

Aus der Klinik für
Zahnerhaltungskunde und Parodontologie
(Direktor: Prof. Dr. Christof Dörfer)
im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**„Schallaktivierte Desinfektion in der Endodontie:
Prospektive klinische Evaluation der Einflussfaktoren
auf das Auftreten von Blutungen mithilfe eines selbst
programmierten Datenmanagementsystems“**

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von
Tobias Michael Hahn
aus Dierhagen

Kiel **2024**

1. Berichterstatter/in: Prof. Dr. Birte Größner-Schreiber
2. Berichterstatter/in: Priv.-Doz. Dr. med. dent. Aydin Gülses
Tag der mündlichen Prüfung: 22.05.2024
Zum Druck genehmigt, Kiel, den 05.03.2024

gez.: Prof. Dr. Birte Größner-Schreiber
Vorsitzende der Prüfungskommission

Meiner Mutter

Inhaltsverzeichnis

I. Abbildungsverzeichnis	IV
II. Tabellenverzeichnis	IV
III. Diagrammverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Ätiologie und Therapie endodontischer Erkrankungen	2
1.2 Anatomie der Wurzelkanalsysteme und die Bedeutung der chemisch-physikalischen Desinfektion	3
1.2.1 Schallaktivierung von Spüllösungen	4
1.3 Herausforderungen und Probleme der chemischen Wurzelkanalaufbereitung.....	5
1.3.1 Entfernung von Biofilm, Smear Layer und Debris.....	5
1.3.2 Komplikationen bei der chemisch-physikalischen Desinfektion.....	6
1.3.3 Einfluss des Patientenalters.....	8
1.3.4 Einfluss der Behandlererfahrung	8
1.4 Digitale Dokumentation.....	9
1.5 Zielsetzung	9
2 Material und Methoden	11
2.1 Studiendesign	11
2.2 Konzeption des Datenmanagementsystems	12
2.3 Benutzeroberfläche und Anwendbarkeit.....	13
2.4 Inhalte des Studienprotokolls	14
2.5 Anwendung des Datenerfassungssystems	14
2.6 Behandler- und behandlungsspezifische Parameter.....	15
2.7 Patientenspezifische Parameter.....	17
2.7.1 Anamnese der Patienten.....	17
2.7.2 Rötungen, Schwellungen, Fisteln, kompromittierte Heilung und Raucherkategorisierung..	17

2.7.3	<i>Perkussion, Durchmesser der apikalen Aufhellung und Diagnose zu Behandlungsbeginn</i>	18
2.8	Zielparameter: Blutung im Kanal	18
2.9	Behandlungsablauf	19
2.9.1	<i>Aufbereitung der Wurzelkanäle und Längenbestimmung</i>	19
2.9.2	<i>Physikalisch-chemische Wurzelkanalaufbereitung</i>	19
2.10	Statistische Analyse	21
3	Ergebnisse	24
3.1	Der Einfluss der Behandlererfahrung auf das Auftreten einer Blutung	25
3.2	Der Einfluss behandlungsspezifischer Parameter auf das Auftreten einer Blutung	27
3.2.1	<i>Verwendung eines dentalen Operationsmikroskops</i>	27
3.2.2	<i>Kontinuierliche endodontische Längenmessung</i>	27
3.3	Einfluss patientenspezifischer Parameter auf das Auftreten einer Blutung	27
3.3.1	<i>Patientenalter</i>	27
3.3.2	<i>Geschlecht</i>	28
3.3.3	<i>Raucherstatus</i>	29
3.3.4	<i>Kompromitierte Heilung</i>	29
3.3.5	<i>Ausgangsschmerz und Schmerzabnahme</i>	29
3.3.6	<i>Fisteln, intra- oder extraorale Rötungen und Schwellungen</i>	30
3.3.7	<i>Durchmesser der apikalen Aufhellung</i>	30
3.3.8	<i>Perkussion</i>	31
3.3.9	<i>Diagnose vor Behandlungsbeginn</i>	31
3.3.10	<i>Weiterführende Analyse der Signifikanz und Odds-Ratio kategorialer Variablen</i>	31
3.3.11	<i>Ergebnisse der logistischen Regression</i>	32
4	Diskussion	40
4.1	Diskussion von Material und Methoden	41
4.1.1	<i>Behandlerpopulation</i>	42
4.1.2	<i>Patientenpopulation</i>	43
4.1.3	<i>Statistische Analyse</i>	43
4.1.4	<i>Datenmanagementsystem</i>	44
4.1.5	<i>Endodontische Behandlungen</i>	45

4.2	Diskussion der Ergebnisse.....	46
4.2.1	<i>Diskussion der Ursache von Blutungen</i>	46
4.2.2	<i>Diskussion behandler- und behandlungsspezifischer Parameter.....</i>	47
4.2.3	<i>Diskussion patientenspezifischer Parameter</i>	49
4.2.4	<i>Schlussfolgerungen.....</i>	56
5	Zusammenfassung.....	57
6	Literaturverzeichnis	59
7	Danksagung.....	67
8	Anhang.....	68
8.1	Ethik	68

I. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Die im SONICflex Airscaler justierte EDDY™ Spülspitze. Dargestellt sind die Maße und Installation der Endo-Spülspitze im Airscaler.	20
Abb. 2: Mathematische Formel zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Abhängigkeit von den zu untersuchenden Variablen (x_0 , x_1 etc.)....	22
Abb. 3: Für die Studie angepasste Formel.	22
Abb. 4: Linearisierte Regressionsformel, angepasst an die Studie.....	23

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einfluss verschiedener behandler-, patienten - und behandlungsspezifischer Parameter auf das Auftreten einer Blutung bei Anwendung der Polyamid-Schallspitze.	25
Tabelle 2: Darstellung des Einflusses verschiedener behandler-, patienten- und behandlungsspezifischer Variablen auf das Auftreten einer Blutung bei Anwendung der Polyamid-Schallspitze.	38

III. Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Flussdiagramm der in die Studie aufgenommenen und ausgeschlossenen Patienten*innen.....	24
Diagramm 2: Prozentuale Verteilung der Behandlungen mit und ohne Blutung nach der Anwendung der Polyamid-Schallspitze in Abhängigkeit von der Erfahrung der Behandler.	26
Diagramm 3: Numerische Verteilung der Behandlungen mit und ohne Blutung nach der Anwendung der Polyamid-Schallspitze mit Zuordnung zum Alter der Patienten.	28
Diagramm 4: Forest-Plot über die kategorialen Variablen, ihrer Signifikanz (*), Odds-Ratio (OR) und Konfidenzintervalle (KI) mit unterer (UG) und oberer (OG) Grenze. OPMI: Operationsmikroskop, KELM: Kontinuierliche endodontische Längenmessung.	32
Diagramm 5: Forest-Plot über die signifikanten Variablen (*) der Studie nach Durchführung der logistischen Regressionsanalyse. Darstellung der zugehörigen Odds-Ratio (OR) und Konfidenzintervalle (KI), UG: untere Grenze, OG: obere Grenze der Konfidenzintervalle.	33
Diagramm 6: Balkendiagramm über die prozentuale Verteilung der Behandlungen mit und ohne Blutungen in Abhängigkeit von dem Bestehen einer extra- oder intraoralen Schwellung. Darstellung der Signifikanz (p), des Relativen Risikos (RR) und der Odds-Ratio (OR).	35
Diagramm 7: Balkendiagramm über die prozentuale Verteilung der Fälle mit und ohne Blutungen in Abhängigkeit vom Ausgangsschmerz, Signifikanz (p) und Odds-Ratio (OR).....	36
Diagramm 8: Balkendiagramm über die numerische und prozentuale Verteilung der Fälle mit und ohne Blutungen in Abhängigkeit vom Durchmesser der apikalen Aufhellung. Darstellung der Signifikanz (p) und Odds-Ratio (OR).....	37

1 Einleitung

Eine der zentralen und zugleich schwierigsten Herausforderungen der konservierenden Zahnheilkunde liegt in der Behandlung endodontischer Erkrankungen. Im Jahrbuch der Endodontie 2019 ist dokumentiert: „Die moderne Endodontologie in ihrer Komplexität hält in allen Phasen der Behandlung Stolpersteine bereit, die es zu vermeiden oder zu überwinden gilt. Mit geringem Aufwand und unter Beachtung entsprechender Grundregeln können häufig Komplikationen von Anfang an vermieden werden“ (SIMKA 2019). Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Kenntnis der Risikofaktoren, die in einer Behandlung zu Komplikationen führen können. Zu den Komplikationen der Endodontie zählen unter anderem Fehlinstrumentierung und Perforationen des Wurzelkanals (HOU 2019) sowie unzureichende Desinfektion und insuffiziente Wurzelfüllungen (TABASSUM & KHAN 2016).

