

Aus der Klinik für Neurochirurgie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktorin: Univ.-Prof. Dr. med. Katharina Faust

**Komplikationen und Nutzung von intensivmedizinischen Ressourcen
nach elektiven Tumoroperationen in der hinteren Schädelgrube**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Dorota Alexandra Goltz
2025

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
gez.:

Dekan/in: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter/in: Univ.-Prof. Dr. med. Thomas Beez

Zweitgutachter/in: Prof. Dr. med. Mark Dzierko

Mojej Babci.

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

Goltz, D.A., Beseoglu, K., Cornelius, J.F., Kram, R., Sabel M.C., Steiger, H.J., Beez, T. (2019), Intensive care resource utilisation after scheduled posterior cranial fossa neurosurgery. Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie. 70. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie (DGNC), Joint Meeting mit der Skandinavischen Gesellschaft für Neurochirurgie. Würzburg, 12.-15.05.2019. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House, 2019. doi: 10.3205/19dgnc051, Kongressvortrag.

Zusammenfassung

Hintergrund:

Neurochirurgische Eingriffe in der hinteren Schädelgrube gelten aufgrund anatomischer Besonderheiten als besonders risikobehaftet. Postoperative Komplikationen können schwerwiegende Folgen haben. Der gezielte Einsatz intensivmedizinischer Überwachung kann Risiken und ihre Folgen abmildern, jedoch sind die Kapazitäten zunehmend begrenzt. Eine optimierte präoperative Risikobewertung könnte die Allokation verbessern.

Ziel der Arbeit:

Ziel dieser Arbeit ist die Identifikation präoperativ vorliegender klinischer Parameter und intraoperativer Variablen, welche mit einer erhöhten Komplikationsrate nach elektiven Operationen bei tumorösen Raumforderungen in der hinteren Schädelgrube assoziiert sind und zukünftig zur verbesserten Indikationsstellung für eine intensivmedizinische Überwachung herangezogen werden könnten.

Material und Methoden:

Es wurden Patient:innen eingeschlossen, die sich zwischen 2013 und 2017 einer elektiven Operation bei Tumor in der hinteren Schädelgrube unterzogen hatten. Erfasst wurden u. a. soziodemografische Daten, Vorerkrankungen, präoperative Symptome, ASA-Status, Tumorentität und OP-Dauer. Postoperative Komplikationen wurden gemäß der Klassifikation nach Landriel et al. dokumentiert und hinsichtlich Häufigkeit, Schweregrad und zeitlichem Verlauf analysiert.

Ergebnisse:

Es wurden 126 Patient:innen eingeschlossen. Insgesamt traten 73 perioperative Komplikationen bei 53 Patient:innen (42,2 % des Gesamtkollektivs) auf. Die mediane Dauer des postoperativen Intensivaufenthaltes betrug 18,5 Stunden. Die Mehrheit der komplikativen Ereignisse (71,2 %) manifestierte sich aber innerhalb der ersten vier Stunden nach der Operation. Leichte Komplikationen der Grade Ia und Ib waren am

häufigsten (76,7%). Eine höhere ASA-Klassifikation und eine längere Narkose- bzw. OP-Dauer waren tendenziell mit höherem Risiko assoziiert.

Schlussfolgerungen:

Fast 80% aller Komplikationen erforderten rückblickend betrachtet keine Nutzung intensivmedizinischer Überwachung oder Behandlung trotz erfolgter Allokation auf die Intensivstation. Die Komplikationsrate nach elektiven Operationen bei Raumforderungen in der hinteren Schädelgrube erscheint vergleichbar mit allgemeinen neurochirurgischen Eingriffen. Besonders gefährdet scheinen anhand der ASA-Klassifikation als stärker vorerkrankte Patient:innen zu sein, sowie jene mit anhand des Surrogatparameters Narkose-/OP-Dauer erkennbaren komplexeren Tumoren.

Abstract

Background:

Neurosurgical procedures in the posterior fossa are considered particularly risky due to anatomical features. Postoperative complications can have serious consequences. The targeted use of intensive care monitoring can mitigate risks and their consequences, but capacities are increasingly limited. Optimized preoperative risk assessment could improve allocation.

Objective:

The aim of this study is to identify preoperative clinical parameters and intraoperative variables that are associated with an increased complication rate after elective surgery for tumors in the posterior fossa and that could be used in the future to improve the indication for intensive care monitoring.

Materials and Methods:

Patients who underwent elective surgery for tumors in the posterior fossa between 2013 and 2017 were included. Data collected included sociodemographic data, previous medical conditions, preoperative symptoms, ASA status, tumor entity, and duration of surgery. Postoperative complications were documented according to the classification of Landriel et al. and analyzed for frequency, severity, and time course.

Results:

126 patients were included. A total of 73 perioperative complications occurred in 53 patients (42.2% of the total cohort). The median length of postoperative ICU stay was 18.5 hours. However, the majority of complicating events (71.2%) occurred within the first four hours after surgery. Minor complications of grades Ia and Ib were most common (76.7%). A higher ASA classification and a longer duration of anesthesia or surgery tended to be associated with a higher risk.

Conclusions:

Almost 80% of all complications retrospectively did not require intensive care monitoring or treatment despite admission to the ICU. The complication rate after elective surgery for posterior fossa masses appears comparable to that of general neurosurgical procedures. Patients identified as having more pre-existing disease based on the ASA classification, as well as those with more complex tumors identified based on the surrogate parameter of anesthesia/surgery duration, appear to be particularly at risk.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	S. 11
1. Einleitung	S. 12
1.1 Relevanz und Kontext der postoperativen Intensivbetreuung	S. 12
1.1.1 Postoperative Überwachung	S. 12
1.1.2 Versorgungseinheiten und Versorgungsstufen: ICU, IMC, PACU	S. 13
1.2 Operative Komplikationen: Allgemeine und neurochirurgische Aspekte	S. 14
1.2.1 Allgemeine perioperative Komplikationen	S. 14
1.2.2 Spezifische Komplikationen in der Neurochirurgie	S. 15
1.2.3 Einfluss patientenbezogener Risikofaktoren	S. 15
1.2.4 Bedeutung intraoperativer Parameter	S. 16
1.3 Spezifisches Komplikationsmuster bei Eingriffen in der HSG	S. 17
1.3.1 Neuroanatomie der HSG	S. 17
1.3.2 Operativ-technische Aspekte bei Eingriffen in der HSG	S. 19
1.4 Einschätzung des perioperativen Risikos	S. 20
1.4.1 Entwicklung klinischer Risikoscores	S. 20
1.4.2 Neurochirurgiespezifische Risikoinstrumente	S. 22
1.4.3 Moderne prädiktive Verfahren und Machine Learning in der Risikostratifizierung	S. 23
1.5 Ressourcen und Ökonomie der postoperativen Intensivüberwachung	S. 24
1.5.1 Kosten und Ressourceneinsatz in der intensivmedizinischen Überwachung	S. 24
1.5.2 Verfügbarkeit und Verteilung intensivmedizinischer Kapazitäten	S. 26
1.5.3 Fehlallokation und deren Folgen	S. 27
1.5.4 Strategien zur Optimierung: Scores, Triage, „No ICU – Unless“	S. 28
1.6 Zielsetzung der vorliegenden Arbeit	S. 30
1.6.1 Wissenschaftlicher und klinischer Hintergrund	S. 30

1.6.2	Zielsetzung der vorliegenden Arbeit	S. 31
2.	Material und Methoden	S. 32
2.1	Stichprobe und Einschlusskriterien	S. 32
2.2	Ausschlusskriterien	S. 32
2.3	Datenquellen und Datenerhebung	S. 32
2.4	Erhobene Variablen	S. 33
2.5	Statistische Methoden	S. 34
2.6	Ethikvotum	S. 34
3.	Ergebnisse	S. 35
3.1	Beschreibung des Patientenkollektivs	S. 35
3.2	Demographische Daten	S. 35
3.3.	Präoperative Symptome	S. 36
3.4.	Vorerkrankungen	S. 36
3.5	Präoperative anästhesiologische Klassifikationen	S. 37
3.6	Tumorentitäten	S. 37
3.7	Narkose- und Operationsdauer	S. 38
3.8	Intraoperative Besonderheiten	S. 38
3.9	Postoperative Komplikationsrate und zeitlicher Verlauf	S. 38
3.11	Art und Schweregrad der Komplikationen	S. 39
3.12	Vergleich der Subgruppen ohne und mit Komplikation	S. 40
4.	Diskussion	S. 43
4.1	Interpretation der Hauptergebnisse	S. 43
4.2	Vergleich mit der Literatur	S. 44
4.3	Stärken und Limitationen	S. 47
5.	Schlussfolgerungen	S. 49
6.	Literaturverzeichnis	S. 51

Abkürzungsverzeichnis

Acute Physiology and Chronic Health Evaluation	APACHE-II-Score
American Society of Anesthesiologists Physical Status Classification System	ASA
Body-Mass-Index	BMI
Charlson Comorbidity Index	CCI
Chronisch-obstruktive Lungenerkrankung	COPD
Cormack und Lehane Klassifikation	CL
Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin	DIVI
Elektrokardiografie	EKG
Hintere Schädelgrube	HSG
Hypertonie	HTN
Intensivstation / Intensive Care Unit	ICU
Intermediate Care Station	IMC
Intraoperatives Neuromonitoring	IOM
Karnofsky-Performance-Score	KPS
Koronare Herzkrankheit	KHK
Machine Learning	ML
Metabolischer Äquivalent-Belastungstest	MET
Milan Complexity Scale	MCS
Physiological and Operative Severity Score for the enumeration of Mortality and Morbidity	POSSUM-Score
Postanästhesiologischer Aufwachraum	PACU
Sequential Organ Failure Assessment	SOFA
Simplified Acute Physiology Score	SAPS
Surgical Outcome Risk Tool	SORT
Therapeutic Intervention Scoring System	TISS

1. Einleitung

1.1 Relevanz und Kontext der postoperativen Intensivbetreuung

1.1.1 Postoperative Überwachung

Die postoperative Überwachung nimmt eine wichtige Rolle im Ablauf der chirurgischen Versorgung ein [26]. Ihr Ziel ist es, Komplikationen nach Operation und Narkose ebenso wie allgemeine medizinische Probleme frühzeitig zu erkennen und rechtzeitig gegenzusteuern. Besonders in den ersten 24 Stunden nach einem Eingriff besteht ein erhöhtes Risiko für Kreislaufinstabilität, Atemprobleme, neurologische Verschlechterungen, Nachblutungen oder Stoffwechsellentgleisungen [10]. Diese Phase gilt daher als besonders kritisch und erfordert ein strukturiertes Monitoring [34]. In der Neurochirurgie kommen zu den allgemeinen perioperativen Risiken noch eingriffsspezifische Aspekte hinzu, wie zum Beispiel neue neurologische Defizite, intrakranielle Blutungen oder Störungen des Liquorflusses [3][4][8]. Zu den eingriffsassoziierten Risiken kommen Vorerkrankungen und weitere patientenspezifische Faktoren hinzu. Die Entscheidung zur intensivmedizinischen Überwachung hängt deshalb nicht allein von Art und Lokalisation der Operation ab, sondern auch von patientenspezifischen Faktoren, dem neurologischen Ausgangszustand oder intraoperativen Komplikationen [2][3].

Eine engmaschige Überwachung ermöglicht es, kritische Ereignisse frühzeitig zu bemerken, Behandlungsentscheidungen zeitgerecht zu treffen und Folgeschäden möglichst zu vermeiden [8]. Studien unterstreichen, dass nicht erkannte Komplikationen mit schlechteren funktionellen Ergebnissen und ungünstigerer Prognose einhergehen [14][23]. Für die postoperative Überwachung kommen grundsätzlich die Normalstation, der postanästhesiologische Aufwachraum (PACU), die Intermediate Care Station (IMC) oder die Intensivstation (ICU) in Frage. Die Wahl des geeigneten Überwachungsniveaus wird heute zunehmend durch klinische Scores und strukturierte Risikostratifizierungen unterstützt [25]. Modelle wie die Milan Complexity Scale oder vergleichbare Instrumente erlauben eine objektivere Einschätzung der Eingriffskomplexität und des individuellen

Risikoprofils [1][6][7]. So können Intensivkapazitäten gezielter genutzt und Über- oder Unterversorgung vermieden werden [15].

Trotz aller technischen Fortschritte bleibt die postoperative Überwachung ein entscheidender Faktor für das Behandlungsergebnis. Mit zunehmender Komplexität chirurgischer Verfahren und demografischen Veränderungen wird ihre Bedeutung in Zukunft weiter zunehmen [16][18].

1.1.2 Versorgungseinheiten und Versorgungsstufen: ICU, IMC, PACU

Die postoperative Überwachung ist in der Praxis mehrstufig organisiert. Je nach Risiko- und Eingriffsprofil werden Patient:innen unterschiedlichen Einheiten zugewiesen [34]. Diese unterscheiden sich nicht nur in technischer Ausstattung, sondern auch in Personalstruktur und therapeutischen Möglichkeiten. Wichtig ist, dass die richtige Zuweisung hilft, Komplikationen zu verhindern und gleichzeitig die knappen intensivmedizinischen Ressourcen sinnvoll einzusetzen [26].

Auf der ICU werden Patient:innen behandelt, bei denen eine vitale Instabilität bereits besteht oder unmittelbar droht. Der Pflegeschlüssel liegt in Deutschland bei 1:2, bei kritisch Kranken sogar bei 1:1 [1]. Hier stehen sämtliche invasiven Verfahren zur Verfügung, wie zum Beispiel arterielle und zentralvenöse Druckmessung, intrakranielle Drucksonden, Beatmung und Organersatzverfahren. Damit bildet die ICU die höchste Stufe der Überwachung und Intervention.

Die IMC ist für Patient:innen gedacht, die keine vollständige intensivmedizinische Versorgung benötigen, aber ein überdurchschnittliches Risiko haben. Sie schließt die Lücke zwischen Normalstation und ICU. Überwacht wird hier vor allem nichtinvasiv mit Elektrokardiografie (EKG), Pulsoxymetrie und Blutdruckmessung. Invasive Katheter oder eine Dauerbeatmung sind in der Regel nicht vorgesehen [2]. Mit einem Pflegeschlüssel von 1:3 bis 1:4 eignet sich die IMC besonders für die Überwachung nach größeren Eingriffen oder bei relevanten Begleiterkrankungen.

Der PACU ist direkt an den OP-Bereich angebunden und übernimmt die Überwachung unmittelbar nach Allgemeinanästhesie. Meist bleiben Patient:innen hier nur wenige Stunden, bis Schutzreflexe, Vigilanz und autonome Funktionen wieder stabil sind.

