

Aus der Klinik für Neurochirurgie der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Sektion Pädiatrische Neurochirurgie
Leiter: Univ.-Prof. Dr. med. Thomas Beez

Einfluss der Corona-Pandemie auf die Inzidenz der Shuntrevisionen bei kindlichem
Hydrozephalus
- eine retrospektive Analyse für den Zeitraum April 2020 bis März 2021

Dissertation

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

vorgelegt von
Simon Peter Wirth

2026

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

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Martina Messing-Jünger

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Felix Distelmaier

Widmung

Ich widme diese Arbeit meiner Familie.

Teile dieser Arbeit wurden im Rahmen eines Abstracts veröffentlicht:

Martina Messing-Jünger, Simon Wirth, Friedrich Herrmann, 05.04.2023, Springer-Verlag GmbH Germany, Child's Nervous System (2023); 28th Congress of the European Society for Pediatric Neurosurgery, Rome Italy, 7-10 May 2023, Seite 1378 [1]

Zusammenfassung

Die Anlage eines Shuntsystems in Form einer ventrikulo-peritonealen oder -atrialen Ableitung gilt als Goldstandard in der Behandlung des Hydrozephalus. Zugleich gehen Shuntimplantationen bei kindlichem Hydrozephalus häufig mit Komplikationen und notwendigen Revisionen einher, die z.B. durch Obstruktionen, Über- sowie Unterdrainagen, Fehllagen und Infektionen verursacht sind. Im Rahmen der COVID-19 Pandemie kam es in der Allgemeinen Pädiatrie zu einem erheblichen Rückgang des Infektionsgeschehens. Dieser Sachverhalt führt zu der bisher ungeklärten Frage, ob und inwieweit die Pandemie auch zu einer geringeren Anzahl von Shuntrevisionen bei kindlichem Hydrozephalus führte. Ziel der vorliegenden Arbeit ist, diese Frage zu klären. Gleichzeitig soll eine grundlegende Analyse entsprechender Revisionen vor und während der Pandemie Aufschluss über die Gründe etwaiger Abweichungen geben. Dabei besteht die Annahme, dass Shuntrevisionen auch durch (systemisch) infektassoziierte Ereignisse oder hämatogene Shuntinfektionen verursacht sein können. Es wurde eine klinisch-retrospektive Kohortenstudie durchgeführt, um einen etwaigen Zusammenhang zwischen dem vermuteten Rückgang der Shuntrevisionsraten und der niedrigeren Gesamtinfectionsrate bei Kindern während der Pandemie zu untersuchen. Auf Basis von elektronischen Patientenakten von Kindern, die wegen einer Shuntrevision oder allgemeinpädiatrisch in der Kinderklinik Sankt Augustin aufgenommen worden sind, wurden 318 Shuntrevisionen und 13919 pädiatrische Fälle für vier Zeiträume - Studienzeitraum April 2020 bis März 2021, Kontrollzeiträume aus drei Vorjahren - unter Berücksichtigung von Alter und jahreszeitlichen Einflüssen ausgewertet. Die Shuntrevisionsrate erwies sich im Studienzeitraum um 29 % niedriger als im Durchschnitt der drei Vorjahre ($p = 0.061$). Die Zahl der pädiatrischen Fälle mit der Hauptdiagnose „Infektion“ ging signifikant zurück ($p < 0.05$), die übrigen pädiatrischen Aufnahmen blieben ungefähr gleich. Die Anzahl von systemisch bedingten Shuntrevisionen, die im Zusammenhang mit Infekten der oberen und unteren Atemwege, des Gastrointestinaltrakts, Nervensystems sowie mit nicht näher definierten Infekten einhergingen, war im Studienzeitraum am geringsten. Diese Korrelation zeigte sich auch bei der Zahl der pädiatrischen Fälle aufgrund von Infektionen. Im Studienzeitraum gab es weniger Shuntrevisionen bedingt durch Wundheilungsstörungen oder Shuntinfektionen als in den Vergleichszeiträumen. Mit Ausnahme einer geringeren Shuntrevisionsrate bei Kleinkindern im Studienzeitraum wurden keine signifikanten alters- oder saisonbedingten Einflüsse in der Gesamtverteilung der Shuntrevisionen festgestellt. Die vorliegenden Ergebnisse legen nahe, dass der Rückgang der Shuntrevisionsrate im ersten Jahr der COVID-19 Pandemie mit einem gleichzeitigen Rückgang der allgemeinen Infektionsrate bei Kindern und Jugendlichen korreliert. Es bleibt jedoch zu diskutieren, ob eine geringere Bereitschaft zur klinischen Vorstellung der Patienten aufgrund vermehrter Regulationen und *Public-Health*-Maßnahmen ursächlich daran beteiligt ist bzw. gezielte Infektionsschutzmaßnahmen das Risiko einer Shuntrevision vermindern.

Summary

The implantation of a shunt system into the ventriculo-peritoneal cavity or the right cardiac atrium is considered the gold standard in the treatment of hydrocephalus. At the same time, shunt implantation in pediatric hydrocephalus is often associated with high complication rates and necessary revisions caused by catheter or valve obstruction, over-, underdrainage, malposition or infection and other rare causes. The COVID-19 pandemic has led to a significant reduction in the incidence of infections in general pediatrics. These circumstances lead to the as yet unresolved question of whether and to what extent the pandemic also led to a lower number of shunt revisions in pediatric hydrocephalus. The aim of this retrospective study is to clarify this question. At the same time, a fundamental cause analysis of the detected shunt revisions before and during the pandemic should provide information about the reasons for possible deviations. In this context, it is assumed that shunt revisions can also be caused by (systemic) infection-associated events or even by direct hematogenous shunt infection. A clinical retrospective cohort study was conducted with the aim of investigating a possible correlation between the suspected decline in shunt revision rates and the lower overall infection rate in children during the pandemic. Based on electronic medical records of children admitted to the Asklepios children's hospital in Sankt Augustin, 318 shunt revisions and 13919 general paediatric cases were evaluated for four time periods - study period April 2020 to March 2021, control periods from three previous years - taking into account age and seasonal influences. The shunt revision rate in the study period was 29% lower than the average of the three previous years ($p = 0.061$). The number of paediatric cases with a main diagnosis of infection even decreased significantly ($p < 0.05$), while the other paediatric admissions remained nearly the same. The number of systemic shunt revisions associated with upper and lower respiratory tract infections, gastrointestinal tract infections, nervous system infections and unspecified infections was the lowest during the study period. This correlation was also evident in the number of paediatric cases due to infections. In the study period there were less shunt revisions caused by wound healing disorders or shunt infections than in the control periods. Apart from a lower shunt revision rate in the age group of 12 to 72 month old children during the study period, no significant age- or season-related influences were identified in the overall distribution of the shunt revision cases.

The present results suggest that the decline in the shunt revision rate in the first year of the COVID-19 pandemic correlates with a simultaneous decline in the general infection rate in children and adolescents. However, it remains to be discussed whether a lower willingness of patients to present clinically due to increased regulations and public health measures is causally involved or whether targeted infection control measures reduce the risk of shunt revision.

Abkürzungen

<u>Abkürzung:</u>	<u>Beschreibung:</u>
Anm.	Anmerkung
cm	Zentimeter
HD	Hauptdiagnose
HP	Hydrostatischer Druck
ICD10	<i>International statistical classification of diseases and related health problems 10</i>
ICP	Intrakranieller Druck
IPP	Intraperitonealer Druck
KI	Konfidenzintervall
mg/l	Milligramm pro Liter
mg/dl	Milligramm pro Deziliter
OP	Öffnungsdruck
OR	<i>Odds ratio</i>
p	Signifikanz
S	Studienzeitraum
SVS	Schlitz-Ventrikel-Syndrom
U1	Untersuchungszeitraum 1
U2	Untersuchungszeitraum 2
U3	Untersuchungszeitraum 3
VAS	Ventrikulo-atrialer Shunt
VPS	Ventrikulo-peritonealer Shunt
x²	Freiheitsgrad (Teststatistik)
Z.n.	Zustand nach
μL	Mikroliter
φ	Freiheitsgrad nach Cramer-V

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung - theoretische Grundlagen und Stand der Wissenschaft.....	1
1.1	Kindlicher Hydrozephalus	1
1.1.1	Epidemiologie	1
1.1.2	Ätiologie.....	2
1.1.3	Klinische Symptomatologie	3
1.2	Shuntsystem-basierte Therapie des kindlichen Hydrozephalus.....	5
1.2.1	Die Liquorshuntsysteme und ihre Funktionsweisen	5
1.2.2	Operative Implantation.....	7
1.3	Komplikationen der Shuntsystem-basierten Therapie	8
1.3.1	Überdrainage	9
1.3.2	Unterdrainage	9
1.3.3	Shuntinfektionen	10
1.4	COVID-19 Pandemie.....	11
1.4.1	Einfluss auf generelle Infektionsgeschehnisse.....	11
1.4.2	Einfluss auf die Anzahl der Shuntrevisionen	13
1.5	Fragestellung und Ziele der Arbeit	15
2	Material und Methoden	16
2.1	Studiendesign.....	16
2.2	Patientenkollektiv	16
2.2.1	Einschlusskriterien	17
2.2.2	Ausschlusskriterien	17
2.3	Datenerfassung.....	18
2.3.1	Erhobene Parameter	18
2.3.2	Allgemeine Klassifizierungen der klinischen Fälle	20
2.3.3	Allgemeinpädiatrische Klassifizierungen	21
2.3.4	Kinderneurochirurgische Klassifizierungen.....	22
2.4	Statistik	24

2.5	Ethikvotum.....	24
3	Ergebnisse	25
3.1	Kinderneurochirurgische Auswertung	25
3.1.1	Inzidenzen der Shuntrevisionen	25
3.1.2	Untersuchung auf typische Infektionswellen	26
3.1.3	Altersspezifische Verteilung	27
3.1.4	Anlass der Shuntrevisionen.....	28
3.1.5	Hinweis auf Infektgeschehen	29
3.2	Allgemeinpädiatrische Auswertung.....	31
3.2.1	Inzidenzen der pädiatrisch-stationären Aufnahmen.....	31
3.2.2	Pädiatrisch-stationäre Aufnahmen nach Hauptdiagnose.....	32
3.2.3	Untersuchung auf typische Infektionswellen	33
3.2.4	Altersspezifische Verteilung der pädiatrisch-stationären Aufnahmen.....	34
3.2.5	Pädiatrisch-stationäre Aufnahmen mit Infekt – Klassifizierung.....	35
3.3	Analyse der Häufigkeitsverteilungen beider Datensätze	36
4	Diskussion.....	37
4.1	Inzidenzen der Shuntrevisionen und pädiatrisch-stationären Aufnahmen.....	37
4.2	Anlass der Shuntrevisionen und Hauptdiagnosen der pädiatrisch-stationären Aufnahmen.....	38
4.3	Typische Infektionswellen	41
4.4	Altersspezifische Verteilung.....	42
5	Zusammenfassung - Schlussfolgerung.....	43
6	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	45
6.1	Tabellenverzeichnis	45
6.2	Abbildungsverzeichnis.....	46
6.3	Literaturverzeichnis	47

1 Einleitung - theoretische Grundlagen und Stand der Wissenschaft

1.1 Kindlicher Hydrozephalus

1.1.1 Epidemiologie

Von kindlichem Hydrozephalus spricht man bei einem Auftreten der Erkrankung bis zum Lebensalter von 18 Jahren.

Laut einer Metaanalyse beträgt die Prävalenz des isolierten kindlichen Hydrozephalus weltweit 71,9/100.000. Regional variiert sie jedoch stark, in Afrika liegt die Prävalenz bei 104,0/100.000, während sie in Nordamerika bei 55,6/100.000 liegt. Wenn man den Spina-bifida assoziierten Hydrozephalus hinzuzählt, steigt die weltweite Prävalenz des kindlichen Hydrozephalus auf 87,8/100.000. [2]

Die gleiche Studie errechnet eine jährliche Inzidenz des isolierten kongenitalen Hydrozephalus weltweit von 49,5/100.000, rechnet man den Spina-bifida assoziierten Hydrozephalus hinzu, so ergibt sich eine Inzidenz von 81,2/100.000. So genannte *high income countries* (77,6/100.000) haben eine signifikant geringere Inzidenz im Vergleich zu *middle* und *low income countries* (105,5/100.000). [2]

Andere Quellen beziffern die Gesamtinzidenz des primären und sekundären kongenitalen Hydrozephalus bzw. des neonatalen Hydrozephalus, je nach Definition der Zeitspanne und der individuellen Ausschlusskriterien, in Industriestaaten auf rund 1-5 Fälle pro 1000 Geburten. [3–5]

Auch zeigen sich weltweit lokale Unterschiede in der Häufung der verschiedenen Hydrozephalus-Klassifikationen. Laut einer 2024 veröffentlichten Meta-Analyse existiert beispielsweise eine signifikant negative Korrelation zwischen dem höheren Anteil der postinfektiösen pädiatrischen Hydrozephalus Fälle und einem verminderten *Human Development Index* der in die Studie inkludierten asiatischen Länder. Laut der Datenlage stellt der postinfektiöse Hydrozephalus im asiatischen Raum in *low income countries* einen höheren Anteil der pädiatrischen Hydrozephalus Fälle als in *high income countries*. [6]

1.1.2 Ätiologie

Der Begriff „Hydrozephalus“ leitet sich aus dem Griechischen ab und setzt sich aus dem Wort „hydōr“ für Wasser und dem Wort „kephalē“ für Kopf zusammen. Der damit verbundene Wortsinn verdeutlicht, dass es sich hierbei um ein Erscheinungsbild handelt, welches multiplen Ätiologien zu Grunde liegen kann.

Die Ätiologie des Hydrozephalus ist multifaktoriell und abhängig von mindestens einer Pathologie in der Liquorproduktion, -zirkulation oder -absorption. Daraus ergibt sich die im frühen 20. Jahrhundert eingeführte klassische Differenzierung nach Dandy und Blackfan, die zwischen der kommunizierenden (Hydrozephalus communicans) und nicht-kommunizierenden Form (Hydrozephalus occlusus) des Hydrozephalus unterscheidet. Bei der kommunizierenden Form handelt es sich zum Beispiel um einen Hydrozephalus malresorptivus oder auch einen postinfektiösen und posthämorrhagischen Hydrozephalus. Die nicht-kommunizierende Form des Hydrozephalus kann beispielsweise durch eine Stenose oder Atresie des Aquäduktus Sylvii bzw. des Foramen Monroi sowie durch Tumore und eine Chiari-Fehlbildung bedingt sein. [7, 8]

Des Weiteren unterscheidet man zwischen der angeborenen und der nicht-angeborenen Form des Hydrozephalus. Der angeborene, sogenannte kongenitale Hydrozephalus liegt bereits um das Ereignis der Geburt vor, spezifizierend wird zwischen primären und sekundären kongenitalen Hydrozephalus unterschieden. Der primäre kongenitale Hydrozephalus liegt bereits bei Geburt vor. Er ist durch angeborene Fehlbildungen bedingt wie durch Fehlbildungen des Gehirns im Falle einer Atresie des Foramen Monroi oder einer kongenitalen Aquäduktstenose, durch Fehlbildungen der Wirbelsäule wie einem Neuralrohrdefekt oder durch Fehlbildungen des kraniozervikalen Übergangs wie bei einer Chiari-Malformation. Der sekundäre kongenitale Hydrozephalus, der oftmals in der Literatur nicht klar abgrenzbar zum neonatalen Hydrozephalus ist, wird durch Geschehnisse in der Fetalperiode verursacht. Hierbei handelt es sich häufig um intrakranielle Hämorrhagien, die entweder bereits intrauterin, häufiger jedoch bei Frühgeborenen in den ersten Lebenstagen beobachtet werden. Auch infektiöse Ursachen führen zu einem intrauterin oder peripartal entstehenden Hydrozephalus. Selten können auch Tumore in der Fetalperiode ursächlich für einen Hydrozephalus sein. [9, 10]

Bei der nicht-angeborenen Form des Hydrozephalus unterscheidet man erneut zwischen einer primären und sekundären Form. Die primäre, sogenannte idiopathische Form liegt dann vor, wenn die Ätiologie unbekannt ist. Wenn die Ursache bekannt ist, handelt es sich um eine sekundäre Form des Hydrozephalus. Anhand der klinischen Dynamik wird darüber hinaus zwischen einem akuten, einem subakuten und einem chronischen Verlauf unterschieden. [8]

1.1.3 Klinische Symptomatologie

Die klinische Manifestation eines Hydrozephalus ist im Wesentlichen abhängig von der Ätiologie, dem Alter der Patienten und der Erkrankungs­historie, beispielsweise ob es sich um eine rezidivierende Symptomatik bei bereits vorhandenem Shuntsystem handelt oder um eine Erstdiagnostik.