Mehr als 6,7 Millionen endodontische Behandlungen (Wurzelkanalfüllungen) wurden 2018 in Deutschland entsprechend dem Jahrbuch der KZBV (2018) durchgeführt. Moderne Technologien ermöglichen vielfältige Behandlungsmöglichkeiten, doch liegt die Misserfolgsrate für Zähne mit einer apikalen Parodontitis bei der endodontischen Primärbehandlung noch relativ hoch. Entsprechend der letzten Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde liegt die Misserfolgsrate zwischen 15% und 30% (DGZMK 2001a). In einer aktuelleren Veröffentlichung im International Journal of Endodontics wird die Erfolgsrate für Wurzelkanalbehandlungen von Zähnen mit einer apikalen Parodontitis zu Behandlungsbeginn mit 53,6% angegeben (RESTREPO-RESTREPO et al. 2019).

Eine Hauptursache für den endodontischen Misserfolg ist die unzureichende Desinfektion des Wurzelkanalsystems, welche eine sorgfältige technische Ausführung voraussetzt, um persistierende Infektionen zu verhindern (NAIR et al. 1990, ZEHNDER 2006, PLOTINO et al. 2016). Die erfolgreiche Anwendung von chemischen und physikalischen Desinfektionsmethoden wird jedoch durch die komplexe Anatomie der Wurzelkanäle bzw. -kanalsysteme limitiert (EL KARIM et al. 2007, MOHAMMADI et al. 2019, PEREIRA et al. 2021).

Mitte der 40-er Jahre des 20. Jahrhunderts führten Grossmann und Meiman (GROSSMAN & MEIMAN 1941) die Wurzelkanalspülung in die Zahnheilkunde ein. Mit der erstmaligen Anwendung von Natriumhypochlorit zur Gewebsauflösung läuten sie den Beginn der Ära chemischer Wurzelkanalaufbereitungen ein. Durch die Verwendung von Spülflüssigkeiten in Kombination mit der physikalischen Aufbereitung soll eine möglichst umfassende Desinfektion des Wurzelkanalsystems erreicht werden (GULABIVALA et al. 2010, PEREIRA et al. 2021). Die Einführung von Schall und Ultraschall zur Aktivierung der Spülflüssigkeiten führte zu einer weiteren deutlichen Verbesserung der Desinfektionswirkung (HAAPASALO et al. 2010, PLOTINO et al. 2019). Zu den entsprechenden Systemen des 21. Jahrhunderts zählen hochfrequente schallaktivierte Polyamidspitzen, welche in dieser Studie als adjuvantes Behandlungsinstrument verwendet werden.

Die Aktivierung von Spüllösungen ist in der heutigen Endodontie ein nahezu unverzichtbares Hilfsmittel. In dieser prospektiven klinischen Studie wird zum ersten Mal der Einfluss des Erfahrungslevels der Behandler sowie behandlungs- und patientenbezogener Faktoren auf das Auftreten von Blutungen im Zusammenhang mit der Schalldesinfektion untersucht.

1.1 Ätiologie und Therapie endodontischer Erkrankungen

Es werden vielfältige Krankheitsbilder des Endodonts in der Zahnmedizin beschrieben. Dabei gilt die bakterielle Besiedelung des Endodonts als Hauptursache dieser pathogenen Prozesse, wie es in der vielfach zitierten Studie von Kakehashi et al. (KAKEHASHI et al. 1965) belegt wurde. Er zeigte, dass es in einer bakterienfreien Umgebung zu keiner pulpalen oder periapikalen Entzündung kommt, erst mit Zutritt von Mikroorganismen entstehen entsprechende Pathologien. Die Bedeutung der Desinfektion von Wurzelkanalsystemen ist unbestritten und entscheidend für den Erfolg einer endodontischen Behandlung (PETERS 2005, PLOTINO et al. 2016). Bisher ist jedoch keine Therapie zur Behandlung aller endodontischen Erkrankungen mit geringer Komplikations- und hoher Erfolgswahrscheinlichkeit bekannt (SIQUEIRA & RÔÇAS 2008, NAGENDRABABU et al. 2018). Aus diesem Grund ist die Forschung über Desinfektionsmethoden und über die mit ihnen verbundenen Komplikationen bei endodontischen Behandlungen wichtig.

1.2 Anatomie der Wurzelkanalsysteme und die Bedeutung der chemisch-physikalischen Desinfektion

Die Literatur beschreibt die Anatomie der Wurzelkanäle, entgegen der Annahme eines geradlinigen Kanals, als komplex, variabel und als ein dreidimensionales System (HÜLSMANN 2008) von interagierenden Haupt- und Nebenkanälen (MEYER 1961).

Ausgehend von der Wurzelkanalpulpa verlaufen zudem zahlreiche kleine Dentintubuli in das umliegende Kanalwanddentin. Bakterien können dabei bis zu 1483 µm (GEORGE et al. 2005) in diese Dentintubuli eindringen. Eine instrumentelle Aufbereitung ist daher in vielen Bereichen limitiert (WEINE 1984, SIQUEIRA 2001, PRADA et al. 2019) und bedarf kombiniert chemisch-physikalischer Desinfektionsmethoden.

In den Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlungen der Europäischen Gesellschaft für Endodontology (ENDODONTOLOGIE 2006) sind die Ziele einer optimalen Behandlung formuliert. Die Reduktion pathogener Keime erfolgt durch die physikalische Entfernung von infiziertem Pulpagewebe und der instrumentellen Bearbeitung des Kanalwanddentins. Jedoch können nur zwischen 45% und 65% der Gesamtoberfläche des komplexen Wurzelkanalsystems mechanisch bearbeitet werden (PETERS 2005), Bakteriennischen wie Dentinkanäle, Isthmen und Seitenkanäle werden in der Regel nicht erreicht. Durch die vorangehende physikalische Aufbereitung des Wurzelkanals können Desinfektionsspülungen in den Kanal eingebracht und die erwähnten Hohlraumssysteme besser erreicht werden. Die Wurzelkanalspülung dient dann der weiteren Reinigung und Verminderung der Bakterienkonzentration in dem Kanalsystem, der Auflösung des infizierten Pulpagewebes und der Entfernung der der Kanalwand aufliegenden Schmierschicht (INGLE et al. 1994, WEINE 1996, SCHÄFER & BÖßMANN 2000, SCHWEIZERISCHE ZAHNÄRZTE-GESELLSCHAFT 2000, ENDODONTOLOGIE 2006). Mit Hilfe der kombiniert chemisch-physikalischen Desinfektion des Wurzelkanals können mehr als 90% der Bakterien eliminiert werden (SIQUEIRA et al. 1999, SILVA et al. 2019, EGGMANN et al. 2020). Folglich sind beide Methoden als synergistisch zu verstehen und werden im Wechsel durchgeführt.