Überwacht wird überwiegend nichtinvasiv (EKG, Pulsoxymetrie, Atemfrequenz, Blutdruck) [3]. Bei unerwarteten Problemen wie Ateminsuffizienz, Krampfanfällen oder Kreislaufinstabilität sind Interventionen möglich. Für längere Betreuung ist der PACU aber nicht ausgelegt; bei anhaltenden Auffälligkeiten erfolgt dann die Verlegung auf IMC oder ICU.

Die Entscheidung über die postoperative Allokation hängt ab von präoperativer Risikoeinschätzung, intraoperativem Verlauf und der Wahrscheinlichkeit von Komplikationen. In der Neurochirurgie – besonders nach Eingriffen in der hinteren Schädelgrube – ist deshalb oft eine intensivierete Überwachung nötig [4]. Standardisierte Kriterien helfen nicht nur, die Patientensicherheit zu verbessern, sondern auch die vorhandenen Intensivkapazitäten ökonomisch und fair einzusetzen [1][2].

1.2 Operative Komplikationen: Allgemeine und neurochirurgische Aspekte

1.2.1 Allgemeine perioperative Komplikationen

Postoperative Komplikationen gehören zu den wichtigsten Einflussfaktoren für Morbidität, Mortalität und die Dauer des Krankenhausaufenthalts [35]. Man unterscheidet frühe postoperative Komplikationen, wozu beispielsweise akute Nachblutungen, allergische Reaktionen oder kardiovaskuläre Instabilität gehören, von jenen Komplikationen, welche zwar operationsassoziiert sind aber erst mit Latenz auftauchen. Dazu zählen zum Beispiel Infektionen. Diese treten besonders häufig auf, meist in Form von Wundinfektionen, Pneumonien oder Harnwegsinfekten. Ebenfalls bedeutsam sind kardiovaskuläre Ereignisse wie Myokardinfarkt oder Herzrhythmusstörungen, thromboembolische Komplikationen, darunter Lungenembolien und tiefe Venenthrombosen, sowie respiratorische Insuffizienz, akute Nierenfunktionsstörungen und das Auftreten eines Delirs [23]. Das postoperative Delir nimmt dabei eine Sonderstellung ein: Es ist eine der häufigsten, zugleich aber auch am häufigsten übersehenen Komplikationen. Gerade ältere Patient:innen sind gefährdet, und die Folgen reichen von erhöhter Morbidität bis zu langfristigen Einschränkungen der kognitiven Leistungsfähigkeit [8].

1.2.2 Spezifische Komplikationen in der Neurochirurgie

In der Neurochirurgie hängt die postoperative Morbidität eng mit der Komplexität des Eingriffs, der anatomischen Lokalisation und individuellen Risikofaktoren zusammen [25][16]. Zu den typischen spezifischen Komplikationen zählen intrakranielle Nachblutungen, Liquorzirkulationsstörungen, neue oder progrediente neurologische Ausfälle, epileptische Anfälle sowie Infektionen des zentralen Nervensystems [8].

In der neuroonkologischen Chirurgie treten tumorspezifische Risiken hinzu. Dazu gehören eine erhöhte Gefäßvulnerabilität durch tumorinduzierte Neovaskularisation, peritumorale Ödeme mit konsekutiv gesteigertem intrakranielltem Druck sowie die mögliche Infiltration oder Kompression funktionell oder vaskulär kritischer Strukturen. Diese Faktoren erhöhen die Wahrscheinlichkeit für intraoperative und postoperative Blutungen, neue neurologische Defizite sowie sekundäre ischämische Komplikationen [5][6][13].

1.2.3 Einfluss patientenbezogener Risikofaktoren

Der postoperative Verlauf neurochirurgischer Patient:innen wird maßgeblich durch individuelle Risikofaktoren bestimmt. Besonders relevant sind das biologische Alter, das Ausmaß der Multimorbidität, der funktionelle Ausgangszustand und bereits vorhandene neurologische Defizite. Diese Faktoren prägen nicht nur das intraoperative Risiko, sondern damit auch die Wahrscheinlichkeit postoperativer Komplikationen und die Indikation zur intensivmedizinischen Überwachung [10][2][25].

Alter und Multimorbidität wirken dabei als zentrale Einflussgrößen. Mit zunehmendem Lebensalter nehmen kardiovaskuläre und metabolische Vorerkrankungen zu, während die funktionelle Reserve abnimmt. Entsprechend zeigen ältere Patient:innen höhere Raten an postoperativem Delir, Pneumonie und Wundheilungsstörungen [10][8][25]. Das chronologische Alter allein ist aber meist kein Ausschlusskriterium für komplexe Operationen; es muss stets im Kontext der Gesamtmorbidität bewertet werden.

Auch der funktionelle Status und das Vorliegen von Frailty-Zuständen sind prognostisch bedeutsam. Ein reduzierter präoperativer Allgemeinzustand – etwa ein Karnofsky-Performance-Score (KPS) unter 70 % – gilt als unabhängiger Prädiktor für postoperative

Morbidität und Mortalität [25]. Prospektive Kohortenstudien zeigen zudem, dass Frailty mit einem höheren Risiko für intensivmedizinische Aufnahme, verlängerten Krankenhausaufenthalt und funktionelle Verschlechterung assoziiert ist [6][13]. Standardisierte Instrumente wie das American Society of Anesthesiologists physical status classification system (ASA) oder metabolische Äquivalent-Belastungstests (MET) bieten hierzu eine erste Orientierung [2][21].

Komorbiditäten beeinflussen den Verlauf zusätzlich. Kardiovaskuläre Erkrankungen erhöhen das Risiko hämodynamischer Instabilität [25]. Diabetes mellitus begünstigt Infektionen und Wundheilungsstörungen [25]. Bei Patient:innen mit chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung (COPD) ist das Risiko einer respiratorischen Dekompensation und eines prolongierten Weanings von der Beatmung erhöht [8], während Adipositas sowohl Beatmung und Mobilisation erschwert als auch Thromboembolierisiko und Liegedauer steigert [2].

Schließlich haben präoperative neurologische Defizite wie Paresen, Hirnnervenausfälle, Gangstörungen oder Dysphagie direkte Auswirkungen auf die postoperative Mobilisation und erhöhen das Aspirationsrisiko. Diese Befunde gelten als prädiktiv für einen komplizierten Verlauf und einen erhöhten Bedarf an intensivmedizinischer Betreuung [3][5].

1.2.4 Bedeutung intraoperativer Parameter

Intraoperative Faktoren wie die Dauer des Eingriffs, das Ausmaß des Blutverlusts, der Bedarf an Transfusionen oder Veränderungen in den Ableitungen evozierter Potenziale im intraoperativen Neuromonitoring gelten als Prädiktoren für postoperative Defizite und Komplikationen [5][3]. Längere Operationszeiten deuten oft auf eine höhere Komplexität oder intraoperative Schwierigkeiten hin. Ein ausgeprägter Blutverlust mit Transfusionsbedarf kann nicht nur zu hämodynamischer Instabilität führen, sondern geht auch mit einem höheren Risiko für Infektionen oder thromboembolische Ereignisse einher. Bei Tumoren der hinteren Schädelgrube ist die Situation zusätzlich erschwert. Die Nähe zu Hirnstamm, Atemzentrum und Liquorabflusswegen macht diese Region besonders anfällig. Schon kleine Veränderungen während des Eingriffs können hier zu unmittelbaren

neurologischen oder respiratorischen Defiziten nach der Operation führen. Studien weisen darauf hin, dass in diesem Bereich tatsächlich häufiger entsprechende Komplikationen auftreten [5][9].

1.3 Spezifisches Komplikationsmuster bei Eingriffen in der HSG

1.3.1 Neuroanatomie der HSG

Die HSG ist der tiefste und engste Abschnitt der Schädelhöhle. Sie wird durch das Tentorium cerebelli von den supratentoriellen Kompartimenten getrennt und enthält Kleinhirn, Hirnstamm (Medulla oblongata, Pons, Mesencephalon) sowie den vierten Ventrikel mit seinen Abflusswegen. Die räumliche Begrenzung erklärt, warum schon verhältnismäßig umschriebene Raumforderungen, Blutungen inklusive postoperativen Nachblutungen oder Ödeme teils gravierende Folgen haben können [8]. Morphometrische Analysen verdeutlichen die geringe Kompensationsreserve: Die Tiefe beträgt bei Erwachsenen meist nur 30–35 mm, das Volumen rund 160–200 ml, und der Abstand zwischen Foramen magnum und dorsaler Kleinhirnoberfläche liegt oft unter 5 cm [37].

Das Kleinhirn gliedert sich in zwei Hemisphären und den medianen Vermis. Funktionell unterscheidet man Vestibulocerebellum (Flocculonodulär-Lappen), Spinocerebellum (Vermis und intermediäre Zonen) und Pontocerebellum (laterale Hemisphären). Diese Systeme integrieren vestibuläre, spinale und kortikale Signale und steuern Tonus, Haltung und die Feinabstimmung motorischer Programme. Die enge Verschaltung erklärt typische Symptome wie Ataxie, Dysmetrie, Nystagmus oder Dysarthrie bei Läsionen [43]. Über die kortikopontocerebellären Bahnen beteiligt sich das Pontocerebellum an der Planung und Automatisierung komplexer Bewegungen, während das Vestibulocerebellum über die Vestibulariskerne Blick- und Gleichgewichtsreflexe steuert [43].

Ventral des Kleinhirns liegt der Hirnstamm mit Medulla oblongata, Pons und Mesencephalon. Die Medulla beherbergt lebenswichtige Zentren für Atmung und Kreislauf sowie die Ursprungsgebiete der Hirnnerven IX–XII. Hier liegen auch Reflexzentren für Husten, Schlucken und Erbrechen – Störungen führen entsprechend zu Dysphagie, Hypoglossusparesen oder respiratorischer Insuffizienz [43]. Der Pons

vermittelt motorische und sensorische Signale zwischen Großhirn und Kleinhirn. Seine Brückenkerne sind Teil der kortikopontocerebellären Bahn und damit eng mit feinmotorischer Koordination verknüpft. Zudem liegen hier die Hirnnerven V–VIII, die zentrale Funktionen wie Kauen, Mimik, Gleichgewicht und Hören steuern. Auch respiratorische Modulationszentren sind im Pons angesiedelt und wirken regulierend auf das medulläre Atemzentrum [43].

Das Mesencephalon bildet den rostralen Abschnitt des Hirnstamms. Es umfasst die Colliculi superiores und inferiores für visuelle und akustische Reflexe sowie die Hirnnervenkerne III und IV, die Augenbewegungen und Pupillenreaktionen steuern. Über Substantia nigra und Nucleus ruber ist es in die extrapyramidale Motorik eingebunden. Die Formatio reticularis mit dem aufsteigenden retikulären Aktivierungssystem (ARAS) kontrolliert Vigilanz und Bewusstsein. Läsionen in diesem Bereich führen daher häufig zu Bewusstseinsstörungen, Pupillenveränderungen oder Okulomotorikstörungen [43].

Die hintere Schädelgrube ist zudem Austrittsgebiet vieler Hirnnerven: V (Sensibilität im Gesicht, Kaumuskulatur), VI (Abduktion), VII (Mimik, Tränen- und Speicheldrüsen, Geschmack vordere 2/3), VIII (Gleichgewicht und Hören) im Kleinhirnbrückenwinkel sowie IX–XII an der Medulla (Schluckmotorik, Pharynx/Larynx, vegetative Funktionen, Zungenmotorik). Von besonderer funktioneller Bedeutung sind die vestibulookulären Bahnen. Über den Fasciculus longitudinalis medialis koppeln sie die Vestibulariskerne mit den Augenmuskelkernen (III, IV, VI) und sichern so die Blickstabilität. Störungen führen zu Schwindel, Nystagmus und Fixationsproblemen [43]. Die kortikobulbären Bahnen verlaufen vom motorischen Kortex über die Capsula interna zu den motorischen Hirnnervenkernen (u. a. V, VII, IX, X, XII) und steuern Sprech-, Schluck- und Gesichtsmotorik. Schädigungen verursachen entsprechend Dysarthrie, Dysphagie und Facialisparesen [43].

Eng benachbart liegen die Liquorabflusswege (Aquädukt, IV. Ventrikel, Apertura mediana/laterales). Ihre Obstruktion – etwa durch infratentorielle Tumoren oder postoperative Einblutungen – kann rasch einen Hydrozephalus mit Hirndruckerhöhung und Herniation auslösen [38].

Die hintere Schädelgrube weist damit eine außergewöhnlich hohe Dichte funktionell bedeutsamer neuroanatomischer Strukturen auf. Kleinhirn, Hirnstamm, Hirnnerven und

sensomotorische Schaltstellen liegen hier eng beieinander. Bereits geringe Volumenverschiebungen können deshalb multiple neurologische Ausfälle und vitale Störungen verursachen – ein wesentlicher Grund für die besondere Bedeutung dieser Region im postoperativen Komplikationsprofil [8][37][38][43].

1.3.2 Operativ-technische Aspekte bei Eingriffen in der HSG

Eingriffe in der hinteren Schädelgrube gehören zu den technisch anspruchsvollsten Verfahren der Neurochirurgie. Grund dafür sind die oben genannten engen räumlichen Verhältnisse und die Nähe zu Hirnstamm, Hirnnerven und zentralen Gefäßen. Schon kleinste Manipulationen können hier schwerwiegende Folgen haben. Deshalb sind mikrochirurgische Präzision, kontinuierliches intraoperatives Monitoring und eine sorgfältige Wahl des Zugangswegs unverzichtbar [8][43].

Zu den etablierten Zugangswegen zählen die subokzipitale mediane oder paramediane sowie die retrosigmoidale Kraniotomie. Die subokzipitale Eröffnung erlaubt einen weiten Zugang zum Kleinhirn und vierten Ventrikel [39–41]. Der retrosigmoidale Zugang eröffnet vor allem den Zugang zum Kleinhirnbrückenwinkel.

Auch die Lagerung beeinflusst das Risiko. Die sitzende bzw. halbsitzende Lagerung bietet eine gute Übersicht und erleichtert den venösen Abfluss, erhöht aber potentiell die Gefahr venöser Luftembolien und hämodynamischer Instabilität. In Parkbank- oder Seitenlage sind diese Risiken geringer [8]. Die Entscheidung über die Lagerung muss individuell erfolgen und patientenspezifische, tumorbedingte und technische Faktoren sowie die Erfahrung der Operateure berücksichtigen.