Ein typisches Krankheitszeichen für Neugeborene und Kleinkinder bis zum knöchernen Verschluss der Suturen ist die Makrozephalie, die sich durch die Zunahme des Kopfumfanges definiert. Durch die Liquorzirkulations- bzw. -resorptionsstörung erhöht sich der intrakranielle Druck und es kommt zur Erweiterung der Liquorräume, besonders der Ventrikelsysteme. Bei betroffenen Kindern mit einem Lebensalter von bis zu ungefähr 18 Monate zeigen sich klinisch oftmals in der Palpation eine Vorwölbung der Fontanellen, klaffende Schädelnähte und eine extrakranielle Venenzeichnung. Diese Symptome lassen sich oft als Prodromi interpretieren, da die Erweiterung der Liquorräume als eine Art Reservepuffer agiert. Im weiteren Verlauf zeigt sich zusätzlich Trinkunlust, vermehrtes Schlafbedürfnis und Erbrechen sowie eine mit Hyperexzitabilität verbundene Berührungsempfindlichkeit. [5, 11]

Durch die kontinuierliche Steigerung des intrakraniellen Drucks kann es zu Hirnnervenstörungen und Hirnstammläsionszeichen kommen. Bulbusmotilitätsstörungen können zu einem Sonnenuntergangsphänomen führen. Ferner kann es zu vegetativen Dysregulationen wie Atemproblematiken und Vigilanzeintrübungen durch die Druckausübung und somit Kompression der Regulationszentren im Hirnstamm kommen, dies tritt beispielsweise besonders bei Chiari-II-Malformationen auf. [11]

Die Klinik des Hydrozephalus ähnelt bei älteren Kindern besonders in der beginnenden chronischen Form einer typischen Migräne. Anfängliche Symptomatiken wie Kopfschmerzen, Übelkeit, Erbrechen, Licht- und Geräuschempfindlichkeit können im klinischen Verlauf mit zunehmender Drucksteigerung mit Vigilanzminderungen, vegetativen Entgleisungen, dem Ausfall von Hirnstammreflexen bis hin zum Cushing-Reflex und Sehnervkompressionen einhergehen. [5, 11]

Deutlich häufiger bei Erwachsenen als bei älteren Kindern vorzufinden ist die nach ihrem Entdecker, dem kolumbianischen Neurochirurgen Salomon Hakim, benannte Hakim-Trias. Bedingt durch die chronische Hirndrucksteigerung, welche bei den Betroffenen oftmals schon seit frühen Lebensjahren besteht, zeigen sich im Alter typische Symptome wie die motorische Harninkontinenz, reversible Demenz und Gangstörungen. [11, 12]

Der Hydrozephalus im Kindesalter kann Auswirkungen auf die kognitiven Fähigkeiten eines Patienten haben, es können exekutive Funktionen wie die Aufmerksamkeitsfähigkeit und das Arbeitsgedächtnis gestört sein. Darüber hinaus kann es neben Verhaltensauffälligkeiten auch zu visuellen, räumlichen oder auch sprachlichen Störungen kommen. [13]

Anhand einer in Westschweden durchgeführten populationsbasierten Studie wurde der IQ von pädiatrischen Hydrozephalus-Patienten untersucht, die zwischen 1989 und 1993 geboren und während der Testung 5 bis 10 Jahre alt waren. Unabhängig von der Ätiologie und dem Kindesalter bei Erstdiagnose des Hydrozephalus sowie dem Gestationsalter oder der Koexistenz einer Myelomeningozele wurde festgestellt, dass 24 von 73 Kinder einen IQ über 85 hatten, dass 22 von 73 Kinder einen IQ von 70 bis 84 und 27 Kinder einen IQ von unter 70 hatten. Diejenigen 21 Kinder, die vor der 37. Gestationswoche geboren wurden, hatten einen durchschnittlichen IQ von 68, die restlichen hingegen einen IQ von 76. Einen IQ von durchschnittlich 57 hatten diejenigen 9 Kinder, die vor der 37. Gestationswoche geboren wurden und bei denen ein posthämorrhagischer Hydrozephalus diagnostiziert wurde. [14]

1.2 Shuntsystem-basierte Therapie des kindlichen Hydrozephalus

Das Ziel einer Hydrozephalus-Therapie ist stets, den intrakraniellen Druck und die damit verbundenen Komplikationen zu minimieren. Neben einem vorübergehenden medikamentösen Therapieversuch vor einer definitiven Shuntanlage kann alternativ eine Elektrokoagulation des Plexus choroideus die Liquorproduktion verringern. Da Liquor jedoch auch durch das Kapillarsystem des Hirnparenchyms produziert wird, ist in den meisten Fällen durch diese Maßnahmen keine hinreichende Hydrozephalusbehandlung möglich. [15]

Daher bleibt nur die Möglichkeit, den notwendigen Liquorabfluss erneut herzustellen. Dies kann temporär entweder durch eine kontinuierliche externe Drainage wie eine Ventrikel- und Lumbaldrainage oder durch eine intermittierende externe Drainage über ein Punktionsreservoir erfolgen. Notfallmäßig kann auch eine Lumbalpunktion als sofortige Maßnahme erfolgen, wohingegen die Aquäduktoplastie und Zisternostomie, beides endoskopische Verfahren zur Wiederherstellung der Liquorwege, sowie die Platzierung eines Shuntsystems als langfristige Therapieversuche zu verstehen sind. Stand heute gilt die Anlage eines Shuntsystems als Goldstandard in der Therapie eines Hydrozephalus. [8]

1.2.1 Die Liquorshuntsysteme und ihre Funktionsweisen

Ein Shuntsystem besteht in der Regel aus drei Komponenten: dem zentralen und dem peripheren Katheter, dem zwischengeschalteten Ventilkörper. Der ventrikuloperitoneale Shunt (VPS) ist das am häufigsten verwendete Kathetersystem. [8]

Der Ventrikelkatheter versteht sich hierbei als zentraler Katheter, der Liquor über den peripheren Katheter in die Peritonealhöhle leitet. Deutlich seltener verwendet wird der ventrikuloatriale Shunt (VAS), bei dem der periphere Katheter den Liquor in das Atrium cordis dextrum ableitet. In der Regel wird ein VAS nur bei starken intraabdominellen Adhäsionen dem VPS vorgezogen, beispielsweise bei Patienten mit Z.n. multiplen Voroperationen. Weitere Gründe einer VAS-Implantation sind peritoneale Resorptionsstörungen, Infektionen, bekannte Zystenbildungen oder bereits mehrfache Revisionen eines VPS. [8, 16]

In sehr seltenen Fällen kann intrakraniell zum Beispiel auf Grund anatomischer Gegebenheiten kein Shunt gelegt werden, dann stellt der im Subarachnoidalraum des Rückenmarks einliegende lumboperitoneale Shunt eine mögliche Alternative dar. Außer der Peritonealhöhle und dem Atrium cordis dextrum stehen für die periphere Liquorableitung beispielsweise der Pleuraspalt, die Gallenblase oder auch die Ureter zur Verfügung. [8]

Eine adäquate Drainage des Liquors mittels eines Shuntsystems ist fundamental vom verwendeten Ventilsystem und der Einstellung des Ventilsystems abhängig. Die Drainage des Liquors im Allgemeinen wird durch verschiedene Druckverhältnisse beeinflusst.

Der Liquorperusionsdruck wird bei einem VPS im Wesentlichen durch den intrakraniellen (ICP) sowie den intraperitonealen Druck (IPP) beeinflusst. Ebenfalls wird der Liquordruck durch den hydrostatischen Druck (HP) beeinflusst, welcher sich aus der Höhendifferenz zwischen dem Produktions- und dem Ableitungsort des Liquors ergibt. Bei einer liegenden Person ist der intrakranielle Liquordruck am höchsten, während er bei einer stehenden Person bis auf negative Werte abfallen kann. Je nach Körperpositionierung verändert sich somit der hydrostatische Druck. Bei einem liegenden Shuntsystem kann bei aufrechter Position die Höhendifferenz zum Ableitort aufgrund der hängenden Wassersäule zu einem Sogeffekt und somit zu einem übermäßigen Liquorabfluß führen. Das Ausmaß ist im Falle einer peritonealen Ableitung von dem jeweiligen intraperitonealen Druck abhängig. Vom verwendeten Ventilsystem individuell abhängig wird der Liquorperusionsdruck auch durch den jeweiligen Ventilöffnungsdruck (OP) beeinflusst. Resümierend besteht folgende Abhängigkeit:
$$\text{Liquorperusionsdruck} = \text{ICP} + \text{HP} - (\text{IPP} + \text{OP})$$

Um eine adäquate Drainage des Liquors bei wechselnden Körperpositionierung des Patienten zu ermöglichen, muss sich der Öffnungsdruck des Ventils optimalerweise dem wechselnden hydrostatischen Druck anpassen. [17, 18]

Mittlerweile wurden bereits über 300 verschiedene Ventilsysteme entwickelt. Mechanisch unterscheidet man unter den folgenden Gängigsten: Kugel-Konus-, Kugel-Feder, Membran- und Schlitzventile. Die meisten Ventilsysteme steuern die Liquordrainage über den Öffnungsdruck. Alternativ gibt es auch flussregulierte Ventile. Die über den Öffnungsdruck regulierten Systeme werden Differentialdruckventile genannt. Nahezu alle Ventilsysteme führen zu einer unphysiologischen Liquorüberdrainage, so dass der zusätzliche Einsatz einer Antisiphon- oder Gravitationseinheit empfohlen wird, die dem übermäßigen Liquorabfluß in aufrechter Position entgegenwirkt. [5, 19]

Zusätzlich sollte ventilnah eine Art Kammerreservoir verbaut werden, welche zum Beispiel einer Liquordiagnostik bei einem Verdacht auf eine Shuntinfektion dient und auch im Einzelfall durch Betätigung der Druckfunktion des Reservoirs Rückschlüsse auf die Shuntfunktion zulässt. [5]

1.2.2 Operative Implantation

Die Shuntimplantation setzt eine rechtfertigende Indikation, Aufklärungsgespräche mit dem Kind und den Erziehungsberechtigten sowie ein Anästhesiekonsil voraus. Um prä- und postoperativ den neurologischen Status, insbesondere den Bewusstseinsstatus, zu bestimmen, wird beispielweise die *Glasgow Coma Scale* benutzt. [20]

Im unkomplizierten Fall dauert der Eingriff etwa eine Stunde und wird in Intubationsnarkose durchgeführt. Nach dem gewohnten *Team-Time-Out* wird mittels adäquater Rückenlagerung, bei der der Kopf entweder links oder rechts zur Seite rotiert wird, das operative *Setting* vorbereitet. In der Regel wird der zentrale Shuntkatheter in das rechte Vorderhorn gelegt, somit muss der Kopf nach links rotiert werden.

Das weitere typische Operationsverfahren wird folgend anhand eines OP-Berichts einer Patientin mit Makrozephalus, intra-/extra-cerebralem Hydrozephalus und Z.n. Hirndruckmessung bei typischem Druckprofil geschildert:

„[...] Bei der in Rückenlage mit Kopfwendung nach links befindlichen Patientin wird nach Hautdesinfektion und steriler Abdeckung rechts präcoronar parasagittal ein bogenförmiger Hautschnitt gesetzt. Nach Einsetzen eines Sperrers erfolgt eine Bohrlochtrepanation. Eine weitere links paraumbilical gelegene Hauteröffnung sowie Entlastungsschnitte infraklavikulär rechts sowie retroauriculär rechts werden ebenfalls gesetzt. Danach wird die Peritonealhöhle in Wechselschnitttechnik eröffnet und ein proGAV 2.0 (+ 12 + 25 cm) Ventil mit angeflanschem peripheren Katheter von rechts frontal nach abdominal subkutan getunnelt. Nachfolgend geschieht die Eröffnung der Dura mittels Bipolarpinzette und die anschließende Punktion des rechten Vorderhornes durch den zentralen Katheter, der 6 cm nach intraventrikulär vorgeschoben und über einen Umlenker ausgeleitet wird. Anschließend erfolgt die Konnektion des zentralen Katheters mit dem Rest des Ventilsystems. Nach Positionierung und abschließender Funktionskontrolle des gesamten Systems wird der periphere Katheter in die Peritonealhöhle eingelegt. Abschließend geschieht ein jeweils schichtweiser Wundverschluss mit Intracutannähten, Steristrips und die sterile Abdeckung. [...]“ [21]

1.3 Komplikationen der Shuntsystem-basierten Therapie

Wie schon in 1.2 aufgezeigt, ist die Shuntsystem-basierte Therapie der Goldstandard in der Behandlung eines pädiatrischen Hydrozephalus. Die stetige Entwicklung und Erforschung neuer Shuntsysteme, insbesondere Ventiltechniken lässt dabei auf eine immer geringere Rate an Komplikationen in Zukunft hoffen.

In einer 2013 veröffentlichten retrospektiven Studie werden 64 Patienten identifiziert, die zwischen Januar 1990 und November 1996 bei pädiatrischem Hydrozephalus eine VPS-Anlage in der Universitätsklinik Rochester erhielten. Um die Anzahl und die Ursachen an Revisionsraten langfristig abbilden zu können schließt die Studie nur Patienten ein, deren Revisionshistorie über weitere 15 Jahre nach der primären Implantation vorliegt. Durchschnittlich kam es nach ungefähr 2 Jahren zur ersten Shuntrevision (Median: 12 Monate). 10 Jahre nach der primären Shuntimplantation hatten nur 12,5% der Patienten noch keine Shuntrevision. Von den 234 Shuntrevisionen, die insgesamt durchgeführt wurden, hatten 51% eine Okklusion als Ursache, wobei die proximale Katheterokklusion mit 27% am häufigsten auftrat. Der Anteil der Shuntinfektionen als Grund der Revision lag bei 9%. Ein Shuntversagen, inklusive Diskonnektion, Abriss und Dislokation lag in 21% der Fälle vor. In 18% der Fälle wurden sonstige Ursachen gefunden, inklusive von 2% funktionellen Unterdrainagen. [22]

In einer 2017 veröffentlichten retrospektiven, populationsbasierten Studie werden 80 Patienten identifiziert, die im Jahr 2013 in der Universitätsklinik von Kuopio, Finnland, eine primäre Shuntimplantation sekundär zu einem Hydrozephalus im Alter von unter 16 Jahren erhielten. Während einer durchschnittlichen Nachbeobachtungszeit von 3,3 Jahren kam es bei 51% der Patienten zu einer Shuntrevision. Als häufigste Ursache für die Shuntrevisionen wurden Unterdrainagen (51%), gefolgt von Überdrainagen (24,4%) beschrieben. Infektionen (12,2%) und unspezifische Ursachen (4,8%) wurden seltener diagnostiziert. Die Durchschnittsdauer zwischen primärer Implantation und Revision lag bei 8,11 Monaten. [23]

1.3.1 Überdrainage

Bei einer Überdrainage wird überproportional viel Liquor durch den Shunt abgeleitet. Es wird mehr Liquor abgeleitet als produziert und somit entsteht ein intrakranieller Unterdruck. Die Ursache für das Phänomen ist die fehlerhafte oder mangelnde Adaption des Shuntventilsystems bei sich veränderndem Liquorperusionsdruck.

Neben Kopfschmerzen, die im Liegen abnehmen und im Stehen zunehmen, können auch Nacken- und Rückenschmerzen sowie Übelkeit und Erbrechen, Müdigkeit und Gleichgewichtsstörungen als Symptome bei einer Überdrainage auftreten. [24]

Durch den intrakraniellen Unterdruck entsteht ein Sog, der ggf. zu einer Verengung des Ventrikelsystems und somit zu dem sogenannten Schlitz-Ventrikel-Syndrom (SVS) führen kann. Hierbei kommt es zu einer temporären Okklusion des Ventrikelkatheters durch Gewebe und damit zu einem kurzzeitigen Anstieg des intrakraniellen Drucks. Dieses Phänomen kann asymptomatisch verlaufen oder auch mit einer akuten Unterdrainage-Symptomatik verbunden sein. Ferner birgt das SVS die Gefahr einer irreversiblen Okklusionssituation, wodurch sich aus einer Überdrainage eine Unterdrainage entwickeln kann. Die mögliche Entstehung einer Aquäduktstenose oder einer Foramen-Monroi-Blockade durch eine Überdrainage kann den gleichen klinischen Verlauf verursachen und einen zuvor kommunizierenden Hydrozephalus in einen nicht-kommunizierenden Hydrozephalus infolge von isolierten Ventrikelräumen umwandeln. Des Weiteren können vornehmlich bei chronischen Überdrainagen subdurale Ergüsse und Hämatome sowie Kraniosynostosen, Hyperostosen und Deformierungen des Schädelknochens auftreten. [18, 24]

Auch wenn hierzu keine publizierten Daten vorliegen, so werden als weitere Ursachen für eine Überdrainage gehäufte intermittierende intrakranielle Drucksteigerungen, wie sie bei Pressen oder Husten auftreten können, diskutiert. Eine Infekt-bedingte Exsikkose, wie sie insbesondere bei Säuglingen und Kleinkindern beobachtet wird, kann bei Shunt-versorgten Kindern ebenfalls zu Überdrainagesymptomen führen, die sich durch eine intravenöse Flüssigkeitssubstitution oftmals rasch bessern.