1.2.1 Schallaktivierung von Spüllösungen

Um die maximale antibakterielle Wirksamkeit zu entfalten, muss die Spüllösung in direkten Kontakt mit den Mikroorganismen treten. Dabei unterscheidet man verschiedene Möglichkeiten zur Aktivierung der Desinfektionslösung: die mit einer Spülkanüle durchgeführte manuelle Spülung, Schall, Ultraschall, Laser, Ozon, Unterdruck, Saug-Druck-Technik und Wärme (RÖDIG 2012, HAUPT et al. 2020, OLIVI et al. 2021).

Im Rahmen der manuellen Spülung des Wurzelkanalsystems wird die desinfizierende Flüssigkeit mittels einer Spülkanüle in den Kanal eingebracht (RÖDIG et al. 2010, KLIMM 2011). Der Mangel an Strömungskraft und damit ausbleibende Scherkräfte führen jedoch dazu, dass der Biofilm und die Schmierschicht nicht ausreichend von der Wurzelkanalwand abgelöst werden (DIOGUARDI et al. 2018).

1985 beschrieben Tronstad et al. (TRONSTAD et al. 1985) erstmalig in der Geschichte der Zahnmedizin die Verwendung eines Schallsystems zur Wurzelkanalaufbereitung. Die Aktivierung von Spülflüssigkeiten durch Schall hat sich als effektive Methode für die chemische Desinfektion in der Endodontie entwickelt (URBAN et al. 2017, HAUPT et al. 2020).

Für die Schalltechnologie werden in der Endodontie allgemein flexible, nichtschneidende Polymerspitzen verwendet. Diese verändern die Form des mechanisch aufbereiteten Wurzelkanals nicht (RUDDLE 2007, NEUHAUS et al. 2016). In gekrümmten Kanälen kommt es bei der Ultraschallaktivierung hingegen häufig zur Stufenbildung, apikalen anatomischen Veränderungen, Instrumentenfrakturen und lateralen Perforationen (RUDDLE 2004, NEUHAUS et al. 2016). Auch Schallinstrumente berühren die Wurzelkanalwand, jedoch zeigen Studien, dass Schallspitzen gegenüber Ultraschallspitzen trotz Wandkontakt weiterhin eine hohe Amplitudenauslenkung behalten. Dies ist ein entscheidender Vorteil, da die Spülflüssigkeit somit effizienter bewegt und verteilt wird (WALMSLEY et al. 1989, NEELAKANTAN et al. 2019).

Klassische in der Endodontie eingesetzte Schallinstrumente sind niederfrequente Schallsysteme bestehend aus Kunststoff (z.B. EndoActivator, Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) oder Aluminium (z.B. Vibringe, Vibringe B.V. Corp., Amsterdam, Niederlande). Eine neuere Entwicklung ist eine langgezogene abgerundete

hochfrequente schallaktivierte Polyamidspitze (EDDY™ Spülspitze, Fa. VDW GmbH, München, D). Sie führt nicht zu einem Dentinabtrag und erzeugt somit keine neue Schmierschicht im Gegensatz zu Ultraschallmetallspitzen (HAUPT et al. 2020). Im Unterschied zu klassischen Schallspitzen vibriert die Polyamidspitze frei in der Spülflüssigkeit. Sie wird von einem Airscaler (SONICflex 2003 Airscaler, Kavo, Genua, Italien) angetrieben und arbeitet in einem vergleichsweise hohen Schallfrequenzbereich von 5000 bis 6000 Hz. Bisher basierten die Schallsysteme auf wesentlich niedrigeren Frequenzen im Bereich von 150-190 Hz (RIUS et al. 2021). Laut Hersteller des hochfrequenten Systems kommt es durch die Entwicklung einer oszillierenden Bewegung mit hoher Amplitudenauslenkung (346 µm an der Spitze), einer Schallfrequenz von 6000 Hz und der Materialzusammensetzung zu einer dreidimensionalen Bewegung der Schallspitze. Diese Bewegung führt zu einer verbesserten Hydrodynamik, die bisher nur bei der Ultraschallaktivierung festgestellt werden konnte (NEUHAUS et al. 2016). In der Literatur wird die Desinfektionswirkung von Schallinstrumenten anhand der akustischen Mikroströmung erklärt (WALMSLEY et al. 1989, PARINI & PITT 2006). Hinsichtlich der Desinfektionswirkung von Ultraschallinstrumenten wird über die hydrodynamische Kavitation diskutiert, die zur Formation und Implosion von entstehenden Flüssigkeitsblasen führt (MACEDO et al. 2014). Ein Kavitationseffekt konnte bei der Schallaktivierung hingegen nicht nachgewiesen werden (MACEDO et al. 2014), da die Frequenz und Amplituden bei Schallinstrumenten generell zu niedrig sind, um Blasen zu erzeugen (JIANG et al. 2010).

1.3 Herausforderungen und Probleme der chemischen Wurzelkanalaufbereitung

1.3.1 Entfernung von Biofilm, Smear Layer und Debris

Mikroorganismen bilden auf Oberflächen Biofilme aus, die durch eine erhöhte Resistenz gegenüber exogenen Einflüssen (LEWIS 2001) gekennzeichnet sind. Eine Smear-Layer entsteht während der Aufbereitung des Wurzelkanals auf der Kanalwand vor allem bei der Verwendung von metallischen Aufbereitungsinstrumenten wie z.B. Ultraschallinstrumenten sowie Hand- und Nickel-Titan-Feilen (HAUPT et al. 2020, RIUS et al. 2021). Debris wiederum besteht aus Mikroorganismen, Pulpagewebsresten,

Biofilm und Dentinspänen. In Bereichen, die von der mechanischen Aufbereitung nicht erfasst werden, lagert bzw. presst sich Debris ein. Prädestiniert dafür sind Anastomosen oder Isthmen zwischen Kanälen (PAQUE et al. 2009). Komplexere Wurzelkanalanatomien erfordern daher die Aktivierung von Spülflüssigkeiten (BOUTSIUKIS 2020). Schall- und Ultraschallsysteme führen zu einer vergleichbaren Entfernung von Debris (PLOTINO et al. 2019), können die Smear-Layer jedoch nicht vollständig entfernen (PLOTINO et al. 2021). Beide Systeme sind aber von entscheidender Bedeutung für die Entfernung von Biofilmen (WALSH 2020). Mit Schall- und Ultraschallsystemen wird im Vergleich mit der alleinigen manuellen Spülung eine deutlich bzw. signifikant bessere Desinfektionswirkung des Wurzelkanals erzielt (URBAN et al. 2017, HAUPT et al. 2020).

1.3.2 Komplikationen bei der chemisch-physikalischen Desinfektion

In der Endodontie sind zahlreiche Komplikationsarten bei der chemisch-physikalischen Desinfektion bekannt. Ungewollte Spülungen über den Apex hinaus mit den wirksamen und zugleich aggressiven Chemikalien Natriumhypochlorit oder Wasserstoffperoxid können zu allergischen Reaktionen und Nekrosen des periapikalen Gewebes führen (HULSMANN & HAHN 2000). Bei nicht adjuvanter Verwendung von Natriumhypochlorit kann es zu schweren Weichgewebs- und Knochenschäden mit Nekrose kommen (GONDIM et al. 2010, KERBL et al. 2012). Gelangt Wasserstoffperoxid-Lösung beim Spülen über das Foramen apikale in das umliegende Gewebe, kann es im Anschluss zu Wasser und Sauerstoff oxidieren. Der so freigesetzte Sauerstoff kann zur Bildung eines – im schlimmsten Fall - lebensbedrohlichen Emphysems führen (SMATT et al. 2004).

