

Aus der Klinik und Poliklinik für Urologie und Kinderurologie  
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Etablierung der miniaturisierten perkutanen Nephrolitholapaxie  
(Mini-PCNL) an einer urologischen Universitätsklinik.  
Retrospektive Evaluation von intra- und postoperativen Komplikationen und  
Vergleich zwischen der Mini-PCNL und der konventionellen  
PCNL-Methode mittels deskriptiver Statistik

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der  
Medizin  
der Universitätsmedizin  
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Michael Rainer Strupp  
aus Trier

Mainz, 2021

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. U. Förstermann

1. Gutachter: PD Dr. Andreas Neisius

2. Gutachter: PD Dr. Marc Bodenstein

Tag der Promotion: 06. Juli 2021

Für  
meinen lieben Großvater  
H. S.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Literaturdiskussion</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Epidemiologie</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>Ätiologie und Pathogenese</b>	<b>4</b>
<b>2.3</b>	<b>Risikofaktoren</b>	<b>5</b>
2.3.1	Heredität	5
2.3.2	Geschlechtsspezifische Prädisposition	5
2.3.3	Prädisponierende Grunderkrankungen	5
2.3.4	Klima und Jahreszeit	6
2.3.5	Medikamente	6
<b>2.4</b>	<b>Anatomie der Nieren und ihre operativen Besonderheiten</b>	<b>7</b>
<b>2.5</b>	<b>Klinik, Diagnose und Differentialdiagnose der Urolithiasis</b>	<b>8</b>
2.5.1	Klinik	8
2.5.2	Diagnostik	9
2.5.3	Differentialdiagnose der Urolithiasis	10
<b>2.6</b>	<b>Therapie von Harnleitersteinen</b>	<b>11</b>
<b>2.7</b>	<b>Therapie der akuten Harnsteinkolik</b>	<b>11</b>
<b>2.8</b>	<b>Therapiemöglichkeiten von Nierensteinen</b>	<b>12</b>
<b>2.9</b>	<b>Konservative Therapie</b>	<b>12</b>
2.9.1	Aktive Überwachung	12
2.9.2	Chemolitholyse	12
<b>2.10</b>	<b>Interventionelle Therapie</b>	<b>13</b>
2.10.1	Indikationen zur interventionellen Therapie	13
2.10.2	Individuelle Entscheidungsfindung des Verfahrens der Wahl	13
2.10.3	Ureterorenoskopie (URS)	16
2.10.4	Extrakorporale Stoßwellenlithotripsie (ESWL)	16
<b>2.11</b>	<b>Perkutane Nephrolitholapaxie (PCNL)</b>	<b>17</b>
2.11.1	Entwicklung der PCNL	17
2.11.2	Präoperatives Management vor PCNL	18
2.11.3	Konventionelle PCNL	19
2.11.4	Mini PCNL	22
<b>3</b>	<b>Fragestellung</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>Patientenkollektiv</b>	<b>28</b>
<b>4.2</b>	<b>Datenerhebung</b>	<b>29</b>
<b>4.3</b>	<b>Statistische Auswertung</b>	<b>35</b>

<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>36</b>
<b>5.1</b>	<b>Demographische Daten</b>	<b>36</b>
5.1.1	Art der Intervention	36
5.1.2	Geschlecht	36
5.1.3	Alter	37
5.1.4	Betroffene Nierenseite	38
5.1.5	Adipositas	38
5.1.6	Prädisponierende Grunderkrankungen	39
5.1.7	Anatomische Fehlbildungen und durch Voroperation bedingte anatomische Besonderheiten des harnableitenden Systems	39
5.1.8	Durch Vorerkrankung bedingte Störungen der Hämostase	40
5.1.9	Immunsuppression	40
<b>5.2</b>	<b>Konkrementeigenschaften</b>	<b>40</b>
5.2.1	Präinterventionelle Anzahl und Größe der indikationsgebenden Konkreme	40
5.2.2	Lage der indikationsgebenden Konkreme in Projektion auf Niere und Ureter	42
5.2.3	Besondere Konkrementeigenschaften	42
<b>5.3</b>	<b>Spezielle präoperative Daten</b>	<b>43</b>
5.3.1	Vorangegangene Primärmaßnahmen im selben Therapieversuch	43
5.3.2	Frühere Interventionen auf der betroffenen Nierenseite	44
5.3.3	Präoperative Harnwegsinfektion und Sepsis	44
5.3.4	Präoperative Thromboplastinzeit (Quick) und International Normalized Ratio (INR)	44
5.3.5	Präoperative aktivierte partielle Thromboplastinzeit (aPTT)	45
5.3.6	Einnahme von Thrombozytenaggregationshemmern und Antikoagulantien zum OP-Zeitpunkt	46
5.3.7	Innere und äußere Harnableitung präoperativ	47
<b>5.4</b>	<b>Daten zur Interventionsdurchführung</b>	<b>47</b>
5.4.1	Verfahren zur Etablierung des Zugangs zur Niere	47
5.4.2	Punktionsstelle	47
5.4.3	Durchführung als „Single-Tract“- oder „Multi-Tract“-Verfahren	48
5.4.4	Intraoperative Etablierung einer inneren Harnableitung	49
5.4.5	Intraoperative Etablierung einer äußeren Harnableitung mittels Nephrostoma	49
5.4.6	Postoperativer Wundverschluss mittels Gelatinematrix	49
5.4.7	Durchführung der Intervention als „Tubeless“-PCNL	49
5.4.8	Durchführung der Intervention als „totally-tubeless“-PCNL	49
5.4.9	Dauer der Intervention	50
<b>5.5</b>	<b>Steinfreiheitsrate</b>	<b>51</b>
5.5.1	Steinfreiheitsrate nach „First-look“-Eingriff	51
5.5.2	Diagnostik zur Überprüfung der postoperativen Steinfreiheit	52
5.5.3	Gründe und Folgen der Konkrementpersistenz	52
5.5.4	„Second-look“- Eingriff im selben stationären Aufenthalt wie „First-look“- Eingriff	53
5.5.5	Steinfreiheitsrate nach „Second-look“-Eingriffen	53

5.5.6	Kumulative Steinfreiheitsrate durch Kombination von „First-Look“ und „Second-Look“-Eingriff	54
<b>5.6</b>	<b>Intraoperative Komplikationen</b>	<b>54</b>
5.6.1	Intraoperative Komplikationen bei der Punktion der Niere	54
5.6.2	Intraoperative Perforation des Nierenbeckens	54
5.6.3	Intraoperative Blutungskomplikation	55
5.6.4	Intraoperative Lagerungsschäden	55
5.6.5	Intraoperative Verletzung von Organen oder Gefäßen	55
5.6.6	OP-Abbruch aufgrund von intraoperativen Komplikationen	56
5.6.7	Satava-Klassifikation der intraoperativen Komplikationen	56
<b>5.7</b>	<b>Postoperative Komplikationen</b>	<b>58</b>
<b>5.7.1</b>	<b>Blutungsassoziierte Komplikationen</b>	<b>58</b>
5.7.1.1	Vergleich prä- zu postoperativer Hämoglobin-Wert in g/dl als Hinweis für den intra- und postoperativen Blutverlust	58
5.7.1.2	Prolongierte postoperative Makrohämaturie	59
5.7.1.3	Iatrogene arterio-venöse Fistel der operierten Niere	59
5.7.1.4	Clavien-Dindo I - Blasentamponade	59
5.7.1.5	Clavien-Dindo I - Retroperitoneales Hämatom	60
5.7.1.6	Clavien-Dindo II -Transfusion von Erythrozytenkonzentraten bei Blutungsanämie	60
5.7.1.7	Clavien-Dindo II - Transfusion von Thrombozytenkonzentraten	61
5.7.1.8	Clavien-Dindo II - Gabe von Antifibrinolytika	61
5.7.1.9	Clavien-Dindo II - Sekundäre Einlage eines transurethralen Spülkatheters bei Makrohämaturie	61
5.7.1.10	Clavien-Dindo II - Downsizing der Nephrostomie wegen Makrohämaturie	61
5.7.1.11	Clavien-Dindo II - Subkutane Arrosionsblutungen im Bereich der Punktionsstelle	61
5.7.1.12	Clavien-Dindo III A - Iatrogene Pseudoaneurysmen der operierten Niere	62
5.7.1.13	Clavien-Dindo III B - Interventionsbedürftige Blasentamponade	62
5.7.1.14	Clavien-Dindo IV B – Interventionsbedürftiges retroperitoneales Hämatom	62
<b>5.7.2</b>	<b>Infektassoziierte Komplikationen</b>	<b>62</b>
5.7.2.1	Vergleich prä- zu postoperativem Wert des C-reaktiven Proteins	62
5.7.2.2	Clavien-Dindo I - Postoperatives Fieber mit Therapiebedarf	63
5.7.2.3	Clavien-Dindo I - Nosokomiale Wundinfektion der Punktionsstelle	63
5.7.2.4	Clavien-Dindo II - Nosokomialer Harnwegsinfekt	63
5.7.2.5	Clavien-Dindo II - Nosokomiale Pneumonie	64
5.7.2.6	Clavien-Dindo IV A/B Postoperative Sepsis, schwere Sepsis, septischer Schock	64
5.7.2.7	Clavien-Dindo IV A- Nephrektomie nach renaler Abszessbildung mit Blutung und beginnender Sepsis	64
5.7.2.8	Folgeerkrankungen eines septischen Geschehens	65
<b>5.7.3</b>	<b>Postoperative Störungen der Nierenfunktion</b>	<b>65</b>
5.7.3.1	Vergleich prä- zu postoperativem Kreatininwert	65
5.7.3.2	Postoperativ akutes Nierenversagen	66
5.7.3.3	Postoperativ chronisches Nierenversagen	67

5.7.3.4	Clavien-Dindo I - Akutes Nierenversagen mit diuretischer Therapie	67
5.7.3.5	Clavien-Dindo III B – Chronische Niereninsuffizienz und Nephrektomie	67
5.7.3.6	Clavien-Dindo IV A – Chronische, dialysepflichtige Niereninsuffizienz	67
<b>5.7.4</b>	<b>Postoperative Störungen des renalen Harntransportes</b>	<b>68</b>
5.7.4.1	Clavien-Dindo II - Renale Harntransportstörung mit Einlage einer äußeren Harnableitung	68
5.7.4.2	Clavien-Dindo III A/B - Renale Harntransportstörung mit sekundärer Einlage einer äußeren oder inneren Harnableitung	68
<b>5.7.5</b>	<b>Weitere postoperative Komplikationen</b>	<b>68</b>
5.7.5.1	Prolongierte postoperative kaliko-kutane Fistel	68
5.7.5.2	Postoperative Dislokation des DJ-Katheters	68
5.7.5.3	Postoperative Dislokation des Nephrostomiekatheters	69
5.7.5.4	Clavien-Dindo I – Postoperatives Urinom	69
5.7.5.5	Clavien-Dindo II - Postoperativer Harnverhalt	69
5.7.5.6	Clavien-Dindo II - Postoperative Abflussstörung der äußeren Harnableitung	69
5.7.5.7	Clavien-Dindo II - Urinextravasation	69
5.7.5.8	Clavien-Dindo II/III B – Interventionsbedürftige kaliko-kutane Fistelung	70
5.7.5.9	Clavien-Dindo III B - Chirurgische Tracheotomie wegen postinterventioneller Langzeit- Beatmung	70
5.7.5.10	Clavien-Dindo V - Tod als postoperative Komplikation	70
<b>5.7.6</b>	<b>Postinterventioneller Überwachungsbedarf der Patienten</b>	<b>70</b>
5.7.6.1	Postoperative Überwachung auf der Intermediate Care Station	70
5.7.6.2	Postoperative Überwachung auf der Intensivstation	71
<b>5.7.7</b>	<b>Postoperativer Bedarf an Analgetika</b>	<b>71</b>
5.7.7.1	Analgetikabedarf im Aufwachraum	71
5.7.7.2	Analgetikabedarf auf Normalstation	72
<b>5.7.8</b>	<b>Clavien-Dindo-Klassifikation der postoperativen Komplikationen</b>	<b>73</b>
<b>5.8</b>	<b>Hospitalisationsdauer</b>	<b>75</b>
<b>5.9</b>	<b>Ambulante Wiedervorstellung nach regulärer Entlassung</b>	<b>75</b>
<b>5.10</b>	<b>Stationäre Wiedervorstellung nach regulärer Entlassung</b>	<b>76</b>
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>78</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>104</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>108</b>
<b>9</b>	<b>Danksagung</b>	<b>115</b>
<b>10</b>	<b>Lebenslauf</b>	<b>116</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AIDS	Acquired immune deficiency syndrome
aPTT	aktivierte partielle Thromboplastinzeit
AH	absolute Häufigkeit
ASS	Acetylsalicylsäure
BMI	Body-Mass-Index
CT	Computertomographie
CRP	C-reaktives Protein
DGU	Deutsche Gesellschaft für Urologie
DJ-Katheter	Doppel-J-Katheter
DK	Dauerkatheter
EAU	European Association of Urology
ESWL	Extrakorporale Stoßwellenlithotripsie
Hb	Hämoglobin
INR	International Normalized Ratio
i.v.	intravenös
KDIGO	Kidney disease-Improving global outcomes
„konv.-PCNL“	konventionelle PCNL
MJ-Katheter	Mono-J-Katheter
MKG	mittlere Kelchgruppe
M.	Musculus
NB	Nierenbecken
OKG	oberer Kelchgruppe
OP	Operation
PCNL	Perkutane Nephrolitholapaxie
p.o.	per os
RH	relative Häufigkeit
s.c.	subcutan
SKF	suprapubischer Fistelkatheter
SFR	Steinfreiheitsrate
UKG	untere Kelchgruppe
URS	Ureterorenoskopie
WHO	World Health Organisation



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5.1: Relative Häufigkeiten der beiden Interventionsarten im Auswertungsdatensatz	36
Abbildung 5.2: Relative Häufigkeiten der Geschlechter Mann und Frau in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	37
Abbildung 5.3: Altersverteilung in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	37
Abbildung 5.4: Betroffene Nierenseite in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	38
Abbildung 5.5: Konkrementgröße (maximaler Querdurchmesser) in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	41
Abbildung 5.6: Steingröße in Kategorien für die Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	41
Abbildung 5.7: Relative Häufigkeiten von besonderen Konkrementeigenschaften in den Gruppen „konv.- PCNL“ und „Mini-PCNL“	43
Abbildung 5.8: Präoperativer Quickwert und INR in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	45
Abbildung 5.9: Präoperativer aPTT-Wert in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	46
Abbildung 5.10: Punktionsstelle der Niere in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	48
Abbildung 5.11: OP-Dauer in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	50
Abbildung 5.12: Postoperative Steinfreiheitsrate in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	51
Abbildung 5.13: Relative Häufigkeit von intraoperativen „Minor“- und „Major“-Komplikationen in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	58
Abbildung 5.14: Hb-Differenz prä-/postoperativ in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	59
Abbildung 5.15: Differenz des CRP-Wertes (mg/l) prä-/postoperativ in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	63
Abbildung 5.16: Differenz des Kreatininwertes (mg/dl) prä-/postoperativ in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	65
Abbildung 5.17: Akutes Nierenversagen nach AKI-Stadien in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	66
Abbildung 5.18 Relative Häufigkeit von postoperativen „Minor“- und „Major“-Komplikationen in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	74
Abbildung 5.19: Hospitalisationsdauer in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	75

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1: Zuordnung einer erfassten intraoperativen Komplikation und Schweregrad nach modifizierter Satava-Klassifikation [98]	31
Tabelle 4.2: Zuordnung der erfassten postoperativen Komplikation und Schweregrad nach modifizierter Clavien-Dindo-Klassifikation [100]	33
Tabelle 5.1: Lage des indikationsgebenden Konkrementes in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	42
Tabelle 5.2: Thrombozytenaggregationshemmer und Antikoagulantien am OP-Tag in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	46
Tabelle 5.3: Steinfreiheitsrate nach „First-Look“-Eingriff in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	51
Tabelle 5.4: Gründe für die postoperative Konkrementpersistenz in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	52
Tabelle 5.5: Folgen der postoperativen Konkrementpersistenz in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	53
Tabelle 5.6: Steinfreiheitsrate nach „Second-look“-Eingriff in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	54
Tabelle 5.7: Relative und absolute Häufigkeiten von intraoperativen Komplikationen nach Satava in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	56
Tabelle 5.8: Relative und absolute Häufigkeiten von intraoperativen Komplikationen nach Satava in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ (ohne Wertung der Konkrementpersistenz als intraoperative Komplikation)	57
Tabelle 5.9: Transfusionsrate von Erythrozytenkonzentraten in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	60
Tabelle 5.10: Postoperative septische Ereignisse in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	64
Tabelle 5.11: Intensivmedizinische Überwachung und Therapie in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	71
Tabelle 5.12: Postoperative Analgesie im Aufwachraum gemäß WHO-Stufenschema in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	72
Tabelle 5.13: Postoperative Analgesie auf Normalstation gemäß WHO-Stufenschema in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	72
Tabelle 5.14: Absolute und relative Häufigkeiten von Clavien-Dindo-Schweregraden in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“	73
Tabelle 5.15: Clavien-Dindo-Komplikationen Schweregrad I in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ bei stationärer Wiederaufnahme	76
Tabelle 5.16: Clavien-Dindo-Komplikationen Schweregrad II in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ bei stationärer Wiederaufnahme	76
Tabelle 5.17: Clavien-Dindo-Komplikationen Schweregrad IIIA in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ bei stationärer Wiederaufnahme	77
Tabelle 5.18: Clavien-Dindo-Komplikationen Schweregrad IIIB in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ bei stationärer Wiederaufnahme	77
Tabelle 5.19: Clavien-Dindo-Komplikationen Schweregrad IVA in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ bei stationärer Wiederaufnahme	77

# 1 Einleitung

Die Urolithiasis, also das Steinleiden der Nieren und der ableitenden Harnwege, hat in den vergangenen Jahrzehnten eine Zunahme der Prävalenz und Inzidenz erfahren [1].

Für die Therapie der Urolithiasis stehen als interventionelle Therapiemöglichkeiten die Extrakorporale Stoßwellenlithotripsie (ESWL), die Ureterorenoskopie (URS), die perkutane Nephrolitholapaxie (PCNL) sowie in Sonderfällen laparoskopische und offene Verfahren zur Verfügung.

Die PCNL stellt dabei ein Standardverfahren zur Therapie von Nierensteinen dar. In den aktuellen Leitlinien der EAU und DGU wird die PCNL als Erstlinientherapie für Nierensteine mit einer Größe von mehr als 20 mm empfohlen. Des Weiteren wird sie als gleichwertige Therapieoption neben ESWL und URS für Nierensteine der Größe 10-20 mm genannt. Im Falle von Konkrementen der UKG sollen PCNL und URS vorrangig gegenüber der ESWL eingesetzt werden [2,3].

Im Rahmen der PCNL wird die betroffene Niere perkutan punktiert und so ein Zugang zum Nierenbeckenkelchsystem geschaffen. Nach dem Aufbougieieren der Punktionsstelle wird ein Arbeitsschaft und darüber ein Nephroskop in das Nierenbecken eingeführt. Mittels spezieller Sonden werden die Nierensteine dann desintegriert und geborgen.

Insbesondere in den Entwicklungsjahren der PCNL kam es zu teils hohen Komplikationsraten der sogenannten „konventionellen“ PCNL-Methode. Diese wurden vor allem auf das OP-Trauma durch den großlumigen perkutanen Zugang zurückgeführt. Daher kam es im Verlauf zu einer zunehmenden Entwicklung von miniaturisierten Verfahren mit dem Ziel, bei gleicher Effektivität des Verfahrens die interventionsbedingte Morbidität der konventionellen PCNL zu reduzieren.

Die Vor- und Nachteile der Miniaturisierung der PCNL werden bereits seit vielen Jahren kontrovers diskutiert, sodass aktuell kein allgemeingültiger Standard besteht.

Eine konkrete Leitlinienempfehlung, ob die PCNL im Sinne einer konventionellen PCNL oder Mini-PCNL durchgeführt werden sollte, existiert explizit nicht.

Die konventionelle PCNL wurde in der Klinik für Urologie und Kinderurologie des Universitätsklinikums Mainz seit Anfang 2016 zunehmend durch die Mini-PCNL

abgelöst. Ziel dieser Arbeit ist es daher, anhand einer vergleichsweise großen Anzahl an Falldaten die konventionelle PCNL und Mini PCNL im Hinblick auf intra- und postoperative Komplikationen sowie Effektivität miteinander zu vergleichen. Durch die retrospektive Analyse soll eine zunehmende Evidenz bezüglich der Miniaturisierung der PCNL geschaffen werden.

## 2. Literaturdiskussion

### 2.1. Epidemiologie

Die Urolithiasis hat in den vergangenen Jahrzehnten in Deutschland eine Zunahme der Prävalenz und Inzidenz erfahren. Aufgrund ihrer Auftretenshäufigkeit in der Bevölkerung kann sie als Volkskrankheit eingestuft werden.

In einer vergleichenden Studie von Hesse et al. zur Prävalenz und Inzidenz zwischen den Jahren 1979 und 2001 in Deutschland wurde ein Anstieg der Prävalenz von 4,0 auf 4,7 % und der Inzidenz von 0,54 auf 1,47% festgestellt [1]. Dabei betrug die Prävalenz in der untersuchten männlichen Bevölkerung 5,51% (Stand 2001) und bei den untersuchten Frauen 4,02 % (Stand 2001). Dies entspricht einem Verhältnis Mann zu Frau von etwa 1,4:1 [1].

Auffällig war in der Studie, dass die Prävalenz der Urolithiasis eine Abhängigkeit vom Alter aufzeigte. Während in der Bevölkerungsgruppe unter 25 Jahren die Prävalenz noch unter 0,7 % lag, stieg sie ab dem 25. Lebensjahr bei beiden Geschlechtern stark an [1]. So lag sie in der Gruppe der 50- bis 64-Jährigen bei 9,7% (Mann) bzw. 5,9% (Frau) und in der Altersgruppe über 64 Jahre bei 11,7 % (Mann) und 7,7% (Frau) [1].

Die Erstdiagnose der Urolithiasis erfolgt laut dieser Studie vor allem bei Patienten im Alter von 35-49 Jahren (36,5% der Männer und 28,5% der Frauen) [1]. In den Altersgruppen unter 24 Jahre und über 65 Jahre erfolgt die Erstdiagnose vergleichsweise selten [1]. Vergleichbare Daten bezüglich des Anstiegs der Prävalenz über die Zeit konnten z.B. auch in Italien und Japan gewonnen werden [4,5]. Als Hauptursache für diese Zunahme der Urolithiasis wird die Fehlernährung und die Veränderung der Lebensgewohnheiten in Industrieländern genannt [6]. Auch die zunehmende Qualität der Diagnostik durch die technische Weiterentwicklung der Computertomographie (CT) und Sonographie tragen zu der steigenden Inzidenz und Prävalenz bei.

Der Urolithiasis kommt insgesamt durch die Zunahme von Prävalenz und Inzidenz eine große gesundheitsökonomische Bedeutung zu. Laut der Gesundheitsberichterstattung des Bundes wurden im Jahr 2016 insgesamt 132.216 Patienten vollstationär wegen einer Urolithiasis behandelt. Die Behandlungskosten für die Therapie der Urolithiasis betragen dabei mehr als 600 Millionen Euro im Jahr [7].

Die besondere volkswirtschaftliche Stellung der Urolithiasis zeigen Zahlen aus dem Jahr 1997, laut denen Patienten mit Urolithiasis im Schnitt 96 Tage im Jahr arbeitsunfähig sind, was wiederum zu 5,8 Millionen Gesamtfehltagen pro Jahr in der Bundesrepublik Deutschland führt [8].

## **2.2 Ätiologie und Pathogenese**

Grundsätzlich handelt es sich bei der Harnsteinbildung um ein sehr komplexes Geschehen. Die konkreten Mechanismen der Harnsteinbildung hängen dabei von der Steinart ab. Am häufigsten finden sich Kalziumoxalatsteine (70-80%), gefolgt von Kalziumphosphatsteinen (10-30%), Harnsäuresteinen (5-15%), Struvitsteinen (5-10%) und Zystinsteinen (1%) [9]. Ein wichtiger Kausalfaktor für die Bildung von Harnsteinen ist die Veränderung der Harnzusammensetzung. Kommen sogenannte Promotoren (steinbildende Substanzen) wie Kalzium, Oxalsäure, Phosphat, Harnsäure und Zystin in hoher Konzentration vor und fehlt es gleichzeitig an Inhibitoren (hemmen Kristallisation und Aggregation von Promotoren) wie Zitrat, Pyrophosphat, Magnesium und Glykosaminoglykane/Glykoproteine, liegen gute Grundvoraussetzungen zur Steinbildung vor.

Ist der Urin übersättigt mit Promotoren und wird das Löslichkeitsprodukt überschritten, kann es zur Kristallisation kommen. Dies geschieht bevorzugt bei Anwesenheit von Substanzen wie Proteinen und Makromolekülen (heterogene Nukleation) oder bei gleichzeitiger Überschreitung des Ionenaktivitätsprodukts (homogene Nukleation). Die entstehenden Kristalle aggregieren dann zu Harnsteinen. Zelluläre Veränderungen in den Nierentubuli und im Bereich der Papillen, die im Rahmen degenerativer Prozesse entstehen, sind an der Aggregation wesentlich beteiligt. Auch eine niedrige Diurese, eine Verschiebung des Urin-pH in den azidotischen oder alkalischen Bereich sowie anatomische Veränderungen der Niere und Harnwege mit konsekutivem Harnstau fördern den Prozess der Harnsteinbildung.

## **2.3 Risikofaktoren**

### **2.3.1 Heredität**

Bei etwa 2% der Nephrolithiden lässt sich eine monogenetische Ursache der Erkrankung feststellen [10]. Dies muss beispielsweise in der Diagnostik und Therapie von Cystin- und Kalziumoxalatsteinen berücksichtigt werden. Die autosomal-rezessiv vererbte Cystinurie führt bereits im frühen Lebensalter zur Nephrolithiasis. Bei der autosomal-rezessiv vererbten Hyperoxalurie Typ 1 kommt es durch die starke Ablagerung von Kalziumoxalat zur Nephrolithiasis und im Verlauf zu einer Nephrokalzinose und terminalen Nierenversagen. Sehr viel häufiger findet man allerdings Patienten mit einer familiären Prädisposition aufgrund polygenetischer Vererbung. Ljunghall et al. [11] konnten zeigen, dass in einer Kohorte von 380 Patienten mit Harnsteinleiden etwa 55% einen erstgradigen Verwandten mit Urolithiasis aufweisen konnten. Vor allem die Urinkonzentrationen von Calcium, Oxalat und Citrat zeigen ein hohes Maß an Heredität [12]. Einen weiteren wesentlichen Risikofaktor für die Harnsteinbildung stellen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten dar, also Faktoren, die aus soziologischer Sicht bei Familienmitgliedern eine hohe Übereinstimmung finden. Vor allem die Ernährung mit tierischen Proteinen und die unzureichende Aufnahme von Wasser sind wichtige Risikofaktoren [13]. Im Zusammenhang mit Ernährung ist ebenso die Adipositas als Risikofaktor für die Nephrolithiasis zu nennen. Das erhöhte Risiko besteht in diesem Zusammenhang vor allem für das weibliche Geschlecht [14-16]

### **2.3.2 Geschlechtsspezifische Prädisposition**

Für Männer besteht ein höheres Risiko an einer Nephrolithiasis zu erkranken. Als mögliche Ursache dafür wird das Geschlechtshormon Testosteron genannt. Dieses bedingt eine erhöhte Plasmakonzentration von Oxalat und eine erhöhte Ausscheidung von lithogenem Oxalat in den Urin. Das weibliche Geschlechtshormon Östrogen senkt hingegen die Oxalatkonzentration in Urin und Plasma [17].

### **2.3.3 Prädisponierende Grunderkrankungen**

Im Rahmen von primären Grunderkrankungen kann es sekundär zur vermehrten Ausscheidung von lithogenen Substanzen über den Urin kommen. So können

chronisch entzündliche Darmerkrankungen wie Morbus Crohn oder Colitis ulcerosa eine sekundäre Hyperoxalurie bedingen [18]. Ein primärer oder sekundärer Hyperparathyreoidismus oder eine Immobilisation können Ursache für eine Hyperkalziurie sein [19]. 15 % der Harnsteine sind Struvitsteine, die sekundär nach Harnwegsinfekten auftreten. Ausgangspunkt für die Infektion sind oftmals angeborene oder erworbene Harnwegsobstruktionen (z.B. subpelvine Stenosen, benignes Prostatasyndrom), einliegende Urindrainagen oder endourologische Eingriffe. Durch die Ansammlung von Erregern, die das Enzym Urease produzieren (z.B. Proteus-, Klebsiella-Spezies), kommt es zur Entstehung eines alkalischen Urin-pH und zur Harnsteinbildung [20]. Auch die beiden Volkskrankheiten arterielle Hypertonie und Diabetes mellitus stellen Risikofaktoren für die Entstehung einer Urolithiasis dar [21,22].

#### **2.3.4 Klima und Jahreszeit**

Auch das Klima hat einen Einfluss auf die Häufigkeit der Urolithiasis. In Ländern mit hoher Durchschnittstemperatur findet man eine vergleichsweise hohe Inzidenz der Urolithiasis [23]. Des Weiteren findet sich auch eine saisonale Häufung der symptomatischen Urolithiasis in den Sommermonaten [24]. Eine mögliche Erklärung dafür ist der erhöhte Wasserverlust durch Schwitzen und die damit einhergehende Reduktion der renalen Ausscheidung. Dadurch kommt es zu einer stärkeren Konzentration von lithogenen Substanzen im Urin und in der Folge zur Steinbildung.

#### **2.3.5. Medikamente**

Zahlreiche Medikamente können durch eine vermehrte renale Ausscheidung von Promotoren eine Harnsteinbildung bewirken. Ein weiterer Mechanismus der medikamentös induzierten Harnsteinbildung beinhaltet das Ausfallen des renal filtrierte Medikaments im Urin. Ein Beispiel wäre die Entstehung von Aciclovirkristallen bei der antiviralen Therapie des Herpes Zoster [25]



## 2.4 Anatomie der Nieren und ihre operativen Besonderheiten

Die paarig angelegten Nieren haben eine Länge von etwa 10-12 cm und eine Breite von 5-6 cm. Makroskopisch lassen sich die Nieren in Rinde und Mark einteilen. In der Nierenrinde befinden sich die Nierenkörperchen, in denen der Primärharn filtriert wird. Das Nierenmark stellt sich makroskopisch pyramidenförmig dar und enthält einen wesentlichen Teil des Nierentubulssystems und die Sammelrohre. In den Sammelrohren findet die Bildung des Endharns statt, der dann über die Pyramidenspitzen in die Nierenkelche und dann ins Nierenbecken gelangt. Bei den Nierenkelchen unterscheidet man nochmal kleine Nierenkelche (*Calices renales minores*) und große Nierenkelche (*Calices renales majores*). Die kleinen Nierenkelche umfassen dabei die Pyramiden-spitze und leiten den Harn weiter in die großen Nierenkelche [26]. Grob werden die Kelche anhand ihrer Topografie in eine obere, mittlere und untere Kelchgruppe eingeteilt. Die Nieren liegen retroperitoneal im oberen, dorsalen Abdomen. Die rechte Niere liegt aufgrund der Verdrängung durch die Leber etwas tiefer als die linke Niere. Ventral projizieren sich die unteren Nierenpole etwa 3-4 cm oberhalb des Bauchnabels, der sich etwa auf Höhe des 4. Lendenwirbelkörpers befindet. Von den umgebenen Organen sind die Nieren durch die *Fascia renalis* und die *Cap-sula adiposa* abgetrennt. Ventral der rechten Niere befinden sich Leber, Duodenum und Dickdarm, medial die *Vena cava inferior* sowie der *M. psoas* und dorsal der *M. quadratus lumborum*. Ventral der linken Niere befinden sich Magen, Milz, Pankreas, Jejunum und Dickdarm, dorsal befindet sich der *M. quadratus lumborum*, medial der *M. psoas*. Dorsal und lateral werden die Nieren, abhängig von individuellem Körperbau und Atmung, von Lunge und Pleura sowie den Rippen 10-12 begrenzt. Zu beachten sind auch die am Unterrand der Rippe verlaufenden *Arteriae intercostales* mit ihren begleitenden Venen und Nerven. Des Weiteren verlaufen der *Nervus iliohypogastricus* und der *N. ilioinguinalis* dorsal der Nieren.

Die angrenzenden Organe und Strukturen sind von besonderem Interesse beim operativen Zugang der Nieren, da es zur Verletzung und Perforation der Strukturen kommen kann. Bei der Punktion des unteren Nierenpols ist lagebedingt besonders auf das Kolon zu achten [27]. Außerdem ist zu beachten, dass die Nieren durch ihre Lagebeziehung zum seitengleichen *M. psoas* und *M. quadratus lumborum* eine Schräglage im Retroperitonealraum einnehmen. Dies ist wichtig für die Röntgenanatomie, weil ventrale Kelche dadurch lateral und dorsale Kelche medial dargestellt werden

[27]. Weil die Punktion eines ventralen Kelches traumatisierend und schwierig ist, sollte dem Operateur die Lage der Kelchgruppen im Röntgenbild bekannt sein [27].

Die arterielle Versorgung der Nieren erfolgt über eine linke und rechte Arteria renalis. Diese tritt am Nierenhilus ein und teilt sich dort in meist 2 Hauptäste (Ramus anterior/posterior) auf, dann weiter in Segmentarterien und Interlobararterien. Die venöse Drainage der Nieren erfolgt über die Venae renales in die Vena cava inferior.

Das gefäßärmste Areal des Nierenparenchyms liegt entlang der Zentralachse der Nierenpapillen, weshalb die Punktion des Hohlraumsystems transpapillär erfolgen sollte [27]. Des Weiteren ist zu erwähnen, dass vor allem in der Übergangszone der arteriellen Versorgung zwischen Ramus anterior und posterior die Gefäßversorgung am geringsten ist. Ein Zugang von dorsolateral ist daher von Vorteil [26]. Wichtig zu erwähnen ist auch die anatomische Besonderheit der unteren Kelchgruppe. Hier findet sich die geringste Dichte an Segmentarterien, weshalb die Punktion an dieser Stelle zu weniger Blutungskomplikationen führt [3].

## **2.5 Klinik, Diagnose und Differentialdiagnose der Urolithiasis**

### **2.5.1 Klinik**

Die Symptomausprägung des Harnsteinleidens hängt von verschiedenen Faktoren ab. So haben die Lokalisation des Harnsteins, das Maß der durch den Stein verursachten Obstruktion sowie individuelle Faktoren Einfluss auf die Symptomatik. Die Größe der Steine korreliert dabei oftmals nicht mit dem Ausmaß der Beschwerden. Nicht obstruierende, große Steine der Niere können asymptomatisch bleiben oder im Falle von Nierenbeckenausgusssteinen lediglich durch einen dumpfen Flankenschmerz oder -beschwerden auffällig werden [28]. Selbst kleinste, obstruierende Steine im Harnleiter werden durch eine Nierenkolik symptomatisch. Dieser Kolikschmerz tritt meist plötzlich und einseitig auf und ist von stärkster Intensität. Die Dauer kann von wenigen Minuten bis Stunden reichen. Betroffene Patienten sind typischerweise in ständiger Bewegung und finden keine schmerzfreie Position. Der Schmerzcharakter kann wellenförmig bis kontinuierlich sein und strahlt bei Patienten mit Steinen im Nierenbecken meist in die Flanke aus. Patienten mit Harnsteinen im Ureter empfinden die Schmerzen oft im mittleren und unteren Abdomen, wohingegen

die Schmerzen bei Patienten mit prävesikalen und intramuralen Steinen oft auch in den Genitalbereich ausstrahlen [29].

Begleitet wird das Schmerzereignis oftmals von vegetativen Beschwerden wie Schwitzen, Übelkeit und Erbrechen. Durch die Verletzung der ableitenden Harnwege durch Harnsteine kann es zu Blutungen kommen, die von einer diskreten Mikrohämaturie bis zu einer symptomatischen Makrohämaturie reichen können. Treten die Symptome der Urolithiasis kombiniert mit Infektzeichen wie Fieber auf, muss ein Harnwegsinfekt ausgeschlossen werden und der Patient gegebenenfalls auf Sepsiszeichen hin untersucht werden [28].

### **2.5.2 Diagnostik**

Besteht der Verdacht auf ein Harnsteinleiden, stehen Anamnese und körperliche Untersuchung an erster Stelle der Diagnostik. Die typischen Symptome sind häufig schon richtungsweisend für die Diagnose. Ergänzt werden Anamnese und körperliche Untersuchung durch Labordiagnostik und Bildgebung.

Bei der Urindiagnostik findet man bei etwa 93% der Kolikpatienten eine Mikrohämaturie [30]. Ebenso sollten Infektparameter (Leukozyten, Nitrit) sowie der pH-Wert des Urins bestimmt werden und eine mikroskopische Untersuchung des Urinsedimentes erfolgen. Im Blut bestimmt werden der Kreatininwert als Parameter für die Nierenfunktion, Harnsäure, Calcium, Natrium, Kalium, CRP und Leukozyten- sowie Erythrozytenzahl [2].

Für die Bildgebung empfiehlt sich die Sonographie als Diagnostikum der ersten Wahl. Mit ihr können die Größe und Lage eines Steins sowie das Ausmaß einer möglichen renalen Stauung bestimmt werden. Die Beurteilung der Ureter ist jedoch bei fehlender Stauung kaum möglich. Das Verfahren mit der höchsten Sensitivität und Spezifität ist die native Computertomographie. Diese stellt die weiterführende Standarddiagnostik insbesondere bei Verdacht auf Harnleitersteine dar. Mit ihr können auch Hinweise auf die Steindichte gewonnen werden und im Falle einer Kontrastmittelgabe Anatomie und Funktion der ableitenden Harnwege beurteilt werden. Die Röntgenübersichtaufnahme dient der Diagnostik, Therapiekontrolle und Nachsorge von schattengebenden Konkrementen. Falls Verkalkungsstrukturen nicht eindeutig dem Harntrakt zugeordnet werden können, kann die Röntgenaufnahme mit

einer intravenösen Kontrastmittelgabe ergänzt werden (Ausscheidungsurographie). Das Ausscheidungsurogramm liefert außerdem präinterventionell wertvolle Aussagen über die Konfiguration des Harntrakts, semiquantitative Informationen zur Nierenfunktion und zu deren Seitendifferenz. Die Kernspintomographie spielt in der Routinediagnostik keine Rolle. Sie ist als Alternative zur CT bei Schwangeren und Kindern in Erwägung zu ziehen. Die anterograde und retrograde Pyelographie spielen in der Primärdiagnostik nur eine untergeordnete Rolle. Ein Vorteil ist, dass sie auch bei Kontrastmittelallergie und Nierenfunktionsstörungen zur Steindetektion mit Kontrastmittelapplikation durchgeführt werden können. Die Nierenszintigraphie spielt in der Notfalldiagnostik keine Rolle, kann aber zur Abklärung therapeutischer Fragestellungen herangezogen werden [3,31]

### **2.5.3 Differentialdiagnose der Urolithiasis**

Vor allem die akute Harnsteinkolik bietet eine große Anzahl urologischer und nicht-urologischer Differentialdiagnosen. Alle Ursachen des akuten Abdomens müssen bei Koliken in Betracht gezogen werden.

Zu nennen wären dabei insbesondere Cholezystolithiasis, Appendizitis, Divertikulitis, Sig-moiditis, Pankreatitis, Magenulcera, Extrauterinschwangerschaft, Torsion einer Ovarialzyste oder Hodentorsion, Salpingitis, Prostatitis, Orchiepididymitis, dissezierendes Aortenaneurysma, akute Pyelonephritis, Niereninfarkt, Nierentraumen und ein Milzinfarkt. Auch costovertebrale Schmerzen können eine Nierenkolik imitieren. Bei einer Hämaturie sollte neben der Urolithiasis auch ein Nierenkarzinom, Urothelkarzinome des oberen Harntrakts sowie Papillennekrosen ausgeschlossen werden. Neben einem Stein als Ursache für einen kompletten oder teilweisen Verschluss des Harnleiters müssen auch komprimierende Raumforderungen und andere intraureterale Hindernisse wie Blutkoagel bedacht werden, die zu einer Obstruktion des Harnleiters führen. Eine mögliche Ursache für eine Kompression des Harnleiters von außen wäre beispielsweise die Retroperitonealfibrose (Morbus Ormond). [34]

## 2.6. Therapie von Harnleitersteinen

Die Therapie von Harnleitersteinen hängt im Wesentlichen von der Wahrscheinlichkeit des Spontanabganges und individuellen, patientenbezogenen Faktoren ab. Bei einer Steingröße von  $\leq 4$  mm beträgt die Wahrscheinlichkeit des spontanen Steinabgangs innerhalb von 40 Tagen 95% [33]. In der S2k-Leitlinie der DGU wird eine konservative Therapie mit aktivem Zuwarten für Steine kleiner 7 mm empfohlen. In den europäischen Leitlinien der EAU wird empfohlen, den spontanen Steinabgang bei „kleinen“, neu diagnostizierten Harnleitersteinen unter regelmäßiger Kontrolle von Harntransport, Schmerzmittelbedarf und Infektparametern abzuwarten [2]. Der konservative Therapieansatz kann durch eine supportive medikamentöse Therapie ergänzt werden [2,3]. Mit zunehmender Größe der Konkremente nimmt die Wahrscheinlichkeit der spontanen Steinpassage jedoch ab [34,35]. Die beiden vorrangigen interventionellen Therapieoptionen bei Harnleitersteinen sind die ESWL und die URS. Die URS ist der ESWL in Bezug auf die Steinfreiheitsrate, mit Ausnahme von kleinen proximalen Harnleitersteinen ( $<10$  mm), überlegen [34]. In den Leitlinien der EAU und DGU wird außer für proximale Harnleitersteine mit einer Größe kleiner 10 mm die URS demnach als Firstline-Therapie empfohlen [2,3]. Andere interventionelle Verfahren wie die perkutane antegrade Ureterorenoskopie stellen eine Ausnahme dar.

