

**Perkutane Nephrolitholapaxie  
an einem Krankenhaus der Regelversorgung –  
Analyse der Behandlungsdaten von 2001 bis 2005**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Hohen Medizinischen Fakultät  
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität  
Bonn

Klaus Heiko Hentschel  
aus Dresden

2009

Angefertigt mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Professor Dr. A. Hesse
2. Gutachter: Professor Dr. D. Klingmüller

Tag der Mündlichen Prüfung: 29.09.2009

Aus der Klinik und Poliklinik für Urologie  
Universitätsklinikum Bonn  
Direktor: Prof. Dr. Dr. Müller

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	6
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	7
1.1	Allgemeine Grundlagen	7
1.1.1	Geschichte der operativen Therapie des Harnsteinleidens	7
1.1.2	Nierensteintherapie heute	9
1.1.3	Indikationen zur Harnsteintherapie	11
1.2	Die Perkutane Nephrolitholapaxie (PNL)	13
1.2.1	Geschichte der PNL	13
1.2.2	Prinzip der PNL und aktueller Stand der Entwicklung	13
1.2.2.1	Anästhesie	13
1.2.2.2	Zugang zum Hohlsystem der steintragenden Niere	14
1.2.2.3	Steintherapie	15
1.2.2.4	Postoperativer Verlauf	16
1.2.2.5	Behandlungsergebnis, Reststeine und Wiederholungsbehandlung	17
1.3	Problemstellung	17
<b>2</b>	<b>Methoden</b>	18
2.1	Patienten	18
2.2	Röntgenbefund	19
2.3	Präoperative Interventionen	19
2.4	Durchführung der Operation	20
2.5	Intraoperative Komplikationen	22
2.6	Postoperativer Verlauf	23
2.7	Pflegestandard	24
2.8	Primärbehandlung, Wiederholungsbehandlung, Reststeine und postoperative Interventionen	25
2.9	Effektivitätskoeffizient nach Clayman	26

2.10	Die Perkutane Nephrolitholapaxie im theoretischen Modell	27
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>29</b>
3.1	Patienten	29
3.2	Röntgenbefund	33
3.3	Präoperative Interventionen	34
3.4	Durchführung der PNL	35
3.5	Intraoperative Komplikationen	38
3.6	Postoperativer Verlauf	40
3.7	Behandlungsergebnis unter Berücksichtigung von Primär- bzw. Wiederholungsbehandlungen sowie klinisch insignifikanter Reststeine	43
3.7.1	Primärbehandlungen	43
3.7.2	Sekundärbehandlungen	44
3.7.3	Tertiärbehandlungen	44
3.7.4	Reststeine	44
3.8	Effektivitätskoeffizient nach Clayman	45
3.9	Steinanalyse	46
3.10	Die perkutane Nephrolitholapaxie im theoretischen Modell	47
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>56</b>
4.1	Patienten	56
4.2	Indikation und Durchführung der PNL	58
4.3	Präoperative Interventionen und Primärtherapie	61
4.4	Daten zur Operation	62
4.5	Intraoperative Komplikationen	63
4.6	Postoperativer Verlauf	67
4.7	Behandlungsergebnisse	69
4.8	Effektivitätskoeffizient nach Clayman	73
4.9	Steinanalyse	74
4.10	Die perkutane Nephrolitholapaxie im theoretischen Modell	75
4.11	Aktuelle Trends	79

<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>81</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>83</b>
	<b>Danksagung</b>	<b>92</b>

## Abkürzungsverzeichnis

ASA	American Society of Anesthesiologists
AUG	Ausscheidungsurogramm
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften
BMI	Body-Mass-Index
Charr.	Charriere (1 Charr. = $\frac{1}{3}$ Millimeter)
CIRF	Clinically insignificant residual fragment (Klinisch insignifikante Reststeine)
DGU	Deutsche Gesellschaft für Urologie
DJ	Doppel-J-Katheter
EAU	European Association of Urology
EKG	Elektrokardiogramm
ESWL	Extrakorporale Stosswellenlithotripsie
HTÜ	Harntraktübersicht
HWI	Harnwegsinfekt
Mini-PNL, mini-Perc	Minimal-invasive Perkutane Nephrolitholapaxie
OP	Operation
PLT	Pyelolithotomie
PNL, PCNL	Perkutane Nephrolitholapaxie
PNS, PCN	Perkutane Nephrostomie
PTT	Partielle Thromboplastinzeit
UK	Ureter-Katheter
ULT	Ureterolithotomie
URS	Ureterorenoskopie
WHO	World Health Organisation

## 1 Einleitung

Steinerkrankungen des oberen Harntraktes stellen in Deutschland eine häufige urologische Erkrankung dar. Hesse et al. konnten 2003 zwischen den Jahren 1979 und 2000 einen Anstieg der Prävalenz von 4 auf 5 Prozent und eine Zunahme der Inzidenz von 0,54 auf 1,47 Prozent dokumentieren. Dies rechtfertigt eine Einordnung des Harnsteinleidens unter die großen Volkskrankheiten. Es wird von jährlichen Behandlungskosten über 600 Millionen Euro ausgegangen (Müller et al., 2004).

### 1.1 Allgemeine Grundlagen

#### 1.1.1 Geschichte der operativen Therapie des Harnsteinleidens

Obwohl Nierensteine bis zur industriellen Revolution selten auftraten, war deren Existenz bereits Hippokrates bekannt. Es herrscht keine Einigkeit zwischen Historikern, ob bereits damals Nierensteinoperationen durchgeführt wurden. Unbestritten ist aber, dass Hippokrates den Flankenschnitt zur Entlastung eines paranephritischen Abszesses kannte (Desnos, 1972) und bereits den lumbalen Zugang zur Entfernung von Nierensteinen empfahl (Kropp, 1983).

Der erste Bericht über eine Nierensteinoperation stammt von Cardan von Mailand, welcher 1550 einen lumbalen Abszess bei einem jungen Mädchen eröffnete und 18 Steine entfernte. 1557 schloss Prudent Hevin aus einem umfangreichen und kritischen Bericht zur Nephrotomie vor der Royal Academy of Surgery in England, dass diese Operation lediglich bei einer fluktuierenden Schwellung in der Flanke durchzuführen sei (Desnos, 1972).

William Ingall wird die erste geplante Nephrolithotomie 1872 am Boston City Hospital zugeschrieben, eine erste Serie zu 34 Nephrolithotomien stellte Morris 1889 vor (Lingeman et al., 2003).

Als problematisch wurden immer wieder Blutungskomplikationen, resultierend aus dem transrenalen Zugang, angesehen. Verschiedenste Varianten der Niereninzision wurden angewandt, um diese zu vermeiden. Hyrtl 1882 und Brödel 1902 beschrieben einen

wenig vaskularisierten Bereich 5 mm dorsal der Margo lateralis der Niere, welcher als Zugangsweg den intraoperativen Blutverlust reduzieren sollte (Lingeman et al., 2003).

Die Pyelolithotomie, erstmals von Lower 1913 erwähnt, sollte sicherer und einfacher als die Nephrolithotomie sein, konnte sich aber eine längere Zeit wegen einer erhöhten Rezidivsteinbildung, welche sich in kleinen Serien abzeichnete, zunächst nicht durchsetzen. Spätere Arbeiten konnten dies widerlegen (Murphy, 1972). Auch durch die schnelle Entwicklung der intraoperativen Durchleuchtung wurde die weniger traumatisierende Pyelolithotomie mehr und mehr bevorzugt. Um auch kleine und peripher gelegene Steine zu entfernen, kam eine sogenannte Matrix, mit der das Nierenbeckenkelchsystem aufgefüllt wurde und an welcher die Steine haften bleiben sollten, zur Anwendung. Weitere Meilensteine der offenen Steintherapie waren die Einführung der intrasinusal erweiterten Pyelolithotomie durch Gil-Vernet 1965 sowie die intrasegmentale oder anatrophische Nephrolithotomie durch Smith und Boyce 1967 (Lingeman, 2003).

Obwohl die Steinfreiheitsraten der modernen offenen Steinoperationen sehr gut waren, bestand eine signifikante Morbidität und die Suche nach neuen Techniken und Technologien dauerte an.

Die Entwicklung der minimal-invasiven Nierensteintherapie war in großem Maße abhängig von technologischen Fortschritten in der Bildgebung einschließlich der Lichtübertragung und der Entwicklung von Stoßwellen-, Ultraschall-, elektrohydraulischen und LASER-Lithotriptoren.

Ausgehend vom ersten Zystoskop von Maximilian Nitze 1875 als Begründung der modernen Endoskopie ist eine stetige Weiterentwicklung im Instrumentarium, der Bild- und Lichtübertragung zu beobachten, die bis in die heutige Zeit andauert.

Die im folgenden Kapitel genannten Therapiemöglichkeiten von Nierensteinen Perkutane Nephrolitholapaxie, Ureterorenoskopie und ESWL sind Verfahren der minimal-invasiven Harnsteintherapie. Antegrade und retrograde Techniken zur Manipulation am geschlossenen Harntrakt wurden 1982 unter dem Oberbegriff Endourologie zusammengefasst (Smith, 1982).

### 1.1.2 Nierensteintherapie heute

Ziel und Anspruch einer modernen Steintherapie sind eine minimale Invasivität und eine hohe Steinfreiheit im Rahmen möglichst weniger Therapiesitzungen und geringer Komplikationsrate. Absolute Gleichberechtigung verdient eine suffiziente Metaphylaxe, da zum Beispiel für Kalziumoxalatsteine mit einer Rezidivwahrscheinlichkeit von 50 Prozent in 10 Jahren gerechnet werden muss (Uribarri et al., 1989).

Die etablierten Behandlungsverfahren lassen sich in nicht-invasive, minimal-invasive und invasive Verfahren einteilen.

Nicht-invasiv sind die Extrakorporale Stoßwellenlithotripsie (Chaussy et al., 1982) als interventionelles Therapieverfahren sowie die konservative Steinaustreibung und die Chemolitholyse. Die Ureterorenoskopie, eingeführt 1980 (Pérez-Castro und Martínez-Ineiro, 1980) sowie die Perkutane Nephrolitholapaxie oder Nephrolithotomie (Fernström und Johansson, 1976) zählen zu den minimal-invasiven Therapieformen. Mittels flexibler Ureterorenoskope kann, obwohl noch begrenzt durch die derzeitigen technischen Möglichkeit, ein Zugang zu Steinen in allen Kelchgruppen einer Niere ermöglicht werden (Honeck et al., 2008). Mit der Etablierung der Laparoskopie in der Urologie erlangen nun auch laparoskopische Verfahren als minimal-invasive Therapie einen Stellenwert in der Steintherapie (Hruza et al., 2008). Pyelo- oder Ureterolithotomie (PLT, ULT) sind unter den genannten die Eingriffe mit der höchsten Invasivität.

Verschiedene Arbeiten untersuchten den klinischen Verlauf von Patienten mit einer Nephrolithiasis.

Hübner und Porpaczy zeigten 1990 bei 63 Patienten mit 80 Nierenkelchsteinen eine erfolgreiche Chemolitholyse bei 6 Prozent und einen Spontanabgang bei 16 Prozent. Bei 40 Prozent der Patienten war eine chirurgische Intervention erforderlich, bei 38 Prozent verblieb der Stein in situ. Während des Beobachtungszeitraumes zeigten 45 Prozent der Steine eine Größenzunahme, 68 Prozent der Patienten boten eine Infektion, 51 Prozent der Patienten Schmerzereignisse.

Glowacki und Mitarbeiter fanden für Patienten mit asymptomatischen Kelchsteinen eine kumulative 5-Jahres-Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines symptomatischen

Ereignisses von 48,5 Prozent, etwa in der Hälfte dieser Ereignisse bedurfte es einer aktiven Intervention (Glowacki et al., 1992).

Für Patienten mit Ausgusssteinen wurde 1976 eine 10-Jahres-Mortalität mit 28 Prozent der unbehandelten vs. 7,2 Prozent der behandelten (konservativ und interventionell) Patienten angegeben (Blandy und Singh, 1976). Daraus wurde eine Therapieindikation bei symptomatischen Kelchsteinen sowie generell für alle Ausgusssteine abgeleitet.

Die Indikationen und damit auch die Häufigkeit der Anwendung zu den jeweiligen Therapieverfahren waren in den letzten Jahren auf Grund der Ergebnisse großer Untersuchungen immer wieder Änderungen unterzogen.

So zeigten Kerbl und Mitarbeiter im Zeitraum von 1990 bis 1998 eine um 53 Prozent häufigere Anwendung der ureterskopischen Steintherapie, eine Abnahme der ESWL-Häufigkeit um 15 Prozent sowie eine nahezu konstante Anwendung der PNL von ca. 6 Prozent (Kerbl et al., 2002). Ein weiterer interessanter Aspekt dieser Arbeit ist eine annähernd gleiche Zahl von behandelten Patienten mit Nierensteinen (1990: 671; 1998: 640) an der Washington University, während in den USA zwischen 1988 (28445) und 2000 (49712) die Anzahl der therapierten Nierensteine um 75 Prozent anstieg.

Morris und Mitarbeiter publizierten einen Anstieg der PNL-Häufigkeit von 1,2/100 000 auf 2,5/100 000 bei US-Bürgern zwischen 1988 und 2002 (Morris et al., 2006). Weiterhin zeigt diese Arbeit höhere Steinfreiheits- und niedrigere Komplikationsraten in Einrichtungen mit hoher PNL-Frequenz.

Wie ist diese Entwicklung zu erklären?

Ziele der modernen Steintherapie sind hohe Steinfreiheits- und somit niedrige Wiederbehandlungsraten, einer geringen Zahl von Maßnahmen, welche indirekt mit der Steintherapie in Zusammenhang stehen (Auxiliärmaßnahmen) und kleinstmögliche Komplikationsraten. Immer mehr stehen auch ökonomische Gesichtspunkte im Blickfeld des Steintherapeuten.

### 1.1.3 Indikationen zur Harnsteintherapie

Die Entscheidung zur jeweiligen Therapie der Nephrolithiasis wird durch die Faktoren Steinmasse oder Steinlast (Größe und Anzahl), Steinzusammensetzung und Steinlokalisierung bestimmt. Die Steinmasse ist möglicherweise der bedeutendste unabhängige Faktor, welcher die Auswahl der jeweiligen Behandlungsmodalität bestimmt (Motola und Smith, 1990).

Ausgehend von der Einteilung in Ausguss-Steine und Nichtausguss-Steine wird die größte Kontroverse aktuell über die Therapieindikationen der Nicht-Ausgusssteine geführt. Hier konnten mehrere Autoren den negativen Einfluss wie sinkende Steinfreiheitsraten, steigende Auxiliärmaßnahmen und Wiederbehandlungsraten einer hohen Steinlast auf die Ergebnisse der ESWL zeigen (Lingeman et al., 1986, Logarakis et al., 2000, Mobley et al., 1993). Therapiealgorithmen des Nicht-Ausgusssteines werden heute gewöhnlich durch die Steingröße bestimmt. Steine einer Größe bis 10 mm haben eine Inzidenz von 50 bis 60 Prozent unter allen Nierensteinen (Cass, 1995, Logarakis et al., 2000, Renner und Rassweiler, 1999). Bei diesen Steinen ist durch eine ESWL unabhängig von Lokalisation und Steinzusammensetzung ein zufrieden stellendes Therapieergebnis mit einer Steinfreiheitsrate von 79,9 (63 – 90) Prozent erreichbar (Cass, 1995, Clayman et al., 1989, Lingeman et al., 1994, Logarakis et al., 2000, Psihramis et al., 1992).

Steine zwischen 10 und 20 mm Größe werden überwiegend einer ESWL als Primärbehandlung zugeführt. Es ist aber zu beachten, dass bei dieser Größe sowohl die Steinlokalisierung als auch die Steinzusammensetzung einen Einfluss auf die Resultate der ESWL haben. Besondere Beachtung verdient hier der untere Kelchstein. Dieser zeigt im Vergleich zum oberen bzw. mittleren Kelchstein deutliche schlechtere Ergebnisse bei der ESWL (55 % vs. 71,8 bzw. 76,5 %) (Saw und Lingeman, 1999). Dies hat in letzter Zeit zu einer Verschiebung der Indikationsstellung zugunsten invasiverer Therapieverfahren (PNL, flexible Ureterorenoskopie) geführt. Aktuell wird beim unteren Kelchstein ab einer Größe von 15 mm die ESWL nicht mehr als Therapie der Wahl empfohlen (Knoll et al., 2005). Die Kenntnis der Zusammensetzung des zu behandelnden Steines kann bei der Indikationsstellung hilfreich sein. Zystin-, Brushit- und Kalziumoxalatmonohydratsteine zeigen schlechte Desintegrationsergebnisse und

sollten nur bis zur Größe von 15 mm durch eine ESWL therapiert werden (Pittomvils et al., 1994, Saw und Lingeman, 1999).

Für Steine ab 20 mm Größe konnte die PNL mit ca. 90 Prozent gegenüber der ESWL mit ca. 30 Prozent überlegene Steinfreiheitsraten aufweisen (Lingeman, 1989, Psihramis et al., 1992). Deswegen gilt die PNL bei Konkrementen dieser Größe gemäß den aktuellen Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Urologie (DGU) und der European Association of Urology (EAU) als die Therapie der Wahl (Türk et al., 2008).

Ausgusssteine, welche zumeist die Größe von 20 mm übertreffen, werden demnach ebenfalls vorzugsweise durch eine PNL behandelt.

Für hohe Uretersteine größer 10 mm bieten sich die Therapieoptionen ESWL, Ureterskopie und PNL und können entsprechend der Präferenz des Therapeuten und dem zu behandelnden Patienten angepasst angewandt werden (Segura et al., 1997).

Die große Mehrheit der „einfachen“ Nierensteine (ca. 80 – 85 Prozent) kann also mit der ESWL zufriedenstellend behandelt werden (Chaussy, 1988, Wickham, 1993).

Aus dieser Konstellation lassen sich Überlegungen ableiten, welche in der vorliegenden Arbeit diskutiert werden sollen. Können für ein relativ selten angewandtes Therapieverfahren wie die PNL im Vergleich zu anderen Verfahren adäquate Ergebnisse erzielt werden? Führt die geringere Routine, welche auf Grund der vergleichsweise seltenen Anwendung vorliegt, zur Verschiebung von Indikationen oder erhöht sie die Komplikationsrate? Wird die PNL auch dadurch zu selten durchgeführt? Wie „vergleichbar“ sind eigene und publizierte Ergebnisse?

Im Vergleich zu den anderen minimal-invasiven Therapieverfahren besteht bei der PNL eine höhere Invasivität, da der perkutan-transrenale Weg zur Steintherapie genutzt wird. Ernste bzw. Major-Komplikationen treten in 1,1 bis 7 Prozent, Minor-Komplikationen in 11-25 Prozent der Operationen auf (Lingeman et al., 2003). Damit ist die PNL auch in routinierter Hand kein generell unproblematischer Eingriff.

Ausgangspunkt dieser Arbeit war der Wunsch nach der Auswertung der Ergebnisse der PNL im Patientengut der eigenen Einrichtung sowie der Vergleich dieser Ergebnisse mit denen anderer Autoren der gegenwärtigen Literatur. Vor- und Nachteile neuerer Entwicklungen und Tendenzen sollen vorgestellt und diskutiert werden.

## 1.2 Die Perkutane Nephrolitholapaxie (PNL)

### 1.2.1 Geschichte der PNL

Rupel und Brown entfernten erstmals 1941 einen Nierenstein durch einen offen operativ angelegten Nephrostomiekanal. 14 Jahre später beschrieben Goodwin und Mitarbeiter als erste die perkutane Punktionsnephrostomie zur Drainage einer Harnstauungsniere (Goodwin et al., 1955).

Die perkutane Nephrolitholapaxie oder Nephrolithotomie (PNL) wurde 1976 erstmals von Fernström und Johansson beschrieben. Damit wurde mittels Punktion ein Zugang zur Niere geschaffen, der die Endoskopie des Nierenbeckenkelchsystemes und damit eine Steintherapie unter Sicht ermöglichte. Dieses neue Therapieverfahren wurde vor allem in den USA und in Europa (Deutschland, Großbritannien) etabliert (Alken et al., 1981, Clayman et al., 1984, Segura et al., 1982, Wickham und Kellett, 1981). Durch weitere Entwicklung sowohl der Operationstechnik als auch des Instrumentariums erlaubt die PNL heute eine Steintherapie, welche im Vergleich zur offenen Steintherapie mit geringerer Morbidität einhergeht, eine kürzere Rekonvaleszenz verspricht und kostengünstiger ist (Brannen et al., 1985). Damit hat die PNL die offene Steintherapie an den meisten Einrichtungen als Verfahren der Wahl für große oder komplexe Nierensteine abgelöst.

### 1.2.2 Prinzip der PNL und aktueller Stand der Entwicklung

#### 1.2.2.1 Anästhesie

Die Operation kann sowohl in Allgemein-, Spinal- oder Lokalanästhesie durchgeführt werden. Vorteile einer Allgemeinanästhesie bestehen in der Unabhängigkeit von der Operationsdauer und einer bestmöglichen Überwachung der Lungenfunktion (Patientenlagerung). Regionale Anästhesieverfahren mindern allgemeine Narkoserisiken, bedürfen aber stets einer zusätzlichen intravenösen Sedierung und Analgesie. Auf die Möglichkeit einer bei Regionalanästhesie nicht zu verhindernden vasovagalen Reaktion sei hingewiesen. Offenbar werden in Nordamerika, auch dem

herrschenden Krankenhaussystem geschuldet, regionale Anästhesieverfahren bevorzugt, während in Deutschland der Eingriff zumeist in Allgemeinanästhesie durchgeführt wird (Knoll et al., 2005, Preminger et al., 1986).

#### 1.2.2.2 Zugang zum Hohlsystem der steintragenden Niere

Der Zugang zum Hohlsystem erfolgt über die jeweilige Flanke, wobei sich der Patient in Bauchlage befindet. Dabei kann die Flanke leicht (bis 30°) angehoben sein.

Häufig wird ein dorsaler unterer Kelch als Zugang genutzt. Die Punktion wird durch bildgebende Maßnahmen unterstützt. Zum einen erfolgt ein sonographisch assistiertes Vorgehen, welches durch eine starr mit einem Ultraschallkopf verbundene Punktionshilfe als Führung der Punktionsnadel realisiert werden kann. Die Punktion wird zum anderen mittels Durchleuchtung und einer Kontrastmittelapplikation über die Punktionsnadel kontrolliert. Zur besseren Darstellung des Hohlsystems kann unmittelbar vor dem Eingriff durch Zystoskopie ein Ureterkatheter (UK) in das Nierenbecken platziert werden, über welchen eine Kontrastierung bzw. Anfärbung des Hohlsystems möglich ist. Als Ballonkatheter kann der UK den Abgang von Steinanteilen in den Ureter verhindern. Der optimale Zugang erfolgt über das Kelchende, da hier die geringste Blutungsgefahr besteht. Dagegen verlaufen tangential zu den Kelchhälsen und nierenbeckennah z.T. kräftige Gefäße. Prinzipiell können alle Kelchgruppen, gegebenenfalls speziell die obere Kelchgruppe auch durch eine suprakostale Punktion, erreicht werden. Allerdings geht dieser Zugang bei ähnlichen Steinfreiheitsfreiheitsraten mit einer größeren Zahl von Komplikationen, meist durch eine Pleura- bzw. Lungenverletzung bedingt, einher (Kim et al., 2003).

Der eigentliche Arbeitskanal kann auf verschiedene Weise etabliert werden. Alken beschrieb das Vorgehen einer schrittweisen Dilatation mittels Telekop-Bougies aus Metall (Alken et al., 1981). Die Verwendung von Ballon-Dilatatoren ist möglich, eine Weiterentwicklung dieser Technik ist ein sich radial ausbreitender Ein-Schritt-Dilatator (Goharderakhshan et al., 2001). Signifikante Unterschiede hinsichtlich einer schnelleren Methode oder Vermeidung von Komplikationen ergeben sich bei annähernd gleichen Kosten jedoch nicht (Kim et al., 2003).

Die Größe des Arbeitskanales wird durch das ausgewählte Instrumentarium bestimmt. Es stehen starre Nephroskope der Größen von 12 bis 27 Charriere unterschiedlicher Hersteller zur Verfügung, aber auch die Verwendung flexibler Instrumente ist möglich. Die Operation kann im Hohlsystem der Nieren sowohl unter niedrigen (ca. 7 cm H<sub>2</sub>O) als auch unter höheren (16 bis 33 cm H<sub>2</sub>O) Druckbedingungen durchgeführt werden. Dies bedingt ein spezielles Hilfsmittel, der sogenannte „Amplatz-Schaft“. Dieser sichert permanent den Zugang zum Hohlsystem, das Nephroskop wird durch den Schaft geführt und vermeidet durch einen permanenten Abfluss der Spülflüssigkeit hohe intrarenale Drücke. Ein Nachteil ist die mit dem Schaft verbundene Verbreiterung des Arbeitskanales. Ohne „Amplatz-Schaft“ wird das Nephroskop frei im etablierten Arbeitskanal bewegt. Die höheren Drücke können eine bessere Sicht bedingen und die Blutungsgefahr reduzieren, andererseits besteht die Gefahr einer Aufnahme der Spülflüssigkeit in den Kreislauf und das Auftreten größerer Extravasate (Lingeman et al., 2003).

Die Verwendung besonders dünner Instrumente bis maximal 18 Charr. wird als Mini-PNL oder Mini-Perc bezeichnet. Neben dem Vorteil einer geringeren Traumatisierung renalen Gewebes ergeben sich auch Nachteile durch längere Operationszeiten und die häufige Notwendigkeit von Folgeeingriffen (Lahme et al., 2001). Deswegen wird diese OP-Spezifikation eher als Alternative zur ESWL eines unteren Kelchsteines denn zur konventionellen PNL gesehen (Knoll et al., 2005).

Traditionell wird im englischsprachigen Raum die Anlage der Nephrostomie vorzugsweise durch einen interventionellen Radiologen durchgeführt. Geschieht dies nicht unmittelbar vor der eigentlichen Steintherapie, spricht man von einem zweizeitigen Vorgehen (Lingeman et al., 2003).

### 1.2.2.3 Steintherapie

Die eigentliche Steintherapie kann auf verschiedene Weise erfolgen.

Bei der Ultraschalllithotripsie erfolgt die direkte Applikation von Ultraschallenergie auf den Stein und führt zu dessen Desintegration. Die Anwendung von Ultraschallschwingungen zur Steindefragmentierung wurde erstmals 1953 durch Mulvaney beschrieben. Angeregt durch elektrische Energie wird ein piezokeramisches

Element zur Schwingung im Frequenzbereich von 23 bis 25 kHz angeregt. Diese Schwingungen werden dann auf eine Metallsonde übertragen. Direkter Kontakt zum Stein führt über eine Resonanzfrequenz zur Desintegration. Da meist Hohlsonden verwendet werden, ist ein gleichzeitiges Absaugen der Desintegrate möglich, was als großer Vorteil des Verfahrens angesehen wird und die weite Verbreitung gerade in der perkutanen Nierensteinentfernung erklärt. Die angewandte Frequenz führt am umliegenden Gewebe, insbesondere dem Urothel, zu keiner Traumatisierung (Grocela und Dretler, 1997). Allerdings können Gewebeschäden durch die an der Sondenspitze entstandene Wärme auftreten.

Die LASER-Lithotripsie kann zum einen auf der Steinzertrümmerung durch eine intrakorporal erzeugte Stoßwelle, welche durch einen LASER-Puls generiert wird, zum anderen auf der Vaporisation des Konkrementes durch einen thermischen Effekt basieren.

Bei der Pneumatisch-ballistischen Lithotripsie (Lithoklastlithotripsie) nutzt man die durch Druckluft erzeugte und durch eine Sonde direkt auf den Stein übertragene Energie. Bei letzteren Desintegrationsverfahren ist die Entfernung der Steinfragmente durch geeignete Instrumente (Zange, Dormiakörbchen) oder Ausspülen über den Arbeitskanal erforderlich.

Mechanische und elektrohydraulische Lithotripsieverfahren kommen bei der PNL nicht zur Anwendung.