Einblutungen in den Wurzelkanal stellen eine weitere Komplikation bei der chemisch-physikalischen Desinfektion dar. Insbesondere bei der irreversiblen Pulpitis kommt es zu direkten Einblutungen aus den Kanalsystemen. Durch den hohen Albuminanteil im Blut kann die Wirkung von Spülflüssigkeiten wie Natriumhypochlorit deutlich herabgesetzt werden (MOHAMMADI 2008). Ein trockener Wurzelkanal ist zudem essenziell für eine suffiziente Haftung des Füllungsmaterials an den Kanalwänden, um ein späteres Mikroleakage zu vermeiden (KAPUR et al. 2019, OZLEK et al. 2020). Die Anwesenheit von Feuchtigkeit führt auch zu veränderten Eigenschaften bei der Aushärtung des Sealers (AL-HADDAD et al. 2017) und geringerer Penetration der

Füllung in die Dentintubuli (PACE et al. 2019). Darüber hinaus führen vor allem iatrogene Faktoren wie Überinstrumentierung, Spülungen über den Apex hinaus und Perforationen zu Einblutungen in den Wurzelkanal (PACE et al. 2019). Infolgedessen kann die Heilung des periapikalen Gewebes beeinträchtigt sein, es kann zu Schmerzen und Flare-Ups kommen (TINAZ et al. 2005, SIPAVIČIŪTĖ & MANELIENĖ 2014).

Um eine Desinfektion des gesamten Wurzelkanalsystems zu ermöglichen, muss vor allem der apikale Wurzelkanalabschnitt ausreichend gespült werden. Dies setzt eine korrekt durchgeführte Längenbestimmung voraus (SEDGLEY et al. 2005) und ist entscheidend für den Erfolg der Wurzelkanalbehandlung (YOUSUF et al. 2015). Wird die Arbeitslänge zu lang eingestellt, erhöht sich die Gefahr einer Extrusion der Spülflüssigkeit oder Schädigung des periapikalen Gewebes mit entsprechender Blutung im Wurzelkanal (MITCHELL et al. 2011). Zur Vermeidung einer Unter- oder Überinstrumentierung bei der maschinellen Wurzelkanalbehandlung wird die kontinuierliche endodontische Längenmessung während der Wurzelkanalaufbereitung genutzt (TIEN et al. 2020). Zudem werden Operations- bzw. Dentalmikroskope zur präziseren Darstellung des Wurzelkanalsystems in Behandlungen eingesetzt (MARTINS et al. 2011).

Zur Aktivierung der Spülflüssigkeiten im Wurzelkanal werden verschiedene Systeme genutzt. Das Unterdruck-EndoVac-System (EndoVac™, Kerr-GmbH, Biberach, Deutschland) konnte nach bisheriger Studienlage die höchste Sicherheit geben (MITCHELL et al. 2010). Das System nutzt dabei statt Druck eine Sogwirkung, um den Wurzelkanal zu reinigen. Aufgrund des negativen apikalen Drucks kann eine apikale Extrusion von Spülflüssigkeit, Bakterien und Gewebsresten verhindert werden (HULSMANN & HAHN 2000). Ultraschallsysteme führen ebenfalls zu einer geringeren Extrusion von Spülflüssigkeiten bei der Aktivierung der Spüllösung als eine manuelle Spülung mit Kanüle (MITCHELL et al. 2011).

Bisherige Studien mit dem hochfrequenten Schallsystem zeigen, dass es zu einer erhöhten Extrusion von Spülflüssigkeiten im Vergleich mit Ultraschallsystemen kommt (DOS REIS et al. 2020). Zudem wurde eine signifikant erhöhte Extrusion von apikalem Debris gegenüber Ultraschall, Lasersystemen und manuellen Spülungen nachgewiesen (İNCE YUSUFOĞLU et al. 2020). Eine Studie über Einflussfaktoren, die

zur Entstehung von apikalen Einblutungen im Wurzelkanal bei Verwendung von hochfrequenten Schallsystemen führen, gibt es bisher nicht.

1.3.3 Einfluss des Patientenalters

Die Zahnwurzel ist lebenslangen Umbauprozessen unterworfen. Mit zunehmendem Alter des Patienten verengt sich das Foramen physiologicum durch die Bildung von Sekundär- und Tertiärdentin als Reaktion auf exogene Reize (Hülsmann 2008). In einer immunologischen Studie (DE ALMEIDA et al. 2017) wurde bei älteren Patienten nach erfolgter Wurzelkanalbehandlung eine geringere Anzahl von Makrophagen (als Teil des spezifischen Immunsystems) in Zysten und Granulomen apikaler Läsionen nachgewiesen. Aufgrund der schwächeren Immunantwort wird bei der apikalen Parodontitis auf eine möglicherweise höhere Misserfolgsrate von Wurzelkanalbehandlungen bei älteren Patienten verwiesen. In einer Studie von Shakiba et al. (Shakiba et al. 2017) konnte allerdings kein Zusammenhang zwischen der Erfolgsrate von Wurzelkanalbehandlungen und dem Patientenalter festgestellt werden.

1.3.4 Einfluss der Behandlererfahrung

Die chemisch-physikalische Wurzelkanalaufbereitung soll sicher und effektiv sein. AlRahabi publizierte 2017 an der zahnmedizinischen Abteilung der Universität Taibah in Saudi Arabien eine Studie (ALRAHABI 2017), welche die Fehlerrate von Studierenden bei Wurzelkanalbehandlungen untersuchte. Das Ergebnis zeigte, dass nur ein marginaler Unterschied ($p > 0.05$) in der Behandlungsqualität zwischen erfahreneren Studierenden des 5. Jahrgangs gegenüber den Studierenden des 4. Jahrgangs liegt. Jedoch entsprachen 31,1% der endodontischen Behandlungen beider Jahrgänge nicht den Anforderungen. Insofern ist das Thema der Berufserfahrung und -spezialisierung Bestandteil europäischer Richtlinien und soll in dieser Studie untersucht werden. In mehreren europäischen Ländern wie England (COUNCIL 1984) und Belgien (NYS 2019) ist der Fachbereich der Endodontie nur Spezialisten vorbehalten, wohingegen das deutsche Gesetz über die Ausübung der Zahnheilkunde (BUNDESTAG & BUNDESRAT 1987) Wurzelkanalbehandlungen zum Tätigkeitsbereich eines Allgemeinzahnarztes zählt.

1.4 Digitale Dokumentation

Mehrere Studien haben eine Steigerung der Qualität von wissenschaftlichen Untersuchungen und der Patientenbehandlung durch digitale Datenmanagementsysteme gegenüber der traditionellen Papierdokumentation aufzeigen können (LINDER et al. 2007, FRIEDBERG et al. 2009). Im College of Dental Medicine in Florida gibt es bereits seit 2006 ein digitales Vorreiterprojekt im zahnmedizinischen Bereich zur effizienteren Therapieplanung und Gesundheitsförderung (FILKER et al. 2013). Ein erster Schritt im Fachbereich der Endodontie wurde 2012 in Deutschland im Rahmen einer Studie an der Berliner Charité geschaffen (PREISSNER et al. 2015). Dabei wurde ein betriebssystemübergreifendes Datenmanagementsystem zur Verwaltung von endodontischen Behandlungen geschaffen. Anhand von pseudonymisierten Daten kann man die Vorteile dieser Entwicklung nachvollziehen. Außerdem sollen die schnelle Auswertbarkeit und Steigerung der Qualität digitaler Datenerfassung verdeutlicht werden.

Für diese Studie wurde vom Doktoranden ein neuartiges Programm entwickelt, welches die Vorteile der genannten Studien aufgreift und ausbaut sowie eine qualitative Datenverarbeitung gewährleistet und als Grundlage für zahlreiche weitere Forschungen in dem Fachgebiet der Endodontie dienen kann.