1.3.2 Unterdrainage

Bei einer Unterdrainage wird unterproportional wenig Liquor durch den Shunt abgeleitet und somit weniger Liquor abgeführt als produziert mit der Folge eines intrakraniellen Überdrucks. Die Ursache hierfür kann zum Beispiel eine Obstruktion im Verlauf des Shuntsystems sein, diese ist vor allem im Ventrikelkatheter vorzufinden, verursacht beispielsweise durch Einwachsen von Anteilen des Plexus choroideus oder Verlegung durch Blut, Eiweiß- und

Gewebepartikel. Auch eine intra- sowie postoperative Dislokation oder Diskonnektion des Shuntsystems kann zu einer Unterdrainage führen. Fehlerhafte Ventileinstellungen oder zumeist erst nach Jahren auftretender Materialverschleiß sind gleichermaßen mögliche Ursachen. Erhöhte Druckverhältnisse im proximalen Shuntsystem etwa durch eine Obliteration des Ventilkörpers oder einen erhöhten intraperitonealen Druck sowie Verwachsungen im Bauchraum können ebenfalls zu einer Unterdrainage führen. [25]

1.3.3 Shuntinfektionen

Mit der Implantation von Fremdmaterial geht immer das Risiko einer Infektion einher. Um Infektionsraten zu minimieren, sollten präoperativ eine adäquate Antibiose verabreicht und ggf. Antibiotika-imprägnierte Kathetersysteme verwendet werden. [26]

Oftmals liegen Shuntinfektionen Hautorganismen (Saprophyten) zugrunde, die bereits während der Implantation das Shuntsystem kontaminieren und im Verlauf zu einer typischen Klinik führen. Wundheilungsstörungen können zugleich Ursache und Komplikation einer Shuntinfektion sein. Hauptverursacher für Shuntinfektionen sind Staphylokokken in 50-80% der Fälle, gefolgt von gram-negativen Bakterien und Streptokokken. Hierzulande handelt es sich zumeist um niedrigpathogene Koagulase-negative Staphylokokken, wie z.B. *Staphylococcus epidermidis*, die dann das typische Bild einer Endoplastitis hervorrufen. Eine antibiotische Therapie ist hierbei unwirksam, weshalb stets eine Explantation des Ventilsystems notwendig wird. Seltener können beispielsweise auch *Haemophilus influenzae*, *Neisseria meningitidis* und *Listeria monocytogenes* zu Shuntinfektionen führen. Weitere Ursachen könnten eine Meningitis, Appendizitis, Darmruptur, abdominale Operation oder ein Trauma sein. [27, 28]

Klinisch präsentieren sich Shuntinfektionen sehr unterschiedlich. Typische Infektzeichen wie Fieber, Schüttelfrost, Abgeschlagenheit können zunächst absent sein. Eine Shuntinfektion kann zu einer Dysfunktionalität des Shuntsystems und somit initial auch nur zu typischen Unterdrainage-Symptomaten führen. Ursächlich ist hier eine zunehmende Verstopfung infolge der entzündungsbedingten Liquorproteinerhöhung. Bei Patienten mit Shuntsystemen muss bei einer Bakteriämie, einem akuten Abdomen oder neurologischen Ausfällen stets eine Shuntinfektion als Komplikation verhindert sowie als Ursache ausgeschlossen werden. [27]

In einer 2006 veröffentlichten, retrospektiven Studie wurden die klinischen Verläufe von 1163 Patienten, die eine pädiatrische Hydrozephalus-Shuntimplantation im Zeitraum von 1985 bis 2004 erhielten, für durchschnittlich 7 weitere Jahre nach Implantation analysiert. Die Rate der Patienten mit einer Shuntinfektion lag bei circa 13,6% und die Rate einer Shuntinfektion je Prozedur bei 5,9%. Circa 60,8% der Shuntinfektionen traten innerhalb des ersten Monats nach der Implantation oder der letzten Revision auf. [28]

1.4 COVID-19 Pandemie

1.4.1 Einfluss auf generelle Infektionsgeschehnisse

Eine am 12.02.2021 vom Robert Koch-Institut veröffentlichte Publikation vergleicht Inzidenzen meldepflichtiger Infektionserkrankungen vor und während der COVID-19 Pandemie. Laut dieser Publikation sind die Inzidenzen bei 31 der 32 betrachteten Infektionserkrankungen zwischen März und August 2020 gegenüber den Vergleichszeiträumen in 2016 bis 2019 gesunken. Insgesamt kam es im COVID-19 Zeitraum zu einem Rückgang der Infektionserkrankungen um 35% im Vergleich zu den erwarteten Fallzahlen. Besonders stark rückläufig waren Masern-Inzidenzen (-85,5%), als einziges zugenommen haben hingegen die FSME-Inzidenzen (57,7%). Die Norovirus- (-78,7%) und Rotavirus-Gastroenteritis-Inzidenzen (-83,3%) sowie die saisonale Influenza- (-54,4%) und MRSA-Inzidenzen (-28%) nahmen während des COVID-19 Zeitraum stark ab. Ein Rückgang von Infektionen wurde über alle Altersgruppen hinweg festgestellt, besonders niedrig gegenüber den zu erwartenden Infektionswerten zeigten sich jedoch die Inzidenzen der 0 bis 4-Jährigen (-57%) und der 5 bis 14-Jährigen (-45%) im COVID-19 Zeitraum. Ein kausaler Zusammenhang zwischen dem veränderten Infektionsgeschehen und den Maßnahmen wie Kontaktbeschränkungen, Hygienekonzepten, Maskenregelungen sowie Schul- und Kitaschließungen kann durch die Publikation nicht hergestellt werden. Die Autoren vermuten dennoch einen Zusammenhang. [29]

Gemäß einer Studie basierend auf Daten der Kassenärztlichen Bundesvereinigung sind während des ersten COVID-19-Lockdowns im 2. Quartal 2020 die Behandlungsfälle von Kindern in ambulanten Arztpraxen im Vergleich zum Jahr davor um bis zu 20 Prozent zurückgegangen. Dabei wurden bei ein- bis zwölfjährigen Kindern vor allem deutlich weniger körperliche Erkrankungen wie Infektionen diagnostiziert. Mit über 50 Prozent war der Rückgang bei jungen Kindern im Kinderkrippenalter von ein bis zwei Jahren bzw. Kindergartenalter von drei bis fünf Jahren am größten. Die Autoren der Studie ziehen in Betracht, dass aufgrund der Kontaktbeschränkungen bzw. geschlossener Kitas und Schulen tatsächlich weniger Kinder krank waren. Sie halten es aber auch für möglich, dass Eltern Ansteckungsrisiken meiden wollten und daher mit ihren Kindern weniger oft in eine Arztpraxis gingen. Konträr hierzu konnte bei keiner der Altersgruppen ein deutlicher Rückgang in den chronischen Erkrankungen Diabetes und Zöliakie aufgezeigt werden. Somit müssen laut den Autoren zumindest Eltern von chronisch kranken Kindern trotz Pandemie weiterhin stetig Ärzte aufgesucht haben. [30]

Eine am 06.01.2021 veröffentlichte niederländische Publikation berichtet über einen signifikanten Rückgang typischer, durch Impfung vermeidbarer viraler Tröpfcheninfektionen wie Mumps (-97%) und Keuchhusten (-77%) sowie invasiver Meningokokken- (-75%) und

Pneumokokken-Infektionen (-82%) im 2. Quartal 2020 verglichen zum 2. Quartal 2019. Das 2. Quartal 2020 bildet hier einen Zeitraum in der COVID-19 Pandemie ab, in dem laut der Publikation bereits COVID-19 Maßnahmen in den Niederlanden implementiert wurden. Als mögliche Ursachen für das veränderte Infektionsgeschehen werden Kontaktbeschränkungen wie Schulschließungen und ein verändertes Verhalten bei der Suche nach medizinischer Versorgung, bei Testverfahren, zu geringe Diagnosekapazitäten und verzögerte Meldeprozesse diskutiert. [31]

In einer globalen Meta-Studie werden die Fallzahlen von invasiven Erkrankungen durch *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae*, *Neisseria meningitidis* und *Streptococcus agalactiae* für den Zeitraum vom 01.01.2018 bis 31.05.2020 ausgewertet und es wird der Zeitraum 2020 mit Daten aus 2018 und 2019 verglichen. Hierbei wurde ein signifikanter Rückgang der Fallzahlen bei Erkrankungen durch *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae* und *Neisseria meningitidis* für den Zeitraum der COVID-19 Pandemie festgestellt. Im Gegensatz zu den Erregern, die typischerweise durch eine Tröpfcheninfektion übertragen werden, konnte bei den Fallzahlen der Erkrankungen durch *Streptococcus agalactiae* kein signifikanter Unterschied identifiziert werden. Ein Zusammenhang mit den COVID-19 Maßnahmen wurde im Rahmen der Publikation ebenfalls für das beobachtete Phänomen diskutiert. [32]

In einer Dezember 2021 veröffentlichten Studie berichtet M. H. Favoretto von einer starken Inzidenzabnahme bei Patienten mit akuter Otitis media während der COVID-19 Pandemie. Die Studie umfasst insgesamt 2090 Patienten unter 12 Jahren, die in einem öffentlichen Krankenhaus in Sao Paulo, Brasilien in zwei gleichlangen Vergleichszeiträumen mit einer akuten Otitis Media diagnostiziert wurden. Hierbei beträgt die Inzidenz von akuter Otitis Media, die oft mit einer Infektion der oberen Atemwege koexistiert, während des Zeitraums der Isolationsmaßnahmen im Rahmen der COVID-19 Pandemie nur rund 14,5% der Inzidenz des präpandemischen Vergleichszeitraums. Gleichzeitig halbierte sich die Anzahl der vorstelligen Patienten in der HNO-Notaufnahme und die Fallzahlen der Pädiatrie reduzierten sich auf 40% des Niveaus im präpandemischen Zeitraum. [33]

1.4.2 Einfluss auf die Anzahl der Shuntrevisionen

N. Laxpati, J. J. Chern et al. von der *Emory University School of Medicine* in Atlanta, Georgia, USA untersuchten den Einfluss der COVID-19 Pandemie auf die Anzahl der Shuntrevisionen. Im Rahmen ihrer 2021 veröffentlichten Studie beobachteten sie über einen definierten Zeitraum von 28 Tagen die Anzahl von pädiatrischen Shuntoperationen, die während der getroffenen *Public-Health*-Maßnahmen erfolgten und verglichen sie mit der Anzahl von Shuntoperationen in den entsprechenden Zeiträumen der Jahre 2015 bis 2019. Die Autoren berichten, dass im Jahr 2020 die absolute Anzahl der insgesamt durchgeführten Shuntoperationen in dem betrachteten Zeitraum im Vergleich zu den Vorjahren signifikant abgenommen hat und sich gleichzeitig dabei der Anteil der als dringlich eingestuften Fälle mit etwa 50% kaum veränderte. Bezüglich der Art des Eingriffs stellten die Autoren fest, dass der Anteil an neu eingesetzten Shunts, beispielsweise bei Erstdiagnose eines Hydrozephalus und der Anteil an entfernten Shunts, beispielsweise aufgrund einer Shuntinfektion weitgehend unverändert blieben. Im Gegensatz dazu ging die Anzahl der Shuntrevisionen zur Inspektion und dem Austausch von Shuntsystemanteilen gegenüber den Vorjahren 2018 und 2019 statistisch signifikant zurück. Folglich wird diskutiert, dass die geringere Rate an Shuntfehlfunktionen während der COVID-19 Pandemie möglicherweise mit den *Public-Health*-Maßnahmen zusammenhängt. Gleichzeitig ziehen die Autoren auch eine statistische Anomalie der Daten in Betracht. [34]

Bezugnehmend auf diese Publikation veröffentlichten C. Soon et al. eine *Correspondence*, in der eine verminderte Gesamtzahl der operativen Eingriffe im *Department of Neurosurgery - Birmingham Children's Hospital* im Jahr 2020 gegenüber den Vorjahren 2018 und 2019 beschrieben wird. Als Ursache führen die Autoren eine Umverteilung von Personal in andere kritische Bereiche des Gesundheitssystems während der COVID-19 Pandemie an. Die Gesamtanzahl der Shunt assoziierten Eingriffe – ohne Berücksichtigung der *ventricular access devices* - ist laut der Autoren in ihrer Klinik fast unverändert geblieben. Im Vergleich zu 44 und 43 Shuntrevisionen in den Vorjahren 2018 und 2019 war die Anzahl der Shuntrevisionen während des Jahres 2020 mit 54 sogar insgesamt am höchsten. Eine dezidierte Betrachtung, inwieweit sich die Anzahl der Shuntrevisionen im Rahmen der erst im Laufe des Jahres 2020 ausgerufenen COVID-19 Pandemie veränderte, erfolgte nicht. [35]

Eine neuere *Correspondence* der Autoren N. Laxpati & J. J. Chern im Juni 2021 ergänzt die ursprüngliche Publikation durch Ergebnisse aus einem weiteren Untersuchungszeitraum im Jahr 2021. Aufgrund ähnlicher Fallzahlen wie in den präpandemischen Untersuchungszeiträumen wird nun eine statistische Anomalie der Fallzahlen von 2020 vermutet. Ferner stiegen die Fallzahlen in den Monaten nach dem initialen 28-tägigen Zeitraum im Jahr 2020 langsam und stetig auf präpandemische Verhältnisse. Die Autoren vermuten aufgrund der neuen Erkenntnisse umso mehr einen Zusammenhang zwischen der beobachteten verminderten

Anzahl an Shuntrevision und einer aufgrund von politischen Regulierungen und *Public-Health*-Maßnahmen geringeren Bereitschaft der Patienten bzw. deren Eltern zur klinischen Vorstellung. [36]

In einer retrospektiven case-control Studie, publiziert von David R. Hallan et al. 2022, werden das Risiko einer Shuntrevision innerhalb von 90 Tagen sowie die Mortalitäts- und die verschiedensten Komplikationsraten von COVID-19 erkrankten Shunt-Patienten (Kohorte 1) untersucht und mit nicht COVID-19 erkrankten Shunt-Patienten (Kohorte 2) verglichen. Nach einem *propensity score matching* der Datensätze ergibt sich bei einem Durchschnittsalter von circa 38,5 Lebensjahren eine Shuntrevisionsrate von 7,869% für die Kohorte 1 und 1,698% für die Kohorte 2. Das hat ein fast fünffach erhöhtes Risiko einer Shuntrevision bei COVID-19 infizierten Shuntpatienten zur Folge. Des Weiteren wurde für die Kohorte 1 und 2 jeweils eine Mortalitätsrate von 4,642% bzw. 2,113%, eine Hospitalisierungsrate von 27,72% bzw. 10,303% sowie eine Einweisungsrate auf die Intensivstation von 11,567% bzw. 3,463% ermittelt. [37]

1.5 Fragestellung und Ziele der Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Frage zu klären, ob es im Rahmen der COVID-19 Pandemie zu einer geringeren Anzahl an Shuntrevisionen gekommen ist.

Der Arbeit liegt dabei die Hypothese zugrunde, dass die generell beobachtete verminderte Inzidenz der pädiatrischen Infektionserkrankungen auch zu einer signifikanten Verminderung der infektassoziierten Shuntrevisionen bei kindlichem Hydrozephalus führte und dass diese einen erheblichen Teil der Shuntrevisionen ausmachen.

Eine grundlegende Ursachenanalyse der Shuntrevisionen bei kindlichem Hydrozephalus vor und während der COVID-19 Pandemie soll darüber hinaus Aufschluss über die Gründe einer möglichen Abweichung geben.

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Die vorliegende Arbeit beruht auf einer klinisch-retrospektiven Kohortenstudie. Dieser Studie liegt ein kinderneurochirurgischer und ein allgemeinpädiatrischer Datensatz zugrunde. Die Datensätze werden zunächst voneinander getrennt statistisch untersucht, anschließend werden beide Datensätze in der Weise verglichen, dass die jeweiligen Häufigkeitsverteilungen mittels eines Chi²-Anpassungstests auf eine signifikante Abweichung überprüft werden. Es werden vier 12-monatige Untersuchungszeiträume betrachtet. Dabei handelt es sich um die Vergleichszeiträume: 01.04.2017-30.03.2018 (V1) / 01.04.2018-30.03.2019 (V2) / 01.04.2019-30.03.2020 (V3) und den eigentlichen Studienzeitraum: 01.04.2020-30.03.2021 (S). Die Vergleichszeiträume beschränken sich auf eine Zeitspanne vor der COVID-19 Pandemie, wohingegen der Studienzeitraum eine Zeitspanne während der COVID-19 Pandemie abbildet.

2.2 Patientenkollektiv

Die Arbeit umfasst zwei Datensätze, einen kinderneurochirurgischen Datensatz auf Basis eines Kollektivs von 318 Fällen und einen allgemeinpädiatrischen Datensatz mit 13919 Fällen.

Das Durchschnittsalter der Patienten der 318 kinderneurochirurgischen Fälle beträgt 76,29 Monate, der Altersmedian beträgt 60,47 Monate. Der jüngste Patient ist 0,8 Monate alt, der älteste Patient 215,93 Monate alt. In 170 Fällen ist das Geschlecht der Patienten männlich und in 148 Fällen weiblich.

Im Falle des allgemeinpädiatrischen Datensatzes liegen keine Angaben zur Geschlechter- und Altersverteilung der Patienten vor.

2.2.1 Einschlusskriterien

Der allgemeinpädiatrische Datensatz umfasst diejenigen Patientenfälle, die in den jeweiligen Untersuchungszeiträumen in der Asklepios Kinderklinik Sankt Augustin allgemeinpädiatrisch oder onkologisch stationär aufgenommen wurden.

Patienten, die mehrmals innerhalb ein und desselben Untersuchungszeitraums oder mehrmals in verschiedenen Untersuchungszeiträumen stationär aufgenommen wurden, sind auch mehrmals im allgemeinpädiatrischen Datensatz erfasst.

Der kinderneurochirurgische Datensatz hingegen umfasst alle klinischen Fälle, bei denen ein Hydrozephalus-diagnostizierter Patient einer operativen Shuntrevision in der Kinderneurochirurgie der Asklepios Kinderklinik Sankt Augustin unterzogen wurde.

Patienten, die mehrmals innerhalb ein und desselben Untersuchungszeitraums oder mehrmals in verschiedenen Untersuchungszeiträumen eine operative Shuntrevision erfahren haben, sind auch mehrmals im kinderneurochirurgischen Datensatz erfasst.

Bei beiden Datensätzen ist ein weiteres Einschlusskriterium das Lebensalter von unter 18 Jahren zum Zeitpunkt der stationären Aufnahme bzw. der operativen Shuntrevision.

2.2.2 Ausschlusskriterien

Das Datum der primären Shuntimplantation oder der letzten Shuntrevision vor dem Studienzeitraum stellt als Alleinstellungsmerkmal kein Ausschlusskriterium dar. Ebenfalls wird kein gängiges Hydrozephalus-Kathetersystem spezifisch von der Erfassung ausgeschlossen. Somit handelt es sich bei den erfassten Fällen um ventrikulo-peritoneale oder ventrikulo-atriale Kathetersysteme.

