

Aus der Klinik für Neurologie der Universität zu Lübeck

Direktor: Prof. Dr. med. Jens Minnerup

**Potenzielle Auswirkungen einer Mobilen Stroke Unit auf
Schlaganfallpatientinnen und -patienten mit
Rekanalisationstherapien**

eine dänisch-deutsche Analyse



Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der Universität zu Lübeck
- Aus der Sektion Medizin -

vorgelegt von
Susanna Tiemann
aus Berlin

Köln 2025

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Georg Royl

Ko-Betreuer: Prof. Dr. med. Karl-Friedrich Klotz

2. Berichterstatterin: Prof. Dr. rer. nat. Annika Waldmann

Tag der mündlichen Prüfung: 14.04.2026

Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 17.04.2026

Promotionskommission der Sektion Medizin

gewidmet meiner Mutter Kathrin Bluhm.

Inhaltsverzeichnis

I.	Abbildungsverzeichnis	IX
II.	Tabellenverzeichnis	IX
III.	Abkürzungsverzeichnis	X
1.	Einleitung	1
1.1.	<i>Definition</i>	1
1.2.	<i>Epidemiologie</i>	1
1.3.	<i>Symptome</i>	2
1.3.1.	Ischämischer Schlaganfall	2
1.3.2.	Hämorrhagischer Schlaganfall	3
1.4.	<i>Ätiologie</i>	3
1.5.	<i>Pathogenese</i>	4
1.6.	<i>Diagnostik</i>	6
1.7.	<i>Bewertung des Schweregrades einer zerebralen Ischämie</i>	7
1.7.1.	The National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS)	7
1.7.2.	Modifizierte Rankin-Skala (mRS)	9
1.8.	<i>Prinzipien der Schlaganfalltherapie</i>	9
1.8.1.	Thrombolyse	9
1.8.2.	Mechanische Rekanalisation (Thrombektomie)	10
1.9.	<i>Finanzieller Faktor</i>	11
1.10.	<i>Behinderungskorrigierte Lebensjahre – DALYs</i>	12
1.11.	<i>Qualitätskorrigierte Lebensjahre - QALYs</i>	12
1.12.	<i>Krankenhauslandschaft in Dänemark und Deutschland</i>	13
1.13.	<i>Das Konzept Mobile Stroke Unit (MSU)</i>	14
1.14.	<i>Die beispielhafte Versorgung von Schlaganfallpatientinnen und Schlaganfallpatienten im Großraum Lübeck</i>	16
1.15.	<i>Fragestellung und Zielsetzung dieser Arbeit</i>	16
2.	Material und Methoden	19
2.1.	<i>Aufbau der Studie</i>	19
2.2.	<i>Datenerhebung</i>	20
2.2.1.	Beurteilung des klinischen Verlaufs	22
2.3.	<i>Datenverarbeitung</i>	23
2.3.1.	Visualisierung Patientendaten und Transportwege	23
2.3.2.	Nelder-Mead Optimierung	24
2.3.3.	Ermittlung MSU-Transportzeiten	25
2.3.4.	Berechnung DALYs	25
3.	Ergebnisse	27

3.1.	<i>Charakterisierung der Kohorten</i>	27
3.2.	<i>Patientenpfade</i>	28
3.3.	<i>Gegenüberstellung der Transportzeiten</i>	30
3.4.	<i>Effekt einer potenziellen MSU</i>	33
4.	Diskussion	36
4.1.	<i>Studienkohorte</i>	36
4.2.	<i>Unterschiede und Gemeinsamkeiten Rettungskette Dänemark vs. Deutschland</i>	38
4.3.	<i>Potenzieller Nutzen durch eine MSU</i>	39
4.4.	<i>Limitationen der Studie</i>	39
4.4.1.	Limitationen der Datenerhebung & Methodik	39
4.4.2.	Limitationen in der Berechnung der DALYs & Kosteneffizienz	42
4.5.	<i>Ausblick</i>	44
4.5.1.	Digitalisierung und künstliche Intelligenz	44
4.5.2.	Neue Technologien für die Patientenevaluierung am Einsatzort	45
4.5.3.	Prävention	45
5.	Zusammenfassung	46
6.	Literaturverzeichnis	48
7.	Anhang	64
8.	Danksagung	68

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flowchart der Studienpopulation: Angabe der vordefinierten Ausschlüsse	22
Abbildung 2: Primäre und sekundäre Einsatzpfade der Rettungswagen	24
Abbildung 3: Patientenpfade mit optimiertem Standort einer MSU	30
Abbildung 4: Zeitachse von Notruf bis Leistenpunktion	33
Abbildung 5: Vorhersage jährlicher DALYs, die durch Umsetzung der MSU vermieden werden können	35
Abbildung 6A: Primäres Rettungsdienstprotokoll	64
Abbildung 7A: Sekundäres Rettungsdienstprotokoll	65
Abbildung 8A: Lyse Protokoll des UKSH Lübeck, Klinik für Neurologie, National Institutes of Health Stroke Scale	66

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: TOAST-Skala: Ätiologie des ischämischen Schlaganfalls	4
Tabelle 2: National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS)	8
Tabelle 3: Modifizierte Rankin-Skala bei Schlaganfall (mRS)	9
Tabelle 4: Charakteristika der zwei Kohorten	28
Tabelle 5: Vergleich realer Einsatzzeiten vs. hypothetische MSU	32

III. Abkürzungsverzeichnis

A	Arteria
Aa	Arteriae
Abb	Abbildung
AIS	Akuter ischämischer Schlaganfall
API	Application Programming Interface
ASA	American Stroke Association
ATP	Adenosintriphosphat
BIP	Bruttoinlandsprodukt
cCT	Kraniale Computertomografie
CSV	Comma-Separated-Values
CT	Computertomografie
CT-A	Computertomografische Angiografie
DALYs	Disability-Adjusted Life Years
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DSG	Deutsche Schlaganfallgesellschaft
dt	Deutsch
DTN	Door to Needle
EKG	Elektrokardiogramm
EU	Europäische Union
FAST	Face-Arm-Speech-Time
ICB	Intrazerebrale Blutung
KI	Künstliche Intelligenz
lat	Lateinisch
mRS	Modifizierte Rankin Skala
NIHSS	National Institutes of Health Stroke Scale
UKSH	Universitätsklinikum Schleswig-Holstein
PPP	Purchasing Power Parity
QALYs	Quality Adjusted Life Years

rt-PA	Recombinant Tissue Plasminogen Activator
SAB	Subarachnoidalblutung
Tab	Tabelle
TIA	Transitorische ischämische Attacke
TOAST	Trial of Org in Acute Stroke Treatment

1. Einleitung

1.1. Definition

Der Schlaganfall stellt die häufigste und klinisch bedeutsamste Form zerebrovaskulärer Erkrankungen dar [1]. Ein neurologisches Defizit tritt in Folge einer Unterbrechung der Blut- und somit Sauerstoffzufuhr im Rahmen eines ischämischen oder hämorrhagischen Ereignisses auf. In etwa 80% der Fälle liegt ein ischämischer Schlaganfall vor, der durch den akuten Verschluss eines zerebralen Gefäßes verursacht wird. Deutlich seltener treten intrazerebrale Blutungen (10–12%) oder Subarachnoidalblutungen (SAB) (ca. 3%) auf [2].

Die „American Stroke Association“ (ASA) fasst den ischämischen Schlaganfall unter dem übergeordneten Begriff des „Infarkts des Zentralen Nervensystems“ zusammen. Darunter wird ein ischämisch bedingter Zelltod in Gehirn, Rückenmark oder Netzhaut verstanden, der durch pathologische, bildgebende und/oder klinische Befunde nachgewiesen werden kann und dessen Symptome über ≥ 24 h anhalten oder zum Tod führen [3]. Abzugrenzen ist hiervon die transitorisch ischämische Attacke (TIA), bei der ebenfalls ein ischämisches Geschehen vorliegt, allerdings ohne nachweisbare strukturelle Hirnschädigung und mit vollständig reversibler Symptomatik [3,4]. Diese stellt eine vorübergehende Episode fokaler neurologischer Funktionsstörungen dar, verursacht durch eine Ischämie im Bereich des Gehirns, Rückenmarks oder der Netzhaut, jedoch ohne Anzeichen eines akuten Infarkts [5].

1.2. Epidemiologie

Weltweit zählt der Schlaganfall zu den häufigsten Todesursachen und ist eine der zentralen Ursachen für langfristige funktionelle Einschränkungen im Erwachsenenalter [1,6]. Innerhalb des ersten Jahres nach dem Ereignis versterben etwa 25–33% der Betroffenen [7]. Laut den Ergebnissen der Studie GEDA 2014/2015-EHIS berichteten 1.6% der erwachsenen Bevölkerung in Deutschland, im zurückliegenden Jahr entweder selbst einen Schlaganfall erlebt oder unter dessen anhaltenden gesundheitlichen Folgen gelitten zu haben [7]. Obwohl Männer eine höhere altersbezogene Inzidenz und Sterblichkeit im Zusammenhang mit

Schlaganfällen aufweisen, sind Frauen insgesamt häufiger betroffen. Dies lässt sich durch ihre höhere Lebenserwartung und die Zunahme von Schlaganfällen mit steigendem Alter erklären [8].

Vergleichbar mit dem Rückgang der Sterblichkeit bei der koronaren Herzkrankheit [9] sind auch die altersadjustierten Schlaganfall-Mortalitätsraten in Deutschland zwischen 1998 und 2008 gesunken [10]. Dies ist vermutlich auf Fortschritte in Prävention und Behandlung zurückzuführen [6]. Durch den demografischen Wandel nimmt die absolute Zahl der Schlaganfallpatientinnen und -patienten trotz sinkender Sterblichkeitsraten weiter zu [7].

1.3. Symptome

1.3.1. Ischämischer Schlaganfall

Beim akut ischämischen Schlaganfall (AIS) handelt es sich um eine plötzlich einsetzende Durchblutungsstörung im arteriellen Stromgebiet des Gehirns, die zu fokal-neurologischen Ausfällen führt [4]. Abhängig von Schweregrad und Dauer der Durchblutungsstörung können die neurologischen Symptome als TIA, als vollendeter Infarkt oder als progredienter Infarkt auftreten [4]. Die klinische Präsentation erlaubt häufig Rückschlüsse auf das betroffene Versorgungsgebiet. Die arterielle Hirnversorgung erfolgt primär über die beiden Arteriae (Aa.) carotides internae sowie die Aa. vertebrales, die gemeinsam den Circulus arteriosus cerebri (Willisii) speisen. Funktionell wird zwischen der vorderen Zirkulation (ca. 85 % aller ischämischen Schlaganfälle) und der hinteren Zirkulation (etwa 10 %) unterschieden [4].

Ischämische Schlaganfälle betreffen besonders häufig das Stromgebiet der Arteria (A.) cerebri media. Typischerweise äußert sich dies in einer halbseitigen sensomotorischen Symptomatik auf der Gegenseite der Läsion [4]. Bei linkshemisphärischen Infarkten treten zusätzlich häufig Störungen der Sprache (Aphasien), der Sprechmotorik (Dysarthrie) sowie neuropsychologische Syndrome wie Bewegungsstörungen (Apraxien) auf. Bei einer Läsion der rechten Hemisphäre kommt es häufig zu visuell-räumlichen Störungen und zum Neglect der linken Körper- und Raumseite. Infarkte der A. cerebri anterior treten vergleichsweise selten auf. Klinisch dominieren hier kontralaterale, beinbetonte sensomotorische Ausfälle,

gegebenenfalls begleitet von Antriebsstörungen oder Blasenentleerungsstörungen [4].

Hirnfarkte im Bereich der vertebrobasilären Strombahn (hintere Zirkulation) betreffen häufig den Hirnstamm und das Kleinhirn. Typische Symptome sind Schwindel, Nystagmus, Doppelbilder, Tonusverlust und Ataxie [4]. Besonders der Verschluss der A. basilaris, häufig infolge einer Basilaristhrombose, gilt als akut lebensbedrohlich und ist mit einer hohen Mortalität verbunden [11]. Typischerweise treten eine Vigilanzminderung, ausgeprägte motorische Ausfälle sowie klinische Zeichen einer Hirnstammbeteiligung auf [12].

Die kontralaterale homonyme Hemianopsie ist pathognomonisch für einen Verschluss der A. cerebri posterior. Sie versorgt zudem Thalamus, Corpus geniculatum laterale und obere Hirnstammanteile. Daher können vielfältige Symptome auftreten, darunter Apathie, Desorientiertheit, Hemineglect, Hemiataxie sowie Gedächtnisstörungen, Blickparesen und Okulomotorikstörungen [4,13].

1.3.2. Hämorrhagischer Schlaganfall

Hämorrhagische Schlaganfälle lassen sich in zwei Hauptformen unterteilen: die intrazerebrale Blutung (ICB), bei der es zu einer Einblutung in das Hirnparenchym kommt, und die SAB, bei der Blut in den liquorgefüllten Raum zwischen Arachnoidea und Pia mater austritt [14]. Je nach Lokalisation und Ausdehnung entwickeln sich vegetative Anzeichen wie Kopfschmerz, Erbrechen, Halbseitenlähmung und fokale Anfälle. Oft treten Bewusstseinsstörungen als Anzeichen der schweren intrakraniellen Drucksteigerung auf [4]. Das Leitsymptom für die SAB ist der plötzlich eintretende, holozepale Vernichtungskopfschmerz, der bis in den Nacken ausstrahlen kann [15].

1.4. Ätiologie

Ein Großteil der Risikofaktoren, die zur Entstehung eines Schlaganfalls beitragen, ist auch bei kardiovaskulären Erkrankungen relevant. Es wird zwischen nichtmodifizierbare Faktoren (Alter, Geschlecht, genetische Disposition) und modifizierbare Faktoren unterschieden. Zu den Hauptrisikofaktoren für einen Schlaganfall zählen die arterielle Hypertonie, kardiale Ursachen (Persistierendes

Foramen ovale, Vorhofflimmern, vorangegangener Myokardinfarkt, Kardiomyopathie, Herzklappenerkrankung, Sick-Sinus-Syndrom), Nikotinabusus, Diabetes mellitus, Hypercholesterinämie, Ernährung, Bewegungsmangel, Taille-Hüfte-Verhältnis, psychosoziale Faktoren und der Alkoholkonsum [4,16]. Die TOAST-Kriterien (Trial of Org in Acute Stroke Treatment) klassifizieren die Ursachen eines ischämischen Schlaganfalls anhand klinischer Untersuchung und apparativer Diagnostik nach den wahrscheinlichsten Pathophysiologien [17]. Es werden zwischen fünf verschiedenen Kategorien unterschieden: Makroangiopathie, Mikroangiopathie, kadioembolische Genese, andere sowie unbekannte Ätiologie [17]. Ihre Häufigkeit und Kriterien sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: TOAST-Skala: Ätiologie des ischämischen Schlaganfalls

Genese	Häufigkeit	Kriterien
Makroangiopathie	21 %	- Kortikaler oder subkortikaler Infarkt > 1.5 cm - Stenose > 50% oder Verschluss einer hirnversorgenden Arterie
Kardio-embolisch	26 %	- Kortikaler oder subkortikaler Infarkt > 1.5 cm - Nachgewiesene kadioembolische Quelle (Vorhofflimmern, mechanische Herzklappe)
Mikroangiopathie/ lakunär	21 %	- Lakunärer Infarkt < 1.5 cm - Kein Nachweis einer Stenose einer präzerebralen Arterie oder einer kadio-embolischen Quelle
Andere Ursache	3 %	- Keine Zuordnung zu den Gruppen 1-3 - Z.B. Hyperkoagulabilität, hämatologische Erkrankung, nicht-arteriosklerotische Vaskulopathie, Dissektion
Unbekannte Ursache	29 %	- Keine oder ≥ 2 Ursachen gefunden

Eigene Darstellung nach [17,18]

1.5. Pathogenese

Das menschliche Gehirn hat einen sehr hohen Energiebedarf. Unter normalen Bedingungen beträgt die Hirndurchblutung ca. 50 ml/100 g Hirngewebe pro Minute, wobei für die graue Substanz eine höhere Durchblutung als für die weiße Substanz gemessen wird [19]. Obwohl das Gehirn nur etwa 1–2 % des Körpergewichts ausmacht (bei einem durchschnittlichen Gewicht von ca. 1400 g), beansprucht es rund 15 % des Herzzeitvolumens [20]. Der mittlere Sauerstoffverbrauch liegt bei etwa 3 ml/100 g Hirngewebe pro Minute. Insgesamt entspricht dies etwa 15 % des

gesamten Energiebedarfs des Körpers [19]. Das Hirngewebe ist zur Energiegewinnung nahezu ausschließlich auf die oxidative Phosphorylierung angewiesen [21]. Eine fokale Beeinträchtigung des zerebralen Blutflusses schränkt die Versorgung mit Substraten wie Sauerstoff und Glukose ein [22]. Diese Minderversorgung, als Ischämie bezeichnet, führt zu irreparablen Schäden und beeinträchtigt die für die Aufrechterhaltung von Ionengradienten erforderliche Energieversorgung [21]. Es wird zwischen mehreren kritischen Flussraten unterschieden: Zunächst wird die Proteinsynthese gehemmt (bei einem Schwellenwert von etwa 0.55 ml/g/min), gefolgt von einer Stimulation der anaeroben Glykolyse (bei ca. 0.35 ml/g/min), der Freisetzung von Neurotransmittern und der beginnenden Störung des Energiestoffwechsels (bei etwa 0.20 ml/g/min) und schließlich der anoxischen Depolarisation (<0.15 ml/g/min) [23]. Bei diesen Flusswerten kommt es neben dem Funktionsausfall der betroffenen Nervenzellen zu einem akuten Mangel an Energieträgern (ATP) und innerhalb von wenigen Minuten zur Infarzierung des Gewebes. Es entsteht ein Infarktkern. In Analogie zur halbschattigen Zone um das Zentrum einer totalen Sonnenfinsternis wird der funktionell, aber noch nicht strukturell geschädigte Bereich, als lat. Penumbra (dt. Halbschatten) bezeichnet [24,25]. Die Penumbra ist somit das „Tissue at Risk“, d.h. das Gehirngewebe, das bedroht, aber noch zu retten ist. In diesem Areal wird noch genügend ATP bereitgestellt, um das Membranpotenzial aufrecht zu halten [23]. Mit zunehmender Ischämiedauer steigen die Schwellenwerte für ATP-Erschöpfung und anoxische Depolarisation. Der Infarktkern dehnt sich in die Penumbra aus [26].

Die Hirnschädigung infolge einer fokalen Ischämie entwickelt sich entlang zweier grundlegend unterschiedlicher Pathophysiologien, die vom Schweregrad der primären Flussreduktion und der Dynamik der postischämischen Rezirkulation abhängen [27]. Bei permanenter fokaler Ischämie ist die primäre Kernschädigung irreversibel, aber die Ausdehnung des Kerns in die Penumbra kann durch hämodynamische und molekulare Interventionen gemildert werden. Besonders entscheidend ist dabei der frühe Behandlungszeitpunkt: In der sogenannten „goldenen Stunde der Ischämie“ kann die Penumbra bis zu 50 % des gesamten ischämischen Areals ausmachen. Dies bietet ein hohes therapeutisches Potenzial [28]. Das therapeutische Fenster liegt bei etwa 3 bis 4.5 h, entsprechend der Zeit, bis der ischämische Kern sein maximales Volumen erreicht hat [27]. Daraus ergibt

sich eine zentrale pathophysiologische Konsequenz: Je früher die zerebrale Perfusion wiederhergestellt oder verbessert wird, desto mehr Hirngewebe kann gerettet und die neurologische Schädigung begrenzt werden.

1.6. Diagnostik

Das Krankheitsbild des Schlaganfalls ist als zeitkritischer, medizinischer Notfall anzusehen. An erster Stelle steht prähospital die Sicherung der Vitalfunktionen, das vollständige Monitoring und eine fokussierte (Fremd-)Anamnese, um den genauen Zeitpunkt des Symptombeginns zu bestimmen. Als schnelles Screening am Einsatzort eignet sich für das Rettungsdienstpersonal, aber auch für Ersthelfende der FAST-Test (Face-Arm-Speech-Time) [2,29]. Im Anschluss sind ein zügiger Transport und die frühzeitige Voranmeldung in der Notaufnahme essenziell, um eine unverzügliche bildgebende Diagnostik einzuleiten [29,30]. Zunächst erfolgt eine kraniale Computertomografie (cCT), mit deren Hilfe zwischen einem ischämischen und einem hämorrhagischen Ereignis unterschieden werden kann. Eine frische Blutung lässt sich hierbei unmittelbar darstellen. Bleibt der Blutungsnachweis aus, ist von einer akuten Ischämie auszugehen, woraufhin in der Regel eine kontrastmittelgestützte Gefäßdarstellung, CT-Angiografie (CTA), zur Evaluation der weiteren Therapie eingeleitet wird. In der Notaufnahme erfolgt standardmäßig eine Labordiagnostik und ein Ruhe-Elektrokardiogramm (EKG), um insbesondere eine kardioembolische Ursache des Schlaganfalls ausschließen zu können.

Bei klinisch nicht eindeutig beurteilbaren Fällen, einem unbekanntem Zeitfenster oder zur Unterstützung der Therapieentscheidung kann ergänzend eine Perfusionsbildgebung mittels CT oder Magnetresonanztomographie erfolgen (4).

1.7. Bewertung des Schweregrades einer zerebralen Ischämie

1.7.1. The National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS)

Die National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS) ist ein etabliertes und standardisiertes Einstufungssystem zur Quantifizierung der fokalneurologischen Defizite bei Personen mit Schlaganfall (Tab. 2) [31]. Anwendung findet sie sowohl in der Akutdiagnostik als auch im weiteren Verlauf zur Evaluation des neurologischen Status. Die NIHSS erfasst zentrale Bestandteile der neurologischen Untersuchung, darunter den Bewusstseinsstatus, Augenbewegungen, das Gesichtsfeld, mimische Lähmungen, Sprach- und Sprechfunktionen, Sensibilität, motorische Fähigkeiten, Koordination sowie das Vorliegen eines Neglect. Sie ist schnell zu erheben und verfügt über eine gut belegte Reliabilität und Validität [32,33]. Die Skala reicht von 0 Punkten (keine Beeinträchtigung) bis 42 Punkten (maximale Beeinträchtigung). Die NIHSS korreliert gut mit dem computertomografisch gemessenen Infarktvolume nach sieben Tagen sowie dem Outcome der behandelten Personen nach drei Monaten und dient damit der prognostischen Abschätzung [31].

Im Anhang (Abb. 8A) findet sich ein beispielhaftes Akutprotokoll der Klinik für Neurologie am Universitätsklinikum Schleswig-Holstein (UKSH) Campus Lübeck, in dem auch die NIHSS festgehalten wird. Die wichtigsten Informationen zu den Zeitintervallen in der Schlaganfallversorgung sind hier zusammengefasst.