Ein zusätzliches Risiko ergibt sich aus der Nähe zu großen Gefäßen des vertebrobasilären Stromgebietes. Verletzungen führen hier zu starken Blutungen und/oder ischämischen Schäden im Versorgungsgebiet von Hirnstamm und Kleinhirn [43]. Besonders kritisch ist zudem jede Manipulation oder Kompression des Hirnstamms, da schon kurze Irritationen vegetative Instabilitäten oder dauerhafte neurologische Defizite verursachen können.

Ein Hydrozephalus kann auftreten oder sich verschlechtern, vor allem nach Eingriffen im Bereich des vierten Ventrikels [38]. Eine besondere funktionelle Komplikation ist das cerebelläre Mutismussyndrom, das aber vor allem bei Kindern nach Resektionen im

Bereich des IV. Ventrikels beschrieben ist. Es beginnt meist wenige Tage nach der Operation mit einem abrupten Verlust der Sprachproduktion und wird von Hypotonie, Ataxie und affektiver Labilität begleitet. Mit einer Inzidenz von 11–30 % gilt das Syndrom zwar oft als reversibel, kann aber langfristige kognitive und sprachliche Einschränkungen hinterlassen [39–42].

Zusammenfassend zeigt sich, dass die operativen Herausforderungen in der hinteren Schädelgrube direkt aus den anatomischen Bedingungen resultieren. Zugangswahl, intraoperative Lagerung, Schonung anatomischer Strukturen und die Prävention bzw. frühe Erkennung typischer Komplikationen sind entscheidend für das funktionelle Outcome und die Prognose der Patient:innen [8][38–43].

1.4 Einschätzung des perioperativen Risikos

1.4.1 Entwicklung klinischer Risikoscores

Die strukturierte Einschätzung des individuellen Risikoprofils ist ein fester Bestandteil der modernen Medizin. Risikoscores sollen Morbiditäts- und Mortalitätswahrscheinlichkeiten abschätzen, die Ressourcenplanung unterstützen und klinische Entscheidungen auf eine objektivere Grundlage stellen [49].

Die ersten Ansätze stützten sich noch auf reine Erfahrung. Einen wichtigen Schritt hin zur Standardisierung stellte 1941 die ASA-Klassifikation dar, die Patient:innen nach ihrem allgemeinen Gesundheitszustand einteilt [21]. Das System ist einfach und wird bis heute genutzt, erlaubt aber nur eine grobe Risikostratifikation und berücksichtigt keine eingriffsspezifischen Faktoren.

Mit der Etablierung der Intensivmedizin in den 1980er Jahren entstanden zunehmend komplexe Modelle, die das Ausmaß kritischer Erkrankungen messbar machen sollten. Der APACHE-II-Score (Acute Physiology and Chronic Health Evaluation) kombinierte zahlreiche physiologische Parameter, Alter und Vorerkrankungen zu einem Punktesystem, das die Mortalität auf Intensivstationen prognostiziert [14]. Ähnliche Modelle wie SAPS (Simplified Acute Physiology Score) und SOFA (Sequential Organ Failure Assessment)

verfolgten denselben Ansatz, legten den Fokus aber stärker auf multivariat validierte Methoden [49].

Parallel wurden in der Chirurgie speziell auf den Operationskontext zugeschnittene Instrumente entwickelt. Ein Beispiel ist der POSSUM-Score (Physiological and Operative Severity Score for the enUmeration of Mortality and Morbidity), der ab den frühen 1990er Jahren präoperative Variablen mit intraoperativen Faktoren wie Blutverlust oder Operationsdauer verband [4]. Ursprünglich als Instrument der Qualitätskontrolle gedacht, fand POSSUM schnell Eingang in die klinische Risikobewertung. Neuere Modelle wie das Surgical Outcome Risk Tool (SORT) nutzen große nationale Register und erlauben eine Mortalitätsprognose bei elektiven Eingriffen anhand weniger, leicht erfassbarer Parameter wie ASA-Status, Alter und Eingriffsart [52].

Allen klassischen Systemen ist ihre regelbasierte Struktur gemeinsam. Klinische Merkmale werden nach festgelegten Gewichtungen zusammengeführt, die aus statistischen Zusammenhängen abgeleitet sind. Das erleichtert die Anwendung, bringt aber auch Einschränkungen: starre Punktvergaben, Unterschiede zwischen Beurteilenden – etwa bei der ASA-Klassifikation – und eine begrenzte externe Validierbarkeit in speziellen Fachgebieten oder Kollektiven [50][51].

Mit der Verfügbarkeit großer Datensätze und wachsender Rechenkapazitäten rückten ab den 2010er Jahren datengetriebene Verfahren stärker in den Vordergrund. Multivariate Regressionsmodelle, Entscheidungsbäume und Ensemble-Methoden erlauben es, prädiktive Modelle direkt aus Routinedaten zu entwickeln. Diese Ansätze wurden zunächst in der Inneren Medizin und Anästhesiologie erprobt, finden aber inzwischen auch in chirurgischen Disziplinen Anwendung [50][51].

Trotz dieser Fortschritte gibt es bis heute kein universelles Scoring-System, das in allen klinischen Bereichen gleichermaßen zuverlässig funktioniert [49]. Vielmehr ist eine zunehmende Spezialisierung erkennbar, bei der Risikostratifikationen kontextbezogen angepasst und stärker an Fachgebiet und Patientenkollektiv ausgerichtet werden.

1.4.2 Neurochirurgiespezifische Risikoinstrumente

Die Risikostratifizierung in der Neurochirurgie stellt besondere Anforderungen an klinische Scoring-Systeme. Modelle wie ASA, POSSUM oder SORT sind in der Allgemeinchirurgie weit verbreitet, stoßen hier aber an konzeptionelle und praktische Grenzen [49–51]. Grund dafür ist die hohe funktionelle Bedeutung der betroffenen Regionen, die komplexe intrakranielle Anatomie und oft enge therapeutische Zeitfenster. Besonders Eingriffe in der HSG sind durch die Nähe zu Hirnstamm, Liquorwegen und Hirnnerven geprägt und erfordern ein besonders präzises perioperatives Risikomanagement [6][13][25].

Einen wichtigen Fortschritt brachte die 2015 von Ferroli et al. vorgestellte Milan Complexity Scale (MCS). Sie berücksichtigt prä- und intraoperative Faktoren wie Tumorgöße, Lage in eloquenten Arealen, neurologischen Status, Re-Operationsstatus sowie den Einsatz spezieller Techniken wie Neuro-Navigation oder funktionelles Mapping [6]. Die MCS teilt Eingriffe in vier Komplexitätsstufen ein und wurde sowohl bei Erwachsenen als auch in modifizierter Form bei Kindern validiert [13].

Als Ergänzung kam das „Big Five“-Modell hinzu. Es bezieht patientenzentrierte Variablen wie Mobilität, Kognition, Komorbiditäten, psychischen Zustand und soziale Unterstützung ein. Es ersetzt die MCS nicht, erweitert sie aber funktionell. Studien zeigen, dass die Kombination beider Ansätze die Vorhersagekraft für postoperative Funktionseinbußen und Rehabilitationsbedarf verbessert [6][13].

Parallel dazu werden in der Praxis zunehmend Frailty-Konzepte genutzt. Der Charlson Comorbidity Index (CCI) und der Karnofsky Performance Status (KPS) erlauben eine Einschätzung der funktionellen Reserve und haben prognostische Bedeutung für Komplikationen, Rehabilitationsverlauf und ICU-Bedarf [25]. Besonders ein KPS unter 70 % ist oft mit höherer Morbidität und längeren Verläufen verbunden. Auch wenn diese Instrumente nicht speziell für die Neurochirurgie entwickelt wurden, haben sie sich vor allem bei älteren oder multimorbiden Patient:innen als praxistauglich erwiesen.

Trotz dieser Fortschritte bleiben deutliche Limitationen. Die meisten Instrumente wurden in Kohorten mit supratentoriellen Tumoren entwickelt. Ihre Übertragbarkeit auf infratentorielle Eingriffe, insbesondere in der HSG, ist daher eingeschränkt. Zwar lassen

sich Variablen wie Tumorgöße oder neurologischer Status grundsätzlich übertragen, spezifische Risiken wie Hirnstammnähe, Atemzentrum oder Liquorfluss werden aber kaum erfasst [6][13][25].

Hinzu kommt, dass perioperative Faktoren wie Lagerung, Liquorableitung, Hirndruckkontrolle oder Nachblutungsrisiko bei HSG-Eingriffen deutlich stärker ins Gewicht fallen als bei supratentoriellen Operationen. Diese Aspekte sind in den gängigen Scores kaum berücksichtigt. Erschwerend wirkt, dass viele Modelle retrospektiv entwickelt oder nur in kleinen, selektiven Kollektiven validiert wurden. Prospektive, multizentrische Studien fehlen weitgehend [25].

Derzeit gibt es daher kein standardisiertes Modell, das präoperative Variablen gezielt mit dem Risiko für einen postoperativen Überwachungsbedarf nach HSG-Eingriffen verknüpft [25][29]. In der Praxis beruht die Entscheidung über die intensivmedizinische Zuweisung häufig auf Erfahrung, was zu Über- oder Unterversorgung führen kann. Das unterstreicht die Notwendigkeit eines spezifischen, klinisch einsetzbaren Instruments, das auf die Besonderheiten infratentorieller Eingriffe zugeschnitten ist.

Ein solches Modell könnte künftig durch datenbasierte Verfahren unterstützt werden. Methoden des maschinellen Lernens bieten hier Potenzial, weil sie komplexe Zusammenhänge zwischen Variablen erfassen und so die Genauigkeit der Risikoeinschätzung verbessern können.

1.4.3 Moderne prädiktive Verfahren und Machine Learning in der Risikostratifizierung

Die Entwicklung prädiktiver Modelle hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Klassische Risikoscores wie ASA, APACHE oder MCS beruhen auf festen Gewichtungen und vordefinierten Regeln, während moderne Verfahren zunehmend datengetriebene, multivariate Analysen einsetzen. Besonders Methoden des Machine Learning (ML) eröffnen neue Möglichkeiten für eine individualisierte Risikovorhersage. Daneben behält auch das klassische Prediction Modelling seine Bedeutung [53][57].

ML ist ein Teilgebiet der künstlichen Intelligenz. Es ermöglicht, auf Basis großer Datensätze Muster zu erkennen und Vorhersagen zu treffen, ohne dass feste Entscheidungsregeln vorgegeben sein müssen. Damit lassen sich komplexe

Zusammenhänge zwischen patientenbezogenen, bildgebenden und intraoperativen Variablen erfassen und für die Vorhersage spezifischer Outcomes nutzen – etwa Komplikationen, Rehospitalisierungen oder Mortalität [53][54].

Ein klarer Vorteil ML-basierter Ansätze liegt in ihrer hohen Vorhersagegenauigkeit, gerade in heterogenen und hochdimensionalen Datensätzen. Auch nichtlineare Beziehungen, die klassische Scores nicht erfassen, können identifiziert werden. Außerdem erlauben moderne Modelle eine dynamische Anpassung des Risikos im Zeitverlauf, zum Beispiel durch die fortlaufende Integration neuer klinischer Daten im perioperativen Setting [22][54].

Inzwischen findet ML auch in der Neurochirurgie Anwendung. Eine systematische Übersicht von Senders et al. beschreibt ein breites Spektrum – von Outcome-Vorhersage über Komplikationsprädiktion bis hin zur Bildanalyse [54]. In aktuellen Studien wurden ML-Modelle erfolgreich zur Vorhersage postoperativer pulmonaler Komplikationen nach neurochirurgischen Eingriffen trainiert und in multizentrischen Kollektiven validiert [27]. Shickel et al. entwickelten zudem ein Deep-Learning-Modell, das gleich mehrere postoperative Komplikationen prognostizieren konnte und zusätzlich eine Unsicherheitsabschätzung sowie eine erklärbare Architektur beinhaltete [22].

Trotz dieser Fortschritte gibt es klare Grenzen. ML-Modelle sind oft schwer zu interpretieren und für Anwender kaum nachvollziehbar („Black Box“). Das erschwert die Akzeptanz, vor allem bei Entscheidungen mit unmittelbaren Folgen für die Patientensicherheit. Zudem erfordern sie eine stabile IT-Infrastruktur, kontinuierliche Pflege der Modelle und große Trainingsdatensätze – Voraussetzungen, die nicht in allen Kliniken gegeben sind [53].

1.5 Ressourcen und Ökonomie der postoperativen Intensivüberwachung

1.5.1 Kosten und Ressourceneinsatz in der intensivmedizinischen Überwachung

Die intensivmedizinische Versorgung gehört zu den teuersten Bereichen des stationären Gesundheitswesens. In der postoperativen Phase besonders nach Hochrisikoeingriffen ist eine strukturierte Überwachung auf der Intensivstation meist medizinisch notwendig, bringt aber erhebliche Kosten mit sich. Studien aus deutschen Kliniken zeigen, dass die

durchschnittlichen Tageskosten pro ICU-Patient:in stark variieren – abhängig von Beatmungsstatus, Versorgungsstruktur und Schweregrad liegen sie zwischen etwa 790 € und 2.000 €. In einer nationalen Prävalenzstudie an 51 Intensivstationen betragen die mittleren Kosten 791 € pro Tag (SD: ± 305 €); in Maximalversorgern lagen sie bei bis zu 923 € [44]. Der größte Teil entfiel auf das Personal (rund 62 %), gefolgt von Sachmitteln und Medikamenten.

Auch andere Analysen bestätigen den Einfluss des Beatmungsstatus. Martin et al. fanden durchschnittlich 1.145 € pro Tag ohne Beatmung und 1.426 € mit Beatmung, bei einem Gesamtdurchschnitt von 1.265 € [45]. Tan et al. berichteten aus sieben Kliniken Tageskosten zwischen 1.168 € und 2.025 €, wobei erneut das Personal den größten Kostenblock ausmachte [46].

Indrich untersuchte die Kosten zusätzlich auf Stundenbasis. Der Median lag bei 48,23 € pro Intensivstunde – also etwa 1.140 € pro Tag. Bei beatmungspflichtigen Patient:innen verdoppelten sich die Werte nahezu auf 93,95 € pro Beatmungsstunde. Als Bezugsrahmen schlugen die Autoren das TISS-System (Therapeutic Intervention Scoring System) vor, da es sowohl klinische Komplexität als auch Ressourceneinsatz abbildet [47].

Eine weitere Differenzierung lieferte Klepzig, der die Tageskosten in Komponenten aufschlüsselte: Pflegepersonal 350–440 €, Medikamente 120–200 €, Sachkosten 70–200 €. Insgesamt ergab sich ein orientierender Rahmen von 700–1.000 € pro Tag [48].