## 2.7 Therapie der akuten Harnsteinkolik

Aufgrund der sehr hohen Intensität von Kolikschmerzen steht die Analgesie bei Kolikpatienten initial im Mittelpunkt. Mittel der ersten Wahl ist die intravenöse Gabe des Nichtopioid-Analgetikums Metamizol [2,3]. Metamizol wirkt analgetisch, antipyretisch und spasmolytisch. Durch die spasmolytische Wirkung kommt es zu einer verminderten Kontraktilität der glatten Muskulatur der Ureteren und damit zu einer Abnahme des Drucks im Nierenbeckenkelchsystem. Dieser Effekt ist auch für die intravenöse Gabe von Indometacin belegt. [36]. Die Überlegenheit von Metamizol gegenüber anderen Nichtopioid-Analgetika zeigt sich dabei vor allem bei Dosen von 2g [37]. Im Gegensatz zu Metamizol haben Opiate bei Kolikschmerzen lediglich einen analgetischen Effekt, jedoch keinen spasmolytischen Effekt auf die Muskulatur des Harnleiters. Wegen der fehlenden spasmolytischen Wirkung und den vermehrten Nebenwirkungen gegenüber Nichtopioid-Analgetika werden sie vor allem ergänzend bei nicht

ausreichender analgetischer Wirkung der Nichtopioid-Analgetika eingesetzt. Eine gute Alternative zu Opioiden und Metamizol ist Paracetamol, dies gilt vor allem bei schwangeren Patienten. Sind die Kolikschmerzen durch die medikamentöse Therapie nicht zu beherrschen, ist eine sofortige Harnableitung mittels perkutaner Nephrostomie oder transurethraler Harnleiterschienung indiziert [3].

## **2.8 Therapiemöglichkeiten von Nierensteinen**

Grundsätzlich stehen zur Behandlung von Nierensteinen konservative und interventionelle Verfahren zur Verfügung. Die Wahl des passenden Verfahrens hängt von der Lage und Größe des Steins, der steinbedingten Symptomatik, ggf. der Steinzusammensetzung, individuellen patientenbezogenen Faktoren sowie dem Patientenwunsch ab. Als konservative Verfahren stehen die aktive Überwachung und die Chemolitholyse zur Verfügung. Als interventionelle Therapiemöglichkeiten die ESWL, die URS, die PCNL sowie in Sonderfällen laparoskopische und offene Verfahren.

## **2.9 Konservative Therapie**

### **2.9.1 Aktive Überwachung**

Nierensteine sind in den allermeisten Fällen asymptomatisch und häufig sonographische Zufallsbefunde. Liegt keine Indikationen zur interventionellen Therapie vor, können die Steine im Rahmen einer jährlichen Kontrolluntersuchung verlaufskontrolliert werden [2,3]. Verschiedene Untersuchungen zum natürlichen Verlauf von primär asymptomatischen Nierensteinen zeigen, dass etwa 31,8-77% der Steine im Verlauf symptomatisch werden [38-40]. Eine Studie zum Steinwachstum von Hubner et al. zeigte ein Steinwachstum bei 45% der asymptomatischen Nierensteine im Verlauf von 7,4 Jahren nach Erstdiagnose [38].

### **2.9.2 Chemolitholyse**

Die Chemolitholyse kann abhängig von der Steinzusammensetzung oral oder perkutan durchgeführt werden. Die orale Chemolitholyse kann als Verfahren der ersten Wahl nur bei Harnsäuresteinen eingesetzt werden. Die Löslichkeit der Harnsäure im

Urin ist stark vom pH-Wert des Urins abhängig. Durch eine Alkalisierung des Urins auf einen pH-Wert von 7,0 bis 7,2 wird die Löslichkeit der Harnsäure im Urin erhöht und der Harnsäurestein aufgelöst. Zu diesem Zweck werden Alkalizitrat oder Natriumbicarbonat oral appliziert. Die perkutane Chemolitholyse bei Struvit- und Zystinsteinen spielt heutzutage nur noch eine untergeordnete Rolle [2,3]

## **2.10 Interventionelle Therapie**

### **2.10.1 Indikationen zur interventionellen Therapie**

Gemäß der S2k-Leitlinie der DGU soll eine interventionelle Therapie bei niedriger Wahrscheinlichkeit des spontanen Steinabgangs erfolgen. Dies kann beispielsweise bei großen Konkrementen und ungünstigen Konkrementlokalisationen der Fall sein. Außerdem sollte eine interventionelle Therapie erfolgen bei persistierender steinbedingter Obstruktion und obstruktionsbedingten Komplikationen sowie bei symptomatischen Steinen mit therapierefraktärem Schmerz. Auch die Steinzusammensetzung kann bei der Entscheidung eine Rolle spielen [3].

In der Leitlinie der EAU ist eine aktive Steinentfernung indiziert bei einem beobachteten Steinwachstum, symptomatischen Steinen und Steinen mit einer Größe von >15 mm, Patienten mit hohem Steinbildungsrisiko, steinbedingter Infektion und Obstruktion, bei Patientenwunsch und Patienten mit Komorbiditäten, in speziellen sozialen Situationen und wenn eine konservative Therapie nicht in Frage kommt [2].

### **2.10.2. Individuelle Entscheidungsfindung des Verfahrens der Wahl**

Für die Therapie der Nephrolithiasis stehen als interventionelle Therapiemöglichkeiten die ESWL, die URS, die PCNL sowie in Sonderfällen laparoskopische und offene Verfahren zur Verfügung. Welches dieser Verfahren zur Anwendung kommt, hängt im Wesentlichen von der Art und Lage des Steins, seiner Größe, individuellen, patientenbezogenen Faktoren sowie dem Patientenwunsch ab [2,3].

Für interventionsbedürftige Konkremente der Niere mit einer Größe kleiner als 10 mm wird in den Leitlinien der EAU und DGU die ESWL und die URS als Mittel der ersten Wahl empfohlen. Die PCNL wird hier in den Leitlinien als Mittel der zweiten Wahl eingestuft [2,3].

Für interventionsbedürftige Konkreme der Niere mit einer Größe zwischen 10 mm und 20 mm hängt die Leitlinienempfehlung davon ab, in welchem Bereich der Niere das Konkrement lokalisiert ist. Sind Konkreme der entsprechenden Größe in der UKG der Niere lokalisiert werden primär endourologische Verfahren wie die PCNL und die URS als Verfahren der ersten Wahl empfohlen. In dieser Lokalisation ist die postinterventionelle SFR der ESWL niedriger als nach PCNL und URS [41-44]. Hauptproblem der ESWL ist, dass periinterventionell die Konkreme nicht geborgen werden, sondern die Desintegrate selbstständig über den Ureter ausgeschieden werden müssen. Aus anatomischen Gründen gelangen Desintegrate der UKG weniger wahrscheinlich in den Ureter und verbleiben in der UKG, was wiederum zur erneuten Steinbildung an dieser Stelle beitragen kann.

In den deutschen und europäischen Leitlinien werden weitere Faktoren aufgeführt, die den Erfolg einer ESWL limitieren können. Zu nennen wären beispielsweise eine harte Steinzusammensetzung, wie man sie bei Brushit-, Zystin- und Calciumoxalatmonohydratsteinen findet, ein steiler Unterkelch-Nierenbeckenwinkel, ein langer unterer Kelchhals, ein enges Infundibulum, anatomische Malformationen und Adipositas [2,3].

Liegen diese negativen Prädiktoren nicht vor und befindet sich das zu entfernende Konkrement in einer anderen anatomischen Lokalisation der Niere als in der UKG, kommen ESWL, PCNL und URS gleichwertig zum Einsatz [2,3]. Die PCNL und die URS sind der ESWL dabei überlegen im Hinblick auf die SFR [42,45,46] und die Häufigkeit von notwendigen Zweiteingriffen [42,45]. Die PCNL ist der URS wiederum im Hinblick auf die SFR überlegen [45]. Die ESWL ist der PCNL und URS überlegen im Hinblick auf die postinterventionelle Komplikationsrate [42,45,6] sowie die Interventionsdauer und Krankenhausverweildauer [47].

Für interventionsbedürftige Konkreme der Niere mit einer Größe von mehr als 20 mm wird in den Leitlinien der EAU und DGU die PCNL als Mittel der ersten Wahl empfohlen [2,3]. Die postinterventionelle SFR der URS und ESWL nimmt mit zunehmender Steingröße ab [43,48]. Die PCNL ist jedoch auch bei Steingrößen über 20 mm noch sehr effektiv.

Eine konkrete Leitlinienempfehlung, ob die PCNL im Sinne einer konventionellen PCNL oder als Mini-PCNL durchgeführt werden sollte, existiert explizit nicht [2,3]. Es



wird jedoch der Einfluss der technischen Weiterentwicklung der PCNL auf die Indikationsstellung der PCNL diskutiert.

Während die PCNL in den aktuellen Leitlinien auch als gleichwertige Alternative für Nierensteine der Größe von 10-20 mm angegeben wird [2,3], wurde sie vorher wegen ihrer vergleichsweise hohen Komplikationsrate nur bei sehr großen Nierensteinen oder bei einer speziellen Steinzusammensetzung eingesetzt. [49,50]. Durch die Entwicklung von miniaturisierten Verfahren wie der Mini-PCNL, der Ultra-Mini-PCNL, der Mikro-PCNL, der Minimally-invasive-PCNL und der Super-Mini-PCNL, wird die Indikation zur PCNL jedoch immer häufiger auch bei Steinen mit mittlerer Steingröße gestellt [2,3,50].

Wie bereits betont hängt die Auswahl des Verfahrens jedoch nicht nur von der Art und Lage des Steins und seiner Größe ab, sondern auch von individuellen, patientenbezogenen Faktoren [2,3].

Im Falle einer periinterventionell nicht absetzbaren Antikoagulation oder einer hämorrhagischen Diathese ist die URS das Verfahren der Wahl [51]. Eine Therapie mit ASS 100 mg stellt dabei grundsätzlich keine Einschränkung dar [2,3].

Eine weitere Indikation für die URS kann das Vorliegen einer ausgeprägten Adipositas darstellen. Im Gegensatz zur ESWL und PCNL sind sowohl die SFR als auch die Komplikationsraten bei der URS unabhängig vom BMI [52-54].

In der Schwangerschaft stellt die URS die einzige interventionelle Therapieoption laut Leitlinie dar [2,3,55].

Liegt bei einem Patienten aufgrund einer vorangegangenen OP eine kontinente (Mainz-Pouch 1 und 2) oder inkontinente (Ileum-, Colon-Conduit) Harnableitung vor, kann gemäß Leitlinien das komplette Spektrum der interventionellen Therapien in Erwägung gezogen werden. Bei schlechter Zugänglichkeit der Harnleiterostien ist jedoch oftmals ein perkutaner Zugangsweg notwendig [2,3].

Das Problem der schlechten Zugänglichkeit der Harnleiterostien besteht auch bei Transplantatnieren in der Fossa iliaca. Hier ist ein antegrader perkutaner Zugang dem retrograden Zugang vorzuziehen [2,3].

Liegen anatomische Anomalien der Nieren vor wie Kelchdivertikel, dystope Nieren oder Hufeisennieren, stehen grundsätzlich alle gängigen Verfahren der Steintherapie zu Verfügung [2,3]. Im Falle von subpelvinen Stenose sollte nach Leitlinien der DGU und EAU von der Durchführung einer ESWL abgesehen werden [2,3].

Laparoskopische und offene Verfahren kommen nur noch sehr selten zum Einsatz und werden im Wesentlichen dann angeboten, wenn ESWL und endourologische Verfahren ohne Erfolg geblieben sind.

### **2.10.3 Ureterorenoskopie (URS)**

Die URS ist ein häufig angewandtes interventionelles Therapieverfahren bei Nephrolithiasis. Ein Vorteil der URS ist, dass die Konkrementextraktion und -desintegration unter direkter Sichtkontrolle erfolgen kann. Der Zugang zum Nierenbeckenkelchsystem erfolgt unter Berücksichtigung der Steinlage und -größe sowie anatomischer Besonderheiten dabei entweder retrograd-transurethral oder antegrad-perkutan. Ein meist semirigides oder flexibles Ureterorenoskop wird im Rahmen der Intervention bis zum gesuchten Konkrement vorgeschoben. Das entsprechende Konkrement kann dann beispielsweise mittels Faszangen oder Steinfangkörbchen über einen Arbeitskanal geborgen werden oder im Falle von großen Steinen nach primär intrakorporaler Lithotripsie über einen Spülkanal herausgespült werden. Der Eingriff findet unter sterilen Kautelen in Allgemein- oder auch Spinalanästhesie statt.

### **2.10.4 Extrakorporale Stoßwellenlithotripsie (ESWL)**

Ein weiteres häufig angewandtes interventionelles Therapieverfahren bei Nephrolithiasis ist die ESWL. Bei der ESWL werden Konkreme der Niere mittels extrakorporal erzeugter akustischer Stoßwellen intrakorporal fragmentiert und desintegriert. Die Stoßwellenerzeugung erfolgt elektromagnetisch, elektrohydraulisch oder piezoelektrisch. Nach Analgosedierung und Lagerung des Patienten wird mittels Sonographie oder Röntgen die genaue Steinlage dokumentiert und der Lithotripter mittels eines Kontaktgels an den Patienten gebracht.

Die Stoßwellen werden dann mit Hilfe einer akustischen Linse auf das Konkrement fokussiert und desintegrieren dieses in möglichst spontanabgangsfähige kleine Konkreme [56]. Die postinterventionelle Steinfreiheitsrate kann durch eine

postinterventionelle medikamentöse expulsive Therapie (MET) sowie durch eine PDI-Therapie bestehend aus Perkussion (Vibration), forcierte Diurese und Inversion (Trendelenburg-Lagerung) gesteigert werden [57-59]

## **2.11 Perkutane Nephrolitholapaxie (PCNL)**

### **2.11.1 Entwicklung der PCNL**

Im Jahr 1976 beschrieben I. Fernström und B. Johansson erstmalig eine Methode, mit der es ihnen gelang über einen perkutanen Zugang Konkremente aus dem Nierenbeckenkelchsystem zu entfernen. Im Rahmen dieser Methode wurden, nach perkutaner Punktion der Niere, Nephrostomiekatheter aufsteigender Größe in das Nierenbeckenkelchsystem eingebracht, bis der Durchmesser des Katheters dem des Konkrementes entsprach. Die Entfernung des Konkrementes gelang dann mittels Dormiakörbchen oder Faszangen unter radiologischer Durchleuchtung über den Nephrostomiekatheter [60]. In Anlehnung an dieses Verfahren entwickelten Alken et al. am Universitätsklinikum Mainz in den 1970er Jahren die perkutane Nephrolitholapaxie. P. Alken und seinen Mitarbeitern gelang es, Konkremente der Niere mittels Ultraschalllithotripter oder mittels Chemolitholyse im Nierenbecken zu desintegrieren und dann über einen Nephrostomiekanal zu extrahieren [61]. Diese Technik wurde in den folgenden Jahren, insbesondere auch durch die Weiterentwicklung von Lithotriptern, Nephroskopen und anderen technischen Hilfsmitteln, bis hin zur „Mannheimer Technik“ perfektioniert [62]. Dabei wird die konkrementtragende Niere perkutan punktiert und so ein Zugang zum Nierenbeckenkelchsystem geschaffen. Nach dem Aufbougieieren der Punktionsstelle wird ein Arbeitsschaft und darüber ein Nephroskop in das Nierenbecken eingeführt. Mittels spezieller Sonden wird der Nierenstein dann desintegriert und geborgen.

Insbesondere in den Entwicklungsjahren dieser „konventionellen“ PCNL kam es zu teils hohen Komplikationsraten dieser Methode. Diese wurden vor allem auf das OP-Trauma durch den großlumigen perkutanen Zugang zurückgeführt [49]. Daher kam es im Verlauf zu einer zunehmenden Entwicklung von miniaturisierten Verfahren mit dem Ziel, bei gleicher Effektivität des Verfahrens die interventionsbedingte Morbidität der konventionellen PCNL zu reduzieren.

Die ersten Fortschritte wurden diesbezüglich in der Kinderurologie und Pädiatrie gemacht. Helal et al. beschrieben 1997 eine neue Technik, bei der ein 15 Charrière großer Hickmann-Katheter als Zugangsschaft verwendet wurde, um ein 10 Charrière

großes Zystoskop zur Detektion und Extraktion eines Konkrements in das Nierenbeckenkelchsystem einzubringen [63]. Jackman et al. beschrieben wiederum ein Jahr später eine Technik, bei der eine 11 Charrière große Einführschleuse, welche ursprünglich für vaskuläre Interventionen entwickelt worden war, als Zugangsschicht für die PCNL verwendet wurde. Die Steinlokalisierung und –extraktion erfolgte über ein 7 Charrière großes Zystoskop bzw. ein 9,5 Charrière großes Ureteroskop [64].

Im Jahr 2001 entwickelten Lahme et al. ein Nephroskop mit einem Aussendurchmesser von 12 Charrière, was den entscheidenden Entwicklungsschritt für das Verfahren Mini-PCNL darstellte [65]. Die Entwicklung dieses Mini-PCNL-Systems führte zu einer Ausweitung der Indikationsstellung der PCNL in der Steintherapie [49]. Auch in den Folgejahren war der Fortschritt in der Miniaturisierung noch stetig. So existieren bereits Verfahren wie die Micro-PCNL, die Ultra-Mini-PCNL und auch sogenannte „Minimally Invasive“- PCNL-Systeme (MIP-Systeme) mit einer noch geringeren Invasivität durch noch kleinere Nephroskope [49,50].

### **2.11.2 Präoperatives Management vor PCNL**

Präoperativ sollte immer die Indikationsstellung der OP reevaluiert sowie Kontraindikationen zur OP ausgeschlossen werden. Wichtige Kontraindikationen der PCNL sind ein unbehandelter Harnwegsinfekt, eine bestehende Schwangerschaft, eine Antikoagulation oder Gerinnungsstörung [2,3] sowie eine atypische Koloninterposition [3]. In den europäischen Leitlinien der Urolithiasis wird weiterhin noch darauf hingewiesen, dass Tumore der Niere und Tumore im unmittelbaren OP-Gebiet eine Kontraindikation für die PCNL darstellen [2]. Selbstverständlich müssen auch alle möglichen Kontraindikationen der Allgemeinanästhesie und einer möglichen Regionalanästhesie berücksichtigt werden [3]. Eine Infektion muss vor der Steintherapie antibiotisch behandelt werden und im Falle einer gleichzeitig vorliegenden Obstruktion eine Harnableitung mittels Harnleiterschleife oder Nephrostomie erfolgen.

Die Thrombozytenaggregationshemmung mit Acetylsalicylsäure kann unter strenger Indikationsprüfung weitergeführt werden [2,3].

### 2.11.3 Konventionelle PCNL

Die konventionelle PCNL ist ein endourologischer Eingriff, der unter streng sterilen Kautelen in Allgemein- oder Regionalanästhesie durchgeführt wird. Als Verfahren der Regionalanästhesie stehen Epidural-, Spinalanästhesie und daraus kombinierte Verfahren zur Verfügung [66]. Auch der Einsatz der Lokalanästhesie wird als effektives Verfahren beschrieben [67].

Initial wird der Patient zur konventionellen PCNL meist in der Steinschnittlagerung positioniert. In dieser Position wird, nach sterilem Abdecken des Patienten, ein Zystoskop in die Harnblase eingebracht. Nach Lokalisation des korrekten Harnleiterostiums erfolgt im Anschluss die Intubation des jeweiligen Ostiums mit der Spitze eines Ureterkatheters bzw. Ballonokklusion-Ureterkatheters. Der Katheter wird über einen Draht unter Röntgenkontrolle bis ins Nierenbeckenkelchsystem vorgeschoben. Dort wird das proximale Ende des Katheters im Bereich des pyeloureteralen Übergang geblockt und das distale Ende transurethral ausgeleitet und an einem transurethralen Dauerkatheter fixiert.

Dann erfolgt die Umlagerung des Patienten entweder in Bauch- oder Rückenlage sowie die Desinfektion und sterile Abdeckung des OP-Gebietes. Beide genannten Lagerungspositionen bringen unterschiedliche Vor- und Nachteile mit sich, sind aber gleichermaßen sicher [2,3].

Über den initial eingebrachten Ureterkatheter kann das Hohlsystem nun retrograd mit einem röntgendichten Kontrastmittel (z.B. KM-Methylenblau-Gemisch) aufdilatiert und kontrastiert werden. Ist die initiale Einlage eines Ureterkatheters zur Kontrastierung aus anatomischen Gründen nicht möglich, kann die Kontrastierung der Nierenbeckenhohlsystems an dieser Stelle auch perkutan mittels einer dünnen Punktionsnadel erfolgen.

Nachdem die Nierenkelchanatomie durch Kontrastmittel sichtbar gemacht wurde, erfolgt dann die zumeist kombiniert sonographisch und fluoroskopisch gesteuerte Punktion der Niere durch den Operateur oder einen Radiologen.

Die Wahl der Punktionsstelle hängt primär von der Lage des Konkrementes und seiner Erreichbarkeit ab. Die bereits oben beschriebenen Besonderheiten der Nierenanatomie bezüglich der Gefäßversorgung sind jedoch zu beachten. Durch die

transpapilläre Punktion von unteren, dorsalen Kelchgruppen kann die Häufigkeit von perioperativen Blutungskomplikationen reduziert werden [26,27,3].

Nach erfolgreicher Punktion des Nierenbeckenkelchsystems mittels einer Hohlnadel wird die korrekte Lage der Nadel im Hohlsystem mittels Kontrastmittelinjektion verifiziert. Bei korrekter Lage erfolgt dann die Einlage eines Führungsdrahts über die Punktionsnadel. Je nach Widerstand bei der Drahteinführung kann dafür ein gebogener, ein gerader, ein hydrophiler Führungsdraht oder ein Lunderquistdraht verwendet werden [68].

Nun muss in einem nächsten Schritt der Punktionskanal aufbougiert werden, damit ein ausreichend großer Zugang zum Einbringen des Arbeitsschaftes entsteht. Dafür wird primär auch ein zweiter Führungsdraht ins Nierenbecken eingebracht, um den Punktionskanal zu sichern. Dies erfolgt beispielsweise über einen Metaldilatator mit koaxialer Schleuse für den Sicherungsdraht. Dann erfolgt die Einlage eines Führungsstabs über den Führungsdraht und die Einbringung von Dilatatoren aufsteigender Größe zur Dehnung des Punktionskanals. Als gängige Dilatationsmethoden der PCNL werden in den Leitlinien Teleskopbougies, Kunststoffbougies, Ballondilatatoren oder „single-step“-Dilatatoren genannt [2,3,50,65]. Die Dilatation erfolgt im Rahmen der konventionellen PCNL in der Regel als „multiple-step“-Dilatation“ [50].

Hat der Punktionskanal seine erforderliche Größe erreicht, wird ein Arbeitsschaft über den Führungsdraht ins Hohlsystem der Niere etabliert. Bei der konventionellen PCNL hat der Arbeitsschaft meist einen Außendurchmesser zwischen 24 und 32 Charrière [3]. Der Arbeitsschaft dient als Einführkanal für ein Nephroskop ins Nierenbeckenkelchsystem.

Die Nephroskope die klassischerweise bei der konventionellen PCNL benutzt werden, haben einen Durchmesser von etwa 20 Charrière [3]. Mittels Nephroskop kann das Nierenbeckenkelchsystem inspiziert und Konkreme lokalisiert werden. Die mittels Nephroskop erzeugten Bilder der Nieren werden über einen Video-Endoskopie-Turm visualisiert. Zum Einsatz kommen rigide und flexible Nephroskope. Flexible Nephroskope kommen insbesondere dann zur Anwendung, wenn Steinmassen in peripher vom Punktionsort liegenden Kelchen vermutet werden und von dort entfernt werden sollen.

Die mittels Nephroskop lokalisierten Konkremente können dann entweder primär mit Faszangen und Dormiakörbchen aus dem Hohlsystem der Niere entfernt werden oder zuvor mittels eines Lithotripters desintegriert werden.

Bei der konventionellen PCNL kommen zur intrarenalen Steindesintegration bevorzugt Ultraschall- oder pneumatische Lithotriptoren zur Anwendung [3]. Als besonderer Vorteil der Ultraschall-Lithotripsie wird dabei die Möglichkeit der simultanen Fragmentierung und kontinuierlichen Absaugung von Fragmenten hervorgehoben sowie die minimale Gewebsinteraktion [69]. Die Ultraschall-Lithotripsie zeigt auch Vorteile gegenüber der pneumatischen Lithotripsie im Hinblick auf die Effektivität der Desintegration, die zeitliche Latenz zwischen Desintegration und Bergung eines Konkrements und die postoperative SFR [70,71]. Eine noch höhere Erfolgsrate der Lithotripsie mit vergleichsweise noch schnellerer Fragmentierung der Konkremente kann durch Geräte erreicht werden die die Eigenschaften von Ultraschall- und pneumatischen-Lithotriptern vereinen [72].

Wurden die sichtbaren intrarenalen Konkremente mit den oben genannten Methoden aus dem Hohlsystem der Niere extrahiert, wird die intraoperative Steinfreiheit mittels Nephroskop und Röntgen überprüft. Ist die Steinfreiheit nicht gegeben und sind die Konkremente nicht über das einliegende Nephroskop erreichbar, besteht die Möglichkeit weitere Nierenkelche perkutan zu punktieren. Dieses Verfahren wird dann als „Multitract“-PCNL bezeichnet.

Zum Ende der Intervention kommt es dann zur Retraktion des Arbeitsschafes und des Nephroskops. In den verbliebenen Punktionskanal wird bei entsprechender Indikationsstellung oftmals ein Nephrostomiekatheter eingelegt. Die deutschen Leitlinien empfehlen die Einlage eines Nephrostomiekatheters bei vorhandenen Reststeinen, bei geplantem „Second-Look“, bei Urinextravasation und Nierenbeckenperforation, bei Infektsteinen, bei „Multitract“-PCNL, bei Einzelnieren oder Ureterobstruktion und bei signifikanten intraoperativen Blutungen zur Kompression des Punktionstrakts [3]. Die europäischen Leitlinien empfehlen die Einlage einer Nephrostomie neben diesen Fällen auch bei Patienten mit hämorrhagischer Diathese und geplanter perkutaner Chemolitholyse [2].

Bei unkompliziertem Verlauf der Intervention ist es auch möglich gänzlich auf eine Harnableitung zu verzichten („totally tubeless“) oder bei fehlender Nephrostomie eine

Ureterschleife einzulegen („tubeless“). [2,3]. In beiden Fällen kann der Wundverschluss dann mittels einer hämostatischen Matrix und einem Wundverband erfolgen.

Die Gabe einer perioperativen Antibiotikaprohylaxe wird in den Leitlinien empfohlen [2,3]. Durch die perioperative Gabe von Antibiotika kann die Wahrscheinlichkeit von postoperativem Fieber und anderen postoperativen Komplikationen gesenkt werden [73].

#### **2.11.4 Mini PCNL**

Wie in den vorangegangenen Abschnitten bereits beschrieben, stellt die Miniaturisierung der PCNL einen wichtigen Entwicklungsschritt in der Therapie von Nierensteinen dar. Die wesentliche Motivation zur Entwicklung von miniaturisierten PCNL-Verfahren besteht und bestand darin, die interventionsbedingte Morbidität der konventionellen PCNL zu reduzieren bei mindestens gleichbleibender Effektivität.

Die operative Vorgehensweise bei der Mini-PCNL unterscheidet sich dabei von der Vorgehensweise bei der konventionellen PCNL in mehreren Punkten. Der offensichtliche Hauptunterschied ist dabei, dass bei der Mini-PCNL, wie oben beschrieben, miniaturisierte Instrumente zum Einsatz kommen und der Punktionskanal daher zur Etablierung eines Arbeitsschaftes ins Nierenbecken weniger groß sein muss. Allerdings beziehen sich die Unterschiede nicht einzig und allein auf die Miniaturisierung der Instrumente, sodass es durchaus angebracht ist die Mini-PCNL als eigenständige Methode von der konventionellen PCNL abzugrenzen [50].

Die initialen Schritte der Mini-PCNL mit Anästhesie, Lagerung, Einbringung des Ureterkatheters und Punktion der Niere unterscheiden sich erst einmal nicht von den oben bereits beschriebenen Schritten bei der konventionellen Methode.

Der erste wesentliche Unterschied zwischen der konventionellen PCNL und der Mini-PCNL besteht bei der Dilatation des Arbeitskanals im Anschluss an die Punktion der Niere. Da bei der Mini-PCNL ein vergleichsweise dünnlumiger Arbeitskanal benötigt wird, muss der Punktionskanal weniger stark aufgedehnt werden. Während die Dilatation bei der konventionellen PCNL zumeist als „multiple-step“-Dilatation erfolgt [50], erfolgt die Dilatation bei der Mini-PCNL daher zumeist als „single-step“-Dilatation mittels eines Spezialedelstahlbougies, der über den einliegenden Führungsdraht eingeführt wird [50]. Ein immer wieder erwiesener Vorteil der „single-step“-Dilatation



ist eine im Vergleich zu Teleskopbougies und Amplatzdilatoren geringere Exposition mit Röntgenstrahlung [74-76]. Hinweise dafür, dass die Technik mit einem geringeren Blutverlust assoziiert ist liegen vor [76], können aber nicht grundsätzlich bewiesen werden [74].

Nach dem erfolgreichen Aufbougieieren des Punktionskanals erfolgt in einem nächsten Schritt dann die Etablierung des Arbeitsschaftes in das Nierenbeckenkelchsystem über den aufbougierten Punktionskanal. Im Vergleich zum Arbeitsschaft bei der konventionellen PCNL ist der Außendurchmesser des Arbeitsschaftes bei der Mini-PCNL deutlich geringer. Eine genaue Definition ab welchem Schaftaußendurchmesser von konventioneller- oder Mini-PCNL gesprochen wird, existiert nicht. In den aktuellen deutschen Leitlinien werden aber folgende Außendurchmesser als Grenzwerte zwischen den Verfahren vorgeschlagen:

Konventionelle PCNL: 24-32 Charrière, Mini-PCNL: 14-22 Charrière, Ultra-Mini-PCNL: 11-13 Charrière und Mikro-PCNL 4.8-11 Charrière [3].

Die geringere Schaftgröße wird als Hauptgrund für eine niedrigere Quote an Blutungskomplikationen bei der Mini-PCNL angegeben [50]. Die positive Korrelation zwischen dem Durchmesser des Arbeitsschaftes und den perioperativen Blutungskomplikationen konnte in mehreren Studien gezeigt werden. [77,78].

Im Anschluss erfolgt dann das Eingehen mit dem miniaturisierten Nephroskop durch den Schaft ins Nierenbeckenkelchsystem. Das häufig verwendete Miniatur-Nephroskop nach Lahme ist 12 Charrière dick und hat einen 6 Charrière Arbeitskanal [65]. Das Nephroskop unterscheidet sich bezüglich seines Durchmessers damit deutlich von Nephroskopen, die bei der konventionellen PCNL eingesetzt werden.

Mittels Nephroskop werden die Konkreme dann wie bei der konventionellen PCNL im Nierenbeckenkelchsystem lokalisiert.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen der konventionellen PCNL und der Mini-PCNL besteht in der darauffolgenden Konkrementdesintegration und -extraktion.

Anders als bei der konventionellen PCNL erfolgt die Desintegration der Konkreme bei der Mini-PCNL meist durch einen Holmium:YAG Laser. Grund dafür ist der im Vergleich zur konventionellen PCNL dünnlumigere Arbeitsschaft [3,50]. In den Leitlinien der EAU wird auf den steigenden Einsatz des Holmium:YAG Lasers in der Mini-PCNL hingewiesen [2].

Durch die Verwendung von Holmium:YAG Lasern kommt es im Vergleich zu etwa pneumatischen Lithotriptern zu weniger Steinmigrationen während der Intervention und die Bergung der durch Zerstäubung entstehenden insgesamt kleineren Fragmente über den Arbeitsschaft ist vergleichsweise einfach [79].

Ein noch viel grösserer verfahrensabhängiger Unterschied besteht zwischen der konventionellen- und der Mini-PCNL hinsichtlich der Fragmentbergung.

Die intrarenalen Konkremente und die bei der Desintegration entstehenden Fragmente werden im Rahmen der Mini-PCNL im Wesentlichen passiv durch den sogenannten „vacuum cleaner effect“ geborgen [50,80,81]. Dieser hydrodynamische Effekt ist aktuell auf physikalischer Ebene noch nicht vollständig verstanden und wurde erst im Verlauf nach Etablierung der Mini-PCNL entdeckt und beschrieben [50,80]. Ein mathematisches Modell zur Beschreibung dieses Effektes wurde von Mager et al. [80] vorgestellt und beschreibt die Konkrementbergung in zwei Schritten. In einem ersten Schritt wird das Konkrement durch den kontinuierlichen Einstrom von Spülflüssigkeit in das Nierenbeckenkelchsystem angehoben und vor den Arbeitsschaft gesaugt. In einem zweiten Schritt wird das Konkrement zwischen Nephroskopaußenwand und Schaftinnenwand nach außen gespült. Bei diesem Modell haben vor allem zwei Größen einen Effekt auf die passive Bergung. Dazu zählt einmal der Druck, mit dem die Spüllösung über das Nephroskop in das Nierenbecken eingebracht wird. Dabei ist der Effekt umso größer, je höher der Druck ist mit dem die Spülflüssigkeit eingebracht wird [80]. Der zweite wichtige Parameter für den Vakuumeffekt ist der innere Schaftdurchmesser. Es gilt, dass der Vakuumeffekt umso grösser ist, je kleiner der Schaftinnendurchmesser ist [80,81]. Dieser kleine Schaftdurchmesser ist bei den Mini-PCNL im Gegensatz zur konventionellen PCNL gegeben.

Weitere wichtige Parameter für den „vacuum cleaner effect“ sind die Form der Öffnung des distalen Nephroskops (besser rund als oval/ sichelförmig) [80,82], das Design des Arbeitsschaftes (bevorzugt ohne Perforationen in der Schaftwand) [80], der Abstand zwischen distalem Schaftende und distalem Anteil des Nephroskops (ca. 5mm) [80], die Länge des Arbeitsschaftes (>64,3 cm) [80,81] und das Verhältnis zwischen innerem Schaftdurchmesser und Nephroskopaußendurchmesser, welches sehr klein sein sollte [82].

Ein besonderer Vorteil des „vacuum cleaner-effect“ ist, dass der Einsatz von Fasszangen und Fangkörbchen für die Steinbergung zur Seltenheit wird [50,81,82]. Dies führt wiederum dazu, dass der Eingriff weniger traumatisch und preiswerter wird [81]. Auch die OP-Dauer wird durch den fehlenden Einsatz von Zange und Fangkörbchen positiv beeinflusst [81], sodass auch große Steine in vergleichsweise kurzer OP-Zeit mittels Mini-PCNL therapiert werden können [50].

Zum Abschluss der Mini-PCNL erfolgt äquivalent zur konventionellen PCNL entweder die Einlage eines Nephrostomiekatheters in den Punktionskanal oder es wird eine hämostatische Matrix zum Verschluss des Punktionskanals appliziert. Der Einsatz der hämostatischen Matrix wird allerdings mitunter kritisch gesehen bei insgesamt hohen Kosten [83] und gleichzeitig wohl fehlendem Einfluss auf postoperative Blutungsparameter wie Hb-Abfall oder Transfusionspflichtigkeit [83,84].

Bei einem unkomplizierten Verlauf der Intervention ist es auch bei der Mini-PCNL möglich die PCNL als „totally-tubeless“-PCNL oder als „tubeless“-PCNL durchzuführen [2,3]. Zu betonen ist dabei, dass die Mini-PCNL insgesamt deutlich häufiger als „tubeless“-Verfahren durchgeführt wird als die konventionelle PCNL [85]. Ein Vorteil der „tubeless“-Methode ist eine vergleichsweise kürzere Krankenhausverweildauer, geringere postoperative Schmerzen und ein geringerer Analgetikabedarf sowie eine schnellere postoperative Aktivität des Patienten [86].

### 3 Fragestellung

Wie in den vorangegangenen Abschnitten bereits beschrieben, stellt die Miniaturisierung der PCNL einen wichtigen Entwicklungsschritt in der Therapie von Nierensteinen dar. Nach der Entwicklung der ersten kommerziellen miniaturisierten PCNL-Systeme im Jahre 2001 konnte sich das Verfahren zunächst nur zögerlich auf dem Markt etablieren. Erst mehr als 10 Jahre später kam es zu einem zunehmenden Einsatz der Mini-PCNL weltweit und zu einer stetigen Weiterentwicklung der miniaturisierten Verfahren. Die wesentliche Motivation zur Entwicklung von miniaturisierten PCNL-Verfahren bestand darin, die interventionsbedingte Morbidität der konventionellen PCNL zu reduzieren bei mindestens gleichbleibender Effektivität.

Ein dabei immer wieder nachgewiesener Vorteil der Mini-PCNL hinsichtlich der postoperativen Komplikationen ist ein im Vergleich zur konventionellen PCNL geringerer postoperativer Hb-Abfall [87-91] und eine teils deutlich niedrigere Transfusionsrate von Erythrozytenkonzentraten [85,87-92,94-95]. Die geringere Größe des Zugangstraktes wird dabei als wesentlicher Vorteil der Mini-PCNL angesehen [77,78].

Ein weiterer oft gesehener Vorteil der Mini-PCNL ist auch die meist kürzere Krankenhausverweildauer [88,90,92,93].

Weniger eindeutig ist die Datenlage zu den postoperativen Schmerzen. Diese werden nach Mini-PCNL teils als geringer [93] oder aber auch gleich stark [89] bewertet wie nach konventioneller PCNL. Der Schmerzmittelverbrauch ist je nach Studie gleich hoch [87,89] bis geringer [88,92,93] nach Mini-PCNL.

Als wesentlicher Nachteil der Mini-PCNL wird in vielen Studien die vergleichsweise längere OP-Zeit genannt [85,87-95]. Als Grund für diese wird vor allem ein verfahrenstechnischer Nachteil angenommen. Die intrarenalen Konkremeente müssen bei der Mini-PCNL in deutlich kleinere Fragmente zerkleinert werden, um über den miniaturisierten Schaft geborgen werden zu können, weshalb es einer längeren Lithotripsiedauer und damit auch OP-Dauer bedarf.

In der Summe muss festgestellt werden, dass bisher in vielen Studien kein Unterschied im Hinblick auf postoperative [87,88,92] und intraoperative [88,89,93,95] Komplikationen zwischen den beiden Interventionen gefunden wurde.

Nur wenige Studien konnten einen signifikanten Vorteil der Mini-PCNL bezüglich der postoperativen Komplikationsrate zeigen [85]. Hinweise für eine niedrigere Rate an

intraoperativen Nierenbeckenperforationen und Blutungen liegen auch nur in wenigen Studien vor [85,89].

Bezüglich der Effektivität der beiden Verfahren werden teils sehr unterschiedliche Ergebnisse in der SFR festgestellt. Teilweise schneidet die konventionelle-PCNL hier besser ab [85,92], teilweise schneidet die Mini-PCNL besser ab [94,95]. In manchen Studien ist die Steinfreiheitsrate nahezu identisch [87-90,93,96].

Bei oftmals vergleichbaren intra- und postoperativen Komplikationsraten und ähnlicher Effektivität konnte bisher keine klare Empfehlung zu Gunsten der miniaturisierten Verfahren ausgesprochen werden. Die genannten Vor- und Nachteile der Miniaturisierung der PCNL werden kontrovers diskutiert.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, anhand einer vergleichsweise großen Anzahl an Falldaten die konventionelle PCNL und Mini-PCNL im Hinblick auf intra- und postoperative Komplikationen sowie Effektivität miteinander zu vergleichen. Durch die retrospektive Analyse soll eine zunehmende Evidenz bezüglich der Vor- und Nachteile der Miniaturisierung der PCNL geschaffen werden.

## 4 Material und Methoden

### 4.1 Patientenkollektiv

Bei der vorliegenden Dissertation handelt es sich um eine retrospektive Beobachtungsstudie. Für die Datenanalyse im Rahmen der Studie wurden insgesamt 300 Falldatensätze der Klinik für Urologie und Kinderurologie der Universitätsmedizin Mainz ausgewählt, in denen Patienten entweder eine konventionelle (24-32 Charrière Schaftaußendurchmesser) oder eine Mini-PCNL (14-22 Charrière Schaftaußendurchmesser) erhielten. Primär eingeschlossen wurden 200 Fälle der konventionellen PCNL und 100 Fälle der Mini-PCNL. Dazu wurden vom Zeitpunkt des Studienbeginns an chronologisch zurückgehend die letzten 200 konventionellen PCNL und die letzten 100 Mini-PCNL hinsichtlich Effektivität sowie intra- und postoperativer Komplikationen ausgewertet. Nach Anwendung der Ausschlusskriterien (doppelte Patienten im erfassten Datensatz, Unvollständigkeit bezüglich der erfassten Daten, zeitgleiche PCNL beidseits) wurden insgesamt 283 Patienten in die Studie aufgenommen. Je nach durchgeführter Intervention erfolgte die Zuteilung der Patienten in die Gruppe „konv.-PCNL“ (186 Patienten) oder „Mini-PCNL“ (97 Patienten). Die Interventionen fanden alle zwischen Juli 2011 und Juli 2017 an der Klinik für Urologie und Kinderurologie der Universitätsmedizin Mainz statt. Eingeschlossen wurden nur Patienten, bei denen die PCNL als Primärintervention („First-Look“-Eingriff) durchgeführt wurde. Das heißt, es handelte sich immer um den ersten Therapieversuch mittels konventioneller oder Mini-PCNL in Bezug auf ein definiertes Konkrement. Die Interventionen wurden von verschiedenen Operateuren mit unterschiedlicher Erfahrung hinsichtlich der Anwendung der verschiedenen PCNL Systeme durchgeführt.

Die präoperative Konkrementgröße, -lokalisierung und -komplexität stellte ebenso wenig eine Ausschlusskriterium dar wie eine medikamentöse oder erworbene Störung der primären und sekundären Hämostase, eine angeborene oder erworbene abnorme Nierenanatomie oder eine zu Nephrolithiasis prädisponierende Grunderkrankung.