Tabelle 2: National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS)

NIHSS-Kategorie	Punkte	
1a Bewusstseinsgrad	0 1 2 3	Wach Benommen Stupöros Komatös
1b Bewusstseinsgrad Frage nach Monat + Alter	0 1 2	Beide Fragen richtig beantwortet Eine Frage richtig beantwortet Keine Frage richtig beantwortet
1c Bewusstseinsgrad Befehle Augen/Hände öffnen/schließen	0 1 2	Beide Befehle richtig ausgeführt Einen Befehl richtig ausgeführt Keinen Befehl richtig ausgeführt
2 Augenbewegung	0 1 2	Normal Partielle Blickparese Starke Abweichung oder totale Blickparese
3 Gesichtsfeld	0 1 2 3	Normal Partielle Hemianopsie Komplette Hemianopsie Beidseitige Hemianopsie/Blindheit
4 Faszialisparese	0 1 2 3	Normale symmetrische Bewegung Geringe Parese Partielle Parese des unteren Gesichts Komplette Parese ein-/beidseits
5 Motorik Arm	0 1 2 3 4	Kein Absinken über 10 Sekunden (Sek.) Arm sinkt ab (<10 Sek.), Unterlage nicht berührt Anheben gegen Schwerkraft möglich Kein Anheben gegen Schwerkraft möglich Keine Bewegung möglich
6 Motorik Bein	0 1 2 3 4	Kein Absinken über 10 Sek. Bein sinkt ab (<10 Sek.), Unterlage nicht berührt Anheben gegen Schwerkraft möglich Kein Anheben gegen Schwerkraft möglich Keine Bewegung möglich
7 Extremitätenataxie	0 1 2	Fehlend In einer Extremität vorhanden In zwei Extremitäten vorhanden
8 Sensibilität	0 1 2	Normal Leicht bis mittelschwerer Verlust Schwerer bis vollständiger Verlust
9 Aphasie	0 1 2 3	Normal Leicht bis mittelschwer Schwer Stumm, globale Aphasie
10 Dysarthrie	0 1 2	Normal Leicht bis mittelschwer Schwer/unverständlich bis stumm
11 Neglect	0 1 2	Kein Neglect Neglect visuell, taktil oder auditiv Kompletter halbseitiger Neglect in mehr als einer Modalität

Eigene Darstellung nach [31]

1.7.2. Modifizierte Rankin-Skala (mRS)

Die 1957 erstmals entwickelte Rankin-Skala, benannt nach Dr. John Rankin [34], umfasst die fünf Schweregrade der Behinderung nach einem Schlaganfall, die von "keine signifikante Beeinträchtigung" bis "schwere Beeinträchtigung" reichen [35]. Sie wurde 1980 im Rahmen der UK-TIA-Studie (United Kingdom Transient Ischaemic Attack-Studie) modifiziert [36,37] und ist ein angewandtes Maß für die globale Behinderung (Tab. 3). Außerdem wird sie in der Regel als primärer Endpunkt in randomisierten klinischen Studien zu neuen Schlaganfallbehandlungen verwendet [38].

Tabelle 3: Modifizierte Rankin-Skala bei Schlaganfall (mRS)

Grad	Ausmaß der Behinderung nach einem Schlaganfall
0	keine Symptome
1	keine relevante Beeinträchtigung trotz Symptomen (Alltagsaktivitäten möglich)
2	leichte Beeinträchtigung (kann sich ohne Hilfe versorgen)
3	mäßige Beeinträchtigung (hilfebedürftig im Alltag, ohne Hilfe gehfähig)
4	mäßig schwere Beeinträchtigung (ohne Hilfe gehunfähig, hilfebedürftig bei der Körperpflege)
5	schwere Behinderung (bettlägerig, inkontinent, pflegebedürftig)
6	Tod

Eigene Darstellung nach [37]

1.8. Prinzipien der Schlaganfalltherapie

1.8.1. Thrombolyse

In der klinischen Praxis werden Personen mit Verdacht auf Schlaganfall vom Rettungsdienst in das nächstgelegene Krankenhaus transportiert. Dort erfolgt eine diagnostische Abklärung sowie gegebenenfalls eine gewichtsadaptierte, intravenöse Behandlung mit Alteplase (rt-PA - recombinant tissue plasminogen activator) oder Tenecteplase. Diese systemische Lysetherapie hat sich als effektive Behandlung des akuten ischämischen Schlaganfalls etabliert und konnte das Risiko für Pflegebedürftigkeit oder Tod nachweislich senken [39].

Der Nutzen von rt-PA bei einer Behandlung innerhalb der ersten "goldenen Stunde" (die ersten 60 Minuten nach Symptombeginn mit maximalem Behandlungseffekt) am größten und nimmt mit zunehmender Zeit bis zur Behandlung ab [40,41]. Der Thrombus selbst unterliegt dynamischen Veränderungen und die Fibrinarchitektur im Thrombus ändert sich während der Ausbildung rasch. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Thrombus durch die fibrinolytische Wirkung von rt-PA infolge von Diffusion in sein Inneres aufgelöst wird, nimmt mit zunehmender Zeit und fortschreitender Thrombusbildung ab [42]. Die Dosierung von 0.9 mg rtPA/kg KG gilt in den ersten 4.5 h als effektiv und sicher [29,43]. Vor Beginn der Thrombolysetherapie muss zwingend eine intrazerebrale Blutung ausgeschlossen werden, da diese sich klinisch ähnlich wie ein ischämischer Schlaganfall präsentieren kann. Zudem sind mögliche weitere Kontraindikationen wie ein kürzliches Trauma, Gerinnungsstörungen, maligne Erkrankungen oder Gefäßmalformationen sorgfältig abzuklären [44].

1.8.2. Mechanische Rekanalisation (Thrombektomie)

Ziel der mechanischen Rekanalisation ist die endovaskuläre Entfernung eines Gefäßthrombus, um die zerebrale Perfusion rasch und möglichst vollständig wiederherzustellen. Zu diesem Zweck werden verschiedene Verfahren, u.a. der sogenannte Stent-Retriever, eingesetzt [4,45]. Dabei handelt es sich um einen selbstexpandierenden Drahtkäfig, der über einen Mikrokatheter unter radiologischer Kontrolle von der Leiste aus vorgeschoben wird [45]. Er wird im Thrombus geöffnet, wo er einen Strömungskanal schafft. Um den Thrombus vollständig zu entfernen, wird das System anschließend unter Aspiration zurückgezogen, was in den meisten Fällen eine vollständige Rekanalisation des betroffenen Gefäßes ermöglicht [4]. Mehrere randomisierte Studien konnten, neben einer sehr hohen Rekanalisationsrate durch den Einsatz von Stent-Retrievern, auch eine eindrucksvolle, statistisch signifikante Verbesserung des Behandlungsergebnisses nach 90 Tagen belegen [46–49]. Auch Veröffentlichungen der ASA belegen die Evidenz zur klinischen Wirksamkeit endovaskulärer Behandlungen [50]. Doch ebenso wie die Thrombolyse mit rt-PA ist die endovaskuläre Therapie sehr zeitkritisch [47]. Um das funktionelle Outcome zu optimieren, sollte die Rekanalisation idealerweise innerhalb der ersten sechs Stunden nach

Symptombeginn erfolgen [50]. Liegt der Symptombeginn außerhalb des regulären Zeitfensters, kann eine mechanische Thrombektomie bei relevanten Gefäßverschlüssen dennoch erfolgen, sofern erweiterte Bildgebungsverfahren (z.B. Darstellung eines kleinen Infarktkerns, Mismatch, Kollateraldarstellung) in Zusammenschau mit der Klinik auf das Vorliegen von noch zu rettendem Gewebe hinweisen [29,51–53].

Schätzungen zeigen, dass mit jeder 30-minütigen Verzögerung vor der Reperfusion durch eine intraarterielle Behandlung die relative Wahrscheinlichkeit eines guten klinischen Ergebnisses um etwa 15 % abnimmt [54,55].

Die mechanische Rekanalisation ist außerdem sinnvoll bei Patientinnen und Patienten, bei denen eine intravenöse Thrombolysetherapie aufgrund einer wirksamen Antikoagulation oder einer kürzlich erfolgten Operation kontraindiziert oder nicht möglich ist. Wenn sich in der Bildgebung ein Gefäßverschluss zeigt, müssen die Betroffenen in ein entsprechendes spezialisiertes neurovaskuläres Zentrum mit interventioneller Neuroradiologie und neurologischer Intensivmedizin verlegt werden. Zeitverzögerungen durch interklinische Verlegungen verringern die Erfolgchancen der Rekanalisation und verschlechtern damit das Behandlungsergebnis [50].

1.9. Finanzieller Faktor

Die Erhebung von Inzidenz und Krankheitsfolgen des Schlaganfalls in der Bevölkerung bildet eine wesentliche Grundlage für die Einschätzung des zukünftigen Versorgungsbedarfs und spielt eine entscheidende Rolle in der gesundheitspolitischen Planung [56]. Die Zahl der Schlaganfallbetroffenen und die Gesundheitskosten des Schlaganfalls in Deutschland werden kontinuierlich ansteigen. Daher sollten die Schlaganfallprävention und die Verringerung der durch Schlaganfälle bedingten Behinderungen prioritär in der Planungspolitik berücksichtigt werden [56].

Vor allem in den ersten drei Monaten nach dem akuten Ereignis sind die Kosten aufgrund von stationärer Therapie und Rehabilitation hoch. Die Kosten steigen mit dem Schweregrad der Behinderung und des neurologischen Defizits [57].

Die errechneten Lebenszeitkosten pro Schlaganfall belaufen sich durchschnittlich auf 43129 EUR [58]. Auf Grundlage der prognostizierten Alters- und Geschlechtsentwicklung der deutschen Bevölkerung ist im Zeitraum von 2006 bis 2025 mit rund 3.4 Millionen neuen ischämischen Schlaganfällen zu rechnen. Dies entspräche anfallenden Kosten in Höhe von 108.6 Milliarden EUR für das Gesundheitssystem [58].

1.10. Behinderungskorrigierte Lebensjahre – DALYs

Die Bewertung der Gesundheitssituation in der Bevölkerung erfolgt traditionell auf der Grundlage von Mortalitätsdaten sowie, sofern verfügbar, der Prävalenz und/oder Inzidenz von Krankheiten. Es wurde ein neuer Ansatz zur Quantifizierung der Krankheitslast entwickelt, der sowohl den vorzeitigen Tod als auch die nicht tödlichen Gesundheitsfolgen von Krankheiten und Verletzungen berücksichtigt [59]. Das Konzept der Krankheitslast basiert auf einer inzidenzbasierten Perspektive und schätzt die Anzahl der durch vorzeitigen Tod verlorenen Lebensjahre und der mit Behinderung verbrachten Lebensjahre, die infolge neuer Krankheitsfälle oder Verletzungen entstehen. Diese beiden Komponenten bilden die Gesamtzahl der behinderungs- bzw. krankheitskorrigierten Lebensjahre (DALYs - disability-adjusted life years) [60].

1.11. Qualitätskorrigierte Lebensjahre - QALYs

In der Medizin lag der Fokus lange Zeit ausschließlich auf der maximalen Verlängerung der Lebenszeit, die durch therapeutische Maßnahmen erreicht werden konnte [61]. Allerdings sollte das Kosten-Nutzen-Verhältnis einer medizinischen Behandlung neben der eigentlichen Lebenserwartung auch die Lebensqualität der Patientinnen und Patienten als Ergebnis berücksichtigen [61]. Dieses Verhältnis beschreibt den Preis einer Gesundheitsintervention, sei es präventiv, kurativ, bevölkerungsbezogen oder klinisch, im Vergleich zu einer alternativen Intervention [62].

Eine Komplexitätsreduktion dieses Problems kann mit Hilfe des Konzepts der qualitätskorrigierten Lebensjahre (QALYs quality-adjusted life-years) erfolgen. Hier werden die Attribute Restlebenserwartung (quantitative Komponente) und Lebensqualität (qualitative Komponente) zu einem einzigen Maß kombiniert. Das

Konzept der Kosteneffizienz in Verbindung mit der Lebensqualität von Patientinnen und Patienten wurde erstmals von Klarman et al. (1968) im Rahmen einer Untersuchung zu Therapieoptionen bei chronischem Nierenversagen aufgegriffen [63]. In dieser Studie berichteten die Autoren eine etwa 25 % höhere Lebensqualität nach Nierentransplantation im Vergleich zur ausschließlichen Dialysetherapie [61]. Erstmals wurden in diesem Zusammenhang die Kosten nicht nur für ein zusätzlich gewonnenes Lebensjahr, sondern auch für ein qualitätskorrigiertes Lebensjahr berechnet. QALYs sind in Situationen geeignet, in denen die Lebensqualität das entscheidende Ergebnis der Gesundheitsversorgung ist und wenn eine gemeinsame Maßeinheit für den Vergleich zwischen verschiedenen Arten von Interventionen und Behandlungen benötigt wird [62]. Sowohl QALYs als auch DALYs vereinen Aspekte von Morbidität und Mortalität, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich ihres ursprünglichen Ziels und der Berechnungsweise [62].

1.12. Krankenhauslandschaft in Dänemark und Deutschland

Die Krankenhauslandschaften Deutschlands und Dänemarks befinden sich in einem Strukturwandel [64,65]. Im Jahr 2007 führte Dänemark eine Strukturreform des öffentlichen Sektors ein, die eine administrative und politische Neuorganisation des Gesundheitswesens beinhaltete [66]. Aufgrund dieser Strukturreform wurden 13 Landkreise durch fünf Regionen ersetzt, die die politische und administrative Verantwortung für den Gesundheitssektor übernahmen. Teil der Reform war die Schließung vieler kleiner Krankenhäuser zugunsten von 16 sogenannten Superkrankenhäusern, mit dem Ziel, die Versorgungsqualität durch Bündelung medizinischer Expertise zu verbessern und gleichzeitig Kosten zu reduzieren. Ein zentraler Bestandteil der Reform ist die Zusammenlegung spezialisierter Funktionen in weniger, dafür größere Einheiten. Die Modernisierung der Krankenhauskapazitäten setzt auf nachhaltige Spezialisierung und Flexibilität, um flächendeckend den Zugang zu modernen Gesundheitsdienstleistungen zu sichern. Bei der allgemeinen Behandlung im Krankenhaus sowie bei spezialisierten Leistungen lässt sich die Qualität der Versorgung steigern [67]. Dänemark investierte seit 2007 über 6.4 Milliarden Euro in diese neuen Großprojekte [64,66].

Auch in Deutschland unterliegt die Krankenhauslandschaft seit Jahren einem tiefgreifenden Wandel, der Struktur, Finanzierung, personelle Ausstattung und

Versorgungsschwerpunkte umfasst. Seit 1991 hat sich die Anzahl der Krankenhäuser von 2400 auf 1900 verringert [68]. Mit der Zentralisierung der Krankenhäuser soll die flächendeckende medizinische Versorgung gewährleistet sowie durch Spezialisierung die Behandlungsqualität und Effizienz gesteigert werden [69]. In diesem Zusammenhang plant die Bundesregierung im Rahmen der Krankenhausreform die Einführung eines neuen Systems aus Leistungsgruppen und Versorgungsstufen (Level 1 bis 3), das eine stärkere Differenzierung zwischen Grund-, Regel- und Maximalversorgung vorsieht. Ein zentrales Problem bleibt der anhaltende Investitionsstau, da die Bundesländer ihrer Pflicht zur Finanzierung baulicher und technischer Krankenhausausrüstung vielfach nicht ausreichend nachkommen [70]. Auch der Mangel an qualifiziertem Personal, insbesondere in der Pflege, stellt eine Herausforderung für die Umsetzung der Reformziele dar. Zugleich sollen vermehrt ambulante Versorgungsangebote geschaffen werden, um den stationären Bereich zu entlasten [69].

Dänemark ist im Rahmen dieser Arbeit ein wertvoller Vergleichspartner. Anders als Deutschland setzte Dänemark bereits früh Strukturreformen um und gilt international als Vorbild für eine zentralisierte und digitalisierte Krankenhauslandschaft. Für die Bewertung neuer Versorgungskonzepte in ländlichen Regionen bietet der dänische Weg im Hinblick auf Erreichbarkeit, Behandlungsqualität und Effizienz einen wichtigen Mehrwert. Deutschland hingegen befindet sich noch in einem Prozess, bei dem viele strukturelle und ökonomische Hindernisse überwunden werden müssen.

1.13. Das Konzept Mobile Stroke Unit (MSU)

Für eine optimale Versorgung von Schlaganfallpatientinnen und -patienten ist eine enge, leitlinienkonforme Abstimmung zwischen Rettungsdienst, Pflege, Neurologie und Neuroradiologie unerlässlich. Vor Einleitung der Therapie sind in der Regel wiederholte Evaluationen, klinische Untersuchungen sowie der strukturierte Austausch von Patientendaten an verschiedenen Schnittstellen notwendig [29,70]. Die konventionelle Rettungskette ist deutlich zeitaufwändiger und fehleranfälliger, da sie durch unterschiedliche Schnittstellen und aufeinanderfolgende Arbeitsschritte geprägt ist, die zu Verzögerungen im Ablauf führen. Obwohl

zahlreiche Maßnahmen zur Verbesserung der prä- und intrahospitalen Prozesse implementiert wurden, bleiben die Thrombolyseraten im Versorgungsalltag weiterhin vergleichsweise gering [71].

Die Quantifizierung des potenziellen Nutzens für Schlaganfallbetroffene durch eine schnell zugeführte Therapie könnte die Praxisänderung mit dem neuen Modell der akuten Schlaganfallversorgung fördern. Im Mittelpunkt steht dabei der Einsatz einer mobilen Schlaganfalleinheit (MSU). Die Fahrzeuge sind mit einem Computertomografen, einem Point-of-Care Labor, geschultem Personal und geeigneten Medikamenten ausgestattet, sodass nach Ausschluss von Kontraindikationen die Thrombolyse direkt vor Ort begonnen werden kann [72]. Ihr Ziel ist die Bereitstellung einer hochmodernen, prähospitalen Diagnostik und Behandlung sowie eine diagnosebasierte Triage und der anschließende Transport in ein Krankenhaus mit Stroke Unit (spezialisierte Schlaganfallstation) und Möglichkeit zur Durchführung einer Thrombektomie. Zu den Behandlungen der MSU gehören die Thrombolyse bei akuter zerebraler Ischämie, die Umkehrung der Gerinnungshemmung bei akuter intrakranieller Blutung und das Management kardiovaskulärer und respiratorischer Komplikationen bei ischämischem wie hämorrhagischem Schlaganfall. So wird die spezialisierte Schlaganfallversorgung auf die prähospitalen Phase erweitert und könnte gemeinsam mit den Schlaganfallstationen die bestehende Versorgungslücke bei akuten Schlaganfällen schließen [71].

Das MSU-Konzept verkürzt nicht nur die Transportzeiten vor und im Krankenhaus, sondern reduziert auch Verzögerungen an den Schnittstellen der Versorgung. An einem Ort führt ein einziges spezialisiertes, interdisziplinäres Team, bestehend aus Rettungskräften, Ärztinnen und Ärzten, Pflegefachpersonen und medizintechnischem Personal, die gesamte Diagnostik und Akutbehandlung in einem parallelen Arbeitsablauf durch [71].

Ebinger et al. (2021) und Grotta et al. (2021) haben in großen kontrollierten klinischen Studien die Evidenz des MSU-Konzepts nachgewiesen, indem sie ein signifikant besseres funktionelles Ergebnis mit geringerer globaler Behinderung bei Schlaganfallbetroffenen belegen konnten [73–75]. Es hat sich gezeigt, dass die MSU-Behandlung auch bei Personen mit TIA und hämorrhagischem Schlaganfall

das Outcome verbessert [76]. Eine Meta-Analyse ergab eine 65-prozentige Erhöhung der Chancen auf ein verbessertes funktionelles Ergebnis und eine Verkürzung der Zeit bis zur Thrombolyse um etwa 30 min [77]. Die aktuelle Leitlinie der Europäischen Schlaganfallorganisation empfiehlt daher die Evaluation einer MSU-Implementierung zur Optimierung der Schlaganfallversorgung [72].

1.14. Die beispielhafte Versorgung von Schlaganfallpatientinnen und Schlaganfallpatienten im Großraum Lübeck

Im Rahmen der Regelversorgung kann im Raum Lübeck und Umgebung die Entscheidung für eine Reperfusionstherapie erst nach Eintreffen im Krankenhaus getroffen werden. Die Patientinnen und Patienten werden am Einsatzort von einem Rettungswagen und ggf. notärztlichem Personal aufgefunden, untersucht und in ein nächstgelegenes Krankenhaus zur erweiterten Diagnostik transportiert. Dies entspricht dem primären Rettungsdiensteinsatz. Für spezielle Behandlungen, einschließlich mechanischer Thrombektomie und Neurochirurgie, ist häufig eine Verlegung in ein spezialisiertes Zentrum erforderlich. Somit kann es zu einem weiteren Transport, dem sekundären Rettungsdiensteinsatz, kommen.

Um die Übernahme der schwer betroffenen Personen mit Schlaganfall effektiv zu organisieren, hat das UKSH das Schlaganfallnetzwerk Schleswig-Holstein Süd gegründet. Zwischen 2014 und 2020 gehörten folgende Kliniken zum Netzwerk: Eutin, Oldenburg in Holstein, Neustadt in Holstein, Wismar, Bad Segeberg, Bad Oldesloe, Ratzeburg und die Sana Kliniken Lübeck [78]. Diese Kliniken verlegen die Patientinnen und Patienten mit einem akuten Gefäßverschluss nach erfolgter Bildgebung und Therapieentscheidung in das UKSH Lübeck. Inzwischen sind auch in Bad Segeberg und in Neustadt in Holstein zwei weitere Thrombektomiezentren eingerichtet worden. Diese jüngeren Entwicklungen werden in der Diskussion berücksichtigt.

1.15. Fragestellung und Zielsetzung dieser Arbeit

Entscheidend dafür, ob Erkrankte nach einem Schlaganfall versterben, pflegebedürftig werden oder in ihr vorheriges Leben zurückkehren können, ist vor allem der Faktor Zeit. Durch eine frühzeitige Reperfusion bei schwerem ischämischem Schlaganfall können durchschnittlich zwei Millionen Neuronen pro

Minute gerettet werden [79]. Klinisch hängen die Behandlungsergebnisse maßgeblich vom Alter, dem Schweregrad des Schlaganfalls und der zeitlichen Verzögerung der Therapie ab. Statistisch gesehen kann jede Minute, die vom Beginn des Schlaganfalls bis zur Akuttherapie verstreicht, den Verlust von behinderungs- bzw. krankheitskorrigierten Lebensjahren sowohl bei der Thrombolyse [79] als auch bei der mechanischen Thrombektomie [80] verhindern. Der Schlaganfall stellt mit einer jährlichen Inzidenz von 1.12 Millionen eine große Belastung für die Europäische Union dar und verursacht jährlich 7.06 Millionen DALYs [81]. Ein effektives Zusammenspiel innerhalb der Rettungskette, von der Alarmierung über den Transport bis hin zur ärztlichen Behandlung, ist daher essenziell für ein optimales Behandlungsergebnis. Dafür ist es wichtig, regionale Zuweisungsstrukturen zwischen neurovaskuläre Zentren mit interventioneller Neuroradiologie, neurologischer Intensivmedizin und kleineren Krankenhäusern in der Region zu optimieren [78].