1.5 Zielsetzung

Zahlreiche Faktoren der Aufbereitung beeinflussen die Qualität einer endodontischen Behandlung. Eine ausreichende physikalische und chemische Desinfektion des Wurzelkanals gehört zu den Grundpfeilern einer leitlinienkonformen Wurzelkanalaufbereitung. Ziel dieser Studie ist es, die Einflussfaktoren für eine Komplikation bei der chemisch-physikalischen Desinfektion von Wurzelkanälen bei der Anwendung eines neuartigen hochfrequenten Schallsystems aus Polyamid prospektiv zu untersuchen. Als Parameter zur Diagnose einer Komplikation wurde das Auftreten einer Blutung im Wurzelkanal nach dem Einsatz der Schalldesinfektion mittels der Polyamid-Schallspitze festgelegt. Dabei wurden verschiedene Einflussfaktoren im Rahmen der Gesamtfragestellung untersucht:

1. Behandlerspezifischer Einflussfaktor

Hat die Erfahrung der Behandler (Studierende des zweiten, dritten und fünften klinischen Fachsemesters sowie Allgemeinzahnärzte/innen und Zahnärzte/innen mit dem Tätigkeitsschwerpunkt Endodontie) einen Einfluss auf das Auftreten einer Blutung im Wurzelkanal bei Anwendung einer hochfrequenten Polyamid-Schallspitze?

2. Patientenspezifische Einflussfaktoren

Haben Alter, Geschlecht, Raucherstatus, kompromittierte Heilung (Diabetes mellitus und Chemotherapie), die Stärke des Ausgangsschmerzes vor Behandlungsbeginn und die Schmerzabnahme zwischen dem ersten und zweiten Behandlungstermin des Patienten, das Vorliegen einer endodontisch bedingten intra- oder extraoralen Schwellung, Rötung oder Fistel, die Perkussionsempfindlichkeit des zu behandelnden Zahnes, der Durchmesser der apikalen Aufhellung und die vorliegende Diagnose (reversible/irreversible Pulpitis, akute apikale Parodontitis mit/ohne apikale Aufhellung, symptomatische insuffiziente Wurzelkanalfüllung) einen Einfluss auf das Auftreten einer Blutung bei Anwendung einer hochfrequenten Polyamid-Schallspitze?

3. Behandlungsspezifische Einflussfaktoren

Stehen die Anwendung eines Operations- bzw. Dentalmikroskopes und die kontinuierliche endodontische Längenmessung im Zusammenhang mit einer erhöhten Blutungsgefahr bei Verwendung einer hochfrequenten Polyamid-Schallspitze?

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Die monozentrische prospektive Risikostudie basiert auf der Grundlage von 334 repräsentativen Wurzelkanalbehandlungen adulter Zähne mit intakten Wurzelspitzen, welche am Universitätsklinikum Schleswig-Holstein (UKSH) in der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie durch Studierende unterschiedlicher Fachsemester und approbierte Zahnärzte im Zeitraum 2020 bis 2021 durchgeführt wurden. Ziel war es patienten-, behandlungs- und behandlerspezifische Faktoren zu identifizieren, die zu einer erhöhten Gefahr für das Auftreten von Blutungen im Wurzelkanal bei der Anwendung eines hochfrequenten Schallsystems führen. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Deutschland, genehmigt (D424/20) und in Übereinstimmung mit den ethischen Grundsätzen der Deklaration von Helsinki für medizinische Forschung am Menschen in der Fassung von Fortaleza 2013 durchgeführt. Auf der Grundlage einer Pilotstudie mit 20 Patienten wurde eine Blutungsrate von 30 % angenommen. Um einen klinisch relevanten Unterschied im Auftreten von Blutungen (ja/nein) von 15 % zwischen Patienten*innen mit dem unabhängigen Faktor der Behandlererfahrung festzustellen, wurde berechnet, dass ein zweiseitiger Binomialtest eine Aussagekraft von 80 % hätte, wenn mindestens 260 Patienten eingeschlossen sind. Unter Berücksichtigung möglicher Confounder sowie Drop-outs wurden insgesamt 334 Patienten, die eine Wurzelkanalbehandlung benötigten, konsekutiv eingeschlossen. Patienten mit Blutgerinnungsstörungen, schwangere Patientinnen und nicht aufbereitungsfähige Zähne wurden von der Studie ausgeschlossen. Dazu zählten Zähne, welche eine Wurzelfraktur oder einen Lockerungsgrad III aufwiesen und Zähne mit frakturierten Instrumenten, die nicht entfernt werden konnten. Außerdem wurden endodontische Behandlungen an Patienten unter 18 Jahren und unvollständige Wurzelkanalaufbereitungen als Folge eines Behandlungsabbruches nicht in die Studie aufgenommen.

Die Erfassung der Informationen erfolgte dabei über ein im Rahmen der Doktorarbeit selbst programmiertes Datenmanagementsystem. Dieses Programm ermöglichte einerseits die Erhebung und Verarbeitung von Daten und zum anderen das

kontinuierliche Analysieren von Daten aus der laufenden endodontischen Studie. Jeder Behandler nahm an einer Vorstellung des Datenmanagementsystems in Form eines Seminars durch den Doktoranden teil. Es erfolgte eine Erläuterung der Handhabung und Bedeutung jedes Informationsfeldes. Durch gezielte Rückfragen wurde der Wissensstand überprüft. Die Seminare wurden halbjährlich wiederholt. Die Behandlung und Dokumentation wurde von Mitarbeitern und Studierenden der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein durchgeführt: Zahnärzte/innen mit dem Tätigkeitsschwerpunkt Endodontie, zahnmedizinische Lehrkräfte (approbierte Zahnärzte/Innen) sowie Studierende der Zahnmedizin des zweiten, dritten und fünften klinischen Fachsemesters. Um die Datenqualität zu sichern, erfolgte zusätzlich durch den Doktoranden eine individuelle Besprechung mit den Studierenden zu jedem erfolgten Dateneintrag. Ziel war es, ein barrierefreies System zu schaffen, welches den Anspruch an höchste Datenqualität und -sicherheit erfüllt. In Absprache mit den zahnmedizinischen Lehrkräften wurde das Datenmanagementsystem zur Verbesserung der Datenverarbeitung während der Laufzeit der Studie fortwährend ergänzt. Zusätzlich ermöglichte das Programm die Nutzung eines Supportservices, um Fragen zur Anwendung schnell zu klären.

Jeder Patient, der im Rahmen der klinischen Behandlung eine Wurzelkanalbehandlung benötigte, wurde in die Studie aufgenommen, sofern er der über Identifikationsnummern verschlüsselten und pseudonymisierten Datenverwendung zustimmte. Es gab keine Abweichung von der regulären Behandlungsdurchführung, wirtschaftliche oder konfligierende Interessen lagen nicht vor.

2.2 Konzeption des Datenmanagementsystems

Die Erfassung der Behandlungsparameter erfolgte in der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie bis vor Studienbeginn über eine analog geführte Akte. Durch die Programmierung eines neuartigen Datenmanagementsystems für die Endodontie sollten Behandlungen effizienter dokumentiert und analysiert werden: Die geführte Dokumentation ermöglichte die Vergleichbarkeit der Ergebnisse und sicherte die Datenqualität. Jeder endodontisch behandelte Zahn erhielt dabei eine eigene Identifikationsnummer. Somit konnten die

Daten vollständig anonymisiert werden und eine spätere Zuordnung zum Patienten wurde ausgeschlossen. Auf der Grundlage von MySQL (MySQL, Oracle Corporation, Redwood City, USA) und der Open Source Software phpmyAdmin (phpmyAdmin, The phpMyAdmin Project, Berlin, D) wurde im Rahmen dieser Arbeit die Basis für mehrere Datenbanken entwickelt. Das System erfasste 196 patienten-, behandler-, und behandlungsspezifische Parameter, die für die durchgeführte Wurzelkanalbehandlung erhoben wurden. Diese Daten wurden abgespeichert und konnten jederzeit übersichtlich gefiltert, dargestellt und verarbeitet werden. Eine weitere Datenbank diente der Grundlage der Benutzerverwaltung, so dass verschiedene Verwaltungsebenen mit entsprechenden Zugriffsrechten definiert werden konnten. Die Datenbanken basieren auf dem etablierten Speichersubsystem InnoDB (InnoDB Speichersubsystem, Oracle corporation, München, D), welches für die Verarbeitung großer Datenmengen entwickelt wurde. Somit bietet das Gesamtsystem das Potenzial zur Realisierung sehr großer Studien. Die gespeicherten Werte können durch den Administrator in ein SQL-Format exportiert und somit in weiteren bekannten Tabellenkalkulations- und Statistikprogrammen genutzt werden. Zur Verknüpfung der Datenbank mit der Anwenderoberfläche erfolgte die Programmierung mit der Skriptsprache PHP Data Objects (PHP, The PHP Group, Global).