#### 1.2.2.4 Postoperativer Verlauf

Nach der Steinentfernung wird eine suffiziente Drainage des Urins der therapierten Niere gewöhnlich empfohlen. Meist geschieht dies über eine perkutane Nephrostomie. Diese kann neben der Harnableitung auch zur Tamponade einer Blutung aus dem Arbeitskanal dienen. Bei Reststeinen kann ein Sekundäreingriff über den bestehenden Kanal erfolgen (Lingeman et al., 2003). Alternativ kann bei der tubeless-PNL eine interne Ableitung mittels DJ-Ureter-Katheter genutzt werden (Goh und Wolf, 1999). Neuere Arbeiten diskutieren bei komplikationslosem Operationsverlauf den Verzicht jeglicher Harnableitung oder auch den Verschluss des Arbeitskanales mit einem Fibrinkleber (Crook et al., 2008, Schilling et al., 2008).

#### 1.2.2.5 Behandlungsergebnis, Reststeine und Wiederholungsbehandlung

Ausgehend vom intraoperativen Befund muss im postoperativen Verlauf eine Kontrolle des Behandlungsergebnisses erfolgen, da auch vom Operateur unbemerkt Desintegrate in nicht einsehbare Abschnitte des oberen Harntraktes (Kelchgruppe, proximaler Ureter) gespült werden können. Im Allgemeinen ist die Harntraktübersicht das ausreichende diagnostische Mittel, welches durch die antegrade Nephrostomographie und Renosonographie ergänzt werden kann. Bei Reststeinen muss eine Unterteilung in erneut therapiebedürftige bzw. lediglich zu beobachtende Restfragmente erfolgen, wobei die Rolle letzterer als clinically insignificant residual fragments (CIRF) diskutiert werden muss.

### 1.3 Problemstellung

Ziel dieser Arbeit ist die retrospektive Auswertung der an der eigenen Einrichtung durchgeführten perkutanen Nephrolitholapaxien von 2001 bis 2005. Dabei soll besonderes Augenmerk auf Indikatoren einer minimal-invasiven Therapie wie die erzielte Steinfreiheit der Primärbehandlung, damit eng verknüpft der Notwendigkeit zu Folgebehandlungen und Komplikationen gelegt werden. Die Ergebnisse sollen kritisch mit den Daten anderer Arbeiten verglichen werden, wobei auch spezifische Besonderheiten in der Erhebung dieser Daten aufgezeigt werden sollen.

## 2 Methoden

### 2.1 Patienten

Es wurden alle konsekutiven Patienten, welche von 2001 bis 2005 mit einer perkutanen Nephrolitholapaxie an der Urologischen Klinik des Johanniter-Krankenhauses Dohna-Heidenau bzw. des Klinikums Pirna GmbH (Umzug der Klinik 2004) behandelt wurden, retrospektiv erfasst und untersucht. Kein Patient wurde aus der Untersuchung ausgeschlossen.

Im Rahmen der präoperativen Evaluierung der zu behandelnden Patienten wurden während der stationären Aufnahme zunächst eine Steinanamnese einschließlich diesbezüglich erfolgter Interventionen und die aktuelle Symptomatik durch das zu behandelnde Konkrement erfaßt. Alle Patienten wurden einer kompletten körperlichen Untersuchung sowie einer Urosonographie unterzogen. Aus Körpergröße und -gewicht des Patienten wurde der Body-Mass-Index (BMI) nach der Formel:

$$BMI = \frac{\text{Körpergewicht (kg)}}{\text{Körpergröße (m)}^2}$$

berechnet.

Zur Einschätzung des Schweregrades der bestehenden Nebenerkrankungen wurde die ASA(American Society of Anaesthesiology)-Klassifikation herangezogen. Sie teilt die Patienten in 6 Gruppen ein. In ASA- Gruppe 1 werden normale, gesunde Patienten gruppiert. Patienten mit leichter Allgemeinerkrankung werden der ASA-Klasse 2, die mit schwerer Allgemeinerkrankung der ASA-Klasse 3 zugeordnet. In die ASA-Klassifikationen 4 (schwerste Nebenerkrankung), 5 (moribunder Patient) und 6 (Operation eines hirntoten Patienten zur Organentnahme), wurde kein Patient eingruppiert (American Society of Anesthesiologists, 1963).

Als Laborparameter wurden bei Aufnahme generell ein sogenanntes „Urologisches Profil“, welches das kleine Blutbild, Serum-Elektrolyte, Serum-Kreatinin, Harnsäure und wesentliche Blutgerinnungsparameter (PTT, Quick-Wert) umfasst, erstellt. Daraus gingen in die Auswertung der Hämoglobin-Wert, das Serum-Kalzium und das Serum-Kreatinin ein.

Der Urin wurde mittels Streifentest (Urin-Stix) untersucht. Bei Hinweisen auf eine Harnwegsinfektion wurde eine Urinkultur angelegt.

## 2.2 Röntgenbefund

Mittels des präoperativen Röntgenbefundes, in der Regel als Ausscheidungsurogramm vorliegend, wurden die Steine hinsichtlich ihrer Lokalisation und Größe klassifiziert. Es erfolgte die Unterteilung in Nierenbeckensteine, Kelchsteine der oberen, mittleren oder unteren Kelchgruppe, Ausgusssteine sowie proximale Uretersteine. Die Steingröße wurde als maximaler Durchmesser des Konkrementes definiert. Ferner wurden eine bestehende Harntransportstörung sowie eventuell vorhandene Anomalien beurteilt.

## 2.3 Präoperative Interventionen

Die präoperativen Interventionen vor einer PNL müssen in vorangegangene Therapien bzw. Maßnahmen zur Ableitung einer durch den Stein verursachten Harnstauung unterschieden werden.

Mögliche Therapien vor einer PNL sind die ESWL, eine URS oder eine PNL. Wurde ein Stein durch eine ESWL nicht desintegriert oder konnte nicht in den Fokus des Stoßwellengenerators positioniert werden (z.B. bei Adipositas per magna), wurde ebenso wie beim Ausbleiben des Abganges von Desintegraten nach ESWL durch eine nicht vom Stein verursachte Harntransportstörung (z.B. Ureterabgangs-, Kelchhalsstenose) nachfolgend eine PNL durchgeführt. Eine Ureterorenoskopie als eigenständiger Eingriff kann der PNL durch das Zurückschieben („push-back“) eines meist hohen Uretersteines in die Niere vorgehen. Davon muss das geplante Zurückschieben eines hohen Uretersteines bei initial geplanter PNL unterschieden werden. Die PNL nach bereits erfolgter PNL mit nicht zufrieden stellendem Ergebnis (Re-PNL) wurde nicht als eine präoperative Intervention betrachtet. Aus Gründen der praktischen Bedeutung wird diese Konstellation im Rahmen des postoperativen Verlaufes und der Notwendigkeit von Wiederholungsbehandlungen untersucht werden. Als Maßnahmen zur Ableitung einer symptomatischen Harnstauungsnieren dienen die Anlage einer perkutanen Nephrostomie (PNS) oder die Einlage eines DJ-Ureter-

Katheters. Als symptomatisch wurde eine röntgenologisch bzw. sonographisch nachgewiesene Harntransportstörung dann angesehen, wenn Schmerzen vom Patienten angegeben wurden, Zeichen einer Infektion (Fieber, Urinbefund, Leukozytose, CRP-Erhöhung) oder Hinweise für eine Einschränkung der Nierenfunktion (Erhöhung des Serum-Kreatinins) vorlagen. Diese Maßnahmen können auch als (präoperative) Auxiliärmaßnahmen bezeichnet werden.

In einem Fall erfolgte am Vortag der Operation die perkutane Nephrostomie (sogenanntes zweizeitiges Vorgehen), ohne dass eine Harntransportstörung vorlag.

Die unmittelbar vor der PNL durchgeführte Einlage des Ureter-Katheters wird nicht zu den präoperativen Interventionen gezählt.

#### 2.4 Durchführung der Operation

Die Indikation zur PNL wurde bei einer Steingröße  $\geq 20$  mm gestellt. Weiterhin kam sie bei kleineren Steinen nach frustraner ESWL zur Anwendung. Bei einem zusätzlich bestehenden Harnabflusshindernis bestand die Möglichkeit der simultanen Versorgung desselben z.B. durch eine Endopyelotomie (Ureterotomia intubata).

Kontraindikationen zur PNL sind eine bestehende Schwangerschaft, eine nicht therapierbare Blutgerinnungsstörung sowie eine akute Harnwegsinfektion (Knoll et al., 2005). Letzterer Punkt sollte dahingehend konkretisiert werden, dass die PNL beim Vorliegen einer Harnwegsinfektion nicht beim fiebernden Patienten und nicht ohne Antibiose durchgeführt werden soll. Ist zum Beispiel ein Infektstein die Ursache des Harnwegsinfektes, kann trotz adäquater antibiotischer Therapie nicht immer ein steriler Urin nachgewiesen werden. Als relative Kontraindikation ist die symptomatische Harnstauungsniere anzusehen, welche zunächst mittels einer Auxiliärmaßnahme beseitigt werden sollte.

Die perkutane Nephrolitholapaxie wurde bis auf eine Ausnahme als einzeitiger Eingriff durchgeführt. Nach Narkosebeginn erfolgte bis auf Ausnahmen, bei denen bereits ein Zugang vorlag (perkutane Nephrostomie durch Beseitigung einer Harnstauung oder vorangegangene PNL) zunächst die retrograde Einlage eines Ureterkatheters 5 Charr. (ohne Ballon) und dessen Fixierung an einen Blasenkatheter. Mit dessen Hilfe erfolgte bei Punktionschwierigkeiten eine retrograde Kontrastierung des Hohlsystems.

In Bauchlage wurde nach Schaffung steriler Kautelen das Nierenhohlssystem sonographisch gestützt punktiert. Die korrekte Lage der Punktionsnadel wurde durch Kontrastmittelapplikation unter Durchleuchtung dokumentiert. Ein Führungsdraht (Lunderquist-Draht - Fa. UroVision) sicherte den Punktionskanal. Über den liegenden Draht erfolgte die Bougierung des perkutanen Zuganges mittels „Teleskop-Bougies“ (Firma R. Wolf). Für die Nephroskopie standen starre Nephroskope der Größe 18; 20,8 und 27 Charrere (Fa. R. Wolf) zur Verfügung, wobei die Größenangabe sich auf den Außendurchmesser des Nephroskopes bezieht. Der Nephroskopschaft wird dann durch den Arbeitseinsatz, welcher sich aus dem optischen System und dem eigentlichen Arbeitskanal zusammensetzt, komplettiert. Ein zusätzlicher „Amplatz-Schaft“ fand keine Anwendung. Nach Nephroskopie und Lokalisation des Konkrementes erfolgte die Ultraschallithotripsie mit der Sonotrode (Fa. R. Wolf), die entstehenden Desintegrate wurden simultan abgesaugt. Die Größe dieser Sonotrode ist an den Innendurchmesser des Arbeitseinsatzes angepasst. Zur Veranschaulichung der Größenverhältnisse sind die Maßangaben der verwendeten Instrumente in Tabelle 1 dargestellt. Weiterhin bestand die Möglichkeit der Extraktion einzelner Steinfragmente mit einer Fasszange.

<b>Nephroskop</b>		<b>Arbeitseinsatz</b>		<b>Sonotrode (angepasst an Arbeitskanal)</b>	
<b>Bezeichnung</b>	Außen- durchmesser in mm	Fläche in mm <sup>2</sup>	kleinster Durchmesser des ovalen Arbeitskanals in mm	Außen- durchmesser in mm	Innen- durchmesser in mm
<b>27 Charr.</b>	9	63,62	5	4	2,5
<b>20,8 Charr.</b>	6,93	37,75	4	3,5	2
<b>18 Charr.</b>	6	19,63	2	1,9	1

Tabelle 1 Größe des OP-Instrumentariums und der Sonotrode mit Angabe des Außen-/Innendurchmessers

Zum Ende der Operation erfolgte die Einlage einer Ballon-Nephrostomie (in der Regel 16 Charr., Fa. UroVision) und die Entfernung des Ureterkatheters. Nach Umlagern und Narkoseausleitung wurde der Patient auf der urologischen Wachstation (Intermediate-Care-Station) betreut.

Die erhobenen Daten zur Operation beinhalten die Dauer des Eingriffes, einschließlich der Einlage des Ureterkatheters, den Ausbildungsstand des Operateurs (Chefarzt, Oberarzt, Arzt in Weiterbildung) und das verwendete Instrumentarium. Das gewählte Operationsverfahren beschreibt Modifikationen wie den Verzicht auf die retrograde Einlage des Ureterkatheters, wenn durch eine Nephrostomie bereits ein Zugang zum Hohlraum besteht. Wurde während der Operation ein Abschwemmen von Desintegraten in den Ureter bemerkt, erfolgte mitunter die antegrade Einlage eines DJ-Ureter-Katheters. Eine simultane Endopyelotomie wurde mit einem Urethrotom (Fa. Wolf) durchgeführt. Danach erfolgte zur Schienung des erweiterten pyeloureteralen Überganges die Einlage eines speziellen Ureterotomiekatheters (Fa. UroVision).

## 2.5 Intraoperative Komplikationen

Als Komplikationen wurden Ereignisse zusammengefasst, welche im Verlauf der Operation uneingeplant auftreten, den Operationsverlauf ungünstig beeinflussen und damit ein Abweichen vom standardisierten operativen Vorgehen bedingen können. Die Vielfalt der möglichen Komplikationen erfordert eine praktikable Unterteilung, welche auch der klinischen Bedeutung gerecht werden soll.

In der vorliegenden Arbeit erfolgte eine Unterteilung in Major- bzw. Minor-Komplikationen. Als Major-Komplikationen wurden potentiell vital bedrohliche Ereignisse bzw. erhebliche eingriffserweiternde Maßnahmen wie die offene Revision, intensivtherapiepflichtige Kreislaufreaktionen und die transfusionspflichtige Blutung definiert. Minor-Komplikationen sind demnach nicht vital bedrohliche Ereignisse ohne Eingriffserweiterung wie nicht transfusionspflichtige Blutungen, welche zu einem Operationsabbruch wegen fehlender Übersicht führten, Schwierigkeiten bei der Etablierung des Arbeitskanales oder technische Probleme mit dem Instrumentarium (z.B. Defekt der Sonotrode, Zangenbruch).

Sämtliche Ereignisse, welche keine komplette Steinfreiheit ermöglichten bzw. zur Änderung des Vorgehens wegen Reststeinen führten, wurden nicht als Komplikationen gewertet.

Ein komplizierter postoperativer Verlauf (prolongierte Blutung mit konsekutiver Transfusion, Harnwegsinfekt) wird ebenfalls nicht zu den intraoperativen Komplikationen gezählt und deshalb gesondert betrachtet.

## 2.6 Postoperativer Verlauf

Zumeist wurde die Operation, wie allgemein empfohlen, unter einer Antibiotikaphylaxe durchgeführt. Zeigte der Urinbefund bei stationärer Aufnahme des Patienten keinen Hinweis für eine Harnwegsinfektion, erfolgte die Antibiotikagabe zur Einleitung der Narkose und damit ca. 30 Minuten vor der Punktion. Bei Infektzeichen im Urin (Leukozyturie, Nitritnachweis) wurde eine Urinkultur angelegt und der Patient bereits präoperativ kalkuliert antibiotisch therapiert. Im Verlauf wurde das Auftreten fieberhafter Harnwegsinfekte (definiert durch rezidivierende Temperaturen über 38°C über den ersten postoperativen Tag hinaus und positive Urinkultur) untersucht.

Der Blutverlust durch die Operation soll durch die Differenz des Hämoglobin-Wertes prä- und postoperativ (1. po. Tag) abgeschätzt werden.

Die Indikation zu einer Transfusion wurde prinzipiell bei einem Hämoglobin-Wert kleiner 5 mmol/l gestellt. Bei höherem Hämoglobin-Wert wurde nur bei annehmbar blutungsbedingter hypotoner Kreislaufsituation ebenfalls transfundiert.

Bestand keine Indikation zur neuerlichen Intervention durch Reststeine, wurde die Nephrostomie zunächst in steigenden Intervallen, anschließend dauerhaft okkludiert. Zeigten die Sonographie der behandelten Niere keine Harnstauung sowie der Patient keine Symptome wie Flankenschmerz, Temperaturen oder Urinabsonderung über den Nephrostomiekanal, wurde die Nephrostomie entfernt. Am Folgetag erfolgte in aller Regel die Entlassung in die ambulante Weiterbetreuung.

Seit Mitte des Jahres 2003 wird grundsätzlich eine Steinanalyse durch das Labor des Krankenhauses Dresden-Friedrichstadt nach dem Verfahren der Infrarotspektroskopie durchgeführt.

Zu den erfassten Daten aus dem postoperativen Verlauf gehören das Auftreten eines fieberhaften Harnwegsinfektes, die erzielte Steinfreiheit, die Notwendigkeit einer Folgetherapie, der Tag der Entfernung der Nephrostomie und der Entlassungszeitpunkt (jeweils in postoperativen Tagen) sowie das Ergebnis der Steinanalyse.

## 2.7 Pflegestandard

Um den Behandlungsablauf in möglichst hoher Qualität zu gewährleisten, wurde ein klinikinterner Therapie- und Pflegestandard etabliert.

Er bezieht ärztliche, pflegerische und physiotherapeutische Maßnahmen ein (Tabelle 2).

<u>Ärztliche Anordnung</u>	<u>Pflegestandard</u>
<p style="text-align: center;"><b>Aufnahme</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kreuzblut für 2 Transfusions-einheiten</li> <li>• Antibiose</li> <li>• Clexane</li> <li>• HTÜ</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Aufnahme</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• urolog.Profil, Blutgruppe, Kreuzblut</li> <li>• Urinstix, ggf. Urinkultur</li> <li>• EKG, Thorax</li> <li>• AUG vorhanden?</li> <li>• Antithrombosestrümpfe, ggf. Beine wickeln</li> <li>• Klistier am Vorabend, Duschen</li> <li>• Prämedikation lt. Anästhesie   Urinflasche/Begleitung zur Toilette</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>OP-Tag</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infusionsvolumen</li> <li>• Laborkontrollen</li> <li>• Analgetika</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>OP-Tag</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rasur Mittellinie bis Achsel, Brustwarze bis Beckenkamm</li> <li>• Prämedikation lt. Anästhesie</li> <li>• Monitoring (Blutdruck, EKG, Pulsoxymetrie)</li> <li>• Bilanzierung</li> <li>• auf Ausscheidung, Urinfarbe u. Abdomen achten</li> <li>• Verbandkontrolle</li> <li>• Bettruhe bis zum nächsten Morgen</li> <li>• Nulldiät</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>1. postop.Tag</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infusionsvolumen</li> <li>• Weiterführung der Antibiose</li> <li>• Schmerztherapie</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>1. postop.Tag</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundpflege und Prophylaxen</li> <li>• Blasenkatheter-Pflege</li> <li>• Mobilisation</li> <li>• Bilanzierung</li> <li>• Atemtrainer</li> <li>• Verbandkontrolle Nephrostomie</li> <li>• Kostaufbau bei komplikationslosem Verlauf</li> <li>• Trinkmenge ca. 2000 ml</li> <li>• Laborkontrolle: Blutbild ,Elektrolyte ,Gerinnung, Kreatinin</li> </ul>

<p><b>2. postop.Tag</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• HTÜ</li> <li>• Blasenkatheter-Entfernung</li> </ul>	<p><b>2. postop.Tag</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bilanzierung</li> <li>• Verbandswechsel Nephrostomie</li> <li>• auf Trinkmenge achten</li> </ul>
<p><b>3. postop.Tag</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nephrostomie abstöpseln</li> </ul>	<p><b>3. postop.Tag</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bilanzierung</li> <li>• Verbandswechsel</li> <li>• auf Trinkmenge achten</li> </ul>
<p><b>4. postop. Tag</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• fakultativ Fistelfüllung (Nephrostomographie)</li> </ul>	<p><b>4. postop.Tag</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bilanzierung</li> <li>• Verbandswechsel</li> <li>• auf Trinkmenge achten</li> </ul>
<p><b>5 postop. Tag</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nephrostomie entfernen</li> </ul>	<p><b>5. postop.Tag</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bilanzierung</li> <li>• Verbandswechsel</li> <li>• auf Trinkmenge achten</li> <li>• Blutbild, Elektrolyte, Kreatinin</li> </ul>

Tabelle 2 Klinikstandard Perkutane Nephrolitholapaxie, Beschreibung der wesentlichen Aufgaben von Ärzten und Pflegedienst während des stationären Verlaufes bei PNL

## 2.8 Primärbehandlung, Wiederholungsbehandlung, Reststeine und postoperative Interventionen

Als Primärbehandlung wurden alle Operationen, bei denen der zu behandelnde Stein noch nicht durch eine PNL therapiert wurde, definiert. Einer Re-PNL geht demnach immer eine PNL (Primärbehandlung) voraus.

Zur Beurteilung der Steinfreiheit wurde im Verlauf generell eine Harntraktübersichtsaufnahme der therapierten Niere angefertigt. Konnte hierbei keine eindeutige Aussage bezüglich einer Steinfreiheit getroffen werden (z.B. bei Darmgasüberlagerung, Artefakt durch liegende Nephrostomie), wurde eine antegrade

Pyelographie und / oder eine Sonographie durchgeführt. Der Status der Steinfreiheit wurde am Entlassungstag des Patienten erhoben.

Als Reststeine, welche zunächst ambulant beobachtet werden sollten, wurden Desintegrate von einer Größe kleiner gleich 3 mm definiert. Der weitere Verlauf dieser Reststeine wurde nicht untersucht. Sie entsprechen den *clinical insignificant residual fragments (CIRF)* anderer Arbeiten, sollten aber wegen ihrer klinischen Bedeutung im Falle eines fehlenden Steintransits nicht als solche bezeichnet werden. Bei größeren Reststeinen die Indikation zu einer nochmaligen Therapie gestellt. In Abhängigkeit der Größe der restierenden Konkremeente war die Folgetherapie bei Nierensteinen die nochmalige perkutane Nephrolitholapaxie (Re-PNL oder Sekundärbehandlung) bzw. eine ESWL. Größere ureterale Reststeine, bei denen ein Spontanabgang unwahrscheinlich war, wurden durch eine Ureterskopie extrahiert. Die flexible Ureterorenoskopie kam hierbei nicht zum Einsatz.

Als (postoperative) auxiliäre Eingriffe wurden zusätzlich durchgeführte Maßnahmen definiert, welche keine neuerliche Therapie des Steines bedeuteten, aber mit der Primärbehandlung in Zusammenhang standen. Bestand z.B. eine Harnstauung durch spontan abgangsfähige Reststeine, wurde diese mittels DJ-Ureterkatheter therapiert.

## 2.9 Effektivitätskoeffizient nach Clayman

Clayman et al. beschrieben 1989 einen Effektivitätskoeffizienten, um die Ergebnisse verschiedener ESWL-Generatoren vergleichen zu können. Er berechnet sich aus dem Verhältnis der erzielten Steinfreiheit zur Notwendigkeit einer Wiederbehandlung und Auxiliärmaßnahmen nach der primären Steinbehandlung (Abb. 1).

$\text{effectiveness quotient} = \frac{\% \text{ stone free}}{100 \% + \% \text{ retreatment} + \% \text{ auxiliary procedures}} \cdot 100 \%$
$\text{Effektivitätskoeffizient} = \frac{\% \text{ Steinfreiheit}}{100 \% + \% \text{ Wiederbehandlung} + \% \text{ Auxiliärmaßnahmen}} \cdot 100 \%$

Abb.: 1 Effektivitätskoeffizient nach Clayman

Die Steinfreiheit wurde von den Autoren nach einem 3-monatigen Intervall erhoben. Als Wiederholungsbehandlung wurden Maßnahmen zur Reststeintherapie, als auxiliäre

Eingriffe Maßnahmen ohne direkte Steinbehandlung definiert. Diese Formel weist damit nicht nur auf die Bedeutung der Steinfreiheit nach Primärtherapie, sondern auch auf den Stellenwert des Verlaufes nach Primärbehandlung. Ein Effektivitätskoeffizient von 100 Prozent bedeutet Steinfreiheit bei allen Patienten ohne jegliche auxiliäre Maßnahmen. Eine Effektivität von 50 Prozent kann hingegen zum Beispiel bei einer 50-prozentigen Steinfreiheitsrate ohne jegliche Folgetherapie bzw. -maßnahmen, aber auch bei einer 100-prozentigen Steinfreiheit, jedoch mit Auxiliärmaßnahmen nach jeder Primärtherapie, aufgezeigt werden. Da sich vor allem Steinfreiheits- und Wiederbehandlungsrate gegenseitig reziprok beeinflussen, kommt den auxiliären Maßnahmen rein rechnerisch die Hälfte der Bedeutung der Steinfreiheit zu. Dieser Koeffizient ist im Verlauf auch bei anderen interventionellen Steintherapieverfahren angewandt worden (Netto et al., 1991).

## 2.10 Die Perkutane Nephrolitholapaxie im theoretischen Modell

In Anbetracht der gelegentlich kontrovers geführten Diskussion im Vergleich zwischen „konventioneller“ Perkutaner Nephrolitholapaxie und „Mini-Perc“ soll ein theoretisches Modell zur Objektivierung der Therapiemodalitäten im Hinblick auf Therapiedauer und Invasivität des Verfahrens dienen.

Das folgende Modell wurde in Zusammenarbeit mit Frau Dr. rer. nat. Martina Hentschel, Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme erstellt und beschreibt die Desintegration und das Absaugen eines kugelförmigen Körpers (Steines) mit einem Radius ( $R_0$ ), der bzw. dessen Fragmente ( $R_{1...i}$ ) durch das Instrumentarium in den definierten Therapieschritten (i) in der hierfür notwendigen Zeit ( $t_D$ ) halbiert werden, um letztlich durch das Instrument (mit dem Radius  $R_{instr}$ ) bei Erreichen des entsprechenden Innendurchmessers ( $R_i < R_{instr}$  im Schritt i) in der Zeit  $t_A$  abgesaugt werden zu können.

Das Volumen des kugelförmigen Körpers wird nach der Formel für das Volumen einer Kugel mit

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3$$

berechnet.

Obwohl in der Praxis das Halbieren einer Kugel zu 2 Halbkugeln führen würde, wird in diesem theoretischen Modell an der Kugelform der Desintegrates festgehalten, da die

Kugel als Körper mit größtmöglichem Volumen bei kleinstmöglicher Oberfläche eine Idealform in der Beschreibung der Desintegrate darstellt.

Als Modell für das Absaugen sei eine Suspension kleinster Partikel (Desintegrate) mit einer Viskosität  $\eta$  ausgewählt, welche ein Rohr (Sonotrode oder Nephroskop) mit dem Radius  $R_{\text{instr}}$  in laminarer, d.h. nicht turbulenter Strömung durchfließen soll.

Für den Fluss in diesem Rohr gilt das Gesetz von Hagen-Poiseuille.

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\pi}{8\eta L} \cdot \Delta p \cdot R^4$$

Der Fluss ist dargestellt als Quotient von Volumenänderung ( $\Delta V$ ) und Zeit ( $\Delta t$ ).  $L$  stellt die Länge des Rohres und  $\Delta p$  den Druckabfall über diesem Rohr dar. Der Radius  $R$  des Rohres fließt in 4. Potenz in den Fluss ein.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Patienten

In den Jahren 2001 – 2005 wurden an unserer Klinik 158 perkutane Nephrolitholapaxien (PNL) bei 131 Patienten (59 weiblichen, 72 männlichen Geschlechts) durchgeführt. 138 Operationen waren Primärbehandlungen (63 Frauen, 75 Männer), demzufolge wurden bei 7 Patienten mehrfach Primärbehandlungen vorgenommen. Dabei wurden 5 Patienten wegen eines beidseitigen Steinleidens, 2 Patienten wegen eines ipsilateralen Rezidivsteines im Beobachtungszeitraum behandelt. 19 Eingriffe waren Sekundärbehandlungen (12 Frauen, 7 Männer), bei einer Patientin war eine tertiäre PNL erforderlich.