Nicht erfasst im kinderneurochirurgischen Datensatz sind alle klinischen Fälle, bei denen eine primäre Shuntimplantation vorgenommen wurde, da es sich hierbei per Definition nicht um eine Shuntrevision handelt. Ebenfalls werden Patientenfälle, bei denen mehrere operative Eingriffe für die gleiche Indikation innerhalb kurzer Zeit benötigt wurden, als ein klinischer Fall gewertet, insofern diese als Komplikationskette zu werten sind. Im Fall einer Shuntinfektion wird die Explantation des Shuntsystems, die vorübergehende Implantation einer externen Ventrikeldrainage sowie die Explantation dieser und die Reimplantation eines Shuntsystems als ein einziger Fall betrachtet.

Sonstige Patienten, die kinderneurochirurgisch oder kinderchirurgisch aufgenommen wurden, sind nicht im allgemeinpädiatrischen Datensatz berücksichtigt.

2.3 Datenerfassung

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit betrachteten allgemeinpädiatrischen Datensätze beruhen auf einer Recherche von Herrn Dr. Herrmann, Oberarzt der Abteilung Kinder- und Jugendmedizin, Asklepios Kinderklinik Sankt Augustin (Direktor: Prof. Dr. G. Horneff), in einer klinikinternen Microsoft-Excel-Datenbank.

Die kinderneurochirurgischen Daten wurden im Zeitraum vom 01.09.2021 bis 31.09.2021 in der Asklepios Kinderklinik Sankt Augustin erhoben.

Die relevanten Parameter werden mit Hilfe des Patientenmanagement-Systems „Orbis SAG@KHV (Version - 08043902.00020, 2022, © DH Healthcare GmbH, Bonn)“ der Asklepios Kinderklinik Sankt Augustin ermittelt und sind im Abschnitt 2.3.1 im Einzelnen aufgeführt. Für die Erhebung der unter Abschnitt 2.3.1 genannten Laborparameter wird die Programm-Erweiterung „H&S (Version 02.28.02-00, 2015, © H&S LaborSoftware GmbH, Rüsselsheim)“ genutzt.

Die Patientendaten werden anschließend unter Verwendung von Microsoft Excel 2019 anonymisiert in eine neue Datenbank übertragen.

2.3.1 Erhobene Parameter

Der allgemeinpädiatrische Datensatz umfasst die nachfolgend gelisteten Parameter:

- Geschlecht
- Datum der stationären Aufnahme
- Alter zum Zeitpunkt der stationären Aufnahme (Einteilung in vordefinierte Altersklassen, siehe Tabelle 2 in 2.3.2)
- Hauptdiagnose zum Zeitpunkt der stationären Aufnahme (nach ICD10, siehe 2.3.3 sowie Tabelle 3)

Der kinderneurochirurgische Datensatz beinhaltet die nachfolgend gelisteten Parameter:

Allgemeine Patientendaten:

- Geschlecht
- Alter zum Zeitpunkt der Shuntrevision (Einteilung in vordefinierte Altersklassen, siehe Tabelle 2 in 2.3.2)
- Ätiologie des Hydrozephalus (Einteilung in vordefinierten Kategorien, siehe Tabelle 4 in 2.3.4)
- Datum der primären Shuntimplantation

- Datum der Shuntrevision

Weitere Informationen zu der Shuntrevision:

- Indikation der Shuntrevision (Einteilung in vordefinierte Kategorien, siehe Tabelle 5 in 2.3.4)
- Hinweis auf ein Infektgeschehen (Einteilung in vordefinierte Kategorien, siehe Tabelle 6 in 2.3.4)
- Bei einem Hinweis auf eine Shuntrevision infolge einer systemischen Infektion (spezifizierte Einteilung in vordefinierte Kategorien, siehe Tabelle 7 in 2.3.4)

Laborparameter:

- Liquor-Laborchemie
 - Glukose-Konzentration (physiologisch / pathologisch: > 85 mg/dl)
 - Eiweiß-Konzentration (physiologisch / pathologisch: > 45 mg/dl)
 - Lactat-Konzentration (physiologisch / pathologisch: ≥ 20 mg/dl)
 - Leukozyten-Zellzahl bei Säuglingen (physiologisch / pathologisch: $\geq 15/\mu\text{L}$) und Nicht-Säuglingen (physiologisch / pathologisch: $\geq 5/\mu\text{L}$)
- Mikrobiologische Kulturergebnisse (Erregernachweise), die im Laufe der jeweiligen Aufenthaltsperiode im Rahmen der Shuntrevision erhoben wurden:
 - Liquor
 - Shuntkathetersysteme
 - Wundabstriche
 - Blut
 - Körper-Abstriche
- CRP (physiologisch / pathologisch: ≥ 15 mg/l)
- Leukozyten-Werte (physiologisch / pathologisch: $\geq 15/\mu\text{L}$)

2.3.2 Allgemeine Klassifizierungen der klinischen Fälle

Um die statistische Auswertung vorzubereiten, werden die Patienten der klinisch erfassten Fälle unterschiedlichen Untersuchungszeiträumen zugeordnet. Es wird wie schon erwähnt zwischen den in der nachfolgenden Tabelle spezifizierten vier Untersuchungszeiträumen unterschieden.

Untersuchungszeiträume	Eckpunkte
Vergleichszeitraum 1	01.04.2017 - 30.03.2018
Vergleichszeitraum 2	01.04.2018 - 30.03.2019
Vergleichszeitraum 3	01.04.2019 - 30.03.2020
Studienzeitraum	01.04.2020 - 30.03.2021

Tabelle 1: Eckpunkte der Untersuchungszeiträume

Zusätzlich werden beide Datensätze, sowohl der kinderneurochirurgische als auch der allgemeinpädiatrische Datensatz, innerhalb der Untersuchungszeiträume jeweils auf einen jahreszeitlichen Bezug untersucht, um typische Infektionswellen zu identifizieren. Die dafür gewählten jahreszeitlichen Zeitspannen werden als „Grippe-Zeitraum“ von November bis April und „Nicht-Grippe-Zeitraum“ von Mai bis Oktober definiert.

Des Weiteren werden die Patienten den in Tabelle 2 definierten verschiedenen Altersklassen zugeordnet, abhängig vom Alter am Tag ihrer stationären Aufnahme bzw. der operativen Shuntrevision.

Altersklassen	Alter in Monaten
Säuglinge	< 12
Kleinkinder	12 - 72
Schulkinder	72 - 144
Jugendliche	> 144

Tabelle 2: Altersspezifische Verteilung

2.3.3 Allgemeinpädiatrische Klassifizierungen

Die allgemeinpädiatrischen klinischen Fälle werden nach „Infektion als Hauptdiagnose“ oder „Sonstiges“ (keine Infektion als Hauptdiagnose) mittels des ICD10-Systems zum Zeitpunkt der stationären Aufnahme klassifiziert.

Zusätzlich wird bei den klinischen Fällen nach der Art der Infektion als Hauptdiagnose unterschieden. Dabei wird zwischen den in der nachfolgenden Tabelle gelisteten Infektionstypen differenziert:

Art von Infektionen
Zentrales Nervensystem
Fazialis
Auge
Infektion der oberen Luftwege
Infektion der unteren Luftwege
Mund
Gastroenteritis
Harnwegsinfekt
Haut
Knochen
Sepsis
Besondere Viren
Tuberkulose
Sonstige Infektgeschehen
Abdomen
Komplizierte Infektgeschehen
Herz

Tabelle 3: **Klassifizierung der allgemeinpädiatrischen Infektionen als Hauptdiagnose**

2.3.4 Kinderneurochirurgische Klassifizierungen

Es wird zwischen den in der folgenden Tabelle gelisteten Hydrozephalus-Ätiologien unterschieden:

Hydrozephalus-Ätiologie
Aquäduktstenose
Dandy-Walker-Malformation
Posthämorrhagisch
Postentzündlich
Posttraumatisch
Tumor
Andere Hirnfehlbildungen
Malresorptiver Hydrozephalus
Sonstige

Tabelle 4: Klassifizierung der Ätiologien des Hydrozephalus

Im Falle einer Shuntrevision wird zwischen den nachfolgend genannten Indikationen unterschieden:

Indikation der Shuntrevision
Überdrainage
Unterdrainage
Fehllage
Diskonnektion / Abriss
Infektion / Wundheilungsstörung
Periph. insuffiziente Katheterlänge
Zentral insuffiziente Katheterlänge
Umwandlung in Mehrfachableitung
Sonstiges

Tabelle 5: Klassifizierung der Indikationen der Shuntrevision

Ferner wird jede Shuntrevision anhand fallbezogener Arztbriefe, OP-Berichte und der erhobenen Laborparameter (genannt in 2.3.1) auf die nachfolgend genannten möglichen Ursachen untersucht:

1. Hinweis auf Shuntinfektion / Wundheilungsstörung
2. Hinweis auf eine Shuntrevision infolge einer systemischen Infektion
3. Hinweis auf eine Durchwanderungsperitonitis

In Abhängigkeit des jeweiligen Ergebnisses – Hinweis vorhanden oder nicht – wird bei den Shuntrevisionen nach den in der folgenden Tabelle genannten vier Arten von klinischen Fällen von Shuntrevisionen unterschieden:

Art der Shuntrevisionen:
Hinweis auf Shuntinfektion / Wundheilungsstörung
Hinweis auf eine Shuntrevision infolge einer systemischen Infektion
Hinweis auf Durchwanderungsperitonitis
Keiner der oben genannten Hinweise erfasst

Tabelle 6: **Klassifizierung der Shuntrevision**

Die klinischen Fälle mit Hinweis auf eine Shuntrevision infolge einer systemischen Infektion werden abhängig von der Ätiologie weiter wie folgt klassifiziert:

Art der systemischen Infektion
Gastroenteritis
Obere Luftwege
Untere Luftwege
Harnwegsinfekt
Appendizitis
Sepsis
Meningitis
Nicht näher definierte Infektgeschehnisse

Tabelle 7: **Klassifizierung der systemischen Infektionen**

2.4 Statistik

Die zuvor in Microsoft Excel dokumentierten Datensätze werden mittels „SPSS - *Statistical Product and Service Solutions* – Version: 28.0.0.0 (190) @ IBM Corporation, Armonk, USA“ statistisch ausgewertet. Mittels *Odds Ratios* wird ein Kreuzproduktverhältnis errechnet, um eine Aussage über die Stärke des Zusammenhangs von bestimmten Daten zu treffen. Mittels Deskriptiver Statistik wie dem Chi²-Unabhängigkeitstest als auch nicht parametrischen Tests wie dem Chi²-Anpassungstest werden Datensätze auf Signifikanzen überprüft. Das Signifikanzniveau, ab dem die Nullhypothese verworfen wird, wurde im Vorfeld auf < 5% definiert. Die statistischen Ergebnisse werden wie folgt dargestellt:

- χ^2 (Freiheitsgrad) = Teststatistik
- Pearson-Chi²-Test: p = Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
- Exakter Test nach Fisher-Freeman-Halton: p = Exakte Signifikanz (zweiseitig)
- ϕ = Freiheitsgrad nach Cramer-V

Die Tabellen und Diagramme wurden mit Microsoft Excel 2019 erstellt.

2.5 Ethikvotum

Unter Bezugnahme der Anfrage mit der Bearbeitungsnummer 239/2021 teilte die Ärztekammer Nordrhein am 30.06.2021 mit, dass rein retrospektive epidemiologische Forschungsvorhaben nicht der Beratungspflicht durch die Ethik-Kommission der Ärztekammer Nordrhein unterliegen und somit keine Notwendigkeit der Einholung eines Ethikvotums vorliegt.

3 Ergebnisse

3.1 Kinderneurochirurgische Auswertung

3.1.1 Inzidenzen der Shuntrevisionen

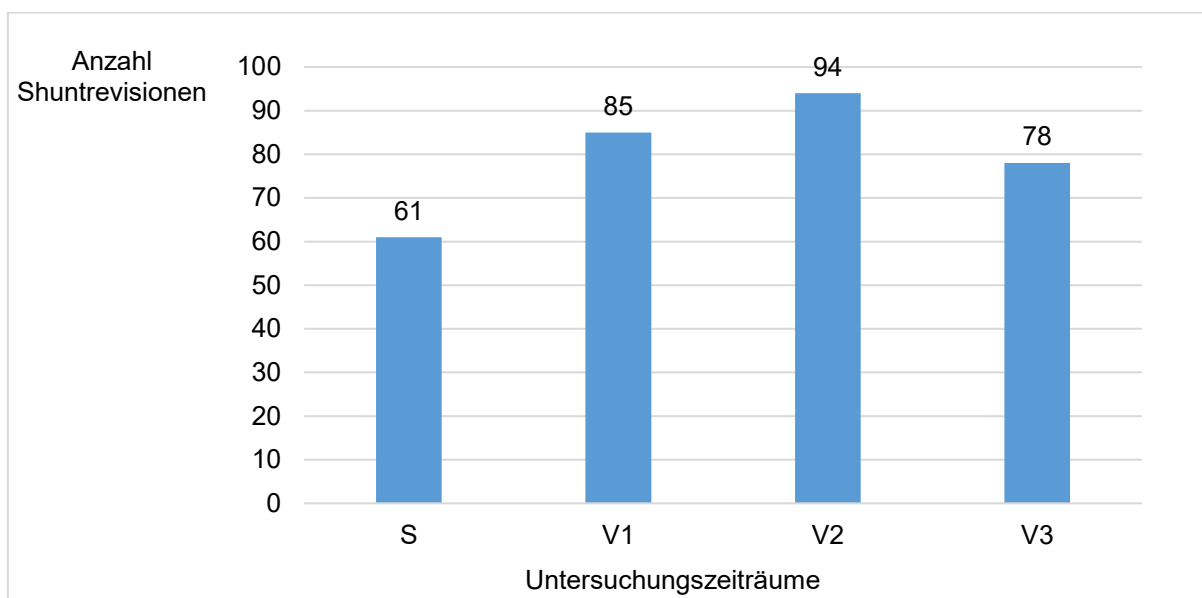


Abb. 1: Allgemeine Inzidenzen der Shuntrevisionen

Insgesamt werden 318 Shuntrevisionen während der vier Untersuchungszeiträume gezählt. Die geringste Anzahl an Shuntrevisionen wird im Studienzeitraum festgestellt, während die größte Anzahl an Shuntrevisionen im Vergleichszeitraum 2 gezählt wird. Über die vier Untersuchungszeiträume ergibt sich ein Mittelwert von 79,5 Shuntrevisionen pro Untersuchungszeitraum.

Mit einem Eindimensionalen-Chi²-Test, kann die Anzahl der Shuntrevisionen über die vier Untersuchungszeiträume auf eine signifikante Abweichung überprüft werden. Hierbei kann keine signifikante Abweichung festgestellt werden ($\chi^2(3) = 7.358$, $p = 0.061$), jedoch lässt sich aufgrund der Nähe zum Signifikanzniveau eine statistische Tendenz ableiten.

3.1.2 Untersuchung auf typische Infektionswellen

Um die Abhängigkeit des Auftretens von Shuntrevisionen im Zeitraum typischer Infektionswellen zu ermitteln, wurden die Untersuchungszeiträume in Grippe-Zeitraum und Nicht-Grippe-Zeitraum unterteilt.

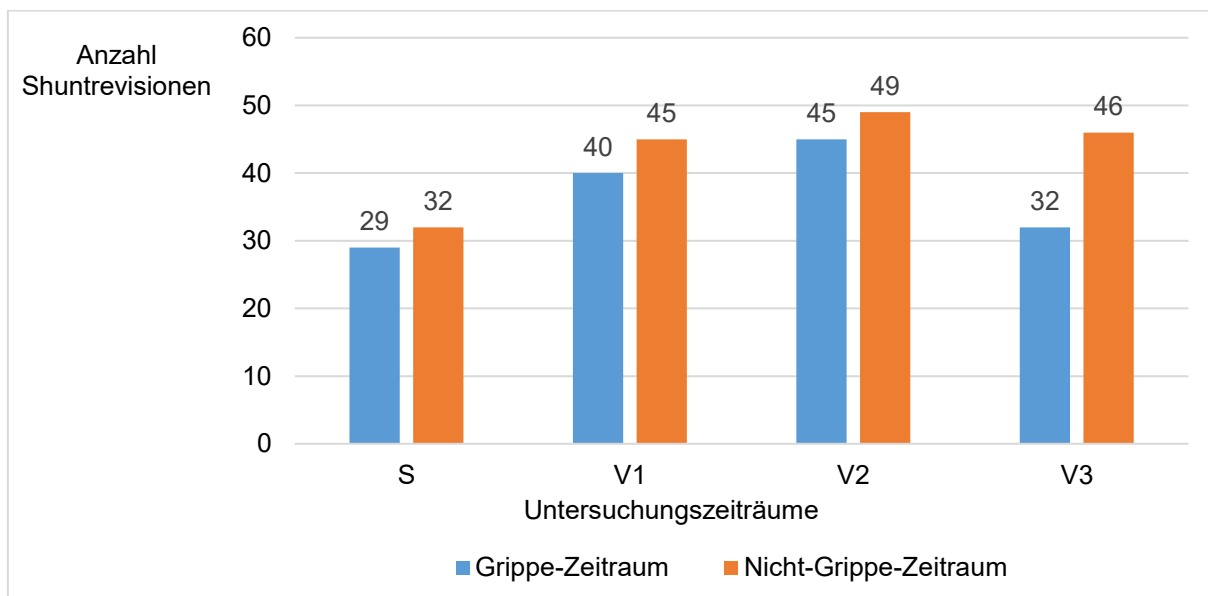


Abb. 2: Jahreszeitlicher Bezug bei Shuntrevisionen

Hierbei wurde festgestellt, dass in allen vier Untersuchungszeiträumen mehr Shuntrevisionen in den Nicht-Grippe-Zeiträumen als in den Grippe-Zeiträumen erfasst wurden.

Es wurde für die Verteilung der Shuntrevisionen ein Chi²-Unabhängigkeitstest zwischen Untersuchungszeitraum und jahreszeitlichem Bezug (Nicht-Grippe-/Grippe-Zeitraum) durchgeführt. Es ergab sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den beiden Variablen ($\chi^2(3) = 1.006$, $p = 0.7999$, $\phi = 0.056$).