2.3 Benutzeroberfläche und Anwendbarkeit

Auf der Basis der beschriebenen Datenbank wurde während der Erstellung dieser Arbeit mit den Programmiersprachen HTML (HTML, World Wide Web Consortium, Tim Berners-Lee, USA), PHP (PHP, The PHP Group, Global), JavaScript (JavaScript, Netscape, Mountain View, USA) und CSS (CSS, World Wide Web Consortium, Global), ein intuitiv zu bedienendes Datenmanagement- und Zugangskontrollsystem entwickelt. Durch die Integration von vorgegebenen Auswahllisten, Drop-Down-Menüs, Reglern und Kalendern wurde eine benutzerfreundliche sowie effiziente Dokumentation gewährleistet bei gleichzeitiger Wahrung der Datenintegrität. Freie Textfelder ermöglichten zudem eine freie Dokumentation und schränkten den Nutzer nicht in seiner Individualität ein. Durch den Verzicht auf kostenpflichtige Software und die Eigenprogrammierung konnte eine personalisierte Anwenderoberfläche geschaffen werden, welche minimalste Anforderungen an das Endgerät stellt und

betriebssystemunabhängig arbeitet. Die Entwicklung kann somit direkt für zukünftige multizentrische Studien eingesetzt werden.

2.4 Inhalte des Studienprotokolls

Zu den untersuchten patientenspezifischen Einflussgrößen zählten: Patientenalter, Geschlecht, detaillierter Raucherstatus, kompromittierte Heilung, Schmerzintensität zu Behandlungsbeginn und Schmerzzunahme zwischen dem ersten und zweiten Behandlungstag, die Perkussionsempfindlichkeit, der Durchmesser der apikalen Aufhellung, das Vorliegen von intra- oder extraoralen Schwellungen, Rötungen und Fisteln, welche im Zusammenhang mit der Pathologie standen, sowie die Diagnose zu Behandlungsbeginn. Gesundheitliche Faktoren, Umstände und Erkrankungen, die zur Verzögerung oder dem Ausbleiben der Heilung führen können, wurden als kompromittierte Heilung definiert (Diabetes mellitus, Chemotherapie). Als behandlungs- und behandler-spezifische Einflussgrößen wurden die Behandlererfahrung, die Anwendung eines Operationsmikroskops und die Durchführung der kontinuierlichen endodontischen Längenmessung untersucht. Darüber hinaus wurden noch zahlreiche weitere Daten erfasst, welche jedoch in zukünftigen Studien analysiert werden sollen.

2.5 Anwendung des Datenerfassungssystems

Nach erfolgreicher Registrierung, Freischaltung und Authentifikation erhielt der Nutzer entsprechend seines Ausbildungsgrades Zugriff auf das System. Bei der Anlage eines neuen Eintrags erschien eine interaktive Formularoberfläche, welche den Nutzer strukturiert und individuell an die aktuelle Behandlung angepasst führte. Auf der Benutzeroberfläche präsentierten sich in zehn Hauptkategorien unterteilte Datenmanagementbereiche, die in der folgend aufgeführten Reihenfolge vom jeweiligen Behandler erhoben wurden:

- | | |
|---------------------------------------|----------------------------|
| 1. Allgemeine zahnbezogene Daten | 6. Diagnose |
| 2. Schmerzanamnese | 7. Wurzelkanalaufbereitung |
| 3. extraoraler und intraoraler Befund | 8. Medikamentöse Einlage |
| 4. Zahnspezifischer Befund | 9. Wurzelfüllung |
| 5. Röntgen | 10. Nachkontrolle |

2.6 Behandler- und behandlungsspezifische Parameter

Um den Einfluss der Behandlererfahrung auf das Auftreten von Blutungen bei der Schalldesinfektion zu untersuchen, wurden Studierende und Zahnärzte/innen in der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie entsprechend ihres Ausbildungsstands bzw. der Berufserfahrung in fünf Gruppen eingeteilt: Studierende des zweiten (n = 36), dritten (n = 34) und des fünften (n = 21) klinischen Fachsemesters sowie Allgemein Zahnärzten/innen (n = 4) und Zahnärzte/innen mit dem Tätigkeitsschwerpunkt Endodontie (n = 2).

Die Minimalanforderungen zur Teilnahme an der Studie erfüllten die Studierenden des zweiten klinischen Fachsemesters. Nach einem erfolgreich bestandenen Physikum wurden im darauffolgenden Phantomkurs III der Zahnerhaltungskunde und parodontologischen Propädeutik (erstes klinisches Semester) u.a. die Grundprinzipien und klinischen Arbeitsschritte der Endodontologie am Phantomkopf erlernt. In diesem Kurs werden umfassende theoretische Kenntnisse und praktische Fertigkeiten zur Anatomie der Wurzelkanäle, zur Trepanation der unterschiedlichen Zahntypen, zur manuellen Wurzelkanalaufbereitung und zur Wurzelkanalfüllung vermittelt. Die praktischen Übungen werden zuerst am durchsichtigen Acrylblock und dann an ein- und mehrwurzeligen extrahierten Zähnen (die in Modelle eingegipst wurden) geübt. Im Anschluss an das dreiwöchige Modul erfolgte eine Prüfung in Form einer Objective Structured Practical Examination (OSPE). In dieser praktischen Leistungsüberprüfung an einem extrahierten Frontzahn mussten die Studierenden zeigen, dass sie die einzelnen Schritte einer Wurzelkanalbehandlung und -füllung sowie die hierbei einzusetzenden Hand- und rotierenden Instrumente sicher beherrschen. Nach erfolgreich bestandem Phantomkurs der Zahnerhaltungskunde dürfen die Studierenden dann im zweiten klinischen Fachsemester erstmalig Patienten behandeln. Noch vor der ersten endodontischen Behandlung lernten die Studierenden den Umgang mit der hochfrequent arbeitenden Schallspitze aus Polyamid in Theorie und Praxis kennen. Auch die Technik der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung wurde zu Beginn des Kurses vermittelt. Bevor diese dann am Patienten eingesetzt werden durfte, mussten 10 Wurzelkanäle an extrahierten ein- und mehrwurzeligen Zähnen erfolgreich aufbereitet werden.

Im dritten klinischen Semester vertieften die Studierenden die theoretischen und praktischen Kenntnisse endodontischer Behandlungsschritte. Der Unterschied zum Erfahrungsgrad des zweiten klinischen Semesters liegt darin, dass sie bereits mehr Erfahrungen am Patienten gesammelt und theoretische Inhalte der konservierenden Zahnheilkunde wesentlich detaillierter erlernt haben. Zudem erfolgen Wurzelkanalbehandlungen im dritten klinischen Semester fast ausschließlich maschinell. Alle endodontischen Arbeitsschritte der Studierenden werden im 2. und 3. klinischen Behandlungskurs unter der Aufsicht von approbierten Zahnärzten/innen durchgeführt.

Studierende des 5. Fachsemesters haben alle klinischen Kurse erfolgreich bestanden, inklusive der prothetischen Kurse des 4. und 5. Fachsemesters. Die Daten dieser Gruppe wurden während der praktischen Prüfungswoche im Fach Zahnerhaltungskunde des Staatsexamens erhoben.