## 4.2 Datenerhebung

Die Erfassung der Daten erfolgte retrospektiv und monozentrisch an der Klinik für Urologie und Kinderurologie der Universitätsmedizin Mainz. Als Datenquelle diente das Krankenhausinformationssystem von SAP. Hier wurden Arztbriefe, radiologische Befunde, OP-Dokumentationen, Laborbefunde und die Patientenkurven gesichtet. Eine schriftliche oder mündliche Einwilligung zur Datenerhebung wurde von den Patienten nicht eingeholt. Es liegt jedoch ein zustimmendes Votum zur Durchführung der Studie von der Ethik-Kommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz vor. Diese sah hinsichtlich der Durchführung der Studie keine berufsethischen und berufsrechtlichen Bedenken (Antragsnummer:2018-14001, Datum 23.01.2019).

Sämtliche im Rahmen der Studie erhobenen Falldaten wurden mittels Microsoft Excel 2010 tabellarisch erfasst, pseudonymisiert gespeichert und pseudonymisiert ausgewertet.

Primäre Zielgrößen bei der Datenerhebung waren alle auffindbaren intra- und postoperativen Komplikationen nach bzw. während eines „First-Look“-Eingriffes mittels konventioneller- oder Mini-PCNL sowie die postoperative SFR als wesentlicher Erfolgsparameter der Intervention. Der Beobachtungszeitraum für diese Zielgrößen war der stationäre Aufenthalt, in dem auch die entsprechende Intervention stattfand. Bei allen Patienten wurde zudem in einem Nachbeobachtungszeitraum von 3 Monaten reevaluiert, ob eine notfallmäßige Wiederaufnahme erfolgte. Die Erfassung von postoperativen Komplikationen, welche im Rahmen von notfallmäßigen Wiederaufnahmen erkannt wurden, erfolgt gesondert.

Initial wurden mögliche Einflussgrößen evaluiert wie Alter, Geschlecht, Adipositas und die betroffene Nierenseite. Es wurde evaluiert ob bei den Patienten zu Urolithiasis prädisponierende Grunderkrankungen vorlagen oder anatomische Besonderheiten des harnableitenden Systems (angeboren oder erworben) existieren. Außerdem wurden die zur PCNL indikationsgebenden Konkreme hinsichtlich präinterventioneller Anzahl, Größe, besonderer Eigenschaften und Lage in Projektion auf die Niere untersucht. Es wurde untersucht, ob dem „First-Look“-Eingriff mittels PCNL schon weitere Therapieversuche mittels anderer Verfahren zur Konkrementbergung vorausgingen oder ob die betroffene Nierenseite schon im Rahmen früherer Steinergebnisse interventionell therapiert wurde. Um mögliche Prädispositionen für Infekte zu evaluieren wurde erfasst, ob in einem Zeitraum von 30 Tagen präinterventionell

eine Harnwegsinfektion vorlag oder eine Immunsuppression bestand. Um mögliche Prädispositionen für intra- oder postoperative Blutungskomplikationen zu evaluieren, wurden präoperativ die Hämostaseparameter Quick, INR und aPTT ebenso erfasst wie Störungen der primären und sekundären Hämostase sowie die Einnahme von Thrombozytenaggregationshemmern und Antikoagulantien zum OP-Zeitpunkt.

Die Erfassung der intraoperativen Komplikationen erfolgte in unserer Studie systematisch mittels der im Jahr 2014 von Tepeler et al. modifizierten Klassifikation von intraoperativen Komplikationen nach Satava [97,98].

Der Schweregrad einer Komplikation ergibt sich nach Satava aus der Invasivität der Folgeintervention, die zur Behebung der intraoperativen Komplikation notwendig ist und ihrem zeitlichen Bezug zum „First-Look“-Eingriff [97]. Folgende Schweregrade werden nach der modifizierten Satava Klassifikation beschrieben [98]:

- Grad 1) Intraoperative Komplikationen ohne Konsequenz für den Patienten
- Grad 2) Intraoperative Komplikationen die mittels endoskopischer Intervention therapiert werden
  - a) Komplikationen, die intraoperativ endoskopisch gelöst werden können
  - b) Komplikationen, die endoskopisch im Rahmen eines Zweiteingriffs gelöst werden können
- Grad 3) Intraoperative Komplikationen, die eine offene oder laparoskopische Operation zur Folge haben

Tabelle 4.1 zeigt die in der vorliegenden Studie erfassten intraoperativen Komplikationen mit ihrem zugeordneten Schweregrad nach Satava.



Schweregrad nach Satava	Intraoperative Komplikation
1	Intraoperativer Verlust des Zugangstraktes, Nierenbeckenperforation ohne Folgetherapie, intraoperative Blutungskomplikation ohne Folgetherapie, intraoperative Verletzung anderer Organe ohne Folgetherapie, Konkrementpersistenz mit postoperativer Observation als Folge
2a	Nierenbeckenperforation mit intraoperativer Einlage eines DJ, intraoperative Blutungskomplikation mit intraoperativer Einlage eines DJ, Konkrementpersistenz mit intraoperativer Einlage eines DJ oder Konversion zu „Multi-Tract“-Verfahren
2b	Nierenbeckenperforation mit Abbruch der Intervention und erforderlichem Zweiteingriff, intraoperative Blutungskomplikation mit Abbruch der Intervention und erforderlichem Zweiteingriff, Konkrementpersistenz mit „Second-Look“-Eingriff als Folge (ESWL, URS, Mini-PCNL, konventionelle PCNL)
3	Offene Stein-OP als Folge eines frustranen perkutanen Punktionsversuchs, Offene Stein-OP als Folge der Konkrementpersistenz

Tabelle 4.1 Zuordnung einer erfassten intraoperativen Komplikation und Schweregrad nach modifizierter Satava-Klassifikation [98]

Zusätzlich zu den intraoperativen Komplikationen wurde erfasst, auf welche Weise der perkutane Zugang zur Niere etabliert wurde (Neupunktion oder vorbestehender Zugang wie z.B. Nephrostomie) und über welche Kelchgruppe die Punktion erfolgte. Auch vorbestehende innere und äußere Harnableitungen wurden erfasst. Es wurde untersucht, ob die Konkrementbergung über einen oder mehrere Zugangstrakte („Single-Tract“ oder „Multi-Tract“) erfolgte oder ob intraoperativ innere oder äußere Harnableitungen etabliert wurden. Von Interesse war dabei vor allem herauszufinden, ob die Intervention als „tubeless“- oder „totally-tubeless“-PCNL durchgeführt wurde und auf welche Weise der postoperative Wundverschluss erfolgte (Gelatinematrix oder Nephrostoma). Auch die OP-Dauer wurde als wesentliches Bewertungskriterium einer Intervention bestimmt. Dabei wurde erfasst, ob die jeweilige PCNL mit anderen urogenitalen Eingriffen kombiniert wurde, da solche kombinierten Eingriffe keine Aussage über die reale OP-Dauer der PCNL zulassen und daher gesondert behandelt werden mussten.

Die Erfassung der postoperativen Komplikationen erfolgte in unserer Studie systematisch mittels der im Jahr 2004 von Dindo et al. modifizierten Clavien-Dindo-Klassifikation [99,100]. In dieser Klassifikation erfolgt die Schweregradeinteilung von Interventionen anhand der Art der Folgetherapie, welche notwendig wird um die Komplikation zu beheben. Die Einteilung erfolgte in 5 Schweregrade wie folgt:

- Grad 1) Jede Abweichung vom normalen postoperativen Verlauf ohne Notwendigkeit pharmakologischer Behandlung oder chirurgischer, radiologischer, endoskopischer Intervention.
- (Erlaubte Behandlungsoptionen: Medikamente wie: Antiemetika, Antipyretika, Analgetika, Diuretika, Elektrolyte; Physiotherapie; Wundinfektionen, die am Patientenbett eröffnet werden)
- Grad 2) Notwendigkeit pharmakologischer Behandlung mit anderen als bei Grad 1 erlaubten Medikamenten
- Inkludiert Transfusion und parenterale Ernährung.
- Grad 3) Notwendigkeit chirurgischer, radiologischer oder endoskopischer Intervention
- a) Intervention in lokaler oder regionaler Anästhesie
  - b) Intervention unter Allgemeinanästhesie
- Grad 4) lebensbedrohliche Komplikation (inklusive zentralnervöser Komplikationen) die Behandlung auf der Intensivstation notwendig macht
- a) Versagen eines Organsystems (inklusive Dialyse)
  - b) Multiorganversagen
- Grad 5) Tod des Patienten

Tabelle 4.2 zeigt die in der vorliegenden Studie erfassten postoperativen Komplikationen mit ihrem zugeordneten Schweregrad nach Clavien-Dindo.

Schweregrad nach Clavien Dindo	Postoperative Komplikation
1	manuelle Evakuierung Blasentamponade, retroperitoneales Hämatom ohne Therapiebedarf, Fieber, Wundinfektion, akutes Nierenversagen mit medikamentöser Therapie, Urinom ohne Therapiebedarf
2	Transfusion Erythrozytenkonzentrate, Transfusion Thrombozytenkonzentrate, Gabe Antifibrinolytika, Spülkathetereinlage bei Makrohämaturie, Downsizing Nephrostomiekatheter bei Makrohämaturie, subkutane Arrosionsblutungen im Bereich der Punktionsstelle mit Naht, Harnwegsinfekt, Pneumonie, postoperative Harntransportstörung mit DK-Anlagen, Kalikocutane Fistel mit kutaner Naht, Harnverhalt mit DK-Einlage, postoperative Abflussstörung der äußeren Harnableitung mit Wechsel, Urinextravasation mit Downsizing des Nephrostomiekatheters
3a	radiologisch-interventionelle arterielle Embolisation bei Pseudoaneurysma, perkutane Entlastung eines Urinoms
3b	Operative Ausräumung Blasentamponade, operative Ausräumung retroperitoneales Hämatom, Nephrektomie bei Niereninsuffizienz, postoperative Harntransportstörung mit Einlage eines DJ oder Nephrostomiekatheters, Einlage DJ bei kalikocutaner Fistel, chirurgische Tracheotomie bei LZ-Beatmung, Dislokation DJ mit erneuter Einlage
4a	Urosepsis, schwere Urosepsis, Nephrektomie bei Sepsis, Hämodialyse bei Niereninsuffizienz, Gabe Katecholamine und invasive Beatmungstherapie
4b	Septischer Schock bei Urosepsis
5	Tod nach PCNL

Tabelle 4.2: Zuordnung der erfassten postoperativen Komplikation und Schweregrad nach modifizierter Clavien-Dindo-Klassifikation [100]

Neben den genannten postoperativen Komplikationen wurde zudem, zur Bewertung des perioperativen Blutverlustes, der prä- und postoperative Hämoglobinwert in g/dl

evaluiert (maximaler Wert präoperativ, minimaler Wert postoperativ). Zur Bewertung des intraoperativen Gewebetraumas wurde der Wert des C-reaktiven Proteins in mg/l bestimmt (maximaler Wert präoperativ, maximaler Wert postoperativ). Um den Einfluss der verschiedenen PCNL-Verfahren auf die Nierenfunktion zu evaluieren, wurde der Wert des Kreatinins in mg/dl bestimmt (maximaler Wert präoperativ, maximaler Wert postoperativ). Weitere postoperative Komplikationen, die nicht nach Clavien-Dindo klassifiziert und dennoch erfasst wurden, sind prolongierte postoperative Makrohämaturien (>48 Stunden postoperativ), prolongierte kaliko-kutane Fisteln und Dislokationen des DJ- oder Nephrostomie-Katheters.

Außerdem wurde für alle Patienten evaluiert, welche Formen der postoperativen Analgesie im Aufwachraum oder auf Normalstation gegeben wurden. Unterschieden wurde dabei, welche Analgetikaklassen nach WHO-Stufenschema [101] als Bedarfsmedikation oder Festmedikation gegeben wurden.

Zuletzt wurden die Krankenhausverweildauer nach PCNL erfasst (OP-Tag bis Entlassung) und die postoperative SFR. Es wurde erfasst, mittels welcher Diagnostik die SFR festgestellt wurde, aus welchem Grund die Konkrementbergung intraoperativ nicht möglich war und welche Folgeinterventionen durch die Konkrementpersistenz entstanden. Erfolgte die Folgeintervention mittels PCNL und fand diese im selben stationären Aufenthalt statt wie der „First-Look“-Eingriff, wurde auch die SFR im Rahmen der Sekundärintervention („Second-Look“-Eingriff) festgestellt.

### 4.3 Statistische Auswertung

Alle oben genannten Daten wurden initial in eine Excel-Tabelle eingegeben (Microsoft Excel 2010). Soweit möglich wurden die Daten dabei binär in der Tabelle kodiert. Die statistische Bearbeitung und Auswertung der Daten erfolgte mittels des Programms IBM SPSS Statistics 23 V5R. Nur wenige Tabellen wurden mittels Microsoft Windows 2010 erstellt.

Bei der Studie handelt es sich um eine retrospektive, primär deskriptive Auswertung vorhandener Daten aus der medizinischen Versorgung.

Die deskriptive Statistik der kategorialen und binären Variablen erfolgte unter Angabe von absoluten und relativen Häufigkeiten. Graphisch wurden die Ergebnisse mittels Häufigkeitstabellen, Kreuztabellen oder Balkendiagrammen dargestellt. Die stetigen Variablen wurden nach Testung auf Normalverteilung entweder als Mittelwert, Standardabweichung, Maximum, Minimum (beide Gruppen normalverteilt) angegeben oder als Median, Quartile, Maximum, Minimum (mindestens eine Gruppe nicht normalverteilt). Die graphische Darstellung der stetigen Variablen erfolgte mittels Boxplots.

Neben der deskriptiven Auswertung wurden explorativ folgende Hypothesen geprüft:

- Konventionelle PCNL und Mini-PCNL unterscheiden sich nicht im Hinblick auf das Auftreten von Clavien-Dindo Stadien größer 2.
- Konventionelle PCNL und Mini-PCNL unterscheiden sich nicht im Hinblick auf das Auftreten von Satava Stadien größer 1.
- Konventionelle PCNL und Mini-PCNL unterscheiden sich nicht im Hinblick auf die postoperative Steinfreiheitsrate
- Konventionelle PCNL und Mini-PCNL unterscheiden sich nicht im Hinblick auf die Transfusionrate von Erythrozytenkonzentraten

Die Zielvariablen wurden hierzu binarisiert (Ereignis ja/ nein). Die Auswertung erfolgt entsprechend mittels des exakten Tests nach Fisher zu einem Signifikanzniveau von 5 %. Aufgrund des explorativen Charakters der Auswertung erfolgt keine Adjustierung. P-Werte sind somit nur deskriptive Maße.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Demographische Daten

#### 5.1.1 Art der Intervention

Insgesamt wurden die Falldaten von 283 Patienten retrospektiv ausgewertet. 186 Patienten (65,7%) erhielten eine konventionelle PCNL und 97 Patienten (34,3%) eine Mini-PCNL. Alle ausgewerteten Interventionen wurden als „First-Look“-Eingriff durchgeführt.

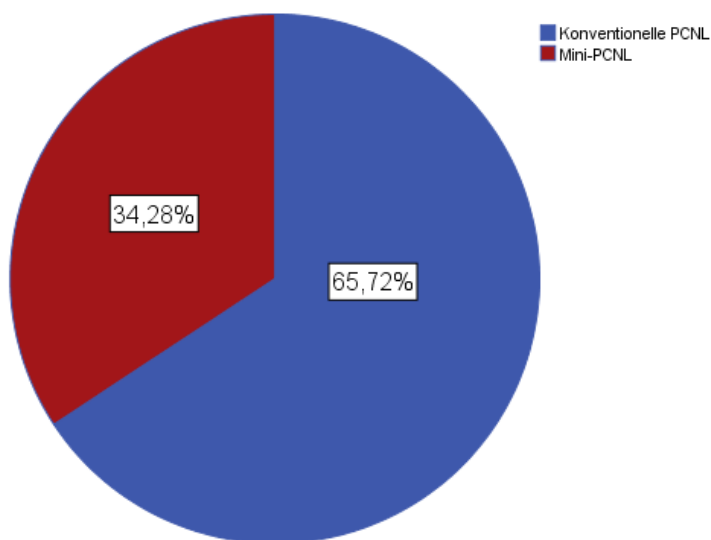


Abbildung 5.1: Relative Häufigkeiten der beiden Interventionsarten im Auswertungsdatensatz

#### 5.1.2 Geschlecht

Zur Auswertung kamen die Daten von 105 (37,1%) Frauen und 178 (62,9%) Männern. Dies entspricht einer Geschlechterverteilung von Frau zu Mann von 1:1,6.

Die relative Häufigkeit des weiblichen Geschlechtes in der Gruppe „konv.-PCNL“ betrug 33,3 % und 44,3% in der Gruppe „Mini-PCNL“. Die relative Häufigkeit des männlichen Geschlechtes betrug 66,7 % in der Gruppe „konv.-PCNL“ und 55,7 % in der Gruppe „Mini-PCNL“. Abbildung 5.2 zeigt die relativen Häufigkeiten der beiden Geschlechter in den beiden untersuchten Gruppen.

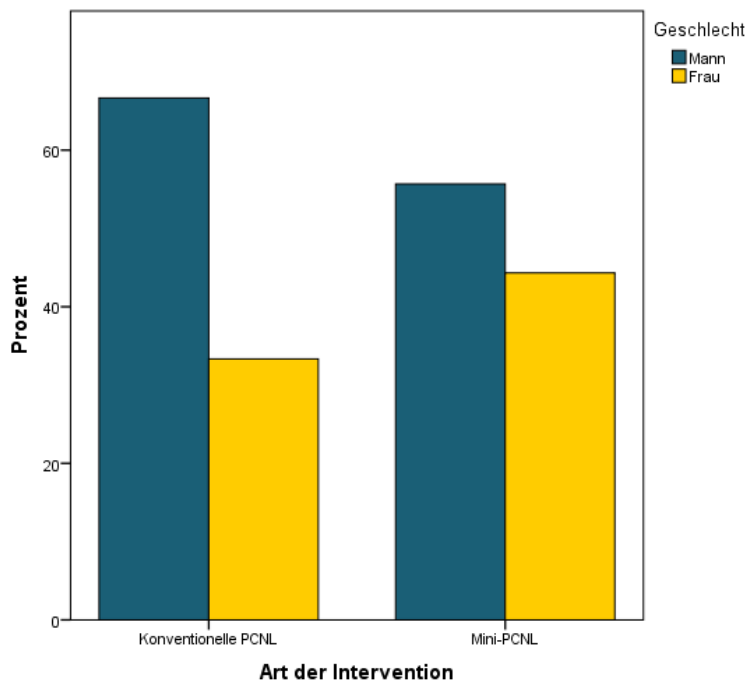


Abbildung 5.2: Relative Häufigkeiten der Geschlechter Mann und Frau in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

### 5.1.3 Alter

Das mediane Alter in der Gruppe „konv.-PCNL“ betrug 56,0 Jahre und in der Gruppe „Mini-PCNL“ 55,0 Jahre. Abbildung 5.3 beschreibt graphisch die Altersverteilung in den beiden Patientengruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ zum Zeitpunkt des First-look-Eingriffes.

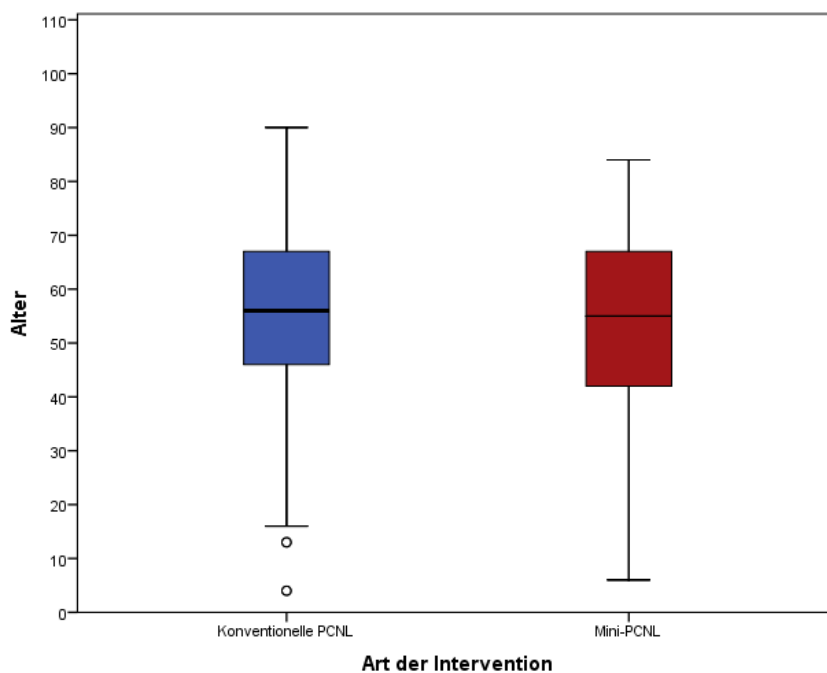


Abbildung 5.3: Altersverteilung in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

### 5.1.4 Betroffene Nierenseite

In Bezug auf den gesamten Auswertungsdatensatz war in 157 Fällen (55,5%) die linke Niere mit ihren Konkrementen die zur OP-Indikation führende Nierenseite. In 125 Fällen (44,2%) wurde die rechte Niere mittels konventioneller oder Mini-PCNL behandelt. In einem einzigen Fall (0,4%) kam es zum Eingriff an einer Transplantatnieren im Bereich der rechten Fossa iliaca. In Bezug auf die Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ ergab sich die in Abbildung 5.4 verdeutlichte Häufigkeitsverteilung der Nierenseiten.

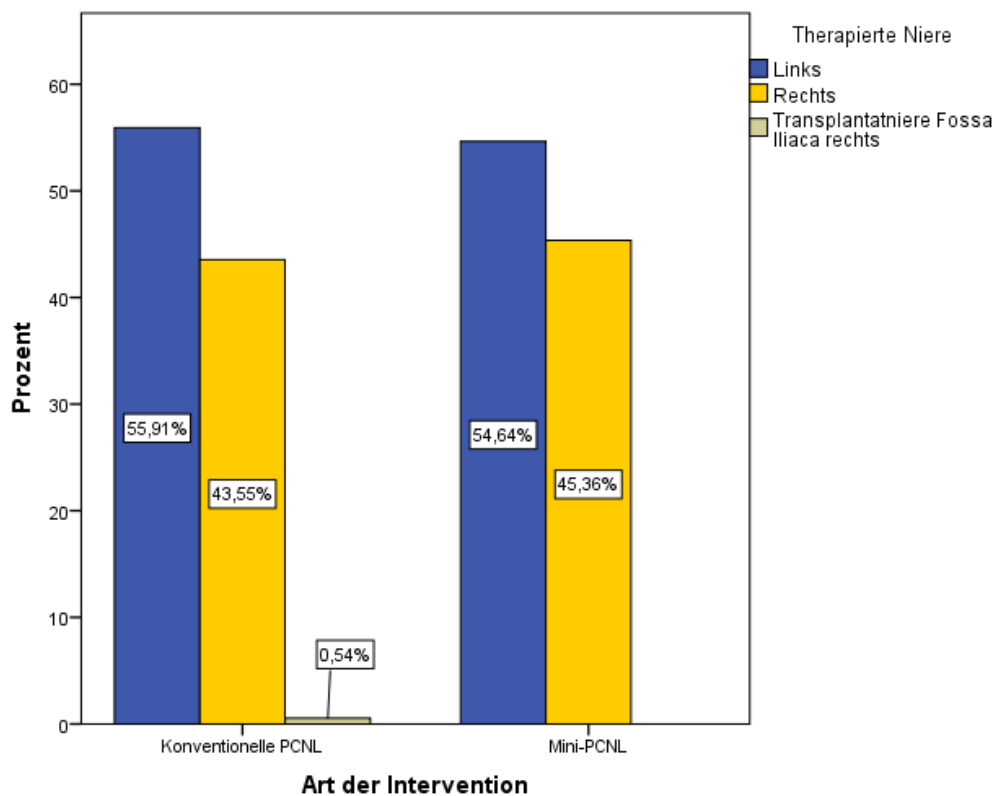


Abbildung 5.4: Betroffene Nierenseite in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

### 5.1.5 Adipositas

Der gesamte Auswertungsdatensatz (n=283) wurde retrospektiv auf das Vorliegen einer Adipositas hin analysiert. Dabei wurde untersucht ob der BMI einer operierten Person präinterventionell über oder unter der Grenze von 30 kg/m<sup>2</sup> lag. In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) zeigte sich bei 50 Patienten (26,9%) eine Adipositas mit BMI ≥ 30 kg/m<sup>2</sup>, in der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) zeigte sich bei 27 Patienten (27,8%) eine Adipositas mit BMI ≥ 30 kg/m<sup>2</sup>.



### **5.1.6 Prädisponierende Grunderkrankungen**

Der gesamte Auswertungsdatensatz (n=283) wurde retrospektiv auf das Vorliegen von zu Urolithiasis prädisponierenden Grunderkrankungen analysiert.

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) zeigte sich bei 27 Patienten (14,5%) ein Diabetes mellitus Typ 2, bei 5 Patienten (2,7%) ein Morbus Crohn, bei einem Patienten (0,5%) eine Colitis ulcerosa, bei keinem Patienten ein Kurzdarmsyndrom, bei 7 Patienten (3,8%) eine Cystinurie, bei 3 Patienten (1,6%) ein primärer Hyperparathyreoidismus und bei keinem Patienten ein sekundärer Hyperparathyreoidismus.

In der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) zeigte sich bei 11 Patienten (11,3%) ein Diabetes mellitus Typ 2, bei 2 Patienten (2,1%) ein Morbus Crohn, bei keinem Patienten (0,0%) eine Colitis ulcerosa, bei einem Patient (1,0%) ein Kurzdarmsyndrom, bei einem Patienten (1,0%) eine Cystinurie, bei keinem Patienten ein primärer Hyperparathyreoidismus und bei einem Patienten (1,0%) ein sekundärer Hyperparathyreoidismus.

### **5.1.7 Anatomische Fehlbildungen und durch Voroperation bedingte anatomische Besonderheiten des harnableitenden Systems**

Im gesamten Auswertungsdatensatz (n=283) wurde retrospektiv analysiert, ob zum Zeitpunkt des operativen Ersteingriffs „konventionelle PCNL“ oder „Mini-PCNL“ bei den betroffenen Patienten anatomische Fehlbildungen des harnableitenden Systems und durch Voroperationen bedingte anatomische Besonderheiten des harnableitenden Systems vorlagen.

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) zeigte sich bei 6 Patienten (3,2%) eine Hufeisenniere, bei 5 Patienten (2,7%) eine subpelvine Stenose, bei keinem Patienten eine Nierenmalrotation, bei 5 Patienten (2,7%) eine Doppelnierenanlage und bei 5 Patienten (2,7%) eine operative oder funktionelle Einzelniere. Ein Mainz Pouch I lag bei 3 Patienten (1,6%) vor ebenso wie der Mainz Pouch II bei 3 Patienten (1,6%) vorlag. Eine Harnleiterdarmimplantation fand sich bei 2 Patienten (1,1%), ein Ileumconduit bei 2 Patienten (1,1%).

In der Gruppe „Mini PCNL“ (n=97) zeigte sich bei einem Patienten (1,0%) eine Hufeisenniere, bei 3 Patienten (3,1%) eine subpelvine Stenose, bei 2 Patienten (2,1%) eine Nierenmalrotation, bei 4 Patienten (4,1%) eine Doppelnierenanlage und bei 3 Patienten (3,1%) eine operative oder funktionelle Einzelniere. Ein Mainz Pouch I lag bei 3 Patienten (3,1%) und ein Mainz Pouch II bei einem Patienten vor (1,0%). Patienten mit Harnleiterdarmimplantation oder Ileumconduit gab es in der Gruppe „Mini-PCNL“ nicht.

### **5.1.8 Durch Vorerkrankung bedingte Störungen der Hämostase**

Insgesamt 3 Patienten (1,6%) der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) zeigten präoperativ eine Thrombopenie bei Leberzirrhose. In der Gruppe „Mini-PCNL“ lagen keine Thrombopenien aufgrund einer hepatischen Grunderkrankung vor.

### **5.1.9 Immunsuppression**

5 Patienten (2,7%) in der Gruppe „konv.-PCNL“ nahmen zum OP-Zeitpunkt eine immunsuppressive Medikation ein. Weitere 2 Patienten (1,1%) in dieser Gruppe litten unter AIDS. In der Gruppe „Mini-PCNL“ traten beide Ereignisse nicht auf.

## **5.2 Konkrementeigenschaften**

### **5.2.1 Präinterventionelle Anzahl und Größe der indikationsgebenden Konkreme**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ war in 158 Fällen (84,9%) ein singuläres Konkrement indikationsgebend für den „First-look“-Eingriff, in 28 Fällen (15,1%) waren es multiple Konkreme der Niere und des harnableitenden Systems. In der Gruppe „Mini-PCNL“ war in 73 Fällen (75,3%) ein singuläres und in 24 Fällen (24,7%) waren multiple Konkreme indikationsgebend für die Intervention.

Alle Konkreme im Auswertungsdatensatz wurden im Hinblick auf die präinterventionelle Steingröße (maximaler Querdurchmesser) vor dem „First-look“-Eingriff begutachtet. Bei multiplen Konkrementen wurden die maximalen Querdurchmesser der Einzelkonkremente summiert. Der mediane maximale Querdurchmesser betrug in der Gruppe „konv.-PCNL“ 17 mm (Minimum 3 mm, Maximum 100 mm) und in der Gruppe „Mini-PCNL“ 16 mm (Minimum 7 mm, Maximum 57 mm).

Abbildung 5.5 beschreibt graphisch die Größenverteilung in den beiden Patientengruppen „konventionelle PCNL“ und „Mini-PCNL“.

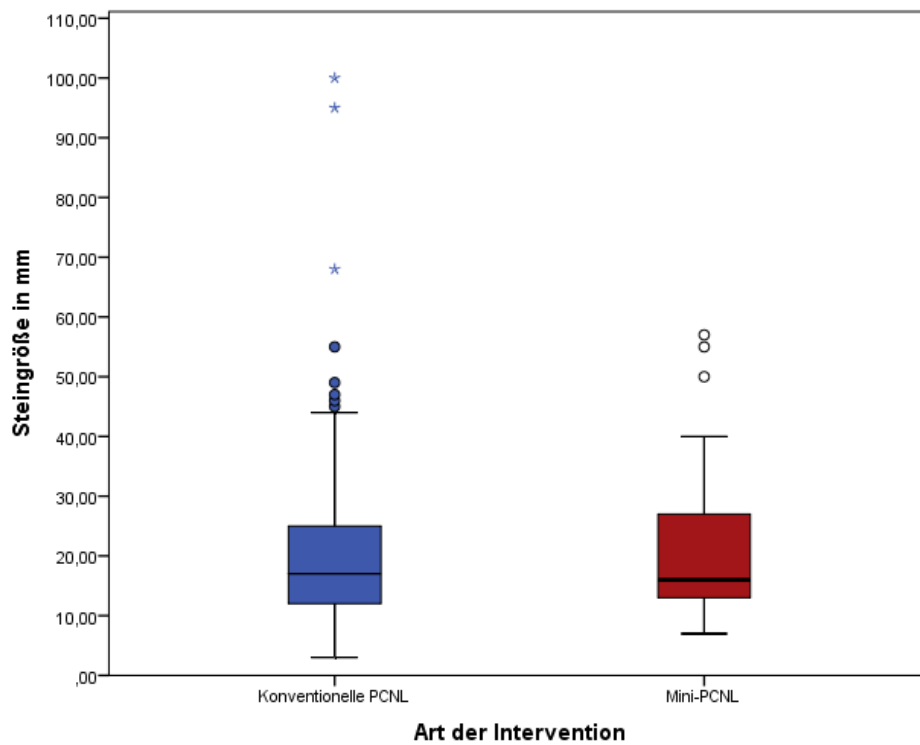


Abbildung 5.5: Konkrementgröße (maximaler Querdurchmesser) in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

Zur Veranschaulichung der Konkrementgrößenverteilung auf die Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ wurden die Konkremente jeweils einer von drei Kategorien zugeteilt (maximaler Querdurchmesser: 1.) <10 mm, 2.) 10-20 mm und 3) >20 mm) und die Verteilung auf die Gruppen in Abbildung 5.6 dargestellt.

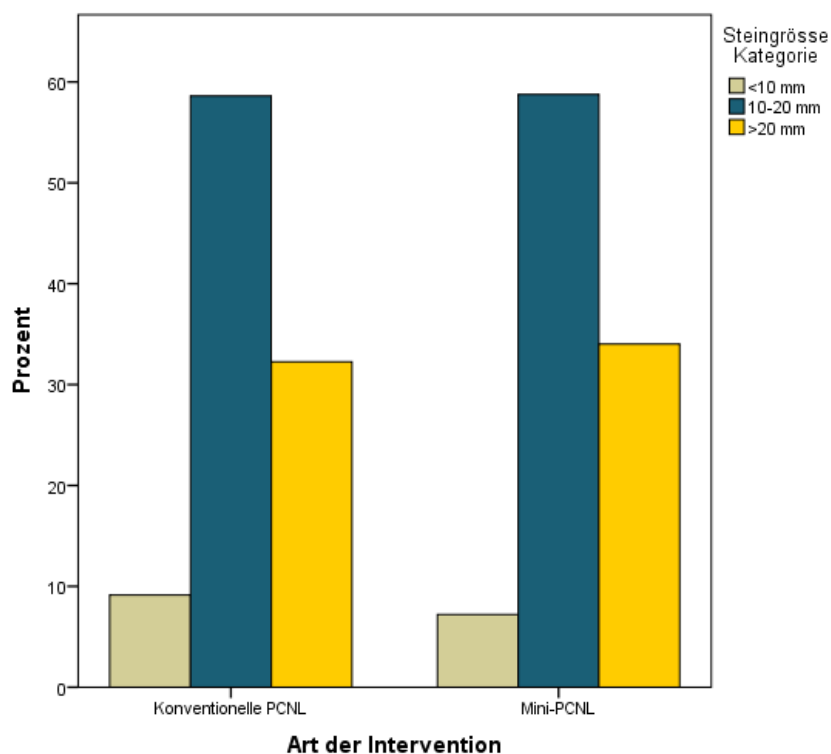


Abbildung 5.6: Steingröße in Kategorien für die Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

## 5.2.2 Lage der indikationsgebenden Konkreme in Projektion auf Niere und Ureter

Tabelle 5.1 zeigt die Lage des Konkremes an, welches für die jeweilige Intervention indikationsgebend war.

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
Nierenbecken	AH/ RH	71 (38,2%)	31 (32,0%)
Obere Kelchgruppe	AH/ RH	4 (2,2%)	5 (5,2%)
Mittlere Kelchgruppe	AH/ RH	7 (3,8%)	4 (4,1%)
Untere Kelchgruppe	AH/ RH	45 (24,2%)	23 (23,7%)
Proximaler Ureter	AH/ RH	17 (9,1%)	6 (6,2%)
Pyeloureteraler Übergang	AH/ RH	13 (7,0%)	4 (4,1%)
Distaler Harnleiterstein	AH/ RH	1 (0,5%)	0 (0,0%)
Mittlerer Harnleiterstein	AH/ RH	0 (0,0%)	0 (0,0%)
Multiple Steine über Niere und Ureter verteilt	AH/ RH	28 (15,1%)	24 (24,7%)

Tabelle 5.1: Lage des indikationsgebenden Konkremes in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

## 5.2.3 Besondere Konkremeneigenschaften

Abbildung 5.7 zeigt an, mit welchen relativen Häufigkeiten Konkreme mit besonderen Konkremeneigenschaften in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ auftreten. Relevant waren dabei immer die Eigenschaften des Konkremes, welches zur jeweiligen Intervention indikationsgebend war.

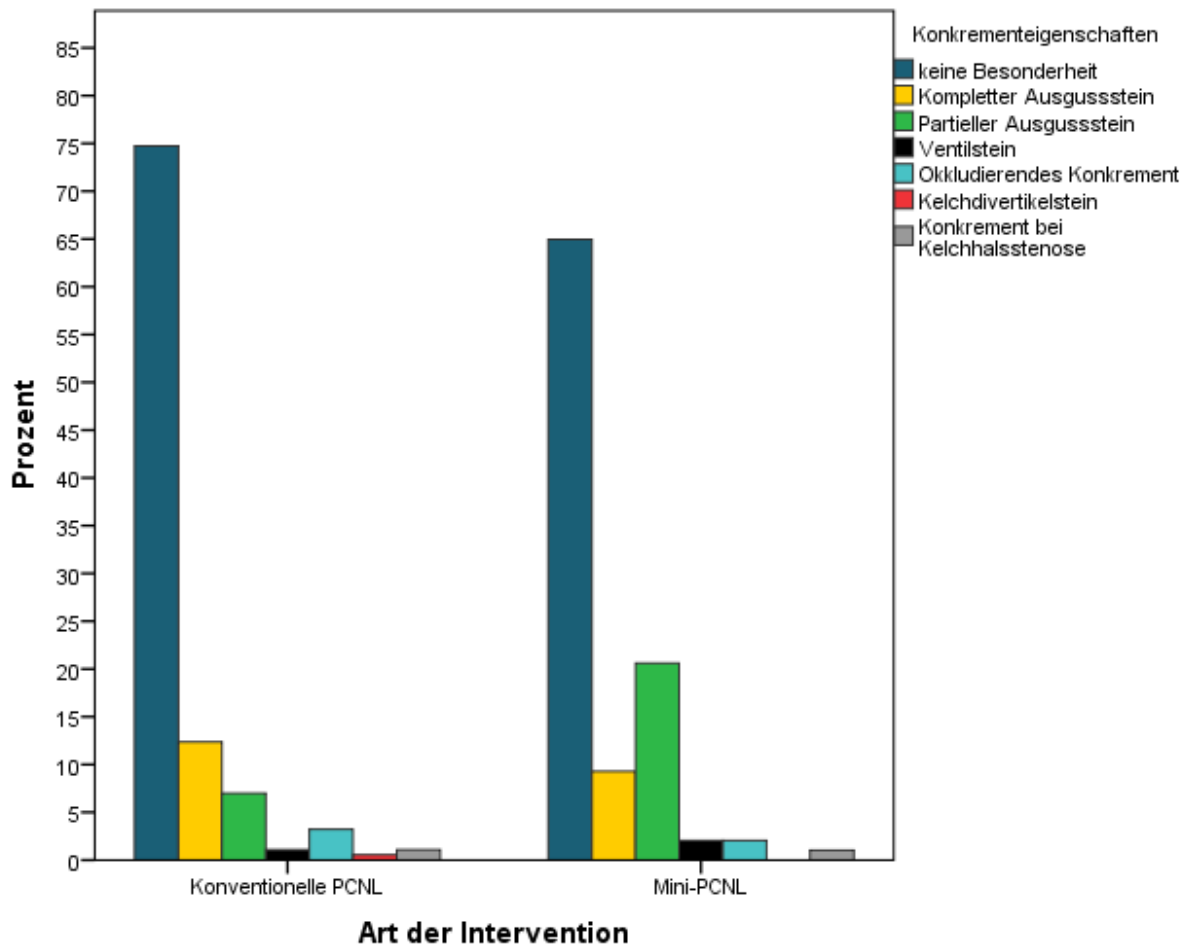


Abbildung 5.7: Relative Häufigkeiten von besonderen Konkremeneigenschaften in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

## 5.3 Spezielle präoperative Daten

### 5.3.1 Vorangegangene Primärmaßnahmen im selben Therapieversuch

Im gesamten Auswertungsdatensatz (n=283) wurde retrospektiv analysiert, ob vor dem Ersteinriff „konventionelle PCNL“ oder „Mini-PCNL“ bereits weitere interventionelle Maßnahmen zur Therapie des entsprechenden Konkrementes unternommen worden waren. In der Gruppe „konv.-PCNL“ war bei insgesamt 21 Patienten (11,3%) vorher eine ESWL durchgeführt worden, bei 11 Patienten (5,9%) eine URS und bei 5 Patienten (2,7%) eine offene Stein-OP. In der Gruppe „Mini-PCNL“ war vor dem Ersteinriff mittels Mini-PCNL in 2 Fällen (2,1%) eine ESWL als Primärmaßnahme durchgeführt worden, in 6 Fällen (6,2%) eine URS und in einem Fall (1,0%) eine offene Stein-OP.

### **5.3.2 Frühere Interventionen auf der betroffenen Nierenseite**

Im gesamten Auswertungsdatensatz (n=283) wurde retrospektiv analysiert, ob die Patienten auf der aktuell betroffenen Nierenseite im Rahmen eines früheren Steinerereignisses bereits interventionelle Maßnahmen erhalten hatten. In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) hatten 12 Patienten (6,5%) auf der betroffenen Seite bereits früher eine konventionelle PCNL erhalten. 21 Patienten (11,3%) hatten im Rahmen einer früheren Steintherapie bereits eine URS, 57 Patienten (30,6%) eine ESWL und 10 Patienten (5,4%) eine offene Stein-OP erhalten. In der Gruppe „Mini-PCNL“ hatten 5 Patienten (5,2%) eine konventionelle und 2 Patienten (2,1%) eine Mini-PCNL im Rahmen der Therapie eines früheren Steinerereignisses erhalten. 14 Patienten (14,4%) hatten eine URS, 19 Patienten (19,6%) eine ESWL und 2 Patienten (2,1%) eine offene Stein-OP in der Vorgeschichte erhalten.

### **5.3.3 Präoperative Harnwegsinfektion und Sepsis**

Der gesamte Auswertungsdatensatz wurde daraufhin untersucht, ob in der Anamnese der Patienten der Hinweis vorlag, dass 30 Tage vor dem Ersteingriff „konventionelle PCNL“ oder „Mini-PCNL“ eine Infektion des harnableitenden Systems in Form eines Harnwegsinfektes oder einer systemischen, vom Harntrakt ausgehenden Infektion in Form einer Urosepsis vorlag. Ein präoperativer Harnwegsinfekt lag bei 70 Patienten (37,6%) in der Gruppe „konv.-PCNL“ und bei 31 Patienten (32,0%) der Gruppe „Mini-PCNL“ vor. Eine Urosepsis lag bei 9 Patienten (4,8%) in der Gruppe „konv.-PCNL“ vor und bei keinem Patienten in der Gruppe „Mini-PCNL“.