Insgesamt zeigen diese Daten, dass die ICU-Kosten stark durch Art und Dauer der Intervention sowie durch personelle und strukturelle Faktoren bestimmt werden. In der Neurochirurgie kommen zusätzliche Aufwendungen hinzu, etwa für intrakranielle Druckmessung, spezielles neurologisches Monitoring, aufwändige Lagerung und intensivere bzw. spezialisierte Pflege.

Damit wird klar, dass ökonomische Überlegungen inzwischen ein wichtiger Teil der Diskussion um postoperative ICU-Zuweisungen sind. Prädiktive Instrumente können hier nicht nur die klinische Sicherheit verbessern, sondern auch die gezielte Steuerung begrenzter intensivmedizinischer Ressourcen unterstützen – im Sinne einer evidenzbasierten und kostenbewussten Versorgung.

1.5.2 Verfügbarkeit und Verteilung intensivmedizinischer Kapazitäten

Die Verfügbarkeit intensivmedizinischer Ressourcen ist ein zentraler Faktor in der postoperativen Versorgung chirurgischer und insbesondere neurochirurgischer Patient:innen. Auch wenn die Indikation zur intensivmedizinischen Überwachung primär medizinisch gestellt wird, hängt ihre Umsetzung immer von den strukturellen Rahmenbedingungen ab. Dazu zählen die Anzahl und Ausstattung der Intensivbetten, der Personalschlüssel, regionale Unterschiede in der Versorgungsdichte sowie die Verfügbarkeit des Fachpersonals rund um die Uhr.

Internationale Vergleiche zeigen große Unterschiede in der Bettenkapazität zwischen westlichen Industrieländern. In einer Analyse von Wunsch et al. [26] hatte Deutschland mit 21,6 Intensivbetten pro 100.000 Einwohner eine der höchsten Versorgungsdichten weltweit, während Portugal nur 4,5 Betten pro 100.000 Einwohner meldete. Auch Länder mit vergleichbarem Bruttoinlandsprodukt unterschieden sich teils deutlich. Solche Unterschiede beeinflussen direkt die Allokationspraxis, die Behandlungsschwellen und in gewissem Maß auch die Mortalitätsraten.

Auch innerhalb Deutschlands bestehen relevante Differenzen zwischen Maximalversorgern, Schwerpunktkliniken und Grundversorgern. Die Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI) definiert Mindestanforderungen für intensivmedizinische Einheiten, darunter kontinuierliches Monitoring, invasive Überwachungsmöglichkeiten, 24/7-Notfallversorgung und einen Pflegeschlüssel von 1:2, bei kritisch Kranken 1:1 [32]. Studien wie die von Tan et al. [46] zeigen jedoch, dass diese Standards besonders in kleineren Häusern oder außerhalb urbaner Zentren nicht immer eingehalten werden – was die Umsetzung einer standardisierten postoperativen Überwachung erschwert.

Unterschiede bestehen auch bei Ausstattung und Kostenstruktur. In einer Untersuchung von 51 deutschen Intensivstationen berichteten Moerer et al. [44], dass ein Drittel der Einheiten nicht alle Leitlinienvorgaben erfüllte, etwa hinsichtlich Beatmungsplätzen, isolierbarer Zimmer oder Facharztpräsenz.

Neben der Bettenzahl spielt auch die Personalkapazität eine entscheidende Rolle. In vielen Regionen sinkt die Zahl qualifizierter Intensivpflegekräfte, sodass trotz vorhandener

Betten faktisch Unterversorgung entsteht [32]. Für die Neurochirurgie wiegt dies besonders schwer, da zusätzlich spezielles Monitoring (z. B. Liquordrainagen, intrakranielle Druckmessungen) und neurologische Expertise erforderlich sind.

Das DIVI-Intensivregister unterscheidet deshalb zwischen gemeldeten und tatsächlich betreibbaren Betten. Im Jahr 2023 wurden rund 28.000 Intensivbetten registriert, betrieben werden konnten jedoch meist nur 19.000–22.000 – je nach Region und Personalsituation [32].

1.5.3 Fehlallokation und deren Folgen

Die Zuweisung von Patient:innen zu einer Überwachungseinheit ist eine kritische Schnittstelle zwischen medizinischer Indikation und vorhandenen Ressourcen. In der Praxis kommt es dabei regelmäßig zu Fehlallokationen – sowohl im Sinne einer Überversorgung (ICU-Verlegung ohne tatsächlichen Bedarf) als auch im Sinne einer Unterversorgung (Verbleib auf Normalstation trotz ICU-Indikation). Beide Szenarien haben negative Konsequenzen für Patientensicherheit und Ressourceneinsatz.

Unterversorgung, also eine zu niedrige Überwachungsstufe trotz Risikoprofil, kann schwerwiegende Folgen haben. Nicht erkannte oder verzögert behandelte Komplikationen wie respiratorische Insuffizienz, Nachblutungen oder neurologische Verschlechterungen sind mit einem deutlich erhöhten Risiko für bleibende Schäden oder Re-Operationen verbunden [23][25]. Ter Laan et al. konnten zeigen, dass Patient:innen nach supratentorieller Tumorsektion, die zunächst nicht auf einer ICU überwacht wurden und später eine Eskalation benötigten, eine deutlich höhere Morbidität und längere Krankenhausaufenthalte hatten [24]. Ähnliches beobachteten Veeravagu et al. bei spinalen Tumoroperationen: Ein fehlender Abgleich zwischen Risikoprofil und postoperativem Monitoring führte zu einer höheren Rate schwerwiegender Ereignisse [25].

Das Gegenstück ist die Überversorgung. Die vorsorgliche oder routinemäßige ICU-Aufnahme von Patient:innen ohne echtes Risiko bindet Ressourcen, verursacht Kosten und kann die Betroffenen zusätzlich psychisch belasten [18][24]. Martin et al. zeigten, dass elektiv ICU-überwachte Patient:innen ohne objektiven Überwachungsbedarf Kosten von über 1.200 € pro Tag verursachten, ohne erkennbaren klinischen Nutzen [45]. Auch Tan et

al. berichteten ICU-Kosten von bis zu 2.000 € pro Tag bei fraglichem Mehrwert [46]. In unserer Klinik führt die pauschale intensivmedizinische Verlegung nach elektiven Eingriffen in der hinteren Schädelgrube regelmäßig zu OP-Verschiebungen, weil die geforderterter Intensivkapazitäten nicht verfügbar sind. Dies führt zu einer Störung der organisatorischen Abläufe und zu einer erhöhten psychischen Belastung der Patient:innen durch entsprechende Wartezeiten auf den Eingriff.

Zudem besteht bei unnötigen ICU-Aufnahmen das Risiko sogenannter Verdrängungseffekte: Patient:innen mit echtem intensivmedizinischem Bedarf können nicht aufgenommen oder müssen in andere Kliniken verlegt werden. Dies bringt nicht nur zusätzliche Risiken für die Betroffenen, sondern erzeugt auch Ineffizienzen im Gesamtsystem.

Beide Formen der Fehlallokation beeinträchtigen die Qualität und Fairness der Versorgung. Sie lassen sich aber nur schwer vermeiden, solange objektive Kriterien für die ICU-Zuweisung nach elektiven Eingriffen fehlen oder uneinheitlich angewendet werden. Oft basiert die Entscheidung auf individueller Einschätzung, Erfahrungswerten oder lokalen Routinen – eine Praxis, die mit steigender Belastung der Systeme zunehmend an Grenzen stößt [1][29]. Phasen mit besonders hoher Ressourcenauslastung, wie zum Beispiel während der COVID-19-Pandemie, verschärfen dieses Problem akut und verdeutlichen umso mehr die Notwendigkeit einer sehr differenzierten Allokation.

Ein strukturierter Risikobewertungsansatz könnte hier Abhilfe schaffen. Ein prädiktiver Score, der auf validierten präoperativen Variablen beruht, hätte das Potenzial, die Indikationsstellung zu standardisieren und Fehlallokationen zu reduzieren – durch die gezielte Identifikation von Hochrisikopatient:innen ebenso wie durch die Absicherung einer Nicht-Zuweisung bei Niedrigrisiko-Konstellationen.

1.5.4 Strategien zur Optimierung: Scores, Triage, „No ICU – Unless“

Angesichts knapper intensivmedizinischer Kapazitäten und zunehmender Eingriffskomplexität stellt sich immer drängender die Frage, wie postoperative Patient:innen effizient und risikoadaptiert den passenden Überwachungsstufen zugewiesen werden können. In den letzten Jahren sind unterschiedliche Strategien entwickelt worden,

um diese Entscheidungen stärker zu standardisieren und gleichzeitig ökonomisch vertretbar zu gestalten.

Ein zentraler Ansatz ist die Integration prädiktiver Risikoscores in die postoperative Zuweisungspraxis. Solche Instrumente basieren auf retrospektiv identifizierten Risikofaktoren und erlauben eine standardisierte Einschätzung des individuellen Komplikationsrisikos. Zu den häufig eingesetzten Modellen zählen die Milan Complexity Scale (MCS) für neurochirurgische Eingriffe [6][13], die ASA Physical Status Classification [21], der APACHE II Score (Acute Physiology and Chronic Health Evaluation) [14] sowie der Surgical Risk Calculator [2]. Gemeinsam ist diesen Scores, dass sie Patient:innen anhand präoperativer Parameter wie Alter, Komorbiditäten, funktionellem Status, Eingriffsart und Operationsdauer klassifizieren. Studien zeigen, dass Modelle wie MCS oder APACHE II relevante Aussagen zur ICU-Bedarf, Komplikationsrate und Length of Stay liefern können [6][14][22]. Allerdings haben sie auch Schwächen: Einige sind zu allgemein gehalten (z. B. ASA), andere benötigen intensivmedizinische Variablen, die präoperativ nicht verfügbar sind.

Für spezielle Subgruppen – etwa Patient:innen nach elektiver infratentorieller Neurochirurgie – existieren bislang kaum validierte Instrumente, die präoperativ eine verlässliche Steuerung der Überwachungsebene erlauben. In diesem Kontext wurde das Konzept „No ICU – Unless“ entwickelt, das vor allem bei Ressourcenknappheit diskutiert wird. Dabei werden Patient:innen nur dann auf die ICU verlegt, wenn vordefinierte Kriterien erfüllt sind, beispielsweise intraoperative Instabilität, komplexe Tumorlokalisation oder neurologische Risikofaktoren [18]. Qasem et al. konnten zeigen, dass dieses Modell bei sorgfältig ausgewählten Patient:innen ohne zusätzliches Risiko eine vergleichbare Sicherheit bietet, gleichzeitig aber die ICU-Belastung deutlich reduziert – in ihrer Analyse um bis zu 40 % [18]. Die meisten Patient:innen mit Tumoren der hinteren Schädelgrube waren hier aber weiterhin per se für die ICU vorgesehen.

Für die Ausarbeitung und Umsetzung solcher selektiven Modelle ist jedoch eine solide Datenbasis und belastbare Entscheidungsgrundlage erforderlich. Ideal wäre eine Kombination aus validierten Risikoscores und klar definierten Checklisten, um die Patientensicherheit zu gewährleisten und die Entscheidungen transparent zu machen. Ergänzend nutzen einige Kliniken interne Triage-Systeme oder Entscheidungs bäume, die

auf institutionellen Erfahrungswerten beruhen [24][29]. Diese Konzepte können im Alltag hilfreich sein, sind aber selten formell validiert und daher nur eingeschränkt übertragbar.

1.6 Zielsetzung der vorliegenden Arbeit

1.6.1 Wissenschaftlicher und klinischer Hintergrund

Die postoperative intensivmedizinische Überwachung ist ein zentraler Bestandteil der perioperativen Versorgung in der Neurochirurgie. Besonders nach Eingriffen in der HSG gilt das Risiko für frühe und potenziell vitale Komplikationen als hoch. Ursache sind die engen anatomischen Verhältnisse und die Nähe zu kritischen Hirnstrukturen. An unserer Institution wird deshalb für diese Patient:innen routinemäßig ein Intensivbett vorgehalten. Gleichzeitig sind die intensivmedizinischen Kapazitäten in den meisten Gesundheitssystemen begrenzt – sowohl personell als auch infrastrukturell [26][32]. In der Praxis erfolgt die Zuweisung zur Intensivstation deshalb häufig auf Grundlage individueller Einschätzungen oder institutioneller Routinen. Eine standardisierte, evidenzbasierte Entscheidungshilfe fehlt oftmals. Daraus entsteht das Risiko einer Fehlallokation: Manche Patient:innen werden intensivmedizinisch überwacht, obwohl kein objektiver Bedarf besteht, während andere trotz relevanter Risikokonstellationen auf Normal- oder Intermediate-Care-Einheiten verbleiben – mit möglichen Folgen für die Patientensicherheit [18][24][25].

Mit zunehmender Eingriffskomplexität und demografischem Wandel steigt der Bedarf an effektiven, praxistauglichen Instrumenten zur Risikostratifizierung weiter an [19][32]. Zwar existieren etablierte Scores wie ASA, APACHE II oder die Milan Complexity Scale, diese sind jedoch entweder nicht für neurochirurgische Fragestellungen konzipiert oder haben in infratentoriellen Kollektiven nur eine eingeschränkte Aussagekraft [6][13][25][49][51]. Für die präoperative Entscheidung zur postoperativen ICU-Überwachung nach elektiven HSG-Eingriffen existiert bislang kein spezifisches, validiertes Instrument, das sich auf klinisch einfach erfassbare Variablen stützt.

Damit ergibt sich eine klinisch und wissenschaftlich relevante Lücke: Es besteht Bedarf an einem strukturierten, evidenzbasierten und zugleich einfach handhabbaren Scoring-

System, das die Indikationsstellung für eine intensivmedizinische Überwachung in dieser besonders vulnerablen Patientengruppe objektiviert. Ziel ist es, die Patientensicherheit zu erhöhen und gleichzeitig intensivmedizinische Ressourcen gezielter einzusetzen.

1.6.2 Zielsetzung der vorliegenden Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist die Identifikation präoperativ vorliegender klinischer Parameter und intraoperativer Variablen, welche mit einer erhöhten Komplikationsrate nach elektiven Operationen bei tumorösen Raumforderungen in der HSG assoziiert sind und zukünftig zur verbesserten Indikationsstellung für eine intensivmedizinische Überwachung herangezogen werden könnten.