Das durchschnittliche Alter der Patienten betrug  $55,8 \pm 14,2$  (min. 19,7, max. 82,7) Jahre. Die behandelten Männer waren durchschnittlich  $56,6 \pm 13,6$  (min. 26,8, max. 82,4) Jahre, die Frauen  $54,8 \pm 14,9$  (min. 19,7, max. 82,7) Jahre alt (Abb. 2).

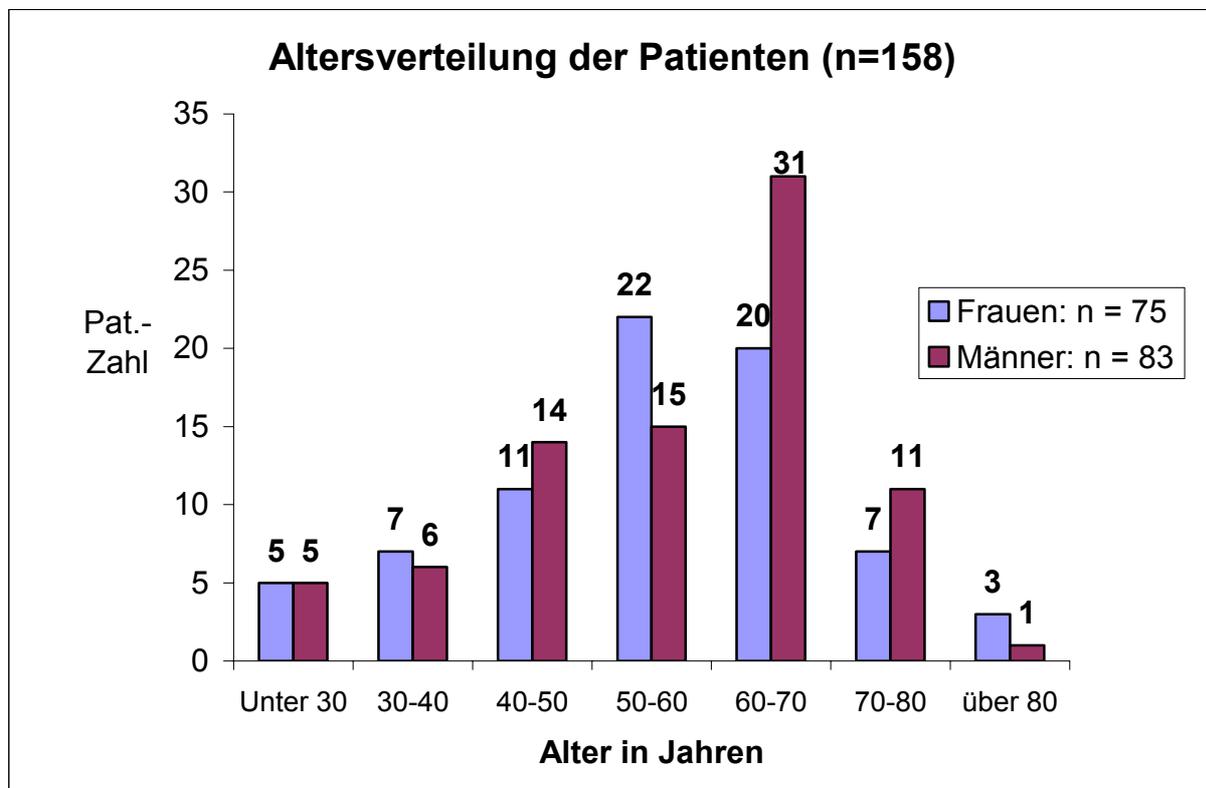


Abb.: 2 Geschlechtsspezifische Altersverteilung der operierten Patienten

Bei 22 (13,9 %) PNL waren die Patienten älter als 70, bei 9 (5,7 %) Operationen älter als 75 Jahre.

87 (63%) Patienten hatten ein anamnestisch bekanntes Harnsteinleiden. Bei der Mehrzahl (n=57; 65,5%) dieser Patienten war dabei eine Intervention zur Steintherapie vorgenommen worden, ohne dass ein direkter Bezug zum aktuellen Steinleiden bestand. Die Verteilung der Therapiearten ist aus Abbildung 3 ersichtlich.

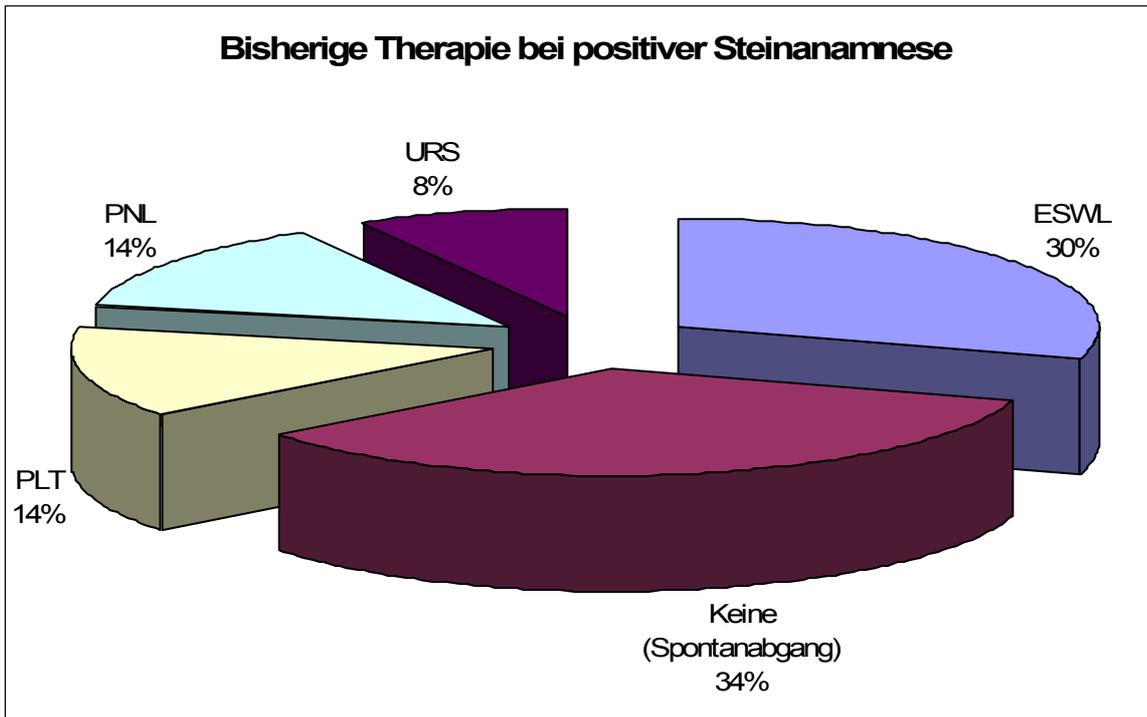


Abb.: 3 Verteilung der bisherigen Therapie bei positiver Steinanamnese (n = 87)

Der durchschnittliche Body-Mass-Index (BMI) lag sowohl bei den Frauen ( $27,6 \pm 5,9$  kg/m<sup>2</sup>) als auch bei den Männern ( $28,2 \pm 3,9$  kg/ m<sup>2</sup>) über dem Normalwert (Abb. 4).

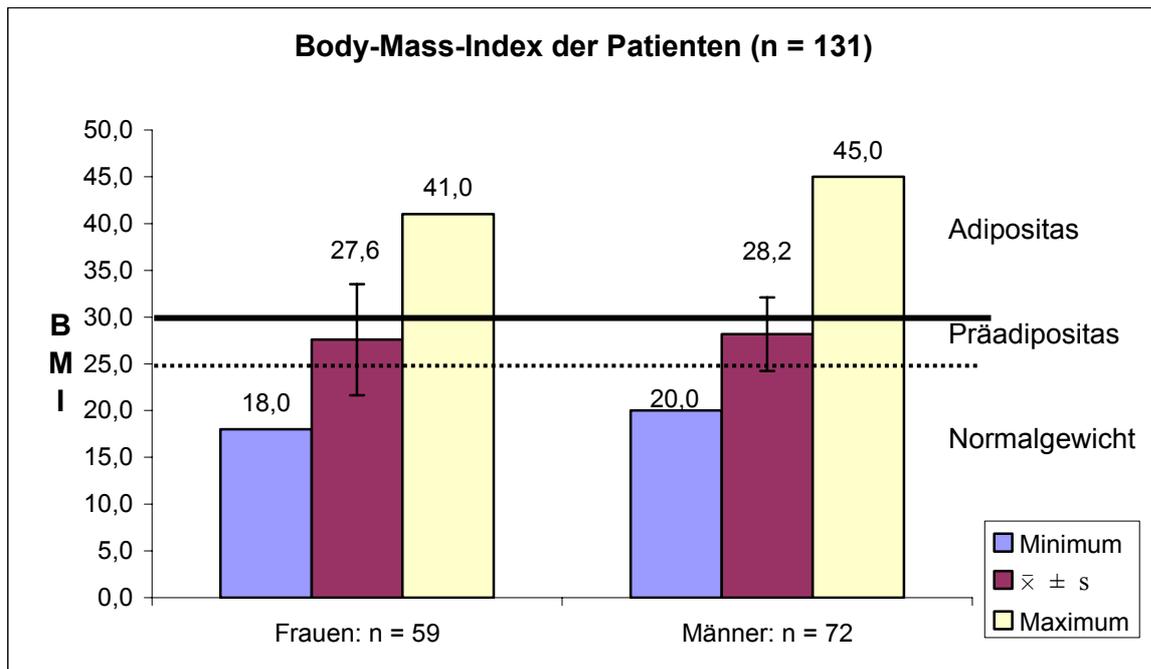


Abb.: 4 Darstellung des BMI der Patienten

36 von 59 (61 %) Frauen und 62 von 72 (86,1 %) Männern waren mit einem BMI über  $25 \text{ kg/m}^2$  gemäß der WHO-Definition als übergewichtig einzustufen. Analog dieser WHO-Einteilung wird eine Untergliederung in Prädipositas ( $25 - 30 \text{ kg/m}^2$ ) bzw. Adipositas (ab  $30 \text{ kg/m}^2$ ) vorgenommen (WHO, 1995). Angewendet auf das vorliegende Patientenkollektiv waren 21 (35,6 %) Frauen und 16 (22,2 %) Männer mit einem BMI über  $30 \text{ kg/m}^2$  als adipöse Patienten einzustufen.

Bezüglich des zu behandelnden Steines waren intermittierende Flankenschmerzen bei 41 (31%) Patienten oder rezidivierende Nierenkoliken bei 31 (24%) Patienten Hauptsymptome. In 14 (11%) Fällen standen Harnwegsinfekte bzw. in einem Fall eine Pyonephrose im Vordergrund der klinischen Symptomatik (Abb. 5).

Bei den 46 (35 %) Patienten ohne Beschwerden lagen mit einer Erythrozyturie (67,4 %) oder einer asymptomatischen Harnstauungsniere (30,4 %) klinisch „stumme“ Zeichen einer Nephrolithiasis vor. Vier dieser symptomlosen Patienten zeigten einen nitritpositiven Harnwegsinfekt mit entsprechendem Keimnachweis. Bei all diesen Patienten konnte letztlich aber kein Infektstein in der Steinanalyse nachgewiesen werden.

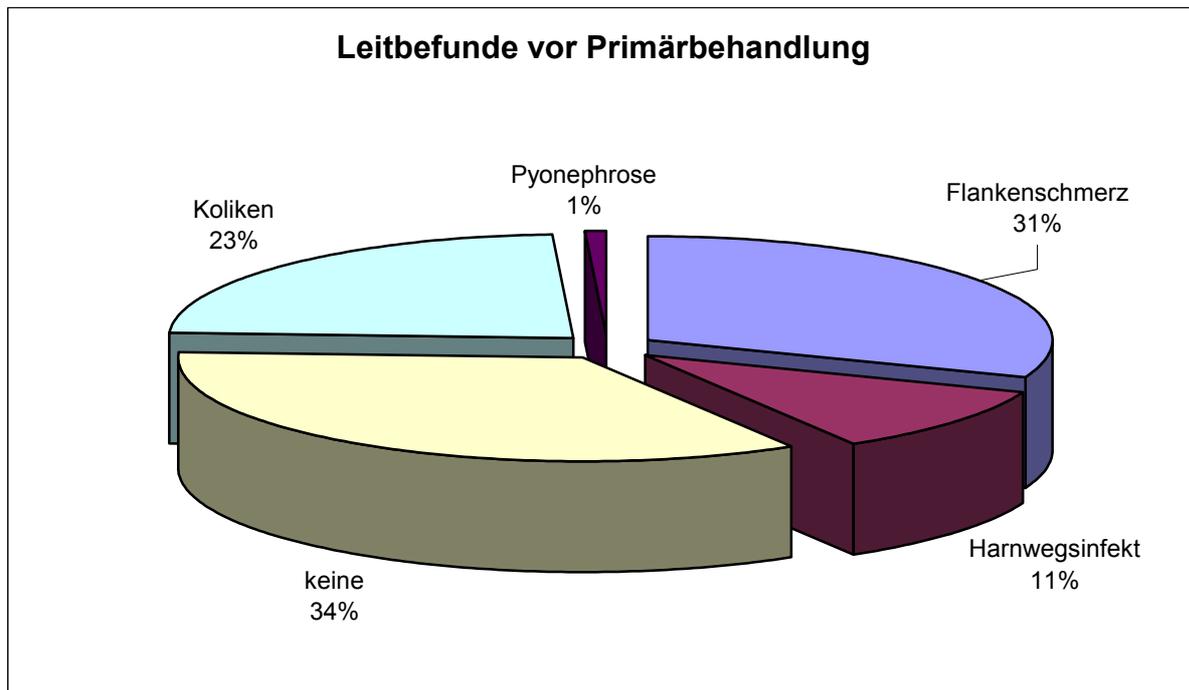


Abb.: 5 Verteilung der Leitbefunde (klinische Befunde/Symptome) vor Primärbehandlung (n=138)

Die präoperative Laboruntersuchung konnte 5 Patienten mit einer Hyperkalziämie (Serumkalzium > 2,6 mmol/l) als Risikofaktor für eine Harnsteinbildung identifizieren. Im Rahmen der 138 Primärbehandlungen zeigten 27 Patienten (19,6 %) eine Erhöhung des Serum-Kreatinins über 100 µmol/l als groben Indikator einer bestehenden Nierenfunktionsstörung. Bei 17 dieser Patienten (63 Prozent) bestand keine Harntransportstörung als mögliche Ursache dieser Kreatininerhöhung, welche bei den übrigen 10 Patienten, bedingt durch Nierenbeckensteine (n = 6) bzw. hohe Uretersteine (n = 4) nachweisbar war.

Die Zuordnung der Patienten in die ASA-Klassifikation der Amerikanischen Gesellschaft für Anästhesiologie (American Society of Anaesthesiologists) ist in Abbildung 6 dargestellt. Da die PNL eine Operation mit elektiver Indikation ist, sind die ASA-Klassifikationen 4 (schwerste Nebenerkrankung), 5 (moribunder Patient) und 6 (Operation eines hirntoten Patienten zur Organentnahme) nicht in unserem Patientengut vertreten.

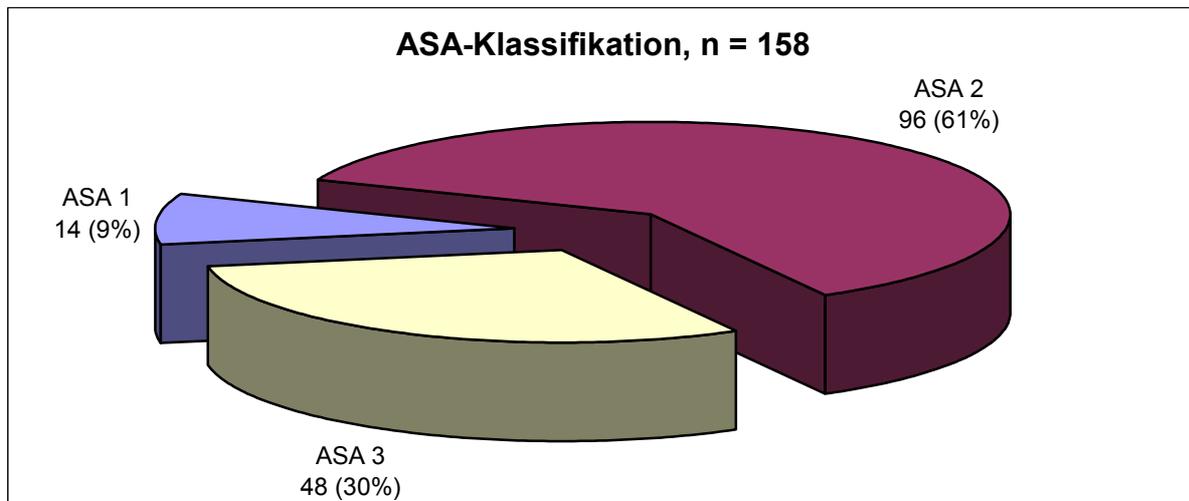


Abb.: 6 Verteilung der ASA-Klassifikation (alle PNL, n = 158)

### 3.2 Röntgenbefund

Für die Primärbehandlungen (n = 138) wurde eine durchschnittliche Steingröße (längste Ausdehnung) von 20,3 (5 - 60) mm festgestellt. Die Steinlokalisation bot folgende Verteilung: Nierenbeckensteine n = 56 (41%), einzelne Kelchsteine n = 43 (31%), mehrere Kelchsteine n = 21 (15%), partielle Ausgusssteine n = 10 (7%), komplette Ausgusssteine n = 3 (2%) und proximale Uretersteine (4%) (Abb. 7). Es wurden Steine in 70 linken und 68 rechten Nieren behandelt. Bei diesem ausgewogenem Seitenverhältnis muss erwähnt werden, das bei Frauen Steine häufiger in der rechten Niere (n = 37, 59%), bei Männern in der linken Niere (n = 44, 59%) zu finden waren. Die Seitenlokalisation bezüglich des Patientengeschlechtes und Primär- bzw. Sekundärtherapie ist in Tabelle 3 zusammengefasst.

	Gesamt	Frauen		Männer	
		Seite		Seite	
		links	rechts	links	rechts
<b>Primär-PNL</b>	<b>138</b>	26	37	44	31
<b>Re-PNL</b>	<b>20</b>	6	7	4	3

Tabelle 3 Verteilung der Seitenlokalisation hinsichtlich Patientengeschlecht und Primär-/Sekundärbehandlung

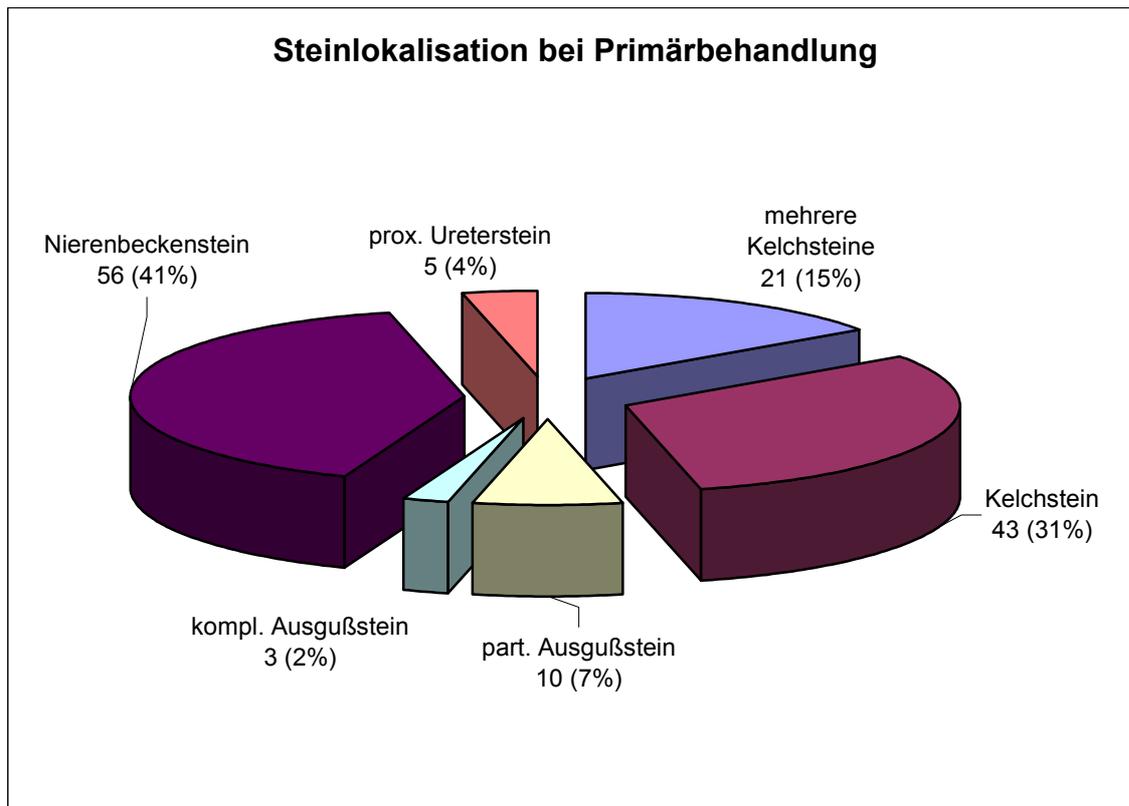


Abb.: 7 Verteilung der Steinlokalisierung bei Primärbehandlung, n=138

Bei den 43 solitären Kelchsteinen war in 33 Fällen (76,8 %) die untere Kelchgruppe bzw. 10 Fällen die mittlere Kelchgruppe (23,2 %) steintragend. Lagen mehrere Kelchsteine (n = 21) vor, war die untere Kelchgruppe bei 18 Patienten (85,7 %) mitbeteiligt. Fasst man diese beiden Gruppen zusammen, ergibt sich für die Kelchsteine eine Beteiligung der unteren Kelchgruppe in 51 (79,7 %) Fällen.

Bei 7 Patienten bestand zusätzlich eine Ureterabgangsenge, welche im Rahmen der PNL durch eine Endopyelotomie therapiert wurde.

### 3.3 Präoperative Interventionen

Bei 33 (23,9 %) Patienten wurde präoperativ (vor Primärbehandlung) eine harnableitende Maßnahme erforderlich. Dies war in 9 (6,5 %) Fällen eine perkutane Nephrostomie (PNS), wobei eine Nephrostomie im Rahmen eines zweizeitigen operativen Vorgehens ohne begleitende Harnstauung angelegt wurde. 24 (17,4 %) Patienten erhielten einen DJ-Ureterkatheter (DJ) (Abb. 8).

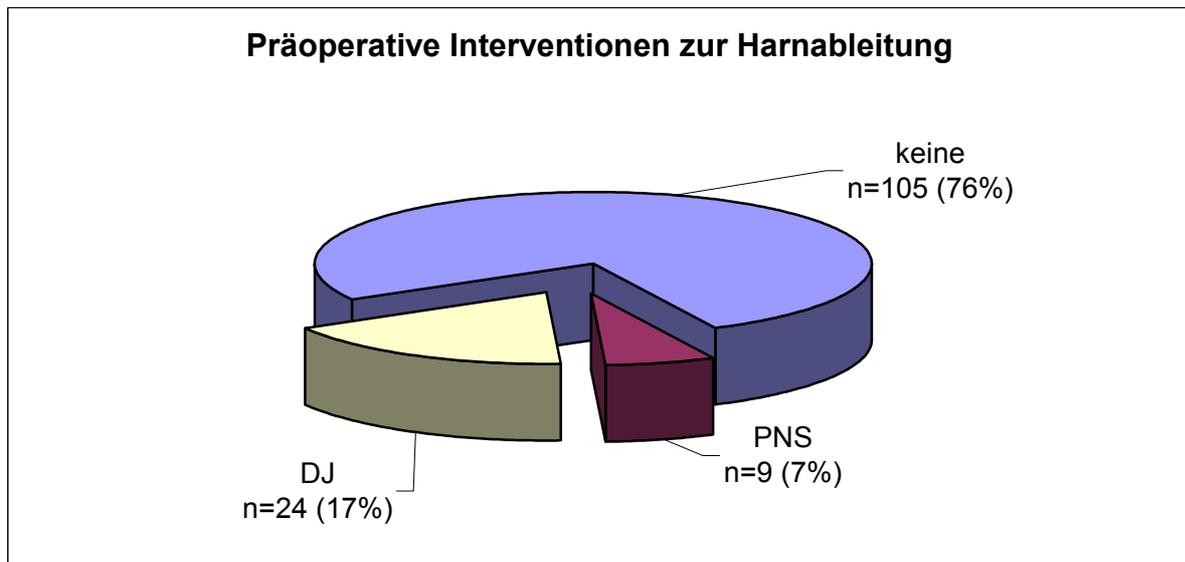


Abb.: 8 Präoperative Interventionen zur Harnableitung, n = 138

5 von 138 (3,6%) Primärbehandlungen war eine ESWL vorangegangen, eine URS war bei keinem der zu behandelnden Steine erfolgt (Abb. 9).



Abb.: 9 Präoperative Interventionen zur Steintherapie, n = 138

### 3.4 Durchführung der PNL

Die durchschnittliche Operationszeit betrug einschließlich der Einlage des UK, der Punktion des Hohlsystems und der Steintherapie  $83 \pm 34,4$  (min. 30, max. 235) Minuten. Bei der Primärbehandlung lag die durchschnittliche Operationszeit bei  $81 \pm$

34,1 (min. 35, max. 235), bei der Sekundärbehandlung bei  $94,5 \pm 35,1$  (min. 30, max. 170) Minuten (Abb. 10).

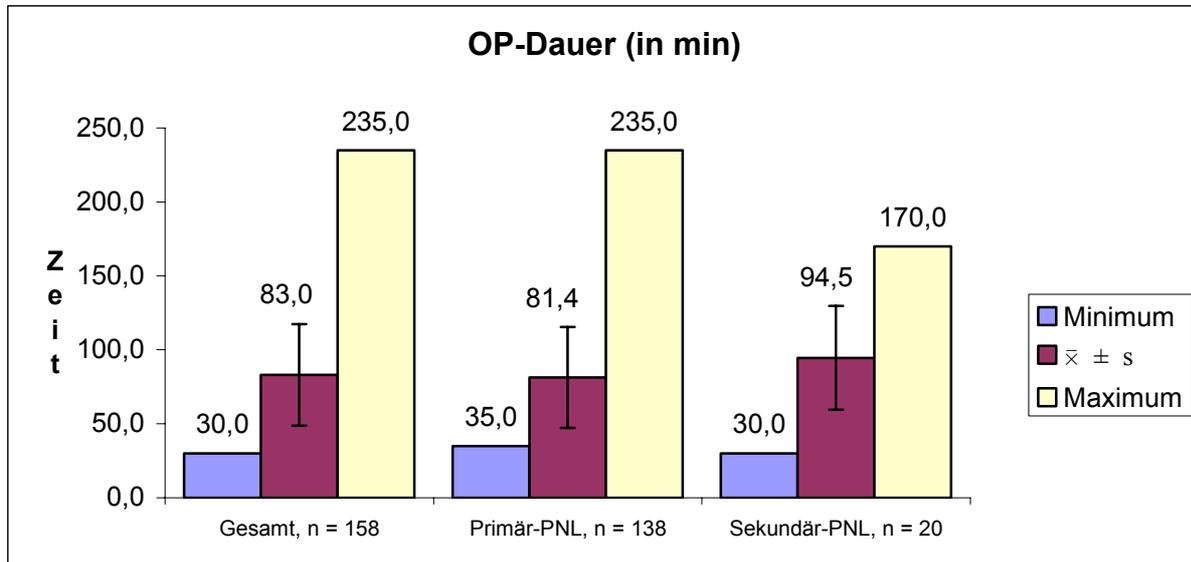


Abb.: 10 Operationsdauer (in min), n = 158

In der Regel wurden die Nephroskope der Größe 20,8 Charr. (51,3 %) sowie 27 Charr. (40,5 %) verwendet. Das einer Mini-PNL entsprechende Nephroskop von 18 Charr. kam bei 13 (8,2 %) Operationen zum Einsatz (Abb. 11).