Eine weitere Behandlergruppe bildeten approbierte Allgemeinzahnärzten/innen der Universitätszahnklinik. Diese Teilnehmer haben in den Jahren zuvor am Universitätsklinikum Schleswig-Holstein Zahnmedizin studiert und betreuten die Studierendenkurse. Ihre Arbeit umfasst alle Tätigkeiten der konservativen Zahnheilkunde. Sie besaßen somit keine spezialisierte Erfahrung im Bereich der Endodontie. Die letzte Behandlergruppe bestand aus Zahnärzten/innen mit dem Tätigkeitsschwerpunkt Endodontie. Ihre zahnärztliche Arbeit konzentriert sich zu über 75 % auf endodontische Behandlungen. Ihre Endodontie-Fachkenntnisse haben Sie entweder über ein Curriculum oder eine Spezialisierung erworben. Sie führten die meisten und komplexesten Wurzelkanalaufbereitungen der Studie durch, darunter vor allem Revisionen und Behandlungen von Nekrosen mit apikaler Parodontitis. Zudem lagen oftmals endodontische Besonderheiten vor, deren Therapie zumeist dieser Behandlergruppe vorbehalten war: Isthmen zwischen Kanalsystemen, konfluierende Kanalsysteme, apikale Deltas, interne sowie externe entzündliche Resorptionen, S-förmige Kanäle, starke Krümmungen oder Stufen im Kanalverlauf, Instrumentenfrakturen, Obliterationen und Dentikel.

Behandlungsspezifische Einflussfaktoren wie die Anwendung eines dentalen Operationsmikroskopes (Zeiss OPMI PROergo, Carl Zeiss AG, Oberkochen, D) und die Durchführung einer kontinuierlichen endodontischen Längenmessung

(Schlumbohm EndoPilot, Schlumbohm GmbH & Co. KG, Brokstedt, D) wurden ebenfalls in die Studie mit einbezogen.

2.7 Patientenspezifische Parameter

In die aktuelle Untersuchung wurden alle Patienten aufgenommen, bei denen innerhalb eines Jahres (Studiendauer) eine endodontische Behandlung durchgeführt werden musste. Die Patienten wurden den Behandlern während ihrer regulären klinischen Behandlungszeiten konsekutiv zugewiesen.

2.7.1 Anamnese der Patienten

Im Rahmen der ersten Befundung wurden das Alter (in Jahren) und Geschlecht (männlich/weiblich) sowie die vom Patienten auf seine endodontische Erkrankung bezogene Schmerzintensität erfasst. Dafür wurde die in wissenschaftlichen Studien etablierte numerische Rating-Skala genutzt (WILLIAMSON & HOGGART 2005). Diese umfasst elf Zahlen von 0 (keine Schmerzen) bis 10 (maximal vorstellbare Schmerzen). Zu Beginn der zweiten Behandlungssitzung wurde die Schmerzintensität nochmals dokumentiert. Dies bildete die Grundlage für die späteren Berechnungen der Parameter Ausgangsschmerz (0-10) und Schmerzabnahme (0-10) zwischen der ersten und zweiten Behandlungssitzung.

2.7.2 Rötungen, Schwellungen, Fisteln, kompromittierte Heilung und Raucherkategorisierung

In dieser Studie wurden zudem Rötungen (ja/nein), Schwellungen (ja/nein) und Fisteln (ja/nein) im Bereich des wurzelbehandelten Zahnes extra- sowie intraoral, visuell und palpatorisch erfasst. Darüber hinaus wurde das Bestehen von gesundheitlichen Faktoren und systemischen Erkrankungen (Diabetes mellitus, Chemotherapie) dokumentiert, die zur Verzögerung oder dem Ausbleiben der Heilung (kompromittierte Heilung) führen könnten (NAGENDRABABU et al. 2020). Als weiterer Parameter wurde der Durchmesser der apikalen Aufhellung (in mm) erfasst, welcher aus den digitalen Röntgenbefundaufnahmen ermittelt wurde. Zudem wurden alle Patienten bezüglich ihres Rauchverhaltens kategorisiert. Die Einteilung orientierte sich an den

Empfehlungen des Robert-Koch-Instituts zur Vereinheitlichung der Erhebung des Rauchens in epidemiologischen Studien (LATZA et al. 2005). Es wurden fünf Gruppen definiert:

Nichtraucher: Patient, welcher in seinem Leben nie länger als ein halbes Jahr regelmäßig geraucht hat. Passivraucher: Patient, welcher aktiv rauchenden Personen in seiner Umgebung regelmäßig exponiert ist. Gelegenheitsraucher: Patient, welcher zurzeit bzw. in der Vergangenheit nur bei bestimmten Anlässen (z.B. Feiern) raucht. Ex-Raucher: Patient, welcher über einen Mindestzeitraum von einem halben Jahr geraucht hat und gegenwärtig nicht mehr raucht. Gegenwärtiger Raucher: Patient, welcher zum Zeitpunkt der Erhebung oder bis zu 2 Wochen vorher aktiv raucht.

2.7.3 Perkussion, Durchmesser der apikalen Aufhellung und Diagnose zu Behandlungsbeginn

Der zu behandelnde Zahn wurde auf seine Perkussionsempfindlichkeit (ja/nein) mittels horizontalen und vertikalen Klopfens mit dem Kunststoffspiegelgriff getestet. Der Durchmesser einer eventuell bestehenden apikalen Aufhellung wurde anhand des digitalen Röntgenbildes im klinischen Xero Viewer Programm ausgemessen (XERO Viewer, Agfa HealthCare N.V., Belgium). Die Einordnung und Diagnose der endodontischen Pathomorphologien erfolgte in Anlehnung an die endodontische Fachliteratur (HELLWIG et al. 2009) und die Leitlinien der DGZ (DGZ 2001). Außerdem wurden insuffiziente Wurzelfüllungen im Zusammenhang mit Schmerzen und Pulpitiden behandelt. Es ergaben sich 5 verschiedene Kategorien pulpaler bzw. endodontischer Erkrankungen, die als Einflussfaktor untersucht wurden: reversible und irreversible Pulpitis, Nekrose ohne apikale Aufhellung und Nekrose mit apikaler Aufhellung sowie insuffiziente Wurzelfüllung.

2.8 Zielparameter: Blutung im Kanal

Der zu untersuchende Zielparameter dieser Studie stellte das Auftreten einer Blutung im Wurzelkanal nach der Anwendung der hochfrequenten Polyamid-Schallspitze dar. Diagnostizierte Blutungen dienten als Hinweis auf eine Komplikation bei der Schallspülung. Die Diagnose einer Blutung erfolgte nach der Aufbereitung des Zahnes entsprechend der zuvor bestimmten definitiven Arbeitslänge und dem Einsatz der

Schallspitze. Dabei wurden Blutungen visuell in der Pulpakammer, verdünnt in der Spüllösung und anhand entsprechender Blutrückstände an der Papierspitze einbezogen. Die Papierspitzen wurden für 3 Sekunden in jeden Kanal entsprechend der definitiven Aufbereitungslänge eingeführt.

2.9 Behandlungsablauf

2.9.1 *Aufbereitung der Wurzelkanäle und Längenbestimmung*

Ausgehend von der Indikation für eine Wurzelkanalbehandlung wurde eine adäquate lokale Anästhesie (Ultracain® D-S 1:200.000, Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, Frankfurt am Main, D) gegeben und Kofferdam appliziert (Ivory® Kofferdam, Sigma Dental, Handewitt, D). Die im Anschluss durchgeführte Wurzelkanalbehandlung erfolgte gemäß den allgemeinen Richtlinien der Endodontie (WEINE 1989, HELLWIG et al. 1995, STOCK 1995, BURNS & HERBRANSON 1998, INGLE et al. 2002, KLIMM 2011). Die Bestimmung der definitiven Arbeitslänge der Wurzelkanalinstrumente wurde in der Studie mittels endometrischer Längenbestimmung durchgeführt (RAYPEX® 5, VDW GmbH, München, D) (HUELSMANN 2010, HARTMANN et al. 2018). Als zusätzliche visuelle Kontrolle des Messergebnisses und zur Darstellung der Zahnwurzelanatomie wurden auch röntgenologische Messaufnahmen angefertigt. So sollte eine möglichst genaue Längeneinstellung der hochfrequenten Schallspitze erreicht werden. Bei Abweichungen trotz wiederholter Kontrolle wurde der Wert der endometrischen Längenbestimmung verwendet.