Vor diesem Hintergrund kooperierte das UKSH mit dem Universitätsklinikum Roskilde in Dänemark. Beide Kliniken übernehmen zahlreiche sekundäre Rettungseinsätze für Menschen mit Schlaganfall aus vergleichbar strukturierten, überwiegend ländlichen Regionen südlich und nördlich des Fehmarnbelts. Im Rahmen des EU-Programms „Interreg Deutschland-Dänemark“ [82] untersuchten die Projektpartner, wie die Schlaganfallversorgung in diesen Regionen organisiert ist, an welchen Punkten Verbesserungen möglich wären und ob die Implementierung einer MSU unter den gegebenen Rahmenbedingungen sinnvoll wäre [78,83].

Im Mittelpunkt dieses Zusammenspiels steht der Einsatz einer MSU, die in der Lage ist, vor Ort eine CT durchzuführen [72]. Das vor zwei Jahrzehnten eingeführte Konzept [84] hat gezeigt, dass eine MSU die Zeit bis zur Behandlungsentscheidung [85], zur Thrombolyse [86] und aufgrund der Verfügbarkeit der CT-A vor Ort und der besseren Triage bis zur mechanischen Thrombektomie [87] verkürzen kann.

Die Kosten, die bei der Anschaffung einer MSU, der Ausbildung des Personals im Rettungsdienst und den Kliniken sowie der Aufstellung spezieller Infrastruktur entstehen, müssen vorab durch präzise Analysen auf ihre Effizienz geprüft werden.

Ein neues MSU-Projekt muss die bestehende regionale Infrastruktur der Schlaganfallversorgung berücksichtigen. Dazu zählen unter anderem die regionale Schlaganfallinzidenz, die Standortdichte von Krankenhäusern mit Thrombolysekapazitäten und Einrichtungen, die eine mechanische Thrombektomie anbieten. Im Gegensatz zu Dänemark mit seinem zentralisierten Gesundheitssystem verfügt Deutschland über eine größere Zahl weniger spezialisierter Krankenhäuser, was insbesondere für Patientinnen und Patienten in ländlichen Gebieten den Vorteil kürzerer Fahrtzeiten zur Primärklinik bietet [88]. Dieser Unterschied kann sich auf die Zeit bis zur Thrombolyse und mechanischen Thrombektomie auswirken. Das Ziel dieser Arbeit ist eine parallele Bewertung einer zukünftigen MSU-Implementierung in ähnlichen und benachbarten Regionen in Süddänemark und Norddeutschland.

Mit den gleichen Methoden wurden die Behandlungsfade der aktuellen Schlaganfallpatientinnen und -patienten analysiert und diese Daten genutzt, um einen optimalen Standort für eine zukünftige MSU zu finden. Um mögliche Vorteile zu quantifizieren und zu vergleichen, wurde der Effekt einer MSU auf die Zeit bis zur Behandlung sowie auf die vermiedenen DALYs für jede Region geschätzt.

2. Material und Methoden

2.1. Aufbau der Studie

Für diese retrospektive Beobachtungsstudie wurden klinische Standarddaten analysiert, die routinemäßig zu Zwecken des Qualitätsmanagements an zwei Schlaganfallzentren mit hohem Behandlungsaufkommen in der dänischen und deutschen Grenzregion des Fehmarnbelts erhoben wurden. Die Studie wurde in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki und nach positiver Genehmigung der lokalen Ethikkommissionen durchgeführt. Das dänische Zentrum war das Universitätskrankenhaus, Campus Roskilde, das deutsche Zentrum war das UKSH, Campus Lübeck. Um die Schlaganfallversorgung zu gewährleisten und zu optimieren, haben beide Zentren lokale Register für alle behandelten Personen eingerichtet, die mit Thrombolyse und/oder Thrombektomie therapiert wurden. Im Rahmen der klinischen Routine wurden, soweit dokumentiert, alle relevanten Zeitpunkte vom Beginn des Schlaganfalls bis zum Beginn der Akuttherapie erfasst.

Das UKSH, Campus Lübeck, besitzt eine umfassende Infrastruktur zur Behandlung von Menschen mit Schlaganfall. Diese umfasst eine überregionale Stroke Unit mit zehn Betten, zertifiziert durch die Deutsche Schlaganfall-Gesellschaft (DSG), eine neurologische Intensivstation mit 14 Betten, die durchgehend neuroradiologisch-interventionelle Therapien ermöglicht, sowie eine eigene neurochirurgische Abteilung. Die Bevölkerungsdichte der beiden Regionen ist von vergleichbarer Größenordnung: 145 / km² in der deutschen Region [89] und 120 / km² in der dänischen Region [90].

Die Krankenhauslandschaft und die Zuweisung zur Schlaganfalltherapie unterscheiden sich in den Einzugsgebieten der beiden Zentren. Die in das dänische Zentrum eingelieferten Patientinnen und Patienten wurden direkt durch den Rettungsdienst transportiert, ohne dass zuvor ein Krankenhaus involviert war. Daher fungiert das dänische Zentrum als primäres Krankenhaus im Schlaganfallversorgungspfad, in dem eine erste Bildgebung durchgeführt wird, gefolgt von der Entscheidung über Thrombolyse oder Thrombektomie. Die Thrombolyse wird im Primärkrankenhaus verabreicht. Ist eine Thrombektomie

indiziert, erfolgt der Sekundärtransport in das kooperierende Thrombektomiezentrum an der Universität Kopenhagen.

In Deutschland hingegen werden etwa ein Drittel der Betroffenen, die eine thrombolytische Therapie erhalten, von einem der acht Primärkrankenhäuser innerhalb der deutschen Studienregion zum UKSH, Campus Lübeck verlegt. In diesen Primärkrankenhäusern wird eine Bildgebung durchgeführt und, falls indiziert, eine Thrombolyse eingeleitet, gefolgt von einem Sekundärtransport in das Thrombektomiezentrum.

2.2. Datenerhebung

Grundlage der deutschen Datenerhebung bildet eine prospektiv geführte Schlaganfall-Datenbank der Klinik für Neurologie am UKSH, Campus Lübeck. Für die Analyse wurden retrospektiv alle Personen eingeschlossen, die in den Jahren 2014 bis 2020 sekundärverlegt am UKSH, Campus Lübeck und von 2018 bis 2021 sekundärverlegt vom Universitätskrankenhaus Roskilde mit einer Thrombektomie behandelt worden sind. Ziel dieser Studie war es, einen hochpräzisen hypothetischen MSU-Pfad für Menschen mit Schlaganfall zu beschreiben, die einen sekundären Transport zur mechanischen Thrombektomie in jeder Region benötigen. Daher wurden die Register beider Zentren nach Fällen mit einer vollständigen und detaillierten Dokumentation der prähospitalen Behandlung durchsucht. Dazu gehören die genaue Position, an der die betreffende Person aufgefunden wurde, sowie die folgenden Zeitstempel: letzter Zeitpunkt ohne Symptome (last seen well), Zeitpunkt des Notrufs 112 (Notruf in Deutschland und Dänemark), Ankunft des Rettungsdienstes am Einsatzort, Ankunft des Rettungsdienstes im Primärkrankenhaus, Zeitpunkt der CT-Untersuchung, Beginn der Thrombolyse (falls zutreffend), Abfahrt des Sekundärtransports zum Thrombektomiezentrum, Ankunft des Sekundärtransports im Thrombektomiezentrum, Beginn der Thrombektomie (Leistenpunktion/door-to-groin puncture) und die finale Rekanalisation (groin puncture-to-reperfusion).

Instrumente und Quellen zur Datenerhebung auf deutscher Seite waren das Patientenverwaltungsprogramm ORBIS (Dedalus HealthCare, Bonn, Deutschland),

das Datenverwaltungsprogramm Enaio (Optimal Systems GmbH, Berlin, Deutschland) und das neurologische Archiv, in dem alle Originalakten in Papierform lagern. Arztbriefe, Thrombolyse- und Thrombektomieprotokolle, die im Picture Archiving and Communication System (PACS, Dedalus HealthCare, Bonn, Deutschland) gespeicherten Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)-Daten zur Erfassung des Zeitpunkts der Bildgebung, Aufnahmezeiten im ORBIS, NIHSS-Outcomebögen und Verlaufsberichte wurden analysiert und mit Hilfe von Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, USA) in einer Tabelle zusammengefasst. Personenbezogene Daten wurden bei Erhebung pseudonymisiert und vor der Auswertung anonymisiert verarbeitet.

Da die Dokumentation in der dänischen Region erst kürzlich digitalisiert wurde, wurde ein hoher Prozentsatz der Fälle mit dokumentierter Abfahrtszeit des Rettungsdienstes zum Primärkrankenhaus in die Studie aufgenommen. In der deutschen Region wurde diese Abfahrtszeit rekonstruiert, indem die geschätzte Fahrtzeit von der Ankunftszeit im Primärkrankenhaus abgezogen wurde. Weitere klinische Standardparameter, die routinemäßig im Register dokumentiert und in die vorliegende Studie aufgenommen wurden, waren Alter, Geschlecht, NIHSS bei Aufnahme im Primärkrankenhaus, anteriorer Schlaganfall (A. carotis interna, M1, M2) und posteriorer Schlaganfall (A. basilaris, A. cerebri posterior). Einschlusskriterien für beide Kohorten waren ambulante Schlaganfälle, bei denen ein sekundärer Transport zur Thrombektomie erforderlich war (Abb. 1). Ausschlusskriterien waren Lufttransporte und/oder eine unvollständige Dokumentation des prähospitalen Managements hinsichtlich der oben genannten Parameter.

In der dänischen Region wurden alle 127 konsekutiven Fälle mit sekundärem Transport zur Thrombektomie vom 01/2018 bis 04/2021 gescreent. Dank des hohen Dokumentationsniveaus durch die fortgeschrittene Digitalisierung mussten nur sechs Personen aufgrund einer unvollständigen Prähospital-Dokumentation ausgeschlossen werden.

Um eine akzeptable Kohortengröße zu erreichen, wurden in Lübeck alle 318 konsekutiven Patientinnen und Patienten mit sekundärem Transport zur Thrombektomie von 01/2014 bis 01/2020 gescreent. Zwei Personen wurden

ausgeschlossen, weil ihr Transport luftgebunden erfolgte. Darüber hinaus wurden 236 Betroffene wegen unzureichender Prähospital-Dokumentation ausgeschlossen. Als Ergebnis des Screening-Prozesses betrug die Größe der Studienkohorte 80 deutsche und 121 dänische Behandlungsfälle (Abb. 1).

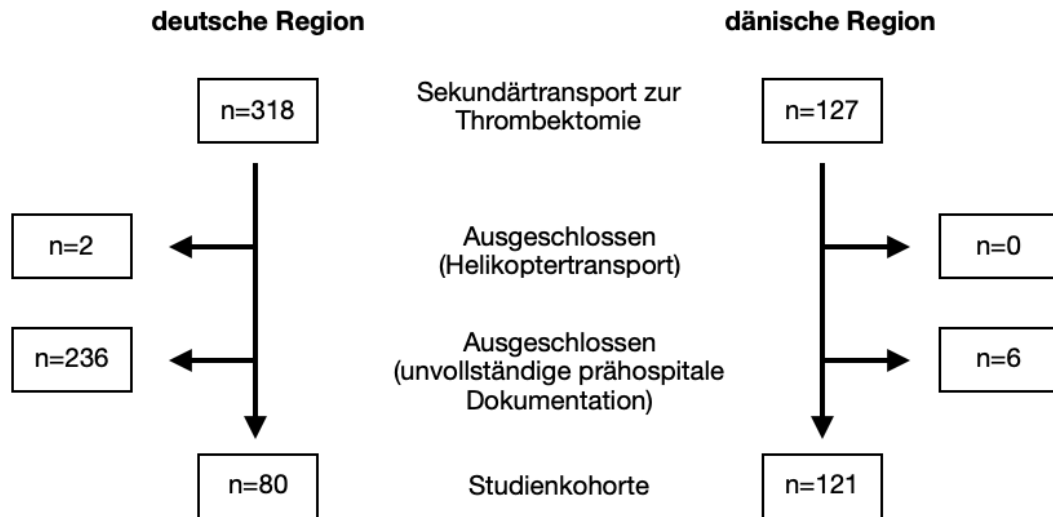


Abbildung 1: Flowchart der Studienpopulation: Angabe der vordefinierten Ausschlüsse

2.2.1. Beurteilung des klinischen Verlaufs

Zur Beurteilung des klinischen Verlaufs und Outcomes der behandelten Schlaganfälle wurden in dieser Studie zwei etablierte Messinstrumente herangezogen: die NIHSS und die mRS. In einzelnen Fällen erfolgte die Erhebung retrospektiv auf Basis ärztlicher Dokumentation, insbesondere anhand neurologischer Befunde in Arztbriefen und Krankenakten. Für beide Skalen ist belegt, dass auch eine retrospektive Anwendung eine gute Validität und Reliabilität aufweist [91,92].

2.3. Datenverarbeitung

Um den Effekt einer MSU innerhalb jeder Region zu schätzen, wurden zwei Hauptanalyseschritte durchgeführt. Im ersten Schritt wurden die hypothetischen Fahrtzeiten vom jeweiligen Einsatzort zum Thrombektomiezentrum unter Umgehung des Primärkrankenhauses ermittelt. In beiden Regionen stehen mehrere Rettungswagen zur Verfügung, von denen jeweils der nächstgelegene zum Einsatzort beordert wird. Im Gegensatz dazu sieht die vorliegende Simulation den Einsatz einer MSU pro Region vor. Daher musste die zusätzliche Fahrtzeit für die MSU zum Ort des Symptombeginns berücksichtigt werden. Anhand der erfassten Aufenthaltsorte und Fahrzeiten wurde der optimale MSU-Standort für jede Region ermittelt.

2.3.1. Visualisierung Patientendaten und Transportwege

Die Daten wurden mit Hilfe der Programmiersprache Python, der Entwicklungsumgebung Jupyter Notebook und der Open-Source-Bibliothek pandas vorab normiert und in ein CSV-Dateiformat überführt. Unter Verwendung des Python-Clients für Google Maps Services (Google, Mountain View, USA) wurden zu allen Adressen der Einsatzorte und der Krankenhäuser detaillierte Adressinformationen abgefragt. So gelang es, standardisiert und einheitlich die Daten der Längen- und Breitengrade aufzuführen [93].

Die so gewonnenen Koordinaten konnten anschließend mit Mapbox (Mapbox, San Francisco, USA) und OpenStreetMap (OpenStreetMap Foundation, London, Vereinigtes Königreich) sowie den Open-Source-Bibliotheken Plotly (Plotly, Montreal, Kanada) und GeoPandas (GeoPandas Development Team, global) auf eine Karte aufgetragen und wiederum durch Routenabfragen an die Google Maps API (Google, Mountain View, USA) als Polygonzüge miteinander verbunden werden. So erfolgte die Darstellung der Krankenhauslandschaft, der Ausgangspunkte der erkrankten Personen und des optimierten MSU-Standorts (Abb. 2).

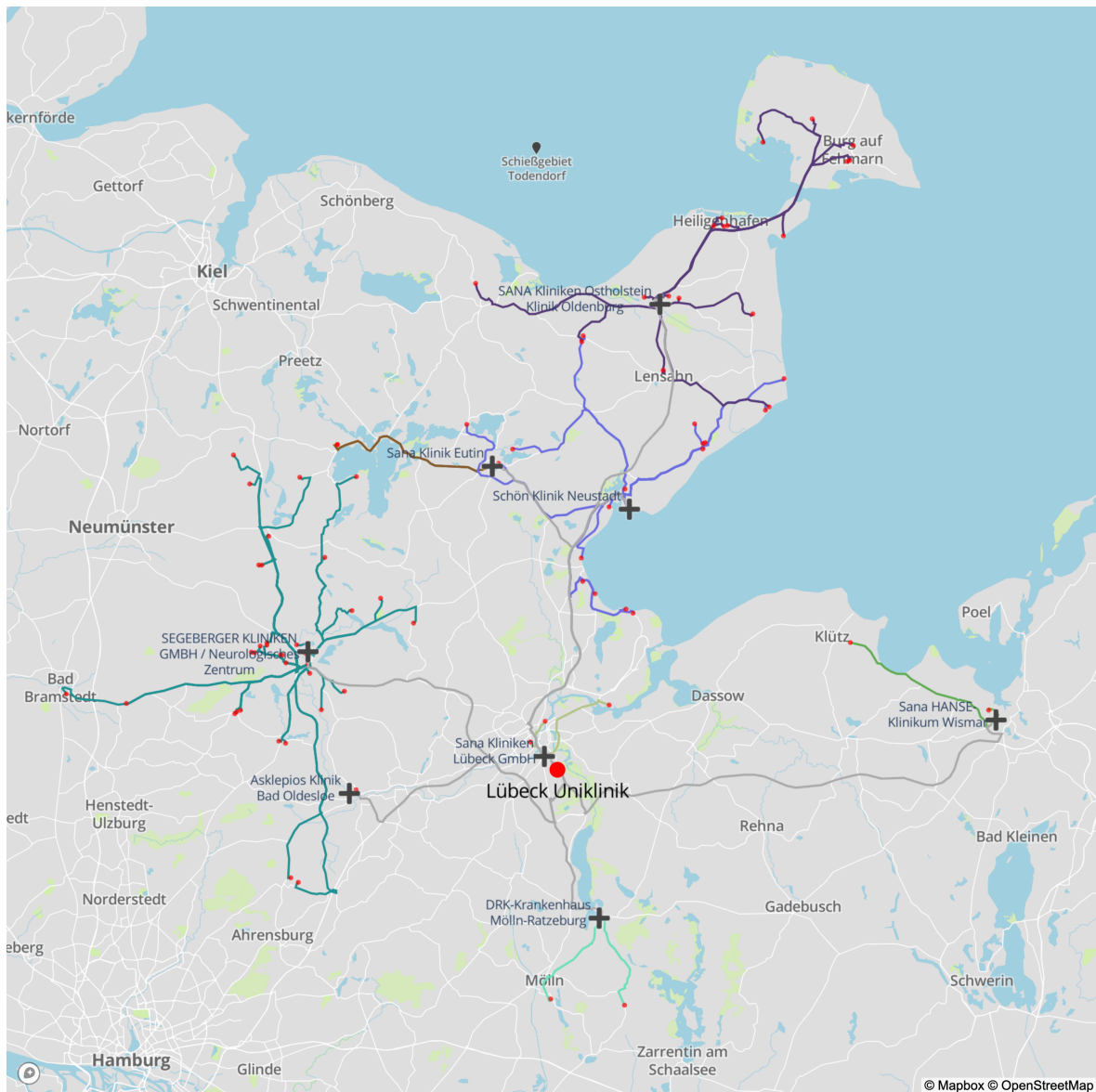


Abbildung 2: Primäre und sekundäre Einsatzpfade der Rettungswagen

Farblich einheitlich hervorgehobene Einsatzwege der Rettungswagen vom Einsatzort zum primären Krankenhaus (graues Plus), in grau untermalt der sekundäre Transportweg in das UKSH (roter Punkt)

2.3.2. Nelder-Mead Optimierung

Für die Ermittlung des optimalen Standorts für eine MSU wurde jener Ort berechnet, an dem die größte Zeitersparnis in den Einsätzen erzielt werden konnte. Die Zeitersparnisse in Abhängigkeit von der MSU-Platzierung sind maximiert, wenn die initiale Anfahrt zum Schlaganfallereignis minimal ist. Die Nelder-Mead Optimierung ermöglicht die iterative Optimierung ohne Gradienten mithilfe einer Verlustfunktion. Sie wurde 1965 von John Nelder und Roger Mead entwickelt und ist eine Art

heuristische Suchmethode mit Simplex-Konzept [94]. Verwendung findet sie in der Regel bei nichtlinearen Optimierungsproblemen, bei denen die Ableitung unbekannt ist und bei denen es darum geht, den minimalen oder maximalen Wert der Zielfunktion in einem mehrdimensionalen Raum zu finden [95]. Die Optimierung wurde im geometrischen Mittelwert der Datenpunkte begonnen. Nelder-Mead bildet ein Dreieck und ermittelt für jeden Punkt die akkumulierte Anfahrtszeit. Anschließend verschiebt der Algorithmus den Punkt im Dreieck mit dem schlechtesten Wert und verbessert sich so iterativ.

2.3.3. Ermittlung MSU-Transportzeiten

Der Zeitunterschied für jede behandelte Person, der auf dem hypothetischen MSU-Weg statt auf dem realen Weg erzielt wird, wurde für relevante Zwischenschritte nach dem ersten Notruf (Ankunft am Einsatzort, Beginn der Thrombolyse, Abfahrt zum und Ankunft im Thrombektomiezentrum, Leistenpunktion) ermittelt. Eine angenommene Zeit von 29 min vom Eintreffen der MSU bis zum Beginn der Thrombolyse wurde von Sheikhi et al. (2018) abgeleitet [96]. Zum Vergleich der beiden Gruppen wurden das 50. Perzentil (Median) sowie das 25. und 75. Perzentil (Q1; Q3) berechnet. Entsprechend wurden die eingesparten Minuten bis zur Thrombolyse (sofern zutreffend) und bis zur Thrombektomie (Leistenpunktion) ermittelt.

2.3.4. Berechnung DALYs

Unter Berücksichtigung von Alter, Geschlecht und NIHSS wurden diese eingesparten Minuten für alle Patienten und Patientinnen in DALYs [79,80] umgerechnet, was zu einem medianen (Q1; Q3) kombinierten Wert für die durch den MSU-Pfad abgewendeten DALYs pro Person für jede Partnerregion führte.

Um die Gesamtwirkung der MSU in jeder Region abschätzen zu können, musste die Zahl der Thrombolyse- und Thrombektomiefälle mit MSU-Behandlung vor dem Krankenhausaufenthalt geschätzt werden. In beiden Regionen ist die Zahl der Thrombolysefälle pro Jahr (~130) und der Thrombektomiefälle pro Jahr (~70) in etwa gleich. Als Punktschätzung wurde angenommen, dass die MSU 40 % dieser Fälle erreichen kann (55 Thrombolysefälle, 30 Thrombektomiefälle). Da jedoch die

jährlichen Zahlen, die räumliche Verteilung und die Gültigkeit der MSU-Einsätze variieren können, wurde eine Variation der Thrombolysefälle (20 bis 80/Jahr) und der Thrombektomiefälle (10 bis 50/Jahr) modelliert. Für jede Kombination dieser Zahlen wurde die Anzahl der vermiedenen DALYs berechnet, indem die Summe der eingesparten Minuten für die Thrombektomie und der eingesparten Minuten für die Thrombolyse umgerechnet wurde [79,80]. Außerdem wurden die Kosten geschätzt, welche die Gesellschaft für den berechneten MSU-Effekt in Kauf zu nehmen bereit wäre. Der entsprechende Geldbetrag wurde durch Multiplikation der Anzahl der vermiedenen DALYs mit den in jedem Land akzeptierten Kosten pro vermiedenem DALY ermittelt (Deutschland: Purchasing power parity (PPP)-\$ 84.506 pro vermiedenem DALY, Dänemark: PPP-\$ 94.390 pro verhindertem DALY, abgeleitet aus 1.46 x Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf von 2021, in Anlehnung an [97] und [98]). Für die deutsche Region wurde eine zweite Punktschätzung vorgenommen, die den Effekt von zwei neuen für die Zukunft geplanten Thrombektomiezentren einbezog. Diese werden in der Lage sein etwa die Hälfte der Thrombektomiefälle in der Region zu behandeln (35 Fälle pro Jahr). Mit diesen Zahlen wurde für jede Partnerregion eine grobe Schätzung der von der Gesellschaft akzeptierten Nettokosten der MSU nebeneinandergestellt [83].