### **5.3.4 Präoperative Thromboplastinzeit (Quick) und International Normalized Ratio (INR)**

Der präoperative Quick-Wert betrug in der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) im Median 105,0% (Minimum 63,0%, Maximum 143,0%) und der INR-Wert im Median 1,0 (Minimum 0,8, Maximum 1,3). In der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) betrug der präoperative Quickwert im Median 110,0% (Minimum 62,0%, Maximum 144,0%) und der INR-Wert im Median 0,9 (Minimum 0,8, Maximum 1,4). Die Abbildung 5.8 verdeutlicht die Verteilung der Werte in den beiden Patientengruppen

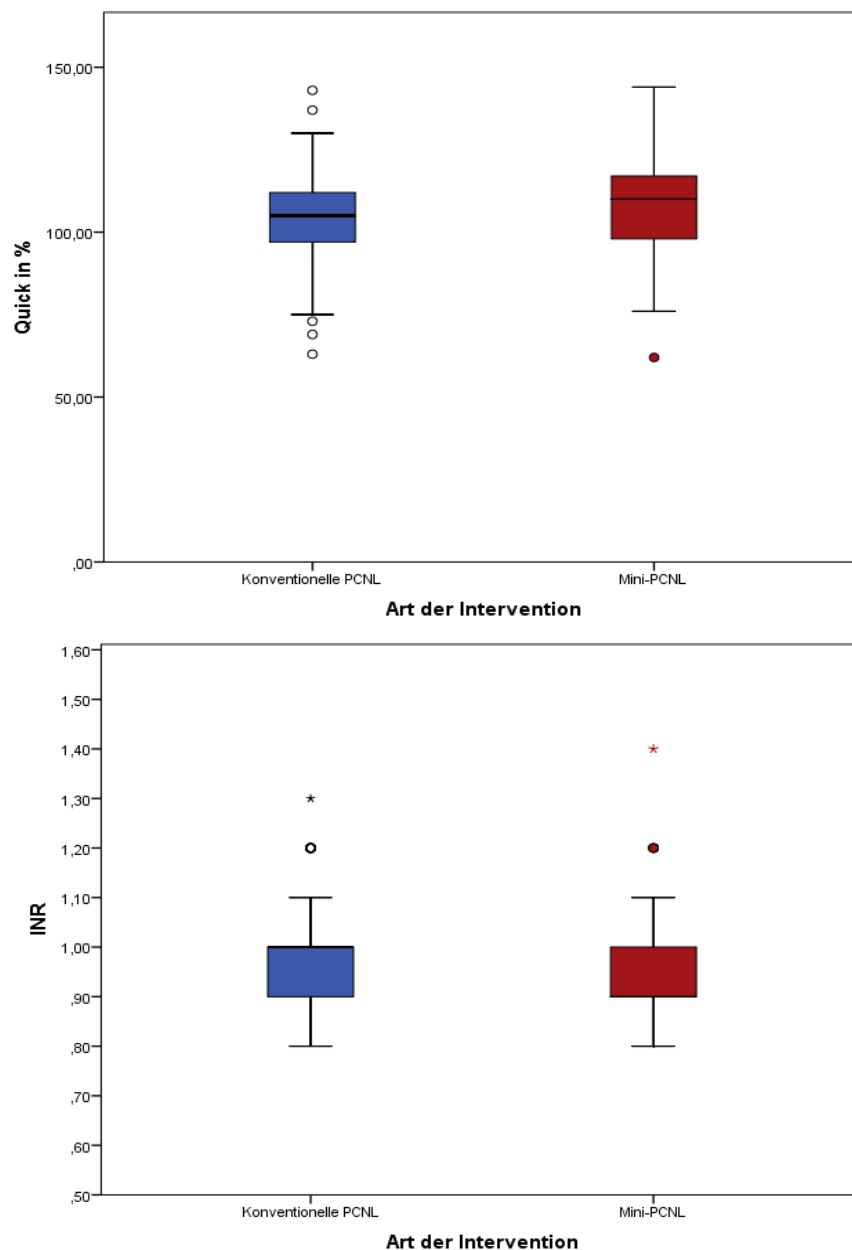


Abbildung 5.8: Präoperativer Quickwert und INR in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

### 5.3.5 Präoperative aktivierte partielle Thromboplastinzeit (aPTT)

Im gesamten Auswertedatensatz wurde retrospektiv die aktivierte partielle Thromboplastinzeit (aPTT) vor der konventionellen PCNL oder der Mini-PCNL erfasst. Die aPTT betrug in der Gruppe „konv.-PCNL“ im Median 29,55 Sekunden (Minimum 24,30, Maximum 47,30). In der Gruppe „Mini-PCNL“ betrug die aPTT im Median 28,60 (Minimum 24,30, Maximum 49,10). Die Verteilung des Wertes auf die unterschiedlichen Gruppen „Konv.-PCNL“ (n=186) und Mini-PCNL (n=97) wird in der Abbildung 5.9 aufgezeigt.

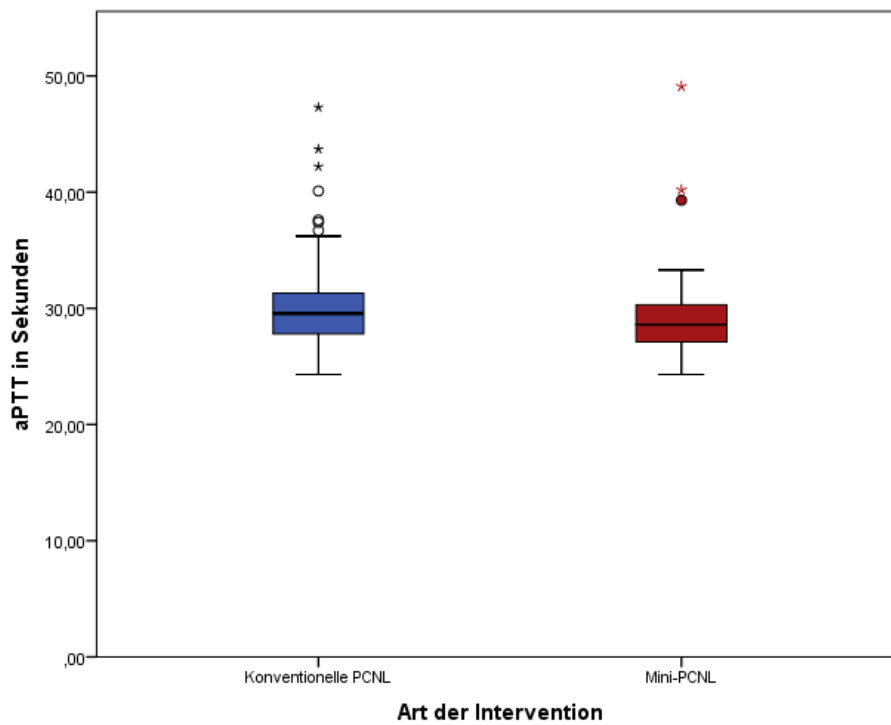


Abbildung 5.9: Präoperativer aPTT-Wert in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

### 5.3.6 Einnahme von Thrombozytenaggregationshemmern und Antikoagulantien zum OP-Zeitpunkt

Der gesamte Auswertungsdatensatz wurde daraufhin untersucht, ob Patienten in den Gruppen „konv.-PCNL“ oder „Mini-PCNL“ am OP-Tag Thrombozytenaggregationshemmer oder Antikoagulantien verabreicht bekamen. Tabelle 5.2 zeigt die relativen und absoluten Häufigkeiten in den beiden untersuchten Gruppen.

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
Keine Thrombozytenaggregationshemmer/Antikoagulantien	AH/RH	126 (67,7%)	84 (86,6%)
ASS 100 mg p.o.	AH/RH	14 (7,5%)	6 (6,2%)
Niedermolekulares Heparin s.c.	AH/RH	44 (23,7%)	6 (6,2%)
Direkte orale Antikoagulantien vom Anti-FIIa-Typ p.o.	AH/RH	1 (0,5%)	1 (1,0%)
ASS 100 mg p.o. und niedermolekulares Heparin s.c.	AH/RH	1 (0,5%)	0 (0,0%)

Tabelle 5.2: Thrombozytenaggregationshemmer und Antikoagulantien am OP-Tag in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“



### **5.3.7 Innere und äußere Harnableitung präoperativ**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) lag zum OP-Zeitpunkt bereits bei 63 Patienten (33,9%) ein DJ-Katheter, bei einem Patienten (0,5%) ein MJ-Katheter und bei 2 Patienten (1,1%) ein Ureterkatheter auf der betroffenen Nierenseite im Ureter ein. In der Gruppe „Mini PCNL“ lag zum OP-Zeitpunkt bei 31 Patienten (32,0%) ein DJ-Katheter, bei einem Patienten (1,0%) ein MJ-Katheter und bei keinem Patienten ein Ureterkatheter auf der betroffenen Nierenseite im Ureter ein.

Zur äußeren Harnableitung lag zum OP-Zeitpunkt in der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) bei 19 Patienten (10,2%) ein Nephrostoma vor, bei 14 Patienten (7,5%) ein transurethraler DK und bei 2 Patienten (1,1%) ein SFK. In der Gruppe „Mini PCNL“ (n=97) lag bei 2 Patienten (2,1%) ein Nephrostoma vor, bei 4 Patienten (4,1%) ein transurethraler DK und bei keinem Patienten ein SFK.

## **5.4 Daten zur Interventionsdurchführung**

### **5.4.1 Verfahren zur Etablierung des Zugangs zur Niere**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ wurde in 170 Fällen (91,4%) eine Neupunktion vorgenommen und in 14 Fällen (7,5%) ein bestehender Nephrostomiekanal dazu genutzt, den Zugangsschaft ins Nierenbeckenkelchsystem zu etablieren. In weiteren 2 Fällen (1,1%) wurde bei bestehendem Nephrostomiekanal zusätzlich auch eine Neupunktion durchgeführt. In der Gruppe „Mini-PCNL“ wurde in 95 Fällen (97,9%) neu punktiert und in 2 Fällen (2,1%) ein bestehender Nephrostomiekanal benutzt.

### **5.4.2 Punktionsstelle**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) wurde in 108 Fällen (58,1%) die UKG, in 53 Fällen (28,5%) die MKG und in 4 Fällen (2,2%) die OKG zur Etablierung eines Zugangsschaftes punktiert. Zu einer gleichzeitigen Punktion der UKG und OKG kam es in einem Fall (0,5%) und zur Punktion von UKG und MKG in 6 Fällen (3,2%). In 14 Fällen (7,5%) fand keine Neupunktion statt. In der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) wurde in 86 Fällen (88,7%) die UKG, in 2 Fällen (2,1%) die MKG, in einem Fall (1,0%) die OKG und in 2 Fällen (2,1%) das Nierenbecken zur Etablierung eines Zugangsschaftes punktiert. Zu einer gleichzeitigen Punktion der UKG und OKG kam es in einem

Fall (1,0%) und zur Punktion von UKG und MKG in 2 Fällen (2,1%). In einem Fall (1,0%) wurden OKG und MKG punktiert. In 2 Fällen (2,1%) fand keine Neupunktion statt.

Die Abbildung 5.10 zeigt, welcher anatomische Bereich der Niere zur Etablierung eines Zugangsschafes punktiert wurde.

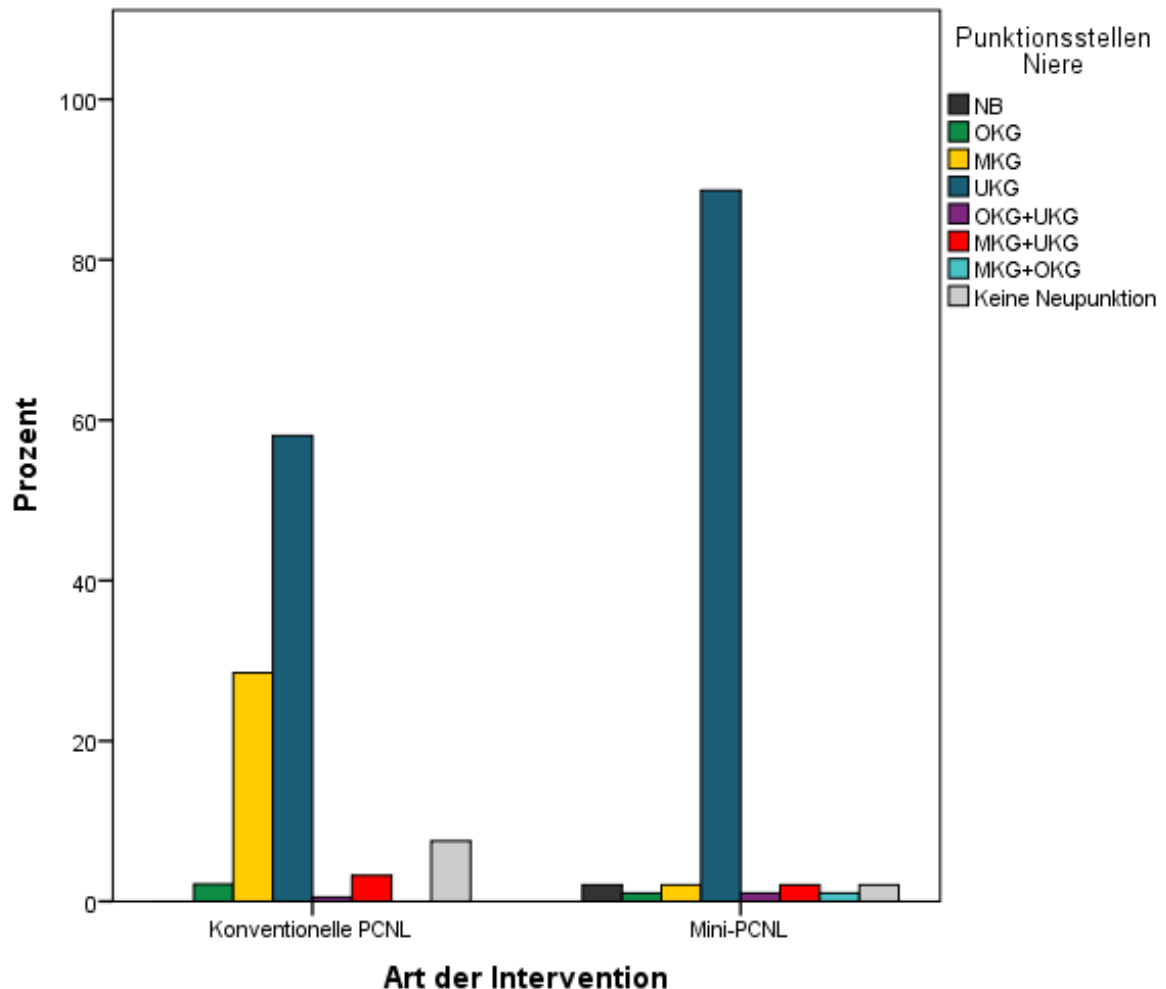


Abbildung 5.10: Punktionsstelle der Niere in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

### 5.4.3 Durchführung als „Single-Tract“- oder „Multi-Tract“-Verfahren

In der Gruppe „konv.-PCNL“ wurde in 177 Fällen (95,2%) die Intervention als „Single-Tract“- Verfahren und in 9 Fällen (4,8%) als „Multi-Tract“-Verfahren durchgeführt. In der Gruppe „Mini-PCNL“ wurde die Intervention in 93 Fällen (95,9%) als „Single-Tract“- Verfahren und in 4 Fällen (4,1%) als „Multi-Tract“-Verfahren durchgeführt.

#### **5.4.4 Intraoperative Etablierung einer inneren Harnableitung**

Der gesamte Auswertungsdatensatz (n=283) wurde dahingehend überprüft, ob intraoperativ als Maßnahme der inneren Harnableitung ein DJ-Katheter, MJ-Katheter oder Ureterkatheter eingelegt wurde. In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) erhielten 56 Patienten (30,1%) und in der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) 7 Patienten (7,2%) einen DJ-Katheter zur inneren Harnableitung. Des Weiteren erhielten in der Gruppe „Konv.-PCNL“ 10 Patienten (5,4%) und in der Gruppe „Mini-PCNL“ 74 Patienten (76,3%) einen Ureterkatheter zur inneren Harnableitung.

#### **5.4.5 Intraoperative Etablierung einer äußeren Harnableitung mittels Nephrostoma**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ erhielten intraoperativ 183 Patienten (98,4%) und in der Gruppe „Mini-PCNL“ 46 Patienten (47,4%) einen Nephrostomiekatheter zur postoperativen äußeren Harnableitung.

#### **5.4.6 Postoperativer Wundverschluss mittels Gelatinematrix**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ erhielten 0 Patienten (0,0%) und in der Gruppe „Mini-PCNL“ 52 Patienten (53,6%) einen intraoperativen Wundverschluss mittels der Gelatinematrix Flowseal.

#### **5.4.7 Durchführung der Intervention als „tubeless“-PCNL**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ wurde bei 2 Patienten (1,1%) bei fehlender äußerer Harnableitung mittels Nephrostoma eine innere Harnableitung eingelegt (= tubeless). In der Gruppe „Mini-PCNL“ erhielten 53 Patienten (54,5%) eine „tubeless“-PCNL

#### **5.4.8 Durchführung der Intervention als „totally-tubeless“-PCNL**

Der gesamte Auswertungsdatensatz wurde dahingehend überprüft, ob bei den entsprechenden Interventionen gänzlich auf eine innere und äußere Harnableitung verzichtet werden konnte (= totally tubeless). In der Gruppe „konv.-PCNL“ erhielt 1 Patient (0,5%) und in der Gruppe „Mini-PCNL“ kein Patient (0%) eine „totally-tubeless“-PCNL.

#### 5.4.9 Dauer der Intervention

Im gesamten Auswertungsdatensatz wurde die Dauer der beiden Interventionen „konventionelle PCNL“ und „Mini-PCNL“ erhoben.

Da in der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) in 16 Fällen (5,7%) der Eingriff mit anderen Eingriffen am Urogenitaltrakt kombiniert wurde und in der Gruppe „Mini-PCNL“ in 22 Fällen (7,8%), wurde zwischen den Herangehensweisen „Keine Kombination mit anderem Eingriff“ und „Kombination mit anderem Eingriff“ unterschieden. Für den Fall, dass die konventionelle PCNL nicht mit einem anderen Eingriff am Urogenitaltrakt kombiniert wurde (n=170), betrug die OP-Dauer im Median 77,0 Minuten (Mittelwert 84,7, Minimum 15,0, Maximum 271,0). Für die Gruppe „Mini-PCNL“ (n=75) betrug die OP-Dauer in diesem Fall im Median 116,0 Minuten (Mittelwert 122,79, Minimum 50,0, Maximum 310,0).

Für den Fall, dass die konventionelle PCNL jedoch mit einem anderen Eingriff am Urogenitaltrakt kombiniert wurde (n=16), betrug die OP-Dauer im Median 138,0 Minuten (Mittelwert 137,9, Minimum 52,0, Maximum 288,0). Für die Gruppe „Mini-PCNL“ (n=22) betrug die OP-Dauer in diesem Fall im Median 145,0 Minuten (Mittelwert 144,7, Minimum 58,0, Maximum 313,0). Abbildung 5.11 zeigt die Unterschiede in der OP-Dauer mittels Boxplot.

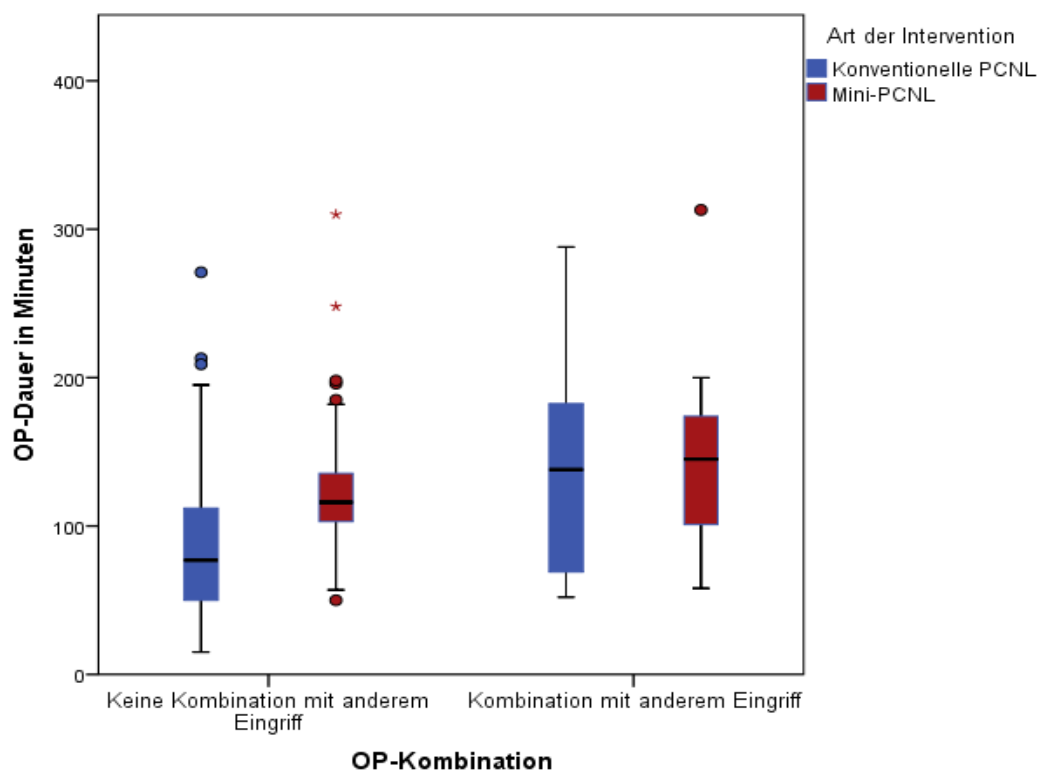


Abbildung 5.11: OP-Dauer in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

## 5.5 Steinfreiheitsrate

### 5.5.1 Steinfreiheitsrate nach „First-look“-Eingriff

Tabelle 5.3 zeigt die Steinfreiheitsrate nach den Eingriffen „Konventionelle PCNL“ und „Mini-PCNL“.

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
Postoperative Steinfreiheit	AH/RH	127 (68,3%)	78 (80,4%)

Tabelle 5.3: Steinfreiheitsrate nach „First-Look“-Eingriff in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

Das kombinierte Balkendiagramm in Abbildung 5.12 zeigt graphisch die Steinfreiheitsrate in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“.

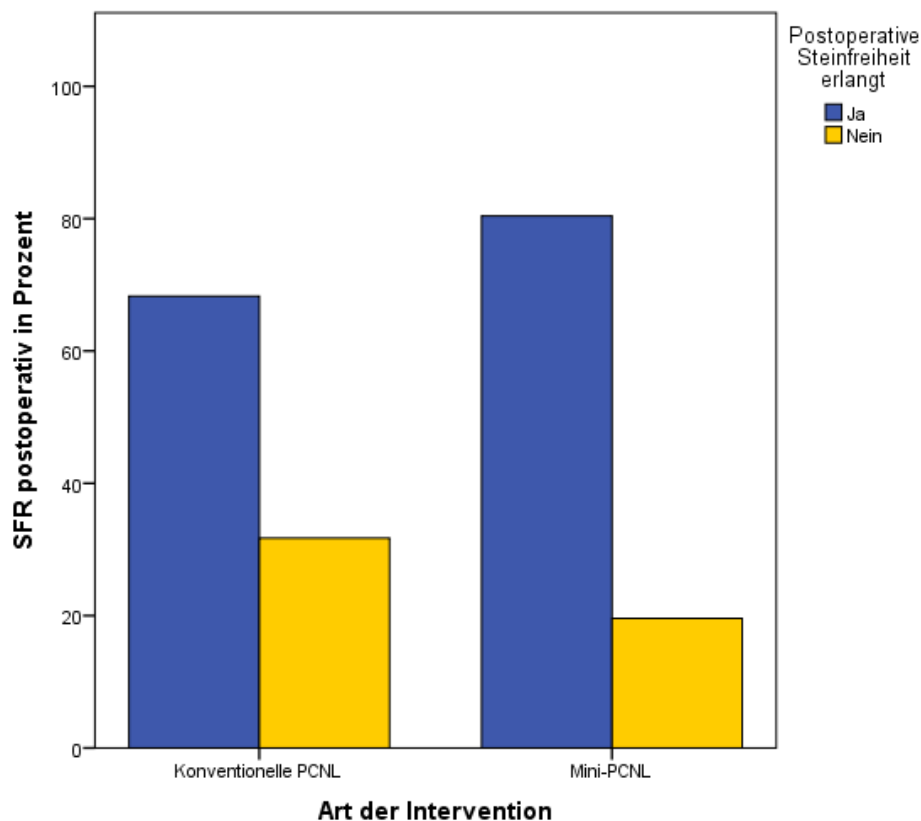


Abbildung 5.12: Postoperative Steinfreiheitsrate in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

Bezüglich der postoperativen Steinfreiheitsrate konnten wir in der Studie einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen zeigen zugunsten der Gruppe „Mini-PCNL“ mit einem p-Wert = 0,035.

### 5.5.2 Diagnostik zur Überprüfung der postoperativen Steinfreiheit

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) wurde die postoperative SFR in 37 Fällen (19,9%) mittels intraoperativem Röntgen festgestellt, in 108 Fällen (58,1%) intraoperativ/renoskopisch, in 12 Fällen (6,5%) postoperativ mittels Low-dose-CT, in 24 Fällen (12,9%) in einer postoperativen Fistelfüllung, in einem Fall (0,5%) mittels postoperativem i.v.-Pyelogramm und in 3 Fällen (1,6%) postoperativ/sonographisch. In einem Fall (0,5%) wurde die OP vor dem Versuch der Konkrementextraktion beendet.

In der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) wurde die postoperative Steinfreiheitsrate in 62 Fällen (63,9%) mittels intraoperativem Röntgen, in 16 Fällen (16,5%) intraoperativ/renoskopisch, in 17 Fällen (17,5%) mittels postoperativ durchgeführtem Low-dose-CT und in 2 Fällen (2,1%) mit einer postoperativen Fistelfüllung festgestellt.

### 5.5.3 Gründe und Folgen der Konkrementpersistenz

Im gesamten Auswertungsdatensatz (n=283) wurde für den Fall, dass das Konkrement nicht intraoperativ entfernt werden konnte, retrospektiv der Grund für die Konkrementpersistenz evaluiert. Die Ergebnisse der Analyse sind in Tabelle 5.4 dargestellt.

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
Konkrement intraoperativ nicht gefunden	AH/RH	25 (13,4%)	16 (16,5%)
Konkrement aufgrund Größe nicht in einer OP extrahierbar	AH/RH	2 (1,1%)	0 (0,0%)
Konkrement intraoperativ mittels Nephroskop nicht erreicht	AH/RH	24 (12,9%)	2 (2,1%)
Konkrement wegen OP-Abbruch nicht extrahierbar	AH/RH	6 (3,2%)	1 (1,0%)
Konkrement nicht extrahierbar, da intraparenchymale Lage	AH/RH	2 (1,1%)	0 (0,0%)

Tabelle 5.4: Gründe für die postoperative Konkrementpersistenz in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

Des Weiteren wurde in den Fällen, in denen keine vollständige Steinfreiheit hergestellt werden konnte, retrospektiv evaluiert, welche intra- oder postoperativen Konsequenzen sich aus der Konkrementpersistenz ergaben. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.5. dargestellt.

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
Postoperative Observation des Konkrements (Satava 1)	AH/RH	13 (7,0%)	9 (9,3%)
Intraoperative DJ-Einlage (Satava 2a)	AH/RH	12 (6,5%)	1 (1,0%)
Intraoperativ Konversion „Single-“ zu „Multi-Tract“ (Satava 2a)	AH/RH	3 (1,6%)	0 (0,0%)
Postoperativ konventionelle PCNL als Folgeeingriff (Satava 2b)	AH/RH	30 (16,1%)	0 (0,0%)
Postoperativ ESWL als Folgeeingriff (Satava 2b)	AH/RH	5 (2,7%)	0 (0,0%)
Postoperativ URS als Folgeeingriff (Satava 2b)	AH/RH	6 (3,2%)	5 (5,2%)
Postoperativ Mini-PNL als Folgeeingriff (Satava 2b)	AH/RH	0 (0,0%)	5 (5,2%)
Offene Steinsanierung als Folgeeingriff (Satava 3)	AH/RH	1 (0,5%)	0 (0,0%)

Tabelle 5.5: Folgen der postoperativen Konkrementpersistenz in den Gruppen „konv.- PCNL“ und „Mini-PCNL“

#### 5.5.4 „Second-look“- Eingriff im selben stationären Aufenthalt wie „First-look“-Eingriff

In 28 Fällen (15,1%) der Gruppe „konv.-PCNL“ und in einem Fall (1,0%) der Gruppe „Mini-PCNL“ konnte der „Second-look“-Eingriff noch im selben stationären Aufenthalt durchgeführt werden wie der „First-look“-Eingriff.

#### 5.5.5 Steinfreiheitsrate nach „Second-look“-Eingriffen

Tabelle 5.6 zeigt die Steinfreiheitsrate nach den Eingriffen „konventionelle PCNL“ und „Mini-PCNL“ als „Second-look“-Eingriff. Es wurden dabei retrospektiv die Steinfreiheitsrate derer „Second-look“-Eingriff erhoben, die im selben stationären Aufenthalt durchgeführt wurden wie der „First-look“-Eingriff.

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=28)	Mini-PCNL (N=1)
Postoperative Steinfreiheit	AH/RH	17 (60,7%)	0 (0,0%)

Tabelle 5.6: Steinfreiheitsrate nach „Second-Look“-Eingriff in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

### 5.5.6 Kumulative Steinfreiheitsrate durch Kombination von „First-Look“ und „Second-Look“-Eingriff

Wurde der jeweilige „First-Look“-Eingriff mittels konventioneller PCNL oder Mini-PCNL aufgrund einer Konkrementpersistenz im selben stationären Aufenthalt durch einen „Second-Look“-Eingriff ergänzt, betrug die kumulative Steinfreiheitsrate nach Kombination dieser Eingriffe in der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) 77,4% und in der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) 80,4%.

## 5.6 Intraoperative Komplikationen

### 5.6.1 Intraoperative Komplikationen bei der Punktion der Niere

In 7 Fällen (3,8%) der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) und in 7 Fällen (7,2%) der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) mussten mehrere Punktionen der Niere vorgenommen werden, um einen Zugangsschaft ins Hohlsystem der Niere etablieren zu können (keine Komplikation nach Satava). In der Gruppe „konv.-PCNL“ kam es in einem Fall (0,5%) zu dem Problem, dass alle Punktionsversuche frustriert verliefen und daraufhin eine offene Stein-OP durchgeführt werden musste (Satava 3). Diese Komplikation trat in der Gruppe „Mini-PCNL“ nicht auf. In der Gruppe „Mini-PCNL“ kam es in einem Fall (1,0%) zum intraoperativen Verlust des Zugangstraktes (Satava 1). Diese Komplikation trat hingegen in der Gruppe „konv.-PCNL“ nicht auf.

### 5.6.2 Intraoperative Perforation des Nierenbeckens

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es bei 19 Patienten (10,2%) und in der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) bei 10 Patienten (10,3%) intraoperativ zu einer iatrogenen Perforation des Nierenbeckens.



In der Gruppe „konv.-PCNL“ blieb die Nierenbeckenperforation in 14 Fällen (7,5%) ohne Folgetherapie (Satava 1). In 3 Fällen (1,6%) musste intraoperativ ein DJ-Katheter als Folgetherapie eingelegt werden (Satava 2a) und in 2 Fällen (1,1%) musste der „First-Look“-Eingriff abgebrochen werden und ein „Second-Look“-Eingriff zur Vervollständigung der Konkremententfernung durchgeführt werden (Satava 2b).

In der Gruppe „Mini-PCNL“ blieb die Nierenbeckenperforation in allen 10 Fällen (10,3%) ohne Folgetherapie (Satava 1).

### **5.6.3 Intraoperative Blutungskomplikation**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es bei 11 Patienten (5,9%) und in der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) bei 5 Patienten (5,2%) intraoperativ zu einer Blutungskomplikation.

In der Gruppe „konv.-PCNL“ blieb die Blutung in 8 Fällen (4,3%) ohne Folgetherapie (Satava 1). In einem Fall (0,5%) musste intraoperativ ein DJ-Katheter als Folgetherapie eingelegt werden (Satava 2a) und in 2 Fällen (1,1%) musste der „First-Look“-Eingriff abgebrochen werden und ein „Second-Look“-Eingriff zur Vervollständigung der Konkremententfernung durchgeführt werden (Satava 2b).

In der Gruppe „Mini-PCNL“ blieb die Blutung in 5 Fällen (3,1%) ohne Folgetherapie (Satava 1). In einem Fall (1,0%) musste intraoperativ ein DJ-Katheter als Folgetherapie eingelegt werden (Satava 2a) und in einem Fall (1,0%) musste der „First-Look“-Eingriff abgebrochen werden und ein „Second-Look“-Eingriff zur Vervollständigung der Konkremententfernung durchgeführt werden (Satava 2b).

### **5.6.4 Intraoperative Lagerungsschäden**

Es kam in beiden Gruppen zu keinen intraoperativen Lagerungsschäden.

### **5.6.5 Intraoperative Verletzung von Organen oder Gefäßen**

In der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) kam es in einem Fall (1%) zur Verletzung der 12. Intercostalarterie (rechts) mit anschließender Koagulation der Arterie (Satava 1). In der Gruppe „konv.-PCNL“ kam es in keinem Fall zur intraoperativen Verletzung von Organen oder Gefäßen.

### 5.6.6 OP-Abbruch aufgrund von intraoperativen Komplikationen

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es bei 6 Patienten (3,2%) und in der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) bei einem Patienten (1,0%) zum Abbruch der OP aufgrund von intraoperativen Komplikationen.

### 5.6.7 Satava-Klassifikation der intraoperativen Komplikationen

Der gesamte Auswertungsdatensatz (n=283) wurde, wie in den vorangegangenen Abschnitten gezeigt, hinsichtlich des Auftretens von intraoperativen Komplikationen untersucht. Die intraoperativen Komplikationen wurden nach Satava klassifiziert [98]. Für jeden Patienten im Auswertungsdatensatz wurde überprüft, ob und welche Komplikationen der verschiedenen Grade nach Satava auftraten. Die relativen und absoluten Häufigkeiten, mit denen solche Komplikationen in den beiden Gruppen auftraten, sind in Tabelle 5.7 aufgezeigt.

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
Keine intraoperativen Komplikationen	AH/RH	115 (61,8%)	69 (71,1%)
Satava 1	AH/RH	31 (16,7%)	19 (19,6%)
Satava 2a	AH/RH	17 (9,1%)	2 (2,1%)
Satava 2b	AH/RH	41 (22,0%)	10 (10,3%)
Satava 3	AH/RH	1 (0,5%)	0 (0,0%)

Tabelle 5.7: Relative und absolute Häufigkeiten von intraoperativen Komplikationen nach Satava in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

In dieser Auswertung (Tabelle 5.7) wurde das Verfehlen des primären Interventionsziels, nämlich die Bergung eines Konkrementes aus dem harnableitenden System, als intraoperative Komplikation gewertet. Wäre dies nicht der Fall gewesen, hätte sich rein deskriptiv folgende Verteilung in Tabelle 5.8 ergeben.

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
Keine intraoperativen Komplikationen	AH/RH	158 (84,9%)	81 (83,5%)
Satava 1	AH/RH	20 (10,8%)	14 (14,4%)
Satava 2A	AH/RH	3 (1,6%)	1 (1,0%)
Satava 2B	AH/RH	4 (2,2%)	1 (1,0%)
Satava 3	AH/RH	1 (0,5%)	0 (0,0%)

Tabelle 5.8: Relative und absolute Häufigkeiten von intraoperativen Komplikationen nach Satava in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ (ohne Wertung der Konkrementpersistenz als intraoperative Komplikation)

Zum statistischen Vergleich der beiden Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ wurden des Weiteren innerhalb der beiden Gruppen „Minor“-Gruppen und „Major“-Gruppen gebildet.

Bei Patienten der „Minor“-Gruppe wurden intraoperativ Komplikationen des Satava-Schweregrades 1 festgestellt oder es lag keine intraoperative Komplikation vor.

Die „Major“-Gruppe wurde von Patienten gebildet bei denen intraoperative Komplikationen mit den Schweregraden 2 oder 3 nach Satava auftraten.

Es wurde statistisch getestet, ob sich die beiden Gruppen im Hinblick auf das Auftreten von höhergradigen Komplikationen (Major-Komplikationen) unterschieden.

In der Gruppe „konv.-PCNL“ trat in 138 Fällen (74,2%) ein „Minor“- Ereignis ein und in 48 Fällen (25,8%) ein „Major“- Ereignis. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat in 86 Fällen (88,7%) ein „Minor“- Ereignis ein und in 11 Fällen (11,3%) ein „Major“- Ereignis.

Wir konnten in der vorliegenden Studie I einen signifikanten Unterschied bezüglich des Auftretens von intraoperativen Major-Ereignissen zugunsten der Mini-PCNL mit einem p-Wert = 0,005 zeigen.

Abbildung 5.13 zeigt die Verteilung von „Minor“- und „Major“-Komplikationen in den beiden untersuchten Gruppen „Mini-PCNL“ und „konv-PCNL“.

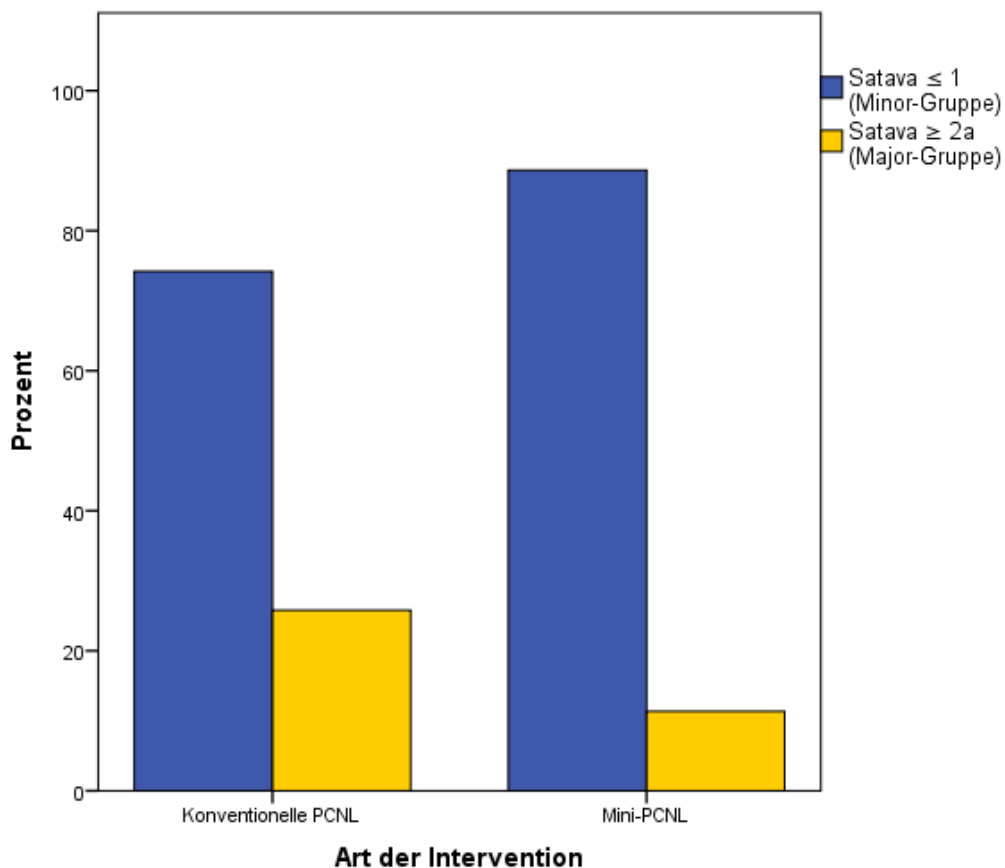


Abbildung 5.13: Relative Häufigkeit von intraoperativen „Minor“- und „Major“-Komplikationen in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

## 5.7 Postoperative Komplikationen

### 5.7.1 Blutungsassoziierte Komplikationen

#### 5.7.1.1 Vergleich prä- zu postoperativer Hämoglobin-Wert in g/dl als Hinweis für den intra- und postoperativen Blutverlust

Im gesamten Auswertungsdatensatz wurde retrospektiv die Differenz zwischen dem maximalen präoperativen und dem minimalen postoperativen Hämoglobin-Wert in g/dl berechnet. In der Gruppe „konv.-PCNL“ zeigte sich ein medianer Hb-Abfall von 1,85 g/dl (Mittelwert 2,23, Minimum 9,00, Maximum -0,5). In der Gruppe „Mini-PCNL“ zeigte sich ein medianer Hb-Abfall von 1,60 g/dl (Mittelwert 1,99, Minimum 9,70, Maximum -0,4).

Abbildung 5.14 verdeutlicht die Unterschiede in der Hb-Differenz zwischen den beiden Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“.