Zusätzlich wurde ein Chi²-Anpassungstest durchgeführt, bei dem die Anzahl der Shuntrevisionen im Grippe-Zeitraum als erwartete Werte und die Anzahl der Shuntrevisionen im Nicht-Grippe-Zeitraum als beobachtete Werte definiert wurden. Hierbei ergab sich folgendes Ergebnis: $\chi^2(3) = 2.365$, $p = 0.500$.

3.1.3 Altersspezifische Verteilung

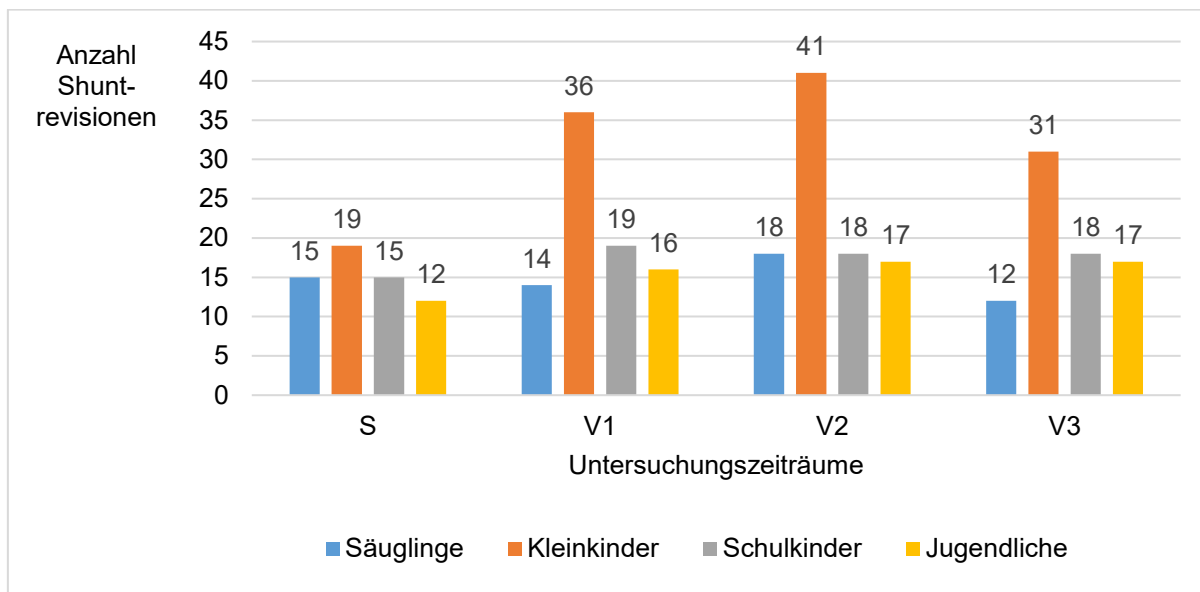


Abb. 3: Altersspezifische Verteilung bei Shuntrevisionen

In der Altersspezifischen Verteilung zeigt sich über die vier Untersuchungszeiträume, dass die Altersgruppe der Kleinkinder mit insgesamt 127 Fällen (39,9%) die größte Gruppe stellt, wohingegen die Altersgruppe der Säuglinge mit insgesamt 59 Fällen (18,6%) die kleinste Gruppe ist. Über die vier Untersuchungszeiträume wurden weiterhin 70 Fälle (22%) der Altersgruppe der Schulkinder und 62 Fälle (19,5%) der Altersgruppe der Jugendlichen zugeordnet. Auffällig ist, dass sich in allen vier Untersuchungszeiträumen stets die Altersgruppe der Kleinkinder für die meisten Fälle an Shuntrevisionen verantwortlich zeigt.

Es wurde ein Chi²-Unabhängigkeitstest mit den Variablen Untersuchungszeitraum und Altersgruppe (Säuglinge, Kleinkinder, Schulkinder, Jugendliche) durchgeführt. Demnach besteht kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen beiden Variablen, sie verhalten sich unabhängig voneinander ($\chi^2(9) = 4.368$, $p = 0.886$, $\phi = 0.068$).

Untersucht man jedoch die vier Altersgruppen einzeln auf signifikante Abweichungen bei der Anzahl von Shuntrevisionen zwischen den vier Untersuchungszeiträumen mittels eines Eindimensionalen Chi²-Tests, so ergibt sich ausschließlich bei der Altersgruppe der Kleinkinder eine solche signifikante Abweichung.

Altersgruppen	Teststatistik	Freiheitsgrad	p
Säuglinge	1.271	3	0.736
Kleinkinder	8.402	3	0.038
Schulkinder	0.514	3	0.916
Jugendliche	1.097	3	0.778

Tabelle 8: Altersspezifische Verteilung bei Shuntrevisionen – Chi²-Test

3.1.4 Anlass der Shuntrevisionen

Im Rahmen der Datenerhebung wurde jeder Fall auf die zum Zeitpunkt der Shuntrevision dokumentierte Indikation untersucht. Wie zuvor erläutert wurde hierbei zwischen verschiedenen Indikationsgruppen unterschieden. In der folgenden Tabelle ist die Anzahl der jeweiligen Indikationen pro Zeitraum gelistet. Mit Hilfe von *Odds Ratio* wird ein Kreuzproduktverhältnis berechnet, was ein Chancenverhältnis zwischen Eintreten und Ausbleiben einer bestimmten Indikation in dem Studienzeitraum und dem jeweiligen Vergleichszeitraum darstellt.

	S	V1	95%-KI			V2	95%-KI			V3	95%-KI		
			OR S/V1	Unterer Wert	Oberer Wert		OR S/V2	Unterer Wert	Oberer Wert		OR S/V3	Untere r Wert	Oberer Wert
Unterdrainage	38	35	2,360	1,203	4,632	50	1,454	0,753	2,806	37	1,831	0,925	3,622
~ im Zeitraum in %	62,3	41,2				53,2				47,4			
Überdrainage	8	17	0,604	0,242	1,506	17	0,684	0,275	1,699	13	0,755	0,291	1,956
~ im Zeitraum in %	13,1	20,0				18,1				16,7			
Infektion / Wundheilungsstörung	3	10	0,388	0,102	1,474	16	0,252	0,070	0,906	5	0,755	0,173	3,292
~ im Zeitraum in %	4,9	11,8				17,0				6,4			
Peripher insuffiziente Katheterlänge	4	10	0,526	0,157	1,764	4	1,579	0,380	6,565	7	0,712	0,199	2,552
~ im Zeitraum in %	6,6	11,8				4,3				9,0			
Zentral insuffiziente Katheterlänge	2	1	2,847	0,252	32,132	2	1,559	0,214	11,374	7	0,344	0,069	1,718
~ im Zeitraum in %	3,3	1,2				2,1				9,0			
Umwandlung in Mehrfachableitung	3	3	1,414	0,276	7,254	1	4,810	0,489	47,350	3	1,293	0,252	6,643
~ im Zeitraum in %	4,9	3,5				1,1				3,8			
Disskonnektion / Abriss	1	1	1,400	0,086	22,828	1	1,550	0,095	25,254	1	1,283	0,079	20,942
~ im Zeitraum in %	1,6	1,2				1,1				1,3			
Sonstiges	2	7	0,378	0,076	1,885	3	1,028	0,167	6,339	4	0,627	0,111	3,543
~ im Zeitraum in %	3,3	8,2				3,2				5,1			
Fehllage	0	1				0				1			
~ im Zeitraum in %	0,0	1,2				0,0				1,3			

Tabelle 9: Prozentuale Verteilung der Indikationen zur Shuntrevision in den jeweiligen Zeiträumen & Odds Ratio

Zusätzlich wurden für die folgenden Indikationen mittels Chi²-Unabhängigkeitstests die Variablen Untersuchungszeitraum und die jeweilige Präsenz der Indikation (Ja/Nein) auf einen statistischen Zusammenhang überprüft. Es wurden keine Signifikanzen festgestellt.

	Teststatistik	Freiheitsgrad	p	φ
Unterdrainage	6.911	3	0.074777	0.147
Überdrainage	1.243	3	0.742819	0.063
Infektionen / Wundheilungsstörungen	7.673	3	0.053	0.155

Tabelle 10: Anlass der Shuntrevisionen - Chi²-Test

3.1.5 Hinweis auf Infektgeschehen

Zusätzlich zum Anlass der Shuntrevision wurde jeder Fall auch bezüglich der Hinweiskriterien auf ein Infektgeschehen untersucht. Es ergab sich die in Abbildung 4 dargestellte Datenlage:

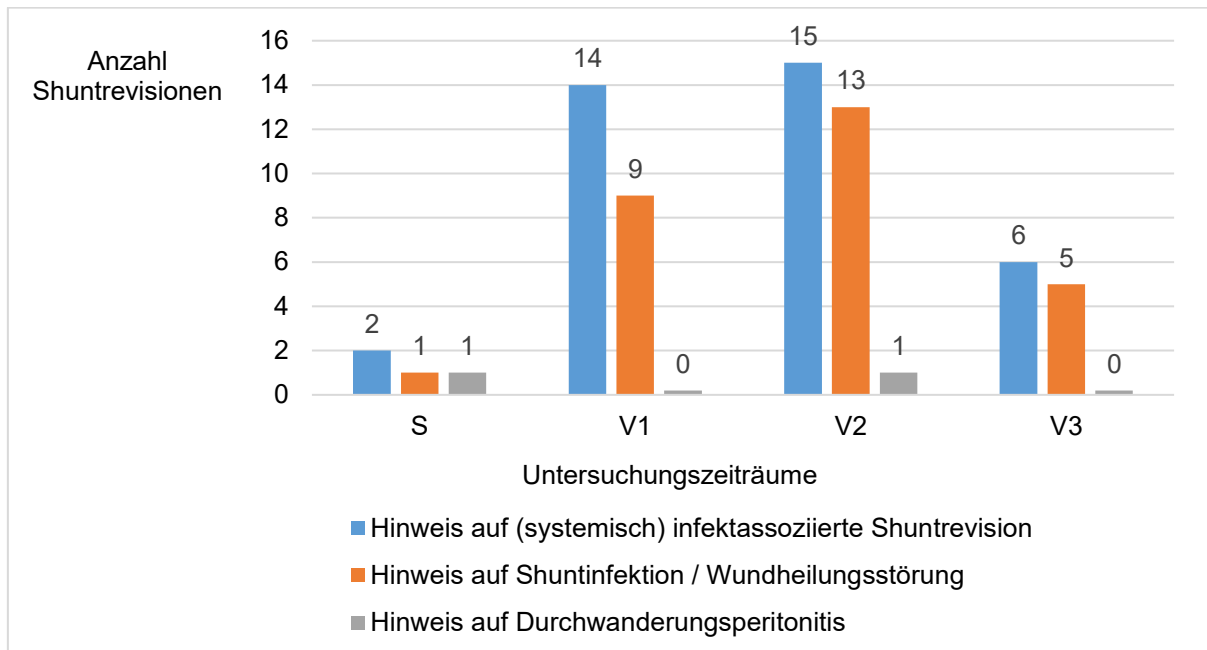


Abb. 4: Verteilung der Shuntrevisionen mit Hinweis auf Infektgeschehen

Betrachtet man die Verteilung der Fälle, in denen einer der drei Hinweise gegeben ist und somit die Anzahl der Shuntrevisionen mit einem Hinweis auf Infektgeschehen jeglicher Art, so lässt sich ein Chi²-Unabhängigkeitstests anwenden, der die Variablen Untersuchungszeitraum und Präsenz eines Hinweises auf Infektgeschehen jeglicher Art (Ja/Nein) auf einen statistisch signifikanten Zusammenhang überprüft. Bei dieser statistischen Fragestellung ergab sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den zwei Variablen ($\chi^2(3) = 17.243$, $p = 0.00063$, $\phi = 0.233$).

Zusätzlich wurde ein Eindimensionaler-Chi²-Test durchgeführt, um die Anzahl der Shuntrevisionen mit Hinweis auf eine (systemisch) infektassoziierte Shuntrevision über die vier Untersuchungszeiträume auf eine signifikante Abweichung zu überprüfen. Hierbei kann eine signifikante Abweichung festgestellt werden ($\chi^2(3) = 12.838$, $p = 0.005$).

Die gleiche Testung für die Anzahl der Shuntrevisionen mit Hinweis auf eine Shuntinfektion / Wundheilungsstörung ergab über die vier Untersuchungszeiträume ebenfalls eine signifikante Abweichung ($\chi^2(3) = 11.429$, $p = 0.01$).

Die Verteilung der Fälle mit Hinweis auf Durchwanderungsperitonitis konnte aufgrund der geringen Anzahl nicht statistisch überprüft werden.

Die Fälle mit Hinweis auf eine (systemisch) infektassoziierte Shuntrevision wurden weiterhin in folgende Untergruppen kategorisiert:

	S	V1	V2	V3
Gastroenteritis	1	5	3	1
Obere Luftwege	0	1	3	2
Untere Luftwege	0	1	1	1
Harnwegsinfekt	1	1	2	0
Appendizitis	0	1	1	0
Sepsis	0	0	0	1
Meningitis	0	0	1	0
Nicht näher definierte Infektgeschehnisse	0	5	4	1
Insgesamt	2	14	15	6

Tabelle 11: Kategorisierung der Fälle mit Hinweis auf eine (systemisch) infektassoziierte Shuntrevision

In Tabelle 12 sind die bei Fällen mit Hinweis auf Shuntinfektion / Wundheilungsstörung mittels mikrobiologischer Untersuchung identifizierten Erreger gelistet.

	S	V1	V2	V3
Staphylococcus aureus	1	1	1	0
Streptococcus mitis	0	1	0	0
Acinetobacter baumannii	0	1	0	0
Enterokokken	0	1	0	0
Staphylococcus epidermidis	0	1	3	0
Staphylococcus pettenkoferi	0	0	1	0
Ohne Befund	0	4	8	5

Tabelle 12: Mikrobiologie der Fälle mit Hinweis auf Shuntinfektion / Wundheilungsstörung

Die beschriebene Datenlage basiert dabei auf Liquor- und Shuntkatheterkulturen sowie intraoperativen Abstrichen. Die Kategorie „Ohne Befund“ deckt diejenigen Fälle ab, in denen die Mikrobiologie keinen Erregernachweis ergab, jedoch die individuelle Fallbetrachtung in toto auf eine Shuntinfektion / Wundheilungsstörung schließen ließ. Ein solcher Fall war beispielsweise bei einer dokumentierten intraoperativen Pus-Sichtung oder bei eindeutiger Klinik einer Wundheilungsstörung ohne mikrobiologische Befundung sowie bei auffälliger Liquor-Laborchemie oder erhöhten CRP-Werten bei simultaner Pseudoliquorzyste gegeben.

3.2 Allgemeinpädiatrische Auswertung

3.2.1 Inzidenzen der pädiatrisch-stationären Aufnahmen

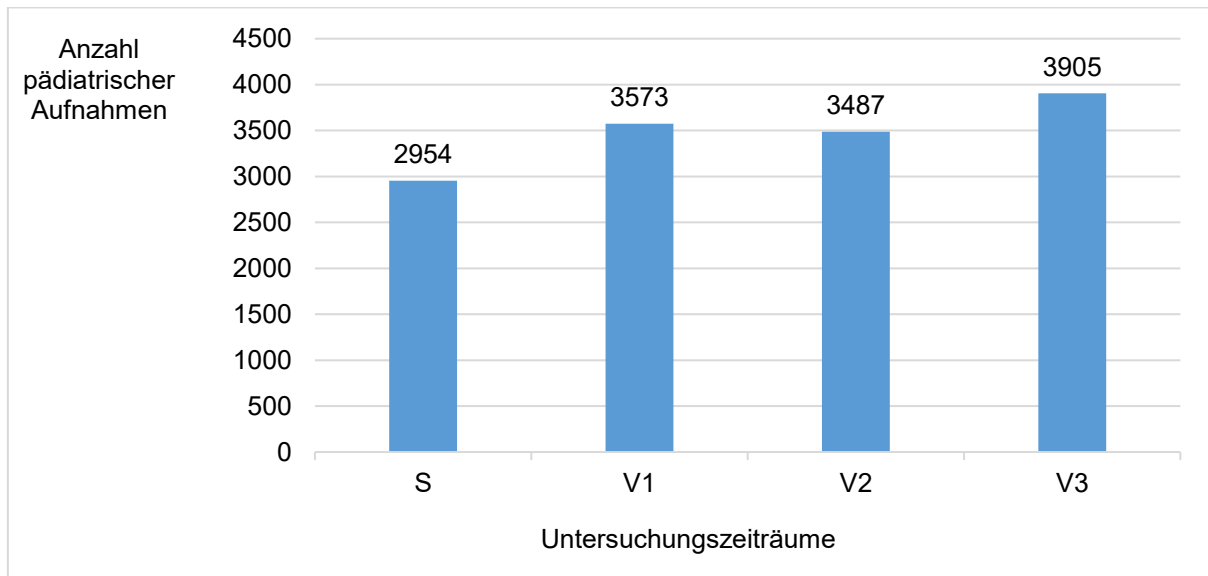


Abb. 5: Inzidenzen der pädiatrisch-stationären Aufnahmen

Insgesamt wurden 13919 pädiatrische stationäre Aufnahmen während der vier Untersuchungszeiträume gezählt. Die geringste Anzahl wurde im Studienzeitraum identifiziert, während die größte Anzahl an pädiatrisch-stationären Aufnahmen im Vergleichszeitraum 3 erfasst wurde. Über die vier Untersuchungszeiträume ergibt sich ein Mittelwert von 3479,75 pädiatrisch-stationären Aufnahmen pro Untersuchungszeitraum.