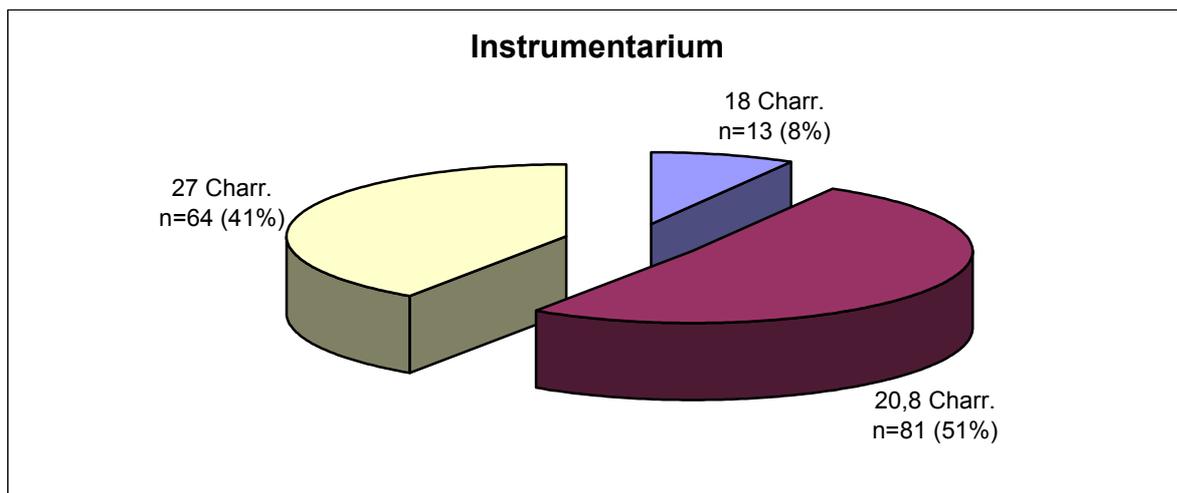


Abb.: 11 Verteilung des Instrumentariums, n = 158

Bei Betrachtung der durchschnittlichen Operationszeit in Abhängigkeit vom genutzten Instrumentarium zeigten sich folgende Ergebnisse: Nephroskop 18 Charr. -  $83,8 \pm 19,5$  min, 20,8 Charr. -  $79,1 \pm 28,2$  min sowie 27 Charr. -  $87,8 \pm 42,6$  min (Abb. 12).

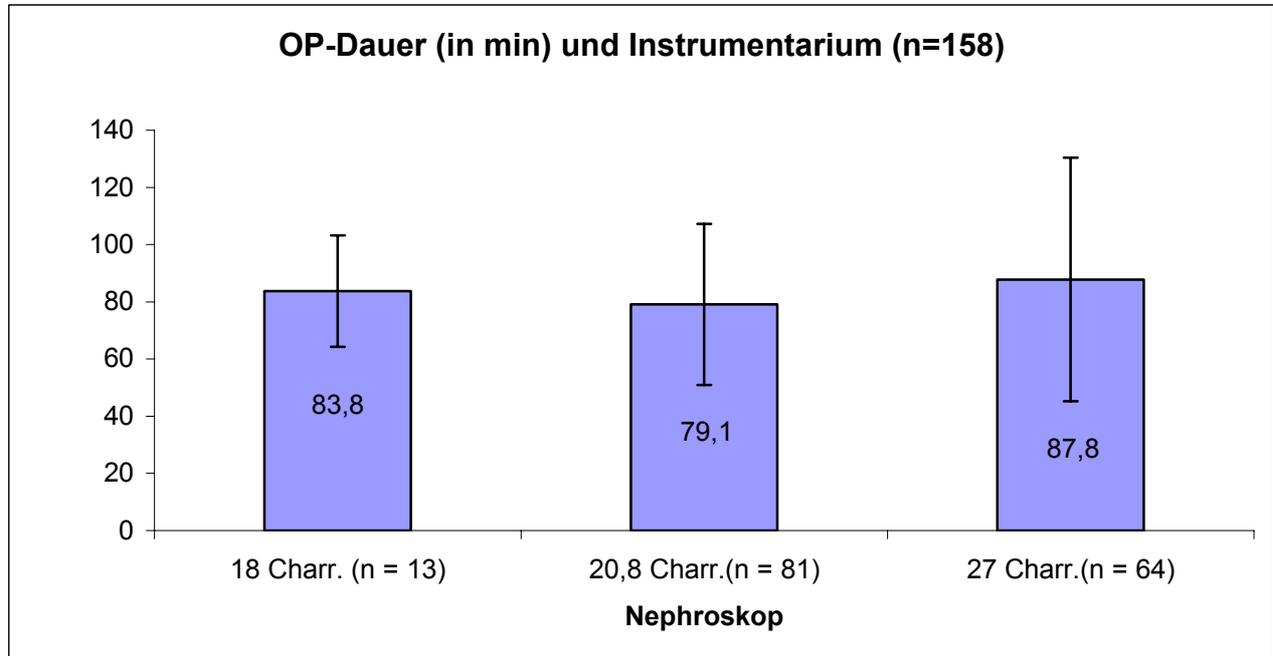


Abb.: 12 Operationsdauer bezogen auf das verwendete Instrumentarium, n = 158

Bezogen auf unterschiedliche Steingrößen wurden die in Abbildung 13 dargestellten durchschnittlichen Operationszeiten ermittelt.

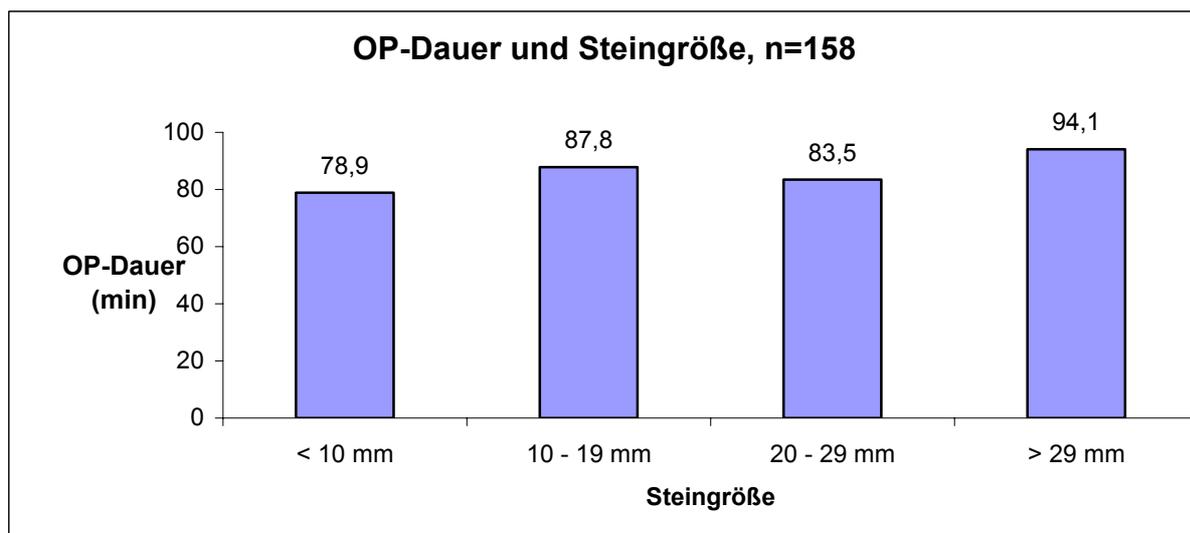


Abb.: 13 Operationsdauer bezogen auf die Steingröße, n = 158 (unabhängig vom Instrumentarium)

Die durchschnittliche Steingröße bezogen auf das verwendete Instrumentarium ist in Abbildung 14 dargestellt.

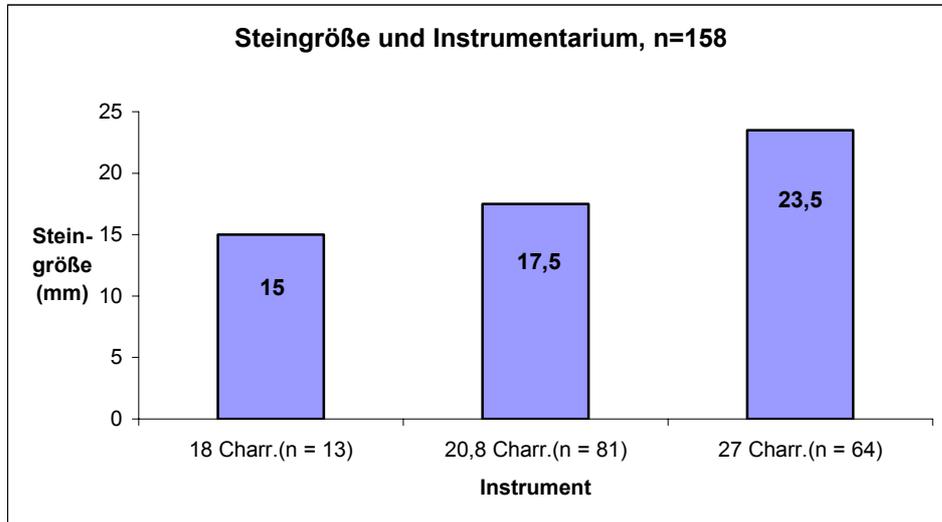


Abb.: 14 Steingröße bezogen auf das verwendete Nephroskop, n = 158

Bei 7 (4%) Operationen wurde zusätzlich eine Endopyelotomie durchgeführt. Ebenfalls bei 7 (4%) Operationen erfolgte die antegrade Einlage eines DJ-Ureter-Katheters wegen nach ureteral abgeschwommener Desintegrate. Bei 8 (5 %) Eingriffen wurde auf die Einlage eines Ureterkatheters vor der Nephroskopie verzichtet. Dies wurde ausschließlich bei Wiederholungseingriffen (n = 20), wo ein bereits etablierter Arbeitskanal genutzt werden konnte, praktiziert.

Die Operation wurde in 51 % vom Chefarzt, in 30 % von einem Oberarzt sowie in 19 % von einem Ausbildungsassistenten unter fachärztlicher Aufsicht durchgeführt.

### 3.5 Intraoperative Komplikationen

Bei 26 (16,5 %) Operationen wurden intraoperative Komplikationen beobachtet (Abb. 15).

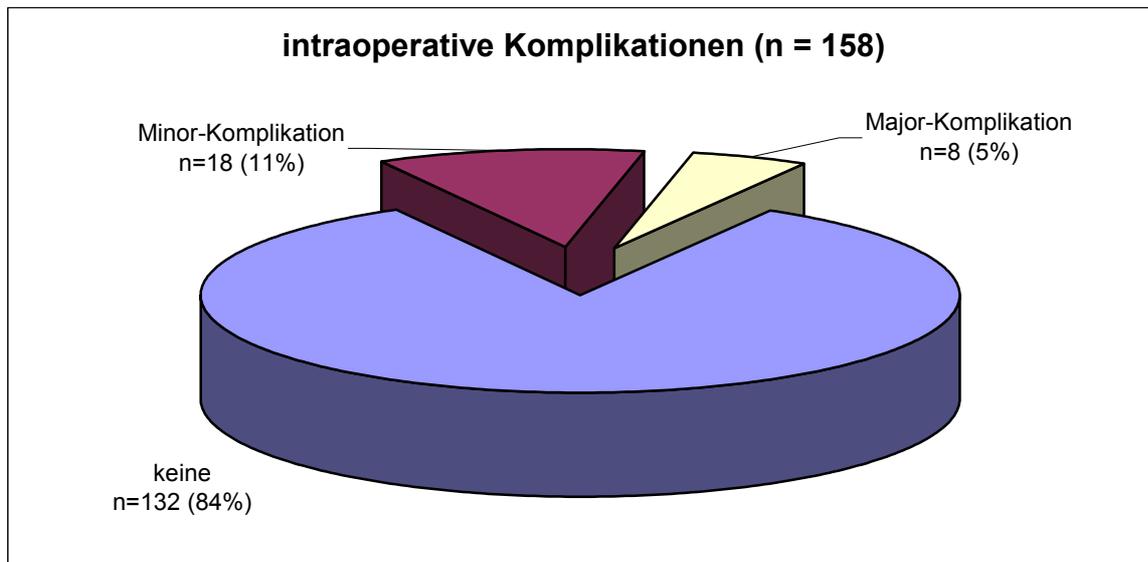


Abb.: 15 Verteilung der intraoperativen Komplikationen, n = 158

In 8 (5,1 %) Fällen mussten diese als Major-Komplikation eingestuft werden.

Dabei handelte es sich unter anderem um eine fulminante Lungenembolie mit letalem Ausgang. Bei 3 (1,9 %) Patienten wurde nach Abschluss der Operation und Umlagerung auf den Rücken ein akutes Abdomen diagnostiziert. Dies war stets durch freie abdominale Flüssigkeit im Rahmen einer zunächst unbemerkten Perforation des Hohlsystems und des parietalen Peritoneums bedingt und wurde stets durch eine sofortige Laparotomie therapiert. In einem Fall musste im Rahmen einer Re-Laparotomie die therapierte Niere entfernt werden. Einmal war wegen einer stärkeren Blutung bereits intraoperativ eine Transfusion notwendig. 3 (1,9 %) Patienten wurden wegen einer instabilen Kreislagsituation, bedingt durch jeweils eine septische Einschwemmung, eine kardiale bzw. eine pulmonale Dekompensation postoperativ auf der Intensivstation betreut.

Zu den Minor-Komplikationen zählen 7 (4,4 %) nicht transfusionspflichtige Blutungen, welche durch fehlende Übersicht bei der Nephroskopie zum vorzeitigen Abbruch der Operation führten. Ferner waren Punktionschwierigkeiten mit dadurch bedingter unmöglicher Ortung des zu behandelnden Konkrementes in 3 (1,9 %) Fällen zu beobachten. Ein Wechsel des Nephroskops erfolgte in jeweils einem Fall zur Nutzung einer dickeren Sonotrode bei hartem Stein bzw. wegen Funktionsuntüchtigkeit des Instrumentes. Ebenso gestaltete sich in einem Fall die Bergung eines abgebrochenen

Zangenteiles als schwierig. Kleinere Perforationen des Hohlsystems traten in 3 (1,9 %) Fällen auf, diese verheilten unter der Urindauerableitung ad integrum. Zuletzt muss noch von einem extrarenalen Steinverlust sowie der Anlage einer insuffizienten Nephrostomie außerhalb des Hohlsystems in jeweils einem Fall berichtet werden.

### 3.6 Postoperativer Verlauf

151 (95,6 %) Operationen wurden unter einer antibiotischen Therapie vorgenommen. Hauptsächlich kamen dabei Sulfonamide (z.B. Cotrimoxazol) oder Gyrasehemmer (Ciprofloxazin, Levofloxazin) zum Einsatz (Abb. 16a). Obwohl bereits ausgeführt wurde, dass die perioperative Antibiose zum Standardvorgehen bei der PNL gehört, muss festgestellt werden, dass in 7 (4,4 %) Fällen diese Prophylaxe nicht durchgeführt wurde.

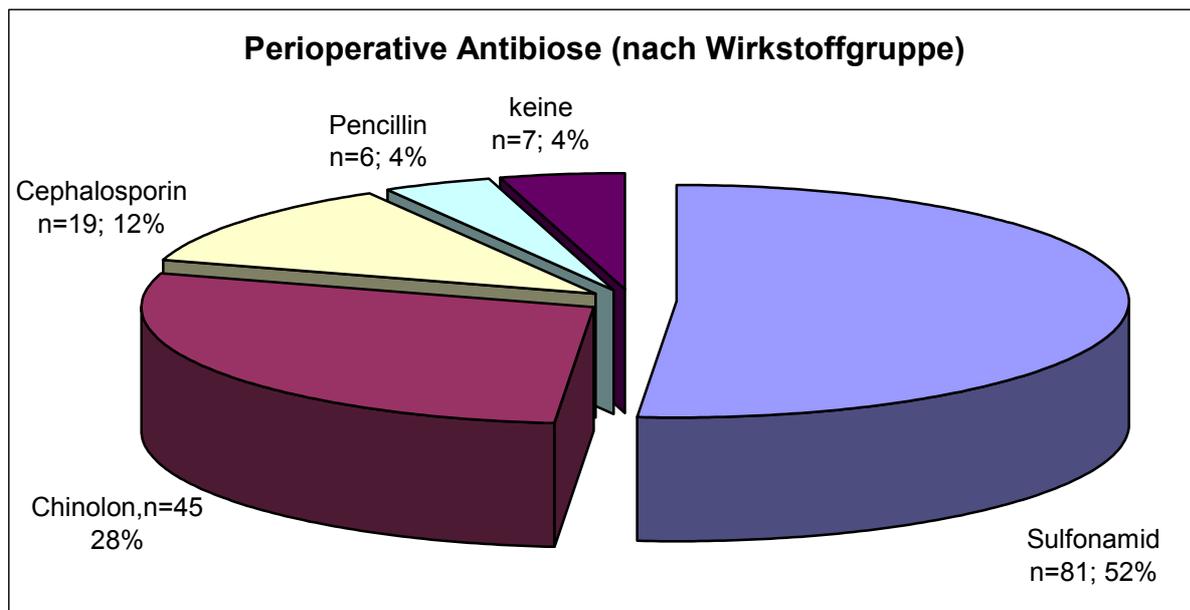


Abb.: 16a Verteilung der perioperativen Antibiose (nach Wirkstoffgruppe), n = 158

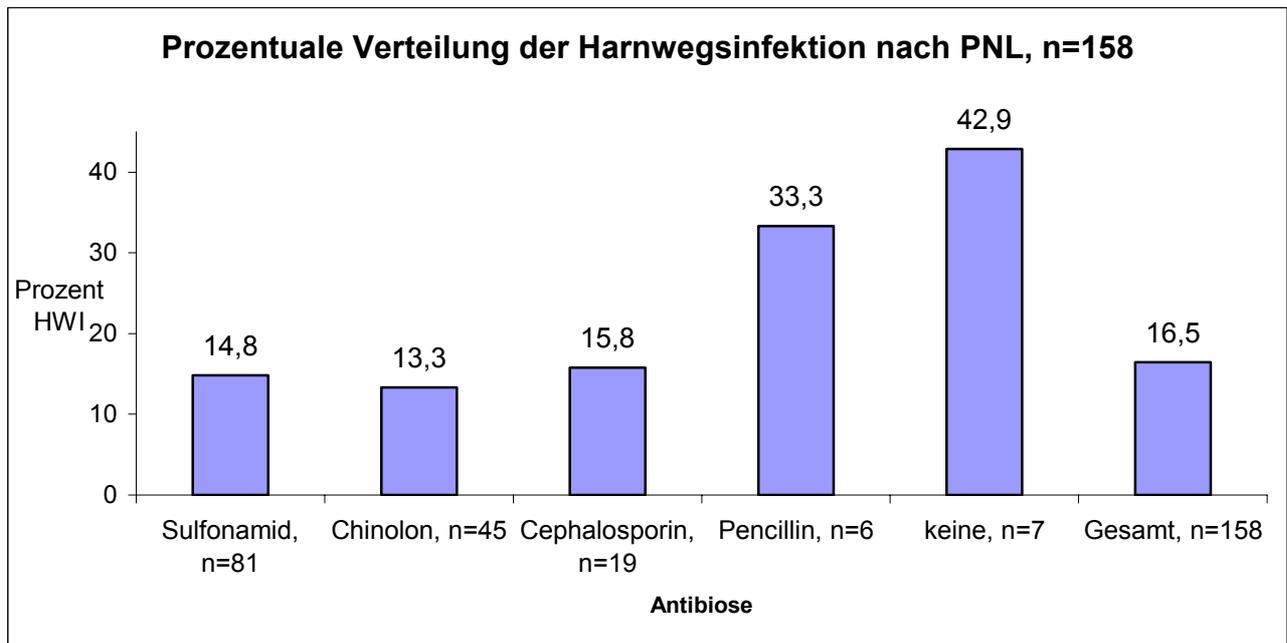


Abb.: 16b Verteilung der Harnwegsinfekte (HWI, in Prozent) bezogen auf die Wirkstoffgruppe des Antibiotikums, n=158

Nach 26 (16,5 %) der gesamten Operationen war ein fieberhafter Harnwegsinfekt zu beobachten. Die verwendeten Stoffgruppen der Antibiotika zeigten in der Häufigkeit des Auftretens eines Harnwegsinfektes keinen wesentlichen Unterschied (Abb. 16b). Bei 23 der 26 Harnwegsinfekte wurde die antibiotische Therapie umgestellt. Dabei wurden entweder vorliegende Urinkulturen und Resistogramme berücksichtigt oder eine kalkulierte Umstellung vorgenommen. Dies wurde dann mit Erhalt der aktuellen Urinkultur abgeglichen. In 3 Fällen heilte der Infekt unter beibehaltener Antibiose aus.

Die hohen Infektraten unter Penicillin- bzw. keiner Therapie sind wegen der geringen absoluten Anzahl statistisch nicht verwertbar. Dennoch weist die prozentual höchste Infektrate bei fehlender Antibiose auf die Bedeutung der Antibiotikaprophylaxe hin.

Der durchschnittliche Hämoglobin-Abfall betrug  $0,93 \pm 0,79$  (max. 4,53) mmol/l. Aus der Abbildung 17 ist ersichtlich, dass gelegentlich (nach insgesamt 12 (7,6 %) Eingriffen) postoperativ ein höherer Hämoglobin-Wert gemessen worden war. Dies spiegelt die relativ ungenaue Darstellung des Blutverlustes durch den Hämoglobin-Wert und dessen leichte Beeinflussbarkeit durch entsprechende Infusionsmengen (Verdünnungseffekt) wider.

Bei den Sekundär-PNL war durchschnittlich ein geringerer Abfall des Hämoglobins zu verzeichnen (Abb. 17).

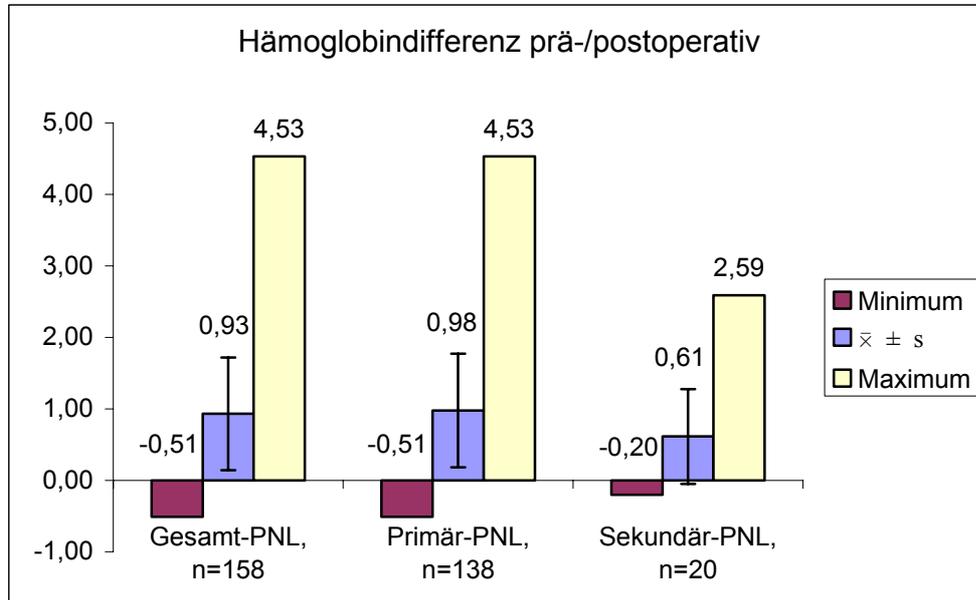


Abb.: 17 Hämoglobindifferenz prä-/postoperativ, n = 158

Nach 4 (2,5 %) PNL erfolgten Bluttransfusionen mit insgesamt 16 (2; 2; 4 und 8) Erythrozytenkonzentraten.

Bei den Patienten mit nur einer PNL wurde die perkutane Nephrostomie durchschnittlich  $6,9 \pm 2,5$  (1 - 17) Tage nach der Operation entfernt (Abb. 18). Da bei den Patienten mit sekundärer (n = 18) bzw. tertiärer (n = 1) PNL der Re-Eingriff meist während des gleichen stationären Aufenthaltes erfolgte und deswegen die Nephrostomie in der Regel in situ verblieb, wurden diese in dieser Auswertung nicht berücksichtigt.

Die Entlassung der Patienten, welche nur eine PNL erhielten, erfolgte aus dem Krankenhaus durchschnittlich  $8,4 \pm 2,5$  (4 - 17) Tage nach dem Eingriff (Abb. 18).

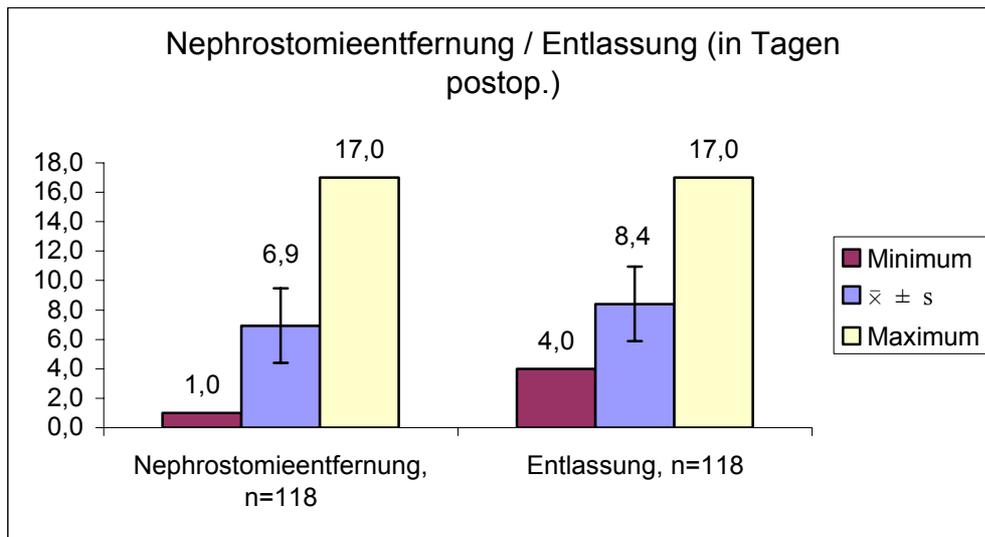


Abb.: 18 Nephrostomieentfernung / Entlassung, n=118

In der Regel ist die Entlassung für den Tag nach Entfernung der Nephrostomie und nochmaliger Renosonographie zum Ausschluss einer Harntransportstörung vorgesehen.

### 3.7 Behandlungsergebnis unter Berücksichtigung von Primär- bzw. Wiederholungsbehandlungen sowie klinisch insignifikanter Reststeine

#### 3.7.1 Primärbehandlungen

Nach 138 Primärbehandlungen war in 94 (68,1 %) Fällen kein Reststein nachweisbar. Von den 44 (31,9 %) Patienten mit Reststeinen waren bei 24 (17,4 %) Patienten weitere minimal-invasive Eingriffe erforderlich. Diese bestanden in Re-PNL, ESWL oder URS. Ihre Verteilung, auch dargestellt in Tabelle 3, gestaltete sich wie folgt: In 19 Fällen (13,8% der Primärbehandlungen) wurde eine nochmalige PNL (Re-PNL) durchgeführt. 4 (3%) Patienten erhielten nach Primär-PNL eine ESWL, 1 (0,7 %) Patient eine URS. 114 (82,5 %) von 138 Patienten (behandelten Nieren) bedurften demnach nach einer PNL keiner weiteren Therapie.

### 3.7.2 Sekundärbehandlungen

Nach 19 sekundären PNL waren 8 (42,1%) Patienten steinfrei. Nicht therapiepflichtige Fragmente lagen bei 4 (21 %) Patienten nach sekundärer PNL vor. Bei 7 (36,9 %) Patienten waren nachfolgend 1 (tertiäre) PNL, 3 URS und 3 ESWL erforderlich.

12 von 19 (63,2 %) der Patienten (behandelten Nieren) bedurften nach sekundärer PNL keiner weiteren Therapie.

### 3.7.3 Tertiärbehandlungen

Nach der einzigen tertiären PNL lag keine Steinfreiheit vor. Hier erfolgte im weiteren Verlauf noch eine ESWL.