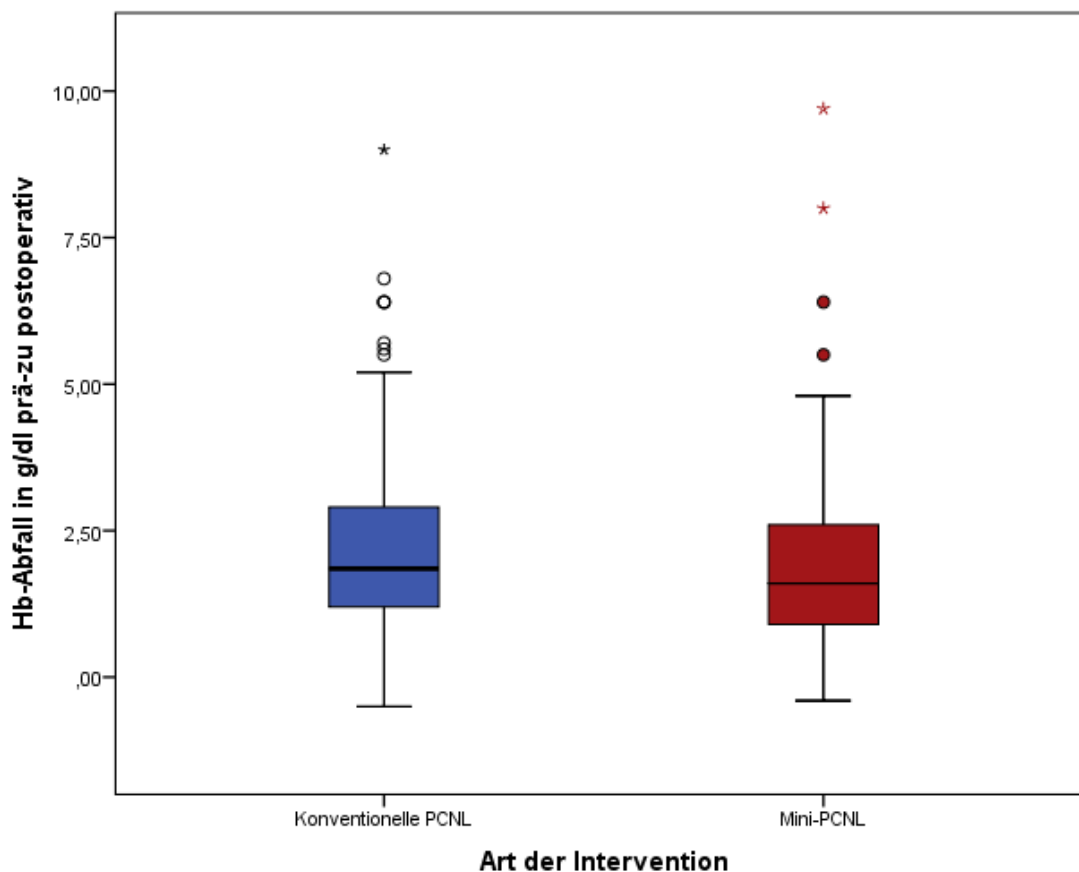


Abbildung 5.14: Hb-Differenz prä-/postoperativ in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

### 5.7.1.2 Prolongierte postoperative Makrohämaturie

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) trat eine prolongierte Makrohämaturie in insgesamt 65 Fällen auf (34,9%). In der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) trat diese Komplikation bei 19 Patienten (19,6%) auf. Entstand durch die Makrohämaturie keine Folge-therapie, erfolgte keine Klassifikation nach Clavien-Dindo.

### 5.7.1.3 Iatrogene arterio-venöse Fistel der operierten Niere

Diese Komplikation trat in keiner der Gruppen auf, wurde jedoch retrospektiv analysiert.

### 5.7.1.4 Clavien-Dindo I - Blasentamponade

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es in insgesamt 3 Fällen (1,6%) zur manuellen Evakuierung einer Blasentamponade. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

### 5.7.1.5 Clavien-Dindo I - Retroperitoneales Hämatom

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es in insgesamt 3 Fällen (1,6%) zu einem retroperitonealen Hämatom, welches ohne Therapiebedarf blieb. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation bei 2 Patienten (2,1%) auf.

### 5.7.1.6 Clavien-Dindo II – Transfusion von Erythrozytenkonzentraten bei Blutungsanämie

Im gesamten Auswertungsdatensatz (n=283) wurde retrospektiv erhoben, ob aufgrund einer Blutungskomplikation die Transfusion von Erythrozytenkonzentraten erforderlich wurde. Tabelle 5.9 zeigt die absoluten und relativen Häufigkeiten von Transfusionen in den beiden untersuchten Gruppen.

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
Postoperative Gabe von Erythrozytenkonzentraten	AH/RH	17 (9,1%)	4 (4,1%)

Tabelle 5.9: Transfusionsrate von Erythrozytenkonzentraten in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

In der Gruppe „konv.-PCNL“ erhielten die Patienten im Median 0 (Mittelwert 0,29, Minimum 0, Maximum 11) Erythrozytenkonzentrate. In der Gruppe „Mini-PCNL“ erhielten die Patienten im Median 0 (Mittelwert 0,08, Minimum 0, Maximum 2) Erythrozytenkonzentrate.

Um zu untersuchen, ob ein statistisch relevanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich der Transfusionsrate von Erythrozytenkonzentraten bestand, erfolgte die Testung mittels des exakten Tests nach Fisher.

Obwohl wir mit einer Transfusionsrate von 4,1% in der Gruppe „Mini-PCNL“ (vs. 9,1% in der Gruppe „konv.-PCNL“) einen Trend zugunsten der Mini-PCNL zeigen konnten, wurde das Signifikanzniveau in dieser Arbeit nicht erreicht ( $p=0,155$ )

#### **5.7.1.7 Clavien-Dindo II - Transfusion von Thrombozytenkonzentraten**

In der Gruppe „konv.- PCNL“ (n=186) erhielten insgesamt 2 Patienten (1,1%) eine Transfusion mit Thrombozytenkonzentraten. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

#### **5.7.1.8 Clavien-Dindo II - Gabe von Antifibrinolytika**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) erhielten insgesamt 9 Patienten (4,8%) das Antifibrinolytikum Tranexamsäure. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

#### **5.7.1.9 Clavien-Dindo II - Sekundäre Einlage eines transurethralen Spülkatheters bei Makrohämaturie**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) erhielten insgesamt 3 Patienten (1,6%) sekundär einen Spülkatheter bei postoperativer Makrohämaturie. In der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) trat diese Komplikation bei 2 Patienten (2,1%) auf.

#### **5.7.1.10 Clavien-Dindo II - Downsizing der Nephrostomie wegen Makrohämaturie**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es bei einem Patienten (0,5%) im Rahmen einer Makrohämaturie zur prolongierten Einlage des Nephrostomiekatheters. In der Folge kam es zu einem seriellen Wechsel des Katheters im Sinne eines Downsizing. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

#### **5.7.1.11 Clavien-Dindo II - Subkutane Arrosionsblutungen im Bereich der Punktionsstelle**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es postoperativ in 2 Fällen (1,1%) zu subkutanen Arrosionsblutungen im Bereich der Punktionsstelle, woraufhin der Punktionskanal mittels Naht in Lokalanästhesie umstochen wurde. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

#### **5.7.1.12 Clavien-Dindo III A - Iatrogene Pseudoaneurysmen der operierten Niere**

In der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) kam es bei einem Patienten (1,0%) zur Notwendigkeit einer radiologisch-interventionellen, arteriellen Embolisation. Die zugrundeliegende Blutungsquelle waren iatrogene Pseudoaneurysmen der operierten Niere. In der Gruppe „konv.-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

#### **5.7.1.13 Clavien-Dindo III B - Interventionsbedürftige Blasentamponade**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es in insgesamt 2 Fällen (1,1%) zur operativen Ausräumung einer Blasentamponade. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation bei einem Patienten (1,0%) auf.

#### **5.7.1.14 Clavien-Dindo IV B – Interventionsbedürftiges retroperitoneales Hämatom**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es bei einem Patienten (0,5%) postoperativ zu einem superinfizierten retroperitonealen Hämatom und septischen Schock, woraufhin eine operative Hämatomausräumung zur Herdsanierung notwendig wurde. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

### **5.7.2 Infektassoziierte Komplikationen**

#### **5.7.2.1 Vergleich prä- zu postoperativer Wert des C-reaktiven Proteins**

Im gesamten Auswertungsdatensatz wurde retrospektiv die Differenz zwischen dem minimalen präoperativen und dem maximalen postoperativen CRP-Wert (in mg/l) ermittelt. Diese Differenz dient als Maß für den Anstieg oder Abfall des CRP-Wertes im perioperativen Verlauf.

In der Gruppe „konv.-PCNL“ zeigte sich ein medianer perioperativer CRP Anstieg von 37,1 mg/l (Mittelwert 58,0, Minimum -85,0, Maximum +352,2). In der Gruppe „Mini-PCNL“ zeigte sich ein medianer CRP-Anstieg von 30,3 mg/l (Mittelwert 50,3, Minimum -21,5, Maximum +334,5).

Abbildung 5.15 verdeutlicht die Unterschiede in der CRP-Differenz zwischen den beiden Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“.



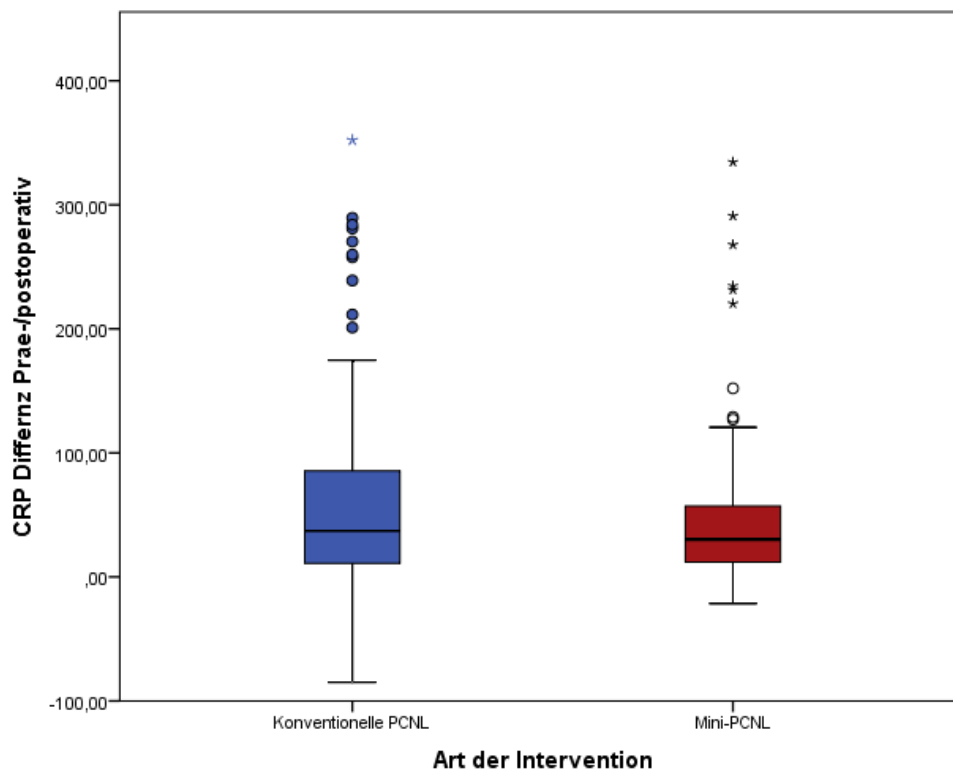


Abbildung 5.15: Differenz des CRP-Wertes (mg/l) prä-/postoperativ in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

### 5.7.2.2 Clavien-Dindo I - Postoperatives Fieber mit Therapiebedarf

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es in insgesamt 27 Fällen (14,5%) zu postoperativem Fieber mit Temperaturen > 37,9°C und der Notwendigkeit einer antipyretischen Therapie. In der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) trat diese Komplikation in 10 Fällen (10,3%) auf.

### 5.7.2.3 Clavien-Dindo I - Nosokomiale Wundinfektion der Punktionsstelle

Insgesamt kam es in einem Fall (0,5%) der Gruppe „konv.-PCNL“ zu einer Wundinfektion im Bereich der Punktionsstelle. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

### 5.7.2.4 Clavien-Dindo II - Nosokomialer Harnwegsinfekt

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es in insgesamt 13 Fällen (7,0%) zum Nachweis eines postoperativen, nosokomialen Harnwegsinfektes. In der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) trat diese Komplikation in insgesamt 2 Fällen (2,1%) auf.

In allen genannten Fällen erfolgte eine antibiotische Therapie.

### 5.7.2.5 Clavien-Dindo II - Nosokomiale Pneumonie

Bei insgesamt 2 Patienten (1,1%) wurde im postoperativen Verlauf nach einer konventionellen PCNL (n=186) eine nosokomiale Pneumonie diagnostiziert. In diesen Fällen wurde konsekutiv eine antibiotische Therapie durchgeführt. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

### 5.7.2.6 Clavien-Dindo IV A/B Postoperative Sepsis, schwere Sepsis, septischer Schock

Tabelle 5.10 zeigt die Häufigkeit eines postoperativen septischen Ereignisses in den verschiedenen Gruppen. Es wird nochmal nach Genese gesondert unterschieden zwischen Urosepsis und einer Sepsis deren die durch eine Erregereinschwemmung über einen zentralen Venenkatheter (ZVK) entsteht.

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
<b>Clavien-Dindo IV A</b> Urosepsis postoperativ	AH/RH	0 (0,0%)	0 (0,0%)
<b>Clavien-Dindo IV A</b> Schwere Urosepsis postoperativ	AH/RH	0 (0,0%)	0 (0,0%)
<b>Clavien-Dindo IV B</b> Septischer Schock bei Urosepsis postoperativ	AH/RH	3 (1,6%)	0 (0,0%)
<b>Clavien-Dindo IV A</b> Schwere Sepsis mit ZVK als Infektfokus	AH/RH	1 (0,5%)	0 (0,0%)

Tabelle 5.10: Postoperative, septische Ereignisse in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

### 5.7.2.7 Clavien-Dindo IV A- Nephrektomie nach renaler Abszessbildung mit Blutung und beginnender Sepsis

In einem Fall (0,5%) der Gruppe „konv.-PCNL“ kam es postoperativ zu transfusionspflichtigen Einblutungen und multipler Abszedierung der zuvor operierten Niere bei einer beginnenden Sepsis. Als Folge wurde eine Nephrektomie der betroffenen Niere durchgeführt. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

### 5.7.2.8 Folgeerkrankungen eines septischen Geschehens

In einem Fall (0,5%) entwickelte ein Patient in der Gruppe „konv.-PCNL“ neben einer Sepsis auch eine septische Kardiomyopathie. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat in keinem Fall eine septische Folgeerkrankung auf.

### 5.7.3 Postoperative Störungen der Nierenfunktion

#### 5.7.3.1 Vergleich prä- zu postoperativer Kreatininwert

Im gesamten Auswertungsdatensatz wurde retrospektiv für alle Falldatensätze die Differenz zwischen dem prä- und postoperativen Kreatininwert bestimmt, um den möglichen Einfluss der jeweiligen Intervention auf die Nierenfunktion zu bewerten. In der Gruppe „konv.-PCNL“ zeigte sich ein medianer perioperativer Kreatinin-Anstieg von 0,03 mg/dl (Mittelwert 0,08, Minimum -0,75, Maximum +2,77). In der Gruppe „Mini-PCNL“ zeigte sich ein medianer Kreatinin-Anstieg von 0,02 mg/dl (Mittelwert 0,08, Minimum -0,46, Maximum +1,22).

Abbildung 5.16 verdeutlicht die Unterschiede in der Kreatinin-Differenz zwischen den beiden Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“.

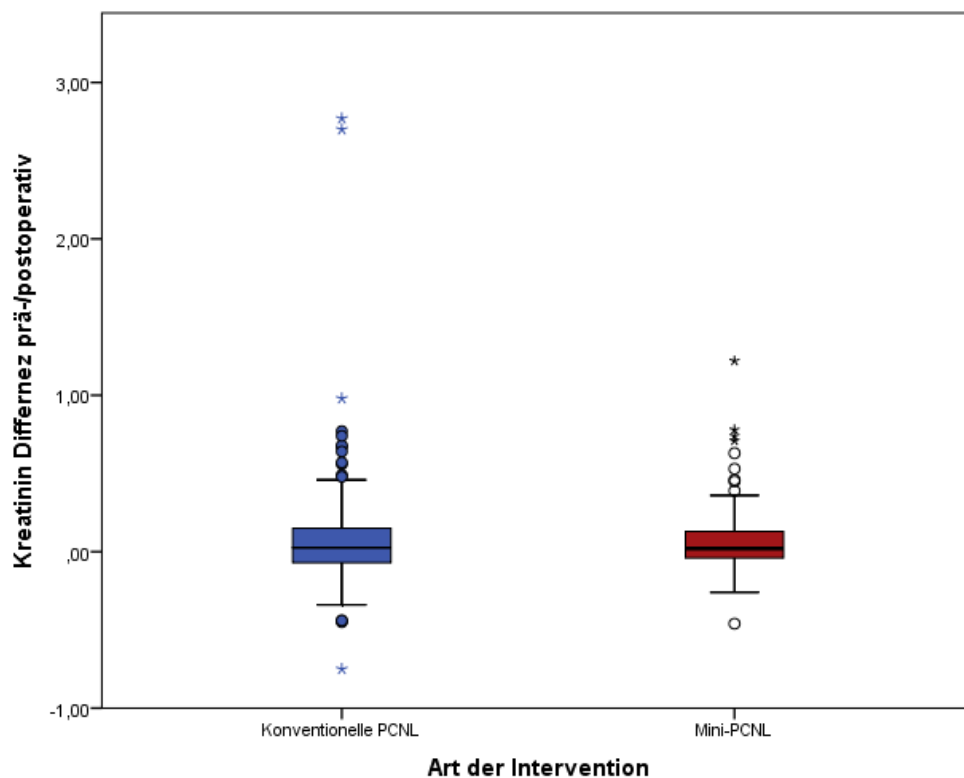


Abbildung 5.16: Differenz des Kreatininwertes (mg/dl) prä-/postoperativ in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

### 5.7.3.2 Postoperativ akutes Nierenversagen

Mithilfe der berechneten Differenz zwischen dem prä- und postoperativen Kreatininwert wurde ermittelt, ob postoperativ eine akute Nierenschädigung nach den KDIGO-Leitlinien vorlag [102]. Nach dieser Leitlinie erfolgt eine Einteilung des akuten Nierenversagen in die AKI- (Acute kidney injury) Stadien 1 bis 3 abhängig von der gemessenen Diurese oder des Kreatininwert-Anstiegs über eine jeweils definierte Zeitdauer.

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) lag in 175 Fällen (94,1%) kein akutes Nierenversagen vor. In 9 Fällen (4,8%) lag ein akutes Nierenversagen im Stadium 1 und in 2 Fällen (1,1) ein akutes Nierenversagen im Stadium 3 vor. In der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) lag in 89 Fällen (91,8%) kein akutes Nierenversagen vor. In 8 Fällen (8,2%) lag ein akutes Nierenversagen im Stadium 1 vor.

Abbildung 5.17 verdeutlicht nochmals die relativen Häufigkeiten der AKI Stadien 1-3 in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“.

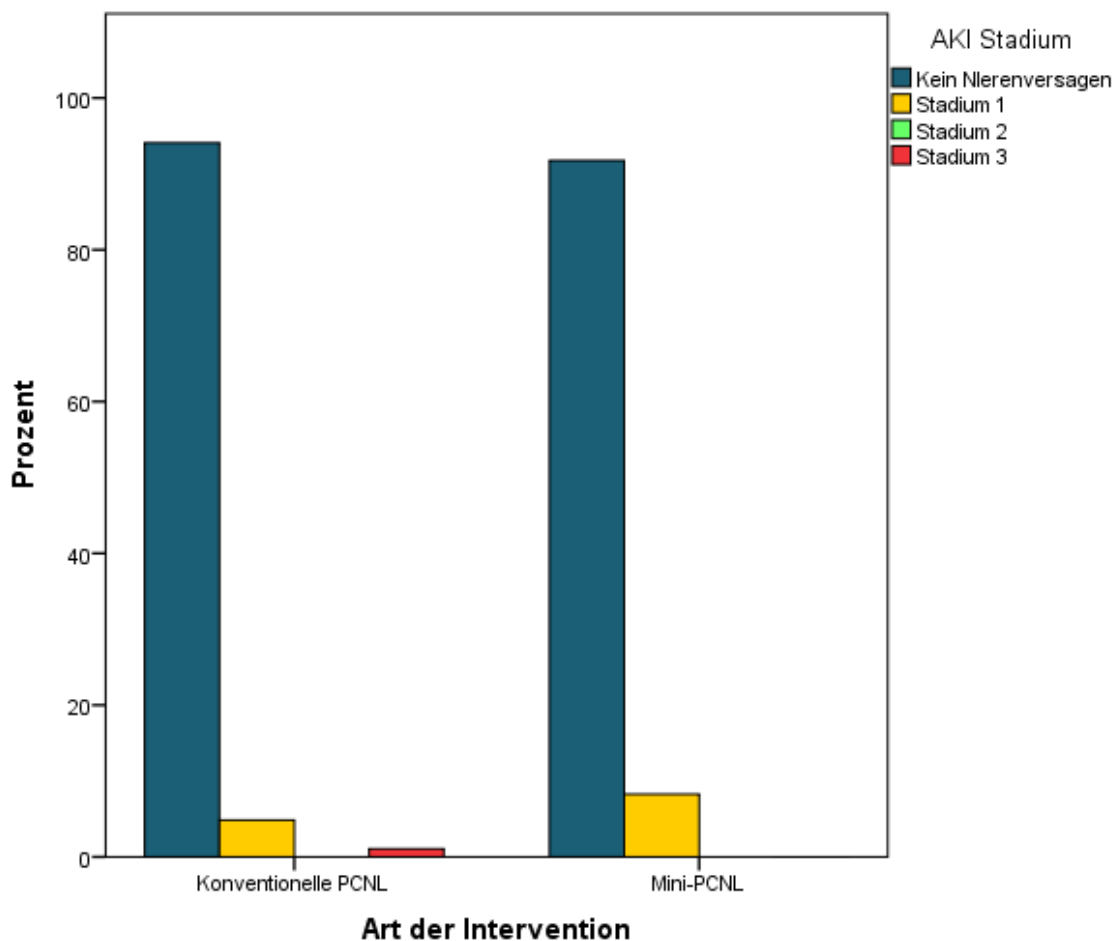


Abbildung 5.17: Akutes Nierenversagen nach AKI-Stadien in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

### **5.7.3.3 Postoperativ chronisches Nierenversagen**

In einem Fall (0,5%) kam es in der Gruppe „konv.-PCNL“ zu einem chronischen Nierenversagen, welches ohne Folgetherapie blieb. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

### **5.7.3.4 Clavien-Dindo I - Akutes Nierenversagen mit diuretischer Therapie**

In 6 Fällen (3,2%) der Gruppe „konv.-PCNL“ und in 2 Fällen (2,1%) der Gruppe „Mini-PCNL“ kam es zur Notwendigkeit einer diuretischen Therapie bei akutem Nierenversagen.

### **5.7.3.5 Clavien-Dindo III B – Chronische Niereninsuffizienz und Nephrektomie**

In einem Fall (0,5%) der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es postoperativ zu einer vollständigen Insuffizienz der zuvor operierten Niere und im Anschluss zu einer laparoskopischen Nephrektomie dieser Niere.

### **5.7.3.6 Clavien-Dindo IV A – Chronische, dialysepflichtige Niereninsuffizienz**

In einem Fall (0,5%) der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es postoperativ zu einer deutlichen akuten Verschlechterung eines vorbestehenden chronischen Nierenversagens, sodass die Indikation zur dauerhaften intermittierenden Hämodialyse gestellt wurde. Zu diesem Zweck musste ein Shaldon- und im Verlauf ein Demerskatheter eingelegt werden. Diese Komplikation trat in der Gruppe „Mini-PCNL“ nicht auf.

## **5.7.4 Postoperativ Störungen des renalen Harntransportes**

### **5.7.4.1 Clavien-Dindo II - Renale Harntransportstörung mit Einlage einer äußeren Harnableitung**

Aufgrund einer postoperativen Harntransportstörung kam es in der Gruppe „konv.-PCNL“ in 4 Fällen (2,2%) zur sekundären Einlage eines transurethralen Dauerkatheters. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

### **5.7.4.2 Clavien-Dindo III A/B - Renale Harntransportstörung mit sekundärer Einlage einer äußeren oder inneren Harnableitung**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es in einem Fall (0,5%) zur sekundären Anlage eines Nephrostomiekatheters (Clavien-Dindo IIIA) und in 4 Fällen (2,2%) zur Einlage eines DJ-Katheters (Clavien-Dindo III B) bei postoperativ fehlendem renalen Harntransport. In der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) kam es in einem Fall (1,0%) zur sekundären Anlage eines Nephrostomiekatheters und in 3 Fällen (3,1%) zur Einlage eines DJ-Katheters.

## **5.7.5 Weitere postoperative Komplikationen**

### **5.7.5.1 Prolongierte postoperative kaliko-kutane Fistel**

In 19 Fällen (10,2%) der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es postoperativ zu einer prolongierten kaliko-kutanen Fistel, welche jedoch ohne Therapiebedarf blieb. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation in 3 Fällen (3,1%) auf.

### **5.7.5.2 Postoperative Dislokation des DJ-Katheters**

In 2 Fällen (1,1%) der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) dislozierte postoperativ der zuvor intraoperativ eingelegte DJ-Katheter. Diese Dislokation blieb ohne Folgetherapie. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

### **5.7.5.3 Postoperative Dislokation des Nephrostomiekatheters**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es in insgesamt 8 Fällen (4,3%) zur Dislokation eines zuvor intraoperativ eingelegten Nephrostomiekatheters. In der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) trat diese Komplikation in insgesamt 3 Fällen (3,1%) auf. In beiden Gruppen blieb die Dislokation ohne Folgetherapie.

### **5.7.5.4 Clavien-Dindo I – Postoperatives Urinom**

In 2 Fällen (2,1%) der Gruppe „Mini-PCNL“ kam es postoperativ zur Ausbildung eines Urinoms, was jedoch ohne Folgetherapie blieb. In der Gruppe „konv.-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

### **5.7.5.5 Clavien-Dindo II - Postoperativer Harnverhalt**

In 2 Fällen (1,1%) der Gruppe „konv.-PCNL“ kam es postoperativ zu einer akuten Ischurie mit unmittelbarer Einlage eines transurethralen Dauerkatheters. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

### **5.7.5.6 Clavien-Dindo II - Postoperative Abflussstörung der äußeren Harnableitung**

In einem Fall (0,5%) der Gruppe „konv.- PCNL“ (n=186) kam es postoperativ zum Wechsel eines zuvor intraoperativ eingelegten transurethralen Dauerkatheters wegen mechanischer Abflussstörung. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

### **5.7.5.7 Clavien-Dindo II - Urinextravasation**

In einem Fall (0,5%) der Gruppe „konv.-PCNL“ kam es postoperativ zu einer persistierenden Urinextravasation aus dem Nierenbeckenkelchsystem. Der Nephrostomiekatheter wurde daher prolongiert belassen und im Verlauf ein Wechsel des Nephrostomiekatheters im Sinne eines Downsizings vorgenommen. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

#### **5.7.5.8 Clavien-Dindo II/III B – Interventionsbedürftige kaliko-kutane Fistelung**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es in einem Fall (0,5%) zur Umstechung einer persistierenden kaliko-kutanen Fistel mittels Nahttechnik (Clavien-Dindo II). In einem weiteren Fall (0,5%) dieser Gruppe kam es postoperativ zur Einlage eines DJ-Katheters aufgrund einer persistierenden kaliko-kutanen Fistelung (Clavien-Dindo III B). In der Gruppe „Mini-PCNL“ traten diese Komplikationen beide nicht auf.

#### **5.7.5.8 Clavien-Dindo III B - Chirurgische Tracheotomie wegen postinterventioneller Langzeit- Beatmung**

In einem Fall (0,5%) der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es postoperativ zur Notwendigkeit einer chirurgischen Tracheotomie wegen einer intensivmedizinischen Langzeitbeatmung. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat diese Komplikation nicht auf.

#### **5.7.5.10 Clavien-Dindo V - Tod als postoperative Komplikation**

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es in einem Fall (0,5%) zum Tod im postoperativen Verlauf. In der Gruppe „Mini-PCNL“ wurde kein Todesfall beobachtet.

### **5.7.6 Postinterventioneller Überwachungsbedarf der Patienten**

#### **5.7.6.1 Postoperative Überwachung auf der Intermediate Care Station**

Insgesamt 19 Patienten (10,2%) der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) und 15 Patienten (15,46%) der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) wurden postoperativ auf der Intermediate-Care-Station überwacht. Die mediane Verweildauer betrug in der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) 0,0 Tage (Mittelwert 0,23, Minimum 0, Maximum 20) und in der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) ebenfalls 0,0 Tage (Mittelwert 0,20, Minimum 0, Maximum 3)



### 5.7.6.2 Postoperative Überwachung auf der Intensivstation

Tabelle 5.11 verdeutlicht die absoluten und relativen Häufigkeiten von Fällen mit einem intensivmedizinischen Überwachungs- sowie Behandlungsbedarf in den beiden untersuchten Gruppen. Der intensivmedizinische Therapiebedarf wurde als Komplikation nach Clavien-Dindo klassifiziert.

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
Intensivaufenthalt postoperativ (nur Überwachung)	AH/RH	2 (1,1%)	1 (1,0%)
<b>Clavien-Dindo 4A</b> Intensivaufenthalt postoperativ mit Beatmung- und Katecholamintherapie	AH/RH	2 (1,1%)	1 (1,0%)
<b>Clavien-Dindo 4A</b> Intensivaufenthalt postoperativ mit Katecholamintherapie	AH/RH	1 (0,5%)	0 (0,0%)

Tabelle 5.11: Intensivmedizinische Überwachung und Therapie in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

Die mediane Verweildauer betrug in der Gruppe „konv.- PCNL“ (n=186) 0,0 Tage (Mittelwert 0,23, Minimum 0, Maximum 36) und in der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) ebenfalls 0,0 Tage (Mittelwert 0,02, Minimum 0, Maximum 1)

### 5.7.7 Postoperativer Bedarf an Analgetika

#### 5.7.7.1 Analgetikabedarf im Aufwachraum

Im gesamten Auswertungsdatensatz (n=283) wurde erfasst, welche Analgetika zur postoperativen Schmerztherapie im Aufwachraum verabreicht wurden.

Tabelle 5.12 zeigt den postoperativen Analgetikabedarf im Aufwachraum.

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
Keine Analgetika	AH/RH	58 (31,2%)	26 (26,8%)
Analgetika Stufe 1	AH/RH	15 (8,1%)	2 (2,1%)
Analgetika Stufe 2	AH/RH	0 (0,0%)	0 (0,0%)
Analgetika Stufe 3	AH/RH	113 (60,8%)	69 (71,1%)

Tabelle 5.12: Postoperative Analgesie im Aufwachraum gemäß WHO-Stufenschema in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

### 5.7.7.2 Analgetikabedarf auf Normalstation

Im gesamten Auswertungsdatensatz (n=283) wurde erfasst, welche Analgetika zur postoperativen Schmerztherapie auf der Normalstation verabreicht wurden.

Tabelle 5.13 zeigt den postoperativen Analgetikabedarf im Aufwachraum.

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
Allgemein Einnahme einer festen analgetischen Medikation	AH/RH	54 (29,0%)	34 (35,1%)
Analgetika Stufe 1 (WHO) als feste Medikation	AH/RH	53 (28,5%)	34 (35,1%)
Analgetika Stufe 2 (WHO) als feste Medikation	AH/RH	0 (0,0%)	1 (1,0%)
Analgetika Stufe 3 (WHO) als feste Medikation	AH/RH	2 (1,1%)	1 (1,0%)
Allgemein Einnahme einer analgetischen Bedarfsmedikation	AH/RH	144 (77,4%)	75 (77,3%)
Analgetika Stufe 1 (WHO) als Bedarfsmedikation	AH/RH	141 (75,8%)	74 (76,3%)
Analgetika Stufe 2 (WHO) als Bedarfsmedikation	AH/RH	5 (2,7%)	4 (4,1%)
Analgetika Stufe 3 (WHO) als Bedarfsmedikation	AH/RH	31 (16,7%)	23 (23,7%)

Tabelle 5.13: Postoperative Analgesie auf Normalstation gemäß WHO-Stufenschema in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

### 5.7.8 Clavien-Dindo-Klassifikation der postoperativen Komplikationen

Der gesamte Auswertungsdatensatz (n=283) wurde auf postoperative Komplikationen hin analysiert wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben. Die postoperativen Komplikationen wurden nach Clavien-Dindo klassifiziert [99,100]. Für jeden Patienten im Auswertungsdatensatz wurde überprüft, ob und welche Komplikationen der verschiedenen Grade nach Clavien-Dindo auftraten. Die absoluten und relativen Häufigkeiten, mit denen postoperative Komplikationen in den beiden Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ auftraten, sind in Tabelle 5.14 aufgezeigt.

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
Keine relevanten postoperativen Probleme	AH/RH	121 (65,1%)	79 (81,4%)
Clavien-Dindo I	AH/RH	40 (21,5%)	13 (13,4%)
Clavien-Dindo II	AH/RH	45 (24,2%)	6 (6,2%)
Clavien-Dindo III A	AH/RH	1 (0,5%)	2 (2,1%)
Clavien-Dindo III B	AH/RH	8 (4,3%)	3 (3,1%)
Clavien-Dindo IV A	AH/RH	3 (1,6%)	1 (1,0%)
Clavien-Dindo IV B	AH/RH	3 (1,6%)	0 (0,0%)
Clavien-Dindo V	AH/RH	1 (0,5%)	0 (0,0%)

Tabelle 5.14: Absolute und relative Häufigkeiten von Clavien-Dindo-Schweregraden in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

Zum statistischen Vergleich der beiden Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ wurden innerhalb der beiden Gruppen „Minor“- und „Major“-Gruppen gebildet.

Bei Patienten der „Minor“-Gruppe wurden postoperative Komplikationen der Clavien-Dindo Schweregrade 1 und 2 festgestellt oder es lagen keine relevanten postoperativen Komplikationen vor. Die „Major“-Gruppe wurde von Patienten mit Clavien-Dindo Schweregraden von 3a, 3b, 4a, 4b oder 5 gebildet.

Es wurde statistisch getestet, ob sich die beiden Gruppen im Hinblick auf das Auftreten von höhergradigen Komplikationen (Major-Komplikationen) unterschieden.

In der Gruppe „konv.-PCNL“ trat in 176 Fällen (94,6%) ein Minor Ereignis ein und in 10 Fällen (5,4%) ein Major-Ereignis. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat in 91 Fällen (93,8%) ein Minor Ereignis ein und in 6 Fällen (6,2%) ein Major-Ereignis.

Um zu untersuchen, ob ein statistisch relevanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich des Auftretens von höhergradigen postoperativen Komplikationen bestand, erfolgte die Testung mittels des exakten Tests nach Fisher.

Wir konnten in diesem Fall keinen statistisch signifikanten Unterschied im Eintritt von Major-Ereignissen zwischen den beiden Gruppen mit einem p-Wert = 0,790 zeigen.

Abbildung 5.18 zeigt die Verteilung von „Minor“- und „Major“-Subgruppen in den beiden untersuchten Gruppen „Mini-PCNL“ und „konv.-PCNL“.

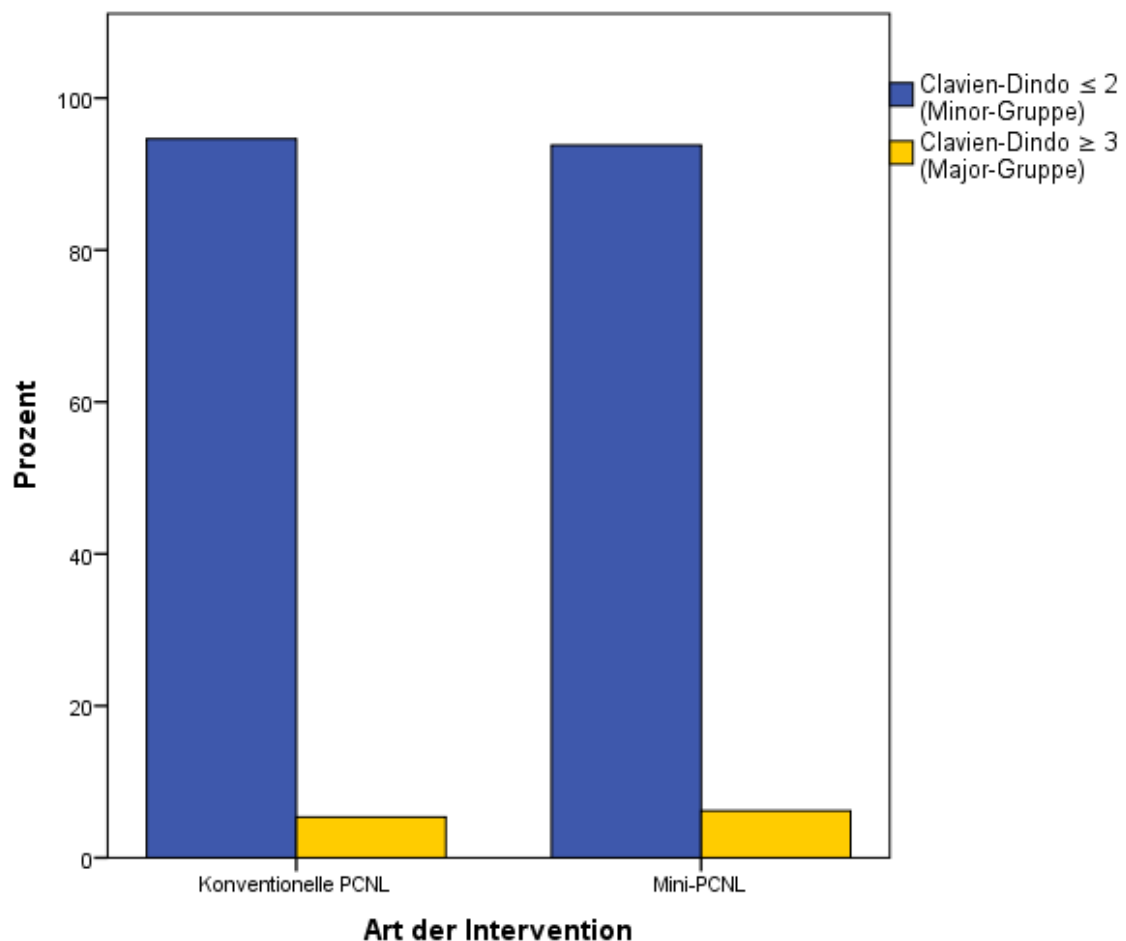


Abbildung 5.18 Relative Häufigkeit von postoperativen „Minor“- und „Major“-Komplikationen in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

## 5.8 Hospitalisationsdauer

Im gesamten Auswertungsdatensatz (n=283) wurde der Zeitraum der stationären Verweildauer vom OP-Tag bis zur Entlassung in den ambulanten Bereich erfasst.

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) betrug die mediane Verweildauer 7 Tage (Mittelwert 9,12, Minimum 3, Maximum 118). In der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) betrug die mediane Verweildauer 5 Tage (Mittelwert 5,32, Minimum 3, Maximum 19).

Abbildung 5.19 verdeutlicht die Hospitalisationsdauer in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“.

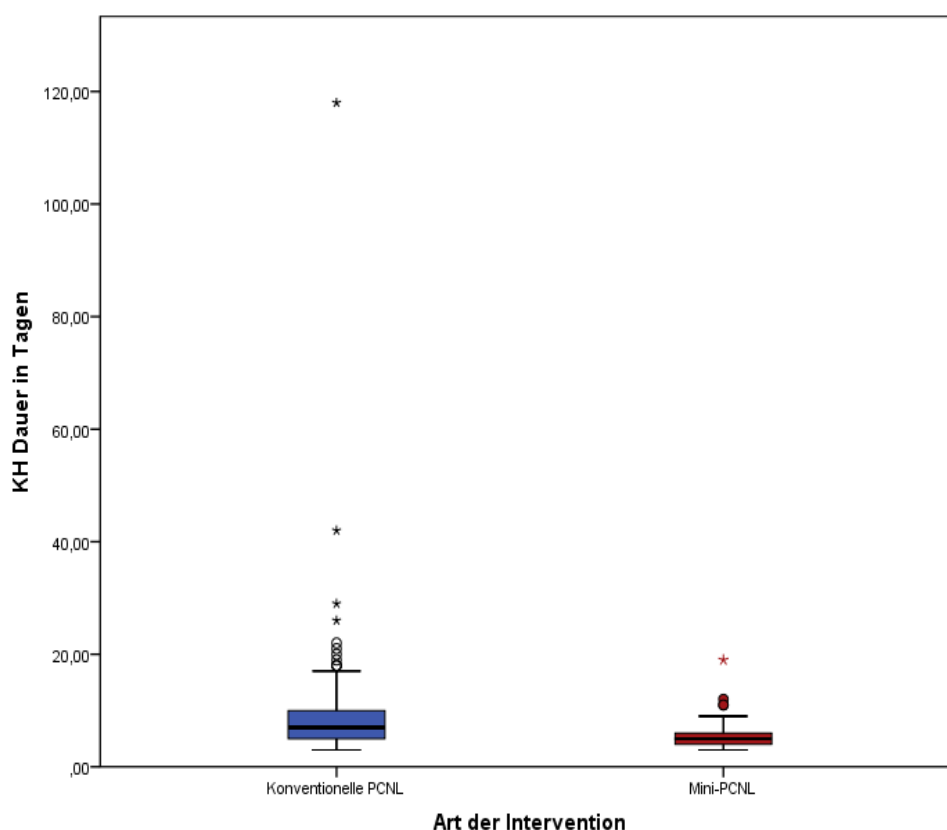


Abbildung 5.19: Hospitalisationsdauer in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“

## 5.9 Ambulante Wiedervorstellung nach regulärer Entlassung

Alle Fälle im Auswertungsdatensatz (n=283) wurden ab dem OP-Tag des „First-Look“-Eingriffes für einen Zeitraum von 3 Monaten retrospektiv auf eine ambulante Wiedervorstellung in der Klinik und Poliklinik für Urologie und Kinderurologie der Universitätsmedizin Mainz nachbeobachtet. In der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) kam es in einem Fall (1,0%) zur ambulanten Wiedervorstellung mit Fieber, was eine antipyretische Therapie nach sich zog (Clavien-Dindo I). In der Gruppe „konv.-PCNL“ kam es zu keiner ambulanten Wiedervorstellung.

## 5.10 Stationäre Wiedervorstellung nach regulärer Entlassung

Des Weiteren wurden alle Fälle im Auswertungsdatensatz (n=283) ab dem OP-Tag des „First-Look“-Eingriffes für einen Zeitraum von 3 Monaten retrospektiv auf eine stationäre Wiederaufnahme in der Klinik und Poliklinik für Urologie und Kinderurologie der Universitätsmedizin Mainz nachbeobachtet. In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es in 9 Fällen (4,8%) und in der Gruppe „Mini-PCNL“ (n=97) in 2 Fällen (2,1%) zu einer stationären Wiederaufnahme.