Es wurde ein Eindimensionaler-Chi²-Test durchgeführt, um die Anzahl der pädiatrisch-stationären Aufnahmen über die vier Untersuchungszeiträume auf eine signifikante Abweichung zu überprüfen. Das Ergebnis beweist eine signifikante Abweichung ($\chi^2(3) = 133.917$, $p = 0.000$).

3.2.2 Pädiatrisch-stationäre Aufnahmen nach Hauptdiagnose

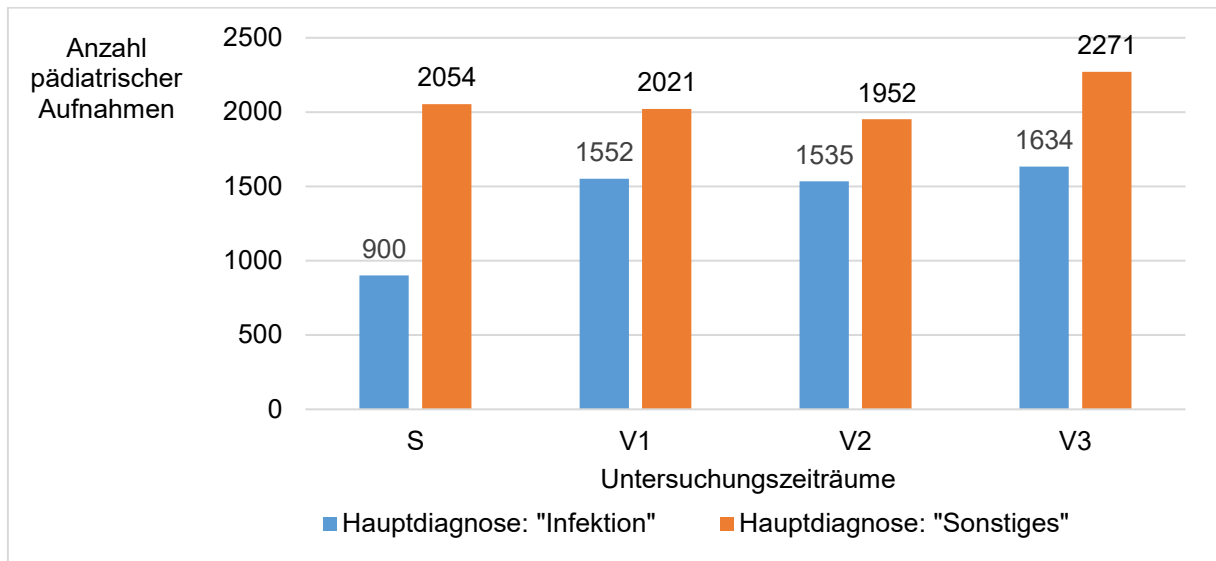


Abb. 6: Pädiatrisch-stationäre Aufnahmen nach Hauptdiagnose

Insgesamt wurden 5621 klinische Fälle mit Hauptdiagnose „Infektion“ und 8298 klinische Fälle mit Hauptdiagnose „Sonstiges“ in den vier Untersuchungszeiträumen stationär aufgenommen. Daraus ergibt sich ein Mittelwert von 1405,25 pädiatrischen stationären Aufnahmen mit Hauptdiagnose „Infektion“ pro Untersuchungszeitraum. Für die Anzahl der pädiatrischen stationären Aufnahmen mit Hauptdiagnose „Sonstiges“ pro Untersuchungszeitraum ergibt sich ein Mittelwert von 2074,5.

Es wurde ein Eindimensionaler-Chi²-Test durchgeführt, um allein die Anzahl der pädiatrisch-stationären Aufnahmen mit Hauptdiagnose „Infektion“ über die vier Untersuchungszeiträume auf eine signifikante Abweichung zu überprüfen. Das Ergebnis beweist eine signifikante Abweichung ($\chi^2(3) = 246,202$, $p = 0.000$).

Im Rahmen der statistischen Auswertung wurde ebenfalls ein Chi²-Unabhängigkeitstest zwischen Untersuchungszeitraum und Art der Hauptdiagnose (HD „Infektion“ / HD „Sonstiges“) durchgeführt. Hierbei ergab sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den beiden Variablen ($\chi^2(3) = 157.110$, $p = 0.000$, $\phi = 0.106$).

3.2.3 Untersuchung auf typische Infektionswellen

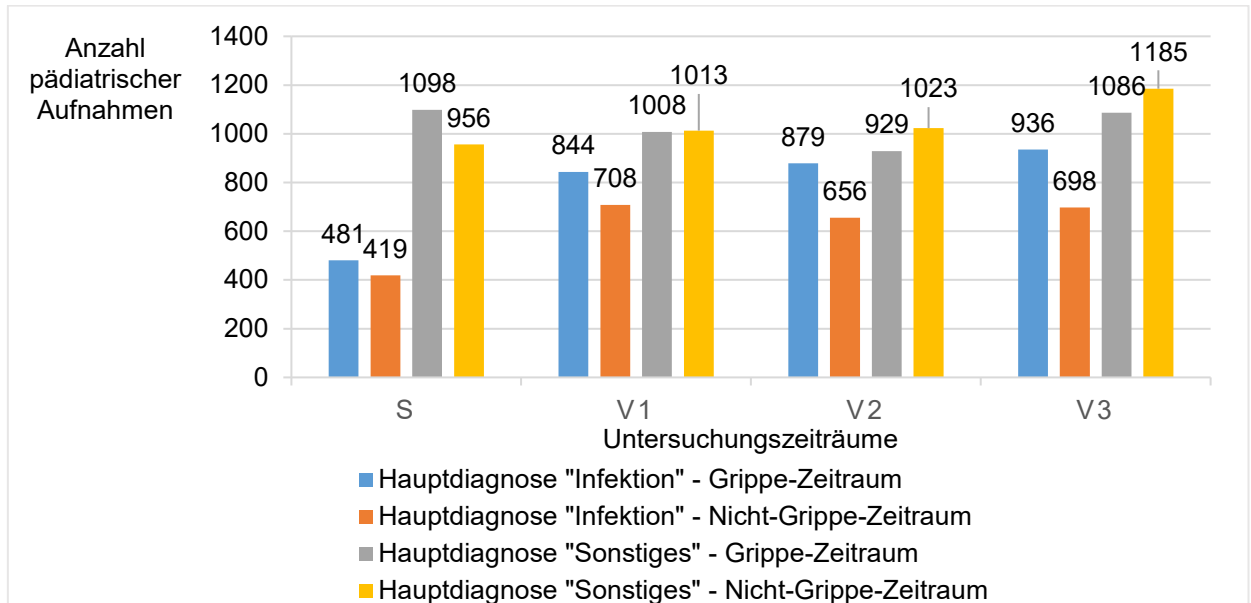


Abb. 7: Jahreszeitlicher Bezug bei pädiatrisch-stationären Aufnahmen

Bei der Untersuchung auf typische Infektionswellen wurde festgestellt, dass in allen Untersuchungszeiträumen mehr Fälle mit Hauptdiagnose „Infektion“ in den Grippe- als in den Nicht-Grippe-Zeiträumen erfasst wurden. Die geringste Anzahl an Fällen mit Hauptdiagnose „Infektion“ in den Grippe- und Nicht-Grippe-Zeiträumen wurde im Studienzeitraum gezählt. Die größte Anzahl an Fällen mit Hauptdiagnose „Sonstiges“ in den Grippe-Zeiträumen wurde im Studienzeitraum erfasst, während die geringste Anzahl an Fällen mit Hauptdiagnose „Sonstiges“ in den Nicht-Grippe-Zeiträumen im Vergleichszeitraum 3 erfasst wurde.

Für die Anzahl der pädiatrisch-stationären Aufnahmen mit Hauptdiagnose „Infektion“ wurde ein Chi²-Unabhängigkeitstest zwischen Untersuchungszeitraum und jahreszeitlichem Bezug (Nicht-Grippe-/Grippe-Zeitraum) durchgeführt. Es ergab sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den beiden Variablen ($\chi^2(3) = 6.074$, $p = 0.108$, $\phi = 0.033$). Konträr dazu ist die Schlussfolgerung bei den Fällen mit Hauptdiagnose „Sonstiges“, dort ist ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Untersuchungszeitraum und jahreszeitlichem Bezug (Nicht-Grippe-/Grippe-Zeitraum) gegeben ($\chi^2(3) = 18.303$, $p = 0.000381$, $\phi = 0.47$).

Für die Fälle aller pädiatrisch-stationärer Aufnahmen in den vier Untersuchungszeiträumen zeigt der gleiche Test hingegen keinen statistisch signifikanten Zusammenhang ($\chi^2(3) = 2.493$, $p = 0.476647$, $\phi = 0.13$).

Zusätzlich wurde ein Chi²-Anpassungstest durchgeführt, bei dem die Anzahl aller pädiatrisch-stationären Aufnahmen im Grippe-Zeitraum als erwartete Werte und die Anzahl aller pädiatrisch-stationären Aufnahmen im Nicht-Grippe-Zeitraum als beobachtete Werte definiert wurden. Hierbei ergab sich folgendes Ergebnis: $\chi^2(3) = 6.740894$, $p = 0.080631$.

3.2.4 Altersspezifische Verteilung der pädiatrisch-stationären Aufnahmen

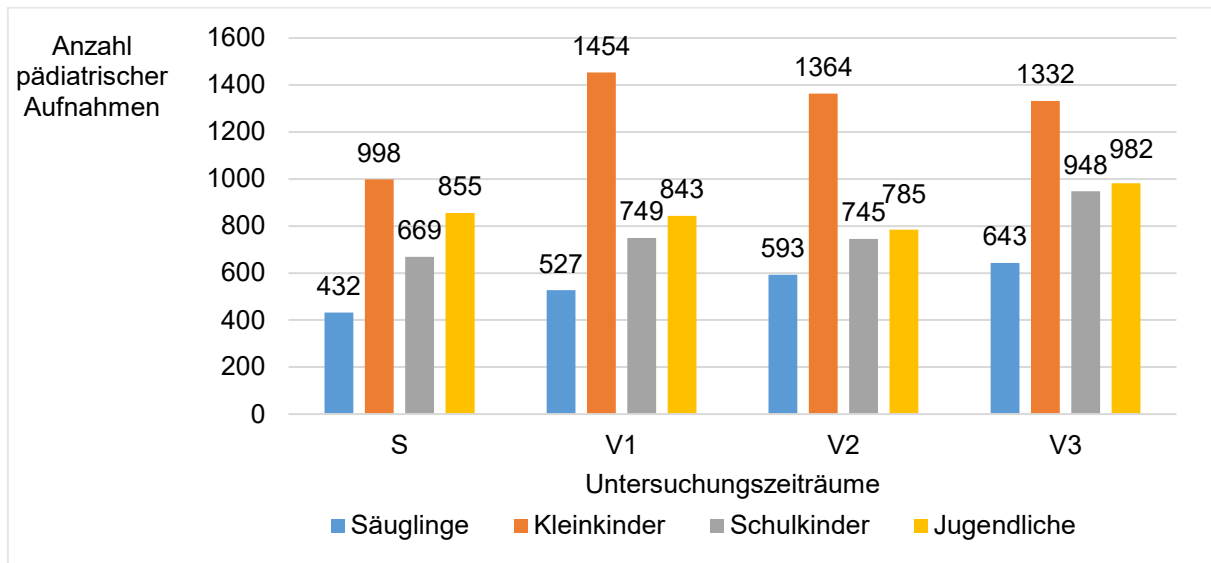


Abb. 8: Altersspezifische Verteilung bei pädiatrisch-stationären Aufnahmen

Über die vier Untersuchungszeiträume zeigt sich, dass die Altersgruppe der Kleinkinder mit insgesamt 5148 Fällen (37%) die größte Gruppe stellt, wohingegen die Altersgruppe der Säuglinge mit insgesamt 2195 Fällen (15,8%) die kleinste Gruppe stellt. Über die vier Untersuchungszeiträume wurden weiterhin 3111 Fälle (22,4%) der Altersgruppe der Schulkinder zugeordnet und 3465 Fälle (24,9%) der Altersgruppe der Jugendlichen. Auffällig ist, dass in allen vier Untersuchungszeiträumen stets für die Altersgruppe der Kleinkinder die höchste und für die Altersgruppe der Säuglinge die geringste Anzahl an pädiatrisch-stationären Aufnahmen erfasst wurden.

Für die Anzahl pädiatrisch-stationärer Aufnahmen wurde ein Chi²-Unabhängigkeitstest zwischen Untersuchungszeitraum und Altersgruppe (Säuglinge, Kleinkinder, Schulkinder, Jugendliche) durchgeführt. Es besteht ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den beiden Variablen ($\chi^2(9) = 85.005$, $p = 0.0000$, $\phi = 0.45$).

Untersucht man jeweils die vier Altersgruppen einzeln auf signifikante Abweichungen bei der Anzahl der pädiatrischen Aufnahmen zwischen den vier Untersuchungszeiträumen mittels eines Eindimensionalen Chi²-Tests, so ergeben sich für die Altersgruppen jeweils die in der Tabelle 13 aufgeführten Signifikanzen.

Altersgruppen	Teststatistik	Freiheitsgrad	p
Säuglinge	45.457	3	0.000
Kleinkinder	92.746	3	0.000
Schulkinder	54.916	3	0.000
Jugendliche	23.858	3	0.000

Tabelle 13: Altersspezifische Verteilung bei pädiatrischen Aufnahmen – Chi²-Test

3.2.5 Pädiatrisch-stationäre Aufnahmen mit Infekt – Klassifizierung

Die pädiatrisch-stationären Aufnahmen wurden im Fall der Hauptdiagnose „Infektion“, gemäß der in der Tabelle 14 gelisteten Infektionsgruppen klassifiziert. Zusätzlich wurde für jede Infektionsgruppe ein Chi²-Unabhängigkeitstest durchgeführt, bei dem die Variablen Untersuchungszeitraum und Präsenz der Infektionsgruppe (Ja/Nein) auf einen statistisch signifikanten Zusammenhang überprüft wurden.

	S	V1	V2	V3	Test-statistik	Freiheitsgrad	p	Gesamt
Zentrales Nervensystem	13	19	37	46	12.696	3	0.005	115
Fazialis	14	13	18	12	4.768	3	0.1896	57
Infektion der oberen Luftwege	132	269	271	340	16.093	3	0.0011	1012
Infektion der unteren Luftwege	148	510	503	479	90.400	3	0.0000	1640
Mund	12	7	14	14	5.588	3	0.1335	47
Gastroenteritis	219	414	393	387	4.270	3	0.2338	1413
Harnwegsinfekt	132	87	79	106	92.078	3	0.000	404
Haut	56	64	59	81	8.621	3	0.0348	260
Knochen	29	17	27	36	14.464	3	0.0023	109
Sepsis	45	32	30	18	42.065	3	0.000	125
Besondere Viren	25	31	24	34	4.243	3	0.2364	114
Sonstige Infektgeschehen	68	78	70	73	13.382	3	0.0039	289
Tuberkulose	2	0	3	1				6
Auge	2	5	5	5				17
Abdomen	1	3	0	2				6
Komplizierte Infektgeschehen	1	2	1	0				4
Herz	1	1	1	0				3
Gesamt	900	1552	1535	1634				5621

Tabelle 14: Klassifizierung der Fälle mit Hauptdiagnose "Infektion"

3.3 Analyse der Häufigkeitsverteilungen beider Datensätze

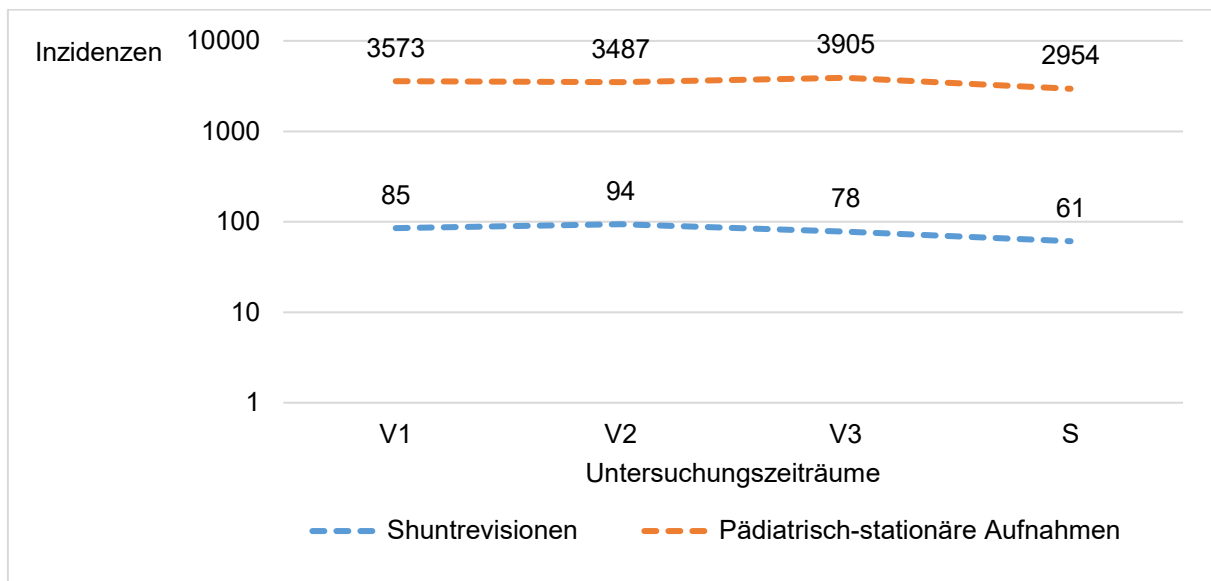


Abb. 9: Häufigkeitsverteilungen

Die Häufigkeitsverteilung der Shuntrevisionen über die vier Untersuchungszeiträume wurde nun mittels eines χ^2 -Anpassungstests auf eine signifikante Abweichung zu der Häufigkeitsverteilung der pädiatrisch-stationären Aufnahmen überprüft. Es wurde keine signifikante Abweichung zwischen den zwei Häufigkeitsverteilungen ($\chi^2(3) = 4.752$, $p = 0.191$) festgestellt.

4 Diskussion

4.1 Inzidenzen der Shuntrevisionen und pädiatrisch-stationären Aufnahmen

Im Rahmen der Arbeit wurde festgestellt, dass die Anzahl der Shuntrevisionen im Studienzeitraum um rund 29% geringer war als die durchschnittliche Anzahl der Shuntrevisionen in den Vergleichszeiträumen. Mit $p = 0.061$ kann darin aufgrund der Nähe zum Signifikanzniveau eine klare statistische Tendenz gesehen werden.

Damit bestätigt die vorliegende Arbeit die initiale Studie von N. Laxpati, J. J. Chern et al. Diese Studie beschreibt eine signifikant verminderte Anzahl an Shuntoperationen während der COVID-19 Pandemie. Bei einem nur vierwöchigen Studienzeitraum ziehen die Autoren jedoch auch die Möglichkeit einer statistischen Anomalie in Betracht und verweisen auf die Wichtigkeit weiterer Studien. [34]

Die Autoren ergänzten die ursprünglichen Ergebnisse zu einem späteren Zeitpunkt mit weiteren Daten aus der Pandemiezeit und sahen die Vermutung einer statistischen Anomalie bezüglich des 28-tägigen Zeitraums in 2020 bestätigt. Nach Meinung von N. Laxpati, J. J. Chern et al. besteht ein Zusammenhang zwischen der verminderten Anzahl an Shuntrevisionen und einer geringeren Bereitschaft zur klinischen Vorstellung der Patienten bzw. Eltern bei vermehrten politischen Regulationen und *Public-Health*-Maßnahmen. [36]

Diese Annahme wird durch die vorliegende Arbeit weder bestätigt noch entkräftet und ist auch hier als Erklärung für die gemachten Beobachtungen in Betracht zu ziehen. Hierbei muss jedoch bedacht werden, dass es sich in der Regel bei einer Funktionsstörung des Shuntsystems um ein ernstzunehmendes klinisches Krankheitsbild mit neurologischen Symptomen wie Bewusstseinsstörungen und Hirndruckzeichen handelt, was eine medizinische Behandlung zumeist unumgänglich macht.

Bezugnehmend auf die initial veröffentlichte Studie von N. Laxpati, J. J. Chern et al. publizierten C. Soon et al. eine *Correspondence* gemäß der die Gesamtanzahl der Shunt assoziierten Eingriffe – ohne Berücksichtigung der *ventricular access devices* – in der COVID-19 Pandemie zugenommen hat. Die Autoren betonen hierbei die deutlich geringeren Fallzahlen an Shuntoperationen ihrer Institution als möglichen Schwachpunkt der Studie. [35]

Gründe für die insgesamt teils konträren Ergebnisse bzgl. der Inzidenz von Shuntrevisionen vor und während der COVID-19 Pandemie könnten auch vor dem Hintergrund der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit neben den unterschiedlich terminierten und langen Studienzeiträumen auch die unterschiedlich großen sowie unterschiedlich lokalisierten studienrelevanten Institutionen sein. Ebenso variierten COVID-19 Fallzahlen, Gesetzeslagen sowie der

gesamtgesellschaftliche Umgang hiermit je nach Zeitpunkt und Lokalisation stark. Künftige Metaanalysen könnten an dieser Stelle Ergebnisse mit einer größeren Aussagekraft bringen.

Im Falle der pädiatrisch stationären Aufnahmen wurde die geringste Anzahl im Studienzeitraum identifiziert und war mit 2954 Aufnahmen signifikant abweichend ($p < 0.05$). Dieser Befund der vorliegenden Arbeit ist im Einklang mit der in Kapitel 1.4.1 beschriebene Studie auf Basis der Daten der Kassenärztlichen Bundesvereinigung, gemäß der während des ersten COVID-19-Lockdowns im 2. Quartal 2020 die Behandlungsfälle von Kindern in ambulanten Arztpraxen im Vergleich zum Jahr davor um bis zu 20 Prozent zurückgegangen sind. [30]

Ein Chi²-Anpassungstest zeigte, dass die beobachtete Häufigkeitsverteilungen der Shuntrevisionen über die vier Untersuchungszeiträume mit den erkannten Häufigkeitsverteilungen der pädiatrisch-stationären Aufnahmen gut übereinstimmen. Dies lässt unabhängig von einer ursächlichen Betrachtung zunächst die Schlussfolgerung zu, dass die geringere Anzahl der Shuntrevisionen im COVID-19 Zeitraum mit einer geringeren Anzahl an allgemein-pädiatrischen stationären Aufnahmen einhergeht.

4.2 Anlass der Shuntrevisionen und Hauptdiagnosen der pädiatrisch-stationären Aufnahmen

Gemäß den vorhandenen Ergebnissen bleibt die Anzahl der Unterdrainagen, Überdrainagen sowie Infektion / Wundheilungsstörungen über die vier Untersuchungszeiträume hinweg weitgehend konstant und zeigt keine statistisch signifikante Abweichung in ihrer Gesamtverteilung. Das lässt darauf schließen, dass die einzelne Subkategorie keinen signifikanten Einfluss auf die absolute Anzahl der Shuntrevisionen hat.

Die Anzahl der Shuntrevisionen mit Hinweis auf ein Infektgeschehen zeigt über die vier Untersuchungszeiträume hinweg eine signifikante Abweichung in ihrer Gesamtverteilung auf. Ebenfalls liegt eine signifikante Abweichung in der Anzahl der Shuntrevisionen mit Hinweis auf eine (systemische) infektassoziierte Shuntrevision über die vier Untersuchungszeiträume vor. Gleiches gilt für die Shuntrevisionen mit Hinweis auf eine Shuntinfektion / Wundheilungsstörung.

Die detaillierte Betrachtung der systemisch bedingten Shuntrevisionen nach Unterklassen zeigte, dass im Studienzeitraum im Vergleich zu den restlichen Untersuchungszeiträumen keine Shuntrevision mit Hinweis auf Infektion der oberen und unteren Atemwege sowie nicht näher definiertem Infekt auftrat. Dieses Ergebnis bestärkt die Hypothese, dass während COVID-19 das sonstige Infektgeschehen abnahm.

Eine nicht unmittelbar als infektassoziierte nachweisbare Indikation zur Shuntrevision kann eine Überdrainage sein. In der Literatur wird diskutiert, dass Valsalva-Manöver, die durch intermittierend intrakranielle Druckerhöhungen einen übermäßigen Liquorabfluss verursachen, solche Überdrainagen provozieren. [38] Somit könnten Husten, Schreien oder auch durch Erbrechen erzeugtes Pressen eine Überdrainage provozieren. Ob das geringere generelle Infektgeschehen somit auch zu der im Vergleich zu den anderen Perioden geringsten Anzahl an Überdrainagen im Untersuchungszeitraum beigetragen hat, bleibt fraglich, insbesondere da keine signifikante Abweichung in der Gesamtverteilung der Überdrainagen vorliegt. Es liegt wohl aber ein deutlicher Trend insbesondere im Vergleich zu den Unterdrainagen vor.

Die Anzahl der Unterdrainagen ging im Vergleich weniger stark zurück (siehe Tabelle 9). Das kann entweder damit zusammenhängen, dass die Symptomatik ausgeprägter war und somit das Kind eher vorgestellt wurde oder mit den zugrundeliegenden Ursachen, die nicht durch allgemeine Infekte bedingt waren (siehe 1.3.2).

Im Falle der Shuntrevisionen mit Hinweis auf Shuntinfektion / Wundheilungsstörung konnte bei einer näheren Betrachtung des Mikrobioms im Studienzeitraum nur in einem Fall ein *Staphylococcus aureus* nachgewiesen werden, in den Vergleichszeiträumen wurden dagegen in insgesamt 10 Fällen verschiedene Bakterien wie *Streptococcus mitis*, *Acinetobacter baumannii*, Enterokokken, *Staphylococcus epidermidis* und *Staphylococcus pettenkoferi* identifiziert.

Diese Ergebnisse müssen aber mit Vorsicht betrachtet werden, da gemäß Literatur Shuntinfektionen in der Regel kurz nach der Operation, mitunter aber auch Monate später auftreten und sie eine lebenslange Bedrohung darstellen. Über die Häufigkeit und die Ursachen von späten Shuntinfektionen ist gleichzeitig relativ wenig bekannt. Einer retrospektiven Studie von Vinchon et al zufolge macht der Anteil von Spätinfektionen (> 1 Jahr nach OP) circa 12,7% aller Shuntinfektionen aus. Als wichtigste Ursachen für solche Spätinfektionen wurde eine Peritonitis (meist aufgrund einer Appendizitis), hämatogene Übertragungen durch Pneumokokken oder Listerien und Darmperforationen beschrieben. Deutlich seltener wurde eine direkte Inokulation nach einem abdominalen Eingriff oder einer traumatischen Exposition des Shunts als Ursache identifiziert. In 25% der Fälle wurde die Persistenz eines Keims seit der letzten Shuntoperation als Grund vermutet. [39]

Ein erhöhtes Risiko für eine Shuntinfektion durch einen vorherigen zahnärztlichen Eingriff oder mangelnde Zahngesundheit wird in der Literatur ausgeschlossen. [40]

Eine weitere Studie zeigt auf, wie wichtig die umfassende mikrobiologische Diagnostik sein kann. Während die meisten Shuntinfektionen nur von einem Erreger (86%) ausgehen, konnten in einem publizierten Fallbeispiel des 33-jährigen VPS-Patienten, neben einem *Enterococcus casseliflavus* aus der CSF-Kultur zusätzlich vier weitere Erreger wie *Citrobacter werkmanii* in

der Kultur der Katheterspitze nachgewiesen werden. [41] Die klinischen Fälle dieser Arbeit umfassten keinen Fall, in dem mehrere Erreger nachgewiesen werden konnten. In den meisten Fällen wurden mehrere Kultur-Entnahmen untersucht.

Auch im Fall der pädiatrisch-stationären Aufnahmen fiel die Anzahl der Infekt-bezogenen Aufnahmen im Studienzeitraum gegenüber den drei Vergleichszeiträumen signifikant geringer aus. Während der Mittelwert der Infekt-bezogenen Aufnahmen in den drei Vergleichszeiträumen bei 1574 Aufnahmen lag, wurden im Studienzeitraum mit 900 Fällen zirka 43% weniger Infekt-bezogene Aufnahmen registriert. Die Anzahl der Aufnahmen mit Diagnose „Sonstige“ blieb in etwa gleich. Die Gesamtverteilung der pädiatrischen Aufnahmen hängt jedoch nicht signifikant von der Abnahme der Infekt-bezogenen Aufnahmen ab.

Im Detail zeigten sich beispielsweise signifikante Abweichungen der Infektionen der oberen und unteren Atemwege, des Nervensystems sowie der sonstigen Infektionen über die vier Untersuchungszeiträume für die in der vorliegenden Arbeit untersuchten pädiatrisch-stationären Aufnahmen.

Diese Erkenntnis ist im Einklang mit anderen Studien, die von einem signifikanten Rückgang von Infektionserkrankungen während der COVID-19 Pandemie berichten. [29, 31, 32]

Auffällig sind aber auch die Fallzahlen der Aufnahmen mit Harnwegsinfekt und Sepsis. In beiden Subkategorien wurden die meisten Fälle während der COVID-19 Pandemie erfasst, hierfür liegen jeweils signifikante Abweichungen vor.

Konträr zu diesen Ergebnissen berichtet eine amerikanische Studie über 33% weniger Harnwegsinfekte zu Beginn der Pandemie und über einen langsamen erneuten Wiederanstieg zu prä-pandemischen Fallzahlen im Verlauf. [42] Ebenfalls wird in der Literatur von der *COVID-19 Associate Cystitis* berichtet, die mit der vermehrten Expression von inflammatorischen Zytokinen zusammenhängen soll. [43] Den Anstieg der Fallzahlen allein hierdurch zu begründen erscheint jedoch fragwürdig.

Der Anstieg der Aufnahmen mit Sepsis erscheint ebenfalls verwunderlich, da wie bereits erwähnt, viele prädisponierende Grunderkrankungen in der Inzidenz während der COVID-19 Pandemie gefallen sind.

4.3 Typische Infektionswellen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde kein statistisch signifikanter jahreszeitlicher Bezug (Nicht-Grippe-/Grippe-Zeitraum) zur Inzidenz der Shuntrevisionen über die vier Untersuchungszeiträume ermittelt. Die erfassten Zahlen spiegeln für alle vier Untersuchungszeiträume sogar mehr Shuntrevisionen in den Nicht-Grippe-Perioden als in den Grippe-Zeiträumen wider. Dies steht im Widerspruch zu der Erwartung, dass die Inzidenz der Shuntrevisionen durch Grippeinfektionen erhöht werden sollte, ist unter Umständen aber durch eine zu geringe Datenmenge zu erklären. Eine weitere Erklärung könnte ein präventives Verhalten des gefährdeten Personenkreises sein, was zu Grippezeiten zu einer Meidung sozialer Kontakte führt und Ansteckungsgefahren senkt.

Ebenso lässt sich für die Gesamtverteilung der pädiatrisch-stationären Aufnahmen keine signifikante jahreszeitliche Verteilung über die vier Untersuchungszeiträume hinweg ablesen ($p = 0.477$). Gleiches gilt für die Fallzahlen der pädiatrisch-stationären Aufnahmen mit Hauptdiagnose „Infektion“ ($p = 0.108$).

Trotz fehlender statistischer Signifikanz lässt sich die omniprésente Theorie von jahreszeittypischen Infektionswellen mutmaßen. In allen Untersuchungszeiträumen zeigen sich mehr Fälle mit Hauptdiagnose „Infektion“ in den Grippe- als in den Nicht-Grippe-Zeiträumen. Gleichzeitig wurde im Studienzeitraum die geringste Anzahl von Infektionen - sowohl im Grippe- als auch Nichtgrippe-Zeitraum beobachtet, was in Einklang mit den beabsichtigten Konsequenzen der Schutzmaßnahmen steht.

4.4 Altersspezifische Verteilung

In Bezug auf die altersspezifische Gesamtverteilung der Shuntrevisionen zeigt sich keine signifikante Abweichung über die vier Untersuchungszeiträume hinweg. Nur speziell bei der Gruppe der Kleinkinder wurde eine signifikante Veränderung in der Anzahl der Shuntrevisionen festgestellt. Hier ist die Anzahl der Shuntrevisionen (19) im Studienzeitraum 47% geringer als die durchschnittliche Anzahl (36) der Shuntrevisionen in den Vergleichszeiträumen ($p = 0.038$).

Beim allgemeinpädiatrischen Datensatz zeigt sich hingegen eine starke Signifikanz und somit eine Veränderung der Gesamtverteilung über die vier Zeiträume hinweg. Ebenfalls konnte für jede Altersgruppe einzeln eine signifikante Veränderung der Anzahl der pädiatrischen Aufnahmen über die vier Zeiträume ermittelt werden.

Die Resultate des allgemeinpädiatrischen Datensatzes ähneln der vom Robert Koch-Institut im Februar 2021 veröffentlichten Studie. Diese beschreibt auf der Datenbasis aller bundesweit meldepflichtigen Infektionskrankheiten einen Rückgang von Infektionen im Zuge der COVID-19 Pandemie über alle Altersgruppen hinweg. Die Studie hebt gleichzeitig hervor, dass die Inzidenzen der 0 bis 4-Jährigen (-57%) und der 5 bis 14-Jährigen (-45%) im COVID-19 Zeitraum besonders niedrig gegenüber den zu erwartenden Infektionswerten waren. [26]

Damit lässt sich die These aufstellen, dass die Anzahl der Shuntrevisionen bei Kleinkindern signifikant geringer war, weil Kleinkinder - wie in der vom Robert Koch-Institut veröffentlichten Studie diskutiert - insgesamt weniger von Infektionskrankheiten während der COVID-19 Pandemie betroffen waren.

Die Studie basierend auf Daten der Kassenärztlichen Bundesvereinigung zeigt ebenfalls auf, dass während des ersten Lockdowns im Frühjahr 2020 in ambulanten Arztpraxen insbesondere bei ein- bis fünfjährigen Kindern deutlich weniger Infektionen diagnostiziert wurden und stützt somit Ergebnisse der Studie des Robert Koch-Instituts und untermauert gleichzeitig indirekt die zuvor aufgestellte These. [30]

5 Zusammenfassung - Schlussfolgerung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es zu ermitteln, ob und inwieweit die COVID-19 Pandemie auch zu einer geringeren Anzahl von Shuntrevisionen führte. Der Fragestellung lag die Hypothese zugrunde, dass die generell beobachtete verminderte Inzidenz der pädiatrischen Infektionserkrankungen auch zu einer signifikanten Verminderung der infektassoziierten Shuntrevisionen bei kindlichem Hydrozephalus führte.

Die Ergebnisse der Arbeit legen im Einklang mit anderen Studien nahe, dass der Rückgang der Shuntrevisionsrate im ersten Jahr der COVID-19 Pandemie mit einem gleichzeitigen Rückgang der allgemeinen Infektionsrate bei Kindern und Jugendlichen korreliert. Es wurden auf Basis von elektronischen Patientenakten von Kindern, die wegen einer Shuntrevision oder allgemeinpädiatrisch aufgenommen worden sind, 318 Shuntrevisionen und 13919 pädiatrische Fälle für vier Zeiträume - Studienzeitraum April 2020 bis März 2021, Kontrollzeiträume aus drei Vorjahren – ausgewertet.

Die Anzahl der Shuntrevisionen war im Studienzeitraum um 29% niedriger als im Durchschnitt der drei Kontrollperioden und war damit während der COVID-19 Pandemie deutlich niedriger als in der Zeit davor ($p = 0.061$). Es lässt sich hier aufgrund der Nähe zum Signifikanzniveau eine statistische Tendenz ableiten. Die Anzahl der Shuntrevisionen insgesamt hing statistisch gesehen über die vier Untersuchungszeiträume signifikant von der Präsenz der Shuntrevisionen mit Hinweis auf ein Infektgeschehen ab.

Dieser Sachverhalt korrelierte in Teilen mit der Datenlage der pädiatrischen Aufnahmen. Mit 2954 Aufnahmen war die Summe aller pädiatrisch stationären Aufnahmen im Studienzeitraum gegenüber den Kontrollperioden mit einem Mittelwert von 3555 Aufnahmen signifikant geringer ($p = 0.000$). Während der Mittelwert aus den Vergleichsperioden für die Infekt-bezogenen Aufnahmen bei 1574 Aufnahmen lag, wurden im Studienzeitraum mit 900 Fällen zirka 43% weniger Infekt-bezogene Aufnahmen registriert ($p = 0.000$). Die Anzahl von systemisch bedingten Shuntrevisionen, die im Zusammenhang mit Infekten der oberen und unteren Atemwege, des Gastrointestinaltrakts, Nervensystems sowie mit nicht näher definierten Infekten einhergingen, war im Studienzeitraum am geringsten. Dieser Zusammenhang zeigte sich weitestgehend auch bei den Infekt-bedingten pädiatrisch-stationären Aufnahmen. Eine detaillierte altersspezifische Auswertung der Shuntrevisionen wies auf keine signifikanten Abweichungen in der Gesamtverteilung hin. Lediglich im Fall der Altersgruppe Kleinkinder konnte in der alleinigen Betrachtung eine signifikante geringere Anzahl von Shuntrevisionen im Studienzeitraum gegenüber den Vergleichsperioden identifiziert werden.

Ein statistisch signifikanter jahreszeitlicher Bezug (Nicht-Grippe-/Grippe-Zeitraum) zur Inzidenz der Shuntrevisionen wurde über die vier Untersuchungsperioden entgegen den

Erwartungen nicht ermittelt. Auch die Gesamtverteilung der pädiatrisch-stationären Aufnahmen und die Fallzahlen der pädiatrisch-stationären Aufnahmen mit Hauptdiagnose „Infektion“ zeigten keine signifikante jahreszeitlich-abhängige Verteilung über die vier Untersuchungszeiträume. Gleichzeitig wurde im Studienzeitraum die geringste Anzahl von Infektionen – sowohl im Grippe- als auch Nichtgrippe-Zeitraum beobachtet, was im Einklang mit den beabsichtigten Konsequenzen der Schutzmaßnahmen ist.

Mit Blick in die Zukunft lässt sich vermuten, dass ein präventives, kontaktvermeidendes Verhalten sowie Regulationen und *Public-Health*-Maßnahmen wie Kontaktbeschränkungen, Hygienekonzepte, Maskenregelungen, Schul- und Kitaschließungen zu einer signifikanten Verminderung von infektassoziierten Shuntrevisionen bei kindlichem Hydrozephalus führen sollten. Es wären weitere Studien zur statistischen Absicherung der Schlussfolgerungen wertvoll.

6 Literatur- und Quellenverzeichnis

6.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eckpunkte der Untersuchungszeiträume	20
Tabelle 2: Altersspezifische Verteilung	20
Tabelle 3: Klassifizierung der allgemeinpädiatrischen Infektionen als Hauptdiagnose	21
Tabelle 4: Klassifizierung der Ätiologien des Hydrozephalus	22
Tabelle 5: Klassifizierung der Indikationen der Shuntrevision	22
Tabelle 6: Klassifizierung der Shuntrevision	23
Tabelle 7: Klassifizierung der systemischen Infektionen	23
Tabelle 8: Altersspezifische Verteilung bei Shuntrevisionen – Chi ² -Test	27
Tabelle 9: Prozentuale Verteilung der Indikationen zur Shuntrevision in den jeweiligen Zeiträumen & Odds Ratio	28
Tabelle 10: Anlass der Shuntrevisionen - Chi ² -Test	28
Tabelle 11: Kategorisierung der Fälle mit Hinweis auf eine (systemisch) infektassoziierte Shuntrevision	30
Tabelle 12: Mikrobiologie der Fälle mit Hinweis auf Shuntinfektion / Wundheilungsstörung	30
Tabelle 13: Altersspezifische Verteilung bei pädiatrischen Aufnahmen – Chi ² -Test	34
Tabelle 14: Klassifizierung der Fälle mit Hauptdiagnose "Infektion"	35

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Allgemeine Inzidenzen der Shuntrevisionen	25
Abb. 2: Jahreszeitlicher Bezug bei Shuntrevisionen	26
Abb. 3: Altersspezifische Verteilung bei Shuntrevisionen	27
Abb. 4: Verteilung der Shuntrevisionen mit Hinweis auf Infektgeschehen	29
Abb. 5: Inzidenzen der pädiatrisch-stationären Aufnahmen	31
Abb. 6: Pädiatrisch-stationäre Aufnahmen nach Hauptdiagnose	32
Abb. 7: Jahreszeitlicher Bezug bei pädiatrisch-stationären Aufnahmen	33
Abb. 8: Altersspezifische Verteilung bei pädiatrisch-stationären Aufnahmen	34
Abb. 9: Häufigkeitsverteilungen	36

6.3 Literaturverzeichnis

1. Martina Messing-Jünger, Simon Wirth, Friedrich Herrmann (2023) 28th Congress of the European Society for Pediatric Neurosurgery (ESPN) Rome-Italy, 7-10 May 2023, Abstract - OP029: The influence of the Covid-19 pandemic on the shunt revision rate. *Childs Nerv Syst* (5):1378. doi:10.1007/s00381-023-05873-9
2. Isaacs AM, Riva-Cambrin J, Yavin D, Hockley A, Pringsheim TM, Jette N, Lethebe BC, Lowerison M, Dronyk J, Hamilton MG (2018) Age-specific global epidemiology of hydrocephalus: Systematic review, metanalysis and global birth surveillance. *PLoS One* 13(10). doi:10.1371/journal.pone.0204926
3. Muir RT, Wang S, Warf BC (2016) Global surgery for pediatric hydrocephalus in the developing world: a review of the history, challenges, and future directions. *Neurosurg Focus* 41(5):E11. doi:10.3171/2016.7.FOCUS16273
4. Chi JH, Fullerton HJ, Gupta N (2005) Time trends and demographics of deaths from congenital hydrocephalus in children in the United States: National Center for Health Statistics data, 1979 to 1998. *J Neurosurg* 103(2 Suppl):113–118. doi:10.3171/ped.2005.103.2.0113
5. Brentrup A (2021) Hydrozephalus. In: Schirmer M (Hrsg) *Neurochirurgie*, 11. Aufl. Elsevier, München, S 239–247
6. Ferris E, Kynaston J, Dalle DU, Ng YJ, Leahy P, Hassan U, Bandyopadhyay S (2024) The etiology of pediatric hydrocephalus across Asia: a systematic review and meta-analysis. *J Neurosurg Pediatr*:1–11. doi:10.3171/2023.11.PEDS23389
7. Rekatte HL (2023) Classifications of hydrocephalus based on Walter Dandy and his paradigm. *Childs Nerv Syst* 39(10):2701–2708. doi:10.1007/s00381-023-06131-8
8. Heidi Bächli, Jürg Lütschg, Martina Messing-Jünger (2018) *Pädiatrische Neurochirurgie*. Springer Verlag, Berlin, S. 246-250
9. Dr. med. habil. Beez, Thomas (2017) *Liquorshunts in der Therapie des kindlichen Hydrozephalus*. Habilitationsschrift zur Erlangung der Venia Legendi für das Fach Neurochirurgie der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, S. 12-13 urn:061-20181219-114638-2
10. Robinson S (2012) Neonatal posthemorrhagic hydrocephalus from prematurity: pathophysiology and current treatment concepts. *J Neurosurg Pediatr* 9(3):242–258. doi:10.3171/2011.12.PEDS11136.

11. Eymann R (2012) Klinische Symptome des Hydrozephalus. *Radiologe* 52(9):807–812. doi:10.1007/s00117-012-2327-y
12. Oi S, Shimoda M, Shibata M, Honda Y, Togo K, Shinoda M, Tsugane R, Sato O (2000) Pathophysiology of long-standing overt ventriculomegaly in adults. *J Neurosurg* 92(6):933–940. doi:10.3171/jns.2000.92.6.0933
13. Zielińska D, Rajtar-Zembaty A, Starowicz-Filip A (2017) Cognitive disorders in children's hydrocephalus. *Neurol Neurochir Pol* 51(3):234–239. doi:10.1016/j.pjnns.2017.02.001
14. Lindquist B, Carlsson G, Persson E-K, Uvebrant P (2005) Learning disabilities in a population-based group of children with hydrocephalus. *Acta Paediatr* 94(7):878–883. doi:10.1111/j.1651-2227.2005.tb02005.x
15. Yamada S (2021) Cerebrospinal fluid dynamics. *Croat Med J* 62(4):399–410. doi:10.3325/cmj.2021.62.399.
16. Zhang J, Qu C, Wang Z, Wang C, Ding X, Pan S, Ji Y (2009) Improved ventriculoatrial shunt for cerebrospinal fluid diversion after multiple ventriculoperitoneal shunt failures. *Surg Neurol*:S29-33; discussion S33-4. doi:10.1016/j.surneu.2008.03.040
17. Thomale U-W, Gebert AF, Haberl H, Schulz M (2013) Shunt survival rates by using the adjustable differential pressure valve combined with a gravitational unit (proGAV) in pediatric neurosurgery. *Childs Nerv Syst* 29(3):425–431. doi:10.1007/s00381-012-1956-9
18. Pudenz RH, Foltz EL (1991) Hydrocephalus: overdrainage by ventricular shunts. A review and recommendations. *Surg Neurol* 35(3):200–212. doi:10.1016/0090-3019(91)90072-H
19. Chari A, Czosnyka M, Richards HK, Pickard JD, Czosnyka ZH (2014) Hydrocephalus shunt technology: 20 years of experience from the Cambridge Shunt Evaluation Laboratory. *J Neurosurg* 120(3):697–707. doi:10.3171/2013.11.JNS121895
20. Kim HS, Lee SU, Cha JH, Heo W, Song JS, Kim SJ (2015) Clinical Analysis of Results of Shunt Operation for Hydrocephalus Following Traumatic Brain Injury. *Korean J Neurotrauma* 11(2):58–62. doi:10.13004/kjnt.2015.11.2.58
21. Asklepios Kinderklinik Sankt Augustin, standardisierter und anonymisierter OP-Bericht
22. Stone JJ, Walker CT, Jacobson M, Phillips V, Silberstein HJ (2013) Revision rate of pediatric ventriculoperitoneal shunts after 15 years. *J Neurosurg Pediatr* 11(1):15–19. doi:10.3171/2012.9.PEDS1298

23. Tervonen J, Leinonen V, Jääskeläinen JE, Koponen S, Huttunen TJ (2017) Rate and Risk Factors for Shunt Revision in Pediatric Patients with Hydrocephalus-A Population-Based Study. *World Neurosurg* 101:615–622. doi:10.1016/j.wneu.2017.02.030
24. Ros B, Iglesias S, Linares J, Cerro L, Casado J, Arráez MA (2021) Shunt Overdrainage: Reappraisal of the Syndrome and Proposal for an Integrative Model. *J Clin Med* 10(16). doi:10.3390/jcm10163620
25. Browd SR, Ragel BT, Gottfried ON, Kestle JRW (2006) Failure of cerebrospinal fluid shunts: part I: Obstruction and mechanical failure. *Pediatr Neurol* 34(2):83–92. doi:10.1016/j.pediatrneurol.2005.05.020
26. Eymann R, Steudel W-I, Kiefer M (2009) Infection rate with application of an antibiotic-impregnated catheter for shunt implantation in children - a retrospective analysis. *Klin Padiatr* 221(2):69–73. doi:10.1055/s-0028-1119397
27. Claudio Yampolsky, Pablo Ajler (2012) Schmidek and Sweet Operative Neurosurgical Techniques. Chapter 97 - Management of Shunt Infections. S. 1151-1155. Elsevier
28. Vinchon M, Dhellemmes P (2006) Cerebrospinal fluid shunt infection: risk factors and long-term follow-up. *Childs Nerv Syst* 22(7):692–697. doi:10.1007/s00381-005-0037-8
29. Schranz M, Ullrich A, Rexroth U, Hamouda O, Schaade L, Diercke M, Boender S (2021) Die Auswirkungen der COVID-19-Pandemie und assoziierter Public-Health-Maßnahmen auf andere meldepflichtige Infektionskrankheiten in Deutschland (MW 1/2016 – 32/2020). doi:10.25646/8011
30. Barschkett M, Spieß CK (2021) Kindergesundheit im ersten Corona-Lockdown: Weniger Behandlungsfälle und weniger Diagnosen von Infektionen. *Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung* doi: 10.18723/diw_wb:2021-16-1
31. Middeldorp M, van Lier A, van der Maas N, Veldhuijzen I, Freudenburg W, van Sorge NM, Sanders EAM, Knol MJ, Melker HE de (2021) Short term impact of the COVID-19 pandemic on incidence of vaccine preventable diseases and participation in routine infant vaccinations in the Netherlands in the period March-September 2020. *Vaccine* 39(7):1039–1043. doi:10.1016/j.vaccine.2020.12.080
32. Brueggemann AB, van Jansen Rensburg MJ, Shaw D et al (2021) Changes in the incidence of invasive disease due to *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae*, and *Neisseria meningitidis* during the COVID-19 pandemic in 26 countries and territories in the Invasive Respiratory Infection Surveillance Initiative: a prospective analysis of surveillance data. *Lancet Digit Health* 3(6):e360-e370. doi:10.1016/S2589-7500(21)00077-7

33. Favoretto MH, Mitre EI, Vianna MF, Lazarini PR (2022) The impact of COVID-19 pandemic on acute otitis media among the pediatric population. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 153:111009. doi:10.1016/j.ijporl.2021.111009
34. Laxpati N, Bray DP, Wheelus J, Hamilton K, Boydston W, Reisner A, Sawvel M, Chern JJ (2021) Unexpected Decrease in Shunt Surgeries Performed during the Shelter-in-Place Period of the COVID-19 Pandemic. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* 20(5):469–476. doi:10.1093/ons/opaa461
35. Soon WC, Herbert K, Rodrigues D, Gallo P, Solanki GA, Walsh AR, Lo WB (2021) Letter: Unexpected Decrease in Shunt Surgeries Performed During the Shelter-in-Place Period of the COVID-19 Pandemic. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* 21(4):E401-E402. doi:10.1093/ons/opab245
36. Laxpati NG, Chern JJ (2021) In Reply: Unexpected Decrease in Shunt Surgeries Performed During the Shelter-in-Place Period of the COVID-19 Pandemic. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* 21(4):E403-E405. doi:10.1093/ons/opab255
37. Hallan DR, Rizk E (2022) COVID-19 and Ventricular Shunt Revisions. *Cureus* 14(7):e27059. doi:10.7759/cureus.27059
38. Koueik J, Iskandar BJ, Yang Z, Kraemer MR, Armstrong S, Wakim V, Broman AT, Medow J, Luzzio C, Hsu DA (2021) Ventriculoperitoneal Shunt Drainage Increases With Gravity and Cerebrospinal Fluid Pressure Pulsations: Benchtop Model. *Neurosurgery* 89(6):1141–1147. doi:10.1093/neuros/nyab336
39. Vinchon M, Lemaitre M-P, Vallée L, Dhellemmes P (2002) Late shunt infection: incidence, pathogenesis, and therapeutic implications. *Neuropediatrics* 33(4):169–173. doi:10.1055/s-2002-34490
40. Moazzam AA, Nehrer E, Da Silva SL, Polido JC, Arakelyan A, Habibian M, Krieger MD (2014) The association between dental health and procedures and developing shunt infections in pediatric patients. *J Neurosurg Pediatr* 14(5):508–513. doi:10.3171/2014.8.PEDS1444
41. Shihadeh OM, Amin H, Hammadi F (2023) Multiple rare organisms causing ventriculoperitoneal shunt infection and brain abscess. *Qatar Med J* 2023(1):7. doi:10.5339/qmj.2023.7
42. Liang D, Wang ME, Dahlen A, Liao Y, Saunders AC, Coon ER, Schroeder AR (2024) Incidence of Pediatric Urinary Tract Infections Before and During the COVID-19 Pandemic. *JAMA Netw Open* 7(1):e2350061. doi:10.1001/jamanetworkopen.2023.50061

43. Lamb LE, Dhar N, Timar R, Wills M, Dhar S, Chancellor MB (2020) COVID-19 inflammation results in urine cytokine elevation and causes COVID-19 associated cystitis (CAC). *Med Hypotheses* 145:110375. doi:10.1016/j.mehy.2020.110375

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde auf Anregung und unter Anleitung von Frau Prof. Dr. med. Messing-Jünger in der Kinderneurochirurgie der Asklepios - Kinderklinik Sankt Augustin und unter Co-Betreuung von Herrn Prof. Dr. med Thomas Beez, Leiter der Kinderneurochirurgie der Klinik für Neurochirurgie an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, angefertigt.

Frau Prof. Dr. med. Messing-Jünger möchte ich für ihr reges Interesse und ihre Teilnahme am Fortschritt der Arbeit, für zahlreiche fachliche Diskussionen und hilfreiche Hinweise herzlich danken.

Herr Dr. med. Friedrich Herrmann (Asklepios - Kinderklinik Sankt Augustin) danke ich für seine Unterstützung durch Bereitstellung der allgemeinpädiatrischen Daten.

Herrn Prof. Dr. med Thomas Beez danke ich für die Übernahme des Korreferats.