### 3.7.4 Reststeine

20 (45%) der Patienten mit Reststeinen nach Primärbehandlung zeigten Steine kleiner als 3 mm, welche keiner weiteren Steintherapie bedurften. 4 dieser Patienten erhielten während des postoperativen Verlaufes vorübergehend einen DJ-Ureter-Katheter, nachdem sich die Restkonkremente im Ureter eingestellt und eine Harnstauung verursacht hatten.

Nach 158 PNL konnten insgesamt 102 von 131 Patienten (138 behandelte Nieren – 73,9%) steinfrei entlassen werden (Tab. 3).

	n	Steinfrei	Nicht steinfrei					
			Ohne Therapie (=CIRF)		Mit Therapie			
			n	davon Auxiliärtherapie	n	Verfahren		
				PNL	ESWL	URS		
<b>Primär-PNL</b>	<b>138</b>	<b>94 (68,1%)</b>	<b>20 (14,5%)</b>	<b>4 (2,9%)</b>	<b>24 (17,4%)</b>	<b>19 (13,8%)</b>	<b>4 (2,9%)</b>	<b>1 (0,7%)</b>
<b>Sekundär-PNL</b>	<b>19</b>	<b>8 (42,1%)</b>	<b>4 (21%)</b>	<b>0</b>	<b>7 (36,9%)</b>	<b>1 (5,3%)</b>	<b>3 (15,8%)</b>	<b>3 (15,8%)</b>
<b>Tertiär-PNL</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>Gesamt</b>	<b>158</b>	<b>102 (64,6%)</b>	<b>24 (15,2%)</b>		<b>32 (20,2%)</b>			

Tabelle 3 Ergebnisübersicht: Steinfreiheitsraten und Folgetherapien

## 3.8 Effektivitätskoeffizient nach Clayman

Für 138 durchgeführte Primärbehandlungen errechnet sich ein Effektivitätskoeffizient von 61,4 % (Abb. 19a):

$$\text{Effektivitätskoeffizient} = \frac{73,9\%}{100\% + 17,4\% + 2,9\%} \cdot 100\%$$

$$\text{Effektivitätskoeffizient} = 61,4\%$$

Abb.: 19a Effektivitätskoeffizient bei Entlassung

Dieser Wert ist gültig für die Steinfreiheitsrate am Entlassungstag des Patienten. Addiert man die Patienten mit nicht therapiepflichtigen Reststeinen zur Gruppe der steinfreien Patienten, indem vom kompletten Abgang dieser Reste im Intervall ausgegangen wird, erhöht sich der Effektivitätskoeffizient wie folgt (Abb. 19b):

$$\text{Effektivitätskoeffizient} = \frac{88,4 \%}{100 \% + 17,4 \% + 2,9 \%} \cdot 100 \%$$

$$\text{Effektivitätskoeffizient} = 73,5 \%$$

Abb.: 19b Effektivitätskoeffizient unter Einschluss der Reststeine

### 3.9 Steinanalyse

Es liegen die Analysen von 45 Harnsteinen vor. Diese zeigt folgende Verteilung (Abb. 20).

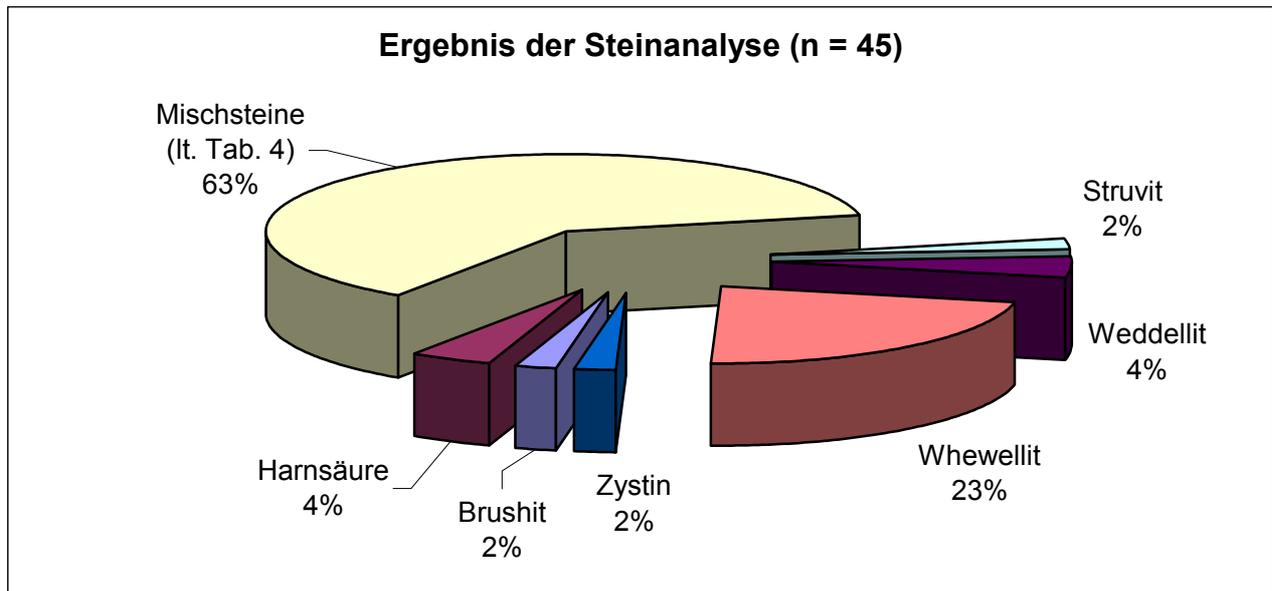


Abb.: 20 Ergebnis der Steinanalyse (durch Infrarotspektroskopie, n = 45)

Mischsteine waren aus den in Tabelle 4 dargestellten Bestandteilen aufgebaut.

Mineralname	Chemische Zusammensetzung	Bestandteil eines Mischsteines (in %)	
		Hauptbestandteil	Nebenbestandteil
Whewellit	Calciumoxalat-Monohydrat	38,5	23,1
Dahllit	Calciumphosphat (Carbonatapatit)	30,8	38,5
Weddellit	Calciumoxalat-Dihydrat	15,4	15,4
Brushit	Calciumhydrogenphosphat-Dihydrat	7,7	3,8
Struvit	Magnesium-Ammoniumphosphat	3,8	11,5
Uricit	Harnsäure	3,8	7,7

Tabelle 4 Prozentuale Steinartanteile bei Mischsteinen (n = 28)

### 3.10 Die perkutane Nephrolitholapaxie im theoretischen Modell

Ausgehend vom Startpunkt mit einer Kugel (Stein) vom Radius  $R_0$  entstehen nach dem ersten Teilungsschritt (in der Zeit  $t_D$ ) zwei Kugeln mit dem Radius  $R_1$  von etwa 79 Prozent des Ausgangsradius.

Aus 1 Kugel mit Radius  $R_0$  entstehen 2 Kugeln (Steine) mit dem Radius  $R_1$

- $R_1$  berechnet sich aus dem halbierten Volumen

- $V_1 = \frac{V_0}{2}$

- $\frac{4}{3}\pi \cdot R_1^3 = \frac{\frac{4}{3}\pi \cdot R_0^3}{2}$

- $R_1 = \frac{R_0}{\sqrt[3]{2}}$

- $R_1 = \frac{R_0}{1,2599}$

- $R_1 = 0,794 \cdot R_0$

Nach dem zweiten Schritt sind vier Kugeln mit einem Radius von ca. 63 Prozent des Ausgangsradius entstanden.

Aus 2 Kugeln ( $R_2$ ) entstehen 4 Kugeln (Steine) mit dem Radius  $R_2$

- $R_2$  errechnet sich wieder aus dem halbierten Volumen  $V_1$
- Analog zur Vorrechnung
- $R_2 = \frac{R_1}{\sqrt[3]{2}}$
- $R_2 = \frac{R_0}{\sqrt[3]{4}}$
- $R_2 = \frac{R_0}{1,5874}$
- $R_2 = 0,63 \cdot R_0$

Für jeden beliebigen Therapieschritt lassen sich laut Tabelle 5 Formeln für die Größen der Desintegrate und die entsprechend notwendige Desintegrationszeit herleiten.

Schritt i	0	1	2	3	i
<b>Anzahl (n) der Desintegrate</b>	$2^0 = 1$	$2^1 = 2$	$2^2 = 4$	$2^3 = 8$	$2^i = n$
<b>Radius der Stücke</b>	$R_0$	$R_1 = \frac{R_0}{\sqrt[3]{2}}$	$R_2 = \frac{R_0}{\sqrt[3]{4}}$	$R_3 = \frac{R_0}{\sqrt[3]{8}}$	$R_i = \frac{R_0}{\sqrt[3]{2^i}}$
<b>Zeit <math>t_{D\text{-Gesamt}}</math> (von Beginn an)</b>	= 0	= $t_D$	= $t_D + 2 t_D$	= $t_D + 2 t_D + 4 t_D$	$T_{D\text{-Gesamt}(i)} = (2^i - 1) t_D$

Tabelle 5 Desintegration im Modell

Die Formel zur Berechnung des Radius  $R_i$  kann wie folgt nach  $i$  umgestellt werden:

$$R_i = \frac{R_0}{\sqrt[3]{2^i}}$$

$$2^i = \left(\frac{R_0}{R_i}\right)^3$$

$$i = \log_2 \left(\frac{R_0}{R_i}\right)^3 = \frac{3 \lg \left(\frac{R_0}{R_i}\right)}{\lg 2}$$

Hierin bezeichnet  $\log_2$  den Logarithmus zur Basis 2,  $\lg$  den dekadischen Logarithmus (zur Basis 10).

Desweiteren wäre die für die Entfernung der Desintegrate notwendige Zeit  $t_A$  zu berücksichtigen. Da bei der Desintegration durch die Sonotrode aber die simultane Absaugung bei „laufender“ Desintegration erfolgt, wäre diese hierbei sicher eher auch zu vernachlässigen. Für andere Lithotripsieverfahren (z.B die pneumatische Lithotripsie) sollte dieser Zeitfaktor additiv berücksichtigt werden.

Das Absaugen jedes einzelnen Bruchstückes soll der Zeit  $t_A$  zugeordnet werden. Es muss zur Desintegrationszeit  $t_D$  für entsprechend  $2^i$  Bruchstücke noch die Absaugzeit  $\Delta t_A \times 2^i$  addiert werden.

$$t_{i\text{-total}} = t_{D\text{-Gesamt}} + 2^i t_A$$

$$= (2^i - 1)t_D + 2^i t_A$$

$$= 2^i t_D - t_D + 2^i t_A$$

- wird nun  $t_D$  gegen  $2^i t_D$  vernachlässigt, lautet die Formel

$$\underline{t_{i\text{-total}}} = \underline{2^i (t_D + t_A)}$$

Unter Vernachlässigung der Zeit für eine Desintegration müsste in der Formel für die Gesamtdesintegrationszeit ( $t_{D\text{-Gesamt}}$ ) aus Tabelle 5 lediglich die Absaugzeit  $t_A$  zur Desintegrationszeit addiert werden, um die Gesamtzeit zu ermitteln. Dadurch ändern sich die im Diagramm 1 dargestellten funktionellen Abhängigkeiten aber nicht.

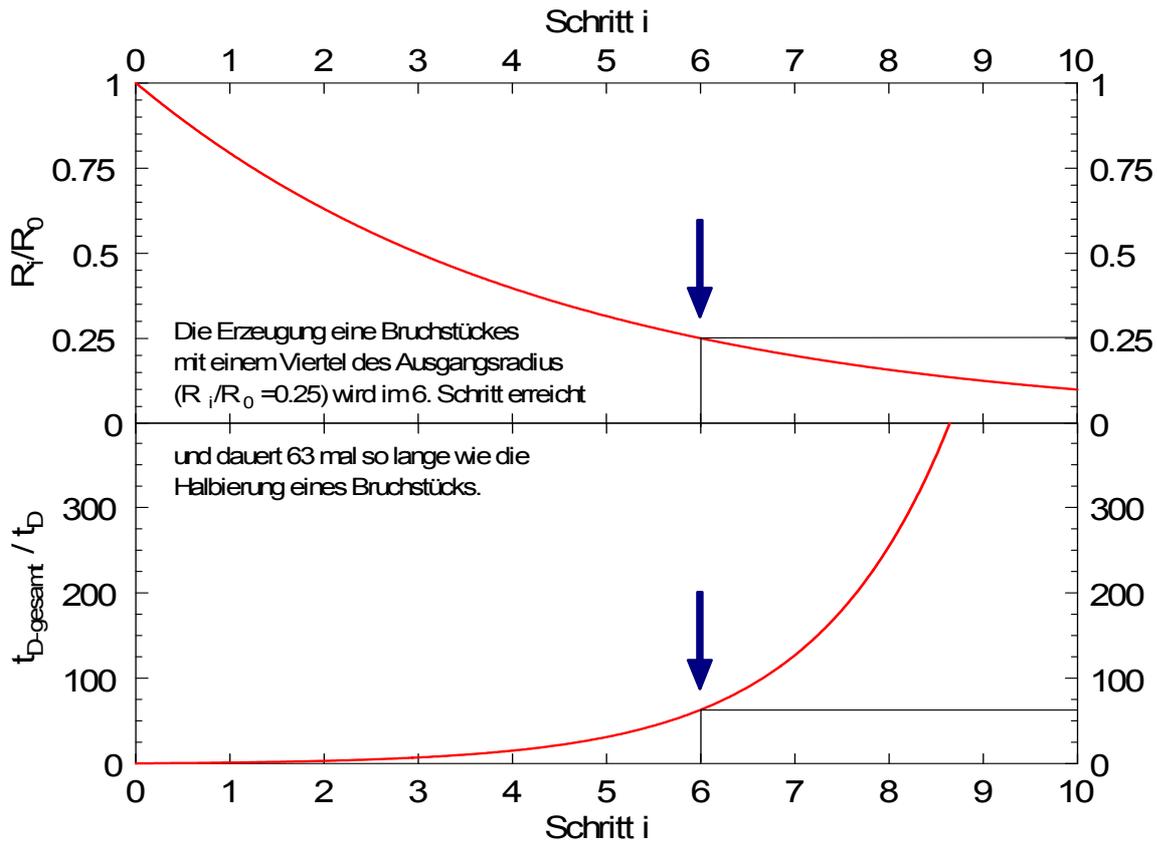


Diagramm 1 Relative Desintegratgröße ( $R_i/R_0$ ) und Desintegrationszeit ( $t_{D-gesamt}/t_D$ ) in Abhängigkeit der Desintegrationsschritte  $i$

Dieses Diagramm ist wie folgt zu interpretieren. Um Desintegrate einer Größe von 25 Prozent des Ausgangsradius zu erzeugen und abzusaugen (dies wird im 6. „Desintegrationsschritt“ erreicht), bedarf es demnach der 63-fachen Zeit, welche für die erste Desintegration aufgewendet werden muss. Einen „Desintegrationsschritt“ weiter ( $i=7$ ) werden Desintegrate von 20 Prozent des Ausgangsdurchmessers in der 127-fachen Zeit erzeugt. Ab diesem 6. Desintegrationsschritt wandelt sich der anfangs lineare in einen exponentiellen Kurvenverlauf. Demnach muss als theoretischer idealer Durchmesser der Sonotrode bzw. des Absauginstrumentes von 20 – 25 Prozent des Steindurchmessers gefordert werden.

Dieses theoretische Modell erklärt zunächst die stete Halbierung eines Steines bzw. dessen Fragmente. Die Praxis zeigt aber, dass die Steindesintegration nicht nur den Stein halbiert, sondern mehr als zwei Desintegrate entstehen lässt. Die Entstehung der Desintegrate könnte dann folgendermaßen beschrieben werden.

Aus 1 Kugel mit Radius  $R_0$  entstehen 4 Kugeln (Steine) mit dem Radius  $R_1$

- $R_1$  berechnet sich aus dem Viertel des Ausgangsvolumens

- $V_1 = \frac{V_0}{4}$

- $\frac{4}{3} \pi \cdot R_1^3 = \frac{\frac{4}{3} \pi \cdot R_0^3}{4}$

- $R_1 = \frac{R_0}{\sqrt[3]{4}}$

- $R_1 = \frac{R_0}{1,587}$

- $R_1 = 0,63 \cdot R_0$

Wird das Desintegrationspotential der Lithotripsievorrichtung mit einer Konstanten  $d$  beschrieben, die angibt, wie viele Desintegrate in einem Schritt  $i$  entstehen, lautet die Formel:

$$R_i = \frac{R_0}{\sqrt[3]{d^i}}$$

bzw. nach  $i$  aufgelöst:

$$i = \log_d \left( \frac{R_0}{R_i} \right)^3 = \frac{3 \cdot \lg \frac{R_0}{R_i}}{\lg d}$$

Im Diagramm 2 wird dies graphisch verdeutlicht. Man erkennt, dass zum Verringern des Radius auf ein Viertel des Ausgangsradius für Desintegrationskonstanten  $d > 2$  weniger als 6 Schritte erforderlich sind. Zum Beispiel sind es für  $d=4$  nur  $i=3$  Schritte, für  $d=10$  verringert sich die Schrittzahl auf 1,8. Entsprechend verringert sich die Gesamtdesintegrationszeit, welche unverändert durch  $2^i - 1$  vorgeben ist.

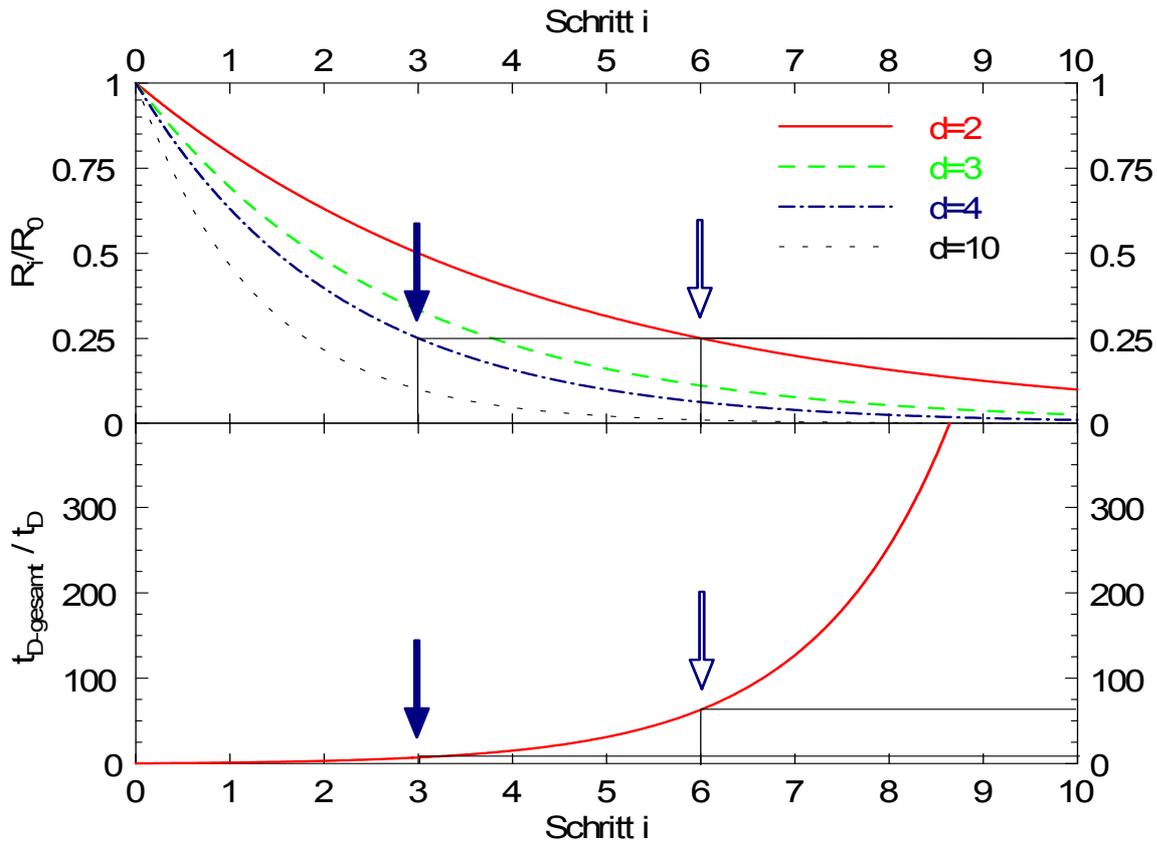


Diagramm 2 Einfluss verschiedener Desintegrationskonstanten  $d$  auf Schrittzahl  $i$  und resultierende Gesamtdesintegrationszeit zum Erreichen eines Radius  $R_i$  der Desintegratate relativ zum Ausgangsradius  $R_0$

Je schneller die Desintegration realisiert wird, umso bedeutender erscheint nun wieder die Absaugzeit der Desintegratate. Das Hagen-Poiseuille'sche Gesetz kann bei vorgegebenem Volumen ( $\Delta V$ ) wie folgt nach der Absaugzeit  $t_A$  umgestellt werden.

$$\frac{\Delta V}{t_A} = \frac{\pi}{8\eta L} \cdot \Delta p \cdot R^4$$

$$\frac{t_A}{\Delta V} = \frac{8\eta L}{\pi \Delta p R^4}$$

$$\underline{\underline{t_A = \frac{8\eta L \Delta V}{\pi \Delta p R^4}}}$$

Das bedeutet, ein Halbieren des Radius eines Rohres (Radius  $R_0$ ) führt zu einem Sechzehntel des Flusses, wenn von einer Konstanz der übrigen Parameter (Viskosität, Volumen, Druckdifferenz, Rohrlänge) ausgegangen wird.

$$t_A^{R_0} = \frac{1}{R_0^4} \cdot \text{Konst.}$$

$$t_A^{R_0/2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{2}R_0\right)^4} \cdot \text{Konst.}$$

$$t_A^{R_0/2} = \frac{16}{R_0^4} \cdot \text{Konst.}$$

$$\underline{\underline{t_A^{R_0/2} = 16 t_A^{R_0}}}$$

Das heißt, bei einem vorgegebenen abzusaugenden Volumen ist bei halbem Radius die sechzehnfache Absaugzeit erforderlich.

Konkret für das an der eigenen Einrichtung verwendete Instrumentarium bedeutet dies folgendes: Das größte Nephroskop (27 Charr.) mit einem Innendurchmesser von 5 mm kann mit der größten Sonotrode (Innendurchmesser 2,5 mm) genutzt werden. Bei den kleineren Instrumenten verringert sich die Größe der Sonotrode entsprechend beim Nephroskop 20,8 Charr. auf 2 mm Innendurchmesser (entspricht 80 % der größten Sonotrode) bzw. bei 18 Charr. auf 1 mm (40 % der größten Sonotrode). Auf dieses Instrumentarium angewendet, ergibt sich, wiederum ausgehend von einer Halbierung des Steines durch einen Desintegrationsschritt, folgende Berechnung.

- Aus  $i = \log_2 \left( \frac{R_0}{R_i} \right)^3$  folgt für die Zahl zusätzlicher Desintegrationsschritte  $\Delta i$  für das

20,8 Charr. Instrument:

$$\Delta i = \log_2 \left( \frac{R_0}{0,8R_0} \right)^3 = \log_2 1,25^3 = \log_2 1,953 = \frac{\lg 1,953}{\lg 2} = \underline{\underline{0,966 \approx 1}}$$

Es bedarf also eines Desintegrationsschrittes mehr als mit dem 27 Charr. Nephroskop.

- Für das 18 Charr. Instrument folgt:

$$\Delta i = \log_2 \left( \frac{R_0}{0,4R_0} \right)^3 = \log_2 2,5^3 = \frac{\lg 15,625}{\lg 2} = \underline{\underline{3,966}} \approx 4$$

Hier sind gegenüber einem Vorgehen mit dem 27 Charr. Instrument 4 zusätzliche Desintegrationsschritte erforderlich.

Bezogen auf die Zeit ( $t_{\text{total}} = 2^i (t_D + t_A)$ ) ergibt sich damit Folgendes.

- Für das 20,8 Charr. Instrument hinsichtlich der
  - Desintegration (konstante Desintegrationsleistung gleich Desintegrationszeit vorausgesetzt):

$$\Delta t_D = 2^{\Delta i} t_D = 2^{0,966} = \underline{\underline{1,95}} t_D$$

Der zusätzliche Desintegrationsschritt verdoppelt demnach die Desintegrationszeit.

- Und unter zusätzlicher Berücksichtigung des Absaugens (ohne simultanes Vorgehen,  $R_0$  entspricht Sonotrode des 27 Charr.-Instrumentes):

$$\frac{\Delta V}{\Delta t_A} = \text{Konst.} \cdot \left( \frac{4}{5} R_0 \right)^4 = \text{Konst.} \cdot \frac{256}{625} \cdot R_0^4$$

$$\frac{\Delta t_A}{\Delta V} = \frac{625}{256} \cdot R_0^4 \cdot \frac{\Delta V}{\text{Konst.}}$$

$$\Delta t_A = 2,44 \cdot R_0^4 \cdot \frac{\Delta V}{\text{Konst.}}$$

Das alleinige Absaugen der Desintegrates bedarf etwa der zweieinhalbfachen Zeit.

- Für das 18 Charr. Instrument bezüglich der:
  - Desintegration (konstante Desintegrationsleistung vorausgesetzt):

$$\Delta t_D = 2^{\Delta i} t_D = 2^{3,966} t_D = \underline{\underline{15,63}} t_D$$

Die vier zusätzlichen Desintegrationsschritte erhöhen demnach die Desintegrationszeit um das über Fünfzehnfache.

- Und unter zusätzlicher Berücksichtigung des Absaugens (ohne simultanes Vorgehen)

$$\frac{\Delta V}{\Delta t_A} = \text{Konst.} \cdot \left(\frac{2}{5} R_0\right)^4 = \text{Konst.} \cdot \frac{16}{625} \cdot R_0^4$$
$$\Delta t_A = \frac{625}{16} \cdot R_0^4 \cdot \frac{\Delta V}{\text{Konst.}}$$
$$\Delta t_A = 39,1 \cdot R_0^4 \cdot \frac{\Delta V}{\text{Konst.}}$$

Das alleinige Absaugen der Desintegratrate bedarf etwa der 39-fachen Zeit.

## 4 Diskussion

### 4.1 Patienten

Bei Betrachtung der untersuchten Patienten werden diejenigen Steinpatienten „selektioniert“, bei denen eine PNL indiziert ist und auch durchgeführt werden kann. Dies hat Abweichungen zu allgemeinen epidemiologischen Daten der Urolithiasis zur Folge. Für die Urolithiasis gilt bei Männern generell eine höhere Prävalenz als bei Frauen. So fanden Hesse et al. 2003 besonders in der Altersgruppe der über 50-jährigen Patienten deutliche Prävalenzunterschiede für Männer bzw. Frauen (50-64 Jahre: 9,7 vs. 5,9 %, über 65 Jahre: 11,7 vs. 7,7 %). Demgegenüber konnte in den Vereinigten Staaten von Amerika zwischen 1994 und 2000 eine Abnahme des Geschlechterverhältnisses (männlich: weiblich) bei hospitalisierten Patienten von 1,86: 1 auf 1,45: 1 dokumentiert werden (Pearle et al., 2005).

Andere Arbeiten zu Ergebnissen der PNL beschreiben folgende Geschlechterverhältnisse. Die Übersicht der Mannheimer Arbeitsgruppe um Alken und Knoll, welche in einem Zeitraum von 15 Jahren über die größte Zahl von Patienten (n = 315) berichtet, zeigt ein nahezu ausgewogenes Verhältnis zwischen Männern (n = 156) und Frauen (n = 159) (Osman M et al., 2005). In einer anderen Arbeit von Li aus Singapur dagegen überwiegt der Anteil der behandelten Männer (n = 58) deutlich gegenüber den behandelten Frauen (n = 29) (Li et al., 1996). In mehreren Arbeiten erfolgen keine Angaben zur Geschlechterverteilung (Lahme et al., 2008, Lingeman et al., 1987).

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit (72 behandelte Männer, 59 behandelte Frauen) weisen keinen wesentlich anderen Trend auf. Die Unterschiede zu den allgemeinen epidemiologischen Daten in allen die PNL betreffenden Arbeiten sind der Selektion der Patienten zuzuschreiben.

