicherheit von luftgebundenen pädiatrischen Intensivtransporten in Deutschland ziehen. Da die verwendeten Daten allerdings lediglich von einem Betreiber stammen, ist es vorstellbar, jedoch unwahrscheinlich, dass unter Berücksichtigung der Datensätze von anderen Luftrettungs-Organisationen weitere Aussagen zu der Sicherheit der

Transporte möglich gewesen wären. Als mögliche Fehlerquellen dieser Arbeit sind neben der Dokumentation durch unterschiedliche Personen auch fehlende Daten in den Datensätzen zu nennen. Bei einigen Vitalparametern, wie zum Beispiel der Körpertemperatur, der Kapnographie oder dem Blutzucker wurden nur wenige Daten gespeichert. So war die Untersuchung auf Veränderungen dieser Vitalparameter nicht möglich. Eine weitere mögliche Fehlerquelle ist die teilweise ungenaue Dokumentation der Vitalparameter. Diese wurden lediglich in Wertebereichen erfasst. Durch die Verwendung der Mittelwerte dieser Wertebereiche könnten die Ergebnisse verfälscht worden sein, allerdings ist zu erwarten, dass aufgrund der großen Anzahl an Patienten eine Normalverteilung um den Mittelwert angenommen werden kann. Es wäre auch interessant gewesen, Kinder, die im Inkubator transportiert wurden, in die Auswertung einzubeziehen. Dies war jedoch aufgrund der unterschiedlichen Datensätze nicht möglich. Hier wäre ein einheitliches System zur Dokumentation wünschenswert.

Erstmals konnten einzelne Patientensubgruppen untersucht werden. Dadurch wurde nachgewiesen, dass die Sicherheit von Patienten in allen Altersklassen, mit allen Grunderkrankungen und allen Schweregraden der Erkrankung während eines luftgebundenen Intensivtransportes gegeben ist. Im Vergleich zu anderen Arbeiten aus dem Bereich der Intensivtransporte fällt auf, dass sich nur wenige Autoren mit der Sicherheit von Intensivtransporten in der Pädiatrie beschäftigten. Dabei standen hauptsächlich einzelne Fragestellungen wie die Auswirkung von unterschiedlichen Teams auf die Häufigkeit von Zwischenfällen, oder Unterschiede zwischen den bodengebundenen und luftgebundenen Transporten im Mittelpunkt. Analysen, die sich mit der Vitalparameterstabilität und der damit verbundenen Sicherheit beschäftigen, finden sich kaum. In Deutschland ist die vorliegende Analyse die erste Studie, die sich mit dieser Thematik beschäftigt.

4.4. Schlussfolgerung

Basierend auf den hier analysierten und präsentierten Zahlen schließen wir, dass in Deutschland der luftgebundene interklinische Transport kritisch kranker oder verletzter pädiatrischer Patienten sicher und effektiv ist. Der Transport birgt keine signifikanten Risiken, insbesondere im Hinblick auf die hämodynamische Stabilität der Patienten.

4.5. Ausblick

Die Sicherheit von pädiatrischen Intensivtransporten in der Luftrettung sollte weiter untersucht werden. Insbesondere die Ausweitung der Daten auf Kinder aller Altersklassen wäre interessant. Durch eine kontinuierliche, einheitliche Dokumentation der Vitalparameter wäre es möglich, einzelne Phasen der Transporte zu untersuchen.

Auch die Vergleichbarkeit von Ergebnissen würde von einer einheitlichen Dokumentation profitieren. Da die Vitalparameter zum Übergabezeitpunkt nur begrenzte Aussagen über die weitere Entwicklung der Patienten zulassen, wäre eine Studie mit Untersuchungen sinnvoll, die die Langzeitentwicklungen im Zielkrankenhaus dokumentiert.

5. Zusammenfassung

Die Anzahl an luftgebundenen Intensivtransporten in der Pädiatrie nimmt seit Jahren stetig zu. Bisher ist noch wenig über die Auswirkungen der Transporte und somit deren Sicherheit bekannt. Ziel der durchgeführten Untersuchung war es daher, in einem retrospektiven Ansatz die Veränderungen der Vitalparameter zu untersuchen und prognostisch günstige Faktoren für einen sicheren Transport zu identifizieren.