2. Material und Methoden

2.1 Stichprobe und Einschlusskriterien

Diese retrospektive, monozentrische Studie wurde an der Klinik für Neurochirurgie der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf durchgeführt. Eingeschlossen wurden alle Patient:innen, die zwischen Januar 2013 und Dezember 2017 elektiv aufgrund eines Tumors im Bereich der HSG operiert und postoperativ auf einer Intensivstation betreut wurden. Voraussetzung für die Einschlussfähigkeit war ein vollständiger Datensatz bezüglich aller für diese Untersuchung relevanten Parameter.

2.2 Ausschlusskriterien

Ausgeschlossen wurden Patient:innen mit Notfalloperationen, anderen Pathologien als Tumoren der HSG sowie Fälle mit unvollständiger Dokumentation der erforderlichen klinischen Merkmale.

2.3 Datenquellen und Datenerhebung

Patient:innen mit Kraniotomie oder Kraniektomie der hinteren Schädelgrube wurden zunächst über die OPS-Codes 5-010.04 und 5-010.14 in einer automatisierten Abfrage der institutionellen Datenbank identifiziert. Im nächsten Schritt wurde manuell Patient:innen selektiert, welche die Einschlusskriterien erfüllten. Die Datenerhebung für dieses Kollektiv erfolgte retrospektiv anhand elektronischer Patientenakten sowie klinikinterner Archivdaten. Die Auswertung erfolgte anhand des anonymisierten Datensatzes.

2.4 Erhobene Variablen

Folgende präoperative Parameter wurden dokumentiert:

- Demographische Merkmale: Alter, Geschlecht, Body-Mass-Index (BMI), Karnofsky-Performance-Status (KPS)
- Vorerkrankungen: Z. n. Myokardinfarkt, kardiovaskuläre Erkrankungen, arterielle Hypertonie, Demenz, COPD, Asthma bronchiale, Diabetes mellitus, weitere Tumorerkrankungen, Nikotin- und Alkoholabusus
- Neurologische Symptome: präoperative Parese, Aphasie, Dysarthrie, Dysphagie, Epilepsie, Ataxie, Gangunsicherheit
- Weitere Risikofaktoren: präoperative Anämie, Gerinnungsstörung
- Präoperative Risikoeinschätzung: ASA-Klassifikation, MET-Wert, CL-Score
- Lokalisation der Raumforderung: intra- vs. extra-axial
- Tumorentität
- Narkose- und Operationsdauer

Als Zielgröße wurden das Auftreten und der Zeitpunkt postoperativer Komplikationen, insbesondere in Bezug auf die ICU-Behandlungsnotwendigkeit, erhoben. Die Komplikationen wurden gemäß der Klassifikation für neurochirurgische Komplikationen nach Landriel et al. (2011) eingestuft. Diese Skala unterscheidet zwischen unterschiedlichen Schweregraden, wobei bei Kategorie I bis III zwischen „a“- und „b“-Subgruppen differenziert wird:

- Grad I: Ereignisse, die keine Behandlung erfordern (Ia) oder lediglich eine klinische Überwachung nötig machen (Ib)
- Grad II: Komplikationen, die eine pharmakologische (IIa) oder nichtinvasive klinisch-technische Maßnahme (IIb) erforderlich machen, z. B. Drainagen, Bluttransfusionen oder Sauerstofftherapie
- Grad III: Komplikationen, die eine chirurgische oder interventionelle Re-Operation erforderlich machen

- IIIa: ohne Allgemeinanästhesie
 - IIIb: unter Allgemeinanästhesie
- Grad IV und V betreffen schwerste bleibende Schäden bzw. Tod.

2.5 Statistische Methoden

Numerische Variablen werden als Median und diskrete Ergebnisse als absolute und relative (%) Häufigkeiten ausgedrückt. Kontinuierliche Ergebnisse wurden mit dem ungepaarten Student-t-Test, dem Welch-t-Test oder dem Mann-Whitney-U-Test verglichen. Diskrete Ergebnisse wurden entsprechend mit dem Chi-Quadrat-Test oder dem exakten Test nach Fisher verglichen. Das Signifikanzniveau wurde a priori auf 0,05 festgelegt und es wurden zweiseitige Tests verwendet. Bei multiplen Tests erfolgte eine Bonferroni-Korrektur. Die statistische Analyse wurde mit EasyMedStat (Version 3.44; www.easymedstat.com) durchgeführt.

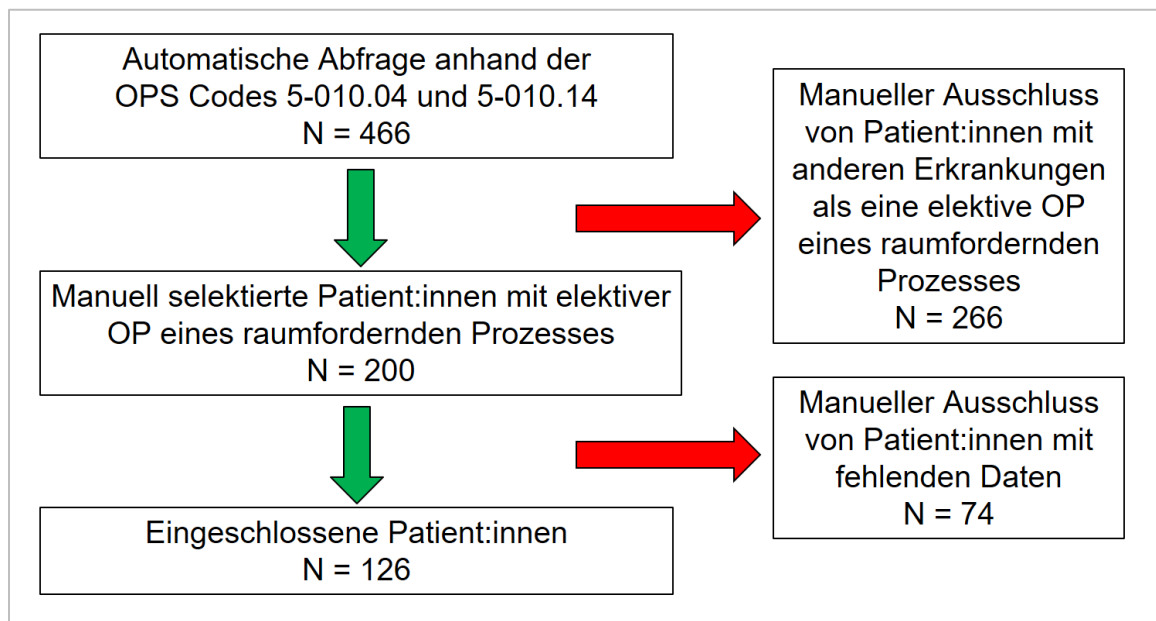
2.6 Ethikvotum

Für die Durchführung der Studie wurde ein positives Ethikvotum der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf eingeholt (2018-266-RetroDEuA).

3 Ergebnisse

3.1 Beschreibung des Patientenkollektivs

Von den insgesamt 466 elektronisch identifizierten Fällen erfüllten 126 Patient:innen (27,0%) die Einschlusskriterien und konnten in die Analyse aufgenommen werden (Grafik 1).



Grafik 1. Prozess der Patientenselektion.

3.2 Demographische Daten

Das mediane Alter der Patient:innen lag bei 55 Jahren zum Zeitpunkt der Operation (Spanne: 21–85 Jahre). Der Anteil männlicher Patient:innen betrug 37,3 % (n = 47), der weiblicher 62,7 % (n = 79). Der mediane BMI lag bei 25,0 kg/m². Der KPS in der Kohorte betrug 90 %.

3.3. Präoperative Symptome

Die Häufigkeitsverteilung der präoperativen Symptome kann Tabelle 1 entnommen werden. Schwindel wurde von 50 Patient:innen präoperativ beklagt. Eine Ataxie oder Gangunsicherheit war bei 42 Patient:innen nachweisbar. Bei 39 Patient:innen lagen Kopfschmerzen vor. Eine Hörstörung lag bei 30 Patient:innen vor.

Symptom	Anzahl	Prozent
Schwindel	50	21,6
Gangunsicherheit/Ataxie	42	18,2
Kopfschmerzen	39	16,8
Hörstörungen	30	13
Übelkeit/Erbrechen	19	8,2
Paresen	15	6,5
Hyp-/Dysästhesie	8	3,5
Sehstörungen	8	3,5
Trigeminusneuralgie	7	3
Wesensveränderung	5	2,2
Dysphagie	4	1,7
Dysarthrie	4	1,7

Tabelle 1. Häufigkeitsverteilung der präoperativen Symptome.

3.4. Vorerkrankungen

Die Vorerkrankungen des Patientenkollektivs sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Bei 56 Patient:innen lag eine arterielle Hypertonie vor. Weitere Tumorerkrankungen waren bei 42 Patient:innen bekannt. Kardiovaskuläre Vorerkrankungen wurden bei 32 Patient:innen festgestellt. Nikotinabusus wurde bei 29 Patient:innen und Alkoholabusus bei 3 Patient:innen erfasst. Pulmonale Erkrankungen wie COPD oder Asthma bronchiale waren bei 19 Patient:innen vorhanden. Diabetes mellitus wurde bei 9 Patient:innen dokumentiert. Eine präoperative Anämie bestand bei 13 Patient:innen. Eine primäre Gerinnungsstörung fand sich bei 9 Patient:innen, während 8 Patient:innen eine iatrogene Gerinnungsstörung

durch gerinnungshemmende Vormedikation aufwiesen. Sieben Patient:innen wurden in den 12 Monaten vor der Operation bereits intensivmedizinisch behandelt.

Vorerkrankung	Anzahl	Prozent
Arterielle Hypertonie	56	44,4
Andere Tumorerkrankung	42	33,3
Kardiovaskuläre Erkrankungen inkl. Myokardinfarkt und KHK	32	25,4
Nikotinabusus	29	23
COPD/Asthma/pulmonale Erkrankung	19	15,1
Anämie	13	10,3
Diabetes	9	7,1
Gerinnungsstörung primär	9	7,1
Gerinnungsstörung iatrogen	8	6,3
ICU-Aufenthalt in den letzten 12 Monaten	7	5,6
Alkoholabusus	3	2,4

Tabelle 2. Vorerkrankungen des Gesamtkollektivs.

3.5 Präoperative anästhesiologische Klassifikationen

Die Mehrzahl der Patient:innen wurde präoperativ in ASA-Klasse II eingeordnet (n = 83, 65,9 %). Drei Patient:innen (2,4 %) wurden in ASA I, 35 Patient:innen (27,8 %) in ASA III und 5 Patient:innen (4,0 %) in ASA IV eingestuft. Der mediane ASA-Score des Gesamtkollektivs lag bei 2. Die entsprechenden medianen Werte in der CL- sowie MET-Klassifikation betragen 1 und 3.

3.6 Tumorentitäten

Tabelle 3 zeigt die absolute und prozentuale Verteilung der Tumorentitäten in der Studienkohorte. Die häufigsten Entitäten waren Metastasen (n = 38), Meningeome (n = 31) und Neurinome bzw. Vestibularisschwannome (n = 24).

Tumorentität	Anzahl	Prozent
Metastase	38	30,2
Meningeom	31	24,6
Neurinom	24	19
Andere	11	8,7
Hämangioblastom	10	7,9
Gliom	7	5,6
Ependymom	5	4

Tabelle 3. Häufigkeitsverteilung der Tumorentitäten in der Gesamtkohorte.

3.7 Narkose- und Operationsdauer

Die Operationsdauer variierte in der Gesamtkohorte zwischen 1,0 und 10,5 Stunden. Der Median lag bei 4,2 Stunden. Die Narkosedauer lag zwischen 1,8 und 12,3 Stunden, mit einem Median von 5,2 Stunden.

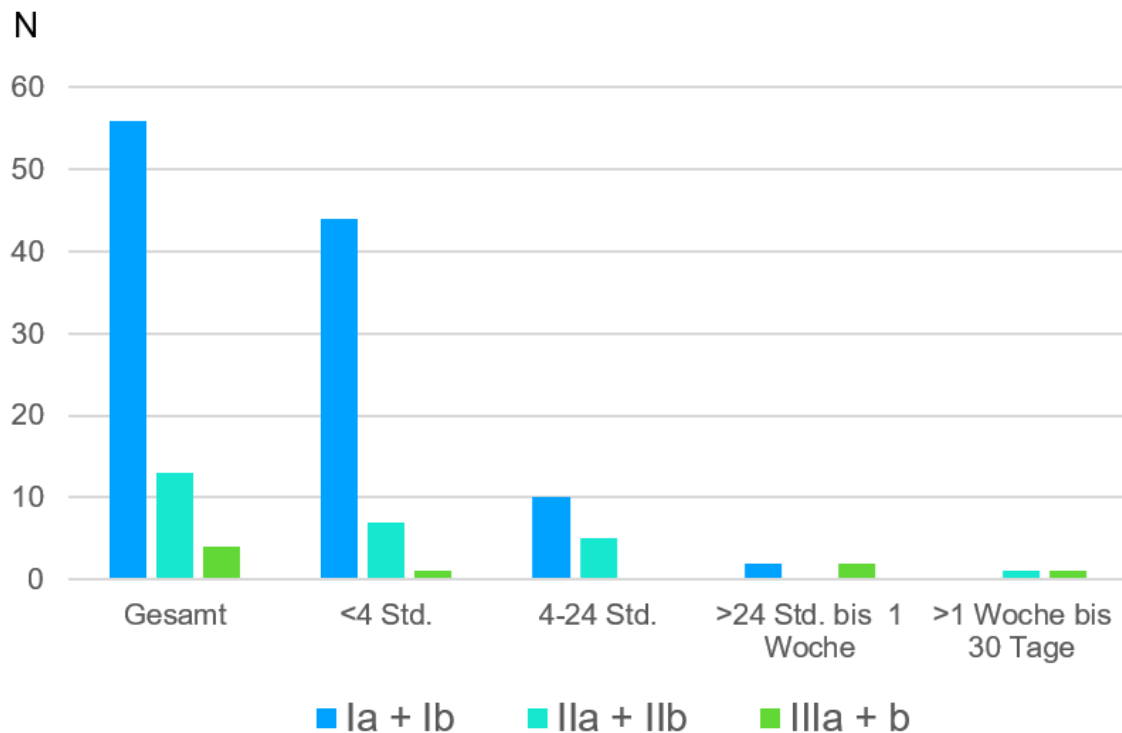
3.8 Intraoperative Besonderheiten

Adverse Veränderungen des intraoperativen Neuromonitorings wurden bei 37 Patient:innen (29,7 %) dokumentiert. Eine erschwerte Hämostase lag intraoperativ bei 11 Patient:innen vor (8,7 %). In 2 Fällen (1,6 %) musste eine intraoperative Bluttransfusion erfolgen.