3. Ergebnisse

3.1. Charakterisierung der Kohorten

In Tabelle 4 sind die demografischen und medizinischen Daten der beiden Stichproben gegenübergestellt. Es zeigt sich ein numerischer Trend zu einem jüngeren Alter (72 ± 18 Jahre vs. 75 ± 15 Jahre) sowie ein höherer Anteil männlicher erkrankter Personen (54 % vs. 41 %) in der dänischen Gruppe. Aufgeführt ist der initiale NIHSS-Wert im Durchschnitt mit 14 Punkten in der deutschen und 15 Punkten in der dänischen Kohorte. Das Zeitintervall, in dem sie zuletzt gesund gesehen wurden, das als Referenzzeitpunkt für den Schlaganfall dient, liegt in der deutschen Stichprobe bei 115 min und in der dänischen bei 91 min. In beiden Stichproben liegt der Ursprung der Infarkte in den überwiegenden Fällen im Anteriorstromgebiet (98 % vs. 88 %). Auffällig ist der hohe Anteil an Personen mit Thrombolyse in der dänischen Kohorte (77 % vs. 53 %). Unter Berücksichtigung von Alter, Geschlecht und NIHSS-Wert bei Aufnahme wurde der individuelle Behandlungseffekt in behinderungskorrigierten Lebenstagen, der pro Minute einer schnelleren Thrombektomie oder Thrombolyse zu erwarten ist, aus den ergänzenden Tabellen von Meretoja et al. (2014,2017) [79,80] abgeleitet.

Tabelle 4: Charakteristika der zwei Kohorten

Characteristic	German Cohort (n=80)	Danish Cohort (n=122)
Age (years), median (Q1; Q3)	75 (66; 81)	72 (60; 78)
Sex - no. (%)		
female	47 (59)	56 (46)
male	33 (41)	66 (54)
Admission status		
NIHSS, median (Q1; Q3)	14 (10; 17)	15 (10; 19)
Time from last seen well (min), median (Q1; Q3)	115 (63; 237)	91 (63; 144)
Thrombolysis at primary hospital - no. (%)	42 (53)	94 (77)
Type of Stroke - no. (%)		
Anterior Stroke (ICA, M1, M2)	78 (98)	108 (89)
Posterior Stroke (BA)	2 (3)	14 (11)
Model-based disability adjusted life days ^a , median (Q1; Q3)		
Per saved minute to thrombectomy	3.09 (2.39; 4.95)	3.94 (2.63; 5.26)
Per saved minute to thrombolysis	1.32 (1.08; 2.00)	1.66 (1.09; 2.45)

BA - basilar artery; ICA - internal carotid artery; NIHSS - National Institutes of Health Stroke Scale
^a Disability-adjusted lifetime averted by acute therapies was derived stratified by age, sex and NIHSS from Meretoja et al. (2014,2017) [79,80]

3.2. Patientenpfade

Die Patientenpfade der beiden Regionen sind in Abbildung 3 dargestellt. Die Untersuchungsregionen liegen geografisch einander gegenüber, getrennt durch den Fehmarnbelt (Abb. 3a). Krankenhausstrukturen und Wohnorte der Betroffenen sind getrennt für die deutsche (Abb. 3b) und die dänische Region (Abb. 3c) abgebildet. Beide Regionen haben eine Bevölkerungszahl zwischen ca. 450 000 und 600 000 Einwohnern [99,100].

Blaue Punkte stehen für die einzelnen Fundorte bzw. primären Einsatzorte. Dargestellt sind ausschließlich jene Behandlungsverläufe, für die ein Datensatz mit durchgehend dokumentierten Zeitstempeln sämtlicher relevanter Versorgungsabschnitte entlang des prä- und innerklinischen Behandlungspfads vorliegt. Dazu zählen mindestens: der Zeitpunkt des Notrufs, das Eintreffen des

Rettungsdienstes am Einsatzort, die Ankunft im Primärkrankenhaus, der Beginn eines gegebenenfalls durchgeführten Sekundärtransports sowie die Ankunft und der Behandlungsbeginn im Thrombektomiezentrum. Ein wesentlicher Unterschied zwischen der deutschen und der dänischen Krankenhauslandschaft wird deutlich, wenn man die Primärkrankenhäuser betrachtet, in die die Betroffenen zuerst eingeliefert wurden (schwarze Pluszeichen). Während die deutsche Region über acht Primärkrankenhäuser verfügt, ist die dänische Region mit einem großen Primärkrankenhaus zentralisiert, was zu längeren Fahrtzeiten für die peripher gelegenen Schlaganfallpatientinnen und -patienten führt. Alle behandelten Personen (blaue Punkte) erhielten die Indikation zur Thrombektomie und wurden nach der ersten Bildgebung und der Thrombolyse (falls zutreffend) vom Primärkrankenhaus zum Thrombektomiezentrum transportiert: UKSH, Campus Lübeck in der deutschen Region (Dreieck in Abb. 3b) und Universitätsklinikum, Campus Roskilde in der dänischen Region (Dreieck in Abb. 3c). Dieser reale Weg wurde mit einem hypothetischen MSU-Weg verglichen, bei dem die Thrombolyse am Aufenthaltsort der betroffenen Person beginnt und der Transport unter Umgehung des Primärkrankenhauses direkt in das Thrombektomiezentrum erfolgt. Bei der Analyse der Ausgangsorte und der Fahrtzeiten zum Thrombektomiezentrum wurde ein optimaler MSU-Standort mit einem Ansatz der Künstlichen Intelligenz (KI) unter Verwendung des Nelder-Mead-Algorithmus (rotes Ambulanzsymbol) ermittelt. Für beide Regionen betrug die mediane Fahrzeit zum Betroffenen 36 min von diesem optimierten MSU-Standort. Dieser MSU-Standort wurde verwendet, um einen hypothetischen MSU-Weg zu beschreiben. Bei diesem Weg fährt die MSU zum primären Einsatzort, führt vor Ort eine Bildgebung durch, leitet gegebenenfalls eine Thrombolyse ein und fährt direkt zum Thrombektomiezentrum, ohne das Primärkrankenhaus anzufahren.

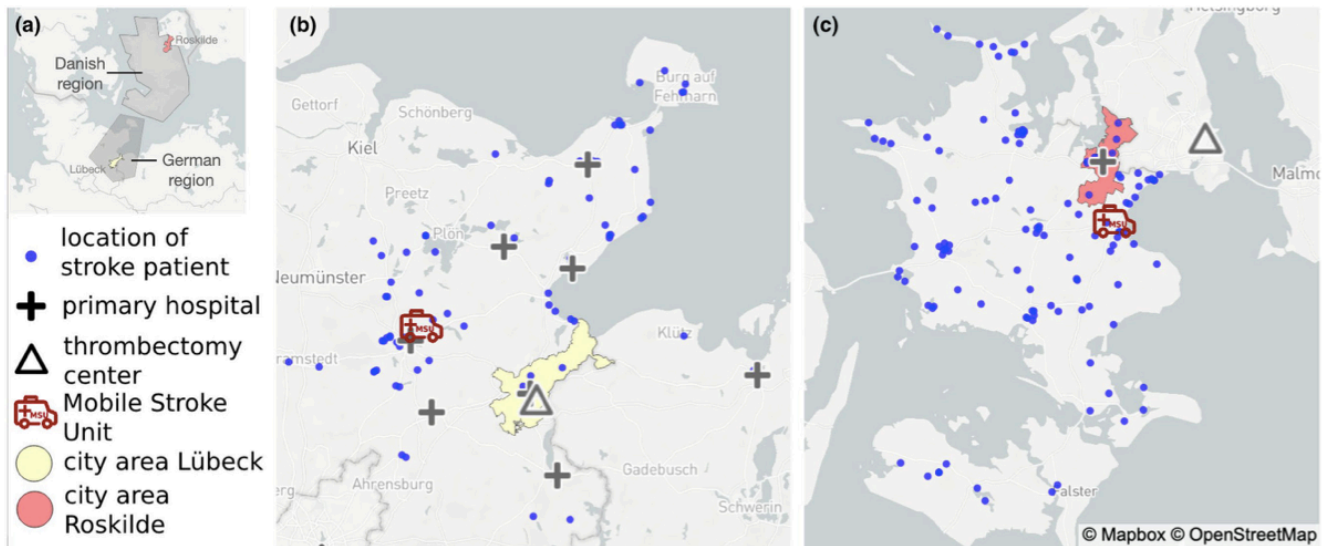


Abbildung 3: Patientenpfade mit optimiertem Standort einer MSU

3.3. Gegenüberstellung der Transportzeiten

Der zeitliche Ablauf der beiden Studienkohorten ist in Tabelle 5 aufgeführt und in Abbildung 4 grafisch dargestellt. Die Spalte "real world" enthält die gesammelten Daten, während die Spalte "MSU (hypothetisch)" den MSU-Pfad für jeden Fall simuliert. Sowohl in der deutschen als auch in der dänischen Partnerregion ist die Zeit vom Notruf 112 bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes am Einsatzort (8 min vs. 10 min) und bis zur Abfahrt zum Primärkrankenhaus (17 min vs. 18 min) kurz, was auf ein gut etabliertes Rettungsdienstsystem in beiden ländlichen Regionen hindeutet. Erwartungsgemäß ist jedoch die Ankunft im Primärkrankenhaus in Deutschland früher (46 min nach dem 112-Ruf) als in Dänemark (61 min nach dem 112-Ruf). Dies lässt sich durch die größere Auswahl an erreichbaren Primärkrankenhäusern in Deutschland im Vergleich zur zentralisierten Krankenhausstruktur in Dänemark erklären. Die mediane Zeit DTN (door-to-needle: Eintreffen im Krankenhaus bis zum Start der Thrombolyse-Therapie) betrug in beiden Regionen 26 min. Der Verbleib im Primärkrankenhaus bis zur Abfahrt zum Thrombektomiezentrum war in der dänischen Region länger als in der deutschen Region (78 min im Vergleich zu 60 min), möglicherweise weil die Perfusions-CT, sofern indiziert, in der dänischen Region routinemäßig bereits im Primärkrankenhaus durchgeführt wurde. Aufgrund der kürzeren Entfernung zwischen dem Primärkrankenhaus und dem Thrombektomiezentrum in der dänischen Region schrumpfte der kumulierte Unterschied von 33 min auf 25 min,

sobald die Person mit Schlaganfall im Thrombektomiezentrum ankam. Da im deutschen Thrombektomiezentrum in vielen Fällen noch eine zusätzliche Bildgebung durchgeführt wurde, betrug die Zeit bis zur Leistenpunktion 61 min im Vergleich zu 23 min im dänischen Thrombektomiezentrum. Aufgrund der Beschleunigung dieses letzten Schrittes war die Zeit vom Notruf bis zur Leistenpunktion (Call-to-Groin-Time) in der deutschen und der dänischen Kohorte ähnlich, wenn man die Streuung über die Betroffenen mit einer mittleren (Q1; Q3) Zeitspanne von 208 min (179; 242) gegenüber 196 min (171; 230) berücksichtigt.

Die Ergebnisse der MSU-Simulation sind in der Spalte "MSU (hypothetisch)" dargestellt. In diesem Modell fungiert die MSU als primäres Krankenhaus in Bezug auf die Thrombolyse und die Aufnahme in das Thrombektomiezentrum, ohne dass ein sekundärer Transport erforderlich ist. Die achte und neunte Zeile von oben enthält die Zeitdifferenz zwischen der MSU-Simulation und der realen Situation für Thrombolyse und Thrombektomie. Der Median (Q1; Q3) der eingesparten Zeit betrug 7 min (-15; 31) in der deutschen Region vs. 20 min (8; 30) in der dänischen Region für eine Thrombolyse. Für eine Thrombektomie 32 min (15; 61) in der deutschen Region vs. 43 min (25; 66) in der dänischen. Leitet man aus der Zeitersparnis, die durch den hypothetischen MSU-Pfad verursacht wird, die modellierten Verbesserungen im Outcome ab [79,80], erhält man 0.32 (0.07; 0.74) vermiedene DALYs pro Fall in der deutschen Region und 0.49 (0.21; 0.83) vermiedene DALYs pro Fall in der dänischen Region.

Tabelle 5: Vergleich realer Einsatzzeiten vs. hypothetische MSU

vergangene Minuten nach Notruf (112), median (Q1; Q3)	deutsche Kohorte (n=80)		dänische Kohorte (n=121)	
	<i>Real world</i>	<i>MSU (hypothetisch)</i>	<i>Real world</i>	<i>MSU (hypothetisch)</i>
EMS / MSU Ankunft	8 (6; 12)	39 (17; 58)*	10 (6; 13)	39 (24; 54)*
EMS Abfahrt	17 (12; 26)**		18 (14; 24)	
Ankunft primäres Krankenhaus	46 (36; 54)		61 (47; 72)	
Start Thrombolyse (falls zutreffend)	72 (60; 89)	68 (45; 87)***	86 (73; 103)	69 (53; 83)***
Abfahrt zum Thrombektomiezentrum	106 (92; 138)	70 (49; 88)	139 (121; 178)	71 (55; 84)
Ankunft am Thrombektomiezentrum	147 (129; 179)	109 (92; 138)	173 (152; 213)	127 (99; 161)
Leistenpunktion	208 (179; 242)	169 (141; 205)	196 (171; 230)	150 (123; 179)
eingesparte Minuten bis zur Thrombolyse		7 (-15; 31)		20 (8; 30)
eingesparte Minuten bis zur Thrombektomie		32 (15; 61)		43 (25; 66)
kombinierte DALYs pro Patient		0.32 (0.07; 0.74) ****		0.49 (0.21; 0.83) ****

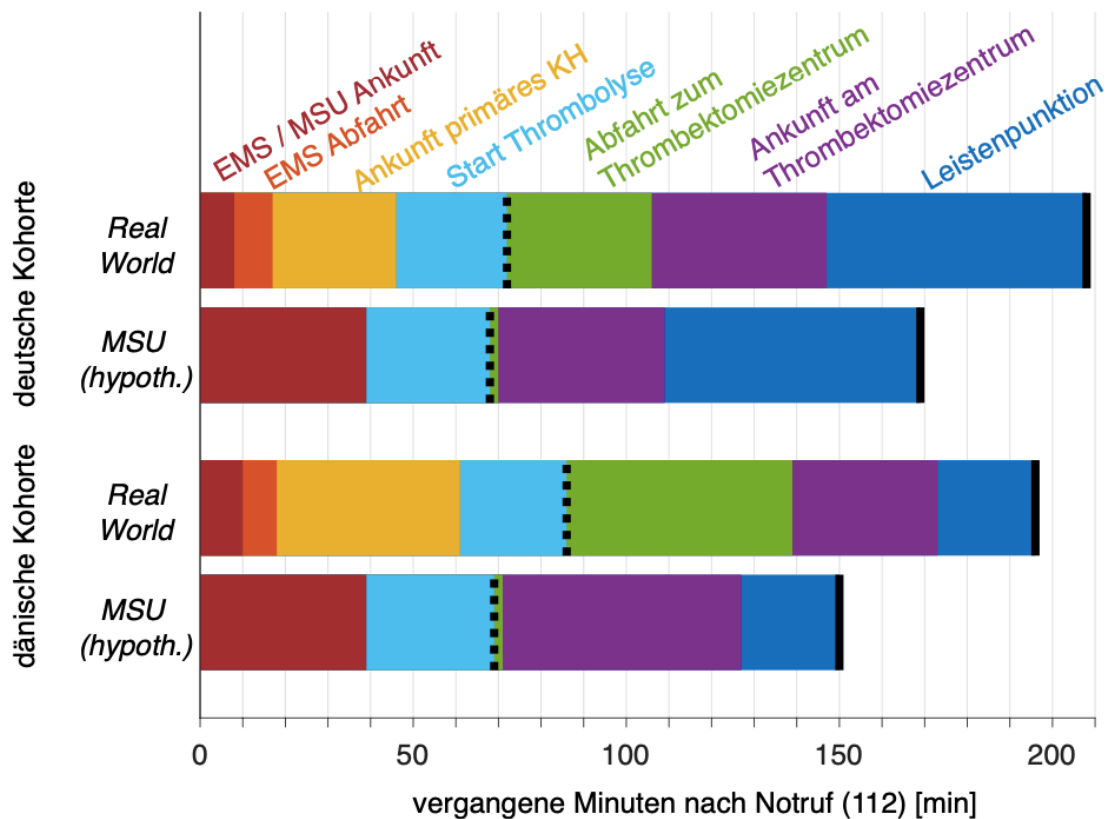
EMS – Emergency Medical Service; DALYs – Disability Adjusted Life Years; MSU – Mobile Stroke Unit

* *MSU Alarmierung bis Abfahrt wurde auf 3 min geschätzt.*

** *Die Abfahrtszeit in der deutschen Kohorte wurde anhand der geschätzten Fahrzeiten aus Google Maps (Google LLC, Mountain View, CA, USA) bestimmt.*

*** *Ankunftszeit der Thrombolyse schätzungsweise 29 min von Sheikhi et al. (2018) [96]*

**** *Die behinderungsbereinigten Lebensjahre wurden stratifiziert nach Alter, Geschlecht und NIHSS aus Meretoja et al. (2014,2017) abgeleitet [79,80]*



EMS – Emergency Medical Service; MSU – Mobile Stroke Unit, KH – Krankenhaus

Abbildung 4: Zeitachse von Notruf bis Leistenpunkt

3.4. Effekt einer potenziellen MSU

Anhand der ermittelten Zeitersparnis für Thrombolyse und Thrombektomie wurde der jährliche Effekt einer MSU in jeder Region ermittelt. Unter der Annahme einer Anzahl von Fällen, die von der MSU behandelt werden, wurde ein Schätzbereich verwendet (Abb. 5). Als Pseudo-Farbwerte sind die Anzahl der vermiedenen DALYs pro Jahr für unterschiedliche Anzahlen von Thrombektomiefälle (y-Achse) und Thrombolysefälle (x-Achse) in der deutschen Region (a) und der dänischen Region (b) dargestellt. Die Prognose, wie viele DALYs pro Jahr vermieden werden, ist für verschiedene Kombinationen farbkodiert. Wie bei der Analyse der Zeitersparnis erwartet, ist der Gesamteffekt in der dänischen Region größer. Der Einfluss der Thrombolysefälle ist in Deutschland geringer und lässt sich durch die höhere Zahl von Primärkrankenhäusern mit Thrombolysekapazitäten in der Region erklären. Über den Pseudo-Farbwerten sind gestrichelte Isolinien dargestellt, die gleiche Netto-MSU-Budgets markieren und sich aus den vermiedenen DALYs ableiten. Diese Isolinien verlaufen in Stufen von 0.5 Mio. \$ bis 2.5 Mio. \$. Das entsprechende

Netto-MSU-Budget wurde aus der Multiplikation der Anzahl der verhinderten DALYs mit den in jedem Land akzeptierten Kosten pro verhindertem DALY ermittelt (Deutschland: PPP-\$ 84506 pro verhindertem DALY, Dänemark: PPP-\$ 94390 pro vermiedenem DALY, abgeleitet aus $1.46 \times \text{BIP pro Kopf}$ aus dem Jahr 2021, in Anlehnung an [97] und [98]). In beiden Regionen gibt es etwa die gleiche Anzahl von Thrombolysefällen pro Jahr (~ 130) und Thrombektomiefällen pro Jahr (~ 70). Unter der Annahme, dass die MSU 40 % dieser erkrankten Personen erreichen kann (52 Thrombolysefälle, 28 Thrombektomiefälle), beträgt die Zahl der vermiedenen DALYs pro Jahr in Deutschland 9.4. Berücksichtigt man die akzeptierten Kosten pro vermiedenem DALY so ergibt sich ein maximales Budget von 0.8 Mio. PPP-\$ (schwarzer Punkt in Abb. 5a). Bei gleicher Fallzahl beläuft sich die Zahl der vermiedenen DALYs pro Jahr in Dänemark auf 17.7. Dies ergibt ein maximales Budget von 1.7 Mio. PPP-\$ (schwarzer Punkt in Abb. 5b). Hier werden sowohl Thrombolyse- als auch Thrombektomiefälle stark beeinflusst. Die Krankenhauslandschaft bleibt dabei unverändert und ist auf ein zentrales Krankenhaus und ein Thrombektomiezentrum beschränkt.

Der numerische Unterschied wird noch größer, wenn eine neuere Entwicklung in der deutschen Region berücksichtigt wird. Es wurden seit der Durchführung der Studie zwei zusätzliche Thrombektomiezentren eingerichtet, wodurch sich die Zahl der Thrombektomiefälle, die einen Sekundärtransport erfordern, halbiert hat. Mit der verbleibenden Zahl von 15 potenziell von der MSU erreichten Thrombektomiefällen reduziert sich der jährliche Effekt auf 5.1 DALYs. Dieser Effekt hätte für die deutsche Gesellschaft einen monetären Wert von 0.43 Mio. PPP-\$ (hellgrauer Punkt in Abb. 5a). Ein Betrag, der klar unterhalb eines realistisch anzusetzenden Netto-MSU-Budgets liegt. Betrachtet man die Isokonturlinien in der Nähe der angenommenen Parameter, so zeigt sich, dass die dänische Region im Gegensatz zur deutschen Region einen robusteren MSU-Effekt aufweist. Selbst bei geringerer Fallzahl ergibt sich dort ein ökonomisch tragfähiges Verhältnis von Kosten und Nutzen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass beide Regionen zwar eine ähnliche Fallzahl mit einer vergleichbaren Bevölkerungsdichte und identischer, pfadoptimierender MSU-Fahrdistanz abdecken, sich jedoch ein erheblicher Unterschied im prognostizierten MSU-Effekt zeigt.

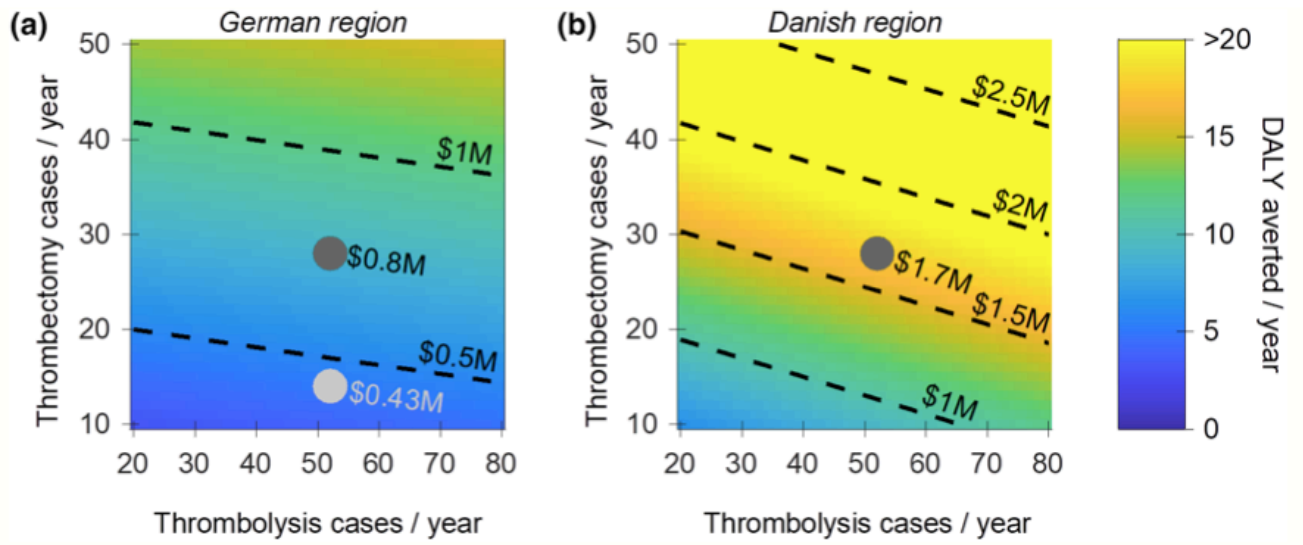


Abbildung 5: Vorhersage jährlicher DALYs, die durch Umsetzung der MSU vermieden werden können

4. Diskussion

Ein frühzeitiger Behandlungsbeginn ist entscheidend für ein günstiges funktionelles Ergebnis nach ischämischem Schlaganfall [50,101,102]. Allerdings besteht weiterhin ein unzureichender Zugang zu diesen effektiven Therapieformen [103,104]. In Deutschland gibt es zwar ein gut ausgebautes regionales Versorgungsangebot an Schlaganfallstationen mit Erfahrung in der Thrombolyse, dennoch existieren weiterhin noch Gebiete, in denen es innerhalb eines Zeitfensters von 25 min nicht möglich ist, mittels Rettungsdienst eine spezialisierte Abteilung für die Schlaganfallbehandlung zu erreichen [104]. Dieser Zeitraum ist entscheidend für zeitgerechte Krankenhausaufnahme nach dem Auftreten erster Symptome [105].

Durch verschiedene Optimierungen der prä- und intrahospitalen Prozesse sowie durch mediale Aufklärungskampagnen wird darauf abgezielt, die konventionellen Abläufe in der Schlaganfallversorgung umzugestalten und so eine Verbesserung des Zeitmanagements zu erreichen (96,97). Die Implementierung einer MSU, wie auch die hypothetische Modellkalkulation in dieser Studie, stellt dabei ein ergänzendes Versorgungskonzept dar, das eine Optimierung durch Zeitersparnis und schnellere Behandlung anstrebt.

Zur Analyse wurde eine deskriptive Zwei-Zentren-Studie durchgeführt, um die potenziellen Auswirkungen des Einsatzes einer MSU in benachbarten Regionen Süddänemarks und Norddeutschlands zu untersuchen.

4.1. Studienkohorte

Die Stichprobengröße der Studie betrug $n=121$ auf dänischer Seite und $n=80$ auf deutscher Seite und lag damit im Bereich vergleichbarer, bereits publizierter MSU-Studien [85,106]. Einzelne Arbeiten, wie etwa die PHANTOM-S-Studie ($n=410$) oder die MR-CLEAN-Studie ($n=500$), basieren jedoch auf deutlich größeren Fallzahlen [46,107].

Der Fokus sollte in den Untersuchungen auf den sekundären Transportweg über ein weiteres Krankenhaus bis in das Thrombektomiezentrum gelegt werden.

Einerseits gab es keinen Zugang zu den Patientendaten der Primärkrankenhäuser in der deutschen Studienregion. Die acht Primärkrankenhäuser weisen alle unterschiedliche Richtlinien und Modalitäten für die Datenerfassung auf. Daher musste die Studienkohorte auf Personen beschränkt werden, die im Thrombektomiezentrum behandelt wurden. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurden für die dänische Studienkohorte dieselben Einschlusskriterien angewandt. Andererseits wurde davon ausgegangen, dass ein "Drip-and-Ship"-Verfahren eine deutlich höhere Effektivität erreichen kann, wenn eine MSU beteiligt ist. „Drip and Ship“ bezeichnet ein Vorgehen, bei dem zunächst eine intravenöse Thrombolyse („Drip“) im nächstgelegenen Krankenhaus durchgeführt und die erkrankten Menschen anschließend bei Vorliegen eines großen Gefäßverschlusses zur mechanischen Thrombektomie in ein spezialisiertes Zentrum verlegt werden („Ship“) [29]. Der Hauptunterschied zwischen den beiden Studienregionen bestand in der hohen Anzahl von Primärkrankenhäusern in der deutschen Region. Ein nahe gelegenes Primärkrankenhaus mit einem routinemäßigen Rettungsdienst in der Nähe kann eine MSU, die größere Entfernungen zurücklegen muss, bei der alleinigen Thrombolyse übertreffen. Wenn jedoch ein sekundärer Transport zu einem Thrombektomiezentrum erforderlich ist, ergibt sich ein deutliches Zeitersparnis. In der dänischen Region ist die Zeit bis zur Thrombolyse kritischer, da nur ein einziges Primärkrankenhaus beteiligt ist und viele Betroffene größere Entfernungen zurücklegen müssen. Auch in diesem Fall erwies sich der Einfluss der MSU als erheblich, da durch die Umgehung des Primärkrankenhauses ein direkter Transport zum Thrombektomiezentrum möglich war.

Der hauptsächliche Ausschlussgrund war die Unvollständigkeit der Einsatzprotokolle mit teilweise fehlendem initialen Einsatzort oder fehlenden Einsatzzeiten in der deutschen Kohorte. Obwohl die Dokumentation von Rettungsdiensteinsätzen zunehmend digitalisiert wird, lagen dieser Studie ausschließlich Einsatzprotokolle in handschriftlicher Ausführung vor. Im direkten Vergleich zur dänischen Kohorte lässt sich erkennen, dass die Einsatzdokumentation wesentlich effizienter verlief und deutlich weniger Personen ausgeschlossen werden mussten (vgl. Abb. 1).

Der vergleichsweise hohe Anteil von Patientinnen und Patienten mit Thrombolyse in der dänischen Kohorte mit 79 % vs. 53 % in der deutschen Kohorte lässt sich auf die unterschiedlichen präklinischen Versorgungsstrukturen zurückführen. Betroffene mit einer klaren Kontraindikation für eine Thrombolyse werden in der dänischen Studienregion in der Regel direkt in das Thrombektomiezentrum verlegt. In Deutschland hingegen erfolgte die primäre Verlegung aller Fälle zuerst in ein primäres Krankenhaus, um dort Diagnostik zu erhalten und von einem Neurologen, einer Neurologin untersucht zu werden.

4.2. Unterschiede und Gemeinsamkeiten Rettungskette Dänemark vs. Deutschland

Ein wesentlicher Unterschied zwischen der deutschen und der dänischen Krankenhauslandschaft zeigt sich beim Vergleich der Primärkrankenhäuser in die Schlaganfallpatientinnen und -patienten zuerst eingeliefert wurden (Abb. 3, schwarze Pluszeichen). Während die deutsche Region über acht verschiedene Primärkrankenhäuser verfügt, ist die dänische Region mit einem großen Primärkrankenhaus zentralisiert, was zu längeren Fahrtzeiten für Schlaganfallbetroffene in eher peripheren Lagen führt.

Dass beide Länder gut etablierte Versorgungssysteme vorweisen und entsprechend viele Rettungsmittel vorhalten, wird durch die vergleichbaren Zeiten zum Eintreffen des Rettungsdienstes am Einsatzort (8 min vs. 10 min) und Abfahrt zum Primärkrankenhaus (17 min vs. 18 min) deutlich (vgl. Tab. 5).

Durch die vielen umliegenden Primärkrankenhäuser in der deutschen Region ist die Ankunft im primären Zielkrankenhaus mit 46 min vs. 61 min im Gegensatz zu einem einzigen primären Krankenhaus in der dänischen Region deutlich verkürzt. Die innerklinischen Abläufe sind zeitlich gut vergleichbar. Dies zeigt sich im 26-minütigen Zeitfenster in beiden Regionen zwischen Ankunft im Primärkrankenhaus und Beginn der Lyse-Therapie. Da die Perfusions-CT, sofern indiziert, in der dänischen Region routinemäßig bereits im Primärkrankenhaus durchgeführt wurde, war die Zeit von der Ankunft bis zur Abfahrt zum Thrombektomiezentrum länger als in der deutschen Region (78 min gegenüber 60 min).

4.3. Potenzieller Nutzen durch eine MSU

Anhand von Prähospital-Patientenakten und KI-Methoden wurde für jede Region ein optimaler MSU-Standort mit einer medianen Fahrzeit von 36 min zu Personen mit Schlaganfall ermittelt [83]. Der hypothetische MSU-Pfad würde zu einer relevanten Zeitersparnis sowohl für die Thrombolyse (deutsche Region: 7 min, dänische Region: 20 min) als auch für die Thrombektomie (deutsche Region: 32 min, dänische Region 43 min) führen. Der Gesamteffekt ist jedoch in der dänischen Region deutlich größer. Der Einfluss und die Zeitersparnis der Thrombolysefälle sind in Deutschland insgesamt geringer und stellen die höhere Anzahl von Primärkrankenhäusern mit Thrombolysekapazitäten in der Region dar.

Umgerechnet in den klinischen Effekt von Schlaganfalltherapien würde dies 0.32 bzw. 0.49 DALYs pro MSU-behandelter Person in der deutschen bzw. dänischen Region bedeuten. Wenn man von 28 Thrombektomie- und 52 Thrombolysefällen ausgeht, die von der MSU pro Jahr behandelt werden, würden sich die jährlichen Nettokosten, die von der Gesellschaft akzeptiert werden könnten, für die deutsche Region auf 0.8 Mio. USD und für die dänische Region auf 1.7 Mio. USD belaufen [83].

4.4. Limitationen der Studie

4.4.1. Limitationen der Datenerhebung & Methodik

Die vorliegende Studie weist mehrere Limitationen auf. Es handelt sich um eine retrospektive Studie, in die nur Einsätze mit einer vollständigen prähospitalen Dokumentation einbezogen wurden. Dies kann zu einer Selektionsverzerrung führen. In der deutschen Region war der Anteil der vollständigen Dokumentation im Vergleich zur dänischen Region gering, was das hohe Niveau Dänemarks in Bezug auf Digitalisierung und Electronic-Health-Technologien widerspiegelt [108]. Es kann jedoch argumentiert werden, dass die vorliegende Studie eine ausreichende Anzahl von Betroffenen in beiden Partnerregionen umfasste, um eine valide Schätzung zu ermöglichen. Die begrenzten Daten, die zu Personen mit unvollständiger Prähospital-Dokumentation vorliegen, wurden zusätzlich ausgewertet. Beim Vergleich der eingeschlossenen mit den ausgeschlossenen Datensätzen zeigte

sich ein ähnliches Durchschnittsalter (75 Jahre vs. 74 Jahre), ein höherer Anteil weiblicher Betroffener (59 % vs. 50 %) sowie eine leicht erhöhte Thrombolyserate (56 % vs. 53 %). Dies schließt zwar eine mögliche Verzerrung nicht aus, deutet aber auf eine gewisse epidemiologische Vergleichbarkeit zwischen den beiden Gruppen hin.

Bei der Ermittlung des optimalen MSU-Standorts wurde ein einfacher Ansatz für eine direkte MSU-Versendung gewählt, was zur relativ langen mittleren Fahrzeit von 36 min zum Einsatzort führte. Die Installation einer MSU-Station an einem nach optimalen Entfernungen ausgewählten Standort ist oft nicht realisierbar. In einem laufenden MSU-Projekt wurde ein Rendezvous-Konzept für weiter entfernte Personen getestet, bei dem sich der Rettungsdienst und MSU an einem Zwischenstandort auf dem Weg zum Zielkrankenhaus treffen [109]. Insbesondere in der dänischen Partnerregion mit nur einem großen Primärkrankenhaus würde dies wahrscheinlich den Effekt verstärken, obwohl die Zeit für den Transfer vom Rettungswagen zur MSU berücksichtigt werden müsste.

Zudem würde eine direkte Entsendung der MSU mit der Hilfsfrist des deutschen Rettungsdienstes kollidieren. Sie ist die vorgegebene maximale Zeitspanne, in der qualifiziertes, medizinisches Personal spätestens vor Ort sein muss, nachdem der Notruf abgesetzt wurde. Sie variiert zwischen den einzelnen Bundesländern, liegt aber in der Regel bei 12 min [110].

Zur Schätzung der Fahrtzeit der MSU zum Aufenthaltsort der betroffenen Person und anschließend zum Thrombektomiezentrum wurde Google Maps (Google, Mountain View, USA) als Quelle verwendet, wie dies bereits in anderen Studien über den Zugang zu medizinischer Notfallversorgung geschehen ist [111]. Es ließe sich einwenden, dass die Fahrzeiten nicht genau genug sind und dass die Rettungsdienste aufgrund von Ausnahmen von aufgehobenen Geschwindigkeitsbegrenzungen und Sonderrechten schneller sein könnten. Es hat sich gezeigt, dass Transporte innerhalb einer Stadt 44 s schneller waren, wenn Sonder- und Wegerechte genutzt wurden [112]. Aufgrund ihrer Größe und der Sicherheitsvorschriften können die Fahrzeuge des Rettungsdienstes jedoch in der Regel die zulässigen Geschwindigkeitsbegrenzungen nicht in relevantem Maße überschreiten [113].

Bei der Betrachtung des sich daraus ergebenden optimalen MSU-Standorts kann in der deutschen Studienkohorte ein systematischer Fehler entstanden sein, wenn davon ausgegangen wird, dass die Vollständigkeit der Prähospitaldaten im gesamten Studiengebiet heterogen ist. Die genaue Position der ausgeschlossenen Personen ist zwar nicht bekannt (d. h. der Ort, an dem der Rettungsdienst sie erstmals angetroffen hat), jedoch ist der Standort des jeweiligen Primärkrankenhauses aller ausgeschlossenen Fälle bekannt. Während vier der acht primären Schlaganfallzentren jeweils nur bis zu sechs Zuweisungen in beiden Studienpopulationen aufweisen, haben die drei Zentren mit der höchsten Anzahl an Überweisungen eine ähnliche Verteilung (Studienkohorte 36, 17 und 18; Ausschlüsse 74, 73 und 53). Die heterogene Verteilung ist eher auf Unterschiede in der Bevölkerungsdichte innerhalb der Untersuchungsregion zurückzuführen als auf einen systematischen Selektionsbias. Abgesehen von der Beschleunigung des Prozesses vom Auftreten des Schlaganfalls bis zur Thrombolyse konnte weder in der BEST-MSU-Studie noch in der B_PROUD-Studie eine Verkürzung der Einweisungszeit zur Thrombektomie nachgewiesen werden [73,74].

Neben der Beschleunigung des Prozesses vom Einsetzen des Schlaganfalls bis zur Thrombolyse konnte Al Saiegh F et al. (2022) auch zeigen, dass der MSU-Service das Intervall vom Einsetzen des Schlaganfalls bis zur Thrombektomie um mehrere Stunden verkürzen kann, was zu einem besseren Behandlungsergebnis führt [87]. Dies ist nicht überraschend, da die schnellere Durchführung der Thrombektomie im Allgemeinen eine stärkere Auswirkung auf das Behandlungsergebnis hat als eine frühere Thrombolyse [79,80].

Unter Berücksichtigung der Anzahl der Thrombolyse- und Thrombektomiefälle ergab sich eine Schätzung von 28 Thrombektomiefällen und 52 Thrombolysefällen pro Jahr. Dies sind in etwa so viele Fälle wie in einer kürzlich durchgeführten Meta-Analyse, in der die Thrombolyse- und Thrombektomie-Behandlungen aller veröffentlichten MSU-Studien ausgewertet wurden. Dabei wurden 131 (95 % CI 79-183) Thrombolyse-Behandlungen pro Jahr und 34 (95 % CI 17-50) Thrombektomie-Fälle pro Jahr ermittelt [114]. Aufgrund des hypothetischen Ansatzes bestehen potenzielle Fehlerquellen, die durch die tatsächliche Schlaganfallhäufigkeit und deren regionale Heterogenität beeinflusst werden könnten. Zur Abbildung eines

Spektrums realistischer Szenarien wurden daher Berechnungen mit verschiedenen Thrombolyse- und Thrombektomiefällen durchgeführt.

4.4.2. Limitationen in der Berechnung der DALYs & Kosteneffizienz

Bei der Bewertung des klinischen Effekts des MSU-Projekts wurde die durch Thrombolyse und Thrombektomie eingesparte Zeit in DALYs umgerechnet [79,80]. Mit diesem Ansatz wurde einer kürzlich durchgeführten wirtschaftlichen Bewertung der Melbourne Mobile Stroke Unit gefolgt, die ebenfalls DALYs verwendete [115]. Das Berliner B-PROUD-Projekt verwendete QALYs, die aus prospektiven Studien abgeleitet wurden, um eine detaillierte Kosten-Effektivitäts-Studie durchzuführen [116]. Es wird davon ausgegangen, dass die Verwendung von DALYs anstelle von QALYs keine relevanten Unterschiede für Kosten-Wirksamkeits-Analysen mit sich bringt [117]. In der vorliegenden Studie wurden, ähnlich wie in anderen Modellierungsstudien, [118–120] DALYs bevorzugt, da auf diese Weise die differenzierte Datenbasis von Meretoja et al. (2014,2017) [79,80] genutzt werden konnte.

Der Ansatz einer linearen Umrechnung der eingesparten Minuten in ein besseres Outcome unterschätzt wahrscheinlich die vermiedenen DALYs, da er das Konzept der "goldenen Stunde des Schlaganfalls" nicht berücksichtigt, bei dem eine eingesparte Minute in der Frühphase des Schlaganfalls eine größere Wirkung hat [121]. Die vorliegende Studie konzentrierte sich auf Zeitunterschiede und berücksichtigte nicht den höheren Anteil an Behandelten, die nach dem Einsatz einer MSU eine Thrombolyse erhalten [77]. Obwohl dieser Effekt die Wirkung einer MSU verstärkt, ist er kaum quantifizierbar. Es lässt sich nur schwer abschätzen, wie viele Fälle auf Grundlage des retrospektiv erhobenen Datensatzes mit einer intravenösen Thrombolyse hätten behandelt werden können. In der untersuchten Kohorte sind die spezifischen Gründe, warum die intravenöse Thrombolyse nicht eingesetzt wurde nicht bekannt. Des Weiteren fehlen Daten zu jenen, die von einer akuten Rekanalisationstherapie ausgeschlossen wurden.

Die technologischen Herausforderungen und medizinischen Sicherheitsfragen, die mit der Einrichtung einer MSU verbunden sind, wurden in dieser Studie nicht

berücksichtigt. Bislang existieren zahlreiche Varianten von MSU-Fahrzeugen, die sich in Größe, Ausstattung und personeller Besetzung unterscheiden. Während bei einigen Modellen ärztliches Fachpersonal an Bord ist, setzen andere Projekte auf eine vollständig telemedizinisch unterstützte Versorgung [122]. Dies ist ein wichtiger Aspekt bei der Durchführung einer vollständigen Kosten-Nutzen-Analyse. Ein wichtiger europäischer Meilenstein war das Berliner MSU-Projekt. Die entsprechende PHANTOM-S-Studie berechnete jährliche MSU-Kosten von etwa 1 Mio. EUR (1.2 Mio. PPP-\$) [113]. In einer sehr aktuellen MSU-Kosteneffektivitätsstudie in Norwegen wurden die jährlichen Kosten einer MSU einschließlich Betriebskosten, Personalkosten und Kosten für medizinische Geräte auf 6.6 Mio. norwegische Kronen geschätzt [123], eine Summe, die umgerechnet 615.000 PPP-\$ entspricht und damit am unteren Ende des Spektrums liegt. Bezieht man diese Zahlen in den Kontext der vorliegenden Studie ein, so wird deutlich, dass die relevanten Schwellenwerte für eine vorteilhafte wirtschaftliche Bewertung in zwei vergleichbaren Regionen unterschiedlich sein können, je nach Krankenhausdichte und allgemeiner Infrastruktur des Gesundheitssystems. Während in der deutschen Region ein sehr kostengünstiges MSU-Projekt erforderlich wäre, um von den Beteiligten akzeptiert zu werden, ist der finanzielle Spielraum für eine MSU in der dänischen Region größer, so dass auch eine geringere Anzahl von Patientinnen und Patienten, die durch eine MSU erreicht und behandelt werden könnten, ökonomisch abbildbar wäre. Dies veranschaulicht die unterschiedliche Krankenhausdichte des deutschen Gesundheitssystems, die die des dänischen Gesundheitssystems um den Faktor 2.5 übersteigt [116]. Eine detaillierte Kosten-Wirksamkeits-Berechnung könnte auch zukünftige Entwicklungen in der Krankenhauslandschaft berücksichtigen, die derzeit von der deutschen Bundesregierung geplant werden [124]. In diesem Kontext könnten MSUs dazu beitragen, Versorgungsdefizite infolge von Krankenhausschließungen zu kompensieren.

Obwohl MSUs in Ländern mit hohem Einkommen entwickelt wurden, könnte die gezogene Schlussfolgerung auch für Länder mit mittlerem Einkommen in Europa relevant sein, da sie dazu beitragen können, die Schlaganfallversorgung in Gebieten mit wenigen Thrombektomiezentren zu optimieren.

Das MSU-Konzept profitiert auch von den technologischen Fortschritten in der Telemedizin, die sich als wirksam für das klinische Ergebnis bei neurologischen Patientinnen und Patienten erwiesen haben, insbesondere in der Schlaganfallmedizin [125]. Es hat sich gezeigt, dass mit teleneurologischer Unterstützung auch Anästhesistinnen und Anästhesisten nach einer speziellen Ausbildung die Thrombolyse in einem MSU-Setting sicher anwenden können, mit einer relevanten Beschleunigung und einem höheren Anteil an Behandlungen innerhalb einer Stunde [126].

4.5. Ausblick

4.5.1. Digitalisierung und künstliche Intelligenz

Digitalisierung bezeichnet grundsätzlich, nicht nur im Gesundheitswesen, den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien. Die große Zahl der gesundheitsrelevanten Daten kann mit Hilfe der Digitalisierung strukturiert und sinnvoll verarbeitet werden [127]. Ein übergreifender Austausch von Gesundheitsdaten entlang der Versorgungskette ermöglicht es Forschenden, Zusammenhänge besser zu verstehen und neue wissenschaftliche Fragestellungen zu entwickeln [128]. Die Digitalisierung der Dokumentation von Einsatzfahrten, Rettungsdienstprotokollen und klinischen Abläufen würde die Datenerhebung für zukünftige Studien deutlich erleichtern.

Ressourcensteuerung wird bereits durch regionale Kapazitätsdatenbanken wie IVENA eHealth (Interdisziplinärer Versorgungsnachweis, mainis IT-Service GmbH, Frankfurt am Main) oder die Informationsgrundlage Notfallversorgung NRW (IgNRW) (Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen) übernommen. Sie ermöglichen eine Priorisierung der Zielkliniken nach aktueller Ressourcenlage (CT, Angiographie, Personal) und können somit innerklinische Prozesse beschleunigen.