Ähnlich verhalten sich die Angaben zum Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Operation. Für die Urolithiasis im Allgemeinen wird ein Häufigkeitsgipfel bei Männern im 35. Lebensjahr bzw. bei Frauen im 30. und 55. Lebensjahr angegeben (Hautmann, 2006). In den Arbeiten zur PNL wird für die Patienten das durchschnittliche Alter bei 54,7 Jahren (13 – 85 Jahre) (Osman et al., 2005), 49,9 Jahren (19 – 81 Jahre) (Li et al., 1996) angegeben, gelegentlich erfolgt aber auch keine Altersangabe (Lahme et al.,

2008, Lingeman et al., 1987). Hier zeigt die untersuchte Patientengruppe mit einem Durchschnittsalter von 55,8 Jahren keine wesentliche Abweichung. Anzumerken ist jedoch, dass obwohl Männer (56,6 Jahre) und Frauen (54,8 Jahre) sich im Durchschnittsalter um nur 1,8 Jahre unterscheiden, in einer Häufigkeitsverteilung die meisten Männer zwischen 60-70 Jahren (n = 31) und Frauen zwischen 50 – 60 Jahren (n = 22) behandelt worden sind (Abb. 2).

Bezüglich des Body-Mass-Index finden sich in den bereits zitierten Arbeiten keine Angaben. Andere Untersuchungen, welche sich ausschließlich mit dem Einfluss des BMI auf Steinfreiheitsraten und Komplikationen der PNL beschäftigen, zeigen zum einen einen ähnlich hohen Anteil an übergewichtigen Patienten (70 von 85 Pat. - 82,3 % mit einem BMI > 25 kg/m<sup>2</sup>) (Sergeyev et al., 2007), zum anderen aber auch, dass ein hoher BMI keinen signifikanten Einfluss auf die Behandlungsergebnisse hat (El-Assmy et al., 2007, Sergeyev et al., 2007). Eine allgemeine Aussage zur Steinbildung bei übergewichtigen und adipösen Frauen und Männern konnten Siener et al. 2004 treffen, indem sie ein erhöhtes Risiko für eine Calcium-Oxalat-Steinbildung bei diesen Patienten durch eine erhöhte Ausscheidung von Promotoren der Lithogenese nachwiesen. Die eigenen erhobenen Daten folgen diesem Trend und stützen die Aussagen von Hulan und Hautmann, in denen die Urolithiasis als Wohlstandserkrankung bezeichnet wird (Hautmann, 2006).

Hinsichtlich der bestehenden Symptomatik fällt der hohe Anteil der subjektiv beschwerdefreien Patienten auf. Hier konnten aber häufig andere Zeichen einer Nephrolithiasis (Harntransportstörung, Erythrozyturie) nachgewiesen werden. Eine Untersuchung von Hübner und Porpaczy konnte 1990 für 63 Patienten mit 80 Nierenkelchsteinen in 40 Prozent die Notwendigkeit einer chirurgischen Intervention, in 16 Prozent einen Spontanabgang sowie eine erfolgreiche Steinlyse mit Alkalizitrat in 6 Prozent darstellen. Bei den 38 Prozent der Patienten mit in situ verbliebenem Stein waren im durchschnittlichen Beobachtungszeitraum von rund 7 Jahren 68 Prozent der Patienten Zeichen der Infektion nachzuweisen, 51 Prozent gaben Schmerzepisoden an. 45 Prozent der verbliebenen Steine nahmen an Größe zu. Die Autoren schlossen daraus, dass die meisten Kelchsteine, wenn sie unbehandelt bleiben, durch Wachstum zu einer Symptomatik wie Infektion und / oder Schmerzen führen. Gegenüber 83 Prozent der Patienten mit Kelchsteinen, welche im 5-Jahreszeitraum wahrscheinlich

einer Steintherapie (ESWL oder PNL) bedürfen, stehen 11 Prozent von Patienten mit Kelchsteinen, bei denen dieser über 10 Jahre symptomlos bleibt. Ferner konnte festgestellt werden, dass bei lediglich 11 von 32 Patienten die chirurgische Therapie rechtzeitig erfolgte. Die anderen 21 Patienten boten durch eine verzögerte Behandlung ein komplizierteres Krankheitsbild durch Steinwachstum bis zum Ausgussstein, akute Harnstauungsniere mit drohender Urosepsis, chronische Harnwegsinfektionen oder Verlust der Nierenfunktion (Hübner und Porpaczy, 1990).

Für Ausgusssteine konnten mehrere Untersuchungen einen Vorteil der chirurgischen Therapie gegenüber einem konservativen Vorgehen durch Nachweis einer geringeren Mortalität, Morbidität und Verlust der Nierenfunktion zeigen (Blandy und Singh, 1976, Koga et al., 1991, Teichman et al., 1995). Deswegen ist auch bei fehlender subjektiver Symptomatik des Patienten die Indikation zur PNL bei Erfüllung der aufgeführten Kriterien gerechtfertigt.

Über die Zuordnung in die ASA-Klassifikation findet man in anderen vergleichbaren Arbeiten keine Angaben. Die geschilderte Verteilung der Patienten vornehmlich in die ASA-Klassen 2 und 3 erscheint in Anbetracht des Durchschnittsalters plausibel. Unter der Annahme, dass „Volkskrankheiten“ wie der Diabetes mellitus oder der arterielle Hypertonus häufige Nebenerkrankungen der Steinpatienten sind, erklärt sich hiermit auch die angegebene Erhöhung des Serum-Kreatinins ohne gleichzeitig bestehende Harnstauungsniere als grober Indikator einer vorbestehenden Nierenfunktionsstörung. Bei 3 der 5 Patienten mit Hyperkalzämie konnte im Rahmen deren Abklärung ein primärer Hyperparathyreoidismus diagnostiziert und eine entsprechende Therapie eingeleitet werden.

#### 4.2 Indikation und Durchführung der PNL

Die Indikation zur Perkutanen Nephrolitholapaxie wurde prinzipiell analog der Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Urologie (DGU) gestellt (AWMF-Leitlinien). Vergleicht man diese mit den Leitlinien der Europäischen Gesellschaft für Urologie (EAU) bzw. denen der Amerikanischen Urologischen Gesellschaft (AUA) finden sich keine wesentlichen Unterschiede (Türk et al., 2008). Vergleichend sind die Leitlinien in der folgenden Tabelle 6 dargestellt.

Größe	> 20 mm			10 – 20 mm		< 10 mm	
	DGU	EAU	AUA (Empfehlungen nur für Ausgusssteine)	DGU	EAU	DGU	EAU
<b>1. Wahl</b>	PNL	PNL	PNL	ESWL	ESWL	ESWL	ESWL
<b>2. Wahl</b>	ESWL und DJ	ESWL	ESWL und PNL	PNL (Bei unterem Kelchstein alternativ zur ESWL)	PNL	Flex. URS	PNL
<b>3. Wahl</b>	Offen (Bei peripherer Steinmasse 1. Wahl)	ESWL und PNL	Offen		Flex. URS		Flex. URS
<b>4. Wahl</b>		Laparoskopie	ESWL und DJ		Laparoskopie		Laparoskopie
<b>5. Wahl</b>		Offen			Offen		Offen

Tabelle 6 Präferenz der Fachgesellschaften für Therapieverfahren bei Nierensteinen (modifiziert nach Türk et al., 2008)

Ein Vergleich der Parameter Steingröße und Steinlokalisierung des vorliegenden Patientenkollektivs mit anderen Arbeiten ist schwierig. So fehlt in der großen Übersicht der Mannheimer Arbeitsgruppe eine Angabe zur Steingröße. Die Verteilung der Steinlokalisierung weicht in dieser Arbeit mit partiellen Ausgusssteinen in 42,9 %, Nierenbeckensteinen in 25,1 %, Kelchsteinen in ca. 15 % (davon 10 % im unteren Kelch) sowie Uretersteinen in ca. 7 % nicht unerheblich von den eigenen Ergebnissen ab (Osman et al., 2005). Die ebenfalls bereits zitierte Arbeit von Li aus Singapur zeigt folgende Lokalisationsverteilung: partieller Ausgussstein 21,8 %, Nierenbeckenstein und Stein im ureteropelvinen Übergang (20,7 + 17,3=) 38 %, unterer Kelchstein 11,5 % und hoher Ureterstein 5,7 %. Eine Angabe zur Steingröße findet sich wiederum nicht (Li et al., 1996). Diese Verteilung ist zum Beispiel für Nierenbeckensteine mit dem eigenen Patientengut gut vergleichbar. Die untere Kelchgruppe ist bei den Kelchsteinen im

eigenen Patientengut überproportional häufig steintragend. Die beiden zitierten Arbeiten zeigen dagegen einen relativ geringen Anteil unterer Kelchsteine. Angesichts der Bedeutung des unteren Kelchsteins in der Diskussion um die optimale Strategie in der Steintherapie, erscheinen die von Osman et al. und Li et al. angegebenen Häufigkeiten doch eher niedrig.

Das Prinzip der Durchführung der Operation kann als standardisiert betrachtet werden (Knoll et al., 2005). Es umfasst die Punktion des Hohlsystems, die Etablierung des Arbeitskanales, die Nephroskopie, Steindetektion und Steintherapie sowie letztendlich die Sicherstellung des Harnabflusses zum Ende der Operation. In diesen einzelnen Schritten kann die jeweilige Durchführung variieren (Knoll et al., 2007).

Folgende Besonderheiten sollen näher erörtert werden. Die Punktion des Hohlsystems wird in der Regel sonographisch gestützt durchgeführt. Traditionell wird in der Amerikanischen Literatur noch die Durchführung der Punktion durch den Radiologen beschrieben. Neuere Untersuchungen konnten aber eine höhere Steinfreiheitsrate und geringere Komplikationen bei der Punktion durch den Urologen zeigen (Watterson et al., 2006). Der Patient wird in aller Regel auf dem Bauch gelagert. Für eine komplexe Steintherapie kann ein perkutaner und retrograder Zugang zum Hohlsystem durch eine modifizierte Flankenlagerung, der Galdakao-modified Valdivia position, ermöglicht werden (Ibarluzea et al., 2007). Bezüglich der Dilatation sind die Ein-Schritt-Methode (Ballon-Dilatator) sowie das schrittweise Vorgehen (Teleskop-Bougies) wohl als gleichwertig anzusehen und werden in der Literatur nicht speziell untersucht.

Dagegen gab es in der jüngeren Vergangenheit bezüglich der Stärke des Arbeitskanals erhebliche Veränderungen, welche mit der Etablierung der sogenannten minimal-invasiven Perkutanen Nephrolitholapaxie (mini-PNL, Mini-Perc) zu einer nahezu eigenständigen Operationstechnik und einer Adaptation der Leitlinien, gerade in der Therapie des unteren Kelchsteines, geführt hat (Lahme et al., 2001). Das Für und Wider dieser Entwicklung soll später noch intensiver diskutiert werden.

Die verschiedenen Möglichkeiten zur Steindesintegration wurden einleitend beschrieben. Für die PNL wird die Ultraschalllithotripsie wegen der Möglichkeit der simultanen Desintegratbergung als optimal angesehen (Olbert 2005). Alternativ steht die Pneumatisch-ballistische Lithotripsie zur Verfügung, welche zusammen mit der Ultraschalllithotripsie auch in einem kombinierten Instrument (Hofmann et al., 2002),

sinnvoll angewendet werden kann. Die LASER-Lithotripsie sollte dem Miniatur-Instrumentarium vorbehalten sein (Olbert, 2005).

Die Frage nach der Harnableitung zum Abschluss der Operation wird mit der Einführung der tubeless-PNL neu gestellt. Als standardisiert muss die Einlage einer perkutanen Nephrostomie gesehen werden (Knoll et al., 2005). Jüngere Arbeiten zeigen, dass auf eine Nephrostomie verzichtet werden kann. Hier wird aber meist über den antegraden Zugang ein DJ-Katheter als interne Harnableitung angelegt (Delnay und Wake, 1998).

#### 4.3 Präoperative Interventionen und Primärtherapie

Präoperative Interventionen beziehen sich auf die Beseitigung einer Harnstauung oder eine bislang frustrane Therapie des Steines. Gerade bei hohen Ureter- oder Nierenbeckensteinen kann eine durch den Stein verursachte Harnstauung beobachtet werden. Bestehen rezidivierende, therapierefraktäre Koliken oder Zeichen der infizierten Harnstauung, sollte die Harnabflussstörung durch eine interne oder externe Ableitung beseitigt werden. Ist nach der Größe des Steines die Indikation zur PNL ohnehin gegeben, bietet sich die Anlage einer perkutanen Nephrostomie durchaus an. So erhielten in der vorliegenden Arbeit 9 von 33 Patienten (27 %) mit Harnstauung vor Primärtherapie eine Nephrostomie, vor Interventionen wie URS oder ESWL ist dieser Anteil nach den eigenen Erfahrungen deutlich geringer. Der ESWL-refraktäre Nierenstein wird leitliniengemäß ebenfalls einer PNL zugeführt. Bei einer Anzahl von jährlich 50-100 ESWL im Erfassungszeitraum ist die ermittelte Zahl von 5 Patienten mit vorheriger ESWL durchaus gering. In anderen Arbeiten finden sich keine Angaben zu präoperativen Interventionen. Die Möglichkeit zum Vergleich wäre hier wünschenswert. Ob das Behandlungsergebnis einer PNL durch eine präoperative Intervention beeinflusst wird, ist bislang nicht Gegenstand von Untersuchungen gewesen.

Im Effektivitätskoeffizienten nach Clayman wird eine präoperative Intervention nicht berücksichtigt.

Die Einteilung der Operationen in Primär- bzw. Sekundärbehandlung ist für die Auswertung der Ergebnisse sinnvoll und wird in anderen Arbeiten analog angewandt (Li et al., 1996, Osman et al., 2005).

#### 4.4 Daten zur Operation

Um die Operationszeiten verschiedener Arbeiten vergleichen zu können, bedürfte es einer exakten Definition des Start- und Endpunktes. Die zystoskopische Einlage des Ureterkatheters wird in der vorliegenden Arbeit in die Operationszeit gerechnet, in welche dann natürlich auch die Zeit des Umlagerns des Patienten aus der Rücken- in die Bauchlage fällt. In der Publikation aus Singapur mit der relativ niedrigen durchschnittlichen Operationszeit von 64,7 Minuten wurde generell kein Ureterkatheter gelegt (Li et al., 1996). Damit ist die im Vergleich kürzere Operationsdauer erklärt. Die Arbeit der Mannheimer Arbeitsgruppe von Alken und Knoll mit der größten Operationszahl von über 300 Eingriffen in 15 Jahren weist eine durchschnittliche Operationszeit von 124,9 Minuten einschließlich der Einlage des Ureterkatheters aus (Osman et al., 2005). Die vergleichsweise längere Operationsdauer könnte, ohne dass die Autoren darauf Bezug nehmen, damit erklärt sein, dass eine sinkende Operationszeit durch verbessertes Instrumentarium und eine steigende Lernkurve im relativ langen Beobachtungszeitraum zu wenig abgebildet ist. Diese These lässt sich mit der noch längeren Operationszeit von durchschnittlich 155 Minuten (ohne Einlage eines Ureterkatheters) der Arbeitsgruppe um Lingeman aus den Jahren 1983 und 1984 stützen (Lingeman et al., 1987). Die jüngeren Arbeiten zur „Mini-PNL“ bzw. „Mini-Perc“ publizieren durchschnittliche Operationszeiten von 62,2 Minuten („von der Nierenpunktion bis zum Traktverschluss“) (Nagele et al., 2008) bzw. 67 Minuten („für die perkutane Steinentfernung“) (Lahme et al., 2008). Die jeweils praktizierte Einlage des Ureterkatheters sowie die dann erforderliche Umlagerung des Patienten auf den Bauch werden hier nicht in die Operationszeit einbezogen.

Dies führt zwangsläufig zu einer schwierigeren Vergleichbarkeit der jeweiligen Operationsverfahren. Eine standardisierte Empfehlung zur Ermittlung der Operationsdauer existiert nicht. Die beschriebenen Schritte der Operation sind aber als eine Einheit zu betrachten, so dass die Operationszeit den tatsächlichen Beginn des Eingriffes berücksichtigen sollte. Eine Abschätzung der Dauer der Einlage des Ureterkatheters und der Umlagerung des Patienten könnte nur äußerst ungenau erfolgen, Rückschlüsse auf die Dauer des kompletten Eingriffes in den Arbeiten mit miniaturisiertem Instrumentarium sind somit nicht möglich. Insofern wird diesem Faktor

im Hinblick auf Vorzüge dieser weiter entwickelten Techniken auch keine weitere Beachtung geschenkt. Aus ökonomischen Gesichtspunkten sei die Bedeutung der Kosten des Operationssaales als einer der wichtigsten Faktoren an dieser Stelle kurz unterstrichen.

Die Begründung für die durchschnittlich 13,1 Minuten längere Operationsdauer bei den Sekundärbehandlungen könnte ein primär komplizierterer Ausgangsbefund sein, welcher bei schwieriger Primärbehandlung den Re-Eingriff überhaupt erst erforderlich gemacht hat. Eine Objektivierung dieser These erscheint nicht leicht. Ein Hinweis findet sich in der Tatsache, dass die Steine, welche einer Sekundärbehandlung bedurften, mit durchschnittlich 31,1 mm (im Vergleich zu 20,3 mm bei sämtlichen Primärtherapien) deutlich größer waren.

Hinsichtlich des verwendeten Instrumentariums ist in den vorliegenden Ergebnissen mit der häufigsten Nutzung des 20,8 Charr.-Instrumentes bei über der Hälfte der Operationen eine Entwicklung zur Verwendung des Instrumentariums mit einem dünneren Außendurchmesser durchaus erkennbar. Die Wahl des jeweiligen Instrumentes obliegt ausschließlich dem Operateur und wird neben objektiven Aspekten wie der Steingröße oder der Steinlokalisierung auch durch subjektive Einflüsse wie Präferenz eines bestimmten Instrumentes mit beeinflusst. Auch die jeweilige Erfahrung des Operateurs, abgebildet in dessen Ausbildungsstand, spielt hierbei eine Rolle.

Die durchgeführten Stratifizierungen bezüglich der Steingröße, der Operationsdauer und des Instrumentariums können demzufolge lediglich Tendenzen, aber keine Gesetzmäßigkeiten hinsichtlich theoretisch zu erwartender Ergebnisse sein.

#### 4.5 Intraoperative Komplikationen

Die Methodik der Klassifikation der im Rahmen einer PNL möglichen Komplikationen muss in der Literatur als variabel beschrieben werden (Knoll et al., 2005, Lahme et al., 2008, Li et al., 1996, Lingeman et al., 1987, Osman et al., 2005). Die in der vorliegenden Arbeit verwandte Klassifikation orientiert sich an einer Übersichtsarbeit (Knoll et al., 2005). Aus Gründen der besseren Veranschaulichung wurde neben der Einteilung in intra- bzw. postoperative Komplikationen zusätzlich eine Unterscheidung in Major- und Minor-Komplikationen entsprechend der in den Methoden genannten Kriterien

getroffen. Ein Vergleich mit den anderen Arbeiten ausschließlich bezüglich der prozentualen Angabe von Komplikationen ist deswegen nicht ausreichend.

In den bereits zum Vergleich herangezogenen Daten der Mannheimer Arbeitsgruppe findet sich für Primärbehandlungen (n = 315) je eine Urosepsis mit letalem Ausgang, eine akute Pankreatitis sowie eine schwere Blutung mit der Notwendigkeit einer superselektiven Embolisation des blutenden Gefäßes. Es werden keine Verletzungen von Nachbarorganen oder die Notwendigkeit von Bluttransfusionen beschrieben (Osman et al., 2005).

Die Arbeit von Li aus Singapur (n = 87) weist je eine letale fulminante Lungenembolie, eine transfusionspflichtige Blutung sowie zwei Pleuraergüsse ohne die Notwendigkeit einer Drainage als schwerwiegende Komplikationen aus. Erwähnenswert ist hier, dass bei zwei Patienten jeweils eine Woche nach der Operation eine Blutung auftrat, welche durch Entwicklung eines Pseudoaneurysmas bedingt war und eine Embolisation erforderlich machte (Li et al., 1996).

Die Studie von Lingeman (n = 110) in den 80er Jahren beschreibt folgende Komplikationen: sechs (5,5 %) Transfusionen, sechs (5,5 %) Perforationen, eine „Wasserintoxikation“ (gemeint ist eine hypervolämische Hyponatriämie) und eine verlängerte Blutung über die Nephrostomie. Unklar bleibt hierbei allerdings, ob die Transfusionen bereits intraoperativ erfolgen mussten und ob die Perforationen einer weiteren Intervention bedurften (Lingeman et al., 1987).

Für die Mini-PNL (n = 335) wurden Komplikationen wie die transfusionspflichtige Blutung in 1,9 % und die Ausbildung einer arteriovenösen Fistel mit Notwendigkeit einer angiographischen Intervention in einem Fall (0,3 %) beschrieben (Lahme et al., 2008).

Das Spektrum der möglichen Komplikationen ist aber deutlich breiter. Besonders im Zusammenhang mit einer Punktion kranial der 12. Rippe (suprakostaler Zugang) steigt das Risiko der Verletzung von Nachbarorganen deutlich an. Von einer Pleuraläsion mit konsekutivem Hydro- oder Pneumothorax wird in bis zu 37 % berichtet (Kim et al., 2003). Ebenfalls beim suprakostalen Zugang wird über mögliche Verletzungen der Leber bzw. Milz berichtet. In drei publizierten Fällen wurde eine Milzläsion jeweils erst nach Beendigung der Operation festgestellt und bedurfte bei keinem Patienten einer Revision (Schaeffer et al., 2008). Ebenso wurde von der konservativen Behandlung einer Leberverletzung berichtet (El-Nahas et al., 2008). Ferner sind im Einzelfall auch

Verletzungen des Dick- bzw. Dünndarmes möglich (Michel et al., 2007, Santiago et al., 1998).

Die vorliegende Arbeit beschreibt einen Anteil der Major-Komplikationen von 5,1 Prozent. Die Operation mit letalem Ausgang infolge einer fulminanten Lungenembolie trotz adäquater thrombembolischer Prophylaxe und ohne Komorbidität ist wie dargelegt kein Einzelfall (Li et al., 1996). Ein solches Ereignis muss aber weniger mit der spezifischen Operation, sondern eher mit dem gesamten Vorgang, welcher natürlich auch die Narkose beinhaltet in Zusammenhang gesehen und durchaus als schicksalhaft bezeichnet werden. Ebenso sind die Gründe für die postoperativ intensivtherapiepflichtigen Patienten nicht in der Operationsmethode, sondern der Komorbidität bzw. der Grunderkrankung (Infektstein) zu sehen. Die drei Fälle mit freier abdominaler Flüssigkeit weisen auf die Möglichkeit einer peritonealen Läsion hin. In keinem Fall konnte aber diese Läsion im Rahmen der Laparatomie identifiziert werden. Weiterhin war hierbei keine Verletzung intraabdominaler Organe aufgetreten. Ist bereits intraoperativ eine Bluttransfusion nötig, muss von einer stärkeren Blutung ausgegangen werden. Die Indikation zur intraoperativen Transfusion resultierte aus der vom Operateur geschilderten Blutung in Zusammenhang mit einer Kreislaufdepression, der intraoperative Hämoglobinwert ist hierbei nicht bestimmt worden. Eine Zuordnung als Major-Komplikation ist zu diskutieren, meines Erachtens aber gerechtfertigt.

Die als Minor-Komplikation eingestuften Ereignisse weisen auf die mögliche Bandbreite von Komplikationen im Rahmen einer PNL hin. So kann auch eine kaum Hb-wirksame und keinesfalls transfusionspflichtige Blutung einen Abbruch der Operation bedingen. Punktionsschwierigkeiten, damit verbundene Probleme bei der Steinortung und auch technische Probleme mit dem Instrumentarium können den Operationsverlauf und damit ohne wesentliche unmittelbare Auswirkung für den Patienten in erster Linie das Behandlungsergebnis negativ beeinflussen. Minor- und Major-Komplikationen sind also gemeinsam, dass sie eine nur unvollständige Steinentfernung bedingen können.

Eine Vereinheitlichung der Klassifikation der Operationskomplikationen ist anhand einer modifizierten Clavien-Klassifikation möglich (Tab. 7).

<b>Grad</b>	<b>Clavien-Beschreibung</b>	
<b>I</b>	Abweichung vom normalen postoperativen Ablauf ohne die Notwendigkeit einer Intervention (medikamentös, radiologisch, chirurgisch)	
<b>II</b>	Leichte Komplikationen, die einer medikamentösen Intervention, Bluttransfusion oder parenteralen Ernährung bedürfen	
<b>III</b>	Komplikationen, bei denen eine chirurgische, endoskopische oder radiologische Intervention notwendig ist	
	IIIa	Intervention ohne Vollnarkose
	IIIb	Intervention mit Vollnarkose
<b>IV</b>	Lebensbedrohliche Komplikationen, die eine intensivmedizinische Behandlung verlangen	
	IVa	Dysfunktion eines Organs (Dialyse eingeschlossen)
	IVb	Dysfunktion mehrerer Organe oder Organsysteme
<b>V</b>	Tod durch Komplikationen	

Tabelle 7 Modifizierte Clavien-Klassifikation für postoperative Komplikationen

Entsprechend dieser Einteilung, welche von Clavien 1992 zur Klassifikation von Komplikationen von Cholezystektomien eingeführt wurde (Clavien et al., 1992), würden die Grade I und II den Minor- bzw. III – V den Major-Komplikationen entsprechen. In der vorliegenden Arbeit würde dann lediglich die intraoperative Transfusion als Clavien Grad 2 und damit Minor-Komplikation klassifiziert werden. In deutschen urologischen Kliniken wird diese Klassifikation nur selten angewandt. Für die Komplikationen der PNL finden sich 2 Arbeiten aus den Niederlanden bzw. der Türkei, welche die Clavien-Klassifikation „auf der Suche nach einem Standard“ aufgreifen und ihre Ergebnisse danach analysieren (Rosette et al., 2008, Tefekli et al., 2007). Allerdings beschäftigen sich beide Arbeiten vor allem mit den Komplikationen der PNL, so dass diese bezüglich der bereits diskutierten bzw. noch zu diskutierenden Parameter nur ungenügende Aussagen liefern. Zur Vermeidung von Komplikationen wird besonders auf die Bedeutung der Nierenpunktion als sensibelsten Teil der Operation hingewiesen. Es wird geschlussfolgert, dass die Nierenpunktion unter Ultraschall- und

Durchleuchtungskontrolle besser durch den erfahrenen Urologen als durch den Radiologen, wie im englischen Sprachraum verbreitet, durchgeführt wird (Knoll et al., 2005). Natürlich muss daneben eine Komplikation schnellstmöglich erkannt und dann adäquat, interventionell oder konservativ, therapiert werden.

#### 4.6 Postoperativer Verlauf

Der postoperative Harnwegsinfekt zählt neben einer Makrohämaturie zu den häufigsten postoperativen Komplikationen (Knoll et al., 2005). Der in der vorliegenden Arbeit ermittelte Anteil eines postoperativen Harnwegsinfektes von 16,5 % ist mit anderen Publikationen vergleichbar. Auch hier muss auf einen fehlenden Standard bezüglich der Definition eines Harnwegsinfektes hingewiesen werden.

So erfolgt durch die Mannheimer Arbeitsgruppe um Alken und Knoll im postoperativen Verlauf von 315 Primärbehandlungen eine Unterteilung in vorübergehendes Fieber (27,6 %) und Harnwegsinfekte ohne Zeichen der Urosepsis (3,5 %) (Osman et al., 2005). Die Publikation von Lingeman weist nach 110 Eingriffen in 10,9 % Fieber von über 39°C aus. Als Zeichen der eingriffsbedingten Morbidität werden weiterhin bei 34 % der Patienten Temperaturen über 38°C berichtet. So hatten in dieser Arbeit insgesamt 45 % der Patienten postoperativ erhöhte Temperaturen (Lingeman et al., 1987). Die Arbeit von Li (n = 87) weist in 9,2 % symptomatische Harnwegsinfekte aus, ohne dass Kriterien für die Infektsymptomatik dargelegt werden (Li et al., 1996). Die Auswertung der Daten zur Mini-Perc (n = 335) zeigte das Auftreten einer fieberhaften Pyelonephritis in 6,5 % der Fälle (Lahme et al., 2008). Alle Operationen wurden, wie allgemein empfohlen, unter einer antibiotischen Prophylaxe durchgeführt.