2.9.2 *Physikalisch-chemische Wurzelkanalaufbereitung*

Die systematische Wurzelkanalaufbereitung erfolgte entweder manuell durch K-Feilen (VDW STERILE K-Feilen, VDW GmbH, München, D) mittels Crown-Down- und Step-Back-Technik oder entsprechend den Herstellervorgaben bzw. -richtlinien durch maschinell rotierende Aufbereitungssysteme mit Nickel-Titan-Feilen (Mtwo®, VDW GmbH, München, D), (Reciproc®, VDW GmbH, München, D), (FlexMaster®, VDW GmbH, München, D)), (ProFile®, Maillefer Instruments Holding Sàrl, Chemin du Verger, CH), (EndoWave® Hybrid, J. Morita Europe GmbH, Dietzenbach, D), (ProTaper®, Maillefer Instruments Holding Sàrl, Chemin du Verger, CH). Nach jedem

Instrumentenwechsel fand eine Spülung der Kanäle mit 3 %-igem Natriumhypochlorit (NaOCl; Apotheke Universitätsklinikum S-H, Lübeck, D) statt. Dafür wurden spezielle Luer-Lock-Spritzen mit Sideport (Injekt® Luer Lock, Fa. B. Braun Melsungen AG Hospital Care, Melsungen, D) und Applikationsnadeln (Spülkanülen Luer, Transcodent, Kiel, D) verwendet, um die Gefahr des Auftretens von Spülunfällen zu verhindern (SILVER et al. 2016). Die Länge der Luer-Lock-Spülkanüle wurde mithilfe eines Stoppers 2 mm kürzer als die definitive Aufbereitungslänge eingestellt. Mindestens nach jedem Feilenwechsel, zur Abschlussspülung und bei jedem erneuten Eröffnen des Zahnes im Zuge einer weiteren Behandlungssitzung erfolgte eine Wurzelkanalspülung mit NaOCl. Jeder Kanal wurde während der Aufbereitung mit mindestens 10 ml 3 %-igem NaOCl gespült. Die minimale Kontaktzeit der Spülflüssigkeit mit den Kanalwänden betrug über den Verlauf der gesamten endodontischen Behandlung mindestens 30 min. Für die Aktivierung der Spülflüssigkeiten wurde eine im Hochfrequenzbereich arbeitende Schallspitze aus Polyamid (EDDY™-Spülspitze, Fa. VDW GmbH, München, D) (Abb. 1) verwendet.

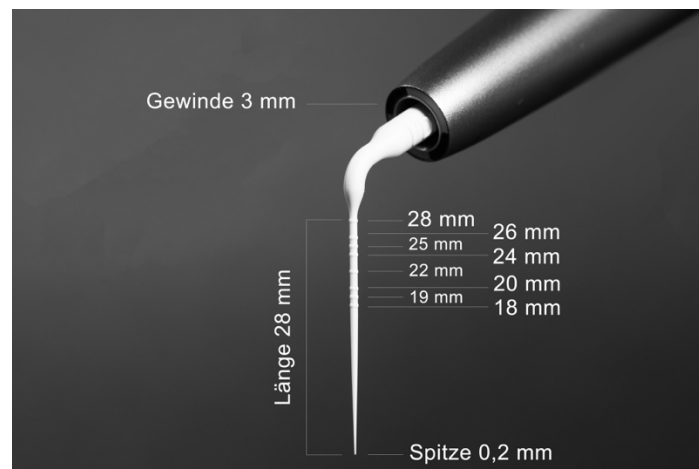


Abb. 1: Die im SONICflex Airscaler justierte EDDY™ Spülspitze. Dargestellt sind die Maße und Installation der Endo-Spülspitze im Airscaler.

Diese wurde durch den kompatiblen SONICflex Airscaler (SONICflex™ 2003 / L Airscaler, KaVo Dental GmbH, Biberach, D) angetrieben. Die Länge des Arbeitsteils beträgt 28 mm und der Durchmesser der Spitze 0,2 mm. Die Schallspitze hat eine Konizität von 2 %. Bevor die Schallspitze in die Wurzelkanäle eingeführt werden konnte, mussten diese mindestens mit einer ISO 25 Feile (Taper .06) aufbereitet worden sein. Die Arbeitslängenkontrolle erfolgte anhand der erhobenen Polyamidringe

am Arbeitsteil, welche ab einem Einführungsmaß von 18 mm angelegt sind. Die Schalldesinfektion wurde entsprechend einer standardisierten Vorgabe durchgeführt: Die Schallspitze wurde mit einer Frequenz von 6000 Hz bei einer maximalen Luftversorgung von 0,3 MPa (3 bar) nach Herstellervorgaben betrieben. In der Studie wurden die Schallspitzen 2 mm kürzer als die definitive Aufbereitungslänge eingestellt. Bei sehr gekrümmten Wurzelkanalanatomien wurde die Schallspitze, ohne diese zu knicken, leicht von Hand vorgebogen. Erst nach dem Einführen in den bereits mit Spülflüssigkeit gefüllten Wurzelkanal wurde die Schallspitze aktiviert und ohne manuellen Druck erfolgten zehn leichte Auf- und Abbewegungen. Dabei zählte das Ein- und Ausführen als ein Bewegungsvorgang. Im Rahmen der Abschlussspülung wurde der Wurzelkanal mit 3 %-igem NaOCl für 1 Minute gespült. Danach folgte der Einsatz von 17 %-iger EthylenDiaminTetraEssigsäure (EDTA-Lösung, SPEIKO® – Dr. Speier GmbH, Münster, D) oder 10 %-iger Zitronensäure (Kwas Cytrynowy, Cercamed, Kwiatkowskiego, PL). Im letzten Schritt erfolgte wieder eine Spülung mit 3 %-igem NaOCl für 1 Minute. Jede Spülung wurde mit der Schallspitze aktiviert.

2.10 Statistische Analyse

Nachdem komplementäre Hypothesen formuliert, eine Fallzahlkalkulation durchgeführt und alle entsprechenden Daten erfasst wurden, erfolgte die statistische Analyse. In der Studie wurden stetige Variablen, wie das Bestehen einer Schwellung oder eines Perkussionsschmerzes und diskrete Merkmale wie die Schmerzintensität erfasst. Aufgrund der verschiedenen Skalenniveaus, Merkmalsarten und Merkmalsniveaus wurden für die Auswertung unterschiedliche statistische Verfahren genutzt. Die Analyse der evaluierten Daten erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS (SPSS Statistics 25, IBM, New York, USA) und GraphPad Prism 6.0 (GraphPad Software, La Jolla, Kalifornien, USA).

Zur Untersuchung der Signifikanzen aller Variablen wurde im ersten Schritt ein Chi-Quadrat-Test nach Pearson durchgeführt, um die Signifikanzen der patienten-, behandler- und behandlungsspezifischen Einflussgrößen auf eine Wurzelkanalblutung bei der Schalldesinfektion zu bestimmen. Dabei wurde das Signifikanzniveau auf $p \leq 0,05$ festgelegt. Die demnach relevanten Einflussgrößen mit p-Werten kleiner oder gleich 0,05 wurden in diesem Schritt herausgefiltert. Es wurden zudem die relativen Risiken, Odds-Ratios und die entsprechenden Konfidenzintervalle ermittelt. Die

entsprechenden Einflussgrößen wurden darauffolgend im strukturprüfenden Verfahren der logistischen Regression für die Filterung von Confoundern analysiert. Da der t-Test und die einfaktorielle Varianzanalyse mehrere signifikante Einflussfaktoren lieferten und eine gegenseitige Abhängigkeit ausgeschlossen werden sollte, wurde dieses statistische Verfahren zur tiefