

Universitätsklinik für Urologie Tübingen

„Nephrolithiasis der unteren Kelchgruppe – Klinische
Ergebnisse beim Einsatz von flexiblen single-use und re-
useable Ureterorenoskopen im Vergleich zur perkutanen
Nephrolitholapaxie“

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Reeb, Alexander

2025

Dekan: Prof. Dr. Bernd Pichler

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Steffen Rausch

2. Berichterstatter: PD Dr. Dörte Wichmann

(ggf. 3. Berichterstatter:)

Tag der Disputation: 23.09.2025

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	3
Abkürzungsverzeichnis	5
1 Einleitung	6
1.1 Uro- und Nephrolithiasis	6
1.1.1 Anatomie des harnableitenden Systems	6
1.1.2 Pathogenese von Nierensteinen	7
1.1.3 Epidemiologie	9
1.1.4 Zusammensetzung von Nierensteinen	11
1.1.5 Diagnostik von Nierensteinen	11
1.1.6 Therapie von Nierensteinen	14
1.2 Fragestellung/Arbeitshypothese	22
2 Material und Methoden	23
2.1 Patientenkollektiv	23
2.1.1 Einschlusskriterien	23
2.1.2 Ausschlusskriterien	23
2.1.2 Statistische Analyse	24
2.2 Dokumentation der erhobenen Daten	24
2.3 Verwendung von Software	25
2.4 Datenschutz	25
2.5 Ethikvotum	26
3 Ergebnisse	27
3.1 Deskriptive Beschreibung des Patientenkollektivs	27
3.2 Statistische Auswertungen	39
3.2.1 Vergleich der endoskopischen Steinfreiheitsrate in Abhängigkeit des jeweiligen Verfahrens	39
3.2.2 Vergleich der mittleren Steingröße des Unterpolkonkrementes zwischen m-PCNL und f-URS	39
3.2.3 Mittlere Steingröße in Abhängigkeit des Ausbildungsstands des Operateurs	40

3.2.4	Vergleich der Schwächung der Röntgenstrahlung im Nativ-CT zwischen m-PCNL und f-URS _____	42
	Mittlere Schwächung der Röntgenstrahlung im Nativ-CT _____	42
3.2.5	Mittlere Steingröße des Unterpolkonkrementes bei single-use f-URS und re-useable f-URS _____	42
3.2.6	Vergleich des Einsatzes von Hilfsmitteln zur Steindesintegration von Konkrementen zwischen single-use und re-useable f-URS _____	43
3.2.7	Vergleich der mittleren Operationsdauer zwischen m-PCNL und f-URS _____	44
3.2.8	Vergleich der mittleren Operationsdauer in Abhängigkeit vom Ausbildungsstand des Operateurs _____	44
3.2.9	Vergleich der mittleren Operationsdauer zwischen single-use und re-useable f-URS _____	45
3.2.10	Vergleich der mittleren Operationsdauer zwischen single-use und re-useable f-URS nur bei Unterpolkonkrement _____	46
3.2.11	Vergleich der mittleren Operationsdauer in Abhängigkeit des jeweiligen Verfahrens _____	47
3.3	Krankenhausverweildauer in Abhängigkeit des Operationsverfahrens _____	49
3.4	Auftreten von Komplikationen innerhalb von 30 Tagen _____	49
3.4.1	Auftreten von Komplikationen in Abhängigkeit des jeweiligen Verfahrens _____	50
3.4.2	Art der Komplikationen _____	51
3.4.3	Klassifikation der aufgetreten Komplikationen nach Clavien-Dindo innerhalb von 30 Tagen _____	52
3.4.4	Einfluss von Thrombozytenfunktionshemmung und Einnahme von oraler Antikoagulation auf die Komplikationsrate _____	53
3.3.4	Vergleich der laborchemischen postoperativen Veränderungen zwischen m-PCNL und f-URS _____	53
4	Diskussion _____	55
4.1	Diskussion der Ergebnisse _____	55
4.1.1	Epidemiologische Daten des Kollektivs _____	55
4.1.2	Charakteristika der Nierensteine _____	55
4.1.3	Diskussion der operativen Daten _____	57
4.2	Diskussion der Komplikationen _____	61

4.2.1	Auftreten von Komplikationen _____	61
4.2.2	Diskussion single use vs. re-useable Ureterorenoskope _____	62
4.3	Limitationen der Arbeit und Diskussion der Methoden _____	64
4.4	Ausblick _____	64
5	Zusammenfassung _____	66
6	Literaturverzeichnis _____	68
7	Erklärung zum Eigenanteil _____	77
8	Ggf. Veröffentlichungen _____	
9	Lebenslauf _____	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Setting einer PCNL sowie Darstellung eines Konkrements des Nierenbeckenkelchsystems in der Sonographie.....	18
Abbildung 2: Therapieempfehlungen bei Nierensteinen der unteren Kelchgruppe (mod. nach Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Urologie (2018)).....	21
Abbildung 3- Deskriptive Darstellung der Verteilung der Serumnatriumkonzentration in mmol/l	31
Abbildung 4 – Deskriptive Darstellung der Verteilung der Serumkaliumkonzentration in mmol/l.....	31
Abbildung 5 -Deskriptive Darstellung der Verteilung der Serumchloridkonzentration in mmol/l	32
Abbildung 6 – Deskriptive Darstellung der Verteilung der Serumcalciumkonzentration in mmol/l.....	32
Abbildung 7: Deskriptive Darstellung der Abschwächung der Röntgenstrahlung der Konkremente in Hounsfield Einheiten (HU).....	34
Abbildung 8: Deskriptive Darstellung des Hauptanteils in der Steinanalyse.....	35

Abbildung 9: Deskriptive Darstellung der Häufigkeit des Einsatzes von Hilfsmitteln zur Steinentfernung und Steindesintegration	37
Abbildung 10: Deskriptive Darstellung der Verwendung von Hilfsmitteln zur Steindesintegration in Abhängigkeit vom jeweiligen gewählten Verfahren.....	38
Abbildung 11 - Mittlere Steingröße abhängig vom Ausbildungsstand des Operateurs (Kruskal-Wallis-Test)	41
Abbildung 12: Darstellung Operationsdauer der verschiedenen Verfahren im Vergleich des Gesamtkollektivs (n=375, Kruskal-Wallis Test).....	47
Abbildung 13: Darstellung der Operationsdauer in Minuten der verschiedenen Verfahren bei Patienten mit ausschließlich vorliegendem Unterpolkonkrement (n=178; Kruskal-Wallis Test)	48
Abbildung 14: Deskriptive Darstellung des Auftretens von Komplikationen nach Clavien-Dindo.....	49
Abbildung 15: Deskriptive Darstellung der Häufigkeit der aufgetreten Komplikationen mit Klassifikation nach Clavien-Dindo	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 – Charakteristika der Patientenkohorte.....	27
Tabelle 2 – weitere Patientencharakteristika	28
Tabelle 3 - Laborchemische Patientencharakteristika (Referenzwerte in Klammern).....	29
Tabelle 4 - Charakteristika der Nierensteine	33
Tabelle 5 - Operative Daten	36
Tabelle 6 - Vergleich der endoskopischen Steinfreiheitsraten der jeweiligen Verfahren (Chi-Quadrat-Test).....	39
Tabelle 7 - Vergleich der Größe der Konkremente der jeweiligen Verfahren (t-Test)	40
Tabelle 8 - Gegenüberstellung der mittleren Steingröße in Abhängigkeit vom Ausbildungsstand des Operateurs (Kruskal-Wallis-Test)	40
Tabelle 10 - Mittlere Schwächung der Röntgenstrahlung für die verschiedenen Verfahren (Mann-Whitney-U-Test)	42

Tabelle 9 - Vergleich der Größe der Konkreme für die verschiedenen Instrumente der flexiblen Ureterorenoskopie (t-Test)	43
Tabelle 11 - Gegenüberstellung der Häufigkeit der Anwendung von Hilfsmitteln zur Steindesintegration (t-Test)	43
Tabelle 12 - Gegenüberstellung der mittleren Operationsdauer der jeweiligen Verfahren (t-Test)	44
Tabelle 13 - Vergleich der mittleren Operationsdauer in Minuten abhängig vom Ausbildungsstand des Operateurs (Kruskal-Wallis-Test)	44
Tabelle 14 - Vergleich der mittleren Operationsdauer in Minuten für verschiedene Instrumente der flexiblen Ureterorenoskopie (t-Test)	45
Tabelle 15 - Vergleich der mittleren Operationsdauer in Minuten bei nur vorliegendem Konkrement der unteren Kelchgruppe für verschiedene Instrumente der flexiblen Ureterorenoskopie (t-Test)	46
Tabelle 16 - Vergleich der mittleren Krankenhausverweildauer der jeweiligen OP-Verfahren (t-Test)	49
Tabelle 17 - Häufigkeit des Auftretens von Komplikationen und Vergleich des Anteils an Komplikationen für die jeweiligen OP-Verfahren (Chi-Quadrat-Test)	50
Tabelle 18 - Häufigkeit und Art der spezifischen Komplikationen während des stationären Aufenthalts	51
Tabelle 19 - Häufigkeit und Art der spezifischen Komplikationen die eine stationäre Wiederaufnahme innerhalb von 30 Tagen erforderten	52
Tabelle 20 - Vergleich des mittleren Abfalls des Hämoglobinwerts für die jeweiligen Verfahren (Mann-Whitney-U-Test)	54

Abkürzungsverzeichnis

ICD = International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems

OPS = Operations- und Prozedurenschlüssel

NCCT = non-contrast Computer-Tomographie

ESWL = Extrakorporale Stoßwellenlithotripsie

URS = Ureterorenoskopie

f-URS = flexible Ureterorenoskopie

PCNL = perkutane Nephrolitholopaxie

m-PCNL = mini oder miniaturisierte perkutane Nephrolitholopaxie

Ch = Charrière

NSAID = Nicht-steroidale Anti-inflammatorische Drugs / Medikamente#

SD = Standard deviation bzw. Standardabweichung

IQR = Interquartilabstand

DOAK = Direkte orale Antikoagulation

HU = Hounsfield Einheiten

1 Einleitung

1.1 Uro- und Nephrolithiasis

Die Urolithiasis bezeichnet das Vorkommen von kristallinen Ablagerungen im Bereich der ableitenden Harnwege. Es können Ablagerungen in der Harnblase, in den proximalen und distalen Anteilen des Harnleiters und im Nierenbeckenkelchsystem entstehen. Der Begriff Nephrolithiasis (ICD: N20.0; griechisch: nephrós = Niere, líthos=Stein) beschreibt das Vorkommen dieser Ablagerungen im Nierenbeckenkelchsystem.

1.1.1 Anatomie des harnableitenden Systems

Das harnableitende System besteht aus den paarig angelegten Nieren, Ureteren, der Harnblase und der Urethra. Die beiden Nieren liegen beidseits primär retroperitoneal entlang der Wirbelsäule etwa auf Höhe von Brustwirbelkörper 12 bis Lendenwirbelkörper 2-3. Sie sind etwa 10-12 cm lang, 5-6 cm breit und 3-4 cm dick und wiegen jeweils etwa 150-180 g (Aumüller et al., 2020). Es wird zwischen Nierenparenchym und dem Nierenbeckenkelchsystem unterschieden. Das Nierenparenchym gliedert sich in Nierenrinde, welche die Glomeruli und Nierengefäße enthält, und das Nierenmark, welches hauptsächlich aus dem Tubulussystem und den Sammelrohren besteht. Das Nierenbeckenkelchsystem fängt den Harn aus den Markpyramiden auf und leitet ihn anschließend nach kaudal in die beiden Ureteren ab. Es besteht aus kleinen Nierenkelchen (Calices renales minores), die in 2-3 Hauptkelche (Calices renales majores) münden, welche wiederum in das Nierenbecken (Pelvis renalis) münden (Aumüller et al., 2020). Vom Nierenhilum ausgehend beginnen die Ureteren, die sich über 25-30 cm erstrecken und das Nierenbecken mit der Harnblase verbinden. Sie haben etwa

einen Durchmesser von 0,5cm und transportieren den Harn mittels peristaltischer Wellen. Sie münden beidseits dorsal in die Harnblase ein. Die Harnblase dient der Speicherung von Harn. Sie liegt extra- bzw. präperitoneal im kleinen Becken und ist ein muskuläres Hohlorgan. Die Urethra ist die Verbindung der Harnblase zur Außenwelt. Sie ist beim Mann durch den Verlauf durch die Prostata und den Penis mit circa 20 cm deutlich länger als bei der Frau (Aumüller et al., 2020).

1.1.2 Pathogenese von Nierensteinen

Die genaue Entstehung von Nierensteinen ist noch nicht vollständig verstanden (Mager and Neisius, 2019). Sie wird häufig durch die Ablagerung von kristallinen Substanzen initiiert (Moe, 2006). Eine Voraussetzung hierfür ist, dass es zur Übersättigung des Harns durch einer im Harn vorkommenden Substanz kommt (Coe, 2005). Je höher die Konzentration dieser kristallbildenden Substanz im Harn ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass es zur Bildung von Kristallen kommt (Coe, 2005). Ist es zur Bildung eines kleineren Kristalls gekommen, verselbstständigt sich dieser Prozess häufig und es kommt zum Wachstum der Kristallstrukturen (Parmar, 2004). Der menschliche Harn besteht aus vielen niedrig- und hochmolekularen Stoffen, die ihrerseits unterschiedliche Wirkung auf das Kristallisationsverhalten von Substanzen haben. So begünstigt das Absinken von niedrigmolekularen und hochmolekularen Hemmstoffen (z.B. Citrat, Pyrophosphat, Phosphocitrat und Tamm-Horsfall-Protein) die Bildung von Nierensteinen (Parmar, 2004, Worcester and Coe, 2008). Beim Auftreten einer Oligurie (bei Erwachsenen entspricht dies einer Harnproduktion von weniger als 500 ml in 24 Stunden), beispielsweise durch geringere Flüssigkeitszufuhr oder erhöhten Flüssigkeitsverlust wie durch starkes Schwitzen oder Diarrhoe, wird der zuvor beschriebene Prozess weiter gefördert (Moe, 2006). Bei einer Abnahme des Urinvolumens bzw. Anti-Diurese kommt es zur weiteren Konzentrierung des Harns und folglich zur Manifestation einer Übersättigung oder dem

Fortschreiten (Moe, 2006). Neben den verschiedenen Faktoren der Harnzusammensetzung spielen allgemeine Prädispositionsfaktoren eine große Rolle in der Entstehung eines Nierensteinleidens. Hierbei sind als führende Faktoren für die Entstehung eines Steinleidens der moderne westliche Lebensstil, Übergewicht bzw. Adipositas und Ernährungsgewohnheiten zu nennen (Curhan et al., 1993, Curhan et al., 1996, Maalouf et al., 2004, Meschi et al., 2004, Ramey et al., 2004, Taylor and Curhan, 2004). An metabolischen Einflussfaktoren ist vor allem die idiopathische Hyperkalziurie zu nennen, welche mit 30-60% die häufigste metabolische Veränderung Patientinnen und Patienten mit Nierensteinen ist (Sakhaee et al., 2012, Pak, 1998, Pak et al., 1980). Pathophysiologisch spielen mehrere Vorgänge eine wichtige Rolle. Es kommt zur gesteigerten intestinalen Adsorption von Calcium, zur gesteigerten Mobilisierung von ossärem Calcium und verringerten Reabsorption von renalem Calcium (Sakhaee et al., 2012, Sakhaee et al., 2011, Sutton and Walker, 1980, Pak et al., 2011). Als zweithäufigste metabolische Veränderung ist die Hyperurikosurie mit etwa 10-40% zu nennen (Preminger, 1992, Sakhaee et al., 2012). Ein wesentlicher Einflussfaktor dieser metabolischen Veränderung ist eine Ernährung, die reich an Purinen ist (Coe, 1978). Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor ist der pH-Wert des Urins, welcher die Löslichkeit von Stoffen beeinflusst und somit bei Veränderung des pH-Werts die Entstehung von Nierensteinen begünstigen kann (Sakhaee et al., 2012). So führt eine deutliche Erniedrigung des pH-Werts im Urin zu einer Übersättigung mit endogener Harnsäure und kann so das Auftreten von Calciumoxalat-Steinen begünstigen (Pak and Arnold, 1975). Hingegen kommt es bei übermäßig alkalischem Harn zur Zunahme von Monohydrogenphosphat, das in Verbindung mit Calcium zu Brushit und später zu Hydroxylapatit wird (Pak et al., 2003, Parks et al., 2004, Sakhaee et al., 2012). Aber auch anatomische Varianten bzw. Veränderungen wie beispielsweise eine Hufeisenniere oder eine Engstelle des Ureterabgangs können unter gewissen Umständen die Entstehung von Nierensteinen begünstigen (Gambaro et al., 2006).

1.1.3 Epidemiologie

Die Nephrolithiasis ist eine Erkrankung, die über die letzten Jahrzehnte weltweit mit zunehmender Prävalenz stetig auf dem Vormarsch ist (Raheem et al., 2017). Die Inzidenz und Prävalenz von Nierensteinen erscheinen abhängig von genetischen Faktoren, Ernährungsgewohnheiten und Umgebungsbedingungen zu sein (Pak, 1998). Auch in Deutschland ist über den Verlauf der letzten Jahrzehnte die Prävalenz deutlich gestiegen. So lag die Prävalenz in Deutschland für beide Geschlechter 1979 bei 4,0% und ist im Jahre 2001 auf 4,7% gestiegen (Hesse et al., 2003). Neuere Untersuchungen aus den Vereinigten Staaten von Amerika im Zeitraum von 2007 bis 2010 berichten eine Prävalenz von 8,4 % nach Adjustierung der Population (Scales et al., 2012). Betrachtet man Frauen und Männer getrennt, so zeigt sich eine deutlich höhere Prävalenz von Nierensteinen bei Männern (5,51% vs. 4,02%)(Hesse et al., 2003). Dieser Unterschied zwischen den Geschlechtern wurde auch in weiteren Studien bestätigt, so betrug die Prävalenz in den Vereinigten Staaten von Amerika in den Jahren 2007-2010 bei Männern 10,6 % und bei Frauen 7,1% (Scales et al., 2012). Der Unterschied in der Prävalenz bei beiden Geschlechtern scheint in den letzten Jahren abzunehmen. So lag die Prävalenz von Nierensteinen in den Vereinigten Staaten von Amerika von 2017-2018 für Männer bei 10,9% und für bei Frauen bei 9,5% (Abufaraj et al., 2021). Zudem scheint die Prävalenz eines Steinleidens altersabhängig zu sein(Scales et al., 2012). Es zeigte sich in mehreren Untersuchungen eine deutliche Zunahme von Nierensteinen ab einem Alter von 50 Jahren (Hesse et al., 2003, Scales et al., 2012, Romero et al., 2010). So war bei Männern zwischen 50 und 64 Jahren die Prävalenz bei 9,7%, hingegen bei Frauen der gleichen Altersklasse bei 5,9% (Hesse et al., 2003). Die Inzidenz der Nephrolithiasis betrug im Jahre 2000 in Deutschland etwa 1,47%. Lag die Inzidenz 1979 noch bei 0,54%, so hat sie sich bis ins Jahr 2000 annähernd verdreifacht. (Hesse et al., 2003) Das Risiko erstmalig an einem Nierensteinleiden zu erkranken erhöhte sich für beide

Geschlechter drastisch ab dem 25. Lebensjahr und erreicht im Alter zwischen 35 und 49 Jahren seinen Höhepunkt (Hesse and Siener, 1997, Hesse et al., 2003). Auch der technische Fortschritt in der medizinischen Diagnostik kann durch Nachweis von asymptomatischen Nierensteinen zu einem Anstieg der Prävalenz geführt haben (Scales et al., 2012).

Die Zunahme an Adipositas der westlichen Gesellschaften ist ein weiterer Faktor, der die Zunahme von Nierensteinleiden erklären könnte (Scales et al., 2012, Abufaraj et al., 2021).

Patienten, die erstmalig eine Episode eines Nierensteins erlitten, sind häufig von weiteren, rezidivierenden Episoden betroffen. So erhöht sich die Wahrscheinlichkeit eines wiederkehrenden Auftretens innerhalb eines Zeitraums von 5-10 Jahren um etwa 20 bis 50%, nach 20 Jahren liegt sie sogar bei 75%. (Sutherland et al., 1985, Trinchieri et al., 1999, Moe, 2006, Wang et al., 2022). Das Risiko eines Rezidivs ist zudem erhöht, falls im Anschluss an die primäre Behandlung keine suffiziente Stein-Metaphylaxe durchgeführt wird (Kirkali et al., 2015). Erschwerend kommt hinzu, dass sich das Intervall zwischen den Episoden häufig immer weiter verkürzt (Moe, 2006, Strauss et al., 1982). Das häufigere Vorkommen und die hohe Rate an Rezidiven birgt auch einen ökonomischen Faktor und führt zu einer deutlichen Belastung der Gesundheitssysteme weltweit (Bao et al., 2020). In den USA werden die jährlichen Kosten für die medizinische Behandlung von Nierensteinen im Jahr 2000 auf etwa 2,1 Milliarden US-Dollar geschätzt (Pearle Margaret et al., 2005). Es wird erwartet, dass die Kosten durch Bevölkerungswachstum, Zunahme der Prävalenz von Diabetes und Adipositas weiter steigen werden (Antonelli et al., 2014).

1.1.4 Zusammensetzung von Nierensteinen

In den meisten industrialisierten Ländern machen Calciumsteine mit etwa 80% den größten Anteil der Nierensteine aus (Pak, 1998, Knoll et al., 2011). Am häufigsten zeigen sich in der Steinanalyse Calciumoxalat-Steine (Whewellit und Weddellit), seltener Calciumphosphat-Steine wie Calciumapatit oder Brushit-Steine (Pak, 1998, Daudon et al., 1995). Die übrigen 20% der vorkommenden Nierensteine sind Harnsäuresteine, Infekt-assoziierte Steine, Struvit-Steine und weitaus seltener Cystin-Steine (Pak, 1998). Die Prävalenz von Calciumsteinen ist in Deutschland für Frauen und Männer zwischen 1977 und 2006 gestiegen (Männer 82% vs. 86%; Frauen 79% vs. 84%) (Knoll et al., 2011). Das weibliche Geschlecht ist im Vergleich mit dem männlichen Geschlecht häufiger von Infekt-assoziierten Steinen betroffen. Durch die konsequente Anwendung von Antibiotika ist die Inzidenz dieser Steine jedoch gesunken (Pak, 1998, Knoll et al., 2011). Harnsäuresteine machen in Europa etwa 5-10% der Nierensteine aus (Pak, 1998). Cystin-Steine sind mit einer Häufigkeit von etwa 1% sehr selten (Pak, 1998, Knoll et al., 2011). Die Cystinurie ist eine primäre autosomal-rezessive (in seltenen Fällen auch autosomal-dominant mit inkompletter Penetranz) Erkrankung, die durch Mutationen in Genen für die Untereinheit von renalen Aminosäure-Transportern hervorgerufen wird (Chillarón et al., 2010, Sakhaee et al., 2012). Cystin-Steine sind in der Altersgruppe von Kindern und Heranwachsenden häufiger anzutreffen (Sakhaee et al., 2012).

1.1.5 Diagnostik von Nierensteinen

Bei dem akuten Auftreten von Nierenkolik präsentieren sich die Patientinnen und Patienten typischerweise mit akut einsetzenden Schmerzen im Bereich des Rückens oder der Flanke, mit Übelkeit, teils Erbrechen und weisen manchmal subfebrile Temperaturen auf (Coe, 2005). Nierensteine können aber auch

asymptomatisch sein und als Zufallsbefund bei der Diagnostik anderweitiger Erkrankungen detektiert werden (Wimpissinger et al., 2007). Bei den Patienten wird eine Anamnese erhoben, sowie eine gründliche körperliche Untersuchung durchgeführt. Diagnostische, bildgebende Maßnahmen sollten die Einleitung einer suffizienten Analgesie bei akuter Symptomatik, oder anderer Notfallmaßnahmen nicht verzögern (Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018). Als primäre diagnostische Bildgebung am besten geeignet ist die sonographische Untersuchung der Nieren, Ureteren und der Harnblase. Vorteilhaft ist die ubiquitäre Verfügbarkeit, die fehlenden Strahlenbelastung sowie der kostengünstige Einsatz der Ultraschalluntersuchung. Nachteilhaft ist jedoch die Abhängigkeit vom Untersucher. Die Ultraschalluntersuchung kann Steine im Bereich des Nierenbeckenkelchsystems, am pyelo-ureteralen Abgang und vesico-uretralen Übergang darstellen. Die Sensitivität des Ultraschalls im Bereich des Ureters wird mit 45% und einer Spezifität von 95% angegeben (Ray et al., 2010). Im Bereich des Nierenbeckenkelchsystems beträgt die Sensitivität 45% und Spezifität 88% (Smith-Bindman et al., 2014, Ray et al., 2010).

Die Computertomographie ohne Kontrastmittel (NCCT) sollte bei Patienten mit akuten Flankenschmerzen und einer hohen Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen von Nierensteinen eingesetzt werden (Brisbane et al., 2016, Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018). Die Computertomographie liefert den Behandelnden Informationen über die Steinlokalisierung und -anzahl, sowie über die Steingröße und die Steindichte (Brisbane et al., 2016). Falls in der Computertomographie kein Steinleiden sichtbar ist, sollte eine weitere Abklärung von möglichen Differentialdiagnosen erfolgen (Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018). Das NCCT liefert zudem wichtige Informationen über die innere Struktur von Steinen, ebenso ermöglicht es bei Vorliegen von mehreren Nierensteinen die Erfassung der genauen Entfernung zwischen den verschiedenen Steinen und gibt neben diesem auch anatomisch-morphologische Gegebenheiten der Patientinnen und Patienten wieder (Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018, Zarse et al., 2007, Patel et al., 2009, El-Nahas et al., 2007). Die Computertomographie kann ohne

Kontrastmittel als low-dose Computertomographie bei Patientinnen und Patienten mit einem Body-Mass-Index $<30 \text{ kg/m}^2$ Steine in einer Größenordnung von $<3 \text{ mm}$ mit einer Sensitivität von 86% und einer Spezifität von 100% für Steine der Größenordnung von $>3 \text{ mm}$ detektieren (Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018, Poletti et al., 2007). In einer Meta-Analyse von prospektiven Studien konnte für die low-dose Computertomographie eine gepoolte Sensitivität von 93,1% und eine Spezifität von 96,6% gezeigt werden (Xiang et al., 2017).

Neben bildgebenden Verfahren sollten bei Patientinnen und Patienten laborchemische Verfahren zur Untersuchung von Urin und Blut eingesetzt werden (Skolarikos et al., 2015). Die Blutuntersuchungen sollten neben dem C-reaktiven Protein, die Blutgerinnung, ein kleines Blutbild, Natriumkonzentration, Kaliumkonzentration und Kreatinin beinhalten (Türk et al., 2016, Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018). Zur Untersuchung des Urins eingesetzt werden die breit verfügbaren Urinteststreifen, die Aussagen bezüglich des Vorkommens von roten und weißen Blutzellen, Vorkommen einer Nitritreduktase bei bakterieller Besiedelung und Abschätzung des pH-Wertes ermöglichen. Weiterführend sollte ein Urinsediment durchgeführt werden, welches im Anschluss mikroskopiert wird und gegebenenfalls durch das Anlegen einer Urinkultur ergänzt wird (Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018). Eine wichtige Bedeutung beim erstmaligen Auftreten einer Uro- bzw. Nephrolithiasis stellt die Steinanalyse dar. Die Steine können bei Bergung mittels eines interventionellen Verfahrens asserviert werden, oder die Patientinnen und Patienten erhalten einen Filter, der bei Miktion einen abgegangenen Stein auffangen soll. Zur genauen Analyse der Steine werden die Infrarot Spektroskopie (IRS) oder die Röntgendiffraktometrie (XRD) eingesetzt (Hesse et al., 2005, Abdel-Halim and Abdel-Halim, 2006, Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018). Eine erneute Steinanalyse ist bei Patientinnen und Patienten indiziert, die unter pharmakologischer Prophylaxe ein Steinrezidiv erleiden, oder kurze Zeit nach erfolgter Intervention mit Steinfreiheit ein Rezidiv erfahren (Kourambas et al., 2001, Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018).

1.1.6 Therapie von Nierensteinen

Zur Behandlung der Nephrolithiasis stehen verschiedene Therapieoptionen zur Verfügung. Zur symptomatischen, analgetischen Therapie des steinbedingten Schmerzes kommen NSAIDs bevorzugt Metamizol, Paracetamol oder Diclofenac zum Einsatz und sind der Analgesie mit Opioiden überlegen (Afshar et al., 2015, Holdgate and Pollock, 2005). Bei medikamentös nicht beherrschbaren Koliken, einer Obstruktion des Abflusses mit konsekutiver Harnstauungsniere und eventuell ansteigenden Retentionswerten besteht die Indikation zur Anlage einer Harnableitung (Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018). Die Harnableitung kann retrograd durch Anlage einer Harnleiterschleife oder durch eine perkutane Nephrostomie erfolgen. Bei der Auswahl der Harnableitung soll die weitere, bereits geplante Art der Steinsanierung mit beachtet werden (Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018). Auch beim Auftreten einer infizierten Harnstauungsniere ist die Indikation zur Harnableitung gegeben, wobei in dieser Situation die definitive Steinsanierung erst nach abgeschlossener Behandlung des Infektes erfolgen sollte (Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018).

Grundsätzlich ist bis zu einer gewissen Größe des Steins, abhängig von der Lokalisation und unter Berücksichtigung von patienteneigenen Faktoren auch eine konservative Therapie mit Abwarten eines spontanen Steinabgangs möglich (Miller and Kane, 1999, Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018).

Abhängig von bestehenden Symptomen, der Steingröße, der Lokalisation des Steins, dem Grad der verursachten Obstruktion und der Wahrscheinlichkeit des spontanen Abgangs besteht die Indikation zur aktiven Behandlung und somit zur interventionellen Therapie (Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018). Als Therapieoptionen hierfür kommen die extrakorporale Stoßwellenlithotripsie (ESWL), die Ureterorenoskopie (URS) und die perkutane Nephrolitholapaxie (PCNL) in Betracht

1.1.6.1 Extrakorporale Stoßwellenlithotripsie

Die ESWL ist ein seit 1980 etabliertes Verfahren zur Behandlung von Harnleitersteinen und intrarenalen Konkrementen (Neisius et al., 2015). Die Erzeugung der Stoßwelle kann elektromagnetisch, elektrohydraulisch oder piezoelektrisch erfolgen. Ziel ist es das Konkrement durch die Stoßwellen zu zerkleinern und somit eine Passage durch spontanen Abgang zu ermöglichen (Coe, 2005). Als negative Prädiktoren des Erfolgs einer ESWL gelten die Zusammensetzung des Konkrements (falls bekannt), die Lokalisation des Steins, der unter Umständen großen, notwendigen Eindringtiefe um den Stein zu erreichen, ausgeprägte Adipositas und eine hohe Steinlast (Neisius et al., 2015).

1.1.6.2 Ureterorenoskopie

Ein etabliertes und häufig angewendetes endoskopisches Verfahren ist die Ureterorenoskopie (Bagley, 2002). Zur Anwendung kommen semi-rigide und flexible Ausführungen der Ureterorenoskope. Semi-rigide oder auch starre Instrumente finden vor allem bei der Behandlung von Harnleiterkonkrementen Anwendung. Bei der Verwendung von flexiblen Ureterorenoskopen kann in aller Regel der komplette obere Harntrakt ausgespiegelt werden und somit sind grundsätzlich Nierensteinkonkremente in allen Lokalisationen zugänglich (Beiko and Denstedt, 2007). Der Eingriff erfolgt in Vollnarkose oder in Spinalanästhesie und der Patient wird in Steinschnittlagerung gelagert. Es erfolgt zunächst die Zystoskopie. Mittels retrograder Pyelographie wird die Anatomie des Harnleiters dargestellt und somit auch nochmals die Indikation zur URS überprüft. Über einen Arbeitsdraht wird eine Hülse (access sheath) in den Harnleiter geschoben. Hierüber kann anschließend der Harnleiter und das Nierenbeckenkelchsystem mit dem flexiblen Ureterorenoskop dargestellt werden. Mittels hochauflösenden Bildprozessoren an der Gerätespitze wird das Konkrement dargestellt. Durch einen zusätzlichen Arbeitskanal können weitere

Instrumente zur Steinbergung oder Zerkleinerung eingebracht werden. Abhängig von der Steingröße können Konkremente in toto geborgen werden oder durch Lithotripsie zerkleinert werden mit anschließender Bergung. Eine weitere Möglichkeit schließt den Verbleib vor Ort ein, sofern die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass ein spontaner Abgang der restlichen Steinlast möglich ist. Zur Lithotripsie werden elektromechanische Systeme (Lithoclast) oder Laser eingesetzt. Bei dem Laser stellt der Holmium Laser den Goldstandard dar (Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018). Anschließend kann eine temporäre Harnleiterschienung für Tage bis Wochen erfolgen (Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018).

1.1.6.2.1 Single-use Ureterorenoskope

Neuere Entwicklungen haben dazu geführt, dass es inzwischen neben wiederverwendbaren und sterilisierbaren (re-useable flexible URS) es weiterhin auch nur einmal verwendbare (single-use flexible URS) Ureterorenoskope gibt. Dennoch bestehen Unterschiede in den verschiedenen Geräten. Technische Unterschiede konnten in der Menge des emittierten Lichts und in den intrarenalen Drücken (mmHg) während der Spiegelung des Nierenbeckenkelchsystems gefunden werden (Deininger et al., 2018). Bei wiederverwendbaren Geräten zeigten sich höhere emittierte Lichtmengen, hingegen höhere intrarenale Drücke bei den einmalig verwendbaren Geräten (Deininger et al., 2018). Weitere Unterschiede betreffen die optischen Eigenschaften bzw. die Bildqualität. Hier konnte ebenso eine bessere Bildtreue und insgesamt bessere subjektive Bewertung der Bildeigenschaften bei wiederverwendbaren Ureterorenoskopen gefunden werden (Deininger et al., 2018). Neben diesen Aspekten spielen auch Umweltaspekte, wie der CO₂-Fußabdruck bei der Verwendung von single-use URS eine wichtige Rolle (Davis et al., 2018, Thöne et al., 2024). Der CO₂-Fußabdruck von einmal verwendbaren Geräten kann vergleichbar hoch sein (Davis et al., 2018) oder bei mehrmaliger bzw. häufiger Verwendung eines wiederverwendbaren Geräts niedriger sein als bei einmalig verwendbaren Geräten (Thöne et al., 2024). Da einmal verwendbare Geräte nicht wieder aufbereitet und sterilisiert werden müssen, kann deren Verwendung hygienischer sein und zu postinterventionell

geringeren Raten an Infektionen des unteren Urogenitaltrakts führen (Prata et al., 2024).

1.1.6.3 Perkutane Nephrolitholapaxie

Die PCNL ist ein endoskopisches, minimal-invasives Verfahren zur Behandlung von Nierensteinen. Durch zunehmende Miniaturisierung der Instrumente wird heute der Eingriff regelhaft als m-PCNL (mini-perkutane Nephrolitholapaxie) durchgeführt (Kim et al., 2003, Lahme et al., 2001). Der Eingriff erfolgt in Vollnarkose oder in Spinalanästhesie in Steinschnittlage. Zunächst erfolgt die Zystoskopie und retrograde Pyelographie. Anschließend wird ein Harnleiterkatheter eingelegt, in der Regel mit einem Ballon, der den Ureter abdichtet und so zur verstärkten Füllung des Nierenbeckenkelchsystems führt. Dies soll die anschließende perkutane Punktion des Nierenbeckenkelchsystems erleichtern. Dabei wird unter sonographischer Kontrolle das Nierenbeckenkelchsystem punktiert. Über die eingebrachte Hohlneedle kann ein Arbeitsdraht vorgebracht werden. Durch das Einbringen von verschiedenen Dilatoren entlang des Arbeitsdrahtes wird der Stichkanal aufgeweitet und nach Einführen des Endoskops kann das Nierenbeckenkelchsystem ausgespiegelt werden.

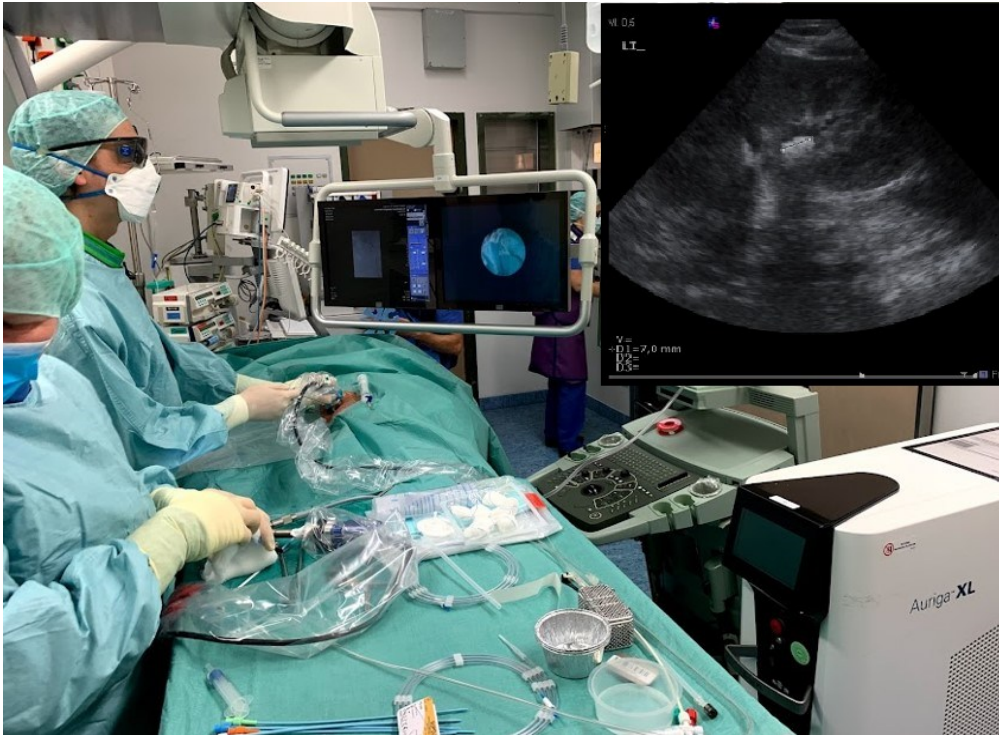


Abbildung 1 - Setting einer PCNL sowie Darstellung eines Konkrements des Nierenbeckenkelchsystems in der Sonographie

Durch die Verwendung von Instrumenten mit kleinerem Durchmesser konnte zudem inzwischen das Blutungsrisiko gesenkt werden (Yamaguchi et al., 2011). Bei der klassischen PCNL werden Geräte mit einem Durchmesser von 24 bis 30 French eingesetzt. Weiterhin wird unterschieden, ob das Nierenbeckenkelchsystem über einen einzelnen (single-tract PCNL) oder über mehrere Zugangswege (multi-tract PCNL) erreicht wird (Ganpule et al., 2020). In den letzten Jahren kam es zur Miniaturisierung der Geräte, sodass bei der sogenannten mini-PCNL mit einer Amplatzscheide von 14 bis 20 French gearbeitet wird (Wright et al., 2016). Die Nephroskope, die hier Verwendung finden haben einen Querschnitt von 12 French (Lahme, 2018). Daneben besteht der Begriff der ultra-mini PCNL, bei denen die verwendeten Geräte für den Zugang 11 bis 13 French aufweisen (Wright et al., 2016). Bei der micro-PCNL wird über eine 4,85 French Punktionskanüle direkt eine dementsprechend passende Optik eingeführt. Aufgrund des geringen Durchmessers, ist eine Bergung von Fragmenten über den Zugangsweg in der Regel nicht möglich, somit kommt der Fragmentation und Desintegration der Konkreme eine große Bedeutung zu (Lahme, 2018). Ob die Größe der

Instrumente für die jeweiligen Patienten einen Einfluss auf die Steinfreiheitsraten hat und ob dies einen Einfluss auf die Morbidität mit sich bringt, ist zum aktuellen Zeitpunkt unklar (Ruhayel et al., 2017).

1.1.6.4 Empfehlungen zur Auswahl des OP-Verfahrens

Die drei beschriebenen Verfahren haben jeweils Vor- und Nachteile in Bezug auf die Steingröße, die Steinlokalisierung und Steinzusammensetzung. Hilfe zur Beurteilung der Steinzusammensetzung bietet bei Rezidivsteinbildnern die Anamnese und ggf. zuvor erfolgte Steinanalysen. In den anderen Fällen kommt der bildgebenden Diagnostik eine bedeutende Rolle zu. Zum Einem kann über die Computertomographie die Größe und Lokalisation ermittelt werden, zum anderen kann durch die Messung der Abschwächung der Röntgenstrahlung in Hounsfield Einheiten (HU) die mögliche Steinzusammensetzung abgeschätzt werden und bei „harten“ Steinen (hohe Werte der Hounsfield Einheiten) eher auf interventionelle Verfahren wie URS oder PCNL zur Zertrümmerung und Entfernung zurückgegriffen werden (El-Nahas et al., 2007, Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018). Weiterhin spielen patientenindividuelle Faktoren unter Umständen auch eine Rolle. Als Verfahren der ersten Wahl bei großen intrarenalen Steinen von > 20mm gilt die PCNL und konnte das Verfahren der offenen Steinoperationen ablösen (Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018, Alken et al., 1981). Bei Steinen der unteren Kelchgruppe kommt die PCNL aufgrund der schlechten Ergebnisse der ESWL bereits ab 15 mm Steingröße zum Einsatz (Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018). Die Ergebnisse der Steinfreiheitsraten hängen maßgeblich auch von der Lokalisation der Nierensteine ab (Perlmutter et al., 2008, Dorantes-Carrillo et al., 2022). In dieser Arbeit wird im Besonderen auf die Therapie von Konkrementen der unteren Kelchgruppe eingegangen. Die optimale interventionelle Vorgehensweise bei Nierensteinkongrementen der unteren Kelchgruppe wird schon lange kontrovers diskutiert (Grasso and Ficazzola, 1999, Dorantes-Carrillo et al., 2022). Diese Kontroverse spiegelt sich auch in den derzeitigen Empfehlungen der Leitlinien wider (siehe Abbildung 2).

Die erfolgreiche Behandlung von Unterkelchkonkrementen mittels flexibler Ureterorenoskopie wird durch den infundibulo-pelvinen Winkel beeinflusst, wobei ein steiler Winkel zu schlechteren Steinfreiheitsraten führt (Elbahnasy et al., 1998, Grasso and Ficazzola, 1999, Karim et al., 2020). Die m-PCNL führt mitunter zu hohen Steinfreiheitsraten auf Kosten von langer Krankenhausverweildauer und häufigerem Abfall des Hämoglobin-Wertes, wohingegen die flexible Ureterorenoskopie mit etwas niedrigeren Steinfreiheitsraten, längerer Eingriffsdauer aber kürzeren Krankenhausaufenthalten assoziiert ist (Zhang et al., 2014)

In Abbildung 2 sind die derzeitigen Therapieempfehlungen der Leitlinie dargestellt. Bei großen Steinen (>20 mm) ist die m-PCNL erste Wahl, jedoch kann auch hier ggf. eine URS oder ESWL Anwendung finden. Bei kleinen Steinen (< 10 mm) ist die ESWL oder die flexible Ureterorenoskopie die erste Wahl. Ein Grund hier der URS den Vorzug zu geben, könnte der schwierigere Steinabgang nach Steindesintegration durch ESWL sein. Bei Steinen mittlerer Größe (10 – 20 mm) sollte zunächst nach dem Vorliegen von negativen Erfolgsaussichten für die ESWL geschaut werden. Diese könnten zum Beispiel in dem Vorliegen von Adipositas oder spezieller anatomischer Nierenbeckenkonfigurationen (enges Infundibulum oder ein steiler infundibulo-pelviner Winkel) sein. Auch kann bei Rezidivsteinbildnern die unter Umständen bekannte Steinzusammensetzung eine Rolle spielen. So können beispielsweise Zystin- oder Brushitsteine stoßwellenresistent sein. Die ESWL ist bei proximalen Harnleitersteinen vergleichbar mit der URS, wobei bei größeren Steinen oder Steinen anderer Lokalisationen die URS überlegen ist (Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V., 2018). Die Limitationen der ESWL hinsichtlich der Effektivität, die Weiterentwicklung der endoskopischen Verfahren haben dazu geführt, dass die ESWL ihren Stellenwert nahezu verloren hat (Knoll and Alken, 2019). Aus diesen Gründen und der Betrachtung von Nierensteinen der unteren Kelchgruppe findet die ESWL in dieser Arbeit keine nähere Betrachtung.

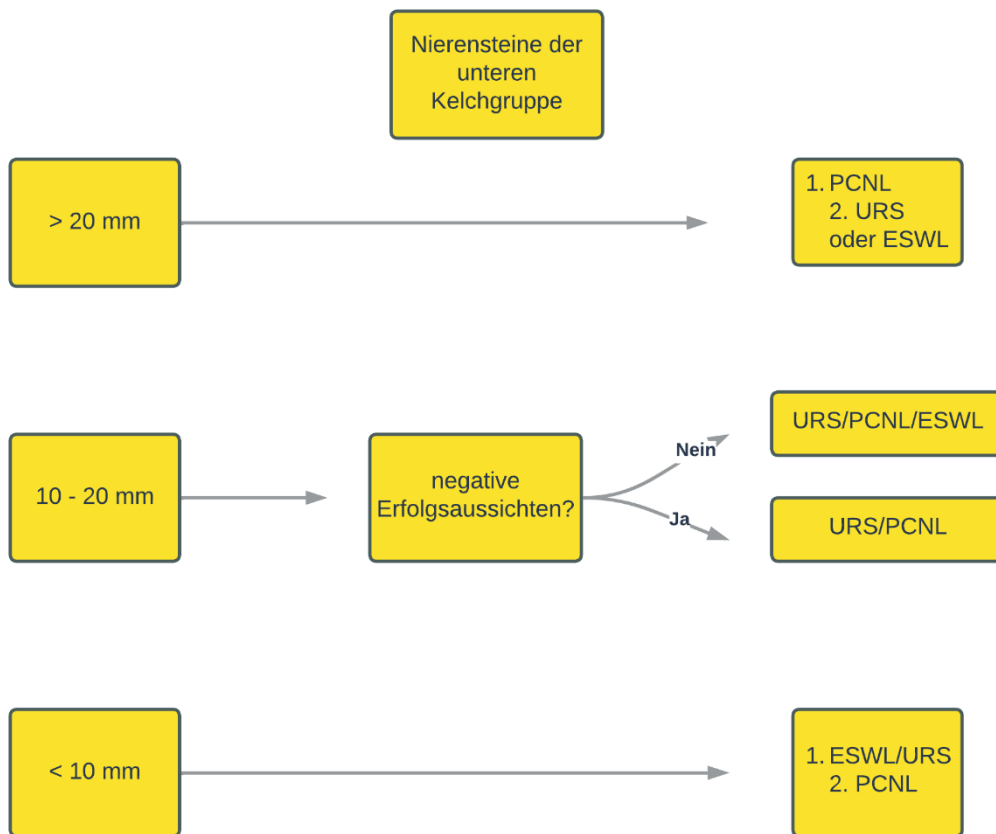


Abbildung 2: Therapieempfehlungen bei Nierensteinen der unteren Kelchgruppe (mod. nach Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Urologie (2018))

1.2 Fragestellung/Arbeitshypothese

Die Empfehlungen zur optimalen Therapie und Behandlung von Nierensteinen der unteren Kelchgruppe sind uneindeutig und teils kontrovers. Die Diskussion und die Kontroverse spiegelt sich auch in den derzeitigen Leitlinienempfehlungen wider, die keine klare Empfehlung für das eine oder andere Verfahren aussprechen und somit einen großen Handlungsspielraum ermöglichen. Diese Frage ist vor dem Hintergrund der optimalen Patientenversorgung mit dem bestmöglichen Outcome von hoher Relevanz, da jedes Verfahren Vor- und Nachteile bzw. Chancen und Risiken mit sich bringt. Zudem ist durch die hohe und zuletzt steigende Prävalenz der Nephrolithiasis die Notwendigkeit von klaren Empfehlungen dringend notwendig.

Vor diesem Hintergrund sollen in dieser Arbeit folgende Fragestellungen bearbeitet werden:

- Gibt es Unterschiede der m-PCNL und fURS in der Steinfreiheitsrate?
- Hat die Größe des Nierenkonkrementes Einfluss auf die Steinfreiheitsrate?
- Unterscheiden sich re-usable Ureterorenoskope und Single-Use-Ureterorenoskope in der Rate der Steinfreiheit?
- Gibt es einen Unterschied in der Dauer der Operation bzw. des Eingriffs zwischen den verschiedenen Verfahren?
- Hat die Größe des Nierensteinkonkrementes auf die Dauer der Operation einen Einfluss?
- Hat der Ausbildungsstand des Operateurs Einfluss auf die Operationsdauer?
- Gibt es Unterschiede zwischen den Verfahren in der Häufigkeit des Auftretens von Komplikationen?
- Hat die Schwächung der Röntgenstrahlung durch die Konkreme eine Einfluss auf die Komplikationsrate?
- Gibt es Unterschiede in der Länge der Krankenhausverweildauer?

- Hat die Einnahme von Medikamenten, die die Blutgerinnung beeinflussen Auswirkungen auf den postoperativen Hb-Wert?

2 Material und Methoden

2.1 Patientenkollektiv

Es erfolgte die retrospektive Datenanalyse von Patientinnen und Patienten, die im Zeitraum von 2017 bis 2020 eine Ureterorenoskopie oder eine m-PCNL erhielten und mindestens ein Unterpolkonkrement aufwiesen. Die Grundlage der vorliegenden Arbeit bildete ein Patientenkollektiv von 608 Patientinnen und Patienten der Universitätsklinik für Urologie Tübingen und Salzburg.

2.1.1 Einschlusskriterien

Zur Identifikation der Patientinnen und Patienten wurde eine Datenbank erstellt bei denen folgende ICD oder OPS-Codes codiert wurden:

- ICD N20.0
- OPS 5-550.0, OPS 5-550.3, OPS 5-550.30, OPS 5-550.31
- OPS 5-550.2, OPS 5-550.20, OPS 5-550.21
- OPS 5-98, OPS 5-98b, 5-98b.0, OPS 5-98.x!, OPS 5-985.9!

2.1.2 Ausschlusskriterien

Es wurden Patientinnen und Patienten ausgeschlossen, bei denen anhand des OP-Berichts keine Steinsanierung durchgeführt wurde. Ebenso wurden Patienten ausgeschlossen, die einen Nierenausgussstein aufwiesen oder bei denen nicht mindestens ein Konkrement in der unteren Kelchgruppe lokalisiert war. Dies traf insgesamt auf 233 Patientinnen und Patienten zu, die somit ausgeschlossen wurden.

2.1.2 Statistische Analyse

Die erfassten Daten wurden in Microsoft Excel[®] 365 tabellarisch zusammengetragen. Die statistische Auswertung erfolgte mittels IBM SPSS Statistics. In dieser Arbeit wurden Merkmale mit ordinaler, nominaler und metrischer Ausprägung untersucht. Um statistische Unterschiede aufzuzeigen, wurden verschiedene Signifikanztests angewendet. Eine Signifikanz liegt vor, wenn der p-Wert kleiner als das festgelegte Signifikanzniveau ist. In dieser statistischen Auswertung wurden Parameter als signifikant unterschiedlich angesehen, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit unter 5% ($p < 0,05$) lag.

In dieser Auswertung wurden folgende statistische Verfahren durchgeführt:

Stellte sich dabei die Frage, ob die einzelnen Merkmalsausprägungen in den verschiedenen Untergruppen signifikant unterschiedlich waren, so war der Chi-Quadrat-Test die erste Wahl. Für 2x2-Kreuztabellen und bei Vorkommen einer erwarteten Häufigkeit von <5 innerhalb der Tabelle wurde alternativ der Fisher-Test angewendet.

Im Fall von ordinal oder metrisch skalierten Variablen wurde die Signifikanz der Ergebnisse in Abhängigkeit von der Art der betrachteten Stichprobe mit verschiedenen Tests validiert. Bei parametrischen Variablen wurde die einfaktorielle ANOVA Varianzanalyse durchgeführt. Für zwei unabhängige, nicht-normalverteilte Stichproben wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Wurde das Kollektiv in mehr als zwei unabhängige Gruppen unterteilt, so wurden stattdessen die Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Test herangezogen.

2.2 Dokumentation der erhobenen Daten

Aus den elektronisch gespeicherten Patientenakten wurden retrospektiv patientenbezogene Befunde und klinische Daten erfasst. In einer Datenbank wurden für jeden in die Studie eingeschlossenen Patientinnen und Patienten folgende Daten erfasst: Alter zum Operationszeitpunkt, Geschlecht, Aufenthaltsdauer, Name des Operateurs, Qualifikation des Operateurs,

durchgeführtes OP-Verfahren, Verwendung von Einmal- oder Mehrfach-URS, Status Rezidivsteinbildner, auf welcher Seite erfolgte der Eingriff, vorhandenes Konkrement in der unteren Kelchgruppe, weiteres Konkrement außerhalb der unteren Kelchgruppe, Steingröße des Konkrements in der unteren Kelchgruppe, Steinvolumen in ccm, Hounsfield-Einheiten im Nativ-CT des Konkrements, Operationsdauer, Art der Steindesintegration, endoskopische Steinfreiheit, Folgeeingriffe bei nicht erreichter Steinfreiheit, Hämoglobin-Wert prä- und postoperativ, Thrombozyten präoperativ, glomeruläre Filtrationsrate prä- und postoperativ, Auftreten von Komplikation im stationären Aufenthalt, Auftreten von Komplikationen, die zu einem erneuten stationären Aufenthalt führten, Einlage Nierenfistel, wann wurde die Nierenfistel entfernt, Einlage Doppel-J-Katheter. Zudem wurden weitere Laborcharakteristika erhoben wie (Natrium, Kalium, Calcium, Chlorid, Magnesium, Harnsäure, Quick-Wert, aPTT, Albumin).

2.3 Verwendung von Software

- Datenbankerstellung: Microsoft Excel 365
- Betrachtung von Computertomographiebildern: PACS
- Literatursoftware: EndNote x20 Build 20.4.1
- Verfassung der Dissertation: Microsoft Word 365
- Statistische Auswertung: IBM Statistics SPSS Version 29.0
- Erstellung von Grafiken: GraphPad Prism Vers. 9.5.1.

2.4 Datenschutz

Die Patientendaten wurden unter strengen Datenschutzauflagen und unter Beachtung des Datenschutzgesetzes sowie der ärztlichen Schweigepflicht erfasst. Die Daten wurden nach Abschluss der Akten-Erhebung anonymisiert.

2.5 Ethikvotum

Zur Studiendurchführung erfolgte die Erstellung eines genauen Prüfplans. Die Studienziele wurden definiert und der Inhalt der Arbeit durch wissenschaftliche Hintergrundinformationen dargestellt. Zudem waren Informationen über die Studiendauer, Studienpopulation, Patientenrekrutierung, durchgeführte Untersuchungsmethoden, die Einhaltung des Datenschutzes und die Finanzierung des Projekts im Prüfplan enthalten. Der Prüfplan wurde der Tübinger Ethikkommission zur Begutachtung vorgelegt. Der Prüfplan erhielt unter der Projektnummer: 149/2021B02 ein positives Ethik-Votum.

3 Ergebnisse

3.1 Deskriptive Beschreibung des Patientenkollektivs

Das Patientenkollektiv umfasste 375 Patienten und Patientinnen, welche an den Universitätskliniken in Tübingen und Salzburg in den Jahren 2017-2020 aufgrund mindestens eines Unterpolkongrements eine Steinsanierung erhielten. Das Patientenkollektiv war durchschnittlich 55 Jahre alt (Range 17 – 93 Jahre). Der überwiegende Anteil war männlich (59,5 % vs 40,5 %). Die Krankenhausverweildauer lag im Median bei 3 Tagen (Range 1 – 15 Tage). Alle Patienten wiesen ein Konkrement in der unteren Kelchgruppe auf. Bei 52% der Patienten lag ein weiteres Konkrement außerhalb der unteren Kelchgruppe vor. Die Vorgeschichte bezüglich eines bekannten Steinleidens in der Patientengeschichte zeigte sich relativ ausgeglichen. Bei etwa 51 % gab es bereits eine Episode eines Nierensteins (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1 – Charakteristika der Patientenkohorte

Alter (n=375)	
- Mittelwert (SD)	55 Jahre (\pm 16,28 Jahre)
- Median	56 Jahre
- Minimum	17 Jahre
- Maximum	93 Jahre
Geschlecht (n=375)	
- Männlich	59,5 % (n=223)
- Weiblich	40,5% (n=152)
Krankenhausverweildauer	
- Mittelwert (SD)	3,42 Tage (\pm 2,02 Tage)

- Median	3 Tage
- Minimum	1 Tag
- Maximum	15 Tage
Steinlokalisierung	
- Unterpolkonkrement	100% (n= 375)
- Weiteres Nicht-Unterpolkonkrement	52% (n= 195)
- Alleiniges Unterpolkonkrement	48% (n= 180)
Rezidivsteinbildner	
- Ja	51,5 %
- Nein	48,5 %

Etwa 15 % der Patienten nahm Medikamente ein, die Einfluss auf die Blutgerinnung haben. Abhängig vom jeweiligen Präparat wurde sich für ein Vorgehen entschieden. In circa einem Drittel der Fälle wurde die Medikation präoperativ pausiert. In 42% der Fälle wurde Acetylsalicylsäure, und in 13 % der Fälle wurden DOAKs perioperativ weitergegeben (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2 – weitere Patientencharakteristika

Einnahme von Antikoagulantien	
- Keine Einnahme	83,6 %
- Einnahme von ASS, Marcumar oder DOAKs	15,6 %
Vorgehen bei Antikoagulation	
- Medikation pausiert	32,2 %
- Bridging	11,9%
- Weiterführen von Acetylsalicylsäure	42,4 %
- Weiterführen des DOAKs	13,6 %

In Tabelle 3 sind erfasste laborchemische Patientencharakteristika aufgeführt.
Der durchschnittliche Abfall des Hämoglobinwerts betrug 1,1 g/dl.

Tabelle 3 - Laborchemische Patientencharakteristika (Referenzwerte in Klammern)

Hämoglobinwert präoperativ	
(Männer: 13,5 – 16,9 g/dl, Frauen: 11,9- 14,9 g/dl)	
- Mittelwert (SD)	13,87 g/dl (± 1,7 g/dl)
Hämoglobinwert postoperativ	
- Mittelwert (SD)	12,69 g/dl (± 1,82 g/dl)
Abfall des Hämoglobinwerts	
- Mittelwert (SD)	1,10 g/dl (± 1,1 g/dl)
- Median	0,8 g/dl
Glomeruläre Filtrationsrate präoperativ	
(GFR: >90 ml/min)	
- Mittelwert (SD)	87,29 ml/min (± 30,24 ml/min)
Glomeruläre Filtrationsrate postoperativ	
(GFR: >90 ml/min)	
- Mittelwert (SD)	85,21 ml/min (± 30,18 ml/min)
Thrombozytenzahl präoperativ	
(150-400 Tsd./µl)	
- Mittelwert (SD)	265.101 Tsd./µl (± 76.408 Tsd./µl)
Harnsäure präoperativ	
(Frauen: 2,3 – 6,1 mg/dl, Männer: 3,6 - 8,2 mg/dl)	
- Mittelwert (SD)	7,38 mg/dl (± 6,59 mg/dl)

Natrium präoperativ	
(135 – 150 mmol/l)	
- Mittelwert (SD)	140,2 mmol/l (± 2,08 mmol/l)
Kalium präoperativ	
(3,5 – 5,0 mmol/l)	
- Mittelwert (SD)	4,09 mmol/l (± 0,41 mmol/l)
Calcium präoperativ	
(2,2 – 2,65 mmol/l)	
- Mittelwert (SD)	2,34 mmol/l (± 0,18 mmol/l)
Chlorid präoperativ	
(98 – 106 mmol/l)	
- Mittelwert (SD)	105,21 mmol/l (± 5,02 mmol/l)

In den Abbildungen 3,4,5 und 6 sind die deskriptiven Verteilungen der Konzentrationen der Elektrolyte Natrium, Kalium, Chlorid und Calcium in mmol/l dargestellt.

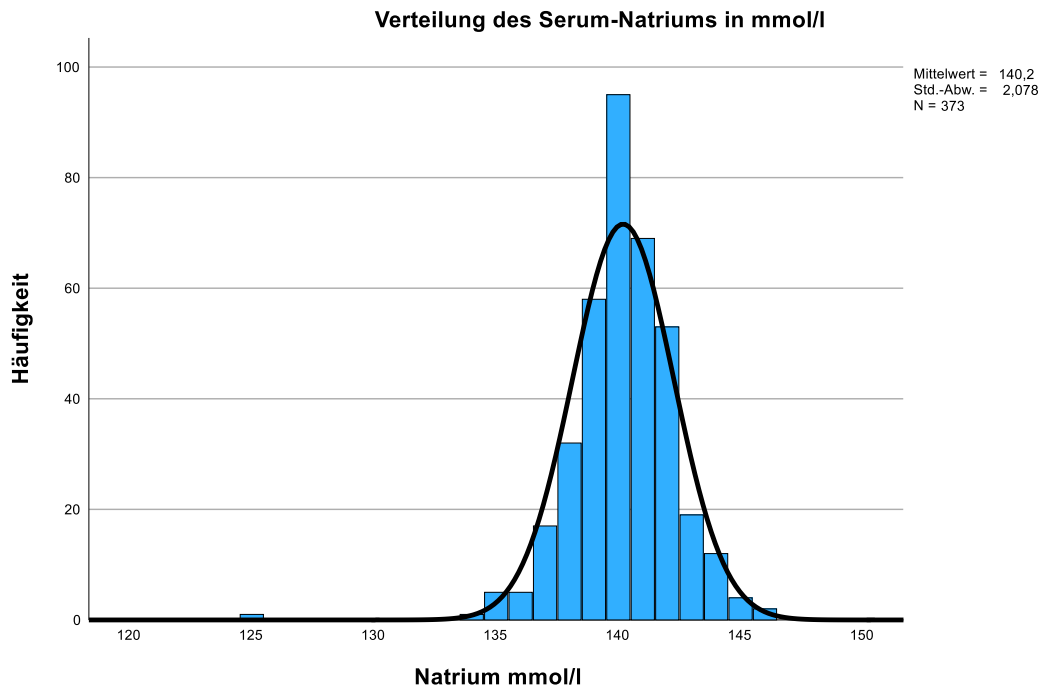


Abbildung 3- Deskriptive Darstellung der Verteilung der Serumnatriumkonzentration in mmol/l

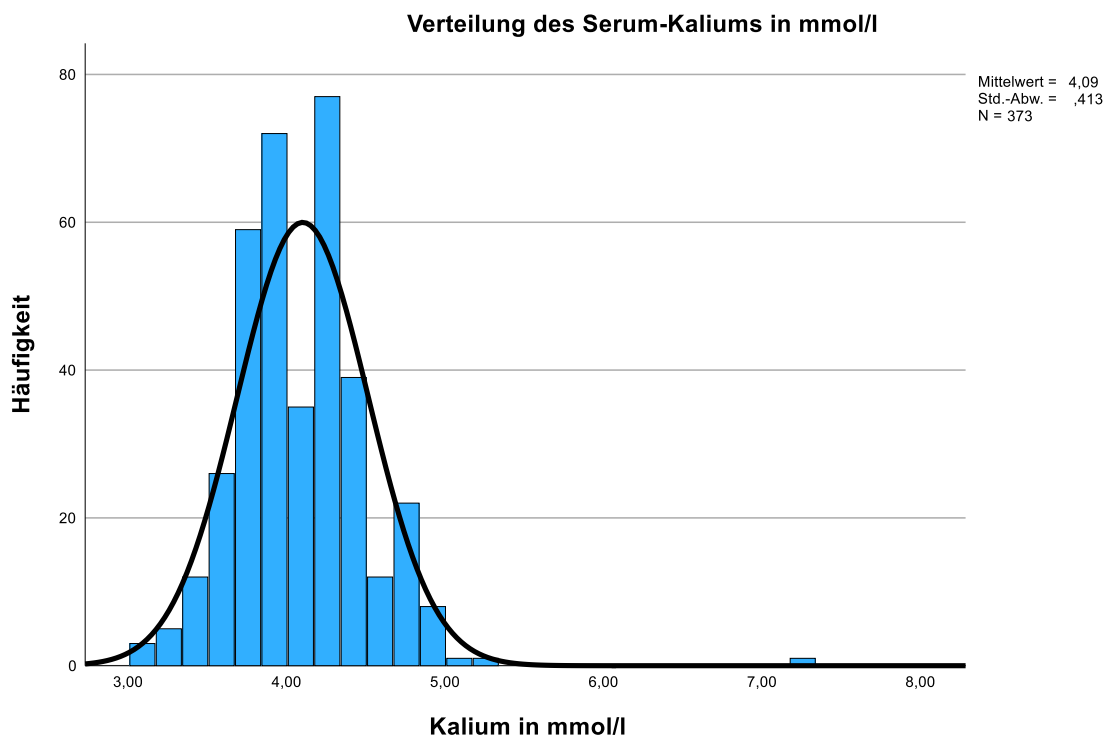


Abbildung 4 – Deskriptive Darstellung der Verteilung der Serumkaliumkonzentration in mmol/l

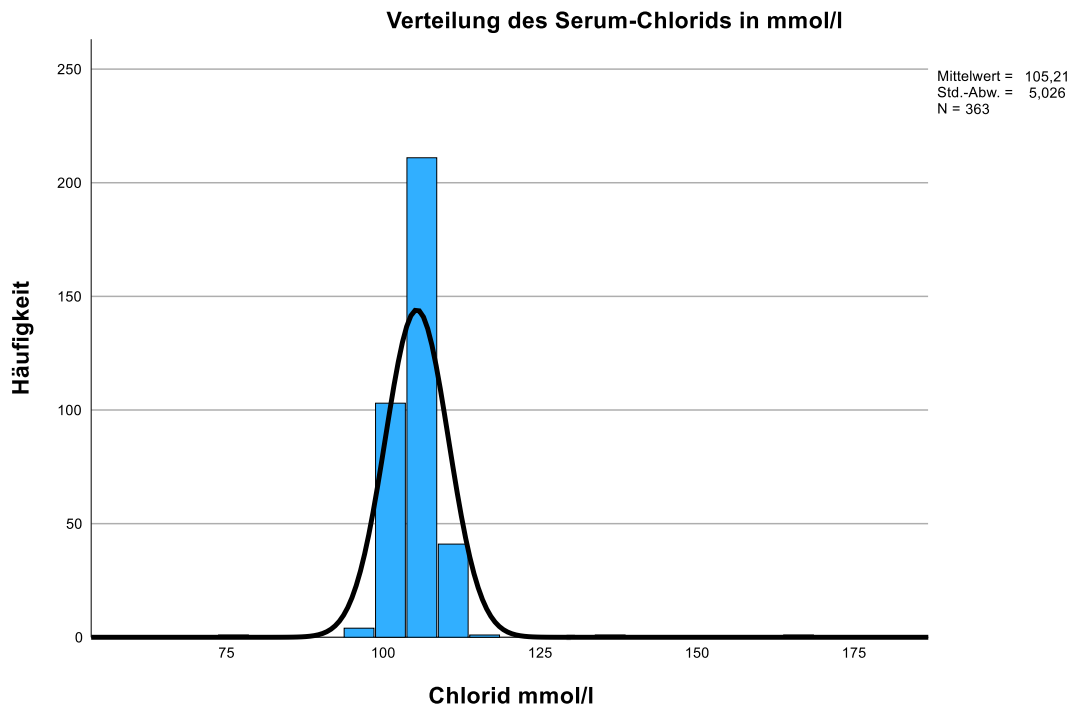


Abbildung 5 - Deskriptive Darstellung der Verteilung der Serumchloridkonzentration in mmol/l

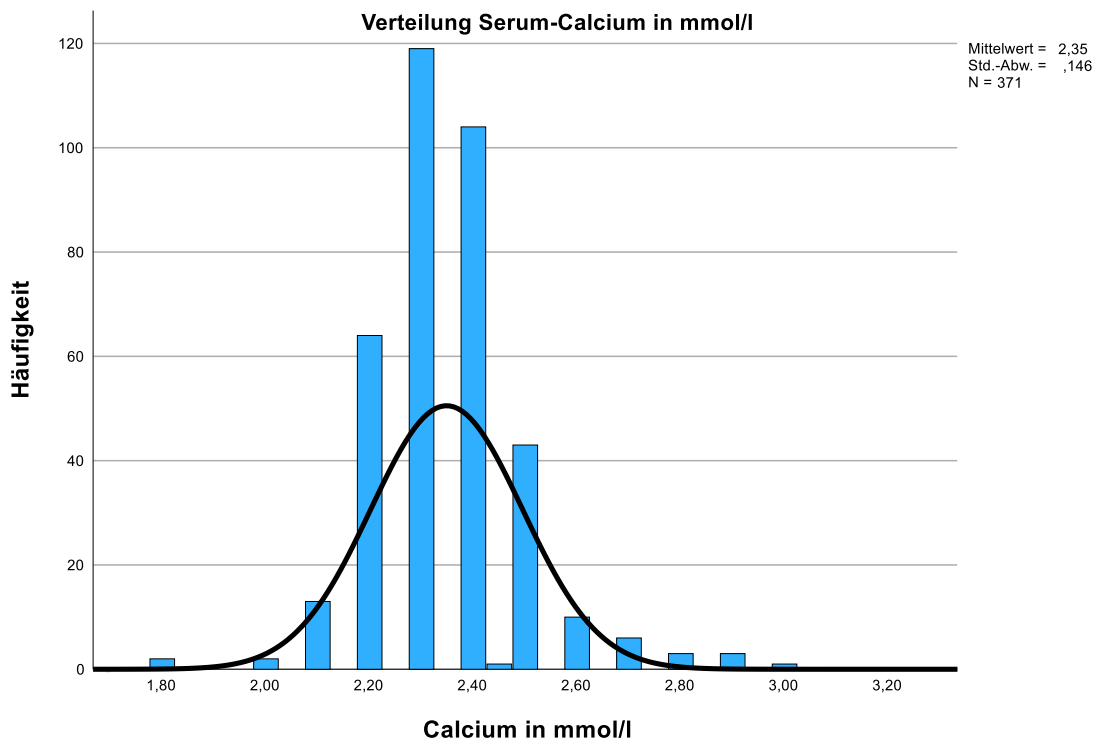


Abbildung 6 – Deskriptive Darstellung der Verteilung der Serumcalciumkonzentration in mmol/l

In Tabelle 4 sind Charakteristika der Nierensteine aufgeführt. Die Konkremente in der Region der unteren Kelchgruppe waren im Mittel 0,85 cm groß. Die durchschnittliche Größe der Konkremente aller Kelchgruppen betrug 0,965 cm. Im Nativ-CT, das zur Steinsuche durchgeführt worden war, zeigte sich eine mittlere Abschwächung der Röntgenstrahlung der Konkremente von 620 Hounsfield Einheiten.

Tabelle 4 - Charakteristika der Nierensteine

Steingröße des Unterpole-Konkrements im Nativ-CT	
- Mittelwert (SD)	0,851 cm (± 0,51 cm)
- Median	0,7 cm
- Minimum	0,1 cm
- Maximum	5 cm
Steingröße des größten Konkrements im Nativ-CT	
- Mittelwert (SD)	0,965 cm (± 0,56 cm)
- Median	0,8 cm
Abschwächung der Röntgenstrahlung durch das Unterpolekonkrement im Nativ-CT	
- Mittelwert (SD)	620,66 HU (± 315,42)
- Median	538 HU

In Abb. 7 ist die Verteilung der Abschwächung der Röntgenstrahlung der Unterpolkonkremente in Hounsfield Einheiten (HU) dargestellt.

Abschwächung der Röntgenstrahlung durch die Konkreme im Nativ-CT

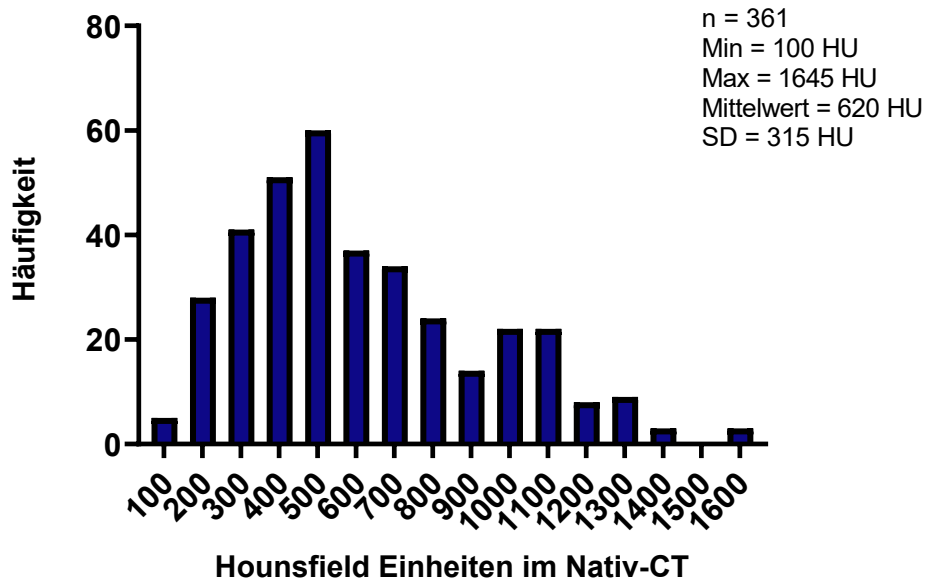
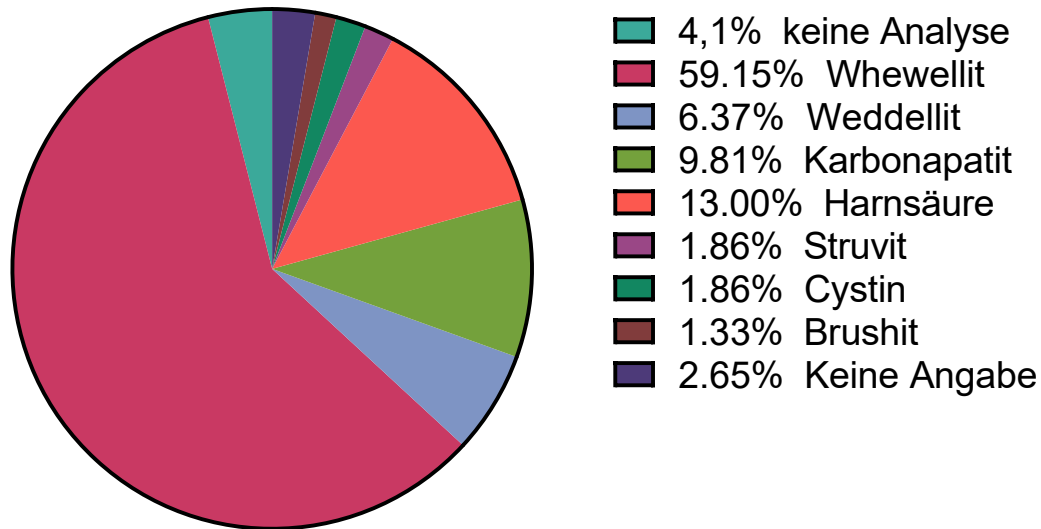


Abbildung 7: Deskriptive Darstellung der Abschwächung der Röntgenstrahlung der Konkreme in Hounsfield Einheiten (HU)

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse der Analyse der Nierensteine dargestellt. Der überwiegende Anteil der Steine bestand aus Whewellit (Calciumoxalat-Monohydrat) und Weddellit (Calciumoxalat-Dihydrat) und somit zu etwa 65 % aus Calciumoxalat. 13 % der Steine bestanden hauptsächlich aus Harnsäure, und knapp 10 % der Steine aus Karbonapatit.

Darstellung der Zusammensetzung nach Steinanalyse



Total=375

Abbildung 8: Deskriptive Darstellung des Hauptanteils in der Steinanalyse

In Tabelle 5 sind die operativen Daten aufgeführt. Mit etwa 72 % wurde der überwiegende Anteil der Eingriffe mit einem flexiblen Instrument durchgeführt. Hiervon wurde bei 26 % ein einmal verwendbares Instrument verwendet. Bezüglich des Ausbildungsstands der Operateure zeigte sich, dass der überwiegende Anteil der Eingriffe von Oberärzten durchgeführt wurde. Die erfasste durchschnittliche Operationsdauer betrug bei der m-PCNL etwa 91 Minuten, bei der flexiblen Ureterorenoskopie lag die mittlere Operationsdauer bei etwa 59 Minuten. Die durchschnittliche Operationsdauer bei einmal verwendbaren Instrumenten war mit ca. 53 Minuten kürzer als bei mehrfach verwendbaren Instrumenten.

Tabelle 5 - Operative Daten

Art des Eingriffs	
- m-PCNL	27,2% (n=102)
- flexible URS	72,8% (n=273)
• Single-Use fURS	26,1% (n=98)
• re-useable fURS	46,7% (n=175)
Ausbildungsstand des Operateurs	
- Assistenzarzt	20,1 %
- Facharzt	8,1 %
- Oberarzt	65,1 %
- Chefarzt	6,7 %
Operationszeit in Minuten	
- Mittelwert (SD)	67,76 min (\pm 35,77 min)
- Median (IQR)	64 min (47 min)
- m-PCNL (Mittelwert, SD)	91,58 min (\pm 34,82 min)
- m-PCNL (Median, IQR)	85 min (47 min)
- flexible URS (Mittelwert, SD)	58,85 min (\pm 31,88 min)
- flexible URS (Median, IQR)	53 min (43 min)
• Single-use fURS (Mittelwert, SD)	53,38 min (\pm 31,76 min)
• Single-use fURS (Median, IQR)	46 min (42 min)
• re-useable fURS (Mittelwert, SD)	62,34 min (\pm 32,22 min)
• re-useable fURS (Median, IQR)	59 min (46 min)

In Abbildung 9 ist die Verwendung von Hilfsmitteln zur Zertrümmerung und Behandlung von Nierensteinen dargestellt. In etwa 40 % der Fälle (alle Verfahren betreffend) konnten die Steine ohne weiteren Einsatz von Hilfsmitteln geborgen werden. Als häufigstes Hilfsmittel zur Zertrümmerung wurde der Laser eingesetzt.

Einsatz von Hilfsmitteln zur Steinentfernung

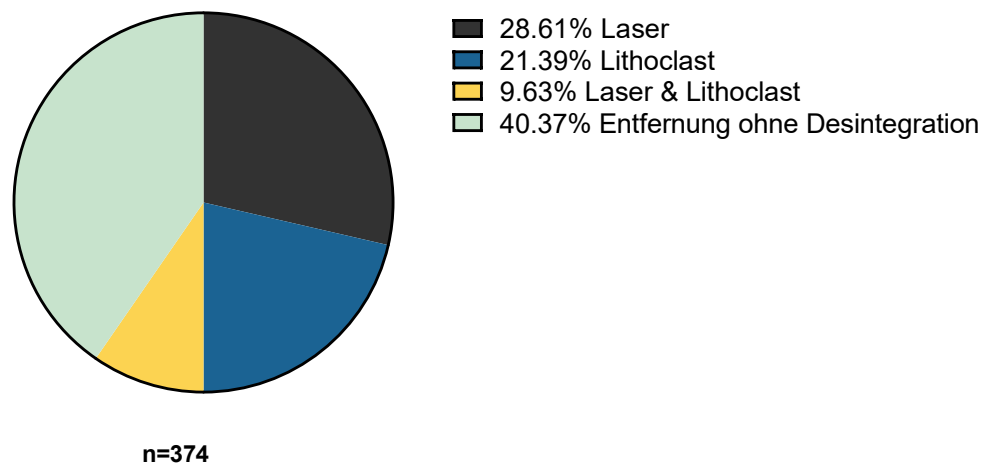


Abbildung 9: Deskriptive Darstellung der Häufigkeit des Einsatzes von Hilfsmitteln zur Steinentfernung und Steindesintegration

In Abbildung 10 sind die jeweils verwendeten Hilfsmittel zur Steindesintegration in Abhängigkeit des jeweiligen Verfahrens dargestellt. Bei einmal verwendbaren Geräten wurde oft der Laser eingesetzt, während bei mehrfach verwendbaren Geräten häufig eine Entfernung ohne vorherige Desintegration erfolgte.

Verwendung von Hilfsmitteln in Abhängigkeit vom Verfahren

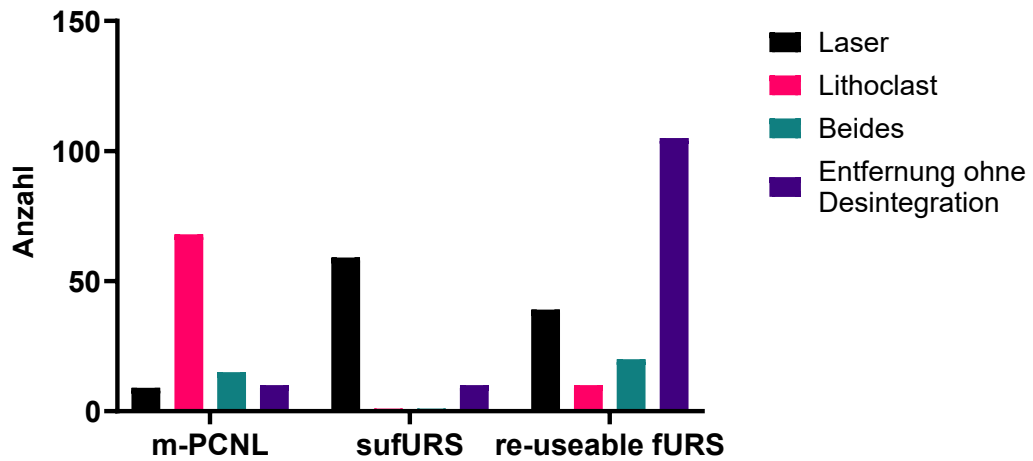


Abbildung 10: Deskriptive Darstellung der Verwendung von Hilfsmitteln zur Steindesintegration in Abhängigkeit vom jeweiligen gewählten Verfahren

3.2 Statistische Auswertungen

3.2.1 Vergleich der endoskopischen Steinfreiheitsrate in Abhängigkeit des jeweiligen Verfahrens

Die endoskopische Steinfreiheitsrate zwischen der m-PCNL und der flexiblen Ureterorenoskopie unterschied sich nicht signifikant ($p= 0,165$). Auch der Einsatz von mehrfach oder einmal-verwendbaren Endoskopen hatte keinen Einfluss auf die Steinfreiheitsrate ($p= 0,994$). Ebenso war die endoskopische Steinfreiheitsrate nicht von der Abschwächung der Röntgenstrahlung im Nativ-CT abhängig ($p= 0,083$) (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6 - Vergleich der endoskopischen Steinfreiheitsraten der jeweiligen Verfahren (Chi-Quadrat-Test)

Endoskopische Steinfreiheitsrate		
	%	p-Wert
- m-PCNL	94,11	0,165
- fURS	88,64	
• single-use fURS	88,0	0,994
• re-useable fURS	88,3	

3.2.2 Vergleich der mittleren Steingröße des Unterpolkonkrementes zwischen m-PCNL und f-URS

Die mittlere Steingröße des Unterpolkonkrementes war in der Gruppe der Patienten, die eine m-PCNL erhielten, signifikant größer ($p= < 0,001$) (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7 - Vergleich der Größe der Konkremente der jeweiligen Verfahren (t-Test)

Mittlere Steingröße des Unterpolkonkrements in cm		p-Wert
- m-PCNL (SD)	1,19 cm (± 0,62 cm)	< 0,001
- fURS (SD)	0,72 cm (± 0,39 cm)	

3.2.3 Mittlere Steingröße in Abhängigkeit des Ausbildungsstands des Operateurs

Die mittlere Steingröße des Unterpolkonkrements war bezogen auf den Ausbildungsstand des Operateurs signifikant unterschiedlich (siehe Tabelle 8). So war im Vergleich die mittlere Steingröße in der Gruppe der Oberärzte signifikant größer als die in der Gruppe der Assistenzärzte ($p = < 0,001$). Ebenso war die mittlere Steingröße in der Gruppe der Oberärzte größer als in der des Chefarztes ($p = 0,002$).

Tabelle 8 - Gegenüberstellung der mittleren Steingröße in Abhängigkeit vom Ausbildungsstand des Operateurs (Kruskal-Wallis-Test)

Mittlere Steingröße abhängig vom Ausbildungsstand des Operateurs	
- Assistenzarzt (SD) (n=75)	0,67 cm (± 0,36 cm)
- Facharzt (SD) (n=30)	0,78 cm (± 0,41 cm)
- Oberarzt (SD) (n=241)	0,93 cm (± 0,53 cm)

- Chefarzt (SD) (n= 23)	0,65 cm (± 0,33 cm)
-------------------------	---------------------------

In Abbildung 11 ist die Steingröße in cm in Abhängigkeit des Ausbildungsstandes des Operateurs dargestellt. Hier zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen Assistenzärzten und Oberärzten.

Steingröße (cm) in Abhängigkeit vom Ausbildungsstand

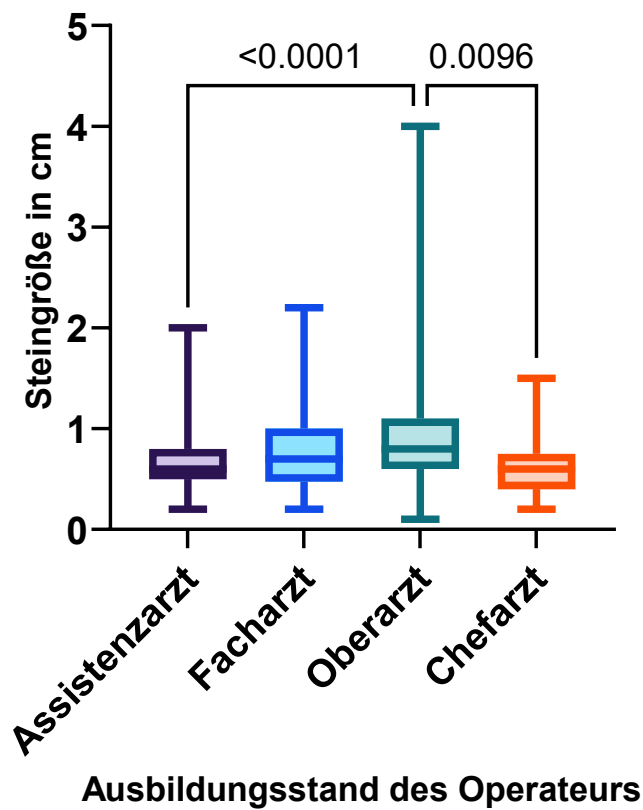


Abbildung 11 - Mittlere Steingröße abhängig vom Ausbildungsstand des Operateurs (Kruskal-Wallis-Test)

3.2.4 Vergleich der Schwächung der Röntgenstrahlung im Nativ-CT zwischen m-PCNL und f-URS

Die mittlere Schwächung der Röntgenstrahlung im Nativ-CT war in der Gruppe der mini-PCNL signifikant höher als bei der flexiblen Ureterorenoskopie ($p = < 0,001$) (siehe Tabelle 10).

Tabelle 9 - Mittlere Schwächung der Röntgenstrahlung für die verschiedenen Verfahren (Mann-Whitney-U-Test)

Mittlere Schwächung der Röntgenstrahlung im Nativ-CT		p-Wert
- m-PCNL (SD)	725,04 HU ($\pm 335,58$)	0,001
- fURS (SD)	581,76 HU ($\pm 299,03$)	

3.2.5 Mittlere Steingröße des Unterpolkonkrementes bei single-use f-URS und re-useable f-URS

Die mittlere Steingröße war in der Gruppe, in der ein single-use Instrument zur Verwendung kam, signifikant größer als in der Gruppe der mehrfach verwendbaren Instrumente ($p = 0,0152$) (siehe Tabelle 9).

Tabelle 10 - Vergleich der Größe der Konkreme für die verschiedenen Instrumente der flexiblen Ureterorenoskopie (t-Test)

Mittlere Steingröße bei solitärem Unterpolkonkrement in cm		p-Wert
- single-use fURS (SD)	0,77 cm (± 0,38 cm)	0,0152
- re-useable fURS (SD)	0,69 cm (± 0,39 cm)	

3.2.6 Vergleich des Einsatzes von Hilfsmitteln zur Steindesintegration von Konkrementen zwischen single-use und re-useable f-URS

Beim Einsatz von single-use fURS kamen signifikant häufiger Hilfsmittel zur Steindesintegration zum Einsatz ($p = < 0,001$) (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11 - Gegenüberstellung der Häufigkeit der Anwendung von Hilfsmitteln zur Steindesintegration (t-Test)

Einsatz von Hilfsmitteln zur Steindesintegration	%	p-Wert
- single-use fURS	62,8	< 0,001
- re-useable fURS	37,2	

3.2.7 Vergleich der mittleren Operationsdauer zwischen m-PCNL und f-URS

Die mittlere Operationsdauer der flexiblen Ureterorenoskopie war signifikant kürzer ($p = < 0,001$) als die der m-PCNL (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12 - Gegenüberstellung der mittleren Operationsdauer der jeweiligen Verfahren (t-Test)

Mittlere Operationsdauer in Minuten		p-Wert
- m-PCNL (SD)	91,58 min (± 34,82 min)	< 0,001
- fURS (SD)	58,85 min (± 31,87 min)	

3.2.8 Vergleich der mittleren Operationsdauer in Abhängigkeit vom Ausbildungsstand des Operateurs

Die mittlere Operationsdauer unterschied sich nicht signifikant abhängig vom Ausbildungsstand des Operateurs (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13 - Vergleich der mittleren Operationsdauer in Minuten abhängig vom Ausbildungsstand des Operateurs (Kruskal-Wallis-Test)

Mittlere Operationsdauer in Minuten abhängig vom Ausbildungsstand	
- Assistenzarzt (SD) (n=75)	67,40 min (± 29,55 min)
- Facharzt (SD) (n=30)	57,77 min (± 31,57 min)

- Oberarzt (SD) (n=243)	68,8 min (± 38,42 min)
- Chefarzt (SD) (n= 24)	62,96 min (± 35,32 min)

3.2.9 Vergleich der mittleren Operationsdauer zwischen single-use und re-useable f-URS

Die mittlere Operationsdauer war bei der Verwendung von single-use fURS signifikant niedriger (p= 0,015) (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14 - Vergleich der mittleren Operationsdauer in Minuten für verschiedene Instrumente der flexiblen Ureterorenoskopie (t-Test)

Mittlere Operationsdauer in Minuten		p-Wert
- Single-use fURS (Mittelwert, SD)	54,05 min (± 32,14 min)	0,015
• Median	46,5 min	
- Re-useable fURS (Mittelwert, SD)	62,18 min (± 31,42 min)	
• Median	59 min	

3.2.10 Vergleich der mittleren Operationsdauer zwischen single-use und re-useable f-URS nur bei Unterpolkonkrement

Bei Patienten mit nur einem Konkrement in der unteren Kelchgruppe war die mittlere Operationsdauer nicht signifikant unterschiedlich ($p= 0,144$) (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15 - Vergleich der mittleren Operationsdauer in Minuten bei nur vorliegendem Konkrement der unteren Kelchgruppe für verschiedene Instrumente der flexiblen Ureterorenoskopie (t-Test)

Mittlere Operationsdauer in Minuten nur bei Unterpolkonkrement		p-Wert
- Single-use fURS (Mittelwert, SD)	47,15 min (± 28,11 min)	0,144
• Median	40 min	
- Re-useable fURS (Mittelwert, SD)	53,29 min (± 28,45 min)	
• Median	46 min	

3.2.11 Vergleich der mittleren Operationsdauer in Abhängigkeit des jeweiligen Verfahrens

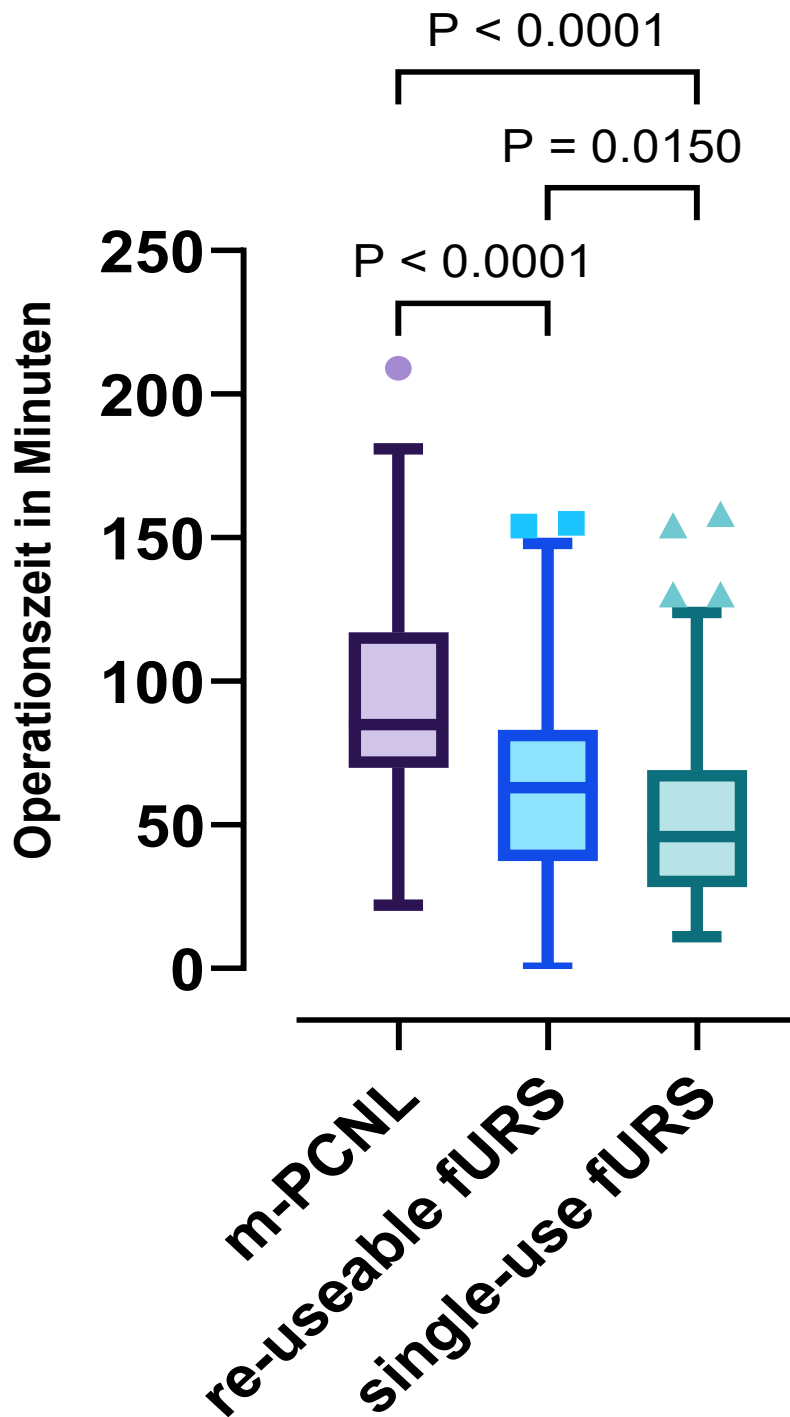


Abbildung 12: Darstellung Operationsdauer der verschiedenen Verfahren im Vergleich des Gesamtkollektivs (n=375, Kruskal-Wallis Test)

3.2.12 Vergleich der mittleren Operationsdauer in Abhängigkeit des jeweiligen Verfahrens nur bei Unterpolkonkrement

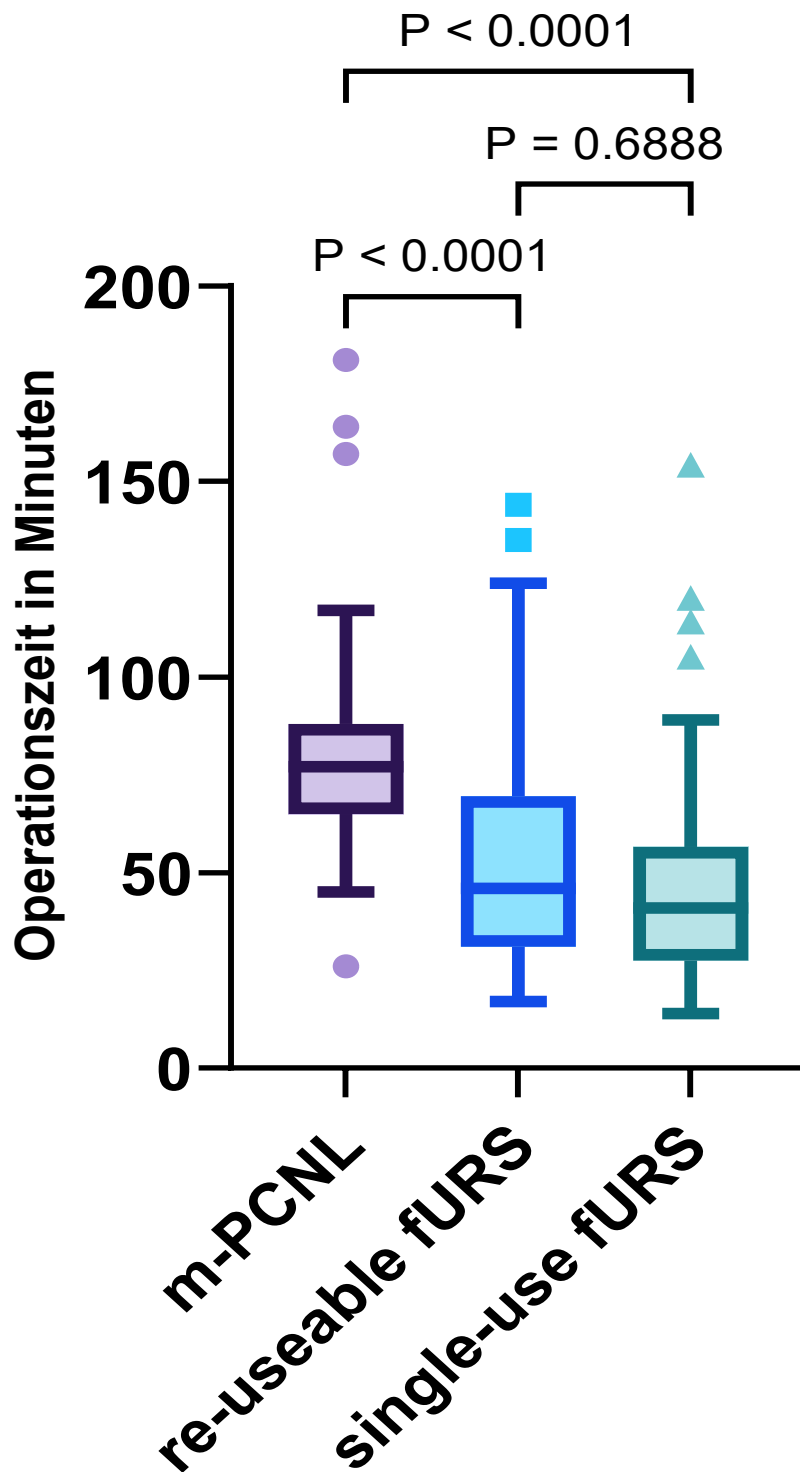


Abbildung 13: Darstellung der Operationsdauer in Minuten der verschiedenen Verfahren bei Patienten mit ausschließlich vorliegendem Unterpolkonkrement (n=178; Kruskal-Wallis Test)

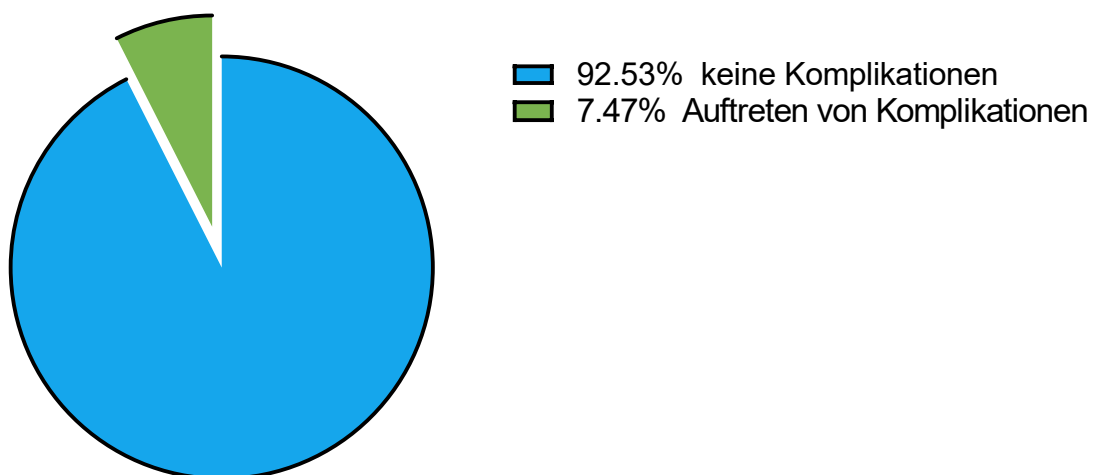
3.3 Krankenhausverweildauer in Abhängigkeit des Operationsverfahrens

Bei Patientinnen und Patienten, bei denen eine flexible Ureterorenoskopie durchgeführt wurde, war die Krankenhausverweildauer signifikant kürzer ($p = < 0,001$) (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16 - Vergleich der mittleren Krankenhausverweildauer der jeweiligen OP-Verfahren (t-Test)

Krankenhausverweildauer in Tagen		p - Wert
• m-PCNL (SD)	4,98 Tage (± 2,28 Tage)	< 0,001
• fURS (SD)	2,85 Tage (± 1,57 Tage)	

3.4 Auftreten von Komplikationen innerhalb von 30 Tagen



Total=375

Abbildung 14: Deskriptive Darstellung des Auftretens von Komplikationen nach Clavien-Dindo

3.4.1 Auftreten von Komplikationen in Abhängigkeit des jeweiligen Verfahrens

In der Gruppe der m-PCNL kam es signifikant häufiger zum Auftreten von Komplikationen ($p = <0,001$). Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit vom Auftreten von Komplikationen zwischen den verschiedenen Instrumenten der flexiblen Ureterorenoskopie. Das Auftreten von Komplikationen war zudem nicht abhängig von der Abschwächung der Röntgenstrahlung im Nativ-CT ($p = 0,2$) (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17 - Häufigkeit des Auftretens von Komplikationen und Vergleich des Anteils an Komplikationen für die jeweiligen OP-Verfahren (Chi-Quadrat-Test)

Auftreten von Komplikationen	%
• Keine Komplikationen	92,5 % (n= 347)
• Auftreten von Komplikationen	7,5 % (n= 28)
Anteil an aufgetretenen Komplikationen	
• m-PCNL	60,7 % (n= 17)
• fURS	39,3% (n= 11)
- single use fURS	63,6 % (n=7)
- re-useable fURS	36,4 % (n=4)

3.4.2 Art der Komplikationen

Es zeigte sich als häufigste Komplikation im unmittelbaren stationären Aufenthalt das Auftreten einer (Harnwegs-)Infektion ohne Fieber, gefolgt von einer Infektion mit Fieber (siehe Tabelle 18). Bezüglich der Art der Komplikationen bezogen auf das jeweilige Verfahren zeigte sich eine eingriffstypische Verteilung ohne statistisch signifikante Unterschiede in beiden Gruppen.

Tabelle 18 - Häufigkeit und Art der spezifischen Komplikationen während des stationären Aufenthalts

Art der Komplikationen	%
• Keine Komplikation	84,8 %
• Infektion ohne Fieber	9,9 %
• Infektion mit Fieber	2,9 %
• Urinom	0,3 %
• Behandlung durch ein anderes Fach	0,5 %
• Abflussstörung	0,3 %
• Nachblutung	0,8 %
• Beschwerden durch DJ	0,5 %

In Tabelle 19 sind die Art und Häufigkeit der Komplikationen dargestellt, die eine stationäre Wiederaufnahme innerhalb von 30 Tagen erforderten.

Tabelle 19 - Häufigkeit und Art der spezifischen Komplikationen die eine stationäre Wiederaufnahme innerhalb von 30 Tagen erforderten

Art der Komplikationen die eine stationäre Wiederaufnahme innerhalb von 30 Tagen erforderten	%
• Keine Komplikation	97,4 %
• Infektion ohne Fieber	1,0 %
• Infektion mit Fieber	0,6 %
• Hämatom	0,3 %
• Behandlung durch ein anderes Fach	0,3 %
• Abflussstörung	0,3 %

3.4.3 Klassifikation der aufgetreten Komplikationen nach Clavien-Dindo innerhalb von 30 Tagen

Betrachtet man die Komplikationen und klassifiziert diese mit Hilfe der Klassifikation nach Clavien-Dindo (Dindo et al., 2004) zeigt sich, dass in der überwiegenden Anzahl der Fälle keine Komplikationen auftraten (m-PCNL 83,3 % vs. f-URS 96%). Leichtgradige Komplikationen Grad I und II traten in der Gruppe der m-PCNL etwas häufiger auf (12,7 % vs. 4%). Komplikationen von Grad III, die eine chirurgische, radiologische oder endoskopische Intervention notwendig machten, traten in der Gruppe der f-URS gar nicht auf, und waren in der Gruppe der m-PCNL selten (3,9%). Dabei handelte es sich um einen fieberhaften Harnwegsinfekt, der eine Mono-J-Anlage nach sich zog (n=2), eine Nachblutung, die interventionelles Coiling erforderlich machte (n=2) und eine Patientin zog sich im stationären Aufenthalt eine Femurfraktur zu (n=1). Erfreulicherweise gab es in beiden Gruppen keine lebensbedrohlichen Komplikationen (siehe Abbildung 15).

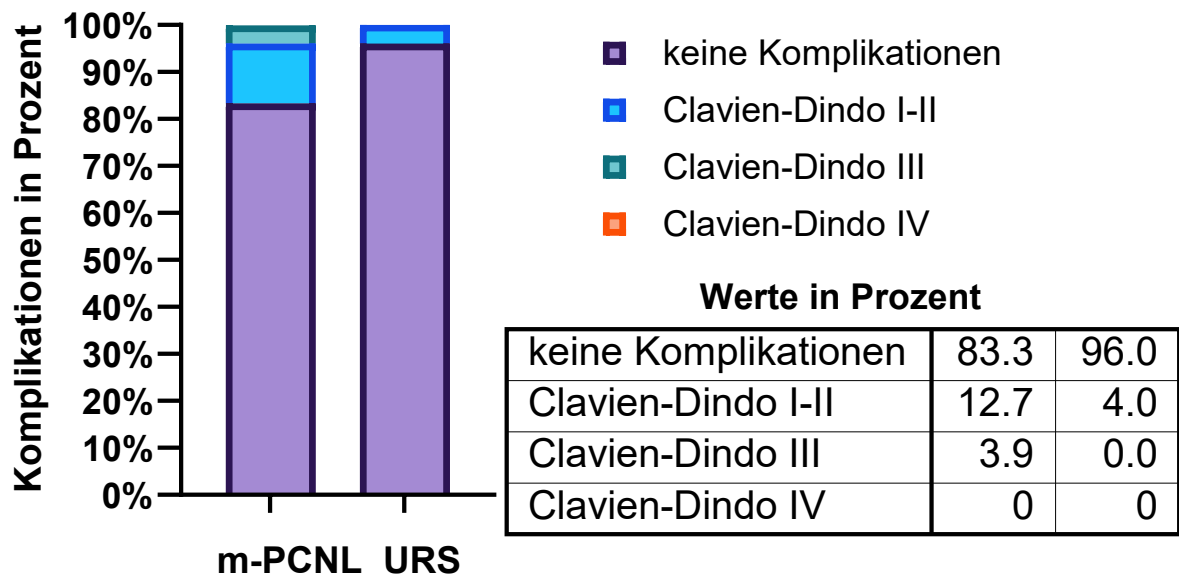


Abbildung 15: Deskriptive Darstellung der Häufigkeit der aufgetretenen Komplikationen mit Klassifikation nach Clavien-Dindo

3.4.4 Einfluss von Thrombozytenfunktionshemmung und Einnahme von oraler Antikoagulation auf die Komplikationsrate

Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit des Auftretens von Komplikationen abhängig von der Einnahme von Medikamenten mit Einfluss auf die Thrombozytenfunktion oder auf die plasmatische Gerinnung ($p = 0,132$).

3.3.4 Vergleich der laborchemischen postoperativen Veränderungen zwischen m-PCNL und f-URS

Der perioperative Abfall des Hämoglobinwerts war in der Gruppe der m-PCNL signifikant höher als in der Gruppe der f-URS ($p = <0,001$) (siehe Tabelle 20).

Tabelle 20 - Vergleich des mittleren Abfalls des Hämoglobinwerts für die jeweiligen Verfahren (Mann-Whitney-U-Test)

Perioperativer Abfall des Hämoglobinwerts		p - Wert
• m-PCNL (Mittelwert, SD)	1,53 g/dl (± 1,27 g/dl)	< 0,001
• f-URS (Mittelwert, SD)	0,78 g/dl (± 0,82 g/dl)	

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Ergebnisse

4.1.1 Epidemiologische Daten des Kollektivs

Das Patientenkollektiv in der vorgestellten Arbeit wies ein mittleres Alter von 55 Jahren und ein medianes Alter von 56 Jahren auf. Passend dazu findet sich in Arbeiten zur Epidemiologie der Nephrolithiasis eine Zunahme der Prävalenz ab dem 50. Lebensjahr (Hesse et al., 2003, Romero et al., 2010, Scales et al., 2012). Auch das häufigere Vorkommen beim männlichen Geschlecht spiegelt sich in den Daten (59,5 % vs. 40,5 %) wider (Hesse et al., 2003, Romero et al., 2010, Scales et al., 2012). Das Verhältnis an Patientinnen und Patienten als Rezidivsteinbildner bzw. Patienten mit dem ersten Auftreten von Nierensteinen war in der vorliegenden Arbeit relativ ausgeglichen. In der Literatur finden sich lediglich Daten bezüglich des Wiederauftretens einer erneuten Episode mit einer hohen Wahrscheinlichkeit von 20 % bis 50 % in den nächsten 5 Jahren (Trinchieri et al., 1999, Moe, 2006, Corbo and Wang, 2019, Wang et al., 2022). 15,6 % des Kollektivs nahmen Medikamente ein, die einen Einfluss auf die Blutgerinnung haben. Eine mögliche Erklärung liegt in der Altersstruktur, da ein nicht unerheblicher Anteil der Patientinnen und Patienten ein fortgeschrittenes Lebensalter (Median = 56 Jahre) aufwies. Somit ist das Vorliegen einer (kardiovaskulären) Komorbidität, die die Einnahme nötig macht, wahrscheinlicher.

4.1.2 Charakteristika der Nierensteine

Die mittlere Steingröße in der vorliegenden Arbeit lag bei 0,965 cm, bei Betrachtung nur der Steine in der unteren Kelchgruppe bei 0,851 cm, und unterschieden sich signifikant ($p = < 0,001$) in der Größe, betrachtete man die Verfahren der mini-PCNL und der flexiblen URS getrennt voneinander. Andere

Arbeiten fanden meist keinen signifikanten Unterschied für die beiden Verfahren bezogen auf die Steingröße (Fayad et al., 2017, Fayad et al., 2022, Lee et al., 2015). Diese betrachteten meist allerdings nicht Steine jeglicher Größe, sondern entweder Steine < 2 cm oder Steine > 2 cm. Hier stellt sich zudem die Frage, mit welchem Verfahren die Steingröße in den jeweiligen Arbeiten bestimmt wurde. Goldstandard ist die Bestimmung im Nativ-CT, aber auch sonographisch und endoskopisch während des Eingriffs ist eine Bestimmung der Größe möglich. Ebenso wird meist die maximale Ausdehnung in einer Ebene bestimmt und nicht das Volumen der Steine bestimmt.

Die mittlere Abschwächung der Röntgenstrahlung im Nativ-CT, das zur Steinsuche durchgeführt wurde, lag bei 620 Hounsfield Einheiten. Es zeigte sich, dass in der Gruppe der mini-PCNL diese signifikant ($p = < 0,001$) größer war als in der Gruppe der flexiblen Ureterorenoskopie. Sofern in anderen Arbeiten die Abschwächung der Röntgenstrahlung erhoben wurde, zeigte sich die Datenlage inkonsistent (Lee et al., 2015, Gucuk et al., 2019, Zhang et al., 2019, Fayad et al., 2022). Eine Erklärung dieses Unterschieds könnte sein, dass die Bestimmung und Größe der Hounsfield-Einheiten des Konkrements Einfluss auf die Indikationsstellung und Wahl des OP-Verfahrens hat und somit bei im Nativ-CT sehr röntgendichten Steinen eher die m-PCNL bevorzugt wird, und bei eher weichen Steinen eine Tendenz zur fURS besteht. Somit kann die Häufigkeit der Durchführung und Verfügbarkeit eines Nativ-CTs hier einen Einfluss auf die Daten in der Literatur haben.

In der durchgeführten Steinanalyse des Patientenkollektivs zeigte sich im Hauptanteil (ca. 65 %) Steine aus Calciumoxalat gefolgt von Harnsäuresteinen (13 %) und Steinen aus Karbonapatit (ca. 10 %). Diese Befunde befinden sich im Einklang mit anderen Arbeiten zur Steinanalyse (Daudon et al., 1995, Pak, 1998).

4.1.3 Diskussion der operativen Daten

4.1.3.1 Steinfreiheitsrate

Die Steinfreiheitsraten in der vorliegenden Arbeit waren zwar in der Gruppe derer, die eine mini-PCNL erhielten höher, dies war aber statistisch nicht signifikant ($p = 0,165$). Dies steht im Einklang zu berichteten Ergebnissen anderer Arbeiten (Ali et al., 2014, Kumar et al., 2015, Fayad et al., 2017, Zeng et al., 2018, Zhang et al., 2019). Hingegen fand Dorantes-Carrillo et. al. 2022 in einer Subgruppenanalyse der Übersichtsarbeit eine statistisch knappe ($p = 0,05$) Überlegenheit der m-PCNL in Bezug auf die Steinfreiheitsrate (Dorantes-Carrillo et al., 2022). Betrachtete man die Steinfreiheitsraten der verschiedenen Instrumente der flexiblen Ureterorenoskopie, so zeigte sich auch hier kein signifikanter Vorteil für eines der beiden Instrumente ($p = 0,994$). Mager et. al fanden im Jahr 2018 ebenfalls keinen signifikanten Unterschied die Steinfreiheitsraten betreffend und wurde so in anderen Arbeiten auch bestätigt (Usawachintachit et al., 2017, Qi et al., 2020, Bragaru et al., 2023). In einer Meta-Analyse, die 5 Studien analysierte, wurde allerdings eine höhere Steinfreiheitsrate von single-use Endoskopen beschrieben (Li et al., 2021). Darin wurde berechtigterweise darauf hingewiesen, dass die Definition der Steinfreiheitsraten in den verschiedenen Arbeiten unterschiedlich war (Li et al., 2021). In der vorliegenden Arbeit wurde die Steinfreiheitsrate durch die endoskopische Bestätigung der Steinfreiheit definiert. In anderen Arbeiten wurden zum Teil zur Überprüfung der Steinfreiheit postoperativ CT-Untersuchungen durchgeführt. Dies führt unter Umständen zur eingeschränkten Vergleichbarkeit von Steinfreiheitsraten zwischen verschiedenen Arbeiten. Eine aktuellere Meta-Analyse, die 11 Arbeiten analysierte, fand wiederum keinen signifikanten Unterschied in der Steinfreiheitsrate (Jun et al., 2022). Bei Betrachtung von Steinen der unteren Kelchgruppe konnte von manchen Autoren ein signifikanter Vorteil in der Steinfreiheitsrate bei single use Instrumenten gezeigt werden (Yang et al., 2021).

In der vorliegenden Arbeit war die endoskopische Steinfreiheitsrate statistisch nicht abhängig von der Schwächung der Röntgenstrahlung durch die Konkremente in der Nativ-CT ($p = 0,083$). Dies steht im Widerspruch zu anderen Arbeiten, die den Einfluss auf die Steinfreiheitsraten der mini-PCNL bestätigt haben (Gücük et al., 2012, Gücük et al., 2013, Gucuk et al., 2019). Hier wurde aber darauf hingewiesen, dass Steine mit einer niedrigen Schwächung der Röntgenstrahlung unter Durchleuchtung leichter übersehen werden können und daher die Steinfreiheitsrate bei der m-PCNL beeinflussen können (Gucuk et al., 2019). Ein anderer möglicher Einflussfaktor ist die Unsicherheit bei der Messung in der Bildbetrachtungs-Software. Hier kann es je nachdem welche Region of Interest (ROI) ausgewählt wird, zu Ungenauigkeiten in der Messung kommen. In dieser Arbeit wurde die Schwächung der Konkremente an 3 verschiedenen Positionen gemessen und der Mittelwert gebildet.

4.1.3.2 Steindesintegration

In der vorliegenden Population zeigte sich, dass bei der Anwendung von single use Ureterorenoskopen signifikant häufiger Hilfsmittel zur Steindesintegration zur Anwendung kamen ($p = < 0,001$). In der Literatur sind zum Einem die hohen Anschaffungskosten für wiederverwendbare Instrumente beschrieben, sowie die hohen Instandhaltungskosten (Shah et al., 2015, Kramolowsky et al., 2016). Manche Autoren schlagen vor, dass bei hohem Risiko für eine Beschädigung der Geräte einmal verwendbare Instrumente zu verwenden (Hennessey et al., 2018). Eine mögliche Erklärung für die häufigere Verwendung von Hilfsmitteln zur Steindesintegration ist, dass bei wieder verwendbaren Instrumenten durch den Laser die Gefahr einer Beschädigung des Instruments besteht. Dies könnte zu einem zurückhaltenden Einsatz des Lasers führen, um bei der Verwendung die teuren Instrumente nicht zu beschädigen. Oder präoperativ fällt bei hoher Wahrscheinlichkeit für den Einsatz von Hilfsmitteln zur Desintegration die Wahl gegebenenfalls eher auf einmal verwendbare Geräte. Weiterhin ist der Einsatz von Hilfsmitteln zur Steindesintegration abhängig von der Größe des

Nierensteins. So war in der vorliegenden Arbeit die Steingröße in der Gruppe der single-use Ureterorenoskopen größer, was wiederum die häufiger durchgeführte Steindesintegration erklären kann.

4.1.3.3 Operationsdauer

Die Operationsdauer war in der vorliegenden Arbeit in der Gruppe der mini-PCNL mit 91,5 Minuten signifikant länger als in der Gruppe der flexiblen Ureterorenoskopie ($p = < 0,001$). Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu Ergebnissen von anderen Arbeiten, die wiederum für die m-PCNL eine signifikant kürzere Operationsdauer berichten (Bozzini et al., 2017, Zhang et al., 2019). Wiederum andere Arbeiten konnten keine signifikanten Unterschiede der Operationsdauer betreffend aufzeigen (Lee et al., 2015, Fayad et al., 2022). In der vorliegenden Arbeit war die mittlere Steingröße in der Gruppe der m-PCNL signifikant größer, was eine längere Operationsdauer zur Folge haben könnte. Möglicherweise spielt auch die genaue Definition von Anfang und Ende der Operation eine Rolle, sowie unterliegt deren exakte Dokumentation möglicherweise Fehlerquellen. Je nachdem, ob der Eingriff in Rücken- oder Bauchlage erfolgt, ist im Rahmen des Eingriffs eine Umlagerung notwendig und kann je nach Definition in der jeweiligen Operationsdauer enthalten sein, oder bereits zuvor erfolgt sein. Ebenso könnte die Erfahrung und der Ausbildungsstand des jeweiligen Operateurs eine Rolle spielen. In den Daten der vorliegenden Arbeit zeigten sich hier jedoch diesbezüglich keine signifikanten Unterschiede auf die Operationsdauer. Jedoch war die mittlere Steingröße bei Assistenzärzten im Vergleich zu Fachärzten signifikant niedriger, was möglicherweise auch Auswirkungen auf die Operationsdauer haben kann.

Bei Betrachtung der Operationsdauer bei Verwendung von single-use und re-useable Ureterorenoskopen fand sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied ($p = 0,015$). Sehr teure, wartungsintensive und im Falle einer Beschädigung sehr hohe Reparaturkosten könnten bei der Verwendung von Mehrweginstrumenten zu einem vorsichtigeren Umgang, und so indirekt zu einer längeren Operationsdauer führen. Weiterhin ist bei Einweginstrumenten

die technische (Bild-)Qualität (bspw. Helligkeit, Bildqualität, Bildkontrast) einheitlich und auf einem guten Niveau (Deiningner et al., 2018). Bei Mehrweginstrumenten kann insbesondere nach mehrfacher Verwendung die Qualität der Optik im Verlauf schlechter geworden sein und so könnten schlechtere Sichtbedingungen zu längeren Operationszeiten führen (Deiningner et al., 2018). Usawachintachit et. al. zeigten bereits 2017 eine signifikant kürzere Operationsdauer bei Verwendung von single use Ureterorenoskopen. Andere Arbeiten konnten den Zeitvorteil der single use Instrumente jedoch nicht bestätigen (Qi et al., 2020, Jun et al., 2022).

Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Operationsdauer bei Betrachtung der Nierenkonkremente der unteren Kelchgruppe ($p= 0,144$). In anderen Arbeiten konnte ebenfalls kein signifikanter Unterschied dahingehend berichtet werden (Yang et al., 2021).

4.1.3.4 Krankenhausverweildauer

In der vorliegenden Arbeit war die Krankenhausverweildauer in der Gruppe der flexiblen Ureterorenoskopie signifikant kürzer ($p= < 0,001$). Dieser Umstand wurde in mehreren Arbeiten bereits bestätigt (De et al., 2015, Jin et al., 2019, Zhang et al., 2019, Dorantes-Carrillo et al., 2022). In anderen Gesundheitssystemen – und zunehmend auch in der BRD - wird die Ureterorenoskopie häufig auch als ambulanter Eingriff durchgeführt und führt so kürzeren Aufenthalten.

4.2 Diskussion der Komplikationen

4.2.1 Auftreten von Komplikationen

In der vorliegenden Arbeit kam es in etwa 7,5 % der Fälle zum Auftreten von Komplikationen (n=28). Davon war der überwiegende Anteil bei Patientinnen und Patienten, die eine mini-PCNL erhielten. Dies war statistisch signifikant ($p < 0,001$). Mehrere Übersichtsarbeiten ergaben jedoch keinen signifikanten Unterschied in den Komplikationsraten der jeweiligen Verfahren (De et al., 2015, Jiao et al., 2019, Dorantes-Carrillo et al., 2022). Die Daten bezüglich der Komplikationsraten stellen sich in Übersichtsarbeiten als sehr heterogen dar und rangieren von 8% bis 84 % (Dorantes-Carrillo et al., 2022). Eine weitere mögliche Erklärung ist die große Heterogenität der mini-PCNL Gruppen in den verschiedenen Arbeiten bezogen auf die Steingröße.

In der vorliegenden Arbeit wurde auch betrachtet, ob die Komplikationsrate von der Abschwächung der Röntgenstrahlung durch die Konkremente im Nativ-CT abhängig war. Hierbei gab es keinen statistisch signifikanten Unterschied. Dies wurde in anderen Arbeiten bestätigt (Gücük et al., 2013, Gucuk et al., 2019)

4.2.1.1 Abfall des Hämoglobinwertes

Im vorliegenden Kollektiv zeigte sich ein signifikant höherer Abfall des Hämoglobinwertes in der Gruppe derer, die eine mini-PCNL erhielten. Die Datenlage in der Literatur hierzu ist uneinheitlich. In einer aktuellen Übersichtsarbeit wurde ebenfalls ein höherer Abfall des Hämoglobinwertes in der Gruppe der m-PCNL gefunden (Dorantes-Carrillo et al., 2022). In anderen Arbeiten wurde dieser Unterschied nicht bestätigt (Zhang et al., 2019, Jin et al., 2019). In der Literatur wurde ein Abfall des Hämoglobinwertes bei der m-PCNL von $0,69 \pm 0,98$ g/dl (Lee et al., 2015) bzw. 0,87 bis 1,4 g/dl beschrieben (Desai et al., 2011, Hatipoglu et al., 2014). Für die fURS $0,38 \pm 0,97$ g/dl (Jin et al., 2019) bzw. $0,97 \pm 0,68$ g/dl (Jin et al., 2019). Der in der vorliegenden Arbeit

gefundene Abfall befindet sich in einer ähnlichen Größenordnung. Ebenso könnte der Abfall des Hämoglobinwerts Ausdruck einer Überwässerung während des Eingriffs sein.

4.2.1.2 Klassifikation der Komplikationen

In der vorliegenden Arbeit wurden die aufgetretenen Komplikationen genauer betrachtet und mittels der Klassifikation nach Clavien-Dindo (Dindo et al., 2004) eingeteilt. Hierbei gab es keine signifikanten Unterschiede in beiden Gruppen die Schweregrade betreffend. Dies wurde in anderen Arbeiten so auch bestätigt (Jiao et al., 2019, Dorantes-Carrillo et al., 2022).

4.2.2 Diskussion single use vs. re-useable Ureterorenoskope

In den letzten Jahren wurde die Verwendung von einmal verwendbaren Ureterorenoskopen immer populärer und die Anzahl an verschiedenen Modellen nimmt stetig zu (Deininger et al., 2018, Moore et al., 2019, Ventimiglia et al., 2020, Hogan et al., 2022, Bragaru et al., 2023). Die Anschaffung und Instandhaltung von wieder verwendbaren Instrumenten ist sehr teuer (Kramolowsky et al., 2016, Taguchi et al., 2018, Ventimiglia et al., 2020) und Instrumente, die bereits einmal beschädigt wurden neigen häufig zu weiteren Schäden (Carey et al., 2006). Neben den Kosten spielt auch ein geringes, aber dennoch vorhandenes Risiko der Kreuzinfektion eine Rolle bei der Wiederaufbereitung von wieder verwendbaren Instrumenten (Moore et al., 2019). Die geschieht häufig im Spannungsfeld zwischen der notwendigen gründlichen Sterilisation und Vermeidung einer Beschädigung der Instrumente durch den Vorgang an sich. (Abraham et al., 2007, Isaacson et al., 2017, Moore et al., 2019). In aktuellen Analysen der Kosten konnte gezeigt werden, dass single use Instrumente abhängig vom Caseload der Klinik, der Reparaturkosten und der individuellen Einkaufspreise eine kostengünstigere Alternative

darstellen (Taguchi et al., 2018, Hennessey et al., 2018, Moore et al., 2019, Ventimiglia et al., 2020). Zudem spielt auch die Zunahme an Inzidenz und Prävalenz der Erkrankung an sich eine gewichtige ökonomische Rolle (Ziamba and Matlaga, 2017), wodurch eine kosteneffektive Behandlung der Erkrankung absolut sinnvoll und erforderlich ist. Neben den Kosten für medizinische Versorgung hat im Gesundheitssystem immer mehr die Klimabilanz und somit auch der CO₂-Fußabdruck des Gesundheitssystems eine entscheidende Bedeutung (Tennison et al., 2021). Neben den reinen CO₂-Emissionen sollte aber auch der Wasserverbrauch in eine umfassende ökologische Betrachtung mit einbezogen werden (Keil et al., 2022). Daher ist es naheliegend die Lebenszyklen von medizinischen Instrumenten dahingehend zu beurteilen (Hess and Salas, 2021). Hier konnte in mehreren Untersuchungen gezeigt werden, dass, je nachdem welche Instrumente der verschiedenen Hersteller man betrachtet, einmal verwendbare Instrumente vergleichbare CO₂-Emissionen verursachen bzw. in manchen Fällen auch die klimafreundlichere Alternative darstellen (Davis et al., 2018, Hogan et al., 2022, Boucheron et al., 2022). Bei einmal verwendbaren Instrumenten entfallen die meisten Emissionen auf die Produktion, während bei wiederverwendbaren Instrumenten, insbesondere die Emissionen während der Wiederaufbereitung bzw. Sterilisation die größte Rolle spielen. (Thöne et al., 2024) In sog. „break even“-Analysen konnte gezeigt werden, dass ab ca. der achten Verwendung eines wieder verwendbaren Instruments der Einfluss auf Public Health in Form von DALYs (Disability-Adjusted Life Years) gleich groß ist (Thöne et al., 2024). Somit können wieder verwendbare Instrumente ab einer gewissen Anzahl an Verwendungen die umweltfreundlichere Alternative zu einmal verwendbaren Instrumenten darstellen (Thöne et al., 2024). Bei Vergleichen des jeweiligen CO₂-Fußabdrucks bzw. Lebenszyklus sollte der jeweilige verwendete Energie-Mix berücksichtigt werden, da der Anteil von Energie aus erneuerbaren Energien einen großen Einfluss auf die Bilanz haben kann (Davis et al., 2018, Thöne et al., 2024).

4.3 Limitationen der Arbeit und Diskussion der Methoden

Die vorliegende Arbeit ist nicht frei von Limitationen. Trotz einer sorgfältigen und gewissenhaften Dokumentation stellt die retrospektive Natur der Untersuchung eine Einschränkung dar. Zudem war die Gruppe der Patienten, bei denen eine flexible Ureterorenoskopie durchgeführt wurde deutlich größer als die Vergleichsgruppe der mini-PCNL (n=102 vs. n=273). Auch unterliegen Größe- und Dichtemessungen im Nativ-CT unter Umständen einer gewissen Ungenauigkeit. Um diese möglichst gering zu halten, wurden mehrfache Messungen durchgeführt und Mittelwerte gebildet. Eine Überprüfung der bereits dokumentierten Daten im digitalen Krankenhausinformationssystem war nicht möglich. Die vorliegende Arbeit umfasste zwar ein Patientenkollektiv von 375 Patientinnen und Patienten, durch Lücken in der bestehenden Dokumentation lagen nicht für jeden Patienten alle Daten vor, und flossen somit nicht in alle Analysen ein.

4.4 Ausblick

In der vorliegenden Arbeit konnte kein signifikanter Vorteil für eines der beiden Verfahren hinsichtlich der Steinfreiheitsrate gezeigt werden. Beide Verfahren weisen hohe Steinfreiheitsraten auf und sind zudem sichere Verfahren. Der Zeitvorteil bei der Operationsdauer könnte in Zukunft eine größere Rolle bei der Entscheidung spielen, welches Operationsverfahren für welche Patienten gewählt wird und welche Art von Instrument dabei zum Einsatz kommt. Eine kürzere Operationsdauer führt zu kürzerer Anästhesiepräsenz und verkürzt gegebenenfalls die Narkosedauer der Patientinnen und Patienten. Hierdurch ist ein solcher Eingriff eventuell ambulant durchführbar, und für den Patienten ist eine kürzere Allgemeinanästhesie potenziell mit einem komplikationsärmeren postoperativen Verlauf vergesellschaftet. Durch die kürzere Operationsdauer können auch innerklinische Ressourcen wie das verfügbare Fachpersonal und Eingriffsräume effizienter genutzt werden. Somit ist auch unter ökonomischen

Gesichtspunkten die kürzere Operationsdauer nicht zu vernachlässigen. Zusätzlich könnte durch die Verwendung von single-Use Instrumenten neben einer möglichen Kostenreduktion unter Umständen eine Verbesserung der Klimabilanz und CO₂-Reduktion herbeigeführt werden. Die in der vorliegenden Arbeit kürzere Krankenhausverweildauer bei Patienten der flexiblen URS kann zukünftig eine gewichtigere Rolle spielen und dürfte zudem auch auf die Patientenzufriedenheit positiven Einfluss haben. In zukünftigen Arbeiten sollten single-use Instrumente in einem größeren Patientenkollektiv untersucht werden, um die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit weiter einordnen zu können.

5 Zusammenfassung

Die Nephrolithiasis stellt eine häufige und in den letzten Jahren in westlichen Industrieländern zunehmende Krankheitsentität dar, deren Morbidität und die Behandlung immense Kosten verursacht. In der vorliegenden Arbeit wurden zwei etablierte Verfahren - die miniaturisierte perkutane Nephrolitholapaxie und die flexible Ureterorenoskopie - zur Behandlung des Steinleidens untersucht. Weiterhin wurde bei der flexiblen Ureterorenoskopie untersucht welchen Einfluss das verwendete Instrument hat. Welches Verfahren die optimale Behandlung für Patientinnen und Patienten mit Nierensteinkonglomeraten im Bereich der unteren Kelchgruppe ist, wird zum Teil kontrovers diskutiert. In dieser retrospektiven Arbeit wurden 375 Patientinnen und Patienten an den Universitätskliniken Tübingen und Salzburg ausgewertet, die sich im Zeitraum 2017 bis 2020 einer operativen Steinsanierung im Bereich der unteren Kelchgruppe mittels einem der beiden Verfahren unterzogen hatten. In der vorliegenden Arbeit zeigte sich, dass die beiden Verfahren der mini-PCNL und die flexible Ureterorenoskopie sichere und etablierte Vorgehensweisen sind. Die Steinfreiheitsraten zeigte sich bei beiden Verfahren als hoch, mit einem kleinen Vorteil für die mini-PCNL, jedoch ohne statistisch signifikanten Unterschied in der Steinfreiheitsrate. Die Steinfreiheitsrate der m-PCNL betrug 94,1 %, die der flexiblen Ureterorenoskopie 88,6 %. Dafür wird eine signifikant höhere Rate an Komplikationen (m-PCNL 60,7% vs. fURS 39,3%) und ein signifikant höherer Abfall des Hämoglobinwerts (Abfall des Hämoglobinwertes m-PCNL 1,53 g/dl vs. 0,78 g/dl) in Kauf genommen. Es zeigte sich zudem ein signifikanter Vorteil in Bezug auf die mittlere Operationsdauer zu Gunsten der flexiblen Ureterorenoskopie (91,5 Minuten vs. 58,85 Minuten). In den Auswertungen bezüglich des Vergleichs von wiederverwendbaren und einmalig verwendbaren flexiblen Instrumenten zeigte sich auch hier ein signifikanter Zeitvorteil bei vergleichbarer Steinfreiheitsrate für single-use Ureterorenoskope (54,05 Minuten vs. 62,18 Minuten). Auch konnte ein signifikanter Vorteil der flexiblen Ureterorenoskopie bezüglich einer kürzeren Krankenhausverweildauer

gezeigt werden. Diese betrug bei der m-PCNL 4,98 Tage, bei der f-URS 2,85 Tage.

Diese Arbeit gibt Anlass, um in weiteren – auch prospektiven - Arbeiten den Einfluss der Verwendung von single-use Instrumenten auf die Steinfreiheitsrate und den periinterventionellen Verlauf zu untersuchen. Durch solche Untersuchungen könnte die Behandlung der Nephrolithiasis der unteren Kelchgruppe weiter verbessert werden.

6 Literaturverzeichnis

- ABDEL-HALIM, R. E. & ABDEL-HALIM, M. R. 2006. A review of urinary stone analysis techniques. *Saudi Med J*, 27, 1462-7.
- ABRAHAM, J. B. A., ABDELSHEHID, C. S., LEE, H. J., BOX, G. N., DEANE, L. A., LE, T., JELLISON, F., BORIN, J. F., MANIPON, A., MCDOUGALL, E. M. & CLAYMAN, R. V. 2007. Rapid Communication: Effects of Steris 1™ Sterilization and Cidex® Ortho-Phthalaldehyde High-Level Disinfection on Durability of New-Generation Flexible Ureterscopes. *Journal of Endourology*, 21, 985-992.
- ABUFARAJ, M., XU, T., CAO, C., WALDHOER, T., SEITZ, C., D'ANDREA, D., SIYAM, A., TARAWNEH, R., FAJKOVIC, H., SCHERNHAMMER, E., YANG, L. & SHARIAT, S. F. 2021. Prevalence and Trends in Kidney Stone Among Adults in the USA: Analyses of National Health and Nutrition Examination Survey 2007-2018 Data. *Eur Urol Focus*, 7, 1468-1475.
- AFSHAR, K., JAFARI, S., MARKS, A. J., EFTEKHARI, A. & MACNEILY, A. E. 2015. Nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) and non-opioids for acute renal colic. *Cochrane Database of Systematic Reviews*.
- ALI, S., KUMAR, N. & BALOCH, U. 2014. Outcome of percutaneous nephrolithotomy. *J Coll Physicians Surg Pak*, 24, 261-4.
- ALKEN, P., HUTSCHENREITER, G., GUNTHER, R. & MARBERGER, M. 1981. Percutaneous stone manipulation. *J Urol*, 125, 463-6.
- ANTONELLI, J. A., MAALOUF, N. M., PEARLE, M. S. & LOTAN, Y. 2014. Use of the National Health and Nutrition Examination Survey to calculate the impact of obesity and diabetes on cost and prevalence of urolithiasis in 2030. *Eur Urol*, 66, 724-9.
- AUMÜLLER, G., AUST, G., CONRAD, A., ENGELE, J., KIRSCH, J., MAIO, G., MAYERHOFER, A., MENSE, S., REIßIG, D., SALVETTER, J., SCHMIDT, W., SCHMITZ, F., SCHULTE, E., SPANEL-BOROWSKI, K., WENNEMUTH, G., WOLFF, W., WURZINGER, L. & ZILCH, H.-G. 2020. *Duale Reihe Anatomie*.
- BAGLEY, D. H. 2002. Expanding role of ureteroscopy and laser lithotripsy for treatment of proximal ureteral and intrarenal calculi. *Curr Opin Urol*, 12, 277-80.
- BAO, Y., TU, X. & WEI, Q. 2020. Water for preventing urinary stones. *Cochrane Database Syst Rev*, 2, CD004292.
- BEIKO, D. T. & DENSTEDT, J. D. 2007. Advances in Ureterorenoscopy. *Urologic Clinics of North America*, 34, 397-408.
- BOUCHERON, T., LECHEVALLIER, E., GONDRAN-TELLIER, B., MICHEL, F., BASTIDE, C., MARTIN, N. & BABOUDJIAN, M. 2022. Cost and Environmental Impact of Disposable Flexible Cystoscopes Compared to Reusable Devices. *J Endourol*, 36, 1317-1321.
- BOZZINI, G., VERZE, P., ARCANILOLO, D., DAL PIAZ, O., BUFFI, N. M., GUAZZONI, G., PROVENZANO, M., OSMOLORSKIJ, B., SANGUEDOLCE, F., MONTANARI, E., MACCHIONE, N., PUMMER, K.,

- MIRONE, V., DE SIO, M. & TAVERNA, G. 2017. A prospective randomized comparison among SWL, PCNL and RIRS for lower calyceal stones less than 2 cm: a multicenter experience : A better understanding on the treatment options for lower pole stones. *World J Urol*, 35, 1967-1975.
- BRAGARU, M., MULTESCU, R., GEORGESCU, D., BULAI, C., ENE, C., POPESCU, R., GEAVLETE, P. & GEAVLETE, B. 2023. Single-use versus conventional reusable flexible ureteroscopes - an evaluation of the functional parameters. *J Med Life*, 16, 10-15.
- BRISBANE, W., BAILEY, M. R. & SORENSEN, M. D. 2016. An overview of kidney stone imaging techniques. *Nature Reviews Urology*, 13, 654-662.
- CAREY, R. I., GOMEZ, C. S., MAURICI, G., LYNNE, C. M., LEVEILLEE, R. J. & BIRD, V. G. 2006. Frequency of ureteroscope damage seen at a tertiary care center. *J Urol*, 176, 607-10; discussion 610.
- CHILLARÓN, J., FONT-LLITJÓS, M., FORT, J., ZORZANO, A., GOLDFARB, D. S., NUNES, V. & PALACÍN, M. 2010. Pathophysiology and treatment of cystinuria. *Nat Rev Nephrol*, 6, 424-34.
- COE, F. L. 1978. Hyperuricosuric calcium oxalate nephrolithiasis. *Kidney International*, 13, 418-426.
- COE, F. L. 2005. Kidney stone disease. *Journal of Clinical Investigation*, 115, 2598-2608.
- CORBO, J. & WANG, J. 2019. Kidney and Ureteral Stones. *Emerg Med Clin North Am*, 37, 637-648.
- CURHAN, G. C., WILLETT, W. C., RIMM, E. B., SPIEGELMAN, D. & STAMPFER, M. J. 1996. Prospective Study of Beverage Use and the Risk of Kidney Stones. *American Journal of Epidemiology*, 143, 240-247.
- CURHAN, G. C., WILLETT, W. C., RIMM, E. B. & STAMPFER, M. J. 1993. A Prospective Study of Dietary Calcium and Other Nutrients and the Risk of Symptomatic Kidney Stones. *New England Journal of Medicine*, 328, 833-838.
- DAUDON, M., HENNEQUIN, C., LACOUR, B., LE MOEL, G., DONSIMONI, R., FELLAHI, S., PARIS, M. & TROUPEL, S. 1995. Sex- and age-related composition of 10 617 calculi analyzed by infrared spectroscopy. *Urological Research*, 23, 319-326.
- DAVIS, N. F., MCGRATH, S., QUINLAN, M., JACK, G., LAWRENTSCHUK, N. & BOLTON, D. M. 2018. Carbon Footprint in Flexible Ureteroscopy: A Comparative Study on the Environmental Impact of Reusable and Single-Use Ureteroscopes. *J Endourol*, 32, 214-217.
- DE, S., AUTORINO, R., KIM, F. J., ZARGAR, H., LAYDNER, H., BALSAMO, R., TORRICELLI, F. C., DI PALMA, C., MOLINA, W. R., MONGA, M. & DE SIO, M. 2015. Percutaneous Nephrolithotomy Versus Retrograde Intrarenal Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. *European Urology*, 67, 125-137.
- DEININGER, S., HABERSTOCK, L., KRUCK, S., NEUMANN, E., DA COSTA, I. A., TODENHÖFER, T., BEDKE, J., STENZL, A. & RAUSCH, S. 2018. Single-use versus reusable ureterorenoscopes for retrograde intrarenal surgery (RIRS): systematic comparative analysis of physical and optical properties in three different devices. *World J Urol*, 36, 2059-2063.

- DESAI, M. R., SHARMA, R., MISHRA, S., SABNIS, R. B., STIEF, C. & BADER, M. 2011. Single-step percutaneous nephrolithotomy (microperc): the initial clinical report. *J Urol*, 186, 140-5.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR UROLOGIE E.V. 2018. *S2k-Leitlinie Diagnostik, Therapie und Metaphylaxe der Urolithiasis*.
- DINDO, D., DEMARTINES, N. & CLAVIEN, P.-A. 2004. Classification of Surgical Complications: A New Proposal With Evaluation in a Cohort of 6336 Patients and Results of a Survey. *Annals of Surgery*, 240, 205-213.
- DORANTES-CARRILLO, L. A., BASULTO-MARTÍNEZ, M., SUÁREZ-IBARROLA, R., HEINZE, A., PROIETTI, S., FLORES-TAPIA, J. P., ESQUEDA-MENDOZA, A. & GIUSTI, G. 2022. Retrograde Intrarenal Surgery Versus Miniaturized Percutaneous Nephrolithotomy for Kidney Stones >1cm: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Trials. *Eur Urol Focus*, 8, 259-270.
- EL-NAHAS, A. R., EL-ASSMY, A. M., MANSOUR, O. & SHEIR, K. Z. 2007. A prospective multivariate analysis of factors predicting stone disintegration by extracorporeal shock wave lithotripsy: the value of high-resolution noncontrast computed tomography. *Eur Urol*, 51, 1688-93; discussion 1693-4.
- ELBAHNASY, A. M., SHALHAV, A. L., HOENIG, D. M., ELASHRY, O. M., SMITH, D. S., MCDOUGALL, E. M. & CLAYMAN, R. V. 1998. Lower caliceal stone clearance after shock wave lithotripsy or ureteroscopy: the impact of lower pole radiographic anatomy. *J Urol*, 159, 676-82.
- FAYAD, A. S., ELSHEIKH, M. G. & GHONEIMA, W. 2017. Tubeless mini-percutaneous nephrolithotomy versus retrograde intrarenal surgery for lower calyceal stones of ≤ 2 cm: A prospective randomised controlled study. *Arab Journal of Urology*, 15, 36-41.
- FAYAD, M. K., FAHMY, O., ABULAZAYEM, K. M. & SALAMA, N. M. 2022. Retrograde intrarenal surgery versus percutaneous nephrolithotomy for treatment of renal pelvic stone more than 2 centimeters: a prospective randomized controlled trial. *Urolithiasis*, 50, 113-117.
- GAMBARO, G., FABRIS, A., PULIATTA, D. & LUPO, A. 2006. Lithiasis in cystic kidney disease and malformations of the urinary tract. *Urological Research*, 34, 102-107.
- GANPULE, A. P., NAVEEN KUMAR REDDY, M., SUDHARSAN, S. B., SHAH, S. B., SABNIS, R. B. & DESAI, M. R. 2020. Multitract percutaneous nephrolithotomy in staghorn calculus. *Asian J Urol*, 7, 94-101.
- GRASSO, M. & FICAZZOLA, M. 1999. Retrograde ureteropyeloscopy for lower pole caliceal calculi. *J Urol*, 162, 1904-8.
- GÜCÜK, A., KEMAHLI, E., ÜYETÜRK, U., TUYGUN, C., YILDIZ, M. & METIN, A. 2013. Routine flexible nephroscopy for percutaneous nephrolithotomy for renal stones with low density: a prospective, randomized study. *J Urol*, 190, 144-8.
- GÜCÜK, A., ÜYETÜRK, U., ÖZTÜRK, U., KEMAHLI, E., YILDIZ, M. & METIN, A. 2012. Does the Hounsfield unit value determined by computed tomography predict the outcome of percutaneous nephrolithotomy? *J Endourol*, 26, 792-6.

- GUCUK, A., YILMAZ, B., GUCUK, S. & UYETURK, U. 2019. Are Stone Density and Location Useful Parameters That Can Determine the Endourological Surgical Technique for Kidney Stones That are Smaller than 2 cm? A Prospective Randomized Controlled Trial. *Urol J*, 16, 236-241.
- HATIPOGLU, N. K., TEPELER, A., BULDU, I., ATIS, G., BODAKCI, M. N., SANCAKTUTAR, A. A., SILAY, M. S., DAGGULLI, M., ISTANBULLUOGLU, M. O., KARATAG, T., GURBUZ, C., ARMAGAN, A. & CASKURLU, T. 2014. Initial experience of micro-percutaneous nephrolithotomy in the treatment of renal calculi in 140 renal units. *Urolithiasis*, 42, 159-164.
- HENNESSEY, D. B., FOJECKI, G. L., PAPA, N. P., LAWRENTSCHUK, N. & BOLTON, D. 2018. Single-use disposable digital flexible ureteroscopes: an ex vivo assessment and cost analysis. *BJU Int*, 121 Suppl 3, 55-61.
- HESS, J. J. & SALAS, R. N. 2021. Invited Perspective: Life Cycle Analysis: A Potentially Transformative Tool for Lowering Health Care's Carbon Footprint. *Environ Health Perspect*, 129, 71302.
- HESSE, A., BRÄNDLE, E., WILBERT, D., KÖHRMANN, K. U. & ALKEN, P. 2003. Study on the Prevalence and Incidence of Urolithiasis in Germany Comparing the Years 1979 vs. 2000. *European Urology*, 44, 709-713.
- HESSE, A., KRUSE, R., GEILENKEUSER, W. J. & SCHMIDT, M. 2005. Quality control in urinary stone analysis: results of 44 ring trials (1980-2001). *Clin Chem Lab Med*, 43, 298-303.
- HESSE, A. & SIENER, R. 1997. Current aspects of epidemiology and nutrition in urinary stone disease. *World Journal of Urology*, 15, 165-171.
- HOGAN, D., RAUF, H., KINNEAR, N. & HENNESSEY, D. B. 2022. The Carbon Footprint of Single-Use Flexible Cystoscopes Compared with Reusable Cystoscopes. *Journal of Endourology*, 36, 1460-1464.
- HOLDGATE, A. & POLLOCK, T. 2005. Nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) versus opioids for acute renal colic. *Cochrane Database Syst Rev*, 2004, CD004137.
- ISAACSON, D., AHMAD, T., METZLER, I., TZOU, D. T., TAGUCHI, K., USAWACHINTACHIT, M., ZETUMER, S., SHERER, B., STOLLER, M. & CHI, T. 2017. Defining the Costs of Reusable Flexible Ureteroscope Reprocessing Using Time-Driven Activity-Based Costing. *Journal of Endourology*, 31, 1026-1031.
- JIAO, B., LUO, Z., XU, X., ZHANG, M. & ZHANG, G. 2019. Minimally invasive percutaneous nephrolithotomy versus retrograde intrarenal surgery in surgical management of upper urinary stones - A systematic review with meta-analysis. *International Journal of Surgery*, 71, 1-11.
- JIN, L., YANG, B., ZHOU, Z. & LI, N. 2019. Comparative Efficacy on Flexible Ureteroscopy Lithotripsy and Miniaturized Percutaneous Nephrolithotomy for the Treatment of Medium-Sized Lower-Pole Renal Calculi. *Journal of Endourology*, 33, 914-919.
- JUN, D. Y., CHO, K. S., JEONG, J. Y., MOON, Y. J., KANG, D. H., JUNG, H. D. & LEE, J. Y. 2022. Comparison of Surgical Outcomes between Single-Use and Reusable Flexible Ureteroscopes for Renal Stone Management: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Medicina (Kaunas)*, 58.