Auch aus Gründen der klinischen Praktikabilität wurde in der vorliegenden Arbeit ein Harnwegsinfekt mit Temperaturen über 38°C über den 1. postoperativen Tag hinaus definiert. Mit Dokumentation einer erhöhten Temperatur erfolgte eine körperliche Untersuchung, um einen anderen Fokus, z.B. pulmonal, weitgehend auszuschließen. Gleichzeitig wurde der Urin mittels Streifentest und Urinkultur untersucht. Auch wenn die Urinkultur dann keinen Bakteriennachweis erbringen konnte, war damit nicht zwangsläufig ein Harnwegsinfekt ausgeschlossen. Der klinische Alltag zeigt nicht selten auch bei klinisch eindeutigen Infekten eine unauffällige Urinkultur. Insofern wurde damit

im Vergleich eher „großzügig“ ein Harnwegsinfekt als Fieberursache angenommen. Dies ist zum einen unter der Annahme einer bakteriellen Besiedlung des zu behandelnden Steines und hier nicht ausschließlich des Infektsteines, zum anderen unter Berücksichtigung der berichteten Fieber-/Infektraten in den anderen Arbeiten, sicher auch berechtigt. Die Normalisierung des Fiebers nach Umstellung der Antibiose (bei 23/26 Infekten – 88 %) stützt den klinischen Bezug dieses Vorgehens. Die verwendeten Antibiotika entsprechen denen der allgemeinen Empfehlungen und dürfen in ihrer Anwendung und Wirkung als sicher bezeichnet werden (Knoll et al., 2005).

Zu den ebenfalls häufigen Komplikationen wird die postoperative Hämaturie gezählt (Knoll et al., 2005). Die Abschätzung des Blutverlustes wird in verschiedenen Arbeiten jeweils auf spezifische Weise gehandhabt. Hauptproblem ist, dass durch das in der Spülflüssigkeit gelöste Blut eine Quantifizierung des absoluten Blutverlustes auf einfache Weise nicht möglich ist. Die Bestimmung des postoperativen Hämoglobin-Abfalles ist objektiv, jedoch muss hierbei der Einfluss anderer Größen wie des Hämatokrits berücksichtigt werden. Aus rein klinischer Sicht ist der Blutverlust beim kreislaufstabilen Patienten hauptsächlich bezüglich der Notwendigkeit einer Bluttransfusion bedeutungsvoll. Demnach orientieren sich die meisten Arbeiten auch an der Transfusionshäufigkeit. In den bereits zitierten Publikation werden Transfusionen in 0 % - Mannheim (Osman et al., 2005), 1,1 % - Singapur (Li et al., 1996), 1,9 % - Pforzheim – Mini-Perc (Lahme et al., 2008) sowie 5,5 % - Indianapolis (Lingeman et al., 1987) berichtet. Von diesen Arbeiten wird lediglich von Lingeman ein Hämoglobin-Abfall ausgewertet. Dieser beträgt durchschnittlich 1,5 g/dl entsprechend 0,93 mmol/l (Lingeman et al., 1987). Hiervon sind die eigenen Daten mit einer Transfusionsrate von 2,5 % und identischem Hämoglobin-Abfall von 0,93 mmol/l nicht abweichend.

Zum Thema des Blutverlustes muss noch eine Publikation von Kukreja et al. berücksichtigt werden. Diese setzt sich explizit mit Faktoren, die den Blutverlust einer PNL beeinflussen, auseinander. Bei über 300 Operationen (n = 301) wurde ein durchschnittlicher Hämoglobin-Abfall von 1,68 g/dl (= 1,04 mmol/l) verzeichnet. Die Transfusionsrate betrug 7,9 %. Ein signifikant höherer Blutverlust wurde bei Patienten mit einem Diabetes mellitus, bei Operationen mit mehreren Arbeitskanälen, steigender Operationszeit und dem Auftreten intraoperativer Komplikationen beobachtet. Ein geringerer Blutverlust ist bei atrophem Nierenparenchym und bereits vorhandenem

Arbeitskanal zu verzeichnen (Kukreja et al., 2004). Letzter Punkt kann durch die eigenen Ergebnisse mit einem geringeren Hämoglobin-Abfall bei Sekundäreingriffen bestätigt werden. In der eigenen Klinik wird der Möglichkeit eines stärkeren Blutverlustes durch die generelle Bereitstellung von 2 Erythrozytenkonzentraten perioperativ Rechnung getragen.

Der Liegedauer der Nephrostomie sowie der Länge des stationären Aufenthaltes wird in der Literatur weniger Beachtung geschenkt. Vergleichsmöglichkeiten ergeben sich aus den Arbeiten von Li mit einem durchschnittlichen stationären Aufenthalt von 10 Tagen (Li et al., 1996) und von Lingeman, wo ein postoperativer Aufenthalt von durchschnittlich 5,9 Tagen angegeben wird (Lingeman et al., 1987). Dass im eigenen Patientengut eine im Vergleich zur 2. Arbeit um 2,5 Tage längere Liegedauer beobachtet wird, liegt sicherlich auch am Unterschied des allgemeinen Ablaufes eines stationären Aufenthaltes in Deutschland und den USA, wo dem eigentlichen Krankenhausaufenthalt noch eine zentrumsnahe Nachbetreuung im so genannten Patientenhotel folgt.

#### 4.7 Behandlungsergebnis unter Berücksichtigung von Primär- bzw. Wiederholungsbehandlungen sowie klinisch insignifikanter Reststeine

Ziel der perkutanen Nephrolitholapaxie ist eine möglichst komplette Steinfreiheit in möglichst wenigen, also im Idealfall einer Behandlungssitzung. Diesem Anspruch kann die Realität nie voll entsprechen, wie die zu vergleichenden Arbeiten zeigen werden. Bereits vorweg sei auf Unterschiede in der Feststellung der Steinfreiheit hinsichtlich des Zeitpunktes der Untersuchung und den Umgang mit den so genannten klinisch insignifikanten Reststeinen (CIRF) hingewiesen. Für die eigenen Daten, erhoben in einer Einrichtung der Regelversorgung ohne angeschlossene Ambulanz, ist die Feststellung der Steinfreiheit zum Entlassungstag die praktikabelste Lösung. Eine Kontrolle des Transits der Reststeine erfolgte in dieser Untersuchung nicht.

Eckpunkte der Ergebnisse der eigenen Arbeit sind bei 138 Primärbehandlungen eine komplette Steinfreiheit nach 68,1 % der Primärbehandlungen, Folgebehandlungen in 17,4 % der Fälle und Reststeine in 14,5 % der Fälle, so dass bei 73,9 % der Patienten am Entlassungstag eine komplette Steinfreiheit konstatiert werden konnte (Hentschel et al., 2007).

Die Mannheimer Arbeitsgruppe erreicht eine komplette Steinfreiheit nach einer PNL (Primärbehandlung, n = 315) in 45,7 %. Folgebehandlungen waren in 33 % der Fälle (im Einzelnen 27 Re-PNL, 64 ESWL, 17 URS und 3 andere) erforderlich. Die CIRF-Rate betrug 21,3 %. 4 Wochen nach der Behandlung waren 96,5 % der Patienten steinfrei (Osman et al., 2005).

Lingeman vergleicht in seiner Arbeit von 1987 die Steinfreiheitsraten von PNL und ESWL und führt dabei verschiedene Stratifizierungen in Bezug auf die Steinlokalisierung, -größe und -anzahl durch. Für alle PNL (n = 110) berichtet er im Follow-up von 3 Monaten über eine Steinfreiheit von 91 %. Folge- bzw. Mehrfachbehandlungen waren in 10,9 % (n = 12, davon 10 PNL, 2 offene Steinoperationen) der Fälle nötig, die CIRF-Rate (Reste bis 4 mm Größe) betrug 7%. Allerdings waren Patienten mit Ausgusssteinen, welche planmäßig nach einer PNL eine ESWL als Folgebehandlung erhielten, von dieser Erhebung ausgeschlossen.

Die Gruppe von Li in Singapur definiert einen Therapieerfolg, wenn der Patient nach 3 Monaten entweder steinfrei ist oder lediglich CIRF (Größe bis 4 mm) vorliegen. Im Beobachtungszeitraum wird hier ein Therapieerfolg bei 74,7 % der Patienten (n = 87, keine Angabe zur Anzahl der steinfreien Patienten bzw. CIRF) konstatiert. Folgebehandlungen waren durch 8 Re-PNL, 36 ESWL und 3 URS erforderlich. Geht man von keiner Mehrfachbehandlung (z.B. Re-PNL und ESWL beim gleichen Patienten) aus, entspräche dies einer Wiederbehandlungsrate von 54 % (Li et al., 1996).

Für die Mini-Perc berichtet Lahme über 335 ausgewertete von über 500 durchgeführten Prozeduren. Es wird eine Steinfreiheit von 91 % erreicht, die Wiederbehandlungsrate durch sogenannte second-look-Eingriffe (entsprechend einer Re-PNL) beträgt 30 %, ESWL oder URS sind offenbar nicht erforderlich gewesen (Lahme et al., 2008). Da der Autor eine „endoskopisch bestätigte“ Steinfreiheit erreicht, liegen zum Behandlungsende keine Reststeine (CIRF) vor.

Die Behandlungsergebnisse sind vergleichend in Tabelle 8 zusammengefasst.

Diese Tabelle stellt sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede heraus.

Prinzipiell kann postuliert werden, dass bei mindestens 3 von 4 Patienten, welche sich einer PNL unterziehen, Steinfreiheit bzw. ein Therapieerfolg erreicht werden kann.

Die Arbeit der Mannheimer Arbeitsgruppe von Alken, Knoll und Osman erscheint am besten mit den eigenen Daten vergleichbar. Hier fällt zunächst eine geringere primäre

Steinfreiheitsrate auf. Diese wird dann durch Wiederholungsbehandlung und einen späteren Erhebungszeitpunkt nicht nur ausgeglichen, sondern deutlich verbessert. Ohne dass dies explizit erörtert wird, muss dabei von einer kompletten Steinfreiheit durch jede Wiederholungsbehandlung sowie von einem Steintransit eines Großteils der CIRF ausgegangen werden. Im eigenen Patientengut zeigt sich kontrovers eine im Vergleich schlechtere Steinfreiheit der Sekundär- im Vergleich zur Primärbehandlung (42,1 vs. 68,1 %). Der Grund hierfür liegt überwiegend daran, dass die unvollständige Steinentfernung bei der Primärbehandlung durch verschiedene erschwerende Faktoren, wie z.B. einem komplexen Steinbefund, Punktionsschwierigkeiten oder anatomische Besonderheiten, begründet ist. Derartige Besonderheiten sind meist dann auch beim Folgeeingriff gegeben, so dass die Steinentfernung dabei als von vornherein erschwert angesehen werden kann.

	<b>Osman et al.</b>	<b>Lingeman et al.</b>	<b>Li et al.</b>	<b>Lahme et al.</b>	<b>Eigene Daten</b>
<b>Patienten (Primärtherapie)</b>	<b>315</b>	<b>110</b>	<b>87</b>	<b>335</b>	<b>138</b>
<b>Primär steinfrei</b>	<b>45,7 %</b>	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe	<b>68,1 %</b>
<b>Steinfrei zum Therapieabschluss (nach definiertem Zeitraum)</b>	<b>96,5 %</b> (nach 4 Wochen)	<b>91 %</b> (nach 12 Wochen)	<b>74,7 %</b> (nach 12 Wochen, incl. CIRF)	<b>91 %</b> (keine Angabe)	<b>73,9 %</b> (am Entlassungstag)
<b>Wiederholungsbehandlung</b>	<b>33 %</b>	<b>10,9 %</b> (excl. Pat. mit ESWL nach PNL)	<b>54 %</b>	<b>30 %</b>	<b>17,4 %</b>

	<b>Osman et al.</b>	<b>Lingeman et al.</b>	<b>Li et al.</b>	<b>Lahme et al.</b>	<b>Eigene Daten</b>
<b>Reststeine (CIRF)</b>	<b>21,3 %</b> (nach Primärbehandlung)	<b>7 %</b>	Keine Angabe (als Therapieerfolg gewertet)	<b>0 %</b> (bzw. keine Angabe)	<b>14,5 %</b> (nach Primärbehandlung)
<b>Effektivitätskoeffizient nach Clayman</b> (aus den publizierten Daten errechnet)	<b>56 %</b> (bei Entlassung)	<b>81,25 %</b>	<b>47,5 %</b>	<b>70 %</b>	<b>61,4 %</b> (bei Entlassung)
	<b>72,6 %</b> (nach 4 Wochen)				<b>73,5 %</b> (unter Annahme CIRF-Abgang)

Tabelle 8 Vergleich der Behandlungsergebnisse der zitierten Untersuchungen

Die Rate der Wiederholungsbehandlungen zeigt ebenfalls eine relativ hohe Schwankungsbreite. Die Ursache der niedrigen Rate der Arbeit von Lingeman aus Indianapolis wurde mit dem Ausschluss der Patienten mit geplanter Folge-ESWL schon genannt. Gerade in den Mannheimer und Singapurser Publikationen werden die anteilig häufigsten Folgebehandlungen aus einer ESWL nach PNL rekrutiert. Dies ist aus den eigenen Daten nicht ablesbar und sicher auch Ursache der relativ niedrigen Folgebehandlungsrate bei den eigenen Patienten. Das Fehlen von ESWL und auch URS als Folgetherapie in der Arbeit zur „Mini-Perc“ ist hervorzuheben. Nach den Autoren ist der Grund hierfür die Intention, eine „endoskopisch gesicherte Steinfreiheit“ zu erreichen.

Zusätzliche Beachtung verdienen die CIRF, deren Wertigkeit und Bedeutung kontrovers diskutiert wird. Eingeführt wurde der Begriff der klinisch insignifikanten Reststeine von Lingeman 1986 und definierte einen Reststein nach ESWL, welcher kleiner 5 mm, asymptomatisch und kein Infektstein ist (Lahme et al., 1997). In seiner nun bereits mehrfach zitierten Arbeit von 1987 „korrigiert“ Lingeman die Steingröße auf 4 mm und gibt die CIRF auch bei der Beurteilung des Operationsergebnisses an. Dieser Definition

schlossen sich mehrere Autoren an, bis heute existiert aber keine generell anerkannte Definition der CIRF. Lahme arbeitete heraus, dass bereits in der Beurteilung des Therapieergebnisses (nach ESWL) durch verschiedene Untersuchungsverfahren (Nierenleeraufnahme, konventionelle Tomographie) und unter Berücksichtigung subjektiver Einflüsse durch den Untersucher große Unterschiede bestehen, welche die Vergleichbarkeit verschiedener Arbeiten teils erheblich erschweren. Ferner gilt es als gesichert, dass die CIRF Komplikationen im Sinne notwendiger Auxiliärmaßnahmen und ein Rezidivsteinwachstum bedingen können. Daher wird vor allem die Teildefinition der klinischen Insignifikanz in Frage gestellt (Lahme et al., 1997). Konsequenterweise verwendet der Autor die CIRF nicht in seiner Arbeit zur „Mini-Perc“. Auch Hesse stellt die CIRF in Frage, da auch kleinste Reststeine einen Nukleolus für ein Rezidivsteinwachstum bilden (Hesse, 2008).

Im eigenen Patientengut bedurften 4 von 20 Patienten mit nicht behandlungspflichtigen Reststeinen einer Auxiliärmaßnahme, zumindest bei diesen Patienten lag eine klinische Relevanz vor.

Nun kann bei der Steinlithotripsie in vivo, egal durch welches Verfahren realisiert, nicht von Bedingungen wie im beschriebenen theoretischen Modell ausgegangen werden. Das heißt, es muss die Entstehung kleinerer, vom Stein „abgesprengter“ und durch die notwendige Irrigation „abgeschwemmter“ Desintegrate angenommen werden. Auch durch ein flexibles Endoskopieverfahren scheinen diese Steinreste, wie alle verglichenen Arbeiten ausschließlich der „Mini-Perc“ zeigen, nicht generell auffindbar und entsprechend entfernbar zu sein. Über die Raten eines Steintransits der CIRF werden in der Literatur keine konkreten Angaben gemacht. Explizit sei hier nochmals auf den relativ hohen Anteil der CIRF in der Mannheimer Arbeitsgruppe hingewiesen, welche nach 4 Wochen offenbar sämtlichst abgegangen waren (Osman et al., 2005). Das „Schicksal“ der CIRF in der vorliegenden Arbeit war aus dem bereits genannten Grund der fehlenden Ambulanzanbindung nicht Gegenstand der Untersuchung.

#### 4.8 Effektivitätskoeffizient nach Clayman

Der Effektivitätskoeffizient ist in allen verglichenen Arbeiten nicht berechnet worden (Lahme et al., 2008, Li et al., 1996, Lingeman et al., 1987, Osman et al., 2005). Die

Berechnung laut der Tabelle 8 erfolgte aus den publizierten Daten und muss deswegen vergleichend kommentiert und diskutiert werden.

Große Differenzen der „Einzelpositionen“ werden durch den Effektivitätskoeffizienten offenbar wieder ausgeglichen. Ein Problem bleibt unverändert die unterschiedliche Erhebungsweise der Daten. Und doch liegt die Behandlungseffektivität bei vier der fünf verglichenen Arbeiten in einer Spanne von ca. 70 bis 80 Prozent. Der niedrige Wert der Publikation von Li begründet sich vor allem in der doch hohen Wiederbehandlungsrate. Die relativ niedrige Anzahl von Folgetherapien der eigenen Patientengruppe gleicht die im Vergleich niedrige Steinfreiheit wieder aus.

Und darin ist auch die Philosophie dieses Effektivitätskoeffizienten zu sehen, neben einer hohen Steinfreiheitsrate muss ebenso eine geringe Zahl von Wiederholungsbehandlungen einschließlich auxiliärer Maßnahmen vorliegen. Nur unter Berücksichtigung beider Aspekte kann von einer effektiven Steintherapie gesprochen werden.

Zum Vergleich mit anderen interventionellen Therapieverfahren seien hier noch die Effektivitätskoeffizienten für die ESWL genannt. Clayman publizierte 1989 eigene Daten mit einer Effektivität von 66 % (Steine bis 10 mm) sowie 48 Prozent (Steine 10 – 20 mm) (Lithostar als Lithotripter). Die Effektivität anderer Lithotriptoren wurde für alle Steingrößen mit einer Spanne von 16 bis 63 Prozent angegeben (Clayman et al., 1989). Auf Grund der offenbar besseren Effektivität der PNL ist ihre Rolle als Therapiemethode der Wahl bei Einhaltung der genannten Indikationen ableitbar.

#### 4.9 Steinanalyse

Für die untersuchten Patienten liegt das Ergebnis von 45 Steinanalysen nach 138 Primärbehandlungen vor. Dies entspricht einer Rate von 32,6 %. Zu Beginn des Erhebungszeitraumes wurden die entfernten Steine dem Patienten zur ambulanten Analyse ausgehändigt, weil die Kenntnis der Steinzusammensetzung besonders im Rahmen der ambulanten Steinmetaphylaxe Beachtung findet. Infolge der schlechten Rücklaufquote wurde dann ab Mitte 2003 die Steinanalyse überwiegend von der eigenen Klinik veranlasst.

Die relativ wenigen Daten erschweren eine Beurteilung, so dass lediglich Trends ableitbar sind. Am häufigsten finden sich Mischsteine. Unter den monomineralischen Steinen sind Whewellit-Steine führend. Allerdings erreicht deren Häufigkeit nicht die in der Literatur angegebenen 70 – 75 %, selbst wenn die Anteile von Whewellit als Monomineral und Hauptbestandteil im Mischstein addiert werden (47 %) (Hesse, 2002). Ebenso „unterrepräsentiert“ sind Weddelit-Steine (4 % als Monomineral, 15 Hauptbestandteil eines Mischsteines), welche als zweithäufigste Steinart auftreten. Demgegenüber finden sich in den vorliegenden Analysen deutlich mehr Dahllit-Steine, deren Anteil unter allen Harnsteinen mit 4 – 6 Prozent (Hesse, 2002) angegeben wird, als Mischsteinbestandteil. Es zeigt sich, dass Steine, welche einer PNL bedürfen, offenbar eine andere Verteilung der Zusammensetzung haben als die gesamten Harnsteine. In den anderen zitierten Arbeiten fehlen Angaben zur Steinzusammensetzung.

#### 4.10 Die perkutane Nephrolitholapaxie im theoretischen Modell

Das vorliegende theoretische Modell versucht, den komplexen Vorgang der Steindesintegration zu vereinfachen, wodurch eine Idealisierung erfolgt. Dadurch ist in praxi einerseits eher ein „schlechteres“ Ergebnis im Sinne einer längeren Behandlungszeit zu erwarten. Andererseits werden Absprengungen und das Ausspülen größerer Bruchstücke im Modell nicht berücksichtigt und immer von einer kompletten Absaugung der Desintegrate ausgegangen. Der Therapeut ist zweifellos bemüht, das Ausgangskonkrement nicht exakt zu halbieren, weil dann die Gefahr eines Abschwemmens von Desintegraten ins Hohlsystem (andere Kelchgruppen, Harnleiter) mit der Gefahr einer nur subtotalen Steinfreiheit besteht. Es wird versucht, das Konkrement von peripher nach zentral zu desintegrieren und gleichzeitig abzusaugen. Da das Steinvolumen aber als Konstante zu sehen ist, spielt diese Behandlungsstrategie im Modell keine Rolle. Ebenso ist klar, dass die Desintegration keine exakte Kugel erzeugt. Das geometrische Modell der Kugel beschreibt diese als den Körper mit der kleinsten Oberfläche bei größtmöglichem Volumen. Sie muss im Modell durch ihre kleinstmöglichen Durchmesser und Oberfläche bei größtmöglichem Volumens als der am effektivsten zu beseitigende Körper angesehen werden. Ferner

entstehen auch kleinste Steintrümmer, welche ohne wesentlichen Mehraufwand an Zeit mit abgesaugt werden. Deren Anteil am zu beseitigenden Steinvolumen wird hier vernachlässigt.

Es wurde bereits dargelegt, dass die Zeit für das Absaugen die beschriebenen funktionellen Abhängigkeiten, d.h. den exponentiellen Kurvenverlauf, für die Desintegration nicht verändert. Eine Vernachlässigung dieses Faktors ist für die Betrachtung einer Sonotrode nicht nachteilig, da simultan desintegriert und abgesaugt werden kann.

Ausgehend von der strengen Halbierung der Kugel wird eine Formel für die in praxi auftretende Desintegration in mehrere Fragmente entwickelt. Die Wertigkeit der „Desintegrationskonstante“  $d$  wird deutlich, indem sich bei einer Quadrierung dieser Konstante die Zahl der notwendigen Desintegrationsschritte halbiert. Anspruch an den Lithotriptor ist demnach eine größtmögliche Desintegrationsleistung. Dabei spielt auch die Steinkomposition eine sicher nicht untergeordnete Rolle.

Mit schnellerer Desintegration rückt aber die Entfernung der Desintegrate in den Fokus der Betrachtung. Mit dem Hagen-Pousseuille'schen Gesetz wird die Wichtigkeit des Durchmessers des Arbeitskanales beschrieben, da dieser mit der 4. Potenz den Abfluss der Desintegrate bestimmt. Für Verfahren ohne Möglichkeit des simultanen Absaugens erscheint dieser Punkt noch bedeutsamer, da sich die Bergung der Desintegrate an die Desintegration mit zusätzlichem Zeitaufwand anschließt.

Aus den theoretisch bestimmten Abhängigkeiten lässt sich noch keine allgemeine Formel für die Ermittlung einer Gesamtbehandlungszeit herleiten. Hierfür muss berücksichtigt werden, dass Desintegrations- bzw. Absaugzeit natürlich voneinander abweichen und vom verwendeten Instrumentarium abhängig sind. Aus den dargestellten Relationen kann postuliert werden:

1. Ein effektiver Desintegrationsmechanismus kann die hierfür notwendige Zeit erheblich verkürzen.
2. Je kleiner der notwendige Durchmesser der Desintegrate, desto mehr Desintegrationsschritte sind auf Grund des exponentiellen Kurvenverlaufes für deren Erzeugung erforderlich.

3. Um eine effektive Absaugung der Desintegrate zu gewährleisten, muss berücksichtigt werden, dass der Durchmesser des Instrumentes die Absaugzeit in der vierten Potenz beeinflusst.

Das berechnete Ausmaß der Zeitdifferenzen in der Verwendung der Instrumentarien kann die vorliegende Untersuchung, auch im Vergleich mit anderen Arbeiten, nicht bestätigen. Allerdings muss, wie in Abbildung 14 dargestellt, festgehalten werden, dass aus der Erfahrung des Operateurs eine Anpassung der Instrumentengröße an die Steingröße erfolgte. Worin liegen also die Schwächen dieses Modells?

Ein wichtiger Punkt ist sicher, dass in vivo ein „Desintegrationsschritt“ nicht nur 2, sondern mehrere Desintegrate erzeugt. Nimmt man nun an, dass der Stein geviertelt wird, würde sich die Zahl der zusätzlich notwendigen Desintegrationsschritte halbieren, wie die Modellrechnung mit der „Desintegrationskonstanten“  $d$  ausführt. Der Mehrbedarf an Zeit für das Absaugen bei kleinerem Instrumentarium bleibt aber konstant bestehen.

Zeiten für die ausschließliche Steintherapie innerhalb des Gesamteingriffes sind bislang in keiner Arbeit erhoben worden. Dies könnte ein interessanter Ansatz weiterführender Untersuchungen und insbesondere beim Vergleich von unterschiedlichen Ergebnissen sein. Bei der „Mini-PNL“ wird explizit auf den Vorteil eines dünneren Instrumentes hingewiesen, indem die Fläche des traumatisierten Gewebes mit halbiertem Durchmesser des Instrumentes nur noch einem Viertel der ursprünglichen Fläche beträgt (Lahme et al., 2001, 2008). Das hier vorgestellte Modell kann aber klar zeigen, dass auch eine deutliche Erhöhung der Behandlungszeit resultieren sollte. Dies können vorliegende Arbeiten wohl widerlegen, was unter Umständen in bereits genannten Gründen der fehlenden Standardisierung der erhobenen Daten bedingt ist (Lahme et al., 2008, Nagele et al., 2008). Interessant wäre es daher, zukünftig die reinen Behandlungszeiten für die ausschließliche Steintherapie gesondert auszuweisen. Hier könnten auch in-vitro-Versuche helfen, das theoretische Modell zu bestätigen bzw. zu verbessern.

Eine Vergleichbarkeit hinsichtlich Effektivität und Invasivität erscheint dadurch objektiver realisierbar zu sein. Gerade für die Invasivität stellt sich die Frage, durch welche Faktoren diese umfassend beschrieben werden kann. Hier sei auf die Studie von Fornara zur Invasivität der offenen vs. laparoskopischen radikalen

Prostatovesikulektomie verwiesen, welche überraschend keinen Vorteil des laparoskopischen, minimal-invasiven Verfahrens bezüglich des Operationstraumas zeigen konnte (Fornara und Zacharias, 2004). Für die PNL gibt es keine derartig umfassenden Untersuchungen, insbesondere nicht mit einer Erfassung der perioperativen Akute-Phase-Parameter. Neben der Instrumentengröße sollte die Invasivität des Verfahrens aber auch von der Operationszeit, eventuellen Mehrfachpunktionen (sowohl bei Punktionsschwierigkeiten als auch bei Verwendung mehrerer Arbeitskanäle), notwendigen Folge- oder sogar Wiederbehandlungen bei Rezidivsteinen abhängig gemacht werden.

Das beschriebene Modell bezieht sich zunächst ausdrücklich auf eine Steindesintegration mit Ultraschallenergie durch die Sonotrode. Es sollte aber für die pneumatische Steindesintegration sehr gut anwendbar sein, bei welcher auf Grund fehlender Absaugmöglichkeiten der gelegentlich zeitraubenden Entfernung der Desintegratrate durch Zangenextraktion oder Irrigation ein größeres Gewicht beigemessen werden sollte. Andererseits ist zu erwähnen, dass durch den im Vergleich zur Sonotrode größeren Arbeitskanal zeitsparend auch größere Fragmente ausgespült bzw. entfernt werden können.