Auch KI kann sich in der Schlaganfallversorgung zu Nutze gemacht werden. Es konnte gezeigt werden, dass KI als unterstützendes Instrument für die Disponenten im Entscheidungsprozess eingesetzt werden kann, um zu einer besseren Erkennung von Patienten und Patientinnen mit Schlaganfall beizutragen [129,130].

4.5.2. Neue Technologien für die Patientenevaluierung am Einsatzort

Innovationen im Bereich der portablen Diagnostik haben das Potential, die Fähigkeit von Rettungsdienstpersonal deutlich zu verbessern, Schlaganfallmimics, akute ischämische Schlaganfälle (AIS), große Gefäßverschlüsse (LVO) und hämorrhagische Schlaganfälle zu unterscheiden. Verschiedene Technologien wie EEG, transkranieller Doppler, Mikrowellen oder Impedanzspektroskopie zeigen in ersten Studien vielversprechende Sensitivitäten und Spezifitäten [131].

4.5.3. Prävention

Neben der Optimierung der akuten Schlaganfallversorgung gewinnt auch die Prävention durch eine konsequente Kontrolle vaskulärer Risikofaktoren zunehmend an Bedeutung. Digitale Screening-Technologien bieten im Vergleich zur üblichen Versorgung bei der Erkennung von Vorhofflimmern deutliche Vorteile, da sie durch ihre niedrigschwellige, alltagsintegrierte Anwendung die Sensitivität erhöhen und das Zeitintervall bis zur Diagnose verkürzen [132,133]. Des Weiteren konnte in einer aktuellen Metaanalyse gezeigt werden, dass die Ergänzung der hausärztlichen Standardversorgung um ein telemedizinisch unterstütztes, apothekergeleitetes Blutdruckmonitoring zu einer signifikanten Senkung des Blutdrucks führte [134]. Somit stellen digitale und telemedizinische Strategien in der präventiven Blutdruck- und Rhythmuskontrolle ein zentrales Präventionsfeld für die Schlaganfallversorgung dar.

5. Zusammenfassung

Das Konzept der Mobile Stroke Unit (MSU) verlagert zentrale Diagnostik und Therapie in die präklinische Phase, um Zeit bis zur Ursachentherapie zu sparen. Es bietet damit einen innovativen Ansatz zur Verbesserung der Akutversorgung bei Schlaganfall. Aufgrund des positiven Effekts im Vergleich zu konventionellen Rettungsdiensten empfehlen aktuelle Leitlinien eine regionale Evaluation der MSU-Implementierung.

Der Einsatz von Mobilien Stroke Units in einer geeigneten Region hängt vom klinischen Nutzen, der Sicherheit und der Kosteneffektivität ab.

In einer deskriptiven Studie wurden die aktuellen Pfade von Patientinnen und Patienten, die einen Sekundärtransport für eine mechanische Thrombektomie benötigten, aus individuellen Patientenakten innerhalb einer dänischen (n = 121) und einer angrenzenden deutschen Region (n = 80) rekonstruiert. Zu den relevanten Zeitstempeln gehörten die Ankunftszeiten (vor Ort, Primärkrankenhaus, Thrombektomiezentrum) sowie der Beginn der Akuttherapie. Es wurde ein optimaler MSU-Standort sowohl für Dänemark als auch Deutschland ermittelt. Die daraus resultierende Zeitersparnis wurde in vermiedene behinderungsbereinigte Lebensjahre (DALYs) umgerechnet.

Für jede Region ergab sich für den optimale MSU-Standort eine mediane Fahrzeit von 36 min zum jeweiligen Einsatzort. Die Zeitersparnis in der deutschen Region (Median [Q1; Q3]) betrug 7 min (-15; 31) für die Thrombolyse und 32 min (15; 61) für die Thrombektomie. In der dänischen Region betragen die entsprechenden Zeiteinsparungen 20 min (8; 30) und 43 min (25; 66). Geht man von 28 Thrombektomie-Fällen und 52 Thrombolyse-Fällen aus, würde dies zu 9.4 vermiedenen DALYs pro Jahr führen, was ein jährliches Netto-MSU-Budget von 0.8 Mio. Dollar PPP-\$ in der deutschen Region rechtfertigt. In der dänischen Region würde die MSU 17.7 DALYs abwenden, was ein jährliches Nettobudget von 1.7 Mio. PPP-\$ rechtfertigt.

Die Auswirkungen einer MSU können anhand individueller Versorgungspfade berechnet werden und stellen Unterschiede in der Krankenhausinfrastruktur

zwischen Dänemark und Deutschland dar. Unter Berücksichtigung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses ist es wahrscheinlicher, dass die Beteiligten in der dänischen Region in ein MSU-Projekt investieren werden als in der deutschen Region. Zukünftige Veränderungen in der Krankenhauslandschaft könnten diese Überlegung jedoch ändern.

6. Literaturverzeichnis

1. Feigin VL, Nichols E, Alam T, Bannick MS, Beghi E, Blake N, Culpepper WJ, Dorsey ER, Elbaz A, Ellenbogen RG, Fisher JL, Fitzmaurice C, Giussani G, Glennie L, James SL, Johnson CO, Kassebaum NJ, Logroscino G, Marin B, Mountjoy-Venning WC, Nguyen M, Ofori-Asenso R, Patel AP, Piccininni M, Roth GA, Steiner TJ, Stovner LJ, Szeoke CEI, Theadom A, Vollset SE, Wallin MT, Wright C, Zunt JR, Abbasi N, Abd-Allah F, Abdelalim A, Abdollahpour I, Aboyans V, Abraha HN, Acharya D, Adamu AA, Adebayo OM, Adeoye AM, Adsuar JC, Afarideh M, Agrawal S, Ahmadi A, Ahmed MB, Aichour AN, Aichour I, Aichour MTE, Akinyemi RO, Akseer N, Al-Eyadhy A, Al-Shahi Salman R, Alahdab F, Alene KA, Aljunid SM, Altirkawi K, Alvis-Guzman N, Anber NH, Antonio CAT, Arabloo J, Aremu O, Ärnlöv J, Asayesh H, Asghar RJ, Atalay HT, Awasthi A, Ayala Quintanilla BP, Ayuk TB, Badawi A, Banach M, Banoub JAM, Barboza MA, Barker-Collo SL, Bärnighausen TW, Baune BT, Bedi N, Behzadifar M, Behzadifar M, Béjot Y, Bekele BB, Belachew AB, Bennett DA, Bensenor IM, Berhane A, Beuran M, Bhattacharyya K, Bhutta ZA, Biadgo B, Bijani A, Billign N, Bin Sayeed MS, Blazes CK, Brayne C, Butt ZA, Campos-Nonato IR, Cantu-Brito C, Car M, Cárdenas R, Carrero JJ, Carvalho F, Castañeda-Orjuela CA, Castro F, Catalá-López F, Cerin E, Chaiyah Y, Chang JC, Chatziralli I, Chiang PPC, Christensen H, Christopher DJ, Cooper C, Cortesi PA, Costa VM, Criqui MH, Crowe CS, Damasceno AAM, Daryani A, De La Cruz-Góngora V, De La Hoz FP, De Leo D, Demoz GT, Deribe K, Dharmaratne SD, Diaz D, Dinberu MT, Djalalinia S, Doku DT, Dubey M, Dubljanin E, Duken EE, Edvardsson D, El-Khatib Z, Endres M, Endries AY, Eskandarieh S, Esteghamati A, Esteghamati S, Farhadi F, Faro A, Farzadfar F, Farzaei MH, Fatima B, Fereshtehnejad SM, Fernandes E, Feyissa GT, Filip I, Fischer F, Fukumoto T, Ganji M, Gankpe FG, Garcia-Gordillo MA, Gebre AK, Gebremichael TG, Gelaw BK, Geleijnse JM, Geremew D, Gezae KE, Ghasemi-Kasman M, Gidey MY, Gill PS, Gill TK, Girma ET, Gnedovskaya EV, Goulart AC, Grada A, Grosso G, Guo Y, Gupta R, Gupta R, Haagsma JA, Hagos TB, Haj-Mirzaian A, Haj-Mirzaian A, Hamadeh RR, Hamidi S, Hankey GJ, Hao Y, Haro JM, Hassankhani H, Hassen HY, Havmoeller R, Hay SI, Hegazy MI, Heidari B, Henok A, Heydarpour F, Hoang CL, Hole MK, Homaie Rad E, Hosseini SM, Hu G, Igumbor EU, Ilesanmi OS, Irvani SSN, Islam SMS, Jakovljevic M, Javanbakht M, Jha RP, Jobanputra YB, Jonas JB, Jozwiak JJ, Jürisson M, Kahsay A, Kalani R, Kalkonde Y, Kamil TA, Kanchan T, Karami M, Karch A, Karimi N, Kasaeian A, Kassa TD, Kassa ZY, Kaul A, Kefale AT, Keiyoro PN, Khader YS, Khafaie MA, Khalil IA, Khan EA, Khang YH, Khazaie H, Kiadaliri AA, Kiiirithio DN, Kim AS, Kim D, Kim YE, Kim YJ, Kisa A, Kokubo Y, Koyanagi A, Krishnamurthi RV, Kuate Defo B, Kucuk Bicer B, Kumar M, Lacey B, Lafranconi A, Lansingh VC, Latifi A, Leshargie CT, Li S, Liao Y, Linn S, Lo WD, Lopez JCF, Lorkowski S, Lotufo PA, Lucas RM, Lunevicius R, Mackay MT, Mahotra NB, Majdan M, Majdzadeh R, Majeed A, Malekzadeh R, Malta DC, Manafi N, Mansournia MA, Mantovani LG, März W, Mashamba-Thompson TP, Massenbourg BB, Mate KKV, McAlinden C, McGrath JJ, Mehta V, Meier T, Meles HG, Melese A, Memiah PTN, Memish ZA, Mendoza W, Mengistu DT, Mengistu G, Meretoja A, Meretoja TJ, Mestrovic T, Miazgowski B, Miazgowski T, Miller TR, Mini G, Mirrakhimov EM, Moazen B, Mohajer B,

Mohammad Gholi Mezerji N, Mohammadi M, Mohammadi-Khanaposhtani M, Mohammadibakhsh R, Mohammadnia-Afrouzi M, Mohammed S, Mohebi F, Mokdad AH, Monasta L, Mondello S, Moodley Y, Moosazadeh M, Moradi G, Moradi-Lakeh M, Moradinazar M, Moraga P, Moreno Velásquez I, Morrison SD, Mousavi SM, Muhammed OS, Muruet W, Musa KI, Mustafa G, Naderi M, Nagel G, Naheed A, Naik G, Najafi F, Nangia V, Negoï I, Negoï RI, Newton CRJ, Ngunjiri JW, Nguyen CT, Nguyen LH, Ningrum DNA, Nirayo YL, Nixon MR, Norrving B, Noubiap JJ, Nourollahpour Shiadeh M, Nyasulu PS, Ogah OS, Oh IH, Olagunju AT, Olagunju TO, Olivares PR, Onwujekwe OE, Oren E, Owolabi MO, Pa M, Pakpour AH, Pan WH, Panda-Jonas S, Pandian JD, Patel SK, Pereira DM, Petzold M, Pillay JD, Piradov MA, Polanczyk GV, Polinder S, Postma MJ, Poulton R, Poustchi H, Prakash S, Prakash V, Qorbani M, Radfar A, Rafay A, Rafiei A, Rahim F, Rahimi-Movaghar V, Rahman M, Rahman MHU, Rahman MA, Rajati F, Ram U, Ranta A, Rawaf DL, Rawaf S, Reinig N, Reis C, Renzaho AMN, Resnikoff S, Rezaeian S, Rezai MS, Rios González CM, Roberts NLS, Roever L, Ronfani L, Roro EM, Roshandel G, Rostami A, Sabbagh P, Sacco RL, Sachdev PS, Saddik B, Safari H, Safari-Faramani R, Safi S, Safiri S, Sagar R, Sahathevan R, Sahebkar A, Sahraian MA, Salamati P, Salehi Zahabi S, Salimi Y, Samy AM, Sanabria J, Santos IS, Santric Milicevic MM, Sarrafzadegan N, Sartorius B, Sarvi S, Sathian B, Satpathy M, Sawant AR, Sawhney M, Schneider IJC, Schöttker B, Schwebel DC, Seedat S, Sepanlou SG, Shabaninejad H, Shafieesabet A, Shaikh MA, Shakir RA, Shams-Beyranvand M, Shamsizadeh M, Sharif M, Sharif-Alhoseini M, She J, Sheikh A, Sheth KN, Shigematsu M, Shiri R, Shirkoohi R, Shiue I, Siabani S, Siddiqi TJ, Sigfusdottir ID, Sigurvinsdottir R, Silberberg DH, Silva JP, Silveira DGA, Singh JA, Sinha DN, Skiadaresi E, Smith M, Sobaih BH, Sobhani S, Soofi M, Soyiri IN, Sposato LA, Stein DJ, Stein MB, Stokes MA, Sufiyan MB, Sykes BL, Sylaja P, Tabarés-Seisdedos R, Te Ao BJ, Tehrani-Banihashemi A, Temsah MH, Temsah O, Thakur JS, Thrift AG, Topor-Madry R, Tortajada-Girbés M, Tovani-Palone MR, Tran BX, Tran KB, Truelsen TC, Tsadik AG, Tudor Car L, Ukwaja KN, Ullah I, Usman MS, Uthman OA, Valdez PR, Vasankari TJ, Vasanthan R, Veisani Y, Venketasubramanian N, Violante FS, Vlassov V, Vosoughi K, Vu GT, Vujcic IS, Wagnew FS, Waheed Y, Wang YP, Weiderpass E, Weiss J, Whiteford HA, Wijeratne T, Winkler AS, Wiysonge CS, Wolfe CDA, Xu G, Yadollahpour A, Yamada T, Yano Y, Yaseri M, Yatsuya H, Yimer EM, Yip P, Yisma E, Yonemoto N, Yousefifard M, Yu C, Zaidi Z, Zaman SB, Zamani M, Zandian H, Zare Z, Zhang Y, Zodpey S, Naghavi M, Murray CJL, Vos T. Global, regional, and national burden of neurological disorders, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *The Lancet Neurology*. Mai 2019;18(5):459–80.

2. Mader F, Schwenke R. S3-Leitlinie Schlaganfall DEGAM-Leitlinie Nr. 8 [Internet]. Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin e.V.; 2020 Feb S. 14. Report No.: AWMF-Register-Nr. 053-011. Verfügbar unter: <https://www.degam.de/leitlinie-s3-053-011>
3. Sacco RL, Kasner SE, Broderick JP, Caplan LR, Connors JJ (Buddy), Culebras A, Elkind MSV, George MG, Hamdan AD, Higashida RT, Hoh BL, Janis LS, Kase CS, Kleindorfer DO, Lee JM, Moseley ME, Peterson ED, Turan TN, Valderrama AL, Vinters HV. An Updated Definition of Stroke for the 21st

Century: A Statement for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. Juli 2013;44(7):2064–89.

4. Hacke W, Herausgeber. *Neurologie* [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2016 [zitiert 8. Januar 2022]. (Springer-Lehrbuch). Verfügbar unter: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-46892-0>
5. Easton JD, Saver JL, Albers GW, Alberts MJ, Chaturvedi S, Feldmann E, Hatsukami TS, Higashida RT, Johnston SC, Kidwell CS, Lutsep HL, Miller E, Sacco RL. Definition and evaluation of transient ischemic attack: A scientific statement for healthcare professionals from the American heart association/American stroke association stroke council; council on cardiovascular surgery and anesthesia; council on cardio. *Stroke*. 2009;40(6):2276–93.
6. Hankey GJ. *Stroke*. *The Lancet*. Februar 2017;389(10069):641–54.
7. Busch MA, Kuhnert R. 12-Monats-Prävalenz von Schlaganfall oder chronischen Beschwerden infolge eines Schlaganfalls in Deutschland. *Journal of Health Monitoring*. Robert Koch-Institut, Berlin(2017 2(1)).
8. Reeves MJ, Bushnell CD, Howard G, Gargano JW, Duncan PW, Lynch G, Khatiwoda A, Lisabeth L. Sex differences in stroke: epidemiology, clinical presentation, medical care, and outcomes. *The Lancet Neurology*. Oktober 2008;7(10):915–26.
9. Unal B, Critchley JA, Capewell S. Explaining the Decline in Coronary Heart Disease Mortality in England and Wales Between 1981 and 2000. *Circulation*. 9. März 2004;109(9):1101–7.
10. Gaber E, Wildner M. Sterblichkeit, Todesursachen und regionale Unterschiede. Berlin: Robert-Koch-Institut; 2011. 51 S. (Gesundheitsberichterstattung des Bundes).
11. Yu W, Higashida RT. Endovascular Thrombectomy for Acute Basilar Artery Occlusion: Latest Findings and Critical Thinking on Future Study Design. *Transl Stroke Res*. Dezember 2022;13(6):913–22.
12. Mattle HP, Arnold M, Lindsberg PJ, Schonewille WJ, Schroth G. Basilar artery occlusion. *The Lancet Neurology*. November 2011;10(11):1002–14.
13. Bordes S, Werner C, Mathkour M, McCormack E, Iwanaga J, Loukas M, Lammle M, Dumont AS, Tubbs RS. Arterial Supply of the Thalamus: A Comprehensive Review. *World Neurosurgery*. Mai 2020;137:310–8.
14. Cordonnier C, Demchuk A, Ziai W, Anderson CS. Intracerebral haemorrhage: current approaches to acute management. *The Lancet*. Oktober 2018;392(10154):1257–68.
15. Connolly ES, Rabinstein AA, Carhuapoma JR, Derdeyn CP, Dion J, Higashida RT, Hoh BL, Kirkness CJ, Naidech AM, Ogilvy CS, Patel AB, Thompson BG, Vespa P. Guidelines for the Management of Aneurysmal Subarachnoid

Hemorrhage: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. Juni 2012;43(6):1711–37.

16. O'Donnell MJ, Chin SL, Rangarajan S, Xavier D, Liu L, Zhang H, Rao-Melacini P, Zhang X, Pais P, Agapay S, Lopez-Jaramillo P, Damasceno A, Langhorne P, McQueen MJ, Rosengren A, Dehghan M, Hankey GJ, Dans AL, Elsayed A, Avezum A, Mondo C, Diener HC, Ryglewicz D, Czlonkowska A, Pogosova N, Weimar C, Iqbal R, Diaz R, Yusoff K, Yusufali A, Oguz A, Wang X, Penaherrera E, Lanan F, Ogah OS, Ogunniyi A, Iversen HK, Malaga G, Rumboldt Z, Oveisgharan S, Al Hussain F, Magazi D, Nilanont Y, Ferguson J, Pare G, Yusuf S. Global and regional effects of potentially modifiable risk factors associated with acute stroke in 32 countries (INTERSTROKE): a case-control study. *The Lancet*. August 2016;388(10046):761–75.
17. Adams HP, Bendixen BH, Kappelle LJ, Biller J, Love BB, Gordon DL, Marsh EE. Classification of subtype of acute ischemic stroke. Definitions for use in a multicenter clinical trial. TOAST. Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment. *Stroke*. Januar 1993;24(1):35–41.
18. Fure B, Wyller TB, Thommessen B. TOAST criteria applied in acute ischemic stroke. *Acta Neurol Scand*. Oktober 2005;112(4):254–8.
19. Pape HC, Kurtz A, Silbernagl S, Herausgeber. *Physiologie* [Internet]. 9. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2019 [zitiert 4. Januar 2022]. Verfügbar unter: <https://eref.thieme.de/10.1055/b-006-163285>
20. Brandes R, Lang F, Schmidt RF, Herausgeber. *Physiologie des Menschen: mit Pathophysiologie* [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2019 [zitiert 4. Januar 2022]. (Springer-Lehrbuch). Verfügbar unter: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-56468-4>
21. Dirnagl U, Iadecola C, Moskowitz MA. Pathobiology of ischaemic stroke: an integrated view. *Trends in Neurosciences*. September 1999;22(9):391–7.
22. Back T, Zhao W, Ginsberg MD. Three-Dimensional Image Analysis of Brain Glucose Metabolism-Blood Flow Uncoupling and its Electrophysiological Correlates in the Acute Ischemic Penumbra following Middle Cerebral Artery Occlusion. *J Cereb Blood Flow Metab*. Juli 1995;15(4):566–77.
23. Hossmann KA. Viability thresholds and the penumbra of focal ischemia. *Ann Neurol*. Oktober 1994;36(4):557–65.
24. Astrup J, Siesjö BK, Symon L. Thresholds in cerebral ischemia - the ischemic penumbra. *Stroke*. 1981;12(6):723–5.
25. Le Kieu Tram Ngo S. Klinisches Mismatch zwischen Infarktkern in der CTPerfusion und neurologischer Ausfallssymptomatik bei akuten Mediaverschlüssen: Indikator für das Outcome nach mechanischer Thrombektomie? Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität; 2018.

26. Back T, Ginsberg MD, Dietrich WD, Watson BD. Induction of Spreading Depression in the Ischemic Hemisphere following Experimental Middle Cerebral Artery Occlusion: Effect on Infarct Morphology. *J Cereb Blood Flow Metab.* März 1996;16(2):202–13.
27. Hossmann KA. The Two Pathophysiologies of Focal Brain Ischemia: Implications for Translational Stroke Research. *J Cereb Blood Flow Metab.* Juli 2012;32(7):1310–6.
28. Saver JL, Smith EE, Fonarow GC, Reeves MJ, Zhao X, Olson DM, Schwamm LH. The “Golden Hour” and Acute Brain Ischemia: Presenting Features and Lytic Therapy in >30 000 Patients Arriving Within 60 Minutes of Stroke Onset. *Stroke.* Juli 2010;41(7):1431–9.
29. Ringleb P, Köhrmann M, Jansen O. Akuttherapie des ischämischen Schlaganfalls, S2e-Leitlinie, 2022 Version 1.1. Deutsche Gesellschaft für Neurologie (Hrsg.), Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie; 2022.
30. Patel MD, Rose KM, O’Brien EC, Rosamond WD. Prehospital Notification by Emergency Medical Services Reduces Delays in Stroke Evaluation: Findings From the North Carolina Stroke Care Collaborative. *Stroke.* August 2011;42(8):2263–8.
31. Brott T, Adams HP, Olinger CP, Marler JR, Barsan WG, Biller J, Spilker J, Holleran R, Eberle R, Hertzberg V. Measurements of acute cerebral infarction: a clinical examination scale. *Stroke.* Juli 1989;20(7):864–70.
32. Goldstein LB, Bertels C, Davis JN. Interrater Reliability of the NIH Stroke Scale. *Archives of Neurology.* 1. Juni 1989;46(6):660–2.
33. Lyden P, Brott T, Tilley B, Welch KM, Mascha EJ, Levine S, Haley EC, Grotta J, Marler J. Improved reliability of the NIH Stroke Scale using video training. NINDS TPA Stroke Study Group. *Stroke.* November 1994;25(11):2220–6.
34. Broderick JP, Adeoye O, Elm J. Evolution of the Modified Rankin Scale and Its Use in Future Stroke Trials. *Stroke.* Juli 2017;48(7):2007–12.
35. Rankin J. Cerebral Vascular Accidents in Patients over the Age of 60: II. Prognosis. *Scott Med J.* Mai 1957;2(5):200–15.
36. Farrell B, Godwin J, Richards S, Warlow C. The United Kingdom transient ischaemic attack (UK-TIA) aspirin trial: final results. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry.* 1. Dezember 1991;54(12):1044–54.
37. van Swieten JC, Koudstaal PJ, Visser MC, Schouten HJA, van Gijn J. Interobserver agreement for the assessment of handicap in stroke patients. *Stroke.* 1988;(19):604–7.
38. Banks JL, Marotta CA. Outcomes Validity and Reliability of the Modified Rankin Scale: Implications for Stroke Clinical Trials: A Literature Review and Synthesis. *Stroke.* März 2007;38(3):1091–6.