3.9 Postoperative Komplikationsrate und zeitlicher Verlauf

Es traten 73 postoperative Komplikationen bei 53 Patient:innen (42,2 %) auf. Die überwiegende Mehrzahl der postoperativen Komplikationen trat innerhalb der ersten 24 Stunden nach der Operation auf (Grafik 2). Insgesamt wurden 52 Komplikationen (71,2 %) innerhalb der ersten 4 Stunden, und 15 Ereignisse (20,5 %) im Zeitraum von 4 bis 24 Stunden dokumentiert. Nur 4 Komplikationen (5,5 %) wurden im Zeitraum von >24 Stunden bis 1 Woche beobachtet, während 2 Ereignisse (2,7 %) erst zwischen dem 8. und

30. postoperativen Tag auftraten. Die mediane Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation betrug 18,5 Stunden (2,0 bis 470,1 Stunden).

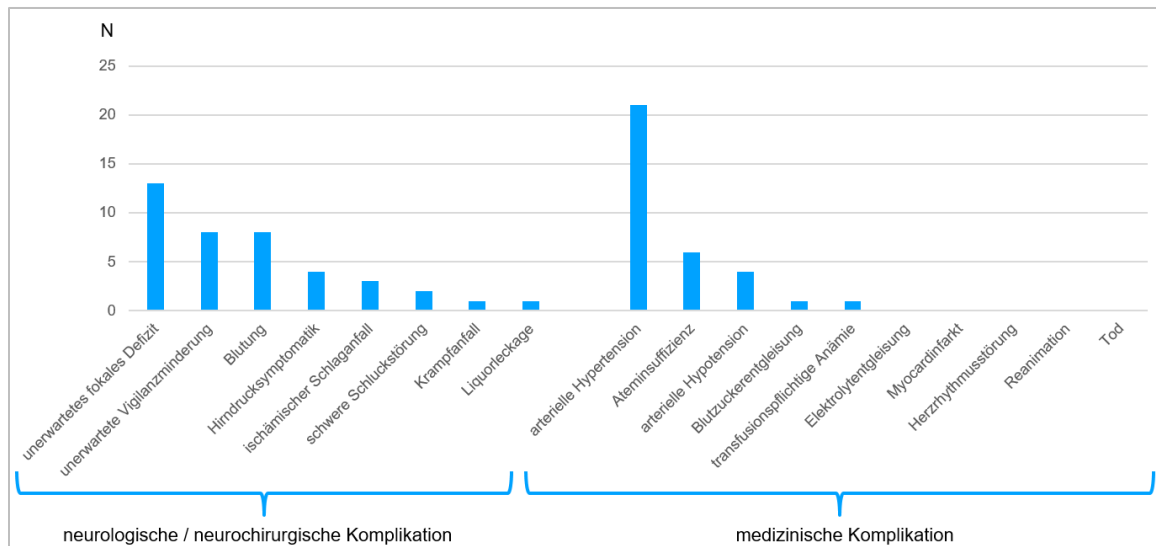


Grafik 2. Zeitliche Zuordnung der beobachteten Komplikationen.

3.11 Art und Schweregrad der Komplikationen

Insgesamt entfielen die meisten Komplikationen auf die Kategorien Ia und Ib (n = 56, 76,7%). Grad IIa- und IIb-Komplikationen wurden in 13 Fällen (17,8%) dokumentiert. Schwerwiegendere Ereignisse vom Grad IIIa und IIIb wurden in 4 Fällen (5,5%) dokumentiert. Ein einzelner Fall wurde dabei als Grad IIIb klassifiziert.

Die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Ereignisse, welche den Landriel-Kategorien zugeordnet wurden, geht aus Grafik 3 hervor. Unter den neurologischen bzw. neurochirurgischen Komplikationen war das unerwartete fokale sensomotorische Defizit am häufigsten (N = 13), während unter den medizinischen Komplikationen die arterielle Hypertonie vorherrschend war (N = 21).



Grafik 3. Häufigkeitsverteilung der einzelnen komplikativen Ereignisse.

3.12 Vergleich der Subgruppen ohne und mit Komplikation

Die präoperativen, intraoperativen und postoperativen Variablen sind in den Tabellen 4 und 5 für die Gesamtkohorte sowie im Vergleich zwischen Subgruppen ohne und mit Auftreten einer Komplikation dargestellt. Die univariate Analyse ergab signifikante Unterschiede zwischen den beiden Subgruppen für die präoperative Variable ASA-Klassifikation ($p = 0,039$), die intraoperativen Variablen Narkose- und Operationsdauer in Stunden (jeweils $p < 0,001$) sowie die postoperative Variable Dauer des ICU-Aufenthaltes in Stunden ($p = 0,007$). Bei 24 Vergleichen bzw. statistischen Tests am Datensatz erfolgte zudem eine Bonferroni-Korrektur, welche das neue Signifikanzniveau 0,002 ergab. Somit waren nur Narkose- und Operationsdauer signifikant unterschiedlich im Subgruppenvergleich. In der multivariaten Analyse (Tabelle 6) waren allerdings weder Operationsdauer in Stunden (OR = 1,16, [0,51 ; 2,72], $p = 0,724$) und Narkosedauer in Stunden (OR = 1,29, [0,56 ; 2,96], $p = 0,553$) noch die aus der Literatur vorbekannten wichtigen perioperativen Risikofaktoren arterielle Hypertension (OR = 1,76, [0,711 ; 4,35], $p = 0,221$), BMI (OR = 0,972, [0,899 ; 1,05], $p = 0,477$) und Alter zum Zeitpunkt der OP (OR = 1,02, [0,998 ; 1,06], $p = 0,201$) mit der Rate des Auftretens von postoperativen Komplikationen signifikant assoziiert (Grafik 4).

	Gender	Alter bei OP [J]	BMI	KPS	Kardio-vask. Erkrkg. inkl. MI und KHK	Art. HTN	COPD/ Asthma/ pulmo. Erkrkg.	Dia-betes	andere Tumorerkrankung	Nikotinabusus	Alkoholabusus	Anämie	Gerinnungsstörung primär	Gerinnungsstörung iatrogen	ICU in den letzten 12 Mo.	ASA	CL	MET
Gesamtkohorte n=126	M=47 (37,3%) W=79 (62,7%)	55	25	90	32 (25,4%)	56 (44,4%)	19 (15,1%)	9 (7,1%)	42 (33,3%)	29 (23,0%)	3 (2,4%)	13 (10,3%)	9 (7,1%)	8 (6,3%)	7 (5,6%)	2	1	3
Ohne Komplikation n=73 (58,0%)	M=23 (31,5%) W=50 (68,5%)	55	25	90	22 (30,1%)	29 (39,7%)	12 (16,4%)	4 (5,5%)	27 (37,0%)	18 (24,7%)	2 (2,7%)	10 (13,7%)	3 (4,1%)	3 (4,1%)	5 (6,8%)	2	1	3
Mit Komplikation n=53 (42,1%)	M=24 (45,3%) W=29 (54,7%)	55	25	90	10 (18,9%)	27 (50,9%)	7 (13,2%)	5 (9,4%)	15 (28,3%)	11 (20,8%)	1 (1,8%)	3 (5,7%)	6 (11,3%)	5 (5,7%)	2 (3,8%)	2	1	3
p-Wert	0,164	0,283	0,967	0,389	0,220	0,285	0,802	0,491	0,407	0,765	>0,999	0,235	0,165	0,279	0,698	0,039	0,789	0,611

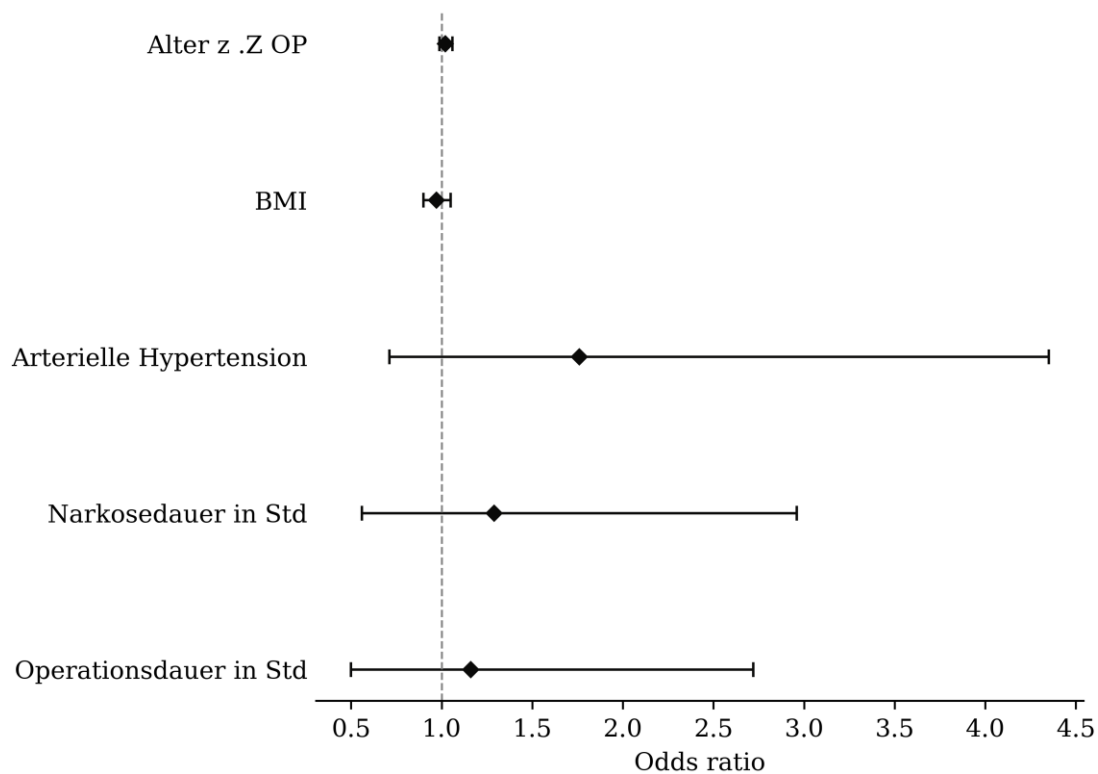
Tabelle 4. Präoperative Variablen in der Gesamtkohorte sowie den Subgruppen.

	Narkosedauer in Std.	Operationsdauer in Std.	Intraop. Transfusion	Erschwerte Hämostase	Adverse IOM Veränderungen	Tumorentität	Dauer des ICU-Aufenthaltes in Std.
Gesamtkohorte n=126	5,2	4,2	2 (1,6%)	11 (8,7%)	37 (29,7%)	Andere 11 (8,7%) Ependymom 5 (4,0%) Gliom 7 (5,6%) Hämangioblastom 10 (7,9%) Meningeom 31 (24,6%) Metastase 38 (30,2%) Neurinom 24 (19,0%)	18,5
Ohne Komplikation n=73 (58,0%)	4,8	3,75	1 (1,4%)	4 (5,5%)	16 (21,9%)	Andere 6 (8,2%) Ependymom 2 (2,7%) Gliom 4 (5,5%) Hämangioblastom 5 (6,8%) Meningeom 21 (28,8%) Metastase 26 (35,6%) Neurinom 9 (12,3%)	17,6
Mit Komplikation n=53 (42,1%)	6,4	5,50	1 (1,9%)	7 (13,2%)	21 (39,6%)	Andere 5 (9,4%) Ependymom 3 (5,7%) Gliom 3 (5,7%) Hämangioblastom 5 (9,4%) Meningeom 10 (18,9%) Metastase 12 (22,6%) Neurinom 15 (28,3%)	19
p-Wert	<0,001	<0,001	>0,009	0,202	0,346		0,007

Tabelle 5. Intra- und postoperative Variablen in der Gesamtkohorte sowie den Subgruppen.

	Odds Ratio	p-Wert
Alter bei OP		
Risk for each 1-unit increase	1,02 [0,988 ; 1,06]	0,201
BMI		
Risk for each 1-unit increase	0,972 [0,899 ; 1,05]	0,477
Arterielle Hypertension		
	1,76 [0,711 ; 4,35]	0,221
Narkosedauer in Std.		
Risk for each 1-unit increase	1,29 [0,56 ; 2,96]	0,553
Operationsdauer in Std.		
Risk for each 1-unit increase	1,16 [0,5 ; 2,72]	0,724

Tabelle 6. Ergebnisse der multivariaten Analyse.



Grafik 4. Forest-Plot zur Darstellung der Ergebnisse der multivariaten Analyse.

4. Diskussion

4.1 Interpretation der Hauptergebnisse

In dieser retrospektiven Analyse wurden präoperative und intraoperative klinische Parameter bei 126 Patient:innen untersucht, die sich einer elektiven neurochirurgischen Operation im Bereich der hinteren Schädelgrube aufgrund eines raumfordernden Prozesses unterzogen haben. Ziel war es, Risikofaktoren für postoperative Komplikationen zu identifizieren, um die Indikationsstellung für eine postoperative Überwachung auf der Intensivstation zu verbessern. Insgesamt traten 73 perioperative Komplikationen bei 53 Patient:innen (42,2 % des Gesamtkollektivs) auf. Die mediane Dauer des postoperativen Intensivaufenthaltes betrug 18,5 Stunden. Die Mehrheit der komplikativen Ereignisse (71,2 %) manifestierte sich aber innerhalb der ersten vier Stunden nach der Operation, was die Relevanz einer unmittelbaren und engmaschigen Überwachung vor allem in der Frühphase des postoperativen Verlaufs unterstreicht. Leichte Komplikationen der Grade Ia und Ib nach der Klassifikation von Landriel et al. [10] waren am häufigsten (76,7% aller Komplikationen), während schwerwiegendere Komplikationen (Grad II und höher) vergleichsweise selten beobachtet wurden.

Die univariate Analyse ergab zunächst signifikante Unterschiede zwischen den Subgruppen ohne und mit Komplikation für die präoperative Variable ASA-Klassifikation ($p = 0,039$) sowie die intraoperativen Variablen Narkose- und Operationsdauer in Stunden (jeweils $p < 0,001$). Nach Bonferroni-Korrektur waren nur noch Narkose- und Operationsdauer signifikant unterschiedlich im Subgruppenvergleich. Dies stützt die Annahme, dass eine längere OP-Dauer möglicherweise als Surrogat für operative Komplexität mit einem erhöhten Risiko für postoperative Komplikationen einhergeht [3]. Dieses Ergebnis deutet zudem darauf hin, dass die ASA-Klassifikation allein möglicherweise nicht ausreicht, um postoperative Risiken zuverlässig vorherzusagen, sondern zusätzliche Parameter herangezogen werden müssten [2][25].