Grundlage der Studie war die Datenbank der DRF-Luftrettung mit allen 1300 Transporten der Jahre 2015 bis 2018. Die eingeschlossenen Patienten waren zwischen 0 und 10 Jahren alt. Neben einer allgemeinen Analyse untersuchten wir erstmals auch die Auswirkung der Transporte auf einzelne Patientengruppen. Dabei erfolgte eine Unterteilung der Patienten nach dem Alter, dem Geschlecht, der Grunderkrankung, der Transportdauer und der Schwere der Erkrankung.

Für die Auswertung verglichen wir die Vitalparameter der Patienten vor und nach dem Transport. Berücksichtigt wurden dabei die Atemfrequenz, die Sauerstoffsättigung, die Herzfrequenz, der systolische und diastolische Blutdruck und die GCS. Um neben den einzelnen Vitalparametern den allgemeinen Gesundheitszustand der Patienten abbilden zu können, wurde aus den Vitalparametern ein Score gebildet. Diesen PATS-Score entwickelten wir in Anlehnung an bereits mehrfach verwendete Scores. Als Grundlage der Scores diente der Pediatric Risk of Mortality-Score. Für jeden der oben genannten Vitalparameter wurde entsprechend der Altersgruppen ein Normbereich festgelegt. Bei Abweichungen vom Normwert vergaben wir pro Vitalparameter Punktwerte bis maximal drei Punkte. Insgesamt konnten somit 18 Punkte erreicht werden, wobei die Höhe des Scores die Instabilität des Patienten abbildete.

Um den Einfluss von Interventionen auf das Outcome der Patienten beurteilen zu können, wurde auch hierfür ein Score verwendet. Dieser Interventions-Score beschreibt den Aufwand und die Invasivität der verschiedenen Interventionen mit einem Punktwert. Neben dem Atemwegsmanagement und der Gefäßzugänge wurden auch Medikamentengaben und die Durchführung von Blutgasanalysen berücksichtigt.

Das durchschnittliche Alter der transportierten Patienten lag bei 3,2 Jahren. Am häufigsten wurden Kinder im ersten Lebensjahr transportiert. Traumata, Atemwegserkrankungen und Kreislauferkrankungen führten zu den meisten Transporten. Durchschnittlich dauerte ein Flug 48 Minuten und es wurde hierbei eine Strecke von 104 Kilometern zurückgelegt. Lediglich 16% der Transporte wurden durch einen Kinderarzt begleitet; besonders junge und schwer erkrankte Patienten gehörten zu dieser Gruppe.

Unsere Auswertung ergab, dass luftgebundene Intensivtransporte im Kindesalter sehr sicher durchgeführt werden. Lediglich bei 5% der Transporte kam es zu Komplikationen. Davon war die Mehrzahl organisatorischer Art, ohne direkte Auswirkung auf den

Patienten. Die einzelnen Vitalparameter sowie der zusammenfassende PATS-Score blieb in den meisten Fällen stabil oder verbesserte sich während des Transportes. Auch in fast allen Untergruppen konnten diese Ergebnisse bestätigt werden. Als günstige Faktoren für eine Verbesserung des Gesundheitszustands während des Transportes erwiesen sich in einer Regressionsanalyse eine chirurgische Grunderkrankung, ein höheres Patientenalter, sowie ein initial höherer NACA-Score der Patienten.

Durch unsere Studie konnte erstmals in Deutschland mit einer großen Fallzahl die Sicherheit von luftgebundenen Intensivtransporten in der Pädiatrie nachgewiesen werden. Unsere Ergebnisse bezüglich der Vitalparameterstabilität stimmten mit internationalen Studien überein. Es ergaben sich allerdings Unterschiede im Patientenkollektiv aufgrund der örtlichen Gegebenheiten wie der Struktur und Organisation der Rettungsdienste. Auch die Anzahl der Zwischenfälle in unserer Auswertung war deutlich geringer als in vergleichbaren Studien aus dem Ausland.

Zur Bestätigung dieser Ergebnisse sind weitere Studien mit kontinuierlicher Vitalparameterüberwachung und Untersuchungen der Langzeitfolgen sinnvoll. Hierfür wäre eine einheitliche Dokumentation der exakten Vitalparameter wünschenswert. Auch der von uns entwickelte PATS-Score muss in zukünftigen Studien mit bereits etablierten Scores verglichen und validiert werden.