- KARIM, S. S., HANNA, L., GERAGHTY, R. & SOMANI, B. K. 2020. Role of pelvicalyceal anatomy in the outcomes of retrograde intrarenal surgery (RIRS) for lower pole stones: outcomes with a systematic review of literature. *Urolithiasis*, 48, 263-270.
- KEIL, M., VIERE, T., HELMS, K. & ROGOWSKI, W. 2022. The impact of switching from single-use to reusable healthcare products: a transparency checklist and systematic review of life-cycle assessments. *European Journal of Public Health*, 33, 56-63.
- KIM, S. C., KUO, R. L. & LINGEMAN, J. E. 2003. Percutaneous nephrolithotomy: an update. *Curr Opin Urol*, 13, 235-41.
- KIRKALI, Z., RASOOLY, R., STAR, R. A. & RODGERS, G. P. 2015. Urinary Stone Disease: Progress, Status, and Needs. *Urology*, 86, 651-3.
- KNOLL, T. & ALKEN, P. 2019. Rückblick auf 50 Jahre Steintherapie. *Aktuelle Urol*, 50, 157-165.
- KNOLL, T., SCHUBERT, A. B., FAHLENKAMP, D., LEUSMANN, D. B., WENDT-NORDAHL, G. & SCHUBERT, G. 2011. Urolithiasis through the ages: data on more than 200,000 urinary stone analyses. *J Urol*, 185, 1304-11.
- KOURAMBAS, J., ASLAN, P., TEH, C. L., MATHIAS, B. J. & PREMINGER, G. M. 2001. Role of stone analysis in metabolic evaluation and medical treatment of nephrolithiasis. *J Endourol*, 15, 181-6.
- KRAMOLOWSKY, E., MCDOWELL, Z., MOORE, B., BOOTH, B. & WOOD, N. 2016. Cost Analysis of Flexible Ureteroscope Repairs: Evaluation of 655 Procedures in a Community-Based Practice. *J Endourol*, 30, 254-6.
- KUMAR, A., KUMAR, N., VASUDEVA, P., KUMAR JHA, S., KUMAR, R. & SINGH, H. 2015. A prospective, randomized comparison of shock wave lithotripsy, retrograde intrarenal surgery and miniperc for treatment of 1 to 2 cm radiolucent lower calyceal renal calculi: a single center experience. *J Urol*, 193, 160-4.
- LAHME, S. 2018. Miniaturisation of PCNL. *Urolithiasis*, 46, 99-106.
- LAHME, S., BICHLER, K.-H., STROHMAIER, W. L., OUML & TZ, T. 2001. Minimally Invasive PCNL in Patients with Renal Pelvic and Calyceal Stones. *European Urology*, 40, 619-624.
- LEE, J. W., PARK, J., LEE, S. B., SON, H., CHO, S. Y. & JEONG, H. 2015. Mini-percutaneous Nephrolithotomy vs Retrograde Intrarenal Surgery for Renal Stones Larger Than 10 mm: A Prospective Randomized Controlled Trial. *Urology*, 86, 873-7.
- LI, Y., CHEN, J., ZHU, Z., ZENG, H., ZENG, F., CHEN, Z., YANG, Z., CUI, Y., CHEN, H. & LI, Y. 2021. Comparison of single-use and reusable flexible ureteroscopy for renal stone management: a pooled analysis of 772 patients. *Translational Andrology and Urology*, 10, 483-493.
- MAALOUF, N. M., SAKHAEI, K., PARKS, J. H., COE, F. L., ADAMS-HUET, B. & PAK, C. Y. C. 2004. Association of urinary pH with body weight in nephrolithiasis. *Kidney International*, 65, 1422-1425.
- MAGER, R. & NEISIUS, A. 2019. Aktuelle Konzepte zur Pathogenese von Harnsteinen. *Der Urologe*, 58, 1272-1280.
- MESCHI, T., SCHIANCHI, T., RIDOLO, E., ADORNI, G., ALLEGRI, F., GUERRA, A., NOVARINI, A. & BORGHI, L. 2004. Body Weight, Diet and

- Water Intake in Preventing Stone Disease. *Urologia Internationalis*, 72, 29-33.
- MILLER, O. F. & KANE, C. J. 1999. Time to stone passage for observed ureteral calculi: a guide for patient education. *J Urol*, 162, 688-90; discussion 690-1.
- MOE, O. W. 2006. Kidney stones: pathophysiology and medical management. *The Lancet*, 367, 333-344.
- MOORE, B., PROIETTI, S., GIUSTI, G. & EISNER, B. H. 2019. Single-Use Ureterscopes. *Urol Clin North Am*, 46, 165-174.
- NEISIUS, A., LIPKIN, M. E., RASSWEILER, J. J., ZHONG, P., PREMINGER, G. M. & KNOLL, T. 2015. Shock wave lithotripsy: The new phoenix? *World Journal of Urology*, 33, 213-221.
- PAK, C. Y. & ARNOLD, L. H. 1975. Heterogeneous nucleation of calcium oxalate by seeds of monosodium urate. *Proc Soc Exp Biol Med*, 149, 930-2.
- PAK, C. Y. C. 1998. Kidney stones. *The Lancet*, 351, 1797-1801.
- PAK, C. Y. C., BRITTON, F., PETERSON, R., WARD, D., NORTHCUTT, C., BRESLAU, N. A., MCGUIRE, J., SAKHAE, K., BUSH, S., NICAR, M., NORMAN, D. A. & PETERS, P. 1980. Ambulatory evaluation of nephrolithiasis. *The American Journal of Medicine*, 69, 19-30.
- PAK, C. Y. C., POINDEXTER, J. R., ADAMS-HUET, B. & PEARLE, M. S. 2003. Predictive value of kidney stone composition in the detection of metabolic abnormalities. *The American Journal of Medicine*, 115, 26-32.
- PAK, C. Y. C., SAKHAE, K., MOE, O. W., POINDEXTER, J., ADAMS-HUET, B. & WITH, C. 2011. Defining hypercalciuria in nephrolithiasis. *Kidney International*, 80, 777-782.
- PARKS, J. H., WORCESTER, E. M., COE, F. L., EVAN, A. P. & LINGEMAN, J. E. 2004. Clinical implications of abundant calcium phosphate in routinely analyzed kidney stones. *Kidney International*, 66, 777-785.
- PARMAR, M. S. 2004. Kidney stones. *BMJ*, 328, 1420-1424.
- PATEL, T., KOZAKOWSKI, K., HRUBY, G. & GUPTA, M. 2009. Skin to stone distance is an independent predictor of stone-free status following shockwave lithotripsy. *J Endourol*, 23, 1383-5.
- PEARLE MARGARET, S., CALHOUN ELIZABETH, A., CURHAN GARY, C. & NULL, N. 2005. UROLOGIC DISEASES IN AMERICA PROJECT: UROLITHIASIS. *Journal of Urology*, 173, 848-857.
- PERLMUTTER, A. E., TALUG, C., TARRY, W. F., ZASLAU, S., MOHSENI, H. & KANDZARI, S. J. 2008. Impact of Stone Location on Success Rates of Endoscopic Lithotripsy for Nephrolithiasis. *Urology*, 71, 214-217.
- POLETTI, P. A., PLATON, A., RUTSCHMANN, O. T., SCHMIDLIN, F. R., ISELIN, C. E. & BECKER, C. D. 2007. Low-dose versus standard-dose CT protocol in patients with clinically suspected renal colic. *AJR Am J Roentgenol*, 188, 927-33.
- PRATA, F., CACCIATORE, L., SALERNO, A., TEDESCO, F., RAGUSA, A., BASILE, S., IANNUZZI, A., TESTA, A., RASO, G., D'ADDURNO, G., FANTOZZI, M., RICCI, M., MINORE, A., CIVITELLA, A., SCARPA, R. M. & PAPALIA, R. 2024. Urinary Tract Infection Predictors in Patients

- Undergoing Retrograde IntraRenal Surgery for Renal Stones: Does the Instrument Make the Difference? *J Clin Med*, 13.
- PREMINGER, G. M. 1992. Renal calculi: pathogenesis, diagnosis, and medical therapy. *Semin Nephrol*, 12, 200-16.
- QI, S., YANG, E., BAO, J., YANG, N., GUO, H., WANG, G., LI, N., CUI, X., GAO, W., OU, T., WANG, J., WANG, Z. & NIU, Y. 2020. Single-Use Versus Reusable Digital Flexible Ureteroscopes for the Treatment of Renal Calculi: A Prospective Multicenter Randomized Controlled Trial. *J Endourol*, 34, 18-24.
- RAHEEM, O. A., KHANDWALA, Y. S., SUR, R. L., GHANI, K. R. & DENSTEDT, J. D. 2017. Burden of Urolithiasis: Trends in Prevalence, Treatments, and Costs. *Eur Urol Focus*, 3, 18-26.
- RAMEY, S. L., FRANKE, W. D. & SHELLEY, M. C., 2ND 2004. Relationship among risk factors for nephrolithiasis, cardiovascular disease, and ethnicity: focus on a law enforcement cohort. *Aaohn j*, 52, 116-21.
- RAY, A. A., GHICULETE, D., PACE, K. T. & HONEY, R. J. 2010. Limitations to ultrasound in the detection and measurement of urinary tract calculi. *Urology*, 76, 295-300.
- ROMERO, V., AKPINAR, H. & ASSIMOS, D. G. 2010. Kidney stones: a global picture of prevalence, incidence, and associated risk factors. *Rev Urol*, 12, e86-96.
- RUHAYEL, Y., TEPELER, A., DABESTANI, S., MACLENNAN, S., PETŘÍK, A., SARICA, K., SEITZ, C., SKOLARIKOS, A., STRAUB, M., TÜRK, C., YUAN, Y. & KNOLL, T. 2017. Tract Sizes in Miniaturized Percutaneous Nephrolithotomy: A Systematic Review from the European Association of Urology Urolithiasis Guidelines Panel. *Eur Urol*, 72, 220-235.
- SAKHAE, K., MAALOUF, N. M., KUMAR, R., PASCH, A. & MOE, O. W. 2011. Nephrolithiasis-associated bone disease: pathogenesis and treatment options. *Kidney International*, 79, 393-403.
- SAKHAE, K., MAALOUF, N. M. & SINNOTT, B. 2012. Clinical review. Kidney stones 2012: pathogenesis, diagnosis, and management. *J Clin Endocrinol Metab*, 97, 1847-60.
- SCALES, C. D., JR., SMITH, A. C., HANLEY, J. M. & SAIGAL, C. S. 2012. Prevalence of kidney stones in the United States. *Eur Urol*, 62, 160-5.
- SHAH, K., MONGA, M. & KNUDSEN, B. 2015. Prospective Randomized Trial Comparing 2 Flexible Digital Ureteroscopes: ACMI/Olympus Invisio DUR-D and Olympus URF-V. *Urology*, 85, 1267-71.
- SKOLARIKOS, A., STRAUB, M., KNOLL, T., SARICA, K., SEITZ, C., PETŘÍK, A. & TÜRK, C. 2015. Metabolic Evaluation and Recurrence Prevention for Urinary Stone Patients: EAU Guidelines. *European Urology*, 67, 750-763.
- SMITH-BINDMAN, R., AUBIN, C., BAILITZ, J., BENGIAMIN, R. N., CAMARGO, C. A., JR., CORBO, J., DEAN, A. J., GOLDSTEIN, R. B., GRIFFEY, R. T., JAY, G. D., KANG, T. L., KRIESEL, D. R., MA, O. J., MALLIN, M., MANSON, W., MELNIKOW, J., MIGLIORETTI, D. L., MILLER, S. K., MILLS, L. D., MINER, J. R., MOGHADASSI, M., NOBLE, V. E., PRESS, G. M., STOLLER, M. L., VALENCIA, V. E., WANG, J., WANG, R. C. &

- CUMMINGS, S. R. 2014. Ultrasonography versus computed tomography for suspected nephrolithiasis. *N Engl J Med*, 371, 1100-10.
- STRAUSS, A. L., COE, F. L., DEUTSCH, L. & PARKS, J. H. 1982. Factors that predict relapse of calcium nephrolithiasis during treatment. *The American Journal of Medicine*, 72, 17-24.
- SUTHERLAND, J. W., PARKS, J. H. & COE, F. L. 1985. Recurrence after a single renal stone in a community practice. *Miner Electrolyte Metab*, 11, 267-9.
- SUTTON, R. A. & WALKER, V. R. 1980. Responses to hydrochlorothiazide and acetazolamide in patients with calcium stones. Evidence suggesting a defect in renal tubular function. *N Engl J Med*, 302, 709-13.
- TAGUCHI, K., USAWACHINTACHIT, M., TZOU, D. T., SHERER, B. A., METZLER, I., ISAACSON, D., STOLLER, M. L. & CHI, T. 2018. Micro-Costing Analysis Demonstrates Comparable Costs for LithoVue Compared to Reusable Flexible Fiberoptic Ureteroscopes. *J Endourol*, 32, 267-273.
- TAYLOR, E. N. & CURHAN, G. C. 2004. Role of Nutrition in the Formation of Calcium-Containing Kidney Stones. *Nephron Physiology*, 98, p55-p63.
- TENNISON, I., ROSCHNIK, S., ASHBY, B., BOYD, R., HAMILTON, I., ORESZCZYN, T., OWEN, A., ROMANELLO, M., RUYSEVELT, P., SHERMAN, J. D., SMITH, A. Z. P., STEELE, K., WATTS, N. & ECKELMAN, M. J. 2021. Health care's response to climate change: a carbon footprint assessment of the NHS in England. *Lancet Planet Health*, 5, e84-e92.
- THÖNE, M., LASK, J., HENNENLOTTER, J., SAAR, M., TSAUR, I., STENZL, A. & RAUSCH, S. 2024. Potential impacts to human health from climate change: A comparative life-cycle assessment of single-use versus reusable devices flexible ureteroscopes. *Urolithiasis*, 52.
- TRINCHIERI, A., OSTINI, F., NESPOLI, R., ROVERA, F., MONTANARI, E. & ZANETTI, G. 1999. A prospective study of recurrence rate and risk factors for recurrence after a first renal stone. *J Urol*, 162, 27-30.
- TÜRK, C., PETŘÍK, A., SARICA, K., SEITZ, C., SKOLARIKOS, A., STRAUB, M. & KNOLL, T. 2016. EAU Guidelines on Diagnosis and Conservative Management of Urolithiasis. *European Urology*, 69, 468-474.
- USAWACHINTACHIT, M., ISAACSON, D. S., TAGUCHI, K., TZOU, D. T., HSI, R. S., SHERER, B. A., STOLLER, M. L. & CHI, T. 2017. A Prospective Case-Control Study Comparing LithoVue, a Single-Use, Flexible Disposable Ureteroscope, with Flexible, Reusable Fiber-Optic Ureteroscopes. *J Endourol*, 31, 468-475.
- VENTIMIGLIA, E., GODÍNEZ, A. J., TRAXER, O. & SOMANI, B. K. 2020. Cost comparison of single-use versus reusable flexible ureteroscope: A systematic review. *Turk J Urol*, 46, S40-s45.
- WANG, K., GE, J., HAN, W., WANG, D., ZHAO, Y., SHEN, Y., CHEN, J., CHEN, D., WU, J., SHEN, N., ZHU, S., XUE, B. & XU, X. 2022. Risk factors for kidney stone disease recurrence: a comprehensive meta-analysis. *BMC Urol*, 22, 62.

- WIMPISSINGER, F., TÜRK, C., KHEYFETS, O. & STACKL, W. 2007. The silence of the stones: asymptomatic ureteral calculi. *J Urol*, 178, 1341-4; discussion 1344.
- WORCESTER, E. M. & COE, F. L. 2008. Nephrolithiasis. *Primary Care: Clinics in Office Practice*, 35, 369-391.
- WRIGHT, A., RUKIN, N., SMITH, D., DE LA ROSETTE, J. & SOMANI, B. K. 2016. 'Mini, ultra, micro' – nomenclature and cost of these new minimally invasive percutaneous nephrolithotomy (PCNL) techniques. *Therapeutic Advances in Urology*, 8, 142-146.
- XIANG, H., CHAN, M., BROWN, V., HUO, Y. R., CHAN, L. & RIDLEY, L. 2017. Systematic review and meta-analysis of the diagnostic accuracy of low-dose computed tomography of the kidneys, ureters and bladder for urolithiasis. *J Med Imaging Radiat Oncol*, 61, 582-590.
- YAMAGUCHI, A., SKOLARIKOS, A., BUCHHOLZ, N. P., CHOMÓN, G. B., GRASSO, M., SABA, P., NAKADA, S. & DE LA ROSETTE, J. 2011. Operating times and bleeding complications in percutaneous nephrolithotomy: a comparison of tract dilation methods in 5,537 patients in the Clinical Research Office of the Endourological Society Percutaneous Nephrolithotomy Global Study. *J Endourol*, 25, 933-9.
- YANG, E., JING, S., NIU, Y., QI, S., YADAV, P. K., YANG, L., BAO, J., TIAN, J., WANG, J., LI, N., OU, T. & WANG, Z. 2021. Single-Use Digital Flexible Ureterscopes as a Safe and Effective Choice for the Treatment of Lower Pole Renal Stones: Secondary Analysis of a Randomized-Controlled Trial. *J Endourol*, 35, 1773-1778.
- ZARSE, C. A., HAMEED, T. A., JACKSON, M. E., PISHCHALNIKOV, Y. A., LINGEMAN, J. E., MCATEER, J. A. & WILLIAMS, J. C., JR. 2007. CT visible internal stone structure, but not Hounsfield unit value, of calcium oxalate monohydrate (COM) calculi predicts lithotripsy fragility in vitro. *Urol Res*, 35, 201-6.
- ZENG, G., ZHU, W. & LAM, W. 2018. Miniaturised percutaneous nephrolithotomy: Its role in the treatment of urolithiasis and our experience. *Asian J Urol*, 5, 295-302.
- ZHANG, H., HONG, T. Y., LI, G., JIANG, N., HU, C., CUI, X., CHU, C. & ZHAO, J. L. 2019. Comparison of the Efficacy of Ultra-Mini PCNL, Flexible Ureterscopy, and Shock Wave Lithotripsy on the Treatment of 1-2 cm Lower Pole Renal Calculi. *Urol Int*, 102, 153-159.
- ZHANG, W., ZHOU, T., WU, T., GAO, X., PENG, Y., XU, C., CHEN, Q., SONG, R. & SUN, Y. 2014. Retrograde Intrarenal Surgery Versus Percutaneous Nephrolithotomy Versus Extracorporeal Shockwave Lithotripsy for Treatment of Lower Pole Renal Stones: A Meta-Analysis and Systematic Review. *Journal of Endourology*, 29, 745-759.
- ZIEMBA, J. B. & MATLAGA, B. R. 2017. Epidemiology and economics of nephrolithiasis. *Investigative and Clinical Urology*, 58, 299.

7 Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der Klinik für Urologie des Universitätsklinikums Tübingen unter Betreuung von Prof. Dr. Steffen Rausch durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Dr. Eva Erne, Oberärztin an der Klinik für Urologie, Universitätsklinikum Tübingen für deren Rat und Unterstützung bei der Umsetzung der Arbeit ich mich ganz herzlich bedanken möchte.

Die Daten des Tübinger Kollektivs wurden von mir selbst retrospektiv erhoben. Die Daten des Salzburger Kollektivs wurden von Dr. Susanne Deininger erhoben und mir zur statistischen Auswertung überlassen.

Die Bilder aus Abbildung 1 stammen aus der Klinik für Urologie im Universitätsklinikum Tübingen und wurden mir freundlicherweise von Prof. Dr. Steffen Rausch zur Verfügung gestellt.

Die statistische Auswertung erfolgte nach Anleitung durch Prof. Dr. Steffen Rausch und Dr. Eva Erne durch mich.

Ich versichere, das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Stuttgart, den 24.03.2025