Während aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit aufgrund der unten diskutierten Limitationen nicht direkt in klinischer Score zur Vorhersage des perioperativen Risikos

abgeleitet werden kann, so lassen sich dennoch gewisse Schlussfolgerungen mit Relevanz für die klinische Praxis ziehen: Die Komplikationsrate nach elektiven Operationen bei Raumforderungen in der hinteren Schädelgrube erscheint vergleichbar mit allgemeinen neurochirurgischen Eingriffen. Die meisten Komplikationen ereignen sich früh im postoperativen Verlauf (< 4 Stunden) und sind milde, d.h. sie erfordern oftmals nicht das volle Spektrum der intensivmedizinischen Methoden. Stärker vorerkrankte Patienten (ASA-Klassifikation) und solche mit komplexeren Tumoren (Surrogatparameter Narkose-/OP-Dauer) scheinen ein erhöhtes Risiko zu haben. Will man eine Fehlallokation von Intensivressourcen vermeiden, so ließe sich aus der vorliegenden Studie ableiten, dass bei den meisten Patient:innen eine Überwachung für ca. 6 Stunden im postanästhesiologischen Aufwachraum eine sichere Alternative zum pauschalen Intensivbett sein könnte. Umgekehrt müssten in zukünftigen Arbeiten jene Patient:innen genauer untersucht werden, welche in der aktuellen Arbeit durch eine längere Narkose- und Operationsdauer und signifikant erhöhte Komplikationsrate auffielen. Eine bessere Ausarbeitung präoperativer Surrogatmarker für operative Komplexität mit einem erhöhten Risiko für postoperative Komplikationen ist hierbei essentiell. Möglicherweise kann anhand größerer, ggf. multizentrischer Kohorten ein entsprechender Score oder ein Prädiktionsmodell ausgearbeitet und validiert werden. Die schlussendliche klinische Implementation von jeglichem Konzept zur optimierten Allokation von Intensivressourcen muss unter enger Beobachtung stehen um unbedingt eine Unterversorgung im Sinne einer zu niedrigen Überwachungsstufe zu vermeiden.

4.2 Vergleich mit der Literatur

Die in dieser Studie beobachtete Komplikationsrate von 42,2 % liegt im Bereich vergleichbarer neurochirurgischer Kohorten, wenngleich die Definition und Erfassung von Komplikationen in der Literatur heterogen ist. Landriel et al. [35] berichteten in ihrer Studie über postoperative Komplikationen nach neurochirurgischen Eingriffen von einer Komplikationsrate von rund 30 %, wobei sowohl chirurgische als auch medizinische

Komplikationen nach standardisierter Klassifikation berücksichtigt wurden. Die Anwendung derselben Klassifikation in der vorliegenden Arbeit erlaubt eine direkte Vergleichbarkeit der Verteilung nach Schweregraden.

Während Landriel et al. [35] in ihrer ursprünglichen Analyse eine deutliche Häufung von Komplikationen des Grades Ia und IIa beschrieben, fanden sich in der vorliegenden Kohorte) insbesondere Grad-I-Komplikationen als häufigste Kategorie. Im Unterschied zu Landriel et al., die auch eine relevante Zahl an Grad III-Komplikationen (Re-Interventionen) dokumentierten, traten schwerwiegendere Komplikationen in der vorliegenden Studie vergleichsweise selten auf.

Auch in Studien, die sich explizit mit Operationen in der hinteren Schädelgrube befassen, liegen die berichteten Komplikationsraten im Bereich von 30–40 %. Eine retrospektive Analyse einer pädiatrischen Kohorte (Nejat et al.) zeigte vergleichbare Komplikationsraten mit hoher Inzidenz von Liquorlecks und Meningitiden, wobei die Übertragbarkeit auf erwachsene Patient:innen eingeschränkt ist [17]. Eine kleinere retrospektive Fallserie aus Ägypten mit 44 Patient:innen berichtete ähnliche Komplikationen, wobei Liquorlecks (13,6 %), Shunt-Obstruktionen und Blutungen am häufigsten beschrieben wurden. Die Aussagekraft dieser Arbeit ist jedoch aufgrund der geringen Fallzahl und fehlender Standardklassifikation eingeschränkt [5].

Der zeitliche Verlauf der Komplikationen zeigt ein ähnliches Muster wie in früheren Arbeiten, in denen der Großteil der Ereignisse in der Frühphase des postoperativen Verlaufs beobachtet wurde. Auch Wunsch et al. [8] betonten in ihren Arbeiten zur intensivmedizinischen Überwachung, dass die ersten Stunden nach neurochirurgischen Eingriffen besonders kritisch sind – ein Befund, der durch die vorliegenden Daten bestätigt wird.

Die tendenziell identifizierten Risikofaktoren stimmen mit bisherigen Erkenntnissen überein. So ist eine arterielle Hypertonie ein anerkannter Risikofaktor für vaskuläre Komplikationen [1, 7], ebenso wie vorbestehende neurologische Defizite mit einem erhöhten Risiko für postoperative Verschlechterungen assoziiert sein können. Die Rolle von Gerinnungsstörungen als signifikanter Einflussfaktor wird ebenfalls durch frühere

Studien gestützt, die einen Zusammenhang zwischen Koagulopathien und chirurgischen Komplikationen aufzeigen [35].

Groß angelegte Arbeiten wie die von Lopez Ramos et al. [15] bestätigen zusätzlich die Bedeutung präoperativer Risikofaktoren wie ASA-Score, Hypertonie und Koagulopathie.

Aktuelle Arbeiten wie die von Shickel et al. [22] belegen darüber hinaus den Zusammenhang zwischen ASA-Klassifikation und intraoperativen Risiken auch bei posterioren Eingriffen, was die Bedeutung dieser Variable unterstreicht. Unsere Daten zeigen jedoch, dass ASA allein nicht ausreicht, um postoperative Komplikationen sicher vorherzusagen.

In der vorliegenden Arbeit zeigte sich ein deutlicher Unterschied in der mittleren OP-Dauer zwischen Patient:innen mit und ohne postoperative Komplikationen. Dieser Zusammenhang ist auch aus früheren Studien bekannt, in denen die Eingriffsdauer als unabhängiger Risikofaktor für Infektionen, hämodynamische Instabilität oder Blutverlust beschrieben wurde [13]. Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung einer präoperativen Risikoabwägung insbesondere bei prognostisch aufwändigen Eingriffen und stützen die Relevanz der Operationszeit als möglicher Bestandteil eines zukünftigen Scoring-Modells.

Beim Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit den publizierten Daten anderer Arbeitsgruppen muss die methodische Bandbreite der Studien beachtet werden. Frühere Studien mit pädiatrischen Kohorten [17], umfasst die vorliegende Arbeit primär erwachsene Patient:innen. Zudem unterscheiden sich Erhebungszeiträume und die Kriterien zur Erfassung postoperativer Komplikationen teils erheblich. In der Benha-Studie [5] wurde beispielsweise keine standardisierte Komplikationsklassifikation wie jene von Landriel et al. [35] verwendet, was die Vergleichbarkeit der Schweregrade einschränkt.

Zudem sollte bei der Interpretation der Komplikationsraten bedacht werden, dass Unterschiede in der Methodik – etwa retrospektive vs. prospektive Erhebung, unterschiedliche Nachbeobachtungszeiträume oder auch klinikinterne Dokumentationskultur – einen erheblichen Einfluss auf die Häufigkeit und Detailtiefe dokumentierter Komplikationen haben können. Die vorliegende Studie basiert auf

retrospektiv erhobenen Daten, wodurch insbesondere milde, selbstlimitierende Ereignisse unter Umständen nicht vollständig erfasst wurden.

4.3 Stärken und Limitationen

Die vorliegende Arbeit bietet eine differenzierte Analyse präoperativer Risikofaktoren bei Patient:innen, die sich einer elektiven Operation im Bereich der hinteren Schädelgrube unterzogen. Mehrere Aspekte stellen dabei besondere Stärken der Untersuchung dar. Zum einen basiert die Analyse auf einem strukturierten und vollständigen klinischen Datensatz mit einer Vielzahl relevanter präoperativer Parameter – darunter demografische Merkmale, funktioneller Status, Komorbiditäten, neurologische Symptome, ASA-Klassifikation, Tumorentität und Operationsdauer. Diese Datentiefe erlaubt eine multidimensionale Betrachtung möglicher Risikofaktoren. Darüber hinaus wurde zur Beurteilung postoperativer Komplikationen die etablierte Klassifikation nach Landriel et al. [35] verwendet, die eine differenzierte und reproduzierbare Bewertung der Komplikationsschwere ermöglicht. Der Fokus auf elektive Eingriffe in der hinteren Schädelgrube stellt zudem ein klinisch relevantes, aber bisher wenig standardisiert untersuchtes Patientenkollektiv dar [5]. Trotz dieser Stärken unterliegt die Studie mehreren Limitationen. Als retrospektive, monozentrische Untersuchung ist sie naturgemäß anfällig für Dokumentations- und Selektionsverzerrungen. Die Entscheidung zur postoperativen Intensivüberwachung oder zur Erfassung von Komplikationen erfolgte nicht standardisiert, sondern im Rahmen klinischer Routinen. Zudem wurden ausschließlich Patient:innen berücksichtigt, die initial auf einer Intensivstation überwacht wurden. Somit fehlen Vergleichsdaten zu postoperativen Verläufen auf Normalstation, was die Generalisierbarkeit einschränkt. Auch wurde der postoperative Verlauf nur bis zur Verlegung von der ICU oder Normalstation dokumentiert; längerfristige Komplikationen oder funktionelle Outcomes konnten nicht berücksichtigt werden. Nicht zuletzt könnte die hohe Komplikationsrate bei bestimmten Tumorentitäten oder ASA-Klassen durch zusätzliche, nur teilweise ausgewertete Einflussfaktoren mitbedingt sein – etwa durch intraoperative Ereignisse, die

nicht standardisiert dokumentiert wurden (z. B. technische Schwierigkeiten, intraoperative Instabilität oder chirurgische Erfahrung). Trotz dieser Limitationen bietet die Analyse eine belastbare Grundlage für die Entwicklung eines klinischen Scores zur prädiktiven Einschätzung des postoperativen Risikos. Um diesen weiterzuentwickeln und zu validieren, bedarf es jedoch prospektiver, multizentrischer Studien mit definierten Einschlusskriterien und standardisierter Komplikationsdokumentation [29].

5. Schlussfolgerungen

In dieser retrospektiven Analyse traten 73 perioperative Komplikationen bei 53 Patient:innen (42,2 % des Gesamtkollektivs) auf. Die Mehrheit dieser Ereignisse (71,2 %) ereignete sich innerhalb der ersten vier Stunden nach der Operation. Leichte Komplikationen der Grade Ia und Ib nach der Klassifikation von Landriel et al. [10] waren am häufigsten (76,7% aller Komplikationen), d.h. Abweichungen vom normalen Verlauf, welche keine Behandlung erfordern (Ia) oder lediglich eine klinische Überwachung (Ib) nötig machen. Fast 80% aller Komplikationen erforderten daher rückblickend betrachtet keine Nutzung intensivmedizinischer Überwachung oder Behandlung trotz erfolgter Allokation auf die Intensivstation. Schwerwiegendere Komplikationen (Grad II und höher), welche tatsächlich eine medizinische, interventionelle oder gar operative Intervention erfordern, waren selten.

Die univariate Analyse ergab zunächst signifikante Unterschiede zwischen den Subgruppen ohne und mit Komplikation für die präoperative Variable ASA-Klassifikation ($p = 0,039$) sowie die intraoperativen Variablen Narkose- und Operationsdauer in Stunden (jeweils $p < 0,001$). Nach Bonferroni-Korrektur waren nur noch Narkose- und Operationsdauer signifikant unterschiedlich im Subgruppenvergleich. Dies stützt die Annahme, dass eine längere OP-Dauer möglicherweise als Surrogat für operative Komplexität mit einem erhöhten Risiko für postoperative Komplikationen einhergeht [3].

Trotz der zuvor diskutierten Limitationen dieser monozentrischen retrospektiven Arbeit lassen sich Schlussfolgerungen für die klinische Praxis ziehen: Die Komplikationsrate nach elektiven Operationen bei Raumforderungen in der hinteren Schädelgrube erscheint vergleichbar mit allgemeinen neurochirurgischen Eingriffen. Es handelt sich dabei vornehmlich um milde Komplikationen in der Frühphase nach der OP, welche keine Intervention und vor allem nicht das volle Spektrum der intensivmedizinischen Behandlungs- und Überwachungsmodalitäten erfordern. Besonders gefährdet für Komplikationen scheinen anhand der ASA-Klassifikation als stärker vorerkrankte Patient:innen zu sein, sowie jene mit anhand des Surrogatparameters Narkose-/OP-Dauer erkennbaren komplexeren Tumoren.

Aus diesen Erkenntnissen ließe sich schlussfolgern, dass bei den meisten Patient:innen eine Überwachung für ca. 6 Stunden im postanästhesiologischen Aufwachraum eine sichere Alternative zum pauschalen Intensivbett sein könnte. Dieses Vorgehen könnte eine Fehlallokation von Intensivressourcen im Sinne einer Überversorgung vermeiden. Allerdings kommt der Identifikation von Patient:innen mit erhöhtem Risiko eine sehr hohe Bedeutung zu, da diese durch eine Unterversorgung gefährdet wären. Die vorliegenden Daten legen nahe, dass den individuellen Vorerkrankungen und der Länge bzw. Komplexität des Eingriffs eine große Bedeutung bei der Vorhersage zukommen sollte. Die gewonnenen Erkenntnisse müssen anhand größerer, ggf. multizentrischer Kohorten validiert werden. Solche Datensätze wären auch für die Weiterentwicklung dieses Ansatzes im Sinne einer Erstellung und internen und externen Validierung entsprechender Scores bzw. Prädiktionsmodelle essentiell. Jede klinische Implementation von Konzepten zur optimierten Allokation von Intensivressourcen muss unter enger Beobachtung stehen, um unbedingt eine Unterversorgung im Sinne einer zu niedrigen Überwachungsstufe zu vermeiden und tatsächlich eine patienten- und ressourcenzentrierte optimierte Allokation dieser zunehmend limitierten Ressourcen zu erreichen.