Literaturverzeichnis

- 1.rth.info. Hubschrauberstandorte 2020 [Available from: <https://www.rth.info/basiswissen/basiswissen.php?keyword=bases>. (geöffnet: 23.06.20)
- 2.Medizin D-N. DIN 13050:2015-04. 2015.
- 3.Rheinland-Pfalz RuNGiAdL. Auswertung des bundeseinheitlichen Datensatzes Luftrettung für das Jahr 2018. 2019.
- 4.RTH-Info. <https://www.rth.info/stationen.db/stationen.map.php> (geöffnet: 23.06.20)
- 5.Clade H. Krankenhauswirtschaft: Mehr Spezialisierung und mehr Konzentration. Dtsch Arztebl International. 2012;109.
- 6.e.V. DGfK-uJ. Rettet die Kinderstation. 2014.
- 7.Stiftung B. Zukunftsfähige Krankenhausversorgung: Simulation und Analyse einer Neustrukturierung der Krankenhausversorgung am Beispiel einer Versorgungsregion in Nordrhein-Westfalen. Gütersloh. 2019.
- 8.Weinlich M, Mühlmeier M, Reichert A, Jaki R. Intensivtransport in der Luft. Notfall & Rettungsmedizin. 2001;4(2):93-101.
- 9.Michels G, Blomeyer R. Intensivtransport. Repetitorium Internistische Intensivmedizin: Springer; 2017. p. 741-7.
10. Schlechtriemen T, Reeb R, Schindler K, Altemeyer K. Bodengebundener Intensivtransport. Notfall & Rettungsmedizin. 2000;3(4):225-41.
11. Lichy G, Braun J. Intensivtransport-Grundlagen und Voraussetzungen. AINS-Anästhesiologie· Intensivmedizin· Notfallmedizin· Schmerztherapie. 2016;51(11/12):664-9.
12. Schramm C. Luftgestützter Intensivtransport. In: Hecker U, Schramm C, editors. Praxis des Intensivtransports. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2018. p. 59-64.
13. Koppenberg J, Voelckel W, Albrecht R, Becker S. QM in der Luftrettung. Qualitätsmanagement im prähospitalen Notfallwesen: Springer; 2013. p. 137-48.
14. Gebremichael M, Borg U, Habashi NM, Cottingham C, Cunsolo L, McCunn M, et al. Interhospital transport of the extremely ill patient: the mobile intensive care unit. Critical care medicine. 2000;28(1):79-85.
15. Safford SD, Hayward TZ, Safford KM, Georgiade GS, Rice HE, Skinner MA. A cost and outcomes comparison of a novel integrated pediatric air and ground transportation system. Journal of the American College of Surgeons. 2002;195(6):790-5.
16. Luiz T. Besonderheiten der Luftrettung. Kursbuch Notfallmedizin: orientiert am bundeseinheitlichen Curriculum Zusatzbezeichnung Notfallmedizin. 2011;2:85-110.
17. (NARK) D-NRuK. DIN 13 230-4. 2019.
18. Sanitätsschulenord. Ausbildung im Luftrettungsdienst: Sanitätsschulenord; 2020 [cited 2021 25.03.21]. Available from: <https://www.sanitaetsschulenord.de/ausbildung-zertifizierte-ausbildung-in-der-luftrettung-im-luftrettungsdienst/>.
19. Schlechtriemen T, Ruppert M, Anding K, Hennes H-J, Stratmann D. Empfehlung der BAND zum arztbegleiteten Interhospitaltransport. Der Notarzt. 2003;19(06):215-9.
20. Hecker U, Spengler B, Treutlein J. Organisation und Einsatztaktik. Praxis des Intensivtransports: Springer; 2018. p. 5-46.
21. Vos GD, Nissen AC, Nieman FH, Meurs MM, van Waardenburg DA, Ramsay G, et al. Comparison of interhospital pediatric intensive care transport accompanied by a referring specialist or a specialist retrieval team. Intensive care medicine. 2004;30(2):302-8.
22. Meyer MT, Mikhailov TA, Kuhn EM, Collins MM, Scanlon MC. Pediatric Specialty Transport Teams Are Not Associated With Decreased 48-Hour Pediatric Intensive Care Unit Mortality: A Propensity Analysis of the VPS, LLC Database. Air Med J. 2016;35(2):73-8.
23. Gunnarsson B, Heard CM, Rotta AT, Heard AM, Kourkounis BH, Fletcher JE. Use of a physiologic scoring system during interhospital transport of pediatric patients. Air Med J. 2001;20(4):23-6.