39. Wardlaw JM, Murray V, Berge E, del Zoppo GJ. Thrombolysis for acute ischaemic stroke. Cochrane Stroke Group, Herausgeber. Cochrane Database of Systematic Reviews [Internet]. 29. Juli 2014 [zitiert 8. Januar 2022]; Verfügbar unter: <https://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD000213.pub3>
40. Sheth SA, Jahan R, Gralla J, Pereira VM, Nogueira RG, Levy EI, Zaidat OO, Saver JL, for the SWIFT-STAR Trialists. Time to endovascular reperfusion and degree of disability in acute stroke: Time to Reperfusion in Stroke. *Ann Neurol*. Oktober 2015;78(4):584–93.
41. Kim J tae, Fonarow GC, Smith EE, Reeves MJ, Navalkele DD, Grotta JC, Grausepulveda M V, Adrian F, Peterson ED, Schwamm LH, Saver JL. Treatment with TPA in the “ Golden Hour ” and the Shape of the 4 . 5 Hour Time-Benefit Curve in the National US Get With The Guidelines- Stroke Population. *Circulation*. 2016;[Epub ahead of print].
42. Kim YD, Nam HS, Kim SH, Kim EY, Song D, Kwon I, Yang SH, Lee K, Yoo J, Lee HS, Heo JH. Time-Dependent Thrombus Resolution after Tissue-Type Plasminogen Activator in Patients with Stroke and Mice. *Stroke*. 2015;46(7):1877–82.
43. Lees KR, Bluhmki E. Time to treatment with intravenous alteplase and outcome in stroke: an updated pooled analysis of ECASS, ATLANTIS, NINDS, and EPITHET trials. *Lancet*. 2010;375:1695–703.
44. Jauch EC, Saver J. Guidelines for the Early Management of Patients With Acute Ischemic Stroke. *Stroke*. 2013;(44):870–947.
45. Ringleb P. Akuttherapie des ischämischen Schlaganfalls – Ergänzung 2015 – Rekanalisierende Therapie – Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie. Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie, Aufl 5, 2012. 6. Oktober 2015;(Vaskuläre Erkrankungen).
46. Berkhemer OA, Fransen PSS, Beumer D, van den Berg LA, Lingsma HF, Yoo AJ, Schonewille WJ, Vos JA, Nederkoorn PJ, Wermer MJH, van Walderveen MAA, Staals J, Hofmeijer J, van Oostayen JA, Lycklama à Nijeholt GJ, Boiten J, Brouwer PA, Emmer BJ, de Bruijn SF, van Dijk LC, Kappelle LJ, Lo RH, van Dijk EJ, de Vries J, de Kort PLM, van Rooij WJJ, van den Berg JSP, van Hasselt BAAM, Aerden LAM, Dallinga RJ, Visser MC, Bot JCJ, Vroomen PC, Eshghi O, Schreuder THCML, Heijboer RJJ, Keizer K, Tielbeek AV, den Hertog HM, Gerrits DG, van den Berg-Vos RM, Karas GB, Steyerberg EW, Flach HZ, Marquering HA, Sprengers MES, Jenniskens SFM, Beenen LFM, van den Berg R, Koudstaal PJ, van Zwam WH, Roos YBWEM, van der Lugt A, van Oostenbrugge RJ, Majoie CBLM, Dippel DWJ. A Randomized Trial of Intraarterial Treatment for Acute Ischemic Stroke. *N Engl J Med*. 1. Januar 2015;372(1):11–20.
47. Appireddy RMR, Demchuk AM, Goyal M, Menon BK, Eesa M, Choi P, Hillg MD. Endovascular therapy for ischemic stroke. *Journal of Clinical Neurology (Korea)*. 2015;11(1):1–8.

48. Campbell BCV, Mitchell PJ, Kleinig TJ, Dewey HM, Churilov L, Yassi N, Yan B, Dowling RJ, Parsons MW, Oxley TJ, Wu TY, Brooks M, Simpson MA, Miteff F, Levi CR, Krause M, Harrington TJ, Faulder KC, Steinfort BS, Priglinger M, Ang T, Scroop R, Barber PA, McGuinness B, Wijeratne T, Phan TG, Chong W, Chandra RV, Bladin CF, Badve M, Rice H, de Villiers L, Ma H, Desmond PM, Donnan GA, Davis SM. Endovascular Therapy for Ischemic Stroke with Perfusion-Imaging Selection. *N Engl J Med*. 12. März 2015;372(11):1009–18.
49. Saver JL, Goyal M, Bonafe A, Diener HC, Levy EI, Pereira VM, Albers GW, Cognard C, Cohen DJ, Hacke W, Jansen O, Jovin TG, Mattle HP, Nogueira RG, Siddiqui AH, Yavagal DR, Baxter BW, Devlin TG, Lopes DK, Reddy VK, du Mesnil de Rochemont R, Singer OC, Jahan R. Stent-Retriever Thrombectomy after Intravenous t-PA vs. t-PA Alone in Stroke. *N Engl J Med*. 11. Juni 2015;372(24):2285–95.
50. Powers WJ, Derdeyn CP, Biller J, Coffey CS, Hoh BL, Jauch EC, Johnston KC, Johnston SC, Khalessi AA, Kidwell CS, Meschia JF, Ovbiagele B, Yavagal DR. 2015 American Heart Association/American Stroke Association Focused Update of the 2013 Guidelines for the Early Management of Patients With Acute Ischemic Stroke Regarding Endovascular Treatment: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. Oktober 2015;46(10):3020–35.
51. Turc G, Bhogal P, Fischer U, Khatri P, Lobotesis K, Mazighi M, Schellinger PD, Toni D, de Vries J, White P, Fiehler J. European Stroke Organisation (ESO) – European Society for Minimally Invasive Neurological Therapy (ESMINT) Guidelines on Mechanical Thrombectomy in Acute Ischaemic Stroke Endorsed by Stroke Alliance for Europe (SAFE). *European Stroke Journal*. März 2019;4(1):6–12.
52. Nogueira RG, Jadhav AP, Haussen DC, Bonafe A, Budzik RF, Bhuva P, Yavagal DR, Ribo M, Cognard C, Hanel RA, Sila CA, Hassan AE, Millan M, Levy EI, Mitchell P, Chen M, English JD, Shah QA, Silver FL, Pereira VM, Mehta BP, Baxter BW, Abraham MG, Cardona P, Veznedaroglu E, Hellinger FR, Feng L, Kirmani JF, Lopes DK, Jankowitz BT, Frankel MR, Costalat V, Vora NA, Yoo AJ, Malik AM, Furlan AJ, Rubiera M, Aghaebrahim A, Olivot JM, Tekle WG, Shields R, Graves T, Lewis RJ, Smith WS, Liebeskind DS, Saver JL, Jovin TG. Thrombectomy 6 to 24 Hours after Stroke with a Mismatch between Deficit and Infarct. *N Engl J Med*. 4. Januar 2018;378(1):11–21.
53. Powers WJ, Rabinstein AA, Ackerson T, Adeoye OM, Bambakidis NC, Becker K, Biller J, Brown M, Demaerschalk BM, Hoh B, Jauch EC, Kidwell CS, Leslie-Mazwi TM, Ovbiagele B, Scott PA, Sheth KN, Southerland AM, Summers DV, Tirschwell DL, on behalf of the American Heart Association Stroke Council. Guidelines for the Early Management of Patients With Acute Ischemic Stroke: 2019 Update to the 2018 Guidelines for the Early Management of Acute Ischemic Stroke: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke* [Internet]. Dezember 2019 [zitiert 26. Dezember 2022];50(12). Verfügbar unter: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/STR.0000000000000211>

54. Khatri P, Yeatts SD, Mazighi M, Broderick JP, Liebeskind DS, Demchuk AM, Amarenco P, Carrozzella J, Spilker J, Foster LD, Goyal M, Hill MD, Palesch YY, Jauch EC, Haley EC, Vagal A, Tomsick TA. Time to angiographic reperfusion and clinical outcome after acute ischaemic stroke: an analysis of data from the Interventional Management of Stroke (IMS III) phase 3 trial. *The Lancet Neurology*. Juni 2014;13(6):567–74.
55. Sun CJ, Ribo M, Goyal M, Yoo AJ, Jovin T, Cronin CA, Zaidat O, Nogueira R, Nguyen T, Hussain MS, Menon BK, Mehta B, Jindal G, Horev A, Norbash A, Leslie-Mazwi T, Wisco D, Gupta R. Door-to-Puncture: A Practical Metric for Capturing and Enhancing System Processes Associated With Endovascular Stroke Care, Preliminary Results From the Rapid Reperfusion Registry. *JAHA*. 24. März 2014;3(2):e000859.
56. Heuschmann P, Busse O, Wagner M, Endres M, Villringer A, Röther J, Kolominsky-Rabas P, Berger K. Schlaganfallhäufigkeit und Versorgung von Schlaganfallpatienten in Deutschland. *Akt Neurol*. September 2010;37(07):333–40.
57. Bottacchi E, Corso G, Tosi P, Morosini MV, De Filippis G, Santoni L, Furneri G, Negrini C. The cost of first-ever stroke in Valle d’Aosta, Italy: linking clinical registries and administrative data. *BMC Health Serv Res*. Dezember 2012;12(1):372.
58. Kolominsky-Rabas PL, Heuschmann PU, Marschall D, Emmert M, Baltzer N, Neundörfer B, Schöffski O, Krobot KJ. Lifetime Cost of Ischemic Stroke in Germany: Results and National Projections From a Population-Based Stroke Registry: The Erlangen Stroke Project. *Stroke*. Mai 2006;37(5):1179–83.
59. Murray CJL. Quantifying the burden of disease: the technical basis for disability-adjusted life years. *Bulletin of the World Health Organization*. 1994;72:429–45.
60. Murray CJL, Lopez AD, Jamison DT. The global burden of disease in 1990: summary results, sensitivity analysis and future directions. *Bulletin of the World Health Organization*. 1994;72:495–509.
61. Schöffski O, Graf von der Schulenburg JM, Herausgeber. *Gesundheitsökonomische Evaluationen* [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2012 [zitiert 29. Oktober 2021]. Verfügbar unter: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-21700-5>
62. Gold MR, Stevenson D, Fryback DG. HALYs and QALYs and DALYs, Oh My: Similarities and Differences in Summary Measures of Population Health. *Annu Rev Public Health*. Mai 2002;23(1):115–34.
63. Klarmann HE, Francis JOS, Rosenthal G. Cost Effectiveness Analysis Applied to the Treatment of Chronic Renal Disease. *Medical Care*. 6 (1). 1968;48–54.

64. Ministry of Health. Healthcare in Denmark: an overview [Internet]. Ministry of Health; 2017 [zitiert 22. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://www.healthcaredenmark.dk/media/ykedbhsi/healthcare-dk.pdf>
65. Osterloh F. Streit um mehr Zentralisierung. 6. April 2018;Deutsches Ärzteblatt(14/2018):3.
66. Ministry of Health. The Danish Super Hospital Programme [Internet]. 2021 [zitiert 22. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://sum.dk/Media/0/2/TheDanishSuperHospitalProgramme2021.pdf>
67. Hammer-Jakobsen T. Dänemark baut die Krankenhäuser der Zukunft [Internet]. 2021 [zitiert 22. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://www.hcm-magazin.de/daenemark-baut-die-krankenhaeuser-der-zukunft-259242/>
68. Statistisches Bundesamt. Krankenhäuser, Betten, Patienten: Deutschland, Jahre [Internet]. DESTATIS Statistisches Bundesamt. 2025. Verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/23111/table/23111-0001/search/s/ZWlud29obmVy>
69. Bundesministerium für Gesundheit. Eckpunktepapier – Krankenhausreform [Internet]. Krankenhausversorgungsverbesserungsgesetzes (KHVVG), Krankenhausversorgungsverbesserungsgesetzes (KHVVG) Juli 10, 2023. Verfügbar unter: <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/ministerium/meldungen/krankenhausreform-eckpunkte.html>
70. Bundesministerium für Gesundheit. Krankenhausfinanzierung [Internet]. 2024 [zitiert 29. Mai 2025]. Verfügbar unter: <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/krankenhausfinanzierung.html>
71. Fassbender K, Grotta JC, Walter S, Grunwald I, Ragoschke A, Saver JL. Mobile stroke units for prehospital thrombolysis, triage, and beyond: benefits and challenges. *The Lancet Neurology*. 2017;(17):227–37.
72. Walter S, Audebert HJ, Katsanos AH, Larsen K, Sacco S, Steiner T, Turc G, Tsivgoulis G. European Stroke Organisation (ESO) guidelines on mobile stroke units for prehospital stroke management. *European Stroke Journal*. März 2022;7(1):XXVII–LIX.
73. Grotta JC, Yamal JM, Parker SA, Rajan SS, Gonzales NR, Jones WJ, Alexandrov AW, Navi BB, Nour M, Spokoyny I, Mackey J, Persse D, Jacob AP, Wang M, Singh N, Alexandrov AV, Fink ME, Saver JL, English J, Barazangi N, Bratina PL, Gonzalez M, Schimpf BD, Ackerson K, Sherman C, Lerario M, Mir S, Im J, Willey JZ, Chiu D, Eishofer M, Miller J, Ornelas D, Rhudy JP, Brown KM, Villareal BM, Gausche-Hill M, Bosson N, Gilbert G, Collins SQ, Silnes K, Volpi J, Misra V, McCarthy J, Flanagan T, Rao CPV, Kass JS, Griffin L, Rangel-Gutierrez N, Lechuga E, Stephenson J, Phan K, Sanders Y, Noser EA, Bowry R. Prospective, Multicenter, Controlled Trial of Mobile Stroke Units. *N Engl J Med*. 9. September 2021;385(11):971–81.

74. Ebinger M, Siegerink B, Kunz A, Wendt M, Weber JE, Schwabauer E, Geisler F, Freitag E, Lange J, Behrens J, Erdur H, Ganeshan R, Liman T, Scheitz JF, Schlemm L, Harmel P, Zieschang K, Lorenz-Meyer I, Napierkowski I, Waldschmidt C, Nolte CH, Grittner U, Wiener E, Bohner G, Nabavi DG, Schmehl I, Ekkernkamp A, Jungehulsing GJ, Mackert BM, Hartmann A, Rohmann JL, Endres M, Audebert HJ, Berlin_PRehospital Or Usual Delivery in stroke care (B_PROUD) study group. Association Between Dispatch of Mobile Stroke Units and Functional Outcomes Among Patients With Acute Ischemic Stroke in Berlin. *JAMA*. 2. Februar 2021;325(5):454.
75. Zhao H, Coote S, Easton D, Langenberg F, Stephenson M, Smith K, Bernard S, Cadilhac DA, Kim J, Bladin CF, Churilov L, Crompton DE, Dewey HM, Sanders LM, Wijeratne T, Cloud G, Brooks DM, Asadi H, Thijs V, Chandra RV, Ma H, Desmond PM, Dowling RJ, Mitchell PJ, Yassi N, Yan B, Campbell BCV, Parsons MW, Donnan GA, Davis SM. Melbourne Mobile Stroke Unit and Reperfusion Therapy: Greater Clinical Impact of Thrombectomy Than Thrombolysis. *Stroke*. März 2020;51(3):922–30.
76. Rohmann JL, Piccininni M, Ebinger M, Wendt M, Weber JE, Schwabauer E, Geisler F, Freitag E, Harmel P, Lorenz-Meyer I, Rohrpasser-Napierkowski I, Nolte CH, Nabavi DG, Schmehl I, Ekkernkamp A, Endres M, Audebert HJ. Effect of Mobile Stroke Unit Dispatch in all Patients with Acute Stroke or TIA. *Annals of Neurology*. Januar 2023;93(1):50–63.
77. Turc G, Hadziahmetovic M, Walter S, et al. Comparison of Mobile Stroke Unit With Usual Care for Acute Ischemic Stroke Management - A Systematic Review and Meta-analysis. 7. Februar 2022;79(3)(*JAMA Neurology*):281–90.
78. Tiemann, Susanna R Georg. Interreg Deutschland – Denmark MSU-Projekt [Internet]. 2025. Verfügbar unter: <https://www.neuro.uni-luebeck.de/forschung/ag-royl/interreg-deutschland-denmark-msu-projekt>
79. Meretoja A, Keshtkaran M, Saver JL, Tatlisumak T, Parsons MW, Kaste M, Davis SM, Donnan GA, Churilov L. Stroke Thrombolysis: Save a Minute, Save a Day. *Stroke*. April 2014;45(4):1053–8.
80. Meretoja A, Keshtkaran M, Tatlisumak T, Donnan GA, Churilov L. Endovascular therapy for ischemic stroke: Save a minute—save a week. *Neurology*. 30. Mai 2017;88(22):2123–7.
81. Wafa HA, Wolfe CDA, Emmett E, Roth GA, Johnson CO, Wang Y. Burden of Stroke in Europe: Thirty-Year Projections of Incidence, Prevalence, Deaths, and Disability-Adjusted Life Years. *Stroke*. August 2020;51(8):2418–27.
82. Ehlers C. Warum Interreg? [Internet]. 2023 [zitiert 17. April 2023]. Verfügbar unter: <https://www.interreg-de-dk.eu/ueber-uns/was-ist-interreg/>
83. Bluhm S, Schramm P, Spreen-Ledebur Y, Bluhm S, Münte TF, Eiersted MR, Wolfram F, Van Hooff RR, Wienecke T, Royl G. Potential effects of a mobile stroke unit on time to treatment and outcome in patients treated with

thrombectomy or thrombolysis: A DANISH–GERMAN CROSS-BORDER analysis. *Euro J of Neurology*. 29. April 2024;e16298.

84. Fassbender K, Walter S, Liu Y, Muehlhauser F, Ragoschke A, Kuehl S, Mielke O. "Mobile Stroke Unit" for Hyperacute Stroke Treatment. *Stroke* [Internet]. Juni 2003 [zitiert 3. November 2021];34(6). Verfügbar unter: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/01.STR.0000075573.22885.3B>
85. Walter S, Kostopoulos P, Haass A, Keller I, Lesmeister M, Schlechtriemen T, Roth C, Papanagiotou P, Grunwald I, Schumacher H, Helwig S, Viera J, Körner H, Alexandrou M, Yilmaz U, Ziegler K, Schmidt K, Dabew R, Kubulus D, Liu Y, Volk T, Kronfeld K, Ruckes C, Bertsch T, Reith W, Fassbender K. Diagnosis and treatment of patients with stroke in a mobile stroke unit versus in hospital: a randomised controlled trial. *The Lancet Neurology*. Mai 2012;11(5):397–404.
86. Ebinger M, Winter B, Wendt M, Weber JE, Waldschmidt C, Rozanski M, Kunz A, Koch P, Kellner PA, Gierhake D, Villringer K, Fiebach JB, Grittner U, Hartmann A, Mackert BM, Endres M, Audebert HJ. Effect of the Use of Ambulance-Based Thrombolysis on Time to Thrombolysis in Acute Ischemic Stroke: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 23. April 2014;311(16):1622.
87. Al Saiegh F, Velagapudi L, Ohanna O, Baldassari MP, Mouchtouris N, Hafazalla K, Roussis J, DePrince M, Tjoumakaris S, Reid Gooch M, Herial N, Rosenwasser RH, Jabbour P. Improved Functional Outcomes of Stroke Patients Undergoing Mechanical Thrombectomy After Arriving via a Mobile Stroke Unit. *World Neurosurgery*. Oktober 2022;Elsevier(Volume 166):e546–50.
88. Berger E, Reichebner C, Eriksen A, Kretzler M, Offermanns M, Heber R, Krause C, Busse R. COVID-19 als Stresstest für das Gesundheitssystem: Eine Bestandsaufnahme der Situation in Dänemark und Deutschland. *GuS*. 2020;74(4–5):49–61.
89. Kreis Ostholstein [Internet]. 2023 [zitiert 17. April 2023]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/wiki/Kreis_Ostholstein
90. Region Zealand [Internet]. 2023 [zitiert 17. April 2023]. Verfügbar unter: https://en.wikipedia.org/wiki/Region_Zealand
91. Kasner SE, Chalela JA, Luciano JM, Cucchiara BL, Raps EC, McGarvey ML, Conroy MB, Localio AR. Reliability and Validity of Estimating the NIH Stroke Scale Score from Medical Records. *Stroke*. August 1999;30(8):1534–7.
92. Wolfe CD, Taub NA, Woodrow EJ, Burney PG. Assessment of scales of disability and handicap for stroke patients. *Stroke*. Oktober 1991;22(10):1242–4.
93. Google Inc. Python Client for Google Maps Services [Internet]. 2023 [zitiert 18. Oktober 2023]. Verfügbar unter: <https://googlemaps.github.io/google-maps-services-python/docs/index.html>

94. Nelder JA, Mead R. A Simplex Method for Function Minimization. *The Computer Journal*. 1. Januar 1965;7(4):308–13.
95. Zhu C, Zhang Y, Pan X, Chen Q, Fu Q. Improved Harris Hawks Optimization algorithm based on quantum correction and Nelder-Mead simplex method. *MBE*. 2022;19(8):7606–48.
96. Sheikhi, L, Mullaguri N, Nocero J, Reimer A, Schrock J, Rasmussen P. Abstract TP285: Improving Mobile Stroke Unit Intravenous Thrombolysis Times Through Parallel Processing. *Stroke*. 22. Januar 2018;49(Number Suppl_1).
97. Daroudi R, Akbari Sari A, Nahvijou A, Faramarzi A. Cost per DALY averted in low, middle- and high-income countries: evidence from the global burden of disease study to estimate the cost-effectiveness thresholds. *Cost Eff Resour Alloc*. Dezember 2021;19(1):7.
98. GDP per capita, PPP (current international \$) - Denmark, Germany [Internet]. 2023 [zitiert 21. Juni 2023]. Verfügbar unter: Data. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.CD?locations=DK-DE>
99. Jensen MU. Statistics Denmark [Internet]. Statistics Denmark. 2025 [zitiert 26. Mai 2025]. Verfügbar unter: <https://www.dst.dk/en/Statistik/emner/borgere/befolkning/befolkningstal>
100. Statistischen Ämter des Bundes und der Länder. Statistikportal [Internet]. 2025 [zitiert 26. Mai 2025]. Verfügbar unter: <https://experience.arcgis.com/experience/2ce4e1cccb244421a281fa813c7523fc>
101. Lees KR, Emberson J, Blackwell L, Bluhmki E, Davis SM, Donnan GA, Grotta JC, Kaste M, von Kummer R, Lansberg MG, Lindley RI, Lyden P, Murray GD, Sandercock PAG, Toni D, Toyoda K, Wardlaw JM, Whiteley WN, Baigent C, Hacke W, Howard G, Marler J, Halls H, Holland L, Mathews C, Smith S, Wilson K, Koga M, Albers G, Brott T, Cohen G, Koga M, Olivot JM, Parsons M, Tilley B, Wahlgren N, del Zoppo GJ. Effects of Alteplase for Acute Stroke on the Distribution of Functional Outcomes: A Pooled Analysis of 9 Trials. *Stroke*. September 2016;47(9):2373–9.
102. Mazighi M, Chaudhry SA, Ribo M, Khatri P, Skoloudik D, Mokin M, Labreuche J, Meseguer E, Yeatts SD, Siddiqui AH, Broderick J, Molina CA, Qureshi AI, Amarenco P. Impact of Onset-to-Reperfusion Time on Stroke Mortality: A Collaborative Pooled Analysis. *Circulation*. 14. Mai 2013;127(19):1980–5.
103. Schwamm LH, Ali SF, Reeves MJ, Smith EE, Saver JL, Messe S, Bhatt DL, Grau-Sepulveda MV, Peterson ED, Fonarow GC. Temporal Trends in Patient Characteristics and Treatment With Intravenous Thrombolysis Among Acute Ischemic Stroke Patients at Get With the Guidelines–Stroke Hospitals. *Circulation: Cardiovascular Quality and Outcomes*. 20. August 2013;6(5):543–9.