Literaturverzeichnis

1. Bekelis K, Missios S, Coy S, et al. Length of preoperative hospital stay is the dominating risk factor for surgical site infection in neurosurgery: a cohort data-driven analysis. *Surg Neurol Int.* 2019;10:75. doi:10.25259/SNI-203-2019
2. Bilimoria KY, Liu Y, Paruch JL, et al. Development and evaluation of the universal ACS NSQIP surgical risk calculator: a decision aid and informed consent tool. *J Am Coll Surg.* 2013;217(5):833–842.e1–3. doi:10.1016/j.jamcollsurg.2013.07.385
3. Biswas K, Agrawal S, Gupta P, et al. Evaluation of risk factors for postoperative neurologic intensive care admission after brain tumor craniotomy: a single-center longitudinal study. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol.* 2024;40(2):217–227. doi:10.4103/joacp.joacp_323_22
4. Copeland GP, Jones D, Walters M. POSSUM: a scoring system for surgical audit. *Br J Surg.* 1991;78(3):355–360. doi:10.1002/bjs.1800780327
5. El-Saadany WF, El-Fiki A, Soliman MAR, El-Fiki MH. Surgical outcome of posterior fossa tumours: a Benha experience. *Egypt J Neurosurg.* 2020;35:18. doi:10.1186/s41984-020-00083-w
6. Ferroli P, Broggi M, Schiavolin S, et al. Predicting functional impairment in brain tumor surgery: the Big Five and the Milan Complexity Scale. *Neurosurg Focus.* 2015;39(6):E14. doi:10.3171/2015.9.FOCUS15339
7. Franko KJ, Bell RF, Doerfler A, et al. ICU resource utilization and early postoperative outcomes in adult brain tumor craniotomy. *Crit Care Med.* 2018;46(8):1302–1308. doi:10.1097/CCM.0000000000003207
8. Fugate JE. Complications of Neurosurgery. *Continuum (Minneap Minn).* 2015;21(5 Neurocritical Care):1425–1444. doi:10.1212/CON.0000000000000227
9. Gadgil N, Hansen D, Barry J, Chang R, Lam S. Posterior fossa syndrome in children following tumor resection: Knowledge update. *Surg Neurol Int.* 2016;7(Suppl 6):S179–S183. doi:10.4103/2152-7806.178572
10. Gaertner B, Fuchs J, Busch MA, Scheidt-Nave C. Prevalence and Patterns of Multimorbidity among Adults in Germany: Results from the German Health Interview and

Examination Survey for Adults (DEGS1). *Z Gerontol Geriatr.* 2021;54(4):324–334. doi:10.1007/s00391-021-01920-9

11. Halpern NA, Pastores SM. Critical care medicine in the United States 2000–2005: an analysis of bed numbers, occupancy rates, payer mix, and costs. *Crit Care Med.* 2010;38(1):65–71. doi:10.1097/CCM.0b013e3181b090d0

12. Hanak BW, Walcott BP, Nahed BV, et al. Postoperative intensive care unit requirements after elective craniotomy. *World Neurosurg.* 2014;81(1):165–172. doi:10.1016/j.wneu.2012.11.068

13. Henriksen KA, Von Oettingen G, Skjøth-Rasmussen J, et al. Assessment of the Milan Complexity Scale for prediction of postoperative morbidity in pediatric neuro-oncological surgery. *Child's Nerv Syst.* 2023;39(8):2087–2093. doi:10.1007/s00381-023-05902-7

14. Knaus WA, Draper EA, Wagner DP, Zimmerman JE. APACHE II: a severity of disease classification system. *Crit Care Med.* 1985;13(10):818–829. doi:10.1097/00003246-198510000-00009

15. Lopez Ramos C, Aljuboori ZS, Chowdhury S, et al. Readmission following cranial neurosurgical procedures: an analysis of 40,802 cases using the NSQIP database. *World Neurosurg.* 2018;119:e294–e300. doi:10.1016/j.wneu.2018.07.136

16. Maas AIR, Lingsma HF, Roozenbeek B. Predicting outcome after traumatic brain injury. *Handb Clin Neurol.* 2015;128:455–474. doi:10.1016/B978-0-444-63521-1.00029-7

17. Nejat F, Khashab M, Rutka J. Complications following pediatric posterior fossa tumors surgery: Trends and risk factors. *Pak J Neurol Surg.* 2023;23(1):2.

18. Qasem LE, Al-Hilou A, Zacharowski K, et al. Implementation of the "No ICU – Unless" approach in postoperative neurosurgical management in times of COVID-19. *Neurosurg Rev.* 2022;45(5):3437–3446. doi:10.1007/s10143-022-01851-y

19. Robert Koch-Institut. Demografischer Wandel und Gesundheit im Lebensverlauf. Berlin: RKI; 2023. Verfügbar unter: https://www.rki.de/DE/Content/GesundAZ/D/Demografischer_Wandel/Demografischer_Wandel_node.html. Zugriff am: 22.07.2025.

20. Rohde V, Mielke D, Kunz U, et al. Complications following elective craniotomy: role of immediate postoperative PACU monitoring. *Neurocrit Care*. 2025;33(2):145–153. doi:10.1007/s12028-025-02323-z
21. Saklad M. Grading of patients for surgical procedures. *Anesthesiology*. 1941;2(3):281–284. doi:10.1097/00000542-194105000-00004
22. Shickel B, Loftus TJ, Ruppert M, et al. Dynamic predictions of postoperative complications from explainable, uncertainty-aware, and multi-task deep neural networks. *Sci Rep*. 2023;13:1224. doi:10.1038/s41598-023-27418-5
23. Talke PO, Tayefeh F, Katenka NM, et al. Incidence and significance of early postoperative complications after intracranial tumor surgery. *Anesth Analg*. 2007;105(3):779–784. doi:10.1213/01.ane.0000268542.71879.01
24. Veeravagu A, Li A, Swinney C, Tian W, Ames CP, Ratliff JK. Predicting complication risk in spine surgery: a prospective analysis of a novel risk assessment tool. *J Neurosurg Spine*. 2017 Jul;27(1):81–88. doi:10.3171/2017.1.SPINE161059
25. Wunsch H, Angus DC, Harrison DA, et al. Variation in critical care services across North America and Western Europe. *Crit Care Med*. 2008;36(10):2787–2793. doi:10.1097/CCM.0b013e318186aec8
26. Xu M, Li Y, et al. Development and multicenter validation of machine learning models for predicting postoperative pulmonary complications after neurosurgery. *Chin Med J (Engl)*. 2025 Feb 13. doi:10.1097/CM9.00000000000003433
27. Zimmerman JE, Kramer AA, McNair DS, Malila FM. Predicting ICU census and resource use: the APACHE system in neurosurgical postoperative management. *Neurosurgery*. 1998;42(4):824–831. doi:10.1097/00006123-199804000-00015
28. de Almeida CC, Boone MD, Laviv Y, Kasper BS, Chen CC, Kasper EM. The utility of routine intensive care admission for patients undergoing intracranial neurosurgical procedures: a systematic review. *Neurocrit Care*. 2018;28(1):35–42. doi:10.1007/s12028-017-0433-4
29. ter Laan M, Roelofs S, Adang EMM, Bartels RHMA. Reducing the burden of brain tumor surgery. *Acta Neurochir (Wien)*. 2021;163(7):1879–1882. doi:10.1007/s00701-020-04543-y

30. ter Laan M, Roelofs S, van Huet CPW, Adang EMM, Bartels RHMA. Selective intensive care unit admission after adult supratentorial tumor craniotomy: complications, length of stay, and costs. *Neurosurgery*. 2020;86(1):E54–E59. doi:10.1093/neuros/nyz388
31. DIVI – Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin. Strukturqualität in der Intensivmedizin. Online verfügbar unter: <https://www.divi.de/empfehlungen>, Zugriff: 28.07.2025.
32. DGAI & BDA. Positionspapier zur Intermediate Care. *Intensivmed Notfallmed Schmerzther*. 2010;47(1):10–13. doi:10.1055/s-0029-1242780.
33. AWMF-Leitlinie Nr. 001/012: Postoperative Überwachung im Aufwachraum. AWMF online. Online verfügbar unter: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/001-012.html>, Zugriff: 28.07.2025.
34. Dindo D, Demartines N, Clavien PA. Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey. *Ann Surg*. 2004 Aug;240(2):205–213. doi:10.1097/01.sla.0000133083.54934.ae
35. Landriel Ibañez FA, Hem S, Ajler P, et al. A new classification of complications in neurosurgery. *World Neurosurg*. 2011;75(5–6):709–712. doi:10.1016/j.wneu.2010.09.011
36. Clavien PA, Barkun J, de Oliveira ML, Vauthey JN, Dindo D, Schulick RD, de Santibañes E, Pekolj J, Slankamenac K, Bassi C, Graf R, Vonlanthen R, Padbury R, Cameron JL, Makuuchi M. The Clavien-Dindo classification of surgical complications: five-year experience. *Ann Surg*. 2009;250(2):187–196. doi:10.1097/SLA.0b013e3181b13ca2
37. Oberman DZ, Choudhry OJ, Walsh KM, et al. Morphometric analysis of the posterior cranial fossa and its surgical implications. **Surg Radiol Anat.** 2021;43(8):1253-1261. doi:10.1007/s00276-021-02763-8. Verfügbar unter: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8214228/> (Zugriff am: 09.08.2025).
38. Muthukumar N, Bhat DI, Chacko AG, et al. Hydrocephalus associated with posterior fossa tumors – pathophysiology and management strategies. **Neurol India.** 2021;69(Suppl 2):S433-S441. doi:10.4103/0028-3886.322508. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34559985/> (Zugriff am: 09.08.2025).
39. Fabozzi F, Vassallo A, Perna R, et al. Cerebellar Mutism Syndrome: Current perspectives on pathophysiology and management. **Front Cell Dev Biol.**

- 2022;10:1082947. doi:10.3389/fcell.2022.1082947. Verfügbar unter: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcell.2022.1082947/full> (Zugriff am: 09.08.2025).
40. Wibroe M, Sørensen N, Stilling M, et al. Adult-onset cerebellar mutism syndrome after posterior fossa surgery. **World Neurosurg.** 2018;111:19-24. doi:10.1016/j.wneu.2017.12.127. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29396265/> (Zugriff am: 09.08.2025).
41. Lanier C, Abrams AN, Kaleita TA, et al. Long-term outcomes of pediatric patients with cerebellar mutism syndrome after posterior fossa tumor resection. **Cancer.** 2017;123(22):4330-4337. doi:10.1002/cncr.30238. Verfügbar unter: <https://acsjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cncr.30238> (Zugriff am: 09.08.2025).
42. Yang L, Zhang Y, Wu Z, et al. Recovery patterns and long-term prognosis in children with posterior fossa syndrome. **J Neurosurg Pediatr.** 2022;30(6):567-576. doi:10.3171/2022.5.PEDS2255. Verfügbar unter: <https://thejns.org/pediatrics/view/journals/j-neurosurg-pediatr/30/6/article-p567.xml> (Zugriff am: 09.08.2025).
43. Moerer O, Plock E, Schmid A, et al. A German national prevalence study on the cost of ICU care: an evaluation from 51 ICUs. *Intensive Care Med.* 2007;33(3):505–512. doi:10.1007/s00134-006-0503-3
44. Duus P. Neurologisch-topische Diagnostik: Anatomie – Funktion – Klinik. 10. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2020.
45. Martin J, Schneider H, Heuer J, et al. The costs of intensive care in Germany: a cost calculation from the hospital perspective. *Dtsch Arztebl Int.* 2008;105(4):79–85. doi:10.3238/arztebl.2008.0079
46. Tan SS, Bakker J, Hoogendoorn ME, et al. Variations in cost of intensive care treatment for head injury. *Value Health.* 2012;15(1):110–115. doi:10.1016/j.jval.2011.07.012
47. Indrich A. Die Kosten der intensivmedizinischen Behandlung. Dissertation, LMU München, 2010. Verfügbar unter: Zugriff am: 29.08.2025.
48. Klepzig C. Die Kosten der intensivmedizinischen Versorgung in Deutschland. *Anästh Intensivmed.* 2012;53(2):113–121. Verfügbar unter:

49. Vincent JL, Moreno R. Clinical review: scoring systems in the critically ill. *Crit Care*. 2010;14(2):207. doi:. Verfügbar unter: Zugriff am: 03.09.2025.
50. Hariharan S, Zbar A. Risk scoring in perioperative and surgical intensive care patients: a review. *Curr Surg*. 2006;63(5):324–329. doi:. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0149794406000274>Zugriff am: 03.09.2025.
51. Bedford JP, Challand C, Harrop-Griffiths W. Perioperative risk scores: prediction, pitfalls, and progress. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2025;38(1):1–7. doi:. Verfügbar unter: Zugriff am: 03.09.2025.
52. Protopapa KL, Simpson JC, Smith NC, Moonesinghe SR. Development and validation of the Surgical Outcome Risk Tool (SORT). *Br J Surg*. 2014;101(13):1774–1783. doi:. Verfügbar unter: Zugriff am: 03.09.2025.
53. Rajkomar A, Dean J, Kohane I. Machine Learning in Medicine. *N Engl J Med*. 2019;380(14):1347–1358. doi:. Verfügbar unter: Zugriff am: 03.09.2025.
54. Senders JT, Zaki MM, Karhade AV, et al. An introduction and overview of machine learning in neurosurgical care. *Acta Neurochir (Wien)*. 2018;160(1):29–38. doi:. Verfügbar unter: Zugriff am: 03.09.2025.
55. Neumann JO, Schmidt S, Nohman A, Naser P, Jakobs M, Unterberg A. Routine ICU Surveillance after Brain Tumor Surgery: Patient Selection Using Machine Learning. *J Clin Med*. 2024;13(19):5747. doi:10.3390/jcm13195747. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39482762/> (Zugriff am: 19.09.2025).
56. Ter Laan M, Bartels RHMA. “No-ICU-Unless” Policy for Tumor Craniotomy. *World Neurosurg*. 2020;86:E54–E59. doi:10.1016/j.wneu.2020.01.099. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31954885/> (Zugriff am: 19.09.2025).
57. Mijderwijk HJ, Beez T, Hänggi D, Nieboer D. Clinical prediction models. *Childs Nerv Syst*. 2020;36(5):895–897. doi:10.1007/s00381-020-04577-8. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32189042/> (Zugriff am: 19.09.2025).

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen beteiligten Personen meinen großen Dank aussprechen, die mich bei der Anfertigung meiner Dissertation unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Thomas Beez, der mir ermöglichte, diese wissenschaftliche Arbeit durchzuführen. Die vielen Besprechungen, Ratschläge und Korrekturen haben die Vollendung dieser Arbeit möglich gemacht.

Ich bedanke mich auch bei meiner Mutter, Johanna Goltz, bei Maria und Freek die mich in den emotionalen Phasen der Arbeit unterstützen.

Meiner Oma und meinen Brüdern danke ich dafür, dass sie nie an dem Ganzen gezweifelt haben.