In der Gruppe „konv.-PCNL“ (n=186) kam es in einem Fall (0,5%) zum Nachweis einer iatrogenen arterio-venösen Fistel bei Wiederaufnahme (nicht klassifiziert nach Clavien-Dindo). In der Gruppe „Mini-PCNL“ wurde diese Komplikation nicht beobachtet. Weitere Komplikationen, welche im Rahmen der stationären Wiedervorstellung beobachtet wurden sind in den Tabellen 5.15 bis 5.19 aufgezeigt.

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
Fieber postoperativ mit Gabe von Antipyretika	AH/RH	4 (2,2%)	0 (0,0%)
Blasentamponade mit manueller Evakuierung	AH/RH	1 (0,5%)	0 (0,0%)

Tabelle 5.15: Clavien-Dindo-Komplikationen Schweregrad I in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ bei stationärer Wiederaufnahme

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
Transfusion von Erythrozytenkonzentraten bei Blutungsanämie	AH/RH	2 (1,1%)	0 (0,0%)
Gabe von Antifibrinolytika (Tranexamsäure)	AH/RH	2 (1,1%)	0 (0,0%)
Postoperative Makrohämaturie mit sekundärer Neueinlage eines Spülkatheters	AH/RH	3 (1,6%)	1 (1,0%)
Postoperativer Harnwegsinfekt	AH/RH	3 (1,6%)	0 (0,0%)
Sekundäre Einlage eines transurethralen DK bei renalem Harnstau	AH/RH	1 (0,5%)	0 (0,0%)

Tabelle 5.16: Clavien-Dindo-Komplikationen Schweregrad II in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ bei stationärer Wiederaufnahme

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
Sekundäre Nephrostomiekathetereinlage bei renalem Harnstau	AH/RH	1 (0,5%)	0 (0,0%)
Radiologisch-arterielle Embolisation bei Blutung (Pseudoaneurysma)	AH/RH	1 (0,5%)	0 (0,0%)
Postoperatives Urinom mit perkutaner Entlastung des Urinoms	AH/RH	0 (0,0%)	1 (1,0%)

Tabelle 5.17: Clavien-Dindo-Komplikationen Schweregrad IIIA in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ bei stationärer Wiederaufnahme

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
Sekundäre Einlage eines DJ-Katheters bei renalem Harnstau	AH/RH	2 (1,1%)	1 (1,0%)
Dislokation des DJ mit erneuter Einlage eines DJ-Katheters	AH/RH	1 (0,5%)	0 (0,0%)
DJ-Einlage bei postoperativer Kaliko-kutaner Fistel	AH/RH	1 (0,5%)	1 (1,0%)
Postoperative Blasentamponade mit operativer Ausräumung	AH/RH	1 (0,5%)	1 (1,0%)

Tabelle 5.18: Clavien-Dindo-Komplikationen Schweregrad IIIB in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ bei stationärer Wiederaufnahme

		Art der Intervention	
		Konventionelle PCNL (N=186)	Mini-PCNL (N=97)
Postoperativ schwere Urosepsis	AH/RH	2 (1,1%)	0 (0,0%)

Tabelle 5.19: Clavien-Dindo-Komplikationen Schweregrad IVA in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ bei stationärer Wiederaufnahme

## 6 Diskussion

In den aktuellen Leitlinien der EAU und DGU wird die PCNL als Erstlinientherapie für Nierensteine mit einer Größe von mehr als 20 mm empfohlen. Des Weiteren wird sie als gleichwertige Therapieoption neben ESWL und URS für Nierensteine der Größe 10-20 mm genannt. Im Falle von Konkrementen der UKG sollen PCNL und URS vorrangig gegenüber der ESWL eingesetzt werden [2,3]

Eine konkrete Leitlinienempfehlung, ob die PCNL im Sinne einer konventionellen PCNL oder miniaturisierten PCNL, durchgeführt werden sollte, existiert dabei explizit nicht.

Die Vor- und Nachteile der Miniaturisierung der PCNL werden seit vielen Jahren kontrovers diskutiert. Ein allgemeingültiger Standard besteht aktuell (Stand 12/2020) nicht.

Der Leitlinienausschuss „Urolithiasis“ der EAU versuchte bereits 2017 in einem systemischen Review Evidenz in dieser Frage zu schaffen [103]. Zusammenfassend zeigte sich in diesem Review eine vergleichbare postinterventionelle SFR von konventionellen Verfahren und miniaturisierten Verfahren. Außerdem zeigte sich ein signifikant reduzierter Blutverlust, wenn die PCNL als miniaturisiertes Verfahren durchgeführt wurde bei gleichzeitig längerer Interventionsdauer. Deutlich wurde bei der Recherche aber vor allem die mangelnde Evidenz bedingt durch wenige und vor allem nur sehr kleine Studien mit geringen Fallzahlen. Herausgestellt wurde auch der Mangel an vergleichenden Studien und randomisierten, kontrollierten Studien [103].

Auch im Jahr 2021, dem Jahr der Veröffentlichung der vorliegenden Arbeit, existieren immer noch wenige vergleichende Studien zwischen der konventionellen PCNL und der Mini-PCNL [85,87-90,92-96]. Insbesondere im Therapiearm „Mini-PCNL“ sind die untersuchten Fallzahlen meist gering (Mishra et al. 27 Fälle mit Mini-PCNL, Güler et al. 46 Fälle, Giusti et al. 40 Fälle, Knoll et al. 25 Fälle, Zhong et al, 29 Fälle, Lange et al. 29 Fälle [88,90,92,93,95,96]). Wenige der Studien wurden als randomisierte, kontrollierte Studien durchgeführt [90,94,95], die meisten als prospektive, nicht-randomisierte Studien [87-89,93,96]. Wenige Studien wurden wie die vorliegende als retrospektive Datenanalyse durchgeführt [85,92].

Ziel der vorliegenden Studie war und ist es, durch eine vergleichsweise hohe Fallzahl die intra- und postoperativen Komplikationen sowie die SFR zwischen den beiden



Verfahren konventionelle PCNL und Mini-PCNL zu vergleichen und so einen wichtigen Beitrag zur Evidenzbildung zu leisten. Durch möglichst großzügige Einschlusskriterien soll eine breites Patientenkollektiv in der Studie abgebildet werden.

In der vorliegenden Studie wurden insgesamt Falldaten von 283 Patienten retrospektiv ausgewertet. 186 Patienten (65,7%) erhielten eine konventionelle PCNL und 97 Patienten (34,3%) eine Mini-PCNL. Damit ist die vorliegende Arbeit im Frühjahr 2021 eine der größten vergleichenden Studien zwischen den beiden Verfahren.

Alle genannten Interventionen wurden als „First-Look“-Eingriff durchgeführt. Die Intervention wurde in den beiden untersuchten Gruppen häufiger an der linken Niere durchgeführt, die Verteilung war in den beiden Gruppen vergleichbar.

Hinsichtlich der demographischen Daten zeigte sich im Auswertungsdatensatz ein Geschlechterverhältnis zwischen Mann und Frau von 1,6:1. Eine mögliche Erklärung für die größere Anzahl von Männern im untersuchten Kollektiv ergibt sich aus der geschlechtsspezifischen Prävalenz der Urolithiasis [1]. Die untersuchten Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ zeigten eine vergleichbare Altersverteilung und einen vergleichbaren Anteil adipöser Patienten (BMI >30 kg/m<sup>2</sup>).

Um ein breites Patientenkollektiv in der Studie abzubilden, wurden Falldatensätze, in denen zu Nephrolithiasis prädisponierende Grunderkrankungen, anatomische Fehlbildungen, Normvarianten und durch Voroperationen bedingte anatomischen Besonderheiten des harnableitenden Systems vorlagen, in die Studie eingeschlossen. Dieses Patientenkollektiv wird in vielen anderen vergleichenden Studien ausgeschlossen [85,88,90,95].

Die Verteilung von Patienten mit prädisponierenden Erkrankungen auf die beiden untersuchten Gruppen war dabei leicht inhomogen. Zu beachten ist dabei vor allem die vermehrte Anzahl an Patienten mit Cystinurie in der Gruppe „konv.-PCNL“. Da Patienten mit Cystinurie ein erhöhtes Risiko haben rezidivierend an Urolithiasis zu erkranken, sind sie einem erhöhten OP-Risiko ausgesetzt und daher teils multipel voroperiert. Ein größerer Einfluss auf die Ergebnisse der Studie ist jedoch nicht zu erwarten.

Auch bezüglich der in die Untersuchung eingeschlossenen Konkremente unterscheidet sich die vorliegende Studie von einigen anderen vergleichenden Studien, in denen beispielsweise nur partielle oder komplette Ausgusssteine [95], singuläre

Konkremente in definierten Lokalisationen [93] oder nur Konkreme mit definierter Größe [85,88-90,92,96] eingeschlossen werden.

In die vorliegende Studie wurden Patienten mit singulären und multiplen Konkremen in allen möglichen Größen und alle möglichen renalen Konkrementlokalisationen eingeschlossen. Es wurden außerdem auch Patienten mit besonderen Konkrement-eigenschaften wie kompletten oder partiellen Nierenbeckenausgusssteinen, Ventilsteinen, okkludierenden Steinen, Kelchdivertikelsteinen und Konkrementen bei Kelchhalsstenosen eingeschlossen.

Bezüglich der präinterventionellen kumulativen Konkrementgröße zeigten sich die beiden untersuchten Gruppen absolut vergleichbar. Die Konkrementgröße wurde präinterventionell mittels Röntgen, Ultraschall oder CT-graphisch erhoben. Der mediane maximale Querdurchmesser der Konkreme betrug in der Gruppe „konv.-PCNL“ präinterventionell 17 mm und in der Gruppe „Mini-PCNL“ 16 mm. Ein Einfluss der Konkrementgröße auf die intra- und postoperativen Komplikationen sowie die SFR, wie in anderen vergleichenden Studien beschrieben [93], ist demnach nicht zu erwarten.

Entsprechend der Leitlinien der EAU und DGU wurden die Konkreme gemäß ihres maximalen kumulativen Querdurchmessers in die Kategorien „maximaler Querdurchmesser: <10 mm, 10-20 mm und >20 mm“ eingeteilt. Hier zeigt sich, dass die Indikation zur Intervention in beiden Gruppen auch für Konkreme kleiner 10 mm gestellt wurde. Laut Leitlinienempfehlung ist die konventionelle PCNL bzw. Mini-PCNL in dieser Kategorie nur Zweitlinien-Therapie. Aus welchem Grund in diesen konkreten Fällen die Indikation zur PCNL oder Mini-PCNL gestellt wurde, wurde in dieser Studie nicht herausgearbeitet. Die meisten Patienten in der Studie hatten eine kumulative Konkrementgröße von 10-20 mm. Die Verteilung der Größenkategorien und damit auch die präoperative Steinlast war in beiden Gruppen nahezu gleich.

Des Weiteren zeigten sich die beiden untersuchten Gruppen auch im Hinblick auf die präinterventionelle Konkrementlokalisation vergleichbar. Am weitesten häufigsten waren in beiden Gruppen Nierenbeckensteine indikationsgebend zur Intervention, gefolgt von Konkrementen in der unteren Kelchgruppe.

Deutlich inhomogen zeigten sich die beiden Gruppen hinsichtlich des Auftretens von Konkrementen mit besonderen Eigenschaften und der Anzahl der Konkreme. In der Gruppe „konv.-PCNL“ litten 15,1% der Patienten unter multiplen Konkrementen

der Nieren, in der Gruppe „Mini-PCNL“ hingegen 24,7% der Patienten. Besondere Konkrementeneigenschaften zeigten sich bei 25,3% der Patienten in der Gruppe „konv.-PCNL“ und bei 35,1% der Patienten in der Gruppe „Mini-PCNL“. Ob der vermehrte Anteil von Patienten mit komplexen und multiplen Steinen in der Gruppe „Mini-PCNL“ auf einen verfahrensbedingten Vorteil dieser Intervention zurückzuführen ist, kann aus der vorliegenden Studie nicht klar abgeleitet werden. Zwar konnten Zhong et al. in ihrer vergleichenden Studie zeigen, dass die Mini-PCNL im Vergleich zur konventionellen PCNL in der Therapie von Nierenbeckenausgusssteinen eine signifikant höhere Steinfreiheitsrate bei vergleichbarer Rate an Komplikationen erzielt, jedoch wurde dies insbesondere durch den vermehrten Einsatz von „Multi-Tract“-Verfahren erreicht [95]. In der vorliegenden Studie wurde die PCNL in beiden Gruppen maßgeblich als „Single-Tract“-Verfahren durchgeführt. Eine differenzierte Untersuchung der SFR und der intra- und postoperativen Komplikationen für Patienten mit multiplen oder komplexen Konkrementen wurde in der vorliegenden Studie nicht vorgenommen.

Besonders zu betonen ist in diesem Zusammenhang jedoch die Erkenntnis der vorliegenden Studie, dass die Mini-PCNL vergleichsweise häufiger auch als primäre Therapieoption zur Konkremententfernung genutzt wurde als die konventionelle PCNL. Nur in 9,3% der Fälle wurde in der Gruppe „Mini-PCNL“ primär ein Therapieversuch mittels ESWL, URS oder offener Stein-OP zur Konkrementbergung unternommen, in der Gruppe „konv.-PCNL“ hingegen in 19,9% der Fälle. Mögliche Gründe für die häufigere Wahl der Mini-PCNL als primäre Therapieoption zur Konkremententfernung werden im Verlauf diskutiert. Die Tatsache, dass die Mini-PCNL häufiger als primäre Therapieoption eingesetzt wird, erklärt jedoch möglicherweise die größere Häufigkeit von Patienten mit komplexeren oder multiplen Steinen in der Gruppe „Mini-PCNL“.

Im Rahmen der präoperativen Datenanalyse, zum Ausschluss von statistischen Einflussfaktoren, wurde ebenfalls untersucht, ob die von der jeweiligen Intervention betroffene Nierenseite schon einmal endourologisch voroperiert wurde. In früheren Studien konnte gezeigt werden, dass es aufgrund narbiger Umbauprozesse im OP-Gebiet nach vorangegangener PCNL oder offener Stein-OP zu einer längeren OP-Dauer und einer höheren Anzahl von Punktionsversuchen im Rahmen der Folgeeingriffe kam. Ein Einfluss auf die intra- oder postoperative Komplikationsrate wurde nicht gezeigt [104-106]. Bei insgesamt vergleichbarer Anzahl von Voroperationen in

beiden Gruppen ist kein Effekt auf die Ergebnisse der vorliegenden Studie zu erwarten, insbesondere nicht auf die primären Zielgrößen, nämlich die intra- und postoperativen Komplikationsraten.

Hinsichtlich der Durchführung der Intervention zeigte sich, dass die Etablierung des Zugangstraktes ins Nierenbeckenkelchsystem in der Gruppe „konv.-PCNL“ in 92,5% der Fälle nach Neupunktion der interventionsbedürftigen Nieren erfolgte, in der Gruppe „Mini-PCNL“ in 97,9% der Fälle. In den übrigen Fällen erfolgte die Etablierung des Nephroskopes in die Nieren über eine bereits präoperativ bestehende Nephrostomie. Ein Einfluss auf die primären Zielgrößen durch die unterschiedliche Häufigkeit an Neupunktionen ist nicht zu erwarten. Die beiden Gruppen zeigten sich homogen bezüglich des präinterventionellen Vorhandenseins von inneren Harnableitungen (DJ, MJ, Ureterkatheter).

Die Punktion der Nieren erfolgte in allen Fällen durch den Operateur kombiniert sonographisch-fluoroskopisch. Bei der Wahl des Punktionskelches wurde in der Gruppe „konv.-PCNL“ in 58,1% der Fälle die UKG punktiert gefolgt von der MKG mit 28,5%. In der Gruppe „Mini-PCNL“ wurde in 88,7% der Fälle die UKG punktiert. Die OKG als Punktionsort spielte insgesamt eine untergeordnete Rolle. Vorteil der UKG als Punktionsort ist insbesondere die vergleichsweise geringere Dichte an Segmentarterien im Vergleich zu den anderen Kelchgruppen [107]. In einer vergleichenden Arbeit für die konventionelle PCNL durch Tefekli et al. konnte die positive Korrelation der Punktion des OKG mit einer höheren OP-Zeit, einer niedrigeren SFR, einer höheren Gesamtkomplikationsrate und einer längeren stationären Verweildauer gezeigt werden im Vergleich zum Unterpolzugang [108]. In der vorliegenden Arbeit wurde der unmittelbare Einfluss des Punktionsortes auf die o.g. Parameter nicht explizit untersucht. Die vergleichsweise hohe Häufigkeit von MKG-Punktionen in der Gruppe „konv.-PCNL“ ist jedoch am ehesten der Dokumentation geschuldet. Während im Rahmen der OP-Dokumentation nach Mini-PCNL an der Universitätsmedizin Mainz eine explizite schriftliche Erfassung des Punktionsortes vorgenommen wurde, wurde der Punktionsort im Falle der konventionellen PCNL skizzenhaft auf einem standardisierten OP-Bogen dokumentiert. Die genaue Lokalisation des Punktionsortes im Rahmen der Datenerhebung erfolgte streng geometrisch, wobei die grundsätzliche Genauigkeit der Skizzen in Frage gestellt werden muss. Diese Ungenauigkeit ist der retrospektiven Datenerhebung geschuldet und der damit ungleichen Datenerfassung. Es ist von einem deutlich höheren Anteil von Unterkelchpunktionen in der Gruppe

„konventionelle PCNL“ auszugehen. Von einem Einfluss auf die intra- und postoperativen Blutungskomplikationen durch mögliche Unterschiede bezüglich der Punktionsorte gehen wir nicht aus.

Zur Erfassung von intraoperativen Komplikationen wurde in unserer Studie die modifizierte Satava-Klassifikation von Tepeler et al. [98] als Vorlage verwendet. Bei dieser modifizierten Schweregradeinteilung nach Satava erfolgt die Schweregradeinteilung einer intraoperativen Komplikation danach, in welchem zeitlichen Verhältnis die Folgeintervention zur Primärintervention steht und wie invasiv die Folgeintervention ist.

In anderen vergleichenden Studien zwischen der konventionellen und Mini-PCNL wurde bis zum jetzigen Zeitpunkt keine standardisierte Erfassung von intraoperativen Komplikationen vorgenommen [85,87-90,92-96]. Grundsätzlich werden auch nur in wenigen vergleichenden Studien die intraoperativen Komplikationen der PCNL untersucht [85,88,89,93,95].

Neben der fehlenden Einteilung in einen Schweregrad nach Satava fehlt in den meisten erfassten Studien grundsätzlich auch die dafür notwendige Information, ob eine intraoperative Komplikation eine Folgetherapie benötigte oder nicht. Nur wenige Studien führen einzelne Komplikationen einschließlich der konsekutiven Maßnahmen auf [85,89].

Die häufigsten in der Literatur erfassten intraoperativen Komplikationen sind dabei intraoperative Blutungen und iatrogene Nierenbeckenperforationen. Für die konventionelle PCNL werden Komplikationsraten für intraoperative Blutungen von 7,9-22 % beschrieben [88,89,93,95], für die Mini-PCNL werden Raten für Blutungskomplikationen von 0-6,5% [88,89,93,95] genannt. Bezüglich der Nierenbeckenperforationen nennt die Literatur Komplikationsraten für die Gruppe „konv.-PCNL“ zwischen 1,6-8% [88,89,93,95] und in der Gruppe „Mini-PCNL“ zwischen 0-6,9% [88,89,93,95].

In der vorliegenden Studie kam es in 10,2% der Fälle in der Gruppe „konv.-PCNL“ und in 10,3% der Fälle in der Gruppe „Mini-PCNL“ zu einer intraoperativen iatrogenen Perforation des Nierenbeckens. Insgesamt trat die Komplikation in beiden Gruppen also mit vergleichbarer Häufigkeit auf.

In der Gruppe „Mini-PCNL“ blieb die Nierenbeckenperforation dabei in allen Fällen ohne intraoperative Konsequenz (Satava 1), in der Gruppe „konv.-PCNL“ erhielten im

Gegensatz dazu 1,6% der Patienten intraoperativ aufgrund einer Nierenbeckenperforation eine DJ -Einlage (Satava 2a). In 1,1% musste der Eingriff nach der Perforation abgebrochen werden und ein „Second-look“-Eingriff zur Vervollständigung der Konkremententfernung durchgeführt werden (Satava 2b).

Es zeigte sich somit eine leicht erhöhte Anzahl an höhergradigen Komplikationen durch die iatrogene Nierenbeckenperforation in der Gruppe „konv.-PCNL“. Signifikante Unterschiede wie bei ElSheemy et al. konnten jedoch nicht gezeigt werden. ElSheemy et al. beschrieben in ihrer retrospektiven Studie eine intraoperative Doppel-J Einlage als Folge einer Nierenbeckenperforation in 1,1 % der erfassten Fälle in der Gruppe „Mini-PCNL“ und in 6,6% der Fälle einer konventionellen PCNL. [85]. Kukreja et al. sahen hingegen ein häufigeres Auftreten von intraoperativen Perforationen des Nierenbeckens, welche eine DJ- oder Nephrostomiekatheter-Anlage notwendig machten, in der Gruppe „Mini-PCNL“ [89].

Als möglicher Vorteil der Mini-PCNL in Bezug auf intraoperative Nierenbeckenverletzungen wird diskutiert, dass durch den „vacuum cleaner-effect“ und den vermehrten Einsatz von Holmium:YAG Lasern es zu einem geringeren Einsatz von Faszangen und Fangkörbchen kommt [89] und die Steinbergung dadurch weniger traumatisch wird. Einen solchen verfahrensabhängigen Vorteil konnten wir bei insgesamt vergleichbarer Häufigkeit dieser Komplikationen zwischen den beiden Gruppen nicht klar zeigen. Bei insgesamt jedoch höhergradigen Komplikationen in der Gruppe „konv.-PCNL“ ist ein leichter Vorteil für die Gruppe „Mini-PCNL“ auszumachen.

Auch in Bezug auf intraoperative Blutungskomplikationen konnte kein relevanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen gezeigt werden. In der Gruppe „konv-PCNL“ kam es periinterventionell in 5,9% der Fälle zu intraoperativen Blutungen, in der Gruppe „Mini-PCNL“ in 5,2% der Fälle. Ein wesentlicher Unterschied in den Satava Schweregraden konnte ebenfalls nicht festgestellt werden. Von einem wesentlich atraumatischeren Procedere durch die Miniaturisierung kann demnach auch in diesem Punkt nicht ausgegangen werden.

Im Rahmen der Intervention kam es in der Gruppe „konv.-PCNL“ in 3,8% der Fälle zu Mehrfachpunktionen, um einen Zugangstrakt zu etablieren. In einem Fall verlief die Punktion vollständig frustan, sodass eine offene Stein-OP die Folge war (Satava 3). Mehrfachpunktionen traten in der Gruppe „Mini-PCNL“ deutlich häufiger auf mit 7,2% der Fälle, zu höhergradigen Komplikationen nach Satava kam es jedoch nicht. Zu

berücksichtigen ist bei diesem Unterschied die Tatsache, dass in der Gruppe „konv.-PCNL“, wie oben beschrieben, seltener Neupunktionen vorgenommen wurden wegen eines vorbestehenden Zugangstraktes. Dies verringert die Auftretenswahrscheinlichkeit von periinterventionellen Punktionsproblemen schon von Grund auf.

In keiner der beiden untersuchten Gruppen kam es zu intraoperativen Lagerungsschäden, ebenso wenig zu Organverletzungen. In einem Fall der Gruppe „Mini-PCNL“ (1%) kam es zu einer iatrogenen Verletzung der 12. Interkostalarterie.

In der vorliegenden Studie wurde auch das Verfehlen des primären Therapieziels der Intervention, die Steinextraktion, als intraoperative Komplikation gewertet. Es wurde zusätzlich erfasst, aus welchem Grund das Konkrement nicht interventionell geborgen werden konnte und welche Folgetherapien als Konsequenz daraus resultierten.

Zunächst einmal konnte in der vorliegenden Studie eine postoperative SFR von 68,3% für die konventionelle PCNL und 80,4% für die Mini-PCNL gezeigt werden. Wir konnten damit in der vorliegenden Studie einen signifikanten Unterschied der postoperativen Steinfreiheitsrate zugunsten der Mini-PCNL mit einem p-Wert = 0,035 zeigen. Die postoperative SFR wurde entweder intraoperativ mittel nephroskopischer Sicht oder röntgenologisch festgestellt oder postoperativ mittels Lowdose-CT, Fistelfüllung, i.v. Pyelogramm oder Sonographie.

Im Zusammenhang mit dieser deutlich höheren SFR in der Gruppe „Mini-PCNL“ ist an dieser Stelle explizit nochmals zu bemerken, dass in der Gruppe „Mini-PCNL“ mehr Fälle mit komplexeren und multiplen Steinleiden therapiert wurden bei einer vergleichbaren mittleren kumulativen Konkrementgröße zwischen den Gruppen.

In anderen vergleichenden Studien wurden Steinfreiheitsraten für die konventionelle PCNL von 56-100% [85,87-90,92-95] beschrieben und für die Mini-PCNL von 70-96% [85,87-90,92-95].

Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Interventionen bezüglich der SFR konnte in den meisten Studien nicht beschrieben werden [87-90,93,96]. Cheng et al. sowie Zhong et al. zeigten eine signifikant höhere SFR für die Mini-PCNL [94,95].

EISheemy et al. sowie Giusti et al. konnten hingegen in ihren Studien eine signifikant höherer SFR für die konventionelle PCNL zeigen [85,92]. Als Grund wurden vor allem technische Probleme der Mini-PNL angegeben wie die Tatsache, dass kleinere Nephroskope zu einer geringeren intraoperativen Sicht führen, die Manövrierfähigkeit

in dem miniaturisierten Schaft nur gering ist und viele Hilfsmittel wie Greifzangen noch nicht kompatibel sind mit den miniaturisierten Geräten. Außerdem wurde als Hypothese angegeben, dass die Konkreme auf Grund der geringen Schaftgröße in sehr kleine Fragmente zerteilt werden müssen und diese kleinen Fragmente wiederum eine höhere Tendenz zeigen zu migrieren und damit intraoperativ unerreichbar werden.

Zur genauen Evaluation der verfahrenstechnischen Vor- und Nachteile wurden in der vorliegenden Studie die Gründe der Konkrementpersistenz reevaluiert.

Der häufigste Grund für die postoperative Konkrementpersistenz war die Tatsache, dass das Konkrement intraoperativ nicht lokalisiert werden konnte (13,4% in der Gruppe „konv. PCNL“ vs. 16,5% „Mini-PCNL“), gefolgt von den Fällen, in denen das Konkrement mittels Nephroskop und der Hilfsmittel nicht erreicht werden konnte (12,9% in der Gruppe „konv. PCNL“ vs. 2,1% „Mini-PCNL“).

Die oben beschriebene durch Giusti et al. postulierte Hypothese, dass eine geringere Sicht durch kleinere Nephroskope eine geringere SFR mit sich bringt [92], zeigt sich in geringem Maße dadurch, dass in der Gruppe Mini-PCNL vergleichsweise häufiger Konkreme intraoperativ nicht lokalisiert werden konnten. Ein relevanter Unterschied zeigte sich hier jedoch nicht, sodass die Evidenz für diese Hypothese nur sehr schwach ist.

Bemerkenswert ist, dass in deutlich mehr Fällen der Gruppe „konv. PCNL“ das Konkrement intraoperativ mittels Nephroskop und Hilfsmittel nicht erreicht werden konnte.

Die vorliegende Studie zeigt damit neben der deutlich höheren SFR in der Gruppe „Mini-PCNL“ auch die speziellen Vorzüge der Mini-PCNL, welche sich durch Vorteile der Konkrementbergung ergeben.

Die Fragmente werden im Rahmen der Mini-PCNL im Wesentlichen passiv durch den sogenannten „vacuum cleaner effect“ geborgen [50,80,81]. Dieser Effekt nimmt mit abnehmendem Schaftdurchmesser zu und kommt bei der konventionellen PCNL daher wenig bis gar nicht zum Tragen [80,81]. Dieses Ansaugen von Konkrementen führt dazu, dass Fragmente unmittelbar aus dem Kelchsystem ausgespült werden. Dadurch können auch schlecht erreichbare Fragmente geborgen werden und der



Eingriff ist damit unabhängiger vom Einsatz von Hilfsmitteln wie Faszangen [50,80,81].

Ein weiterer Vorteil der Mini-PCNL ist, dass es wegen dem dünnlumigen Arbeitschaft bevorzugt zum Einsatz von Holmium:YAG Lasern kommt [3,50]. Ganesamoni et al konnten in einer prospektiven und randomisierten Studie zeigen, dass es durch den Einsatz des Holmium: YAG Lasers in der Mini PCNL im Vergleich zu pneumatischen Lithotriptoren aufgrund der geringeren Retropulsion zu weniger Steinmigrationen während der Intervention kommt und sich die Bergung der insgesamt kleineren Fragmente einfacher gestaltet [79]. Der Einsatz des Holmium:YAG Lasers wird daher in den deutschen Leitlinien als effektivstes Lithotripsiesystem titulierte [3]. Auch in den europäischen Leitlinien wird auf den ansteigenden Einsatz des Holmium:YAG Laser in der Mini-PCNL hingewiesen [2].

Zusammenfassend kann man also sagen, dass die Vorteile der Konkrementextraktion bei der Mini-PCNL vor allem durch den „vacuum cleaner effect“ und den vermehrten Einsatz von Holmium:YAG Lasern zustande kommen. Diese Vorteile überwiegen deutlich die von Giusti et al [92] bemerkten Defizite wie eine schlechtere Manövrierbarkeit im miniaturisierten Schaft, die fehlende Kompatibilität von Greifzangen und Probleme, die durch die Konkrementfragmentation entstehen. Dies zeigt sich in der deutlich höheren SFR und der Tatsache, dass es im Rahmen der Mini-PCNL vergleichsweise seltener zu Problemen bei der Konkrementbergung kam.

Ein wesentlicher Schwachpunkt der vorliegenden Studie ist, dass die Lithotripsietechnik der jeweiligen Interventionen in vielen Fällen nicht eruierbar war. Dies ist der retrospektiven Datenanalyse geschuldet. Insbesondere für die Gruppe „konv.- PCNL“ lagen keinerlei Daten zu der Art der verwendeten Lithotriptoren vor. In der Gruppe „Mini-PCNL“ wurden diese Daten leider auch nicht erhoben. Dennoch lässt sich aus der Erfahrung sagen, dass auch an der Universitätsmedizin Mainz die Laserlithotripsie in den vergangenen Jahren im Rahmen der Mini-PCNL deutlich häufiger angewandt wurde als zuvor bei der konventionellen PCNL.

Wie bereits oben beschrieben, wurde das Verfehlen des primären Therapieziels, nämlich die Konkrementextraktion, als intraoperative Komplikation gewertet. Kumar et al. [109] konnten für die PCNL als Sekundärintervention eine vergleichbare Komplikationsrate feststellen wie nach Primärinterventionen. Die Konkrementpersistenz

beinhaltet also nicht nur ein Verfehlen des Therapieziels, sondern führt auch dazu, dass der Patient sich einem kumulativen OP-Risiko ausgesetzt sieht.

Ein Vorteil für die Patienten der Gruppe „Mini-PCNL“ ist, dass sie diesbezüglich mit einer deutlich geringeren Komplikationsrate rechnen müssen.

In 22,5% der Fälle in der Gruppe „konv.-PCNL“ führte die Konkrementpersistenz zu einer Sekundärintervention mittels PCNL, ESWL oder URS (Satava 2b) oder offener OP (Satava 3), hingegen nur in 10,4% der Fälle nach Mini-PCNL. In einer vergleichbaren Häufigkeit mit 7,4% der Fälle nach konventioneller PCNL und 9,4% nach Mini-PCNL wurden für diese Interventionen erneute ambulante und stationäre Aufenthalte notwendig.

Durch die Kombination der Primärintervention und einer PCNL als Sekundärintervention im selben stationären Aufenthalt konnte die kumulative SFR in der Gruppe „konv.-PCNL“ auf 77,4% erhöht werden und war damit immer noch niedriger als die primäre SFR in der Gruppe „Mini-PCNL“.

Die Konkrementpersistenz führte in der vorliegenden Studie jedoch nicht nur zu einer gegenüber der Gruppe „Mini-PCNL“ deutlich vermehrten Anzahl von Folgeinterventionen in der Gruppe „konv.-PCNL“, auch intraoperativ kam es deutlich gehäuft zur Einlage eines DJ aufgrund der Konkrementpersistenz (Satava 2a) und zur Etablierung von zusätzlichen Zugangstrakten (Satava 2a).

In insgesamt 3,2% der Fälle musste in der Gruppe „konv.-PCNL“ die Intervention aufgrund von intraoperativen Komplikationen abgebrochen werden, in der Gruppe Mini-PCNL lediglich in 1% der Fälle.

Wie in den vorangegangenen Abschnitten aufgeführt, wurde für alle Patienten im Auswertedatensatz überprüft, ob und welche Komplikation der verschiedenen Grade nach Satava intraoperativ auftraten. Zusammenfassend zeigte sich, dass in der Gruppe „konv.-PCNL“ in 61,8% der untersuchten Fälle intraoperativ keine Komplikation auftraten. In der Gruppe „Mini-PCNL“ traten mit 71,1% der Fälle deutlich weniger intraoperative Komplikation auf. In der Gruppe „konv.-PCNL“ kam es deutlich häufiger zu Komplikationen der Satava-Grade 2a und 2b, bezüglich der Satava-Grade 1 und 3 zeigten sich die beiden Gruppen nahezu vergleichbar.

Zum statistischen Vergleich zwischen den beiden Gruppen wurde untersucht, ob ein Unterschied zwischen beiden Gruppen hinsichtlich des Auftretens von definierten

„Minor“- und „Major“-Komplikationen bestand. Der Satava-Grad 1, welcher Komplikationen beinhaltet die zu keiner Abweichung vom normalen OP-Procedure führen, wurde von uns neben dem komplikationslosen intraoperativen Verlauf als „Minor“-Komplikation klassifiziert und trat in der Gruppe „konv.-PCNL“ in 74,2% der Fälle auf, in der Gruppe „Mini-PCNL“ hingegen in 88,7% der Fälle. „Major“-Komplikationen beinhalteten die Schweregrade Satava 2a, 2b und 3. Im Falle der konventionellen PCNL kam es in 25,8% der Fälle zu einem „Major“-Ereignis, im Falle der Mini-PCNL in 11,3% der Fälle. Damit kam es im Rahmen der konventionellen PCNL in der vorliegenden Studie zu einem signifikant höheren Anteil an „Major“-Komplikationen, was der p-Wert von 0,005 bestätigt.

Somit unterscheidet sich die Studie deutlich von anderen Studien, in denen kein signifikanter Unterschied bezüglich intraoperativer Komplikationsraten zwischen den beiden genannten Gruppen gezeigt werden konnte [88,89,93,95].

Es ist jedoch kritisch zu diskutieren, dass dieses Ergebnis maßgeblich durch die Wertung der Konkrementpersistenz als intraoperative Komplikation zustande kommt. Wenn man diese ausschließt zeigte sich ein allenfalls geringfügiger Unterschied bezüglich des Auftretens von höhergradigen Komplikationen zwischen den beiden Gruppen. Auch hier zeigte sich jedoch ein leichter Nachteil für die Gruppe „konv.-PCNL“.

Neben den intraoperativen Komplikationen wurden die beiden Gruppen auch hinsichtlich der OP-Dauer untersucht und verglichen. Als OP-Dauer galt in der vorliegenden Studie die Dauer von der Lagerung des Patienten bis zur Beendigung der OP mittels Einlage eines Nephrostomiekatheters, einer Hautnaht oder Applikation einer Gelatine-Matrix zum Wundverschluss. Interventionen die mit weiteren Eingriffen am harnableitenden System kombiniert wurden, wurden in dieser Statistik ausgeschlossen. In der vorliegenden Studie war die mediane OP-Dauer in der Gruppe „konv.-PCNL“ mit 77 Minuten deutlich geringer als die mediane OP-Dauer in der Gruppe „Mini-PCNL“ mit 116,0 Minuten. Auch in anderen vergleichenden Studien zeigte sich die OP-Dauer in der Gruppe „Mini-PCNL“ länger als in der Gruppe „konv.-PCNL“ [85,87-90,92-95]. Einige Studien konnten dabei ein signifikantes Ergebnis präsentieren [85,87,88,92,94].

Insgesamt zeigte sich die OP-Dauer in der vorliegenden Studie teilweise deutlich länger als die in anderen vergleichenden Studien. Knoll et al. [93] gaben beispielweise

eine mittlere OP-Dauer für die konventionelle PCNL von 48 Minuten an und 57 Minuten für die Mini PCNL, Mishra et al. 31,2 Minuten vs. 45,2 Minuten [88], ElSheemy et al. 60,49 Minuten vs. 68,6 Minuten [85] sowie Kukreja et al. 24,69 Minuten vs. 25,46 Minuten [89]. Als Hauptgrund für diese teils erheblichen Unterschiede in der OP-Dauer zwischen den Studien wird die Definition der OP-Dauer angenommen. Grundsätzlich fehlte in allen genannten Studien eine explizite Definition der OP-Dauer [85,87-90,92-95]. Es ist jedoch davon auszugehen, dass in den meisten Fällen die Dauer von der Punktion des Kelchsystems bis zu Beendigung der OP mittels Wundverschluss als Zeitraum gewählt wurde. Die Erfassung dieses Zeitraums war aufgrund der retrospektiven Datenanalyse nicht möglich. Grundsätzlich wäre die Erfassung jedoch sehr wünschenswert gewesen, weil so exogene Faktoren auf die OP-Dauer, wie z.B. das Umlagern von sehr schwergewichtigen Patienten, weniger starken Einfluss gehabt hätten.

Ein wichtiger Grund für die genannten Unterschiede in der OP-Dauer zwischen den beiden Verfahren ist sicher der Bedarf einer prolongierten Lithotripsiedauer in der Gruppe „Mini-PCNL“ im Vergleich zur „konv.-PCNL“. Aufgrund der kleineren Schaftgröße der miniaturisierten Instrumente müssen die Konkremente in deutlich kleinere Fragmente zerkleinert werden, um über den Schaft geborgen werden zu können. Weiterhin ist es jedoch auch extrem wichtig festzuhalten, dass die Datenerhebung an der Universitätsmedizin Mainz in einem Zeitraum erfolgte, als die Mini-PCNL als neues Verfahren implementiert wurde. Die Interventionen wurden von verschiedenen Operateuren mit unterschiedlicher Erfahrung in der Verwendung des miniaturisierten Systems durchgeführt. Schilling et al. konnten in einer retrospektiven Studie die signifikante Verbesserung der OP-Zeit durch eine zunehmende Erfahrung der Operateure mit der Mini-PCNL zeigen [110]. Da die Mini-PCNL insgesamt als relativ neues Verfahren gilt und die konventionelle PCNL ein absolutes Routineverfahren darstellt, ist in Zukunft eine stetige Verkürzung der OP-Dauer in der Gruppe „Mini-PCNL“ zu erwarten.

Wie im vorangegangenen Abschnitt bereits angedeutet stellt die Einlage eines Nephrostomiekatheters in den Punktionkanal eine Option des intraoperativen Wundverschlusses dar. Diese Option galt viele Jahre als integraler Bestandteil der PCNL. In der vorliegenden Studie erfolgte die Einlage eines Nephrostomiekatheters in den Punktionkanal in 98,4% der Fälle in der Gruppe „konv.-PCNL“, in der Gruppe „Mini-

PCNL“ wurde lediglich in 47,4% der Fälle ein Nephrostomiekatheter eingelegt und in 53,5% der Fälle erfolgte der Wundverschluss mittels der Gelatinematrix „Flowseal“.

In den europäischen Leitlinien der EAU und den Leitlinien der DGU wird bei unkompliziertem Verlauf der PCNL die Möglichkeit beschrieben, intraoperativ gänzlich auf eine Harnableitung zu verzichten („totally tubeless“-PCNL) oder bei fehlender Nephrostomie eine Ureterschleife einzulegen („tubeless“-PCNL) [2,3].

In der vorliegenden Studie wurde die PCNL in 54,5% der Fälle in der Gruppe „Mini-PCNL“ im Sinne einer „tubeless“-PCNL durchgeführt, in der Gruppe „konv.-PCNL“ lediglich in 1,1% der Fälle. Die Durchführung der Intervention als „totally tubeless“-PCNL wurde nur in einem Fall in der Gruppe „konv.-PCNL“ beobachtet.

Bereits in den vorangegangenen Abschnitten wurde der deutlich höhere Anteil von „Major“-Komplikationen in der Gruppe „konv.-PCNL“ gezeigt. In Zusammenschau mit den Leitlinienempfehlungen lässt sich aus dem wesentlich größeren Anteil von „tubeless“ Verfahren in der Gruppe „Mini-PCNL“ eine weiteres Mal schließen, dass die Mini-PCNL mit einem vergleichsweise geringeren Anteil an komplizierten intraoperativen Verläufen assoziiert ist.

Die vergleichsweise vermehrte Durchführung der Mini-PCNL als „tubeless“-PCNL konnte auch in anderen vergleichenden Studien zwischen den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ gezeigt werden und zwar mit signifikanten Ergebnissen [88,89].

Die Durchführung der Mini-PCNL als „tubeless-PCNL“ führt nach einigen Studien zu einer signifikanten Reduktion der postoperativen Schmerzen [89,92,111] sowie zu einer geringeren Krankenhausverweildauer [111].

Auch in der vorliegenden Studie wurden die beiden Gruppen im Hinblick auf postoperative Schmerzen miteinander verglichen. Eine explizite Untersuchung für die Subgruppe „tubeless“ in Bezug auf postoperative Schmerzen wurde jedoch nicht vorgenommen, weshalb die Aussagen der genannten Studien [89,92,111] weder widerlegt noch bestätigt werden konnten.

Ein vorrangiges Ziel bei der Entwicklung der Mini-PCNL-Technik war die Verringerung des interventionsbedingten Gewebeschadens durch die Miniaturisierung. Dadurch erhoffte man sich eine Reduktion der postoperativen Komplikationen, insbesondere auch der postoperativen Schmerzen. Die postoperative Schmerzreduktion

durch die Verwendung von miniaturisierten Zugangsschäften wurde unter anderem von Pietrow et al. sowie Desai et al. beschrieben [112,113].