Die Simulation einer LASER-Lithotripsie mit diesem Modell bedarf einer kurzen Betrachtung der Wirkung des LASER-Impulses. Hier muss zwischen LASER-Medien, welche durch photoakustische Generierung einer Stoßwelle zur Steindefragmentation führen (Watson, 1996) und denen, die durch einen photothermischen Mechanismus eine Vaporisation des Steines bedingen (Dushinski und Lingeman, 1998), unterschieden werden. Zur Gruppe ersterer zählt der Holmium-YAG-LASER, welcher aktuell in der Therapie des Harnsteinleidens überwiegend Anwendung findet. Auch hier muss wieder das Problem der Desintegratbergung bei kleinerem Arbeitskanal angesprochen werden. Die Vaporisation eines Steines ist durch vorliegendes Modell nicht erklärt, welches sich vornehmlich dem Prinzip der Steindesintegration widmet. Ohnehin bietet die LASER-Lithotripsie vor allem Vorteile in der flexiblen Ureterorenoskopie (Olbert, 2005).

#### 4.11 Aktuelle Trends

Vorrangig sind es zwei Punkte, die derzeit die aktuellen Publikationen zur Perkutanen Nephrolitholapaxie dominieren: die minimal-invasive PNL, definiert durch Verwendung eines Instrumentes mit kleinerem Durchmesser (bis 18 Charr.) und die tubeless-PNL, bei der postoperativ auf die Einlage einer Nephrostomie verzichtet wird. Hierbei erfolgt in der Regel die antegrade Einlage eines DJ-Ureterkatheters.

Auch die nunmehr schon als „konventionell“ bezeichnete PNL, über die diese Arbeit berichtet, erfüllt den Anspruch an ein minimal-invasives Therapieverfahren, welcher in einer hohen Steinfreiheit, einer geringen Rate an Folgebehandlungen und niedrigen Komplikationsraten zu sehen ist. Diesem Anspruch trägt der Effektivitätskoeffizient nach Clayman Rechnung, welchem in aktuellen Publikationen aber eine geringe Beachtung geschenkt wird. Für die tubeless-PNL stellt sich die Frage, ob die generelle Einlage des DJ-Ureterkatheters nach Clayman als auxiliäre Maßnahme zu sehen ist. Dabei ist auch die im Vergleich zur meist problemlosen Entfernung eines Nephrostomiekatheters deutlich invasivere, material- sowie personalintensive Entfernung des DJ's zu berücksichtigen. Mit der Wertung als Auxiliärmaßnahme könnte selbst bei 100-prozentiger Steinfreiheit kein besserer Effektivitätskoeffizient als 50 Prozent erreicht werden. Wenige neuere Publikationen widmen sich der „totally-tubeless-PNL“, bei welcher sowohl auf Nephrostomie als auch DJ bei einem ausgewählten Patientengut verzichtet wird (Crook et al., 2008). Ein großer Vorteil der tubeless-PNL wird in einem besseren Patientenkomfort, meist dargestellt durch einen geringeren Schmerzmittelbedarf, gesehen (Singh et al., 2008). Der Verschluss des Arbeitskanales mit hämostyptischen Materialien ist möglich (Schilling et al., 2008). Als nachteilig sind der Verlust des Zuganges zum Nierenhohlraum sowie die relativ umständliche DJ-Entfernung zu sehen (Monga, 2008).

Der Stellenwert der „minimal-invasiven“ PNL als eigenständiges Operationsverfahren ist zu hinterfragen: Auch wenn praktische Erfahrungen und theoretisches Modell bezüglich des Zeitaufwandes divergieren, ist es unbestritten, dass bei gleicher Steinlast die Therapie mittels kleineren Instrumentariums eine längere Behandlungszeit durch Desintegration und Bergung benötigt. Es ist bereits ausgeführt worden, dass eine längere OP-Zeit mit einem höheren intraoperativen Blutverlust korreliert, auch wenn dies

nicht in einer höheren Transfusionsrate sichtbar werden muss. Auch scheint sich die Steinfreiheit durch die schlechtere Übersicht mit kleinerem Instrument trotz des Einsatzes flexibler Endoskope zu verringern, was sich in einer höheren Wiederbehandlungsrate und damit steigender Invasivität widerspiegelt (Lahme et al., 2008). Ferner muss festgehalten werden, dass es Arbeiten mit Daten zur Objektivierung der Invasivität, wie sie für den Vergleich offener und laparoskopischer Operationen vorliegen (Fornara und Zacharias, 2004), für die PNL vs. mini-PNL (noch?) nicht gibt.

Um die verschiedenen Spezifikationen der Operation besser vergleichen zu können, ist die Erhebung standardisierter Parameter im Rahmen der Therapie notwendig. Dies könnte zum Beispiel die genauere Aufgliederung der Operationszeiten und Festlegung definierter Zeitpunkte zur Kontrolle der Steinfreiheit einschließlich der Nachsorge, umfassen. Ein großes Problem besteht dabei in der Durchführung der Steintherapie im stationären Bereich, während die Nachsorge Domäne des ambulanten Sektors ist. Unter konsequenter Anwendung der Leitlinien zur Steinmetaphylaxe können 50 % der Harnsteinrezidive verhindert werden (Hesse, 2008). Jede Folgetherapie muss als Steigerung der Behandlungsinvasivität verstanden werden.

Der Begriff der klinischen Insignifikanz von Reststeinen sollte künftig nicht mehr verwendet werden. Interventionelle Therapieverfahren, insbesondere bei Anwendung von Lithotripsietechniken, führen zu kleinen Steinen, die bei fehlender Abgangstendenz als Reststeine bezeichnet werden müssen. Besteht dabei keine Notwendigkeit zur Intervention, kann durch eine suffiziente Metaphylaxe ein erneutes Wachstum vermieden werden. Die Kenntnis der Steinzusammensetzung ist dabei essentiell, weswegen die Analyse des behandelten Steines durch Infrarotspektroskopie oder Röntgendiffraktion als obligat zu bezeichnen ist. Auch eine metabolische Abklärung ist bei Rezidivsteinpatienten erforderlich. In den überarbeiteten neuen Leitlinien zur Harnsteintherapie der Deutschen Gesellschaft für Urologie (Veröffentlichung 2009) werden diese Punkte explizit aufgeführt werden. Es wird eine Kontrolle im Rahmen des noch nicht etablierten Qualitätsmanagements empfohlen (Hesse, 2008).

## 5 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden 158 Perkutane Nephrolitholapaxien, welche zwischen 2001 und 2005 in einem Krankenhaus der Regelversorgung durchgeführt wurden, retrospektiv ausgewertet. Die Indikation zur Operation wurde bei Steinen  $\geq 20$  mm, nach fehlender Desintegration durch ESWL und zusätzlich bestehendem Harnabflusshindernis gestellt. Insgesamt wurden 131 Patienten (59 Frauen, 72 Männer) therapiert, sieben davon entweder beidseits oder bei ipsilateralem Rezidivstein mehrfach behandelt. Damit stellten 138 Eingriffe Primärbehandlungen, 20 Operationen Folgetherapien dar. Ein Großteil der Patienten war übergewichtig bzw. adipös. Am häufigsten wurden Nierenbeckensteine und Kelchsteine therapiert, die mittlere Steingröße, gemessen als längster Durchmesser, lag bei 20,3 mm. Einschließlich der transurethralen Einlage eines Ureter-Katheters, der Punktion des Nierenhohlsystems und der eigentlichen Steintherapie mittels sonographischer Desintegration und simultaner Absaugung der Desintegrate betrug die durchschnittliche Operationszeit 83 Minuten. Der Durchmesser der Nephroskope wurde der Steingröße angepasst. Die Rate an Major-Komplikationen betrug 5 %, darunter fanden sich eine fulminante Lungenembolie, freie abdominale Flüssigkeit mit nachfolgender Laparotomie sowie die postoperative intensivmedizinische Therapie. Minor-Komplikationen fanden sich in 11 % der Operationen. Im postoperativen Verlauf trat bei etwa einem Sechstel der Patienten eine Harnwegsinfektion auf.

Nach 138 Primärbehandlungen waren 94 Patienten (68,1 %) steinfrei. Bei 24 der 44 Patienten mit Reststeinen wurden weitere, minimal-invasive Eingriffe durchgeführt. Diese konnten aber nicht die Steinfreiheitsrate der Primärbehandlungen erzielen. Letztlich konnten 102 (73,9 %) Patienten steinfrei aus der stationären Behandlung entlassen werden. Der Effektivitätskoeffizient nach Clayman betrug 61,4 %. Die Steinanalyse ergab Mischsteine in über der Hälfte (63 %) der untersuchten Steine, als Monomineral traten am häufigsten Whewellit-Steine (23 %) auf.

Die erzielten Ergebnisse sind gut mit denen anderer Untersuchungen vergleichbar. Da das eigene Patientenkollektiv bei relativ niedriger Steinfreiheit durch eine geringe Anzahl von Wiederholungsbehandlungen charakterisiert ist, können die verglichenen Arbeiten

eine ähnliche Behandlungseffektivität aufweisen. Dabei muss aber auf eine bisher fehlende Standardisierung von Behandlungsparametern hingewiesen werden.

Ein theoretisches physikalisches Modell kann den Vorgang der Steindesintegration und –entfernung simulieren. Dieses zeigt, dass mit steigender Zahl notwendiger Desintegrationsschritte die Desintegrationszeit exponentiell zunimmt. Ein effektiver Desintegrationsmechanismus kann diese Zeit erheblich verkürzen. Für die Steinentfernung muss berücksichtigt werden, dass der Durchmesser des Instrumentes die Absaugzeit in vierter Potenz beeinflusst.

Mit der perkutanen Nephrolitholapaxie steht ein minimal-invasives, effektives und komplikationsarmes Verfahren in der Therapie größerer Steine des oberen Harntraktes zur Verfügung. Da auch in routinierter Hand ernste Komplikationen möglich sind, ist eine indikationsgerechte Anwendung zu fordern. Eine vollständige Steinfreiheit ist das Ziel der Primärbehandlung. Auch kleine Reststeine können symptomatisch werden oder Nukleus eines Rezidivsteinwachstums sein. Der Begriff der klinisch insignifikanten Reststeine sollte daher nicht mehr verwendet werden. Folgeeingriffe besitzen zum einen eine geringere Effektivität und vergrößern zum anderen die Invasivität des Verfahrens. Die Wahl des Instrumentariums sollte deshalb auf die Steinlast abgestimmt werden. Ein theoretisches physikalisches Modell kann dabei Hilfestellung geben, muss aber durch praktische Untersuchungen und Erfahrungen weiter vertieft werden.

Große Bedeutung besitzt eine suffiziente ambulante Steinmetaphylaxe, durch welche ein Großteil von Harnsteinrezidiven verhindert werden könnte.

## 6 Literaturverzeichnis

Alken P, Hutschenreiter G, Günther R, Marberger M. Percutaneous stone manipulation. J Urol 1981; 125: 463-466

American Society of Anesthesiologists (ASA). New classification of physical status. Anesthesiology 1963; 24: 111

Blandy J, Singh M. The case for a more aggressive approach to staghorn stones. J Urol 1976; 115: 505-506

Brannen GE, Bush WH, Correa RJ, Gibbons RP, Elder JS. Kidney stone removal: Percutaneous versus surgical lithotomy. J Urol 1985; 133: 6-12

Cass AS. Comparison of first generation (Dornier HM3) and second generation (Medstone STS) lithotriptors: Treatment results with 13,864 renal and ureteral calculi. J Urol 1995; 153: 588-592

Chaussy CG. ESWL: Past, present and future. J Endourol 1988; 2: 97-105

Chaussy CG, Schmiedt E, Jocham D, Brendel W, Forssmann B, Walther V. First clinical experience with extracorporeally induced destruction of kidney stones by shock waves. J Urol 1982; 127: 417-420

Clavien PA, Sanabria JR, Strasberg SM. Proposed classification of complications of surgery with examples of utility in cholecystectomy. Surgery 1992; 111: 518-526

Clayman RV, McClennan BL, Garvin TJ, Denstedt JD, Andriole GL. Lithostar: An Electromagnetic Acoustic Shock Wave Unit for Extracorporeal Lithotripsy. J Endourol 1989; 3: 307-313

Clayman RV, Surya V, Miller RP, Castaneda-Zuniga WR, Smith AD, Hunter DH, Amplatz K, Lange PH. Percutaneous nephrolithotomy: extraction of renal and ureteral calculi from 100 patients. *J Urol* 1984; 131: 868-871

Crook TJ, Lockyer CR, Keoghane SR, Walmsley BH. Totally Tubeless Percutaneous Nephrolithotomy. *J Endourol* 2008; 22: 267-271

Delnay KM, Wake RW. Safety and efficacy of tubeless percutaneous nephrostolithotomy. *World J Urol* 1998; 16: 375-377

Desnos E. The nineteenth century. In: Murphy LJ, ed. *The History of Urology*. Springfield, IL: Charles C Thomas, 1972: 152-187

Dushinski JW, Lingeman JE. High-speed photographic evaluation of holmium laser. *J Endourol* 1998; 12: 177-181

El-Assmy AM, Shokeir AA, El-Nahas AR, Shoma AM, Eraky I, El-Kenawy MR, El-Kappany HA. Outcome of percutaneous nephrolithotomy: effect of body mass index. *Eur Urol* 2007; 52: 199-204

El-Nahas AR, Mansour AM, Ellaithy R, Abol-Enein H. Case Report: Conservative Treatment of Liver Injury during Percutaneous Nephrolithotomy. *J Endourol* 2008; 22: 1649-1652

Fernström I, Johansson B. Percutaneous pyelolithotomy: A new extraction technique. *Scand J Urol Nephrol* 1976; 10: 257-259

Fornara P, Zacharias M. Minimal invasiveness of laparoscopic radical prostatectomy: reality or dream? *Aktuel Urol* 2004; 35: 395-405

Glowacki LS, Beecroft ML, Cook RJ, Pahl D, Churchill DN. The natural history of symptomatic urolithiasis. *J Urol* 1992; 147: 319-321

Goh M, Wolf JS Jr. Almost totally tubeless percutaneous nephrolithotomy: Further evolution of the technique. *J Endourol* 1999; 13: 177-180

Goharderakhshan RZ, Schwartz BF, Rudnick DM, Irby PB, Stoller ML. Radially expanding single-step nephrostomy tract dilatator. *Urology* 2001; 58: 693-696

Goodwin WE, Casey WC, Woolf W. Percutaneous trocar (needle) nephrostomy in hydronephrosis. *J Am Med Assoc* 1955; 157: 891-894

Grocela JA, Dretler SP. Intracorporeal lithotripsy. Instrumentation and development. *Urol Clin North Am* 1997; 24: 13-23

Hautmann R. Urolithiasis. In: Hulan H, Hrsg. *Urologie*. Berlin: Springer-Verlag, 2006: 285-311

Hentschel H, Janitzky V, Weirich T. Perkutane Nephrolitholapaxie (PNL) - immer effektiv und komplikationslos? *Aktuel Urol* 2007; 38: 232-236

Hesse A. Harnsteine. Teil 1: Epidemiologie, Labordiagnostik, Genetik und Infekte. *Urologe A* 2002; 41: 496-508

Hesse A. Steinfreiheit und Rezidivfreiheit müssen das Ziel sein! *Urologe* 2008; 47: 594-595

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; 44: 709-713

Hofmann R, Olbert P, Weber J, Wille S, Varga Z. Clinical experience with a new ultrasonic and LithoClast combination for percutaneous litholapaxy. *BJU international* 2002; 90: 16-19

Honeck P, Nagele U, Michel MS. Technische Innovationen in der endoskopischen Steintherapie. Urologe 2008; 47: 587-590

Hruza M, Türk C, Frede T, Rassweiler J. Stellenwert der offenen und laparoskopischen Steintherapie. Urologe 2008; 47: 578-586

Hübner W, Porpaczy P. Treatment of caliceal calculi. Br J Urol 1990; 66: 9-11.

Ibarluzea G, Scoffone CM, Cracco CM, Poggio M, Porpiglia F, Terrone C, Astobieta A, Camargo I, Gamarra M, Tempia A, Valdivia Uria JG, Scarpa RM. Supine Valdivia and modified lithotomy position for simultaneous anterograde and retrograde endourological access. BJU International 2007; 100: 233-236

Kerbl K, Rehman J, Landman J, Lee D, Sundaram C, Clayman RV. Current management of urolithiasis: progress or regress? J Endourol 2002; 16: 281-288

Kim SC, Kuo RL, Lingeman JE. Percutaneous nephrolithotomy: an update. Curr Opin Urol 2003; 13: 235-241

Knoll T, Michel MS, Alken P. Percutaneous nephrolithotomy: the Mannheim technique. BJU International 2007; 99: 213-231

Knoll T, Wendt-Nordahl G, Alken P. Perkutane Nephrolithotomie. Urologe A 2005; 44: 299-308

Koga S, Arakaki Y, Matsuoka MD, Ohyama C. Staghorn calculi: Long-term results of management. Br J Urol 1991; 68: 122-124

Kropp KA. Surgical approaches to renal and ureteral calculi. Urol Clin North Am 1983; 10, 617-623

Kukreja R, Desai M, Patel S, Bapat S, Desai M. Factors affecting blood loss during percutaneous nephrolithotomy: Prospective Study. *J Endourol* 20004; 18: 715-722

Lahme S, Bichler H, Strohmaier WL, Gotz T. Minimally invasive PCNL in patients with renal pelvic and caliceal stones. *Eur Urol* 2001; 40: 619-624

Lahme S, Wilbert D, Bichler KH. Zur Bedeutung der "clinically insignificant residual fragments" (CIRF) nach ESWL. *Urologe A* 1997; 36: 226-230

Lahme S, Zimmermanns V, Hochmuth A, Janitzky V. Minimal-invasive PCNL (Mini-Perc): Alternative oder Ersatz für konventionelle PCNL? *Urologe* 2008; 47: 563-568

Li MK, Wong MYC, Toh KL, Ho GH, Foo KT. Percutaneous Nephrolithotomy - Results and Clinical Experience. *Ann Acad Med Singapore* 1996; 25: 683-686

Lingeman JE. Non-staghorn renal calculi. In: Lingeman JE, Smith LH, Woods JR, Newman DM, eds. *Urinary Calculi*. Philadelphia, PA: Lea & Febiger, 1989: 149-162

Lingeman JE, Coury TA, Newman DM, Kahnoski RJ, Mertz JHO, Mosbaugh PG, Steele RE, Woods JR. Comparison of results and morbidity of percutaneous nephrostolithotomy and extracorporeal shock wave lithotripsy. *J Urol* 1987; 138: 485-490

Lingeman JE, Lifshitz DA, Evan AP. Surgical Management of Urinary Lithiasis. In: Walsh PC, Retik AB, Vaughan ED, Wein AJ, eds. *Campbell's Urology*. Philadelphia, PA: Saunders, 2003: 3361-3451

Lingeman JE, Newman D, Merzt JHO, Mosbaugh PG, Steele RE, Kahnoski RJ, Coury TA, Woods JR. Extracorporeal shock wave lithotripsy: the Methodist Hospital of Indiana experience. *J Urol* 1986; 135: 1134-1137

Lingeman JE, Siegel YI, Steele B, Nyhuis AW, Woods JR. Management of lower pole nephrolithiasis: A critical analysis. *J Urol* 1994; 151: 663-667

Logarakis NF, Jewett MAS, Luymes J, Honey RJ. Variation in clinical outcome following shock wave lithotripsy. *J Urol* 2000; 163: 721-725

Michel MS, Trojan L, Rassweiler JJ. Complications in percutaneous nephrolithotomy. *Eur Urol* 2007; 51: 899-906

Mobley TB, Myers DA, Grine WB, Jenkins JM, Jordan WR. Low energy lithotripsy with the Lithostar: Treatment results with 19,962 renal and ureteral calculi. *J Urol* 1993; 149: 1419-1424

Monga M. Percutaneous Nephrolithotomy: Leave a tube! *J Endourol* 2008; 22: 1863-1864

Morris DS, Wei JT, Taub DA, Dunn RL, Wolf JS Jr, Hollenbeck BK. Temporal trends in the use of percutaneous nephrolithotomy. *J Urol* 2006; 175: 1731-1736

Motola JA, Smith AD. Therapeutic options for the management of upper tract calculi. *Urol Clin North Am* 1990; 17: 191-206

Müller SC, Hofmann R, Köhrmann KU, Hesse A. Epidemiologie, instrumentelle Therapie und Metaphylaxe des Harnsteinleidens. *Dtsch Arztebl* 2004; 101: 1331-1336

Murphy LJ. *The History of Urology*. Springfield, IL: Charles C Thomas, 1972

Nagele U, Schilling D, Anastasiadis AG, Walcher U, Sievert KD, Merseburger AS, Kuczyk M, Stenzl A. Minimal-invasive perkutane Nephrolitholapaxie (MIP). *Urologe* 2008; 47: 1066-1073

Netto NR, Claro JF, Lemos GC, Cortado PL. Renal calculi in lower pole calices: What is the best method of treatment? *J Urol* 1991; 146: 721-723

Olbert P. Lithotripsietechniken. In: Hofmann R, Hrsg. Endoskopische Urologie. Berlin: Springer-Verlag 2005: 144-150

Osman M, Wendt-Nordahl G, Heger K, Michel MS, Alken P, Knoll T. Percutaneous nephrolithotomy with ultrasonography-guided renal access: experience from over 300 cases. *BJU International* 2005; 96: 875-878

Pearle M, Calhoun E, Curhan G. Urologic Diseases in America Project: Urolithiasis. *J Urol* 2005; 173: 848-857

Pérez-Castro EE, Martínez Pineiro JA. La uretorenoscopia transurethral. Un actual proceder urológico. *Arch Esp Urol* 1980; 33: 445-460

Pittomvils G, Vandeursen H, Wevers M, Lafaut JP, De Ridder D, De Meester P, Boving R, Baert L. The influence of internal stone structure upon the fracture behavior of urinary calculi. *Ultrasound Med Biol* 1994; 20: 803-810

Preminger GM, Clayman RV, Curry T, Redman HC, Peters PC. Outpatient percutaneous nephrostolithotomy. *J Urol* 1986; 136: 355-357

Psihramis KE, Jewett MAS, Bombardier C, Caron D, Ryan M. Lithostar extracorporeal shock wave lithotripsy: The first 1,000 patients. Toronto Lithotripsy Associates. *J Urol* 1992; 147: 1006-1009

Renner CH, Rassweiler J. Treatment of renal stones by extracorporeal shock wave lithotripsy. *Nephron* 1999; 81: 71-81

Rosette de la JJ, Zuazu JR, Tsakiris P, Elsakka AM, Zudaire JJ, Laguna MP, de Reijke TM. Prognostic factors and percutaneous nephrolithotomy morbidity: a multivariate analysis of a contemporary series using the Clavien classification. *J Urol* 2008; 180: 2489-2493

Rupel E, Brown R. Nephroscopy with removal of stone following nephrostomy for obstructive calculus anuria. *J Urol* 1941; 46: 177-182

Santiago L, Bellmann GC, Murphy J, Tan L. Small bowel and splenic injury during percutaneous renal surgery. *J Urol* 1998; 159: 2071-2073

Saw KC, Lingeman JE. Lesson 20 — management of calyceal stones. *AUA Update Series* 1999; 20: 154-159

Schaeffer AJ, Shelly EH, Lingeman JE, Matlaga BR. Transsplenic percutaneous nephrolithotomy. *J Endourol* 2008; 22: 2481-2484

Schilling D, Winter B, Merseburger AS, Anastasiadis AG, Walcher U, Stenzl A, Nagele U. Die Verwendung von Gelatine-Throbin-Matrix zum Verschluss des Arbeitskanales bei der nephrostomielosen minimal-invasiven perkutanen Nephrolitholapaxie. *Urologe* 2008; 47: 601-607

Segura JW, Patterson DE, LeRoy AJ, McGough PF, Barrett DM. Percutaneous stone removal of kidney stones: Preliminary report. *Mayo Clin Proc* 1982; 57: 615-619

Segura JW, Preminger GM, Assimos DG, Dretler SP, Kahn RI, Lingeman JE, Macaluso JN Jr. Ureteral stones clinical guidelines panel summary report on the management of ureteral calculi. The American Urological Association. *J Urol* 1997; 158: 1915-1921

Sergeyev I, Koi PT, Jacobs SL, Godelman A, Hoenig DM. Outcome of percutaneous surgery stratified according to body mass index and kidney stone size. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* 2007; 17: 179-183

Singh I, Singh A, Mittal G. Tubeless Percutaneous Nephrolithotomy: Is it really less morbid? *J Endourol* 2008; 22: 427-434

Siener R, Glatz S, Nicolay C, Hesse A. The role of overweight and obesity in calcium oxalate stone formation. *Obes Res* 2004;12:106–113.

Smith AD. Forward: Symposium on endourology. *Urol Clin North Am* 1982; 9: 1-205

Tefekli A, Karadag MA, 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* 2007; 53: 184-190

Teichman JMH, Long RD, Hulbert JC. Long-term renal fate and prognosis after staghorn calculus management. *J Urol* 1995; 153: 1403-1407

Türk C, Knoll T, Köhrmann KU. Neue Leitlinien zur Harnsteintherapie. *Urologe* 2008; 47: 591-593

Uribarri J, Oh MS, Carroll HJ. The first kidney stone. *Ann Intern Med* 1989; 111: 1006-1009

Watson GM. Lasers. In: Smith AD, Badlani GH, Bagley DH, Clayman RV, Jordan GH, Kavoussi LR, Lingeman JE, Preminger GM, Segura JW, eds. *Smith's Textbook of Endourology*, St. Louis, MO: Quality Medical Publishing. 1996: 78-86

Watterson JD, Soon S, Jana K. Access related complications during percutaneous nephrolithotomy: urology versus radiology at a single academic institution. *J Urol* 2006; 176: 142-145

WHO. Physical status: the use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO Expert Committee. *World Health Organ Tech Rep Ser* 1995; 854: 1-452

Wickham JEA. Treatment of urinary tract stones. *BMJ* 1993; 307: 1414-1417

Wickham JEA, Kellett MJ. Percutaneous nephrolithotomy. *Br J Urol* 1981; 53: 297-299

## **Danksagung**

Ich bedanke mich bei meinem Doktorvater Herrn Professor Dr. rer. nat. A. Hesse für seine tatkräftige Unterstützung bei der Erstellung und seine stets ermutigenden Worte bei der Vollendung der vorliegenden Arbeit.

In gleicher Weise gilt mein großer Dank Herrn PD Dr. med. habil. V. Janitzky, Chefarzt der Urologischen Klinik des Klinikums Pirna, und Herrn Dr. med. T. Weirich, Leitender Oberarzt der Urologischen Klinik des Klinikums Pirna, für ihre konstruktive Anleitung bei der Erstellung dieser Arbeit. Sie begleiteten die Gestaltung der Promotionsarbeit mit wertvollen Anregungen und Hinweisen sowie steter Unterstützung und Geduld.

Meiner Schwester Frau Dr. rer. nat. M. Hentschel danke ich für ihre Hilfe bei der Abbildung einer klinischen Thematik in einem physikalischen Modell.

Meiner Ehefrau Astrid Hentschel, meinen Eltern Birgit und Klaus Hentschel sowie meinen Schwiegereltern Leonore und Lothar Grunert gebührt Dank für ihre unermüdliche, verständnisvolle Unterstützung, welche mir Kraft und Ausdauer bis zum Abschluss der Promotion gaben. Eine stete Quelle der Inspiration und Motivation ist unser Sohn Oskar seit seiner Geburt im Jahr 2007.

Letztendlich danke ich Herrn PD Dr. med. habil. M. Matz, welcher als damaliger Chefarzt der Urologischen Klinik des Krankenhauses Dresden-Friedrichstadt mein Interesse für das Fachgebiet der Urologie weckte, welches auch bei der Erstellung dieser Promotionsarbeit weitergeführt wurde.