24. Romanzeira JC, Sarinho SW. Quality assessment of neonatal transport performed by the Mobile Emergency Medical Services (SAMU). *Jornal de Pediatria (Versão em Português)*. 2015;91(4):380-5.
25. Cray SH, Heard CM. Transport for paediatric intensive care. Measuring the performance of a specialist transport service. *Paediatr Anaesth*. 1995;5(5):287-92.
26. Smech C. Muskelrelaxantien im Notarztdienst. In: Medizinische Universität Graz AfAA, Notfall- und Intensivmedizin, editor. 2019. p. 14.
27. Kramme RK, H.; . Respiratorisches Monitoring. *Medizintechnik*. 2007:663.
28. Martin Claßen OS. Klinikleitfaden Pädiatrie 2020.
29. Control P. Lifepack 15 Bedienungsanleitung 2020 [
30. Sternbach GL. The Glasgow coma scale. *The Journal of emergency medicine*. 2000;19(1):67-71.
31. Miranda DR, de Rijk A, Schaufeli W. Simplified Therapeutic Intervention Scoring System: the TISS-28 items--results from a multicenter study. *Critical care medicine*. 1996;24(1):64-73.
32. Vivanco-Allende A, Rey C, Concha A, Martínez-Cambor P, Medina A, Mayordomo-Colunga J. Validation of a Therapeutic Intervention Scoring System (TISS-28) in critically ill children. *Anales de Pediatría (English Edition)*. 2020;92(6):339-44.
33. Pollack MM, Patel KM, Ruttimann UE. PRISM III: an updated Pediatric Risk of Mortality score. *Crit Care Med*. 1996;24(5):743-52.
34. Gonzalez-Luis G, Pons M, Cambra FJ, Martin JM, Palomeque A. Use of the Pediatric Risk of Mortality Score as predictor of death and serious neurologic damage in children after submersion. *Pediatr Emerg Care*. 2001;17(6):405-9.
35. Costa GA, Delgado AF, Ferraro A, Okay TS. Application of the pediatric risk of mortality (PRISM) score and determination of mortality risk factors in a tertiary pediatric intensive care unit. *Clinics (Sao Paulo)*. 2010;65(11):1087-92.
36. Pollock E, Ford-Jones EL, Corey M, Barker G, Mindorff CM, Gold R, et al. Use of the Pediatric Risk of Mortality score to predict nosocomial infection in a pediatric intensive care unit. *Crit Care Med*. 1991;19(2):160-5.
37. Ramnarayan P, Dimitriades K, Freeburn L, Kashyap A, Dixon M, Barry PW, et al. Interhospital Transport of Critically Ill Children to PICUs in the United Kingdom and Republic of Ireland: Analysis of an International Dataset. *Pediatr Crit Care Med*. 2018;19(6):e300-e11.
38. Odetola FO, Davis MM, Cohn LM, Clark SJ. Interhospital transfer of critically ill and injured children: an evaluation of transfer patterns, resource utilization, and clinical outcomes. *Journal of hospital medicine*. 2009;4(3):164-70.
39. van der Heide P, Hassing MB, Gemke RJ. Characteristics and outcome of long-stay patients in a paediatric intensive care unit: a case-control study. *Acta Paediatr*. 2004;93(8):1070-4.
40. Bundesamt S. Fortschreibung des Bevölkerungsstandes 2018 [
41. Murswieck A. Sozialstruktur der Vereinigten Staaten von Amerika. *Handbuch Politik USA*: Springer; 2020. p. 105-26.
42. Costa S, Kohlhepp G, Nitschack H, Sangmeister H. Brasilien heute. *Geographischer Raum, Politik, Wirtschaft, Kultur*. 2010;2.
43. Locke T, Rekman J, Brennan M, Nasr A. The impact of transfer on pediatric trauma outcomes. *Journal of pediatric surgery*. 2016;51(5):843-7.
44. Ellsäßer G, Albrecht M. Verletzungsgeschehen im Kindes-und Jugendalter. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz*. 2010;53(10):1104-12.
45. Kawaguchi A, Nielsen CC, G GG, Saunders LD, Yasui Y, DeCaen A. Epidemiology of Pediatric Critical Care Transport in Northern Alberta and the Western Arctic. *Pediatr Crit Care Med*. 2018;19(6):e279-e85.
46. Patel SC, Murphy S, Penfil S, Romeo D, Hertzog JH. Impact of interfacility transport method and specialty teams on outcomes of pediatric trauma patients. *Pediatric emergency care*. 2018;34(7):467-72.

47. Lees M, Elcock M. Safety of interhospital transport of cardiac patients and the need for medical escorts. *Emergency Medicine Australasia*. 2008;20(1):23-31.
48. Orr RA, Felmet KA, Han Y, McCloskey KA, Dragotta MA, Bills DM, et al. Pediatric specialized transport teams are associated with improved outcomes. *Pediatrics*. 2009;124(1):40-8.
49. Rasmussen K, Røislien J, Sollid SJ. Does medical staffing influence perceived safety? An international survey on medical crew models in helicopter emergency medical services. *Air medical journal*. 2018;37(1):29-36.
50. Pajonk F, Gärtner U, Sittlinger H, von Knobelsdorff G, Andresen B, Moecke H. Psychiatrische notfälle aus der sicht von rettungsdienstmitarbeitern. *Notfall & Rettungsmedizin*. 2004;7(3):161-7.
51. Calhoun A, Keller M, Shi J, Brancato C, Donovan K, Kraus D, et al. Do Pediatric Teams Affect Outcomes of Injured Children Requiring Inter-hospital Transport? *Prehospital Emergency Care*. 2017;21(2):192-200.
52. Bartels U. Kindernotfälle. *Der Notarzt*. 2001;17(02):31-6.
53. Brandt MG, Seifried P. Die Bedeutung des Rettungsdienstes bei Verkehrsunfällen mit schädel-hirn-traumatisierten Kindern. Eine retrospektive Auswertung von Notarzteinsatzprotokollen in Bayern. *BERICHTE DER BUNDESANSTALT FÜR STRASSENWESEN UNTERREIHE MENSCH UND SICHERHEIT*. 2002(141).
54. der AGNNW AQ. Notärzte in NRW: Berufszufriedenheit und subjektiver Fortbildungsstand. *Der Notarzt*. 2004;20:133-8.
55. Schneider F, Martin J, Schneider G, Schulz CM. The impact of the patient's initial NACA score on subjective and physiological indicators of workload during pre-hospital emergency care. *PloS one*. 2018;13(8):e0202215.
56. Eich C, Roessler M, Timmermann A, Heuer J, Gentkow U, Albrecht B, et al. Präklinische Kindernotfälle. *Der Anaesthesist*. 2009;58(9):876-83.
57. Mathes A, Larsen R. Transport des beatmeten Patienten. *Beatmung*: Springer; 2018. p. 431-6.
58. Turner DA, Kleinman ME. The use of vasoactive agents via peripheral intravenous access during transport of critically ill infants and children. *Pediatric emergency care*. 2010;26(8):563-6.
59. Becke K, Eberius C, Siebert C, Kretz F-J. *Memorix Kinderanästhesie*: Georg Thieme Verlag; 2011.
60. Edge WE, Kanter RK, Weigle C, Walsh RF. Reduction of morbidity in interhospital transport by specialized pediatric staff. *Critical care medicine*. 1994;22(7):1186-91.
61. Flemming A. Transport of critically-ill patients. *ANASTHESIOLOGIE & INTENSIVMEDIZIN*. 2013;54:59-68.

Anhang

Tabelle 33: Grunderkrankungen die zum Transport führten (aufgeschlüsselt nach den Hauptgruppen des DRG-Codes).

Erkrankungen			
A00-B99	Bestimmte infektiöse und parasitäre Krankheiten	45	3%
C00-D48	Neubildungen	18	1%
	Krankheiten des Blutes und der blutbildenden Organe sowie bestimmte Störungen mit Beteiligung des		
D50-D90	Immunsystems	3	0%
E00-E90	Endokrine, Ernährungs- und Stoffwechselkrankheiten	21	2%
F00-F99	Psychische und Verhaltensstörungen	0	0%
G00-G99	Krankheiten des Nervensystems	128	10%
H00-H59	Krankheiten des Auges und der Augenanhangsgebilde	1	0%
H60-H95	Krankheiten des Ohres und des Warzenfortsatzes	0	0%
I00-I99	Krankheiten des Kreislaufsystems	189	14%
J00-J99	Krankheiten des Atmungssystems	264	20%
K00-K93	Krankheiten des Verdauungssystems	52	4%
L00-L99	Krankheiten der Haut und der Unterhaut	0	0%
	Krankheiten des Muskel-Skelett-Systems und des		
M00-M99	Bindegewebes	1	0%
N00-N99	Krankheiten des Urogenitalsystems	19	1%
O00-O99	Schwangerschaft, Geburt und Wochenbett	3	0%
	Bestimmte Zustände, die ihren Ursprung in der		
P00-P96	Perinatalperiode haben	2	0%
	Angeborene Fehlbildungen, Deformitäten und		
Q00-Q99	Chromosomenanomalien	18	1%
	Symptome und abnorme klinische und Laborbefunde, die		
R00-R99	anderenorts nicht klassifiziert sind	53	4%
	Verletzungen, Vergiftungen und bestimmte andere		
S00-T98	Folgen äußerer Ursachen	473	36%
V01-Y98	Äußere Ursachen von Morbidität und Mortalität	6	0%
	Faktoren, die den Gesundheitszustand beeinflussen und		
Z00-Z99	zur Inanspruchnahme des Gesundheitswesens führen	4	0%
U00-U85	Schlüsselnummern für besondere Zwecke	0	0%

Empfehlungen der DIVI zur ärztlichen Qualifikation im Intensivtransport.

- Drei Jahre klinische Weiterbildung in einem Fachgebiet mit intensivmedizinischen Versorgungsaufgaben
- Zusätzlich sechs Monate nachweisbare Vollzeittätigkeit auf einer Intensivstation
- Qualifikation für den Einsatz als Notarzt nach landesrechtlichen Vorschriften der Ärztekammer (Zusatzbezeichnung Notfallmedizin)
- Kurs Intensivtransport

Abbildung 7: Empfehlungen der DIVI zur ärztlichen Qualifikation im Intensivtransport (aus (61))

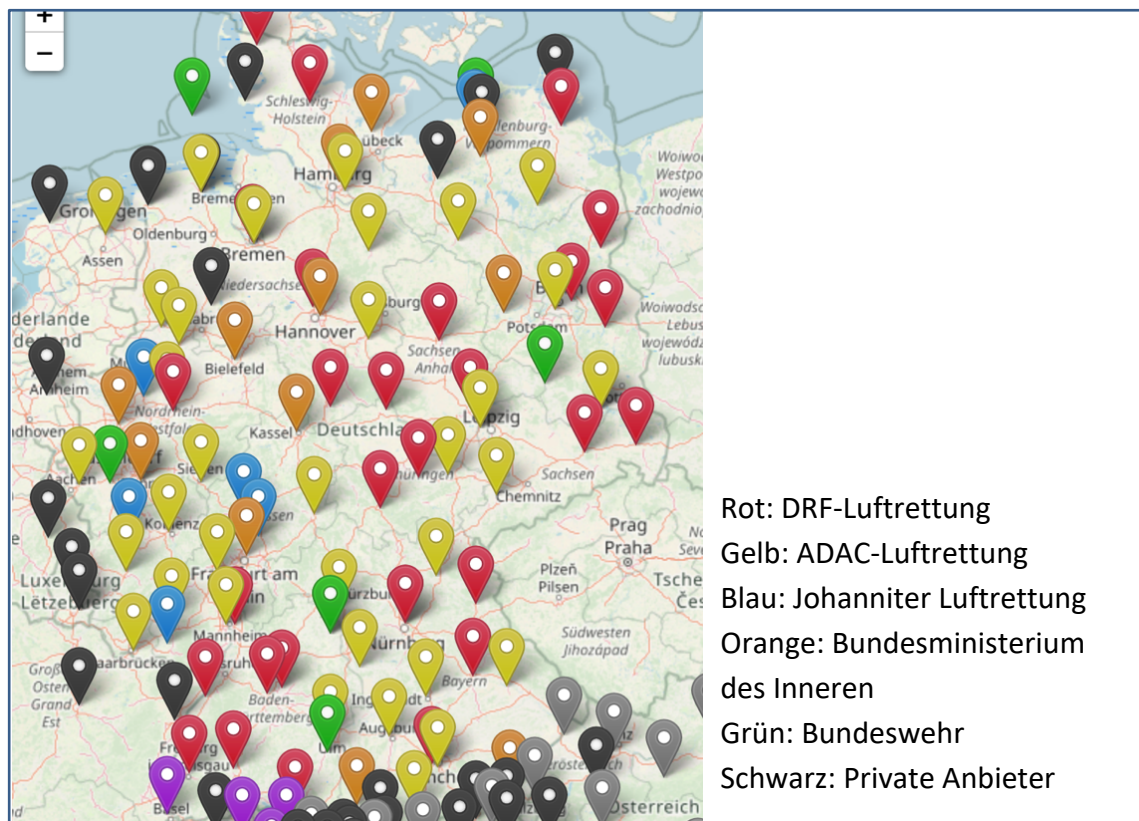


Abbildung 8: Standorte der deutschen Rettungshubschrauber (aus (1))

Publikationen

Abstract zum Vortrag bei der 54. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Pädiatrische Kardiologie und Angeborene Herzfehler e.V.:

The hemodynamic stability of critically ill pediatric patients with cardiovascular diseases during interhospital air ambulance transport

Purpose: To determine the hemodynamic stability in critically ill pediatric patients with cardiovascular diseases during interhospital transport by air ambulance.

Method: Retrospective analysis of pediatric air ambulance transportation performed by a German air rescue service from January 2015 until December 2018. Data was analyzed from the electronic documentation system and included diagnosis groups, hemodynamic parameters, medication, medical interventions, specialty and training of the air ambulance doctor, technical transport parameters and incidents during transport.

Results: Of the 1300 children transported in the four-year period, 189 (15%) children suffered from cardiovascular diseases. They thus accounted for the third largest group of main diagnoses leading to airborne transport (trauma/accidents 473 (36%), respiratory diseases 264 (20%)). Children with cardiovascular diseases were younger (2,52 years vs. 3,45 years; $p \leq 0,0001$) and sicker than the others (mean NACA-Score 4,5 vs. 3,98; $p \leq 0,0001$). In this subgroup, the mean transport distance was also further (114km vs. 102km; $p=0,103$) and more transports were accompanied by an additional pediatrician (25% vs. 14%; $p \leq 0,0001$).

Although the hemodynamic parameters of patients with cardiovascular diseases were significantly worse than those with other conditions, vital signs remained stable or improved during transport. The analysis of the subgroup revealed some significant, although clinically less important, differences. Hemodynamic parameters before and after transport: saturation (94%, vs. 95%; $p < 0,0001$), respiratory rate (24 vs. 24/min; $p=1,0$), systolic blood pressure (104 vs. 104 mmHg; $p=0,88$), heart rate (121 vs 119/min; $p=0,023$), GCS (10,51 vs. 10,52; $p=0,723$). Our vital sign score also showed that patients' health status improved on average during transport ($p=0.001$).

Only 24 (2%) of the 1300 patients experienced adverse events during transport. Of these, 13 were patient-related incidents and 11 were equipment failures.

Conclusion: The analysis of this huge and unique cohort of critically ill patients revealed that modern air ambulance intensive transportation service in Germany is safe and effective and does not compromise hemodynamic stability of the critically ill patients. Patients with primary cardiovascular diagnoses were sicker than the other patients, nevertheless this had no effect on the safety of the transportation.

Danksagungen

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. med. Nikolaus Haas für die Überlassung des Themas und für die gute Unterstützung bei allen auftretenden inhaltlichen und organisatorischen Problemen.

Ebenso danke ich der DRF-Luftrettung und deren Mitarbeitern für die Überlassung der Daten, insbesondere Dr. med. Andreas Bayer und Dr. med. Ulf Aschenbrenner für die Unterstützung in der Zusammenstellung des Datensatzes und der Hilfe bei der Auswahl alltagsrelevanter Fragestellungen.

Dr. med. Matthias Hübner danke ich für die Grundidee der Promotionsschrift. Dr. med. Marcus Fischer und Leonie Arnold danke ich für die Betreuung meiner Arbeit und für die fundierte Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Ganz besonders möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die immer ein offenes Ohr für mich hatten und mich in jeder Hinsicht unterstützt haben.

Zu guter Letzt danke ich herzlich meiner Freundin Johanna und ihrem Bruder Frederick für die unendliche Geduld und kritische Unterstützung, die mir bei der Beendigung der Arbeit sehr geholfen haben.

Eidesstattliche Versicherung

Ich, Paul Rudolf Rohr, erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

„Hämodynamische Stabilität von Kindern unter intensivmedizinischen Bedingungen während des Lufttransports“

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, den 06. Oktober 2022

Paul Rudolf Rohr