104. Scholten N, Pfaff H, Lehmann H, Fink G, Karbach U. Thrombolyse des akuten Schlaganfalls - Eine deutschlandweite Analyse der regionalen Versorgung. *Fortschr Neurol Psychiatr.* 30. September 2013;81(10):579–85.
105. Kessler C, Khaw AV, Nabavi DG, Glahn J, Grond M, Busse O. Standardized Prehospital Treatment of Stroke. *Deutsches Ärzteblatt international* [Internet]. 9. September 2011 [zitiert 4. Februar 2023]; Verfügbar unter: <https://www.aerzteblatt.de/10.3238/arztebl.2011.0585>
106. Lin E, Calderon V, Goins-Whitmore J, Bansal V, Zaidat O. World's First 24/7 Mobile Stroke Unit: Initial 6-Month Experience at Mercy Health in Toledo, Ohio. *Front Neurol.* 17. Mai 2018;9:283.
107. Ebinger M, Kunz A, Wendt M, Rozanski M, Winter B, Waldschmidt C, Weber J, Villringer K, Fiebach JB, Audebert HJ. Effects of Golden Hour Thrombolysis: A Prehospital Acute Neurological Treatment and Optimization of Medical Care in Stroke (PHANTOM-S) Substudy. *JAMA Neurol.* 1. Januar 2015;72(1):25.
108. Wadmann S, Hartlev M, Hoeyer K. The life and death of confidentiality: a historical analysis of the flows of patient information. *BioSocieties.* Juni 2023;18(2):282–307.
109. Navi BB, Audebert HJ, Alexandrov AW, Cadilhac DA, Grotta JC, on behalf of the PRESTO (Prehospital Stroke Treatment Organization) Writing Group. Mobile Stroke Units: Evidence, Gaps, and Next Steps. *Stroke.* Juni 2022;53(6):2103–13.
110. Schehadat MS, Groneberg DA, Bauer J, Bendels MHK. Hilfsfristen des Rettungsdienstes in den deutschen Bundesländern. *Zbl Arbeitsmed.* September 2017;67(5):255–60.
111. Banke-Thomas A, Avoka CK on, Gwacham-Anisiobi U, Omololu O, Balogun M, Wright K, Fasesin TT, Olusi A, Afolabi BB, Ameh C. Travel of pregnant women in emergency situations to hospital and maternal mortality in Lagos, Nigeria: a retrospective cohort study. *BMJ Glob Health.* April 2022;7(4):e008604.
112. Hunt RC, Brown LH, Cabinum ES, Whitley TW, Prasad NH, Owens CF, Mayo CE. Is Ambulance Transport Time With Lights and Siren Faster Than That Without? *Annals of Emergency Medicine.* April 1995;25(4):507–11.
113. Ebinger M, Rozanski M, Waldschmidt C, Weber J, Wendt M, Winter B, Kellner P, Baumann AM, Malzahn U, Heuschmann PU, Fiebach JB, Endres M, Audebert HJ, for the STEMO-Consortium. PHANTOM-S: The Prehospital Acute Neurological Therapy and Optimization of Medical Care in Stroke Patients – Study. *International Journal of Stroke.* Juni 2012;7(4):348–53.
114. León-Salas B, González-Hernández Y, Infante-Ventura D, de Armas-Castellano A, García-García J, García-Hernández M, Carmona-Rodríguez M, Olazarán J, Dobato JL, Rodríguez-Rodríguez L, Trujillo-Martín MM. Telemedicine for neurological diseases: A systematic review and meta-

analysis. *European Journal of Neurology*. 18. Oktober 2022;Volume30(Issue1):Pages 241-254.

115. Kim J, Easton D, Zhao H, Coote S, Sookram G, Smith K, Stephenson M, Bernard S, W Parsons M, Yan B, M Desmond P, J Mitchell P, CV Campbell B, Donnan GA, M Davis S, Cadilhac DA. Economic evaluation of the Melbourne Mobile Stroke Unit. *International Journal of Stroke*. Juni 2021;16(4):466–75.
116. Oliveira Gonçalves AS, Rohmann JL, Piccininni M, Kurth T, Ebinger M, Endres M, Freitag E, Harmel P, Lorenz-Meyer I, Rohrpasser-Napierkowski I, Busse R, Audebert HJ. Economic Evaluation of a Mobile Stroke Unit Service in Germany. *Annals of Neurology*. Mai 2023;93(5):942–51.
117. Feng X, Kim DD, Cohen JT, Neumann PJ, Ollendorf DA. Using QALYs versus DALYs to measure cost-effectiveness: How much does it matter? *Int J Technol Assess Health Care*. April 2020;36(2):96–103.
118. Schlemm L, Schlemm E, Nolte CH, Endres M. Pre-hospital Triage of Acute Ischemic Stroke Patients—Importance of Considering More Than Two Transport Options. *Front Neurol*. 26. April 2019;10:437.
119. Schlemm L, Endres M, Nolte CH. Bypassing the Closest Stroke Center for Thrombectomy Candidates: What Additional Delay to Thrombolysis Is Acceptable? *Stroke*. März 2020;51(3):867–75.
120. Sriudomporn S, Rachmad Nugraha R, Ahuja N, Drabo E. The Cost Effectiveness of Mobile Stroke Unit in the United States. *Health Serv Res*. August 2020;55(S1):47–47.
121. Kunz A, Nolte CH, Erdur H, Fiebach JB, Geisler F, Rozanski M, Scheitz JF, Villringer K, Waldschmidt C, Weber JE, Wendt M, Winter B, Zieschang K, Grittner U, Kaczmarek S, Endres M, Ebinger M, Audebert HJ. Effects of Ultraearly Intravenous Thrombolysis on Outcomes in Ischemic Stroke: The STEMO (Stroke Emergency Mobile) Group. *Circulation*. 2. Mai 2017;135(18):1765–7.
122. Fassbender K, Merzou F, Lesmeister M, Walter S, Grunwald IQ, Ragoschke-Schumm A, Bertsch T, Grotta J. Impact of mobile stroke units. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. August 2021;92(8):815–22.
123. Lund UH, Stoinska-Schneider A, Larsen K, Bache KG, Robberstad B. Cost-Effectiveness of Mobile Stroke Unit Care in Norway. *Stroke*. Oktober 2022;53(10):3173–81.
124. Bschor T. Reform der Notfall- und Akut- versorgung in Deutschland Integrierte Notfallzentren und Integrierte Leitstellen (Regierungskommission) [Internet]. 2023 [zitiert 6. Juli 2023]. Verfügbar unter: https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3_Download/s/K/Krankenhausreform/Vierte_Stellungnahme_Regierungskommission_Notfall_ILS_und_INZ.pdf

125. Amelung V, Klabber B, Knieps F. Gesundheits- und Sozialpolitik (G&S). Nomos, Baden-Baden. Jahrgang 74 (2020)(Heft 4-5).
126. Larsen K, Jæger H, Tveit L, Hov M, Kjetil T, Røislien J, Solyga V, Lund C, Bache KG. Ultraearly Thrombolysis by an Anesthesiologist in a Mobile Stroke Unit A prospective, controlled intervention study. *European Journal of Neurology*. 2021;8(28):2488–96.
127. Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bundesministerium für Gesundheit, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Daten helfen heilen [Internet]. 2020 Sep [zitiert 5. Februar 2023] S. 1–28. Verfügbar unter: https://www.bmftr.bund.de/SharedDocs/Publikationen/DE/6/23360_Daten_helfen_heilen.html
128. Jörg J. Digitalisierung in der Medizin: Wie Gesundheits-Apps, Telemedizin, künstliche Intelligenz und Robotik das Gesundheitswesen revolutionieren [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2018 [zitiert 5. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-662-57759-2>
129. Wenstrup J, Havtorn JD, Borgholt L, Blomberg SN, Maaloe L, Sayre MR, Christensen H, Kruuse C, Christensen HC. A retrospective study on machine learning-assisted stroke recognition for medical helpline calls. *npj Digit Med*. 19. Dezember 2023;6(1):235.
130. Scholz ML, Collatz-Christensen H, Blomberg SNF, Boebel S, Verhoeven J, Krafft T. Artificial intelligence in Emergency Medical Services dispatching: assessing the potential impact of an automatic speech recognition software on stroke detection taking the Capital Region of Denmark as case in point. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. Dezember 2022;30(1):36.
131. Richards CT, Oostema JA, Chapman SN, Mamer LE, Brandler ES, Alexandrov AW, Czap AL, Martinez-Gutierrez JC, Martin-Gill C, Panchal AR, McMullan JT, Zachrison KS. Prehospital Stroke Care Part 2: On-Scene Evaluation and Management by Emergency Medical Services Practitioners. *Stroke*. Mai 2023;54(5):1416–25.
132. Freyer L, Spielbichler P, Von Stülpnagel L, Krasniqi A, Wörndl M, Tenbrink L, Villegas Sierra LE, Vogl MF, Sams LE, Mayer AK, Schreinlechner M, Eiffener E, Schneidewind A, Klemm M, Massberg S, Bauer A, Rizas KD. Impact of Age on Smartphone-Based Screening for Atrial Fibrillation: A Prespecified Subgroup Analysis of the eBRAVE-AF Trial. *Circ: Arrhythmia and Electrophysiology* [Internet]. Januar 2025 [zitiert 5. September 2025];18(1). Verfügbar unter: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIRCEP.124.013293>
133. Rizas KD, Freyer L, Sappeler N, Von Stülpnagel L, Spielbichler P, Krasniqi A, Schreinlechner M, Wenner FN, Theurl F, Behroz A, Eiffener E, Klemm MP, Schneidewind A, Zens M, Dolejsi T, Mansmann U, Massberg S, Bauer A. Smartphone-based screening for atrial fibrillation: a pragmatic randomized clinical trial. *Nat Med*. September 2022;28(9):1823–30.

134. Baral N, Volgman AS, Seri A, Chelikani V, Isa S, Javvadi SLP, Paul TK, Mitchell JD. Adding Pharmacist-Led Home Blood Pressure Telemonitoring to Usual Care for Blood Pressure Control: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The American Journal of Cardiology*. September 2023;203:161–8.

7. Anhang

* * * Ausdruck aus dem Archivsystem OS ECM am 03.09.2018 * * *

Krankenkasse bzw. Kostenträger
AOK NordWest

Name, Vorname des Versicherten
[REDACTED]

Kassen-Nr. | Versicherten-Nr. | Status

Betriebsstätten-Nr. | Arzt-Nr. | Datum

Geschlecht männlich weiblich

RETTUNGSTECHNISCHE DATEN

Einsatzdatum *31.05.19* Einsatz-Nr. [REDACTED]

Rettmittel RTW KTW NEF

Fahrzeug *SE - RK 451* Funk *26/83/012*

Einsatzort [REDACTED]

Transportziel [REDACTED]

Personal 1 [REDACTED] Fahrer *3988*

Personal 2 [REDACTED] Trsp.-Führer *8328*

Personal 3 [REDACTED] Praktikant

km Anfang *239212* Alarm *05 09* Übergabe [REDACTED]

km Pat. Anfang *239720* Ankunft Patient *05 16* Einsatzbereit [REDACTED]

km Pat. Ende [REDACTED] Abfahrt *05 30* Ende [REDACTED]

km Ende [REDACTED] Sondersignal zum Einsatzort Patientenfahrt

EINSATZART

Krankentransport paralleler Notarztalarm sonstiger Notfall

Notfalltransport Versorgung ohne Transport Verkehrsunfall

Verlegung Bereitstellung Arbeitsunfall

Fehlfahrt Inkubatortransport sonstiger Unfall

BEMERKUNGEN
R301

UHRZEIT

	15	30	45	15	30	45
Puls						
RR						
HDM						
Defibrillation						
Transport						
In/Exubation						
Spontanatmung						
assistierte Beatmung						
kontrollierte Beatmung						
Maßnahmen						
SpO ₂						
O ₂ L/min						
Temp.						
et CO ₂						

Deutsches Rotes Kreuz
Rettungsdienst Segeberg gGmbH
Rettungsdienst / Krankentransport

NOTFALLSITUATION
Patz. seit ca. 05:00 Halbschlafstörung re. mit Sprachstörung bei beherrschter Handschwäche.

ERSTBEFUND

BEWUSSTSEINSLAGE
 orientiert/wach
 geträubt
 bewusstlos
 Komapatient

KREISLAUF
 Schock
 Kreislaufstillstand
 Puls regelmäßig
 Puls unregelmäßig

PUPILLENFUNKTION
re eng mittel weit
 Lichtreaktion

SCHMERZEN
 keine
 leicht
 mittel
 stark

ATMUNG
 spontan/frei
 Atemnot
 Hyperventilation
 Atemstillstand

MESSWERTE

140 RR syst
49 RR diast
56 Puls
97 SpO₂
114 AF
142 BZ
Temp. °C

ERKRANKUNG

Atmung Intoxikation Pädiatrie

Kreislauf Hypo- Hyperthermie Neurologie

Abdomen Gynäkologie Psychiatrie

Stoffwechsel Geburtshilfe sonstige

VERLETZUNG

Prellung/Hämatom Wunde/Verletzung Verbrennung

Fraktur/V.a. Inhalationstrauma Elektrounfall

sonstige

	offen	geschlossen	leicht	mittel	schwer
Schädel/Hirn					
Gesicht					
HWS					
Thorax					
Abdomen					
BWS / LWS					
Becken					
Oberer Extremitäten					
Untere Extremitäten					
Weichteile					

MASSNAHMEN RettAss/RS

stabile Seitenlage Extremitätenschiemung Sauerstoffgabe *016* Ltr/Min.

Oberkörperhochlage Wundversorgung/Verband Intubation

Flachlagerung EKG-Monitoring Beatmung

Schocklagerung venöser Zugang Herzdruckmassage

Vakuummattätze Infusion Erstdefibrillation

HWS-Stützkragen Atemwege freimachen sonstige

Medikamente Notkompetenz-Maßnahmen

ERSTHELFER-MASSNAHMEN

suffizient insuffizient AED keine

ERGEBNIS / ÜBERGABE

Zustand verbessert Notarzt nachgefordert Tod am Notfallort

Zustand unverändert Notarzt abbestellt Tod während Trsp.

Zustand verschlechtert Patient lehnt Transport ab ZEK s. Rückseite

Transport nicht erforderlich Hausarzt / ABD informiert


Übergabe an: _____ **Zeit:** _____

VERLAUFSBESCHREIBUNG
[REDACTED]

Doku FORM Verlags GmbH · Schloßstraße 4 · 23626 Ratekau · Tel. 0 700 / 36 58 36 76 · Fax 0 45 02 / 30 94 81 · info@dokuform.de · www.dokuform.de

Abbildung 6A: Primäres Rettungsdienstprotokoll

Patientendaten oder Aufheber



	Datum	Uhrzeit
Symptom onset <input type="checkbox"/> genau bekannt <input checked="" type="checkbox"/> fast well seen <input type="checkbox"/> abgeschätzt	30.5.14	22:00
Eintreffen in Klinik	31.5.14	7:50
CCT	31.5.14	6:40
Lysebeginn	31.5.14	6:55
Thrombektomiebeginn	31.5.14	8:30

Anamnese: Ua 5:00 mit HFr re Arteriosklerose
 Befund: Hochgr. HFr re & schwere Arteriosklerose. Aphasie

Vigilanz wach = 0 benennen = 1 somnolent/soporös = 2 komatös = 3	0	Gesichtsfelder unauffällig = 0 nicht beurteilbar = 0 partielle Hemianopsie = 1 komplette Hemianopsie = 2	0	rechter Arm siehe linker Arm	3	Sensibilitätsstörung keine = 0 partiell = 1 komplett = 2	1
Orientierung Alter und Monat = 0 nur eines = 1 keines = 2	2	Facialisparese keine = 0 diskret = 1 partiell = 2 komplett = 3	1	linkes Bein kein Absinken = 0 Amputation = 0 Gelenksteife = 0 Absinken = 1 gegen Schwerkraft = 2 kein Anheben = 3 keine Bewegung = 4	0	Aphasie keine = 0 leicht = 1 schwer = 2 stumm = 3	2
Kooperation öffnet / schließt Augen + nicht paretische Hand = 0 nur eines = 1 keines = 2	0	linker Arm kein Absinken = 0 Amputation = 0 Gelenksteife = 0 Absinken = 1 gegen Schwerkraft = 2 kein Anheben = 3 keine Bewegung = 4	0	rechtes Bein siehe linkes Bein	3	Dysarthrie keine = 0 leicht/mäßig = 1 unverständlich = 2	1
Blickwendungen normal = 0 partielle Blickparese = 1 komplette Blickparese = 2	1	SUMME 1		Extremitätenataxie keine = 0 paresebedingt = 0 nicht beurteilbar = 0 in einer Extremität = 1 in zwei Extremitäten = 2	0	Neglect kein = 0 partiell = 1 komplett = 2	1
SUMME 1		SUMME 2		SUMME 3		SUMME 4	

NIHSS ges. (SUMME 1-4)

NIHSS bei analgosediertem / komatösem Pat. = 36 Punkte

Befund CCT: Frühzeitige M1-Verschle. Li.

Kontraindikationen (Informationsslage bei Indikationsstellung)	Ja	Nein		Ja	Nein
Dabigatranereinnahme PLUS Thrombinzeit erhöht			akute Pankreatitis		
Rivaroxaban/Apixabaneinnahme PLUS Anti-Xa-Akt. erhöht			fortgeschrittenes Malignom		
Intrakranielle Blutung in Anamnese			hämorrhagische Retinopathie		
Infarkt, schweres ST oder NCh-OP < 3 Monate			hämorrhagische Diathese		
GI- oder urogenitale Blutung < 3 Wo			klinische Zeichen Gerinnungsstörung		
große OP / schweres Trauma < 2 Qo			rasche klinische Besserung		
Punktion eines nicht komprimierb. Gefäßes / LP < 1 Wo			funktionell geringfügiges Defizit		
Schwangerschaft / Entbindung / Wochenbett			fixierter RR > 185 mmHg syst.		
V.a. bakterielle Endokarditis / Perikarditis			fixierter RR > 110 mmHg diast.		
akutes Abdomen			Intrakranielle Blutung im CCT		
schwere Lebererkrankung			Hypodensität > 1/3 MCA-Territorium		
Ösophagusvarizen			fixierter BZ < 50mg/dl oder > 400mg/dl		
akute GI-Ulzera			Thrombozyten < 100 od. INR > 1,7 od. PTT > 50s (abwarten nur b. Hinweisen aus Anamnese / Befund)		

Lyse durchgeführt Ja Nein

Thrombektomie primär oder im Anschluss? Ja Nein

Begründung falls KEINE Lyse:

Begründung falls KEINE Thrombektomie:

rt-PA Dosisformel = 0,9mg rt-PA / kg KG (max. 90 mg), 10% als Bolus, den Rest über 1h i.v. : ggf. einkreisen!

Gewicht	Gesamtdosis	Bolus	Infusion (pro h i.v.)	Gewicht	Gesamtdosis	Bolus	Infusion (pro h i.v.)
50 kg	45 mg = ml	4,5 mg = ml	40,5 mg = ml	80 kg	72 mg = ml	7,2 mg = ml	64,8 mg = ml
55 kg	50 mg = ml	5,0 mg = ml	44,8 mg = ml	85 kg	77 mg = ml	7,7 mg = ml	68,9 mg = ml
60 kg	54 mg = ml	5,4 mg = ml	48,6 mg = ml	90 kg	81 mg = ml	8,1 mg = ml	72,9 mg = ml
65 kg	59 mg = ml	5,9 mg = ml	52,7 mg = ml	95 kg	86 mg = ml	8,6 mg = ml	77,0 mg = ml
70 kg	63 mg = ml	6,3 mg = ml	56,7 mg = ml	100 kg	90 mg = ml	9,0 mg = ml	81,0 mg = ml
75 kg	68 mg = ml	6,8 mg = ml	60,8 mg = ml	> 100 kg	90 mg = ml	9,0 mg = ml	81,0 mg = ml

Ort (Lysebeginn): CT Stroke Unit anderer: Bad S. Pölsberg

Arzt (Indikation):

Unterschrift:

Zeitliche Verzögerung im Ablauf? nein Stroke Alarm Auslösung EKG i.v. Zugang CT nicht frei
 andere:

Abbildung 8A: Lyse Protokoll des UKSH Lübeck, Klinik für Neurologie, National Institutes of Health Stroke Scale

8. Danksagung

Diese Dissertation ist im Rahmen eines Projekts entstanden, das mich über viele Jahre hinweg fachlich und persönlich begleitet hat. An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die mich auf diesem Weg unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Georg Royl. Über acht Jahre hinweg haben Sie mich mit bemerkenswerter Geduld und Ruhe begleitet. Ihre Begeisterung für unser gemeinsames Thema, Ihr scharfer Blick für das Potenzial dieser Thematik und Ihre Fähigkeit, Menschen und Institutionen miteinander zu vernetzen, haben dieses Projekt wesentlich geprägt. Als Brückenbauer zwischen Forschung und Praxis, zwischen Lübeck und Kopenhagen, haben Sie maßgeblich dazu beigetragen, dass diese Arbeit so entstehen konnte.

Dem gesamten Team des INTERREG-Cross-Border-Projekts danke ich herzlich für die inspirierende Zusammenarbeit, insbesondere unseren dänischen Partnern rund um Prof. Dr. Troels Wienecke, deren Engagement und Offenheit den bilateralen Austausch so bereichernd gemacht haben.

Ein ebenso großer Dank geht an Sebastian Bluhm sowie das Team von Plan D, die mich mit analytischem Blick und technologischem Know-how bei der datenbasierten Aufbereitung und Visualisierung komplexer Zusammenhänge unterstützt haben.