In der vorliegenden Studie wurde in den beiden untersuchten Gruppen differenziert betrachtet, welche Formen der stationären analgetischen Festmedikation den Patienten verordnet wurde und welche analgetische Bedarfsmedikation zusätzlich verabreicht wurde. Verglichen wurde dabei die Verwendung von Analgetika verschiedener Schmerzstufen nach WHO-Stufenschema [101]. Dadurch unterscheidet sich die Studie von anderer Studien, die den postoperativen Schmerzbedarf uneinheitlich wiedergeben, entweder als kumulative Gabe von Opiatklassen in mg [87,93], als Tramal in mg [88,89] oder ohne Definition der Stoffklasse [92].

Sowohl unmittelbar postoperativ im Rahmen der anästhesiologischen Überwachung im Aufwachraum als auch im weiteren stationären Aufenthalt zeigte sich in der vorliegenden Studie vor allem ein vermehrter Einsatz von Analgetika der Stufe 3 nach WHO in der Gruppe „Mini-PCNL“. Vor allem der postoperative Einsatz dieser Gruppe als Bedarfsmedikation wurde nach einer „Mini-PCNL“ gehäuft festgestellt. Bezüglich der anderen Analgetikaklassen nach WHO zeigten sich die beiden Gruppen postoperativ im Wesentlichen vergleichbar.

Geht man davon aus, dass sich die individuellen Schmerzen eines Patienten durch die postoperative analgetische Therapie annähernd objektivieren lassen, ist in der vorliegenden Studie von einem leicht vermehrten Auftreten von postoperativen Schmerzen in der Gruppe „Mini-PCNL“ auszugehen.

Es ist zu betonen, dass auch in anderen vergleichenden Studien keine signifikante Schmerzreduktion durch die Durchführung der PCNL als Mini-PCNL gezeigt werden konnte [87-89,92,93]. Die postoperativen Schmerzen wurden in diesen Studien rein deskriptiv als gleich stark [89] bis geringer [93] in der Gruppe „Mini-PCNL“ bewertet, bei teilweise gleich hohem [87,89] bis geringerem Schmerzmittelverbrauch [88,92,93] nach Mini-PCNL.

Die Reduktion der postoperativen Schmerzen durch ein geringeres operatives Trauma durch die Mini-PCNL konnte demnach nicht gezeigt werden.

Des Weiteren wurden die beiden Gruppen daraufhin untersucht, ob es einen Unterschied hinsichtlich des interventionsbedingten Gewebes Schadens gab. Da der Umfang einer Akute-Phase-Reaktion annähernd mit dem interventionsbedingten

Gewebeschaaden korreliert [114], wurde in beiden Gruppen der prä- und postoperative Wert des C-reaktiven Proteins reevaluiert.

In der vorliegenden Studie zeigte sich dabei ein vergleichbarer Anstieg des Proteins in beiden Gruppen im prä-/postoperativen Vergleich. Eine quantifizierbare Reduktion des Gewebeschaadens, indem die PCNL mittels miniaturisierten Instrumenten durchgeführt wird, konnte somit von uns nicht gezeigt werden. Zu dem gleichen Ergebnis kamen auch Li et al. [87] durch die laborchemische Bestimmung prä- und postoperativer inflammatorischer Mediatoren wie Tumornekrosefaktor- $\alpha$ , Interleukin-6, Interleukin-10 und des C-reaktiven Proteins.

Es ist kritisch zu diskutieren, dass in der vorliegenden Studie aufgrund der retrospektiven Datenanalyse der Wert der C-reaktiven Proteins postoperativ nicht immer zum selben Zeitpunkt erhoben wurde. Außerdem wurden deutlich bessere Mediatoren für den Gewebeschaaden wie Interleukin-6 nicht standardmäßig erfasst.

Wie bereits beschrieben bestand die wesentliche Motivation zur Entwicklung von miniaturisierten PCNL-Verfahren darin, die interventionsbedingte Morbidität der PCNL zu reduzieren. Dazu zählt vor allem auch die Reduktion von postoperativen Blutungskomplikationen. In vielen der vergleichenden Studien zwischen der konventionellen PCNL und der Mini-PCNL wurde ein Unterschied in der Transfusionsrate zwischen den beiden Gruppen untersucht [87-90,92,94,95]. Dabei zeigten sich in der Gruppe „konv.-PCNL“ postoperative Transfusionsraten von 0 - 15,2% [87-90,92,94,95] und in der Gruppe „Mini-PCNL“ von 0 - 3,7% [87-90,92,94,95]. Der gezeigte Unterschied war in mehreren Fällen zu Gunsten der Mini-PCNL signifikant [87,90,94] und in nur einer Studie nicht signifikant [88]. In anderen Fällen wurde der Unterschied nicht auf Signifikanz untersucht, fiel aber rein deskriptiv zugunsten der Mini-PCNL aus [85,89,92,95]. In der vorliegenden Studie zeigte sich die postoperative Transfusionsrate in der Gruppe „Mini-PCNL“ mit 4,1% deutlich geringer als in der Gruppe „konv.-PCNL“ mit 9,1%. Wir konnten in diesem Fall einen deutlichen Unterschied in der Transfusionsrate von Erythrozytenkonzentraten zugunsten der Mini-PCNL zeigen, wenn auch das Signifikanzniveau aufgrund der nicht ausreichend großen Studienpopulation mit einem p-Wert von 0,155 nicht erreicht werden konnte. Des Weiteren zeigte sich in der vorliegenden Studie ein geringerer Hb-Abfall in der Gruppe „Mini-PCNL“ mit 1,60 g/dl im Gegensatz zu 1,85 g/dl in der Gruppe „konv.-PCNL“. Dies entspricht im Wesentlichen auch der Erkenntnis anderer vergleichender Studien, in

denen ein signifikanter Unterschied im Hb-Abfall [87-90] oder des Hämatokrits [89,92] zugunsten der Gruppe „Mini-PCNL“ gezeigt werden konnte.

Gemäß den vorliegenden Ergebnissen ist insgesamt von einem deutlichen Vorteil der Mini-PCNL im Hinblick auf postoperative Blutungskomplikationen auszugehen. Der wesentliche Vorteil der Mini-PCNL liegt dabei aller Wahrscheinlichkeit darin, dass der reduzierte Schaftdurchmesser bei der Mini-PCNL ein geringeres Potential aufweist, renale Gefäße zu verletzen. Verschiedene Publikationen konnten zeigen, dass die intra- und postoperativen Blutungskomplikationen direkt abhängig von der Größe des Zugangstraktes sind [77,78]. Auch der vermehrte Einsatz der „Single-step-dilatation“ im Rahmen der Mini-PCNL ist ein möglicher Faktor für die geringere Häufigkeit von Blutungskomplikationen in dieser Gruppe. Durch die „Single-step-dilatation“ mittels eines Spezialedelstahlbougies wird bei der Mini-PCNL der Punktionskanal vorsichtig geweitet, bevor der vergleichsweise dünnlumige Arbeitsschaft eingebracht wird. Bei der konventionellen PCNL wird die Dilatation zumeist als „Multiple-step-dilatation“ durchgeführt [50]. Durch serielles Einbringen von Dilatatoren zunehmender Größe wird der Punktionskanal zunehmend gedehnt, bis der vergleichsweise dicklumigere Arbeitsschaft eingebracht werden kann. Diese Notwendigkeit der seriellen Dilatation erhöht das Risiko der renalen Gefäßverletzung und ist sicher ein wesentlicher Punkt für die höhere Blutungsrate. Hinweise dafür, dass das geringere Trauma durch eine „Single-step-dilatation“ mit einem geringeren Blutverlust assoziiert ist, liegen in der Literatur bereits vor [76], konnten aber nicht grundsätzlich bewiesen werden [74].

Hinsichtlich der Bewertung der Blutungskomplikationen ist zu betonen, dass in der vorliegenden Studie für alle untersuchten Fälle präoperativ die Hämostaseparameter INR, Quick und aPTT reevaluiert wurden. Die beiden verglichenen Gruppen zeigten sich bezüglich dieser Werte präoperativ absolut vergleichbar. Der bestimmte Median der Hämostaseparameter lag dabei in beiden Gruppen im Normbereich.

Es wurden auch Patienten mit einer medikamentösen Thrombozytenaggregationshemmung und Antikoagulation sowie Störungen der primären und sekundären Hämostase inkludiert. In vielen anderen vergleichenden Studien werden solche Patienten exkludiert [85,88,90,95]. Die Tatsache, dass die beiden untersuchten Gruppen bezüglich der Hämostaseparameter präoperativ absolut vergleichbar waren, ist von großer Relevanz. Aufgrund dieser Vergleichbarkeit ist davon auszugehen, dass Unterschiede in den postoperativen Blutungskomplikationen primär auf Unterschiede in



der Verfahrenstechnik zurückzuführen sind und nicht durch die Patientenselektion in den Gruppen bedingt sind.

Neben den transfusionspflichtigen postoperativen Blutungen wurde der Auswertedatensatz auch auf andere Komplikationen hin untersucht, die mit einer postoperativen Blutung assoziiert sind. In unserer Studie kam es in der Gruppe „konv.-PCNL“ deutlich häufiger zu einer prolongierten postoperativen Makrohämaturie (>48 h) als in der Gruppe „Mini-PCNL“ (34,9% vs. 19,6%). Außerdem kam es etwas vermehrt zu manuellen Blasentamponadenausräumungen in der Gruppe „konv.-PCNL“ (1,6% vs. 0%). Zur Unterstützung der Gerinnung bei Blutungskomplikationen erhielten in der Gruppe „konv.-PCNL“ 1,1% der Patienten eine Transfusion mit Thrombozytenkonzentraten und 4,8% der Patienten erhielten Antifibrinolytika. Solche Maßnahmen wurden in der Gruppe „Mini-PCNL“ nicht notwendig, was wiederum den Nachteil der „konv.-PCNL“ im Hinblick auf postoperative Blutungen unterstreicht.

In vergleichbarer Häufigkeit kam es in beiden Gruppen postoperativ zur sekundären Einlage eines Spülkatheters aufgrund der Makrohämaturie, zu Nephostomawechseln im Sinne eines Downsizings im Rahmen der Makrohämaturie, zu postoperativen retroperitonealen Hämatomen und zur operativen Ausräumung von Blasentamponaden.

In 1% der Fälle nach Mini-PCNL wurde eine radiologische Intervention notwendig zur arteriellen Embolisation eines iatrogenen Pseudoaneurysmas. Diese Komplikation trat in der Gruppe „konv.-PCNL“ nicht auf.

In 1,1% der Fälle der Gruppe „konv.-PCNL“ kam es zu Arrosionsblutungen im Bereich der Punktionsstelle. Da diese in der Gruppe „Mini-PCNL“ nicht auftraten kann davon ausgegangen werden, dass die Größe des Zugangsschaftes hier eine besondere Rolle spielt.

Eine differenzierte Aufführung wie die der oben genannten Blutungskomplikationen fehlt in den meisten anderen vergleichenden Studien zwischen den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“. Dies liegt insbesondere daran, dass nur wenige Studien die Einteilung der postoperativen Komplikationen nach Clavien-Dindo verwenden [85,89,90]. Gemäß dieser Einteilung spielt es für die Schweregradbewertung der Blutungskomplikation eine wesentliche Rolle, welche Folgetherapie zur Behebung der Komplikation gewählt wurde. So wird meist wie in der Studie von Knoll et al. verallgemeinernd von einem Vorteil der Mini PCNL im Hinblick auf „intra- und postoperative Blutungen“ gesprochen [93]. Eine etwas differenzierte Aufführung findet sich

allenfalls bei Elsheemy et al. sowie Güler et al [85,90]. ElSheemy et al beschrieben ein leicht vermehrtes Auftreten von therapiebedürftigen Hämatomen in der Gruppe „konv.-PCNL“ mit der Notwendigkeit einer radiologischen Embolisation. Bei Güler et al [90] kam es in keiner der beiden untersuchten Gruppen zu Blutungen mit einer radiologischen Embolisation als Folge. Weitere differenzierte Aufführungen zu postoperativen Blutungskomplikationen finden sich in der eingesehenen Literatur nicht [85,87-90,92-96].

Zur weiteren Untersuchung der postoperativen Blutungskomplikationen wurde in der vorliegenden Studie in einem Nachbeobachtungszeitraum von 3 Monaten für alle Fälle retrospektiv untersucht, ob eine erneute, direkt auf die Primärintervention zurückführbare Wiedervorstellung in der urologischen Abteilung der Universitätsmedizin Mainz erfolgte. Dabei kam es in der Gruppe „konv.-PCNL“ mit 4,8%, im Vergleich zu 2,1% in der Gruppe „Mini-PCNL“, häufiger zu stationären Wiederaufnahmen nach der Intervention. Dabei zeigte sich, dass bei 1,1% der Fälle in der Gruppe „konv.-PCNL“ erneut eine Transfusion von Erythrozytenkonzentraten notwendig wurde, in 1,1% die Gabe eines Antifibrinolytikums, in 1,6% musste erneut bei Makrohämaturie ein Spülkatheter eingelegt werden, in 0,5% erfolgte eine radiologisch-arterielle Embolisation bei Pseudoaneurysmen und in 0,5% erfolgte eine postoperative Blasen-tamponadenausräumung.

In der Gruppe „Mini-PCNL“ kam es zu vergleichsweise deutlich weniger stationären Aufnahmen wegen postoperativen Blutungskomplikationen. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass aufgrund der retrospektiven Auswertung der Daten nicht davon ausgegangen werden kann, dass alle Patienten mit ihren Komplikationen in der Universitätsmedizin aufgenommen wurden. Hier wäre eine prospektive Datenerhebung deutlich aussagekräftiger mit konkreten Nachbeobachtungszeiträumen für die Patienten.

Neben den nun bereits diskutierten Blutungskomplikationen werden in den Leitlinien der EAU und der DGU auch Fieber und Sepsis als häufige Komplikationen der PCNL angegeben [2,3]. In vergleichenden Studien wurde das postoperative Auftreten von Fieber in 0-20% [85,87,89,90,93,95] der Fälle nach konventioneller PCNL und in 1,6-12% [85,87,89,90,93,95]. der Fälle nach Mini-PCNL beschrieben. In den meisten Fällen wurde dabei ein häufigeres, statistisch nicht-signifikantes Auftreten von Fieber in der Gruppe „konv.-PCNL“ gezeigt [85,87,93,95]. Auch in der vorliegenden Studie konnte ein vermehrtes Auftreten von postoperativem Fieber in der Gruppe „konv.-

PCNL“ gezeigt werden. Zudem kam es in der Gruppe „konv.-PCNL“ häufiger zu postoperativen nosokomialen Harnwegsinfektionen sowie zu schweren infektassoziierten Komplikationen wie einem septischen Schock bei Urosepsis oder zu einer infektbedingten Nephrektomie. Zu vergleichbar schweren Krankheitsbildern wie Sepsis, septischer Schock und infektbedingter Nephrektomie kam es in der Gruppe „Mini-PCNL“ nicht. Weiterhin ist zu erwähnen, dass es im dreimonatigen Nachbeobachtungszeitraum nach PCNL in 1,1% der Fälle nach konventioneller PCNL zu einer stationären Wiederaufnahme bei schwerer Urosepsis kam, in der Gruppe „Mini-PCNL“ trat dieses Ereignis nicht auf.

Als möglicher Vorteil der „Mini-PCNL“ hinsichtlich des Auftretens von postoperativen Infekten kann der bereits oben genannte „vacuum cleaner effect“ diskutiert werden. Dieser Effekt führt dazu, dass Konkremente bzw. Fragmente intraoperativ unmittelbar mittels Sog aus dem Nierenbeckenkelchsystem ausgespült werden. Dadurch müssen seltener Fasszangen und Körbchen zur Konkrementbergung in das Nierenbecken eingebracht werden. Dies reduziert die Möglichkeit der iatrogenen Keimverschleppung in das Nierenbecken. Abschließende Beweise für die Hypothese liegen jedoch nicht vor.

Zu betonen ist, dass bisher nur in wenigen Studien eine explizite Untersuchung von postoperativen Infektkomplikationen vorgenommen wurde [95,115].

In der vergleichenden Studie von Zhong et al. wurde dabei kein wesentlicher Unterschied im Hinblick auf postoperative Infekte zwischen den beiden Gruppen gesehen [95]. In der vergleichenden Studie von Wu et al. [115] wurde hingegen ein häufigeres Auftreten von postoperativen Infektionen in der Gruppe „Mini-PCNL“ gesehen. Als mögliche Ursache wurde in dieser Studie diskutiert, dass die häufig längere OP-Dauer bei der Mini-PCNL intraoperativ zu einer prolongierten intrarenalen Druckerhöhung führt. Dies führt laut dieser Studie zu einer vermehrten Resorption von Bakterien und Endotoxinen in der Niere [115]. Bei kumulativ mehr infektassoziierten Komplikationen in der Gruppe „konv.-PCNL“ bei deutlich kürzerer OP-Dauer ist diese Hypothese gemäß unserer Studie jedoch als eher schwach anzusehen.

Hinsichtlich der Bewertung der Infektkomplikationen in der vorliegenden Studie ist kritisch zu diskutieren, dass in die Gruppe „konv.-PCNL“ etwas vermehrt Patienten eingeschlossen wurden, bei denen prädiktive Faktoren für das Auftreten von postoperativem Fieber vorlagen. Gutierrez et al [116] konnten zeigen, dass eine positive

präoperative Urinkultur, die präoperative Einlage von Nephrostomien, Diabetes mellitus und das Vorhandensein von Ausgusssteinen eng mit dem postoperativen Auftreten von Fieber korrelieren. In der vorliegenden Studie zeigten sich präinterventionelle Harnwegsinfekte, systemische bakterielle Infektionen und präinterventionell einliegende Nephrostomien häufiger in der Gruppe „konv.-PCNL“. Die Merkmale Diabetes mellitus sowie Immunsuppression waren gleich zwischen den Gruppen verteilt. Ausgusssteine zeigten sich deutlich vermehrt in der Gruppe „Mini-PCNL“. Grundsätzlich wäre es in weiteren Studien sinnvoll, diese prädiktiven Faktoren in die beiden Gruppen gleich zu randomisieren oder sie auszuschließen. In einigen vergleichenden Studien werden aus diesem Grund Patienten mit urogenitalen Infekten exkludiert [85,88].

Ein wichtiger anerkannter Risikofaktor für Harnwegsinfektionen und vor allem auch systemische bakterielle Infektionen, die von den Harnwegen ausgehen, ist die Obstruktion der ableitenden Harnwege mit konsekutivem Harnstau. In der vorliegenden Studie kam es in den beiden untersuchten Gruppen vergleichbar häufig zu einer postoperativen Harnstauung. Ein unmittelbarer Einfluss dieser Komplikation auf die infektassoziierten Komplikationen ist also nicht zu erwarten.

In der Gruppe „konv.-PCNL“ wurde diese Komplikation meist durch die Einlage eines transurethralen Dauerkatheters behoben. In der Gruppe „Mini-PCNL“ wurde vergleichsweise häufiger die sekundäre Einlage eines Nephrostomiekatheters oder eines DJ notwendig. Da für die Einlage eines Nephrostomiekatheters oder eines DJ eine endoskopische Intervention notwendig wird, kam es definitionsgemäß in der Gruppe „Mini-PCNL“ zu vergleichsweise höhergradigen Komplikationen nach Clavien-Dindo als in der Gruppe „konv.-PCNL“. Ein möglicher Grund dafür, dass in der vorliegenden Studie nach der Mini-PCNL postoperativ häufiger ein Nephrostomiekatheter oder ein DJ zur Förderung der Harnabflusses eingelegt werden musste, ist wahrscheinlich die Tatsache, dass die postoperative Sicherung des Harnabflusses im Falle der Mini-PCNL in den meisten Fällen nur kurzzeitig über einen einliegenden Ureterkatheter erfolgte. Dieser wurde in der Regel zwischen dem ersten und dritten postoperativen Tag entfernt. In den wenigsten Fällen lag außerdem ein periinterventionell eingelegter Nephrostomiekatheter zur Sicherung des Harnabflusses vor. In der Gruppe „konv.-PCNL“ erfolgte die Sicherung des Harntransportes zumeist durch eine Kombination aus Nephrostomiekatheter und eines im Vergleich zum UK deutlich prolongiert einliegenden DJ-Katheter. Der Harntransport wurde in der Gruppe „konv.-

PCNL“ also deutlich forciert mittels einer Kombination aus äußeren und inneren Harnableitungen gesichert. Dies ist der Grund für die vergleichsweise seltenere postoperative Einlage von DJ-Kathetern und Nephrostomiekathetern in der Gruppe „konv.-PCNL“.

Die vergleichsweise kürzere Anwendung einer inneren Harnableitung bei oftmals fehlender äußerer Harnableitung ist auch als möglicher Grund für das vermehrte Auftreten eines postoperativen Urinoms in der Gruppe „Mini-PCNL“ aufzuführen. In der vorliegenden Studie trat dieses in 2,1% der Fälle nach Mini-PCNL auf, jedoch nicht in der Gruppe „konv.-PCNL“. In anderen vergleichenden Studien wurde das Auftreten eines postoperativen Urinoms nicht beschrieben [85,87-89,92-96].

Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich der postoperativ einliegenden inneren und äußeren Harnableitungen spielt auch bei einer weiteren postoperativen Komplikation eine wesentliche Rolle. In der vorliegenden Studie kam es postoperativ in der Gruppe „konv.-PCNL“ deutlich häufiger zu kaliko-kutanen Fistelbildungen. Ein wesentlicher Grund dafür ist sicher, dass in der Gruppe „konv.-PCNL“ vergleichsweise häufiger ein Nephrostomiekatheter postoperativ einlag als in der Gruppe „Mini-PCNL“. Durch das teils mehrtägige Einliegen des Nephrostomiekatheters im ursprünglichen Punktionskanal wird die Fistelbildung zwischen Nierenbecken und der Hautoberfläche nach Zug des Katheters gefördert. In der Gruppe „Mini-PCNL“ wurde die PCNL in vielen Fällen als „tubeless-PCNL“ durchgeführt. Durch die fehlende Drainage des Nierenbeckenkelchsystems mittels Nephrostomiekatheter nach außen war das Risiko einer kaliko-kutanen Fistelbildung geringer. Eine signifikant geringere Häufigkeit von kaliko-kutanen Fisteln im Rahmen der „tubeless“-PCNL wurde auch von Desai et al. beschrieben [113]. ElSheemy et al. zeigten in ihrer retrospektiv-vergleichenden Studie zwischen den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ ebenfalls ein häufigeres Auftreten von kaliko-kutanen Fisteln in der Gruppe „konv.-PCNL“ [85]. Ein relevanter Unterschied im Hinblick auf höhergradige Komplikationen nach Clavien-Dindo bedingt durch solche Fisteln konnte in der vorliegenden Studie zwischen den beiden untersuchten Gruppen nicht gezeigt werden. In geringer Häufigkeit kam es in der Gruppe „konv.-PCNL“ bedingt durch solche Fisteln zur Anwendung von kutanen Nahttechniken und zur erneuten Einlage von inneren Harnableitungen. In der Gruppe „Mini-PCNL“ kam es nicht zu solchen Komplikationen. In der vergleichenden Studie von ElSheemy et al kam es in 3,3% der Fälle nach

konventioneller PCNL zu interventionsbedürftigen postoperativen Fisteln, in der Gruppe „Mini-PCNL“ mit 0,3% vergleichsweise seltener [85].

Um einen möglichen Einfluss der Miniaturisierung der PCNL auf die Nierenfunktion zu untersuchen wurde in der vorliegenden Studie sowohl prä- als auch postoperativ nach PCNL der Kreatininwert der Patienten bestimmt. Es zeigte sich dabei kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen im Hinblick auf den medianen und mittleren Kreatininanstieg nach der jeweiligen Intervention. Ein akutes Nierenversagen des Stadium 1 nach KDIGO zeigte sich etwas häufiger in der Gruppe „Mini-PCNL“. Hingegen zeigten sich schwere Komplikationen etwas häufiger in der Gruppe „konv.-PCNL“. In der Gruppe „konv.-PCNL“ kam es in jeweils 0,5% der Fälle zur Ausbildung einer dialysepflichtigen Niereninsuffizienz und zu einer Nephrektomie bei postoperativem Funktionsverlust der operierten Niere.

Ein relevanter Unterschied im Hinblick auf behandlungsbedürftige Nierenversagen zwischen den beiden Gruppen konnte jedoch nicht gezeigt werden.

Ein möglicher Grund für die etwas größere Häufigkeit von akuten Nierenversagen des Stadium 1 nach KDIGO in der Gruppe „Mini-PCNL“ ist die vergleichsweise noch lange OP-Dauer in der Gruppe „Mini-PCNL“. Durch eine prolongierte OP-Dauer wird das Nierenparenchym vergleichsweise länger einem erhöhten intrarenalen Druck durch die Spülflüssigkeit ausgesetzt. Dies führt zu einer a.e. kurzfristigen postoperativen Funktionseinschränkung der Niere. Anzumerken ist, dass der Einfluss der Miniaturisierung der PCNL auf die Nierenfunktion nur in sehr wenigen vergleichenden Studien untersucht wurde. Wu et al. sowie Güler et al. konnten in vergleichenden Studien zwischen den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ postoperativ ebenfalls einen vergleichsweise größeren Kreatininanstieg in der Gruppe „Mini-PCNL“ zeigen [90,115].

Weitere Komplikationen, die in den Leitlinien der EUA und DGU genannt werden wie Organverletzungen oder thorakale Komplikationen, traten in unserer Studie nicht auf [2,3]. In der Gruppe „konv. PCNL“ kam es zu einem Todesfall als Folge der Intervention (0,5%). in der Gruppe „Mini-PCNL“ kam es zu keinem Todesfall.

Zur Schweregradeinteilung von postoperativen Komplikationen wurde in der vorliegenden Studie die modifizierte Clavien- Dindo Klassifikation verwendet. Die Zuteilung des Schweregrades der Komplikation erfolgt bei dieser Klassifikation anhand der Art und Invasivität der Folgetherapie, welche notwendig wird um die Komplikation zu

beheben [100]. Die Verwendung der Clavien-Dindo Klassifikation zur systematischen Erfassung und Schweregradeinteilung von postoperativen Komplikationen wird von der EAU empfohlen [117].

Wie in den vorangegangenen Abschnitten aufgeführt, wurde für alle Patienten im Auswertedatensatz überprüft, ob und welche Komplikationen der verschiedenen Schweregrade nach Clavien-Dindo vorlagen. Dabei zeigte sich, dass in 81,4% der Fälle in der Gruppe „Mini-PCNL“ postoperativ keine Komplikationen auftraten. In der Gruppe „konv.-PCNL“ blieben im Gegensatz dazu lediglich 65,1% der untersuchten Fälle komplikationslos.

Ein ebenfalls deutlicher Unterschied zwischen den beiden Gruppen zeigte sich vor allem im Hinblick auf die Clavien-Dindo Schweregrade 1 und 2. Komplikationen dieser Schweregrade traten deutlich vermehrt in der Gruppe „konv.-PCNL“ auf. Wesentliche Komplikationen die diesem Schweregrad zugeordnet wurden und maßgeblich zu diesem Unterschied beitrugen, waren die oben benannten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich der Gabe von Transfusionen (Clavien-Dindo 2) und der Gabe von Antifibrinolytika (Clavien-Dindo 2) sowie Unterschiede bezüglich nosokomialer Harnwegsinfekte (Clavien-Dindo 2) und Fieber (Clavien-Dindo 1).

Hinsichtlich der Clavien-Dindo Schweregrade 3a,3b,4a,4b und 5 zeigten die beiden Gruppen keine größeren Unterschiede.

Zum statistischen Vergleich zwischen den beiden Gruppen „konventionelle-PCNL“ und „Mini-PCNL“ wurde untersucht, ob ein Unterschied zwischen den beiden Gruppen bestand hinsichtlich des Auftretens von definierten „Minor“- und „Major“-Komplikationen. Bei Patienten der „Minor-Gruppe“ wurden postoperativ Komplikationen der Clavien-Dindo Schweregrade 1 und 2 festgestellt oder es lag keine postoperative Komplikation vor. Die „Major-Gruppe“ wurde von Patienten mit einem Clavien-Dindo Schweregrad von 3a, 3b, 4a, 4b oder 5 gebildet. Es wurde statistisch getestet, ob sich die beiden Gruppen im Hinblick auf das Auftreten von höhergradigen Komplikationen („Major“-Komplikationen) unterscheiden. In der Gruppe „konv.-PCNL“ trat in 94,6% der Fälle ein „Minor“-Ereignis ein und in 5,4% der Fälle ein „Major“-Ereignis. In der Gruppe „Mini-PCNL“ trat in 93,8% der Fälle ein „Minor“-Ereignis ein und in 6,2% ein „Major“-Ereignis.

Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ hinsichtlich des Auftretens von postoperativen „Minor“- und „Major“-

Komplikationen gezeigt werden ( $p$ -Wert = 0,790). Bei deskriptiv insgesamt mehr postoperativen Komplikationen in der Gruppe „konv.-PCNL“ (v.a. Clavien-Dindo I und II), ist davon auszugehen, dass das Verfehlen des Signifikanzniveaus maßgeblich durch die Einbeziehung der komplikationslosen Fälle in die Kategorie „Minor“ zustande kommt.

In einigen Studien werden die postoperativen Komplikationsraten in den Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ ebenfalls als vergleichbar beschrieben [87,88,92]. Jedoch wird nur in wenigen anderen vergleichenden Studien wie in der vorliegenden Studie die modifizierte Clavien-Dindo Klassifikation zur Einteilung von postoperativen Komplikationen verwendet [85,89,90]. Eine Vergleich zwischen den Studien ist wegen der unterschiedlichen Erfassung von Komplikationen schwierig.

Ein statistischer Vergleich bezüglich des Auftretens von postoperativen Komplikationen wurde nur in einer weiteren Studie vorgenommen. ElSheemy et al. sahen eine signifikant höhere Komplikationsrate in der Gruppe konventionelle PCNL [85]. Wichtig ist allerdings zu sagen, dass die Clavien-Dindo-Klassifikation in dieser Studie teilweise falsch angewandt wurde. Entgegen der Empfehlung der EAU wurden auch intraoperative Komplikationen in die Klassifikation mit einbezogen, womit die Ergebnisse durchaus kritisch diskutiert werden sollten. In der vorliegenden Studie wurden die intraoperativen Komplikationen gemäß Empfehlung der EAU standardisiert erfasst und zwar mit der Satava Klassifikation [117]. Bezüglich der Auswertung der vorliegenden Studie muss abschließend erwähnt werden, dass Sekundärinterventionen (URS, ESWL, PNL) aufgrund einer Konkrementpersistenz im Rahmen der Primärintervention nicht als postoperative Komplikation gewertet wurde. Damit folgten wir der Argumentation von Tefekli et al. [118] sowie Seitz et al. [119], die für die PCNL argumentieren, dass Sekundärinterventionen (PNL, ESWL, URS) nicht als Komplikation einer PCNL gewertet werden, sondern als normales Therapieprocedere angesehen werden müssen. Dieses Procedere wird auch in anderen großen Studien empfohlen [120].

Zuletzt wurden alle Fälle im Auswertedatensatz hinsichtlich der Hospitalisationsdauer untersucht. Die mediane Hospitalisationsdauer betrug in der vorliegenden Studie nach konventioneller PCNL im Median 7 Tage (Mittelwert 9,12 Tage). In der Gruppe „Mini-PCNL“ zeigte sich eine vergleichsweise kürzere Hospitalisationsdauer mit im Median 5 Tagen stationärem Aufenthalt (Mittelwert 5,32). Eine IMC Überwachung



war etwas häufiger in der Gruppe „Mini-PCNL“ notwendig. Im Hinblick auf die intensivmedizinische Überwachung zeigten sich keine Unterschiede.

Signifikante Vorteile in der Hospitalisationsdauer konnten in mehreren vergleichenden Studien gezeigt werden [88,90,92,93]. Die expliziten Vorteile der Mini-PCNL hinsichtlich der Hospitalisationsdauer wurden in der vorliegenden Studie nicht herausgearbeitet. Ein wesentlicher Grund dafür mag das vermehrte Durchführen der Mini-PCNL als „Tubeless“-Verfahren sein. Dies war in entsprechenden Studien mit einer vergleichsweise geringeren Hospitalisationsdauer assoziiert [111].

## 7 Zusammenfassung

Primäres Ziel der vorliegenden Studie war es anhand einer vergleichsweise großen Anzahl von Falldaten die konventionelle PCNL und Mini-PCNL im Hinblick auf intra- und postoperative Komplikationen sowie Effektivität miteinander zu vergleichen und so zunehmende Evidenz bezüglich des Einsatzes von miniaturisierten Verfahren zu schaffen. Zu diesem Zweck wurden retrospektiv die Falldaten von 283 Patienten ausgewertet, welche zwischen Juli 2011 und Juli 2017 eine konventionelle PCNL oder Mini-PCNL an der Klinik und Poliklinik für Urologie und Kinderurologie der Universitätsmedizin Mainz zur Therapie einer Urolithiasis erhielten. Insgesamt 186 Patienten erhielten eine konventionelle PCNL und 97 Patienten eine Mini-PCNL. Alle ausgewerteten Interventionen wurden als Primärintervention durchgeführt.

Zum Vergleich der beiden Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ hinsichtlich des Auftretens von intraoperativen Komplikationen wurden in der vorliegenden Studie alle intraoperativen Komplikationen mittels des Satava-Scores systematisch erfasst. Zum statistischen Vergleich wurde untersucht, ob zwischen den beiden Gruppen ein Unterschied bestand hinsichtlich des Auftretens von definierten „Minor“- (keine Komplikation/Satava 1) und „Major“-Komplikationen (Satava 2a-3). Es zeigte sich, dass es im Rahmen der konventionellen PCNL zu einem signifikant höheren Anteil an „Major“-Komplikationen kam, was wir mit einem p-Wert von 0,005 zeigen konnten. Dieses Ergebnis unterscheidet sich klar von dem anderer vergleichenden Studien zwischen konventioneller- und Mini-PCNL, in denen kein signifikanter Unterschied bezüglich der intraoperativen Komplikationsraten gezeigt werden konnte [88,89,93,95]. Es ist kritisch zu diskutieren, dass der gezeigte Unterschied zwischen den beiden Gruppen in der vorliegenden Studie maßgeblich durch die Wertung der Konkrementpersistenz als intraoperative Komplikation zustande kommt. Bezüglich der häufigsten in der Literatur erfassten intraoperativen Komplikationen, nämlich intraoperativen Blutungen und iatrogenen Nierenbeckenperforationen, zeigte sich zwischen den beiden Gruppen kein Unterschied.

Zum Vergleich der beiden Gruppen „konv.-PCNL“ und „Mini-PCNL“ hinsichtlich des Auftretens von postoperativen Komplikationen wurden in der vorliegenden Studie alle postoperativen Komplikationen mittels der Clavien-Dindo Klassifikation systematisch erfasst. Zum statistischen Vergleich der beiden Gruppen wurde untersucht, ob ein Unterschied bestand hinsichtlich des Auftretens von definierten „Minor“- (keine

Komplikation/Clavien-Dindo Grade 1 und 2) und „Major“-Komplikationen (Clavien-Dindo Grade 3-5). Wir konnten in diesem Fall keinen Unterschied im Eintritt von Major-Ereignissen zwischen den beiden Gruppen zeigen (p-Wert = 0,790). Dies entspricht dem Ergebnis anderer vergleichender Studien [87,88,92].

Zu betonen ist jedoch, dass eine systematische Erfassung von postoperativen Komplikationen mittels Clavien-Dindo Klassifikation in anderen Studien in der Regel fehlt und eine Vergleich daher schwierig ist.

Ein deskriptiv deutlicher Unterschied zwischen den beiden Gruppen zeigte sich jedoch vor allem im Hinblick auf die Clavien-Dindo Schweregrade 1 und 2.

So konnten wir einen deutlichen Unterschied in der Transfusionsrate von Erythrozytenkonzentraten (Clavien-Dindo 2) bei einer Transfusionsrate von 9,1% in der Gruppe „konv.-PCNL“ und 4,1% in der Gruppe „Mini-PCNL“ zugunsten der Mini-PCNL zeigen. Dies entspricht im Wesentlichen auch der Erkenntnis anderer vergleichender Studien [85,87-90,92,94,95]. Bei insgesamt deutlichem Trend zu Mini-PCNL wurde aufgrund der Größe des Falldatensatzes das Signifikanzniveau bei einem p-Wert = 0,155 nicht erreicht.

Außerdem kam es in der Gruppe „konv.-PCNL“ deutlich häufiger zu einer prolongierten, postoperativen Makrohämaturie, zur Gabe von gerinnungsfördernden Substanzen wie Thrombozytenkonzentraten und Antifibrinolytika (Clavien 2), zu postoperativem Fieber (Clavien 1) sowie nosokomialen Harnwegsinfektionen (Clavien 2). In der Gruppe „konv.-PCNL“ zeigte sich zudem ein leicht vermehrtes Auftreten von schweren infektassoziierten Komplikationen. Ein entsprechender Unterschied im Hinblick auf postoperative Infektionen (ausgenommen das Symptom Fieber) konnte in anderen Studien nicht gesehen werden. Als möglichen Vorteil der „Mini-PCNL“ sahen wir den selteneren Einsatz von Hilfsmitteln zur Konkrementbergung aufgrund des „vacuum cleaner effect“. Die iatrogene Keimverschleppung in das Nierenbecken kann dadurch reduziert werden.

Eine Reduktion von postoperativen Schmerzen durch ein geringeres operatives Trauma durch die Mini-PCNL konnte in der vorliegenden Studie nicht gezeigt werden. Der Schmerzmittelbedarf zeigte sich in der Gruppe „Mini-PCNL“ entgegen dem Ergebnis anderer Studien leicht erhöht. Bei annähernd gleich ausgeprägter Akute-Phase-Reaktion nach konventioneller- und Mini PCNL scheint das Gewebetrauma

nicht relevant reduziert zu werden, indem die PCNL mittels miniaturisierten Instrumenten durchgeführt wird.

Einen deutlichen Unterschied zwischen den beiden Gruppen stellten wir hinsichtlich der OP-Dauer fest. Die mediane OP-Dauer in der Gruppe „Mini-PCNL“ war deutlich länger als in der Gruppe „konv.-PCNL“. Dies entspricht im Wesentlichen den Ergebnissen anderer Studien [85,87-90,92-95]. Eine mögliche Folge der prolongierten OP-Dauer ist eine etwas größere Häufigkeit von akuten Nierenversagen des Stadium 1 nach KDIGO in der Gruppe „Mini-PCNL“. Durch eine prolongierte OP-Dauer wird das Nierenparenchym vergleichsweise länger einem erhöhten intrarenalen Druck durch die Spülflüssigkeit ausgesetzt. Dies führt zu einer a.e. kurzfristigen postoperativen Funktionseinschränkung der Niere. In der Zukunft gehen wir jedoch mit steigender Expertise der Operateure in der Durchführung der Mini-PCNL von einer deutlichen Verkürzung der OP-Dauer aus.

Abschließend sahen wir in der vorliegenden Studie eine deutlich höhere primäre postoperative SFR in der Gruppe „Mini-PCNL“ (80,4% vs. 68,3). Wir konnten in diesem Fall einen hochsignifikanten Unterschied der postoperativen Steinfreiheitsrate zugunsten der Mini-PCNL mit einem p-Wert = 0,035 zeigen. Die beiden Gruppen zeigten dabei eine vergleichbare kumulative Steingröße, bei insgesamt komplexerem Steinleiden in der Gruppe „Mini-PCNL“. Auch einige andere Studien konnten bereits eine signifikant höhere SFR zeigen [94,95], wobei die meisten Studien keine Unterschiede sahen [87-90,93,96].

Zur genauen Evaluation der verfahrenstechnischen Vor- und Nachteile wurden in der vorliegenden Studie die Gründe der Konkrementpersistenz reevaluiert. Dabei zeigte sich, dass die hohe SFR in der Gruppe „Mini-PCNL“ im Wesentlichen durch Vorteile der Mini-PCNL bei der Konkrementbergung zustande kommt. Als wesentlicher Vorteil der Konkrementextraktion bei der Mini-PCNL ist vor allem der „vacuum cleaner effect“ zu nennen und der vermehrte Einsatz von Holmium:YAG Lasern.

Die mediane Hospitalisationsdauer zeigte sich im Median in der Gruppe „Mini-PCNL“ deutlich kürzer (5 vs. 7 Tage). Dies entspricht auch dem Ergebnis der meisten anderen Studien. Ein wesentlicher Grund dafür mag das vermehrte Durchführen der Mini-PCNL als „Tubeless“-Verfahren sein und die frühere Entfernung evtl. postoperativ eingelegter Ableitungen (z.B. Nephrostomien) bei geringerem Lumen.

Es lässt sich feststellen, dass es sich sowohl bei der konventionellen als auch bei der Mini-PCNL um sichere und effektive Verfahren handelt. Hinsichtlich höhergradiger, postoperativer Komplikationen zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Verfahren. Deskriptiv zeigt sich jedoch vor allem ein Vorteil der Mini-PCNL im Hinblick auf niedriggradige Blutungs- und Infektkomplikationen. Einen deutlichen Vorteil sahen wir vor allem bei den intraoperativen Komplikationen. Dieser begründet sich auch aus der deutlich höheren Steinfreiheitsrate der Mini-PCNL. Hier sahen wir vor allem deutliche Vorteile des miniaturisierten Verfahrens bei der Konkrementbergung.

Die vorliegende Studie ist Stand 12/2020 eine der größten vergleichenden Studien zwischen den beiden Verfahren konventionelle PCNL und Mini-PCNL. Gemäß den Erkenntnissen, die wir aus einer großen Fallzahl ableiten können, schlussfolgern wir, dass die Mini-PCNL der konventionellen PCNL im Hinblick auf Effektivität klar überlegen ist. Außerdem zeigt sich eine geringere interventionsbedingte Morbidität vor allem im Bereich der intraoperativen Komplikationen. Der einzig klare Nachteil der Mini-PCNL, die prolongierte OP-Dauer, sollte mit steigender Expertise der Operateure im weiteren Verlauf eine deutlich geringere Rolle spielen.

## 8 Literaturverzeichnis

- 1 Hesse A, Brändle E, Wilbert D, Köhrmann KU, Alken P. Study on the prevalence and incidence of urolithiasis in Germany comparing the years 1979 vs. 2000. *Eur Urol.* 2003 Dec;44(6):709-13. doi: 10.1016/s0302-2838(03)00415-9. PMID: 14644124.
- 2 European Association of Urology. EAU Guidelines on Urolithiasis (2020), Türk C, Neisius A, Petrik A, Seitz C, Skolarikos A, Tepeler A, Thomas K, [zitiert am 27.4.2020] URL: <https://uroweb.org/wp-content/uploads/EAU-Guidelines-on-Urolithiasis-2020.pdf>
- 3 Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V..AWMF-Leitlinien-Register. S2k-Leitlinie zur Diagnostik, Therapie und Metaphylaxe der Urolithiasis (043/025) 2018, Seitz C, Bach T, Bader M, Berg W, Knoll T., Neisius A, Netsch C, Schönthaler M, Siener R, Stein R. Straub M, Strohmaier W, Türk C [zitiert am 19.03.2020] [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/043-025l\\_S2k\\_Diagnostik\\_Therapie\\_Metaphylaxe\\_Urolithiasis\\_2019-07\\_1.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/043-025l_S2k_Diagnostik_Therapie_Metaphylaxe_Urolithiasis_2019-07_1.pdf)
- 4 Trinchieri A, Coppi F, Montanari E, Del Nero A, Zanetti G, Pisani E. Increase in the prevalence of symptomatic upper urinary tract stones during the last ten years. *Eur Urol.* 2000 Jan;37(1):23-5. doi: 10.1159/000020094. PMID: 10671780.
- 5 Yoshida O, Okada Y. Epidemiology of urolithiasis in Japan: a chronological and geographical study. *Urol Int.* 1990;45(2):104-11. doi: 10.1159/000281680. PMID: 2330656.
- 6 Hesse A, Siener R. Current aspects of epidemiology and nutrition in urinary stone disease. *World J Urol* 1997; 15(3): 165–171. doi: 10.1007/BF02201853. PMID: 9228723.
- 7 GESUNDHEITSBERICHTERSTATTUNG DES BUNDES – GEMEINSAM GETRAGEN VON RKI UND DESTATIS- Diagnosedaten der Krankenhäuser ab 2000 (Eckdaten der vollstationären Patienten und Patientinnen). Gliederungsmerkmale: Jahre, Behandlungs-/Wohnort, ICD10 (Internet), 2017, [http://www.gbe-bund.de/oowa921-in-stall/servelet/oowa/aw92/WS0100/\\_XWD\\_FORMPROC?TARGET=&PAGE=\\_XWD\\_328&OPINDEX=4&HANDLER=\\_XWD\\_CUBE.SETPGS&DATA-CUBE=\\_XWD\\_356&D.001=1000001&D.946=14402&D.011=44302#AKT](http://www.gbe-bund.de/oowa921-in-stall/servelet/oowa/aw92/WS0100/_XWD_FORMPROC?TARGET=&PAGE=_XWD_328&OPINDEX=4&HANDLER=_XWD_CUBE.SETPGS&DATA-CUBE=_XWD_356&D.001=1000001&D.946=14402&D.011=44302#AKT)
- 8 Strohmaier WL. Volkswirtschaftliche Aspekte des Harnsteinleidens und der Harnsteinmetaphylaxe [Socioeconomic aspects of urinary calculi and metaphylaxis of urinary calculi]. *Urologe A.* 2000 Mar;39(2):166-70. German. doi: 10.1007/s001200050026. PMID: 10768228.
- 9 Strohmaier WL. Epidemiologie und Pathogenese der Urolithiasis. In: Michel S.M., Thüroff J.W., Janetschek G., Wirth M., Hrsg. *Die Urologie Band 1.* Berlin: Springer; 2016: 473-478.
- 10 Ferrari P, Piazza R, Ghidini N, Bisi M, Galizia G, Ferrari G. Lithiasis and risk factors. *Urol Int.* 2007;79 Suppl 1:8-15. doi: 10.1159/000104435. PMID: 17726346.
- 11 Ljunghall S, Danielson BG, Fellström B, Holmgren K, Johansson G, Wikström B. Family history of renal stones in recurrent stone patients. *Br J Urol.* 1985 Aug;57(4):370-4. doi: 10.1111/j.1464-410x.1985.tb06290.x. PMID: 4027504.
- 12 Monga M, Macias B, Groppo E, Hargens A. Genetic heritability of urinary stone risk in identical twins. *J Urol.* 2006 Jun;175(6):2125-8. doi: 10.1016/S0022-5347(06)00272-2. PMID: 16697817.
- 13 Siener R. Impact of dietary habits on stone incidence. *Urol Res.* 2006 Apr;34(2):131-3. doi: 10.1007/s00240-005-0025-1. Epub 2006 Jan 11. PMID: 16404621.
- 14 Siener R, Glatz S, Nicolay C, Hesse A. The role of overweight and obesity in calcium oxalate stone formation. *Obes Res.* 2004 Jan;12(1):106-13. doi: 10.1038/oby.2004.14. PMID: 14742848.
- 15 Taylor EN, Stampfer MJ, Curhan GC. Obesity, weight gain, and the risk of kidney stones. *JAMA.* 2005 Jan 26;293(4):455-62. doi: 10.1001/jama.293.4.455. PMID: 15671430.
- 16 Powell CR, Stoller ML, Schwartz BF, Kane C, Gentle DL, Bruce JE, Leslie SW. Impact of body weight on urinary electrolytes in urinary stone formers. *Urology.* 2000 Jun;55(6):825-30. doi: 10.1016/s0090-4295(99)00617-2. Erratum in: *Urology* 2000 Aug 1;56(2):352. PMID: 10840085.
- 17 Fan J, Chandhoke PS, Grampsas SA. Role of sex hormones in experimental calcium oxalate nephrolithiasis. *J Am Soc Nephrol.* 1999 Nov;10 Suppl 14:S376-80. PMID: 10541267.
- 18 Viana ML, Pontes RM, Garcia WE, Fávero ME, Prete DC, Matsuo T. Doença de Crohn e cálculo renal: muito mais que coincidência? [Crohn's disease and kidney stones: much more than coincidence?]. *Arq Gastroenterol.* 2007 Jul-Sep;44(3):210-4. Portuguese. doi: 10.1590/s0004-28032007000300006. PMID: 18060273.
- 19 Derakhshan A, Derakhshan N, Namazi H, Ghaffarpasand F. Effect of immobilization on urine calcium excretion in orthopedic patients with pelvic fracture treated by skin traction. *Arch Ital Urol Androl.* 2015 Mar 31;87(1):62-5. doi: 10.4081/aiua.2015.1.62. PMID: 25847899.

- 20 Bichler KH, Eipper E, Naber K, Braun V, Zimmermann R, Lahme S. Urinary infection stones. *Int J Antimicrob Agents*. 2002 Jun;19(6):488-98. doi: 10.1016/s0924-8579(02)00088-2. PMID: 12135839.
- 21 Borghi L, Meschi T, Guerra A, Briganti A, Schianchi T, Allegri F, Novarini A. Essential arterial hypertension and stone disease. *Kidney Int*. 1999 Jun;55(6):2397-406. doi: 10.1046/j.1523-1755.1999.00483.x. PMID: 10354288.
- 22 Taylor EN, Stampfer MJ, Curhan GC. Diabetes mellitus and the risk of nephrolithiasis. *Kidney Int*. 2005 Sep;68(3):1230-5. doi: 10.1111/j.1523-1755.2005.00516.x. PMID: 16105055.
- 23 Ramello A, Vitale C, Marangella M. Epidemiology of nephrolithiasis. *J Nephrol*. 2000 Nov-Dec;13 Suppl 3:S45-50. PMID: 11132032.
- 24 al-Hadramy MS. Seasonal variations of urinary stone colic in Arabia. *J Pak Med Assoc*. 1997 Nov;47(11):281-4. PMID: 9510632.
- 25 Yarlagadda SG, Perazella MA. Drug-induced crystal nephropathy: an update. *Expert Opin Drug Saf*. 2008 Mar;7(2):147-58. doi: 10.1517/14740338.7.2.147. PMID: 18324877.
- 26 Schünke M., Schulte E., Schumacher U., Voll M., Wesker K..Prometheus, Lernatlas der Anatomie, Innere Organ, Organe des Harnsystems und ihre Leitungsbahnen.2. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2009: 280-305.
- 27 Guzman-K. S., Alken P.Operative Anatomie: Nieren, Nebennieren, Ureteren. In: Michel S.M.,Thüroff J.W., Janetschek G., Wirth M., Hrsg. Die Urologie Band 1. Berlin: Springer; 2016: 47-67.
- 28 Stoller M.L..Urinary Stone Disease. In: Tanagho E.A., McAninch J.W., Hrsg. Smith`s General Urology,17. Auflage. New York: Mc Graw Hill Lange; 2008: 246-277.
- 29 Straub M., Hautmann R.E..Urolithiasis-Harnsteinerkrankung. In: Hautmann R.E.,Huland W., Hrsg. Urologie, 3.Auflage. Heidelberg: Springer; 2006:260-286.
- 30 Argyropoulos A, Farmakis A, Doumas K, Lykourinas M. The presence of microscopic hematuria detected by urine dipstick test in the evaluation of patients with renal colic. *Urol Res*. 2004 Aug;32(4):294-7. doi: 10.1007/s00240-004-0413-y. Epub 2004 Mar 26. PMID: 15045479.
- 31 Ritter M.. Bildgebung der Urolithiasis. In: Michel S.M.,Thüroff J.W., Janetschek G., Wirth M., Hrsg. Die Urologie Band 1. Berlin: Springer; 2016: 479-487.
- 32 Seitz C..Therapie der akuten Nierenkolik und konservative Therapie. In: Michel S.M.,Thüroff J.W., Janetschek G., Wirth M., Hrsg. Die Urologie Band 1. Berlin: Springer; 2016:489 -495.
- 33 Miller OF, Kane CJ. Time to stone passage for observed ureteral calculi: a guide for patient education. *J Urol*. 1999 Sep;162(3 Pt 1):688-90; discussion 690-1. doi: 10.1097/00005392-199909010-00014. PMID: 10458343.
- 34 Preminger GM, Tiselius HG, Assimos DG, Alken P, Buck AC, Gallucci M, Knoll T, Lingeman JE, Nakada SY, Pearle MS, Sarica K, Türk C, Wolf JS Jr; American Urological Association Education and Research, Inc; European Association of Urology. 2007 Guideline for the management of ureteral calculi. *Eur Urol*. 2007 Dec;52(6):1610-31. doi: 10.1016/j.eururo.2007.09.039. PMID: 18074433.
- 35 Coll DM, Varanelli MJ, Smith RC. Relationship of spontaneous passage of ureteral calculi to stone size and location as revealed by unenhanced helical CT. *AJR Am J Roentgenol*. 2002 Jan;178(1):101-3. doi: 10.2214/ajr.178.1.1780101. PMID: 11756098.
- 36 Zwergel U, Felgner J, Rombach H, Zwergel T. Aktuelle konservative Behandlung einer Nierenkolik. Stellenwert der Prostaglandinsynthesehemmer [Current conservative treatment of renal colic: value of prostaglandin synthesis inhibitors]. *Schmerz*. 1998 Apr 20;12(2):112-7. German. doi: 10.1007/s004829800049. PMID: 12799978.
- 37 Muriel-Villoria C, Zungri-Telo E, Díaz-Curiel M, Fernández-Guerrero M, Moreno J, Puerta J, Ortiz P. Comparison of the onset and duration of the analgesic effect of dipyron, 1 or 2 g, by the intramuscular or intravenous route, in acute renal colic. *Eur J Clin Pharmacol*. 1995;48(2):103-7. doi: 10.1007/BF00192733. PMID: 7589022.
- 38 Hübner W, Porpaczy P. Treatment of caliceal calculi. *Br J Urol*. 1990 Jul;66(1):9-11. doi: 10.1111/j.1464-410x.1990.tb14854.x. PMID: 2393803.
- 39 Burgher A, Beman M, Holtzman JL, Monga M. Progression of nephrolithiasis: long-term outcomes with observation of asymptomatic calculi. *J Endourol*. 2004 Aug;18(6):534-9. doi: 10.1089/end.2004.18.534. PMID: 15333216.
- 40 Glowacki LS, Beecroft ML, Cook RJ, Pahl D, Churchill DN. The natural history of asymptomatic urolithiasis. *J Urol*. 1992 Feb;147(2):319-21. doi: 10.1016/s0022-5347(17)37225-7. PMID: 1732583.
- 41 Preminger GM. Management of lower pole renal calculi: shock wave lithotripsy versus percutaneous nephrolithotomy versus flexible ureteroscopy. *Urol Res*. 2006 Apr;34(2):108-11. doi: 10.1007/s00240-005-0020-6. Epub 2006 Feb 7. PMID: 16463145.

- 42 Zheng C, Yang H, Luo J, Xiong B, Wang H, Jiang Q. Extracorporeal shock wave lithotripsy versus retrograde intrarenal surgery for treatment for renal stones 1-2 cm: a meta-analysis. *Urolithiasis*. 2015 Nov;43(6):549-56. doi: 10.1007/s00240-015-0799-8. Epub 2015 Jul 26. PMID: 26211003.
- 43 Srisubat A, Potisat S, Lojanapiwat B, Setthawong V, Laopaiboon M. Extracorporeal shock wave lithotripsy (ESWL) versus percutaneous nephrolithotomy (PCNL) or retrograde intrarenal surgery (RIRS) for kidney stones. *Cochrane Database Syst Rev*. 2009 Oct 7;(4):CD007044. doi: 10.1002/14651858.CD007044.pub2. Update in: *Cochrane Database Syst Rev*. 2014;11:CD007044. PMID: 19821393.
- 44 Bozzini G, Verze P, Arcaniolo D, Dal Piaz O, Buffi NM, Guazzoni G, Provenzano M, Osmolorskij B, Sanguedolce F, Montanari E, Macchione N, Pummer K, Mirone V, De Sio M, Taverna G. 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*. 2017 Dec;35(12):1967-1975. doi: 10.1007/s00345-017-2084-7. Epub 2017 Sep 5. PMID: 28875295.
- 45 Resorlu B, Unsal A, Ziyak T, Diri A, Atis G, Guven S, Sancaktutar AA, Tepeler A, Bozkurt OF, Oztuna D. Comparison of retrograde intrarenal surgery, shockwave lithotripsy, and percutaneous nephrolithotomy for treatment of medium-sized radiolucent renal stones. *World J Urol*. 2013 Dec;31(6):1581-6. doi: 10.1007/s00345-012-0991-1. Epub 2012 Nov 22. PMID: 23179732.
- 46 Kruck S, Anastasiadis AG, Herrmann TR, Walcher U, Abdelhafez MF, Nicklas AP, Hölzle L, Schilling D, Bedke J, Stenzl A, Nagele U. Minimally invasive percutaneous nephrolithotomy: an alternative to retrograde intrarenal surgery and shockwave lithotripsy. *World J Urol*. 2013 Dec;31(6):1555-61. doi: 10.1007/s00345-012-0962-6. Epub 2012 Oct 11. PMID: 23064981.
- 47 Srisubat A, Potisat S, Lojanapiwat B, Setthawong V, Laopaiboon M. Extracorporeal shock wave lithotripsy (ESWL) versus percutaneous nephrolithotomy (PCNL) or retrograde intrarenal surgery (RIRS) for kidney stones. *Cochrane Database Syst Rev*. 2014 Nov 24;(11):CD007044. doi: 10.1002/14651858.CD007044.pub3. PMID: 25418417.
- 48 Albala DM, Assimos DG, Clayman RV, Denstedt JD, Grasso M, Gutierrez-Aceves J, Kahn RI, Leveillee RJ, Lingeman JE, Macaluso JN Jr, Munch LC, Nakada SY, Newman RC, Pearle MS, Preminger GM, Teichman J, Woods JR. Lower pole I: a prospective randomized trial of extracorporeal shock wave lithotripsy and percutaneous nephrostolithotomy for lower pole nephrolithiasis-initial results. *J Urol*. 2001 Dec;166(6):2072-80. doi: 10.1016/s0022-5347(05)65508-5. Erratum in: *J Urol* 2002 Apr;167(4):1805. PMID: 11696709.
- 49 Wilhelm K, Fritsche HM, Netsch C; AG „Endourologie und Urolithiasis“ der GeSRU Academics. Perkutane Steintherapie heute: Standard-, Mini-, Micro-, Ultramini-PCNL [Percutaneous Stone Treatment Today: Standard-, Mini-, Micro-, Ultramini-PCNL]. *Aktuelle Urol*. 2015 Jul;46(4):297-302. German. doi: 10.1055/s-0035-1555863. Epub 2015 Jul 30. PMID: 26227130.
- 50 Lahme S. Miniaturisation of PCNL. *Urolithiasis*. 2018 Feb;46(1):99-106. doi: 10.1007/s00240-017-1029-3. Epub 2017 Dec 14. PMID: 29243096.
- 51 Klingler HC, Kramer G, Lodde M, Dorfinger K, Hofbauer J, Marberger M. Stone treatment and coagulopathy. *Eur Urol*. 2003 Jan;43(1):75-9. doi: 10.1016/s0302-2838(02)00538-9. PMID: 12507547.
- 52 Celik S, Bozkurt O, Kaya FG, Egriboyun S, Demir O, Secil M, Celebi I. Evaluation of computed tomography findings for success prediction after extracorporeal shock wave lithotripsy for urinary tract stone disease. *Int Urol Nephrol*. 2015 Jan;47(1):69-73. doi: 10.1007/s11255-014-0857-0. Epub 2014 Oct 14. PMID: 25311505.
- 53 Fuller A, Razvi H, Denstedt JD, Nott L, Pearle M, Cauda F, Bolton D, Celia A, de la Rosette J; CROES PCNL Study Group. The CROES percutaneous nephrolithotomy global study: the influence of body mass index on outcome. *J Urol*. 2012 Jul;188(1):138-44. doi: 10.1016/j.juro.2012.03.013. Epub 2012 May 15. PMID: 22591971.
- 54 Schott F, Knipper S, Orywal AK, Gross AJ, Netsch C. Der Einfluss des Body-Mass-Index auf den Erfolg der Ureterorenoskopie bei Nierensteinen [Effect of the body mass index on outcomes of ureterorenoscopy for renal stones]. *Urologe A*. 2016 Nov;55(11):1462-1469. German. doi: 10.1007/s00120-016-0132-3. PMID: 27272003.
- 55 Sanguedolce F, Bozzini G, Chew B, Kallidonis P, de la Rosette J. The Evolving Role of Retrograde Intrarenal Surgery in the Treatment of Urolithiasis. *Eur Urol Focus*. 2017 Feb;3(1):46-55. doi: 10.1016/j.euf.2017.04.007. Epub 2017 May 5. PMID: 28720366.
- 56 Rassweiler JJ, Hruza M, Klein TK. Extrakorporale Stoßwellentherapie der Urolithiasis. In: Michel S.M., Thüroff J.W., Janetschek G., Wirth M., Hrsg. *Die Urologie Band 1*. Berlin: Springer; 2016: 503-523.



- 57 Zheng S, Liu LR, Yuan HC, Wei Q. Tamsulosin as adjunctive treatment after shockwave lithotripsy in patients with upper urinary tract stones: a systematic review and meta-analysis. *Scand J Urol Nephrol*. 2010 Dec;44(6):425-32. doi: 10.3109/00365599.2010.523014. PMID: 21080841.
- 58 Chen K, Mi H, Xu G, Liu L, Sun X, Wang S, Meng Q, Lv T. The Efficacy and Safety of Tamsulosin Combined with Extracorporeal Shockwave Lithotripsy for Urolithiasis: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J Endourol*. 2015 Oct;29(10):1166-76. doi: 10.1089/end.2015.0098. Epub 2015 Jun 17. PMID: 25915454.
- 59 Chiong E, Hwee ST, Kay LM, Liang S, Kamaraj R, Esuvaranathan K. Randomized controlled study of mechanical percussion, diuresis, and inversion therapy to assist passage of lower pole renal calculi after shock wave lithotripsy. *Urology*. 2005 Jun;65(6):1070-4. doi: 10.1016/j.urology.2004.12.045. PMID: 15922429.
- 60 Fernström I, Johansson B. Percutaneous pyelolithotomy. A new extraction technique. *Scand J Urol Nephrol*. 1976;10(3):257-9. doi: 10.1080/21681805.1976.11882084. PMID: 1006190.
- 61 Alken P, Hutschenreiter G, Günther R, Marberger M. Percutaneous stone manipulation. *J Urol*. 1981 Apr;125(4):463-6. doi: 10.1016/s0022-5347(17)55073-9. PMID: 7218439.
- 62 Knoll T, Michel MS, Alken P. Surgical Atlas. Percutaneous nephrolithotomy: the Mannheim technique. *BJU Int*. 2007 Jan;99(1):213-31. doi: 10.1111/j.1464-410X.2007.06613.x. PMID: 17227510.
- 63 Helal M, Black T, Lockhart J, Figueroa TE. The Hickman peel-away sheath: alternative for pediatric percutaneous nephrolithotomy. *J Endourol*. 1997 Jun;11(3):171-2. doi: 10.1089/end.1997.11.171. PMID: 9181444.
- 64 Jackman SV, Hedican SP, Peters CA, Docimo SG. Percutaneous nephrolithotomy in infants and preschool age children: experience with a new technique. *Urology*. 1998 Oct;52(4):697-701. doi: 10.1016/s0090-4295(98)00315-x. PMID: 9763096.
- 65 Lahme S, Bichler KH, Strohmaier WL, Götz T. Minimally invasive PCNL in patients with renal pelvic and calyceal stones. *Eur Urol*. 2001 Dec;40(6):619-24. doi: 10.1159/000049847. PMID: 11805407.
- 66 Liu X, Huang G, Zhong R, Hu S, Deng R. Comparison of Percutaneous Nephrolithotomy Under Regional versus General Anesthesia: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Urol Int*. 2018;101(2):132-142. doi: 10.1159/000491021. Epub 2018 Jul 20. PMID: 30032149.
- 67 Li H, Xu K, Li B, Chen B, Xu A, Chen Y, Xu Y, Wen Y, Zheng S, Liu C. Percutaneous nephrolithotomy under local infiltration anesthesia: a single-center experience of 2000 Chinese cases. *Urology*. 2013 Nov;82(5):1020-5. doi: 10.1016/j.urology.2013.07.007. Epub 2013 Aug 28. PMID: 23992963.
- 68 Häckler A, Michel MS. Perkutane Nephrolitholapaxie (PCNL). In: Albers P, Heidenreich A. Hrsg. Standardoperationen in der Urologie, 2.Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2014: 511-520.
- 69 Leveillee RJ, Lobik L. Intracorporeal lithotripsy: which modality is best? *Curr Opin Urol*. 2003 May;13(3):249-53. doi: 10.1097/00042307-200305000-00014. PMID: 12692450.
- 70 Auge BK, Lallas CD, Pietrow PK, Zhong P, Preminger GM. In vitro comparison of standard ultrasound and pneumatic lithotrites with a new combination intracorporeal lithotripsy device. *Urology*. 2002 Jul;60(1):28-32. doi: 10.1016/s0090-4295(02)01624-2. PMID: 12100916.
- 71 Karakan T, Diri A, Hascicek AM, Ozgur BC, Ozcan S, Eroglu M. Comparison of ultrasonic and pneumatic intracorporeal lithotripsy techniques during percutaneous nephrolithotomy. *ScientificWorldJournal*. 2013 Aug 18;2013:604361. doi: 10.1155/2013/604361. PMID: 24023531; PMCID: PMC3759258.
- 72 Zengin K, Sener NC, Bas O, Nalbant I, Alisir I. Comparison of pneumatic, ultrasonic and combination lithotripters in percutaneous nephrolithotripsy. *Int Braz J Urol*. 2014 Sep-Oct;40(5):650-5. doi: 10.1590/S1677-5538.IBJU.2014.05.10. PMID: 25498276.
- 73 Gravas S, Montanari E, Geavlete P, Onal B, Skolarikos A, Pearle M, Sun YH, de la Rosette J. Postoperative infection rates in low risk patients undergoing percutaneous nephrolithotomy with and without antibiotic prophylaxis: a matched case control study. *J Urol*. 2012 Sep;188(3):843-7. doi: 10.1016/j.juro.2012.05.007. Epub 2012 Jul 20. PMID: 22819398.
- 74 Srivastava A, Singh S, Dhayal IR, Rai P. A prospective randomized study comparing the four tract dilation methods of percutaneous nephrolithotomy. *World J Urol*. 2017 May;35(5):803-807. doi: 10.1007/s00345-016-1929-9. Epub 2016 Sep 10. PMID: 27614706.
- 75 Falahatkar S, Neiroomand H, Akbarpour M, Emadi SA, Khaki N. One-shot versus metal telescopic dilation technique for tract creation in percutaneous nephrolithotomy: comparison of safety and efficacy. *J Endourol*. 2009 Apr;23(4):615-8. doi: 10.1089/end.2008.0330. PMID: 19335153.

- 76 Frattini A, Barbieri A, Salsi P, Sebastio N, Ferretti S, Bergamaschi E, Cortellini P. One shot: a novel method to dilate the nephrostomy access for percutaneous lithotripsy. *J Endourol.* 2001 Nov;15(9):919-23. doi: 10.1089/089277901753284143. PMID: 11769847.
- 77 Kamphuis GM, Baard J, Westendarp M, de la Rosette JJ. Lessons learned from the CROES percutaneous nephrolithotomy global study. *World J Urol.* 2015 Feb;33(2):223-33. doi: 10.1007/s00345-014-1367-5. Epub 2014 Aug 7. PMID: 25100624.
- 78 Yamaguchi A, Skolarikos A, Buchholz NP, Chomón GB, Grasso M, Saba P, Nakada S, de la Rosette J; Clinical Research Office Of The Endourological Society Percutaneous Nephrolithotomy Study Group. 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.* 2011 Jun;25(6):933-9. doi: 10.1089/end.2010.0606. Epub 2011 May 13. PMID: 21568697.
- 79 Ganesamoni R, Sabnis RB, Mishra S, Parekh N, Ganpule A, Vyas JB, Jagtap J, Desai M. Prospective randomized controlled trial comparing laser lithotripsy with pneumatic lithotripsy in miniperc for renal calculi. *J Endourol.* 2013 Dec;27(12):1444-9. doi: 10.1089/end.2013.0177. Epub 2013 Nov 19. PMID: 24251428.
- 80 Mager R, Balzereit C, Gust K, Hüscher T, Herrmann T, Nagele U, Haferkamp A, Schilling D. The hydrodynamic basis of the vacuum cleaner effect in continuous-flow PCNL instruments: an empiric approach and mathematical model. *World J Urol.* 2016 May;34(5):717-24. doi: 10.1007/s00345-015-1682-5. Epub 2015 Sep 10. PMID: 26358036.
- 81 Ganpule AP, Bhattu AS, Desai M. PCNL in the twenty-first century: role of Microperc, Mini-perc, and Ultraminiperc. *World J Urol.* 2015 Feb;33(2):235-40. doi: 10.1007/s00345-014-1415-1. Epub 2014 Oct 15. PMID: 25316173.
- 82 Nicklas AP, Schilling D, Bader MJ, Herrmann TR, Nagele U; Training and Research in Urological Surgery and Technology (T.R.U.S.T.)-Group. The vacuum cleaner effect in minimally invasive percutaneous nephrolitholapaxy. *World J Urol.* 2015 Nov;33(11):1847-53. doi: 10.1007/s00345-015-1541-4. Epub 2015 Apr 2. PMID: 25833660.
- 83 Wang J, Zhang C, Tan G, Yang B, Chen W, Tan D. The use of adjunctive hemostatic agents in tubeless percutaneous nephrolithotomy: a meta-analysis. *Urolithiasis.* 2014 Dec;42(6):509-17. doi: 10.1007/s00240-014-0717-5. Epub 2014 Sep 9. PMID: 25200703.
- 84 Yu C, Xu Z, Long W, Longfei L, Feng Z, Lin Q, Xiongbing Z, Hequn C. Hemostatic agents used for nephrostomy tract closure after tubeless PCNL: a systematic review and meta-analysis. *Urolithiasis.* 2014 Oct;42(5):445-53. doi: 10.1007/s00240-014-0687-7. Epub 2014 Jul 27. PMID: 25064123.
- 85 ElSheemy MS, Elmarakbi AA, Hytham M, Ibrahim H, Khadgi S, Al-Kandari AM. Mini vs standard percutaneous nephrolithotomy for renal stones: a comparative study. *Urolithiasis.* 2019 Apr;47(2):207-214. doi: 10.1007/s00240-018-1055-9. Epub 2018 Mar 16. PMID: 29549382.
- 86 Tirtayasa PMW, Yuri P, Birowo P, Rasyid N. Safety of tubeless or totally tubeless drainage and nephrostomy tube as a drainage following percutaneous nephrolithotomy: A comprehensive review. *Asian J Surg.* 2017 Nov;40(6):419-423. doi: 10.1016/j.asjsur.2016.03.003. Epub 2016 May 24. PMID: 27235306.
- 87 Li LY, Gao X, Yang M, Li JF, Zhang HB, Xu WF, Lin Z. Does a smaller tract in percutaneous nephrolithotomy contribute to less invasiveness? A prospective comparative study. *Urology.* 2010 Jan;75(1):56-61. doi: 10.1016/j.urology.2009.06.006. Epub 2009 Oct 2. PMID: 19800671.
- 88 Mishra S, Sharma R, Garg C, Kurien A, Sabnis R, Desai M. Prospective comparative study of miniperc and standard PNL for treatment of 1 to 2 cm size renal stone. *BJU Int.* 2011 Sep;108(6):896-9; discussion 899-900. doi: 10.1111/j.1464-410X.2010.09936.x. Epub 2011 Apr 8. PMID: 21477212.
- 89 Kukreja RA. Should mini percutaneous nephrolithotomy (MiniPNL/Miniperc) be the ideal tract for medium-sized renal calculi (15-30 mm)? *World J Urol.* 2018 Feb;36(2):285-291. doi: 10.1007/s00345-017-2128-z. Epub 2017 Nov 13. PMID: 29134277.
- 90 Güler A, Erbin A, Ucpinar B, Savun M, Sarilar O, Akbulut MF. Comparison of miniaturized percutaneous nephrolithotomy and standard percutaneous nephrolithotomy for the treatment of large kidney stones: a randomized prospective study. *Urolithiasis.* 2019 Jun;47(3):289-295. doi: 10.1007/s00240-018-1061-y. Epub 2018 Jun 1. PMID: 29858913.
- 91 Sarilar Ö, Özgör F, Küçüktopçu O, Ucpinar B, Akbulut MF, Savun M, Gürbüz ZG, Binbay M. Is standard percutaneous nephrolithotomy still the standard treatment modality for renal stones less than three centimeters? *Turk J Urol.* 2017 Jun;43(2):165-170. doi: 10.5152/tud.2017.45793. Epub 2017 May 3. PMID: 28717541; PMCID: PMC5503436.

- 92 Giusti G, Piccinelli A, Taverna G, Benetti A, Pasini L, Corinti M, Teppa A, Zandegiacomo de Zorzi S, Graziotti P. Miniperc? No, thank you! *Eur Urol.* 2007 Mar;51(3):810-4; discussion 815. doi: 10.1016/j.eururo.2006.07.047. Epub 2006 Aug 11. PMID: 16938385.
- 93 Knoll T, Wezel F, Michel MS, Honeck P, Wendt-Nordahl G. Do patients benefit from miniaturized tubeless percutaneous nephrolithotomy? A comparative prospective study. *J Endourol.* 2010 Jul;24(7):1075-9. doi: 10.1089/end.2010.0111. PMID: 20575685.
- 94 Cheng F, Yu W, Zhang X, Yang S, Xia Y, Ruan Y. Minimally invasive tract in percutaneous nephrolithotomy for renal stones. *J Endourol.* 2010 Oct;24(10):1579-82. doi: 10.1089/end.2009.0581. PMID: 20839954.
- 95 Zhong W, Zeng G, Wu W, Chen W, Wu K. Minimally invasive percutaneous nephrolithotomy with multiple mini tracts in a single session in treating staghorn calculi. *Urol Res.* 2011 Apr;39(2):117-22. doi: 10.1007/s00240-010-0308-z. Epub 2010 Sep 7. PMID: 20821200.
- 96 Lange JN, Gutierrez-Aceves J. Comparative outcomes of conventional PCNL and miniaturized PCNL in the treatment of kidney stones: does a miniaturized tract improve quality of care? *Urol Pract* 2018;5(03):205–209
- 97 Satava RM. Identification and reduction of surgical error using simulation. *Minim Invasive Ther Allied Technol.* 2005;14(4):257-61. doi: 10.1080/13645700500274112. PMID: 16754172.
- 98 Tepeler A, Resorlu B, Sahin T, Sarikaya S, Bayindir M, Oguz U, Armagan A, Unsal A. Categorization of intraoperative ureteroscopy complications using modified Satava classification system. *World J Urol.* 2014 Feb;32(1):131-6. doi: 10.1007/s00345-013-1054-y. Epub 2013 Mar 17. *World J Urol.* 2014. PMID: 23504074
- 99 Clavien PA, Sanabria JR, Strasberg SM. Proposed classification of complications of surgery with examples of utility in cholecystectomy. *Surgery.* 1992 May;111(5):518-26. PMID: 1598671.
- 100 Dindo D, Demartines N, Clavien PA. Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey. *Ann Surg.* 2004 Aug;240(2):205-13. doi: 10.1097/01.sla.0000133083.54934.ae. PMID: 15273542; PMCID: PMC1360123.
- 101 Vargas-Schaffer G. Is the WHO analgesic ladder still valid? Twenty-four years of experience. *Can Fam Physician.* 2010 Jun;56(6):514-7, e202-5. PMID: 20547511; PMCID: PMC2902929.
- 102 Khwaja A. KDIGO clinical practice guidelines for acute kidney injury. *Nephron Clin Pract.* 2012;120(4):c179-84. doi: 10.1159/000339789. Epub 2012 Aug 7. PMID: 22890468
- 103 Ruhayel Y, Tepeler A, Dabestani S, MacLennan S, Petřík A, Sarica K, Seitz C, Skolarikos A, Straub M, Türk C, Yuan Y, Knoll T. Tract Sizes in Miniaturized Percutaneous Nephrolithotomy: A Systematic Review from the European Association of Urology Urolithiasis Guidelines Panel. *Eur Urol.* 2017 Aug;72(2):220-235. doi: 10.1016/j.eururo.2017.01.046. Epub 2017 Feb 23. PMID: 28237786.
- 104 Margel D, Lifshitz DA, Kugel V, Dorfmann D, Lask D, Livne PM. Percutaneous nephrolithotomy in patients who previously underwent open nephrolithotomy. *J Endourol.* 2005 Dec;19(10):1161-4. doi: 10.1089/end.2005.19.1161. PMID: 16359205.
- 105 Tugcu V, Su FE, Kalfazade N, Sahin S, Ozbay B, Tasci AI. Percutaneous nephrolithotomy (PCNL) in patients with previous open stone surgery. *Int Urol Nephrol.* 2008;40(4):881-4. doi: 10.1007/s11255-008-9376-1. Epub 2008 Apr 9. PMID: 18398694.
- 106 Reddy SV, Shaik AB. Outcome and complications of percutaneous nephrolithotomy as primary versus secondary procedure for renal calculi. *Int Braz J Urol.* 2016 Mar-Apr;42(2):262-9. doi: 10.1590/S1677-5538.IBJU.2014.0619. PMID: 27256180; PMCID: PMC4871386.
- 107 Sampaio FJ, Aragao AH. Anatomical relationship between the intrarenal arteries and the kidney collecting system. *J Urol.* 1990 Apr;143(4):679-81. doi: 10.1016/s0022-5347(17)40056-5. PMID: 2313791.
- 108 Tefekli A, Esen T, Olbert PJ, Tolley D, Nadler RB, Sun YH, Duvdevani M, de la Rosette JJ; CROES PCNL Study Group. Isolated upper pole access in percutaneous nephrolithotomy: a large-scale analysis from the CROES percutaneous nephrolithotomy global study. *J Urol.* 2013 Feb;189(2):568-73. doi: 10.1016/j.juro.2012.09.035. Epub 2012 Dec 20. PMID: 23260552.
- 109 Kumar S, Karthikeyan VS, Mallya A, Keshavamurthy R. Outcomes of second-look percutaneous nephrolithotomy in renal calculi—a single centre experience. *Turk J Urol.* 2018 Sep;44(5):406-410. doi: 10.5152/tud.2018.76299. Epub 2018 Sep 1. PMID: 30487043; PMCID: PMC6134977.
- 110 Schilling D, Gakis G, Walcher U, Stenzl A, Nagele U. The learning curve in minimally invasive percutaneous nephrolitholapaxy: a 1-year retrospective evaluation of a novice and an expert. *World J Urol.* 2011 Dec;29(6):749-53. doi: 10.1007/s00345-010-0553-3. Epub 2010 Apr 18. PMID: 20401661.
- 111 Lu Y, Ping JG, Zhao XJ, Hu LK, Pu JX. Randomized prospective trial of tubeless versus conventional minimally invasive percutaneous nephrolithotomy. *World J Urol.* 2013 Oct;31(5):1303-7. doi: 10.1007/s00345-012-0921-2. Epub 2012 Aug 19. PMID: 22903789.

- 112 Pietrow PK, Auge BK, Lallas CD, Santa-Cruz RW, Newman GE, Albala DM, Preminger GM. Pain after percutaneous nephrolithotomy: impact of nephrostomy tube size. *J Endourol.* 2003 Aug;17(6):411-4. doi: 10.1089/089277903767923218. PMID: 12965069.
- 113 Desai MR, Kukreja RA, Desai MM, Mhaskar SS, Wani KA, Patel SH, Bapat SD. A prospective randomized comparison of type of nephrostomy drainage following percutaneous nephrostolithotomy: large bore versus small bore versus tubeless. *J Urol.* 2004 Aug;172(2):565-7. doi: 10.1097/01.ju.0000130752.97414.c8. PMID: 15247731.
- 114 A. Shenkin, W.D. Fraser, J. Series, et al. The serum interleukin-6 response to elective surgery. *Lymphokine Res*, 8 (1989), pp. 123-127 (P. Fornara, C. Doehn, M. Seyfarth, et al. Why is urological laparoscopy minimally invasive? *Eur Urol*, 37 (2000), pp. 241-250
- 115 Wu C, Hua LX, Zhang JZ, Zhou XR, Zhong W, Ni HD. Comparison of renal pelvic pressure and postoperative fever incidence between standard- and mini-tract percutaneous nephrolithotomy. *Kaohsiung J Med Sci.* 2017 Jan;33(1):36-43. doi: 10.1016/j.kjms.2016.10.012. Epub 2016 Dec 22. PMID: 28088272.
- 116 Gutierrez J, Smith A, Geavlete P, Shah H, Kural AR, de Sio M, Amón Sesmero JH, Hoznek A, de la Rosette J; CROES PCNL Study Group. Urinary tract infections and post-operative fever in percutaneous nephrolithotomy. *World J Urol.* 2013 Oct;31(5):1135-40. doi: 10.1007/s00345-012-0836-y. Epub 2012 Feb 25. PMID: 22367718; PMCID: PMC3785702.
- 117 Mitropoulos D, Artibani W, Biyani CS, Bjerggaard Jensen J, Rouprêt M, Truss M. Validation of the Clavien-Dindo Grading System in Urology by the European Association of Urology Guidelines Ad Hoc Panel. *Eur Urol Focus.* 2018 Jul;4(4):608-613. doi: 10.1016/j.euf.2017.02.014. Epub 2017 Mar 7. PMID: 28753862.
- 118 Tefekli A, Ali Karadag M, Tepeler K, Sari E, Berberoglu Y, Baykal M, Sarilar O, Muslumanoglu AY. Classification of percutaneous nephrolithotomy complications using the modified clavien grading system: looking for a standard. *Eur Urol.* 2008 Jan;53(1):184-90. doi: 10.1016/j.eururo.2007.06.049. Epub 2007 Jul 24. PMID: 17651892.
- 119 Seitz C, Desai M, Häcker A, Hakenberg OW, Liatsikos E, Nagele U, Tolley D. Incidence, prevention, and management of complications following percutaneous nephrolitholapaxy. *Eur Urol.* 2012 Jan;61(1):146-58. doi: 10.1016/j.eururo.2011.09.016. Epub 2011 Sep 28. PMID: 21978422.
- 120 de la Rosette JJ, Opondo D, Daels FP, Giusti G, Serrano A, Kandasami SV, Wolf JS Jr, Grabe M, Gravas S; CROES PCNL Study Group. Categorisation of complications and validation of the Clavien score for percutaneous nephrolithotomy. *Eur Urol.* 2012 Aug;62(2):246-55. doi: 10.1016/j.eururo.2012.03.055. Epub 2012 Apr 4. PMID: 22487016.

## 9 Danksagung

Ich möchte mich an erster Stelle sehr bei meinem Doktorvater Herrn PD Dr. med. Andreas Neisius bedanken. Ich bedanke mich sehr für das interessante Promotions-thema sowie die stets hochwertige, freundliche und geduldige Betreuung. Ich hatte sehr viel Spaß an der Zusammenarbeit!

Auch bedanke ich mich bei den Mitarbeitern des Instituts für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten.

Für die freundliche Unterstützung bei der Datenerhebung möchte ich dem Personal der urologischen Ambulanz sowie dem Team des Archivs der urologischen Poliklinik danken.

Ich danke M. S. und R S. sowie L. O. für die Korrektur.

Ich danke auch meiner lieben Frau, die mich mit allen Kräften bei der Erstellung dieser Dissertation unterstützt hat und dafür sehr viele gemeinsame Stunden opfern musste. Danke für deine Geduld, dein Vertrauen und deine stets liebevolle Unterstützung.

Außerdem bedanke ich mich bei meinen lieben Eltern und bei meinen Brüdern. Nach meinem Abitur habe ich mich zu einem kraftaufwendigen Ausbildungsweg entschieden. Dieser Weg wäre ohne die stets uneingeschränkte und liebevolle Unterstützung meiner Familie nicht möglich gewesen. Danke für alles!

## 10 Curriculum vitae

### Persönliche Daten

Name	Michael Rainer Strupp
Geburtsort	Trier
Staatsangehörigkeit	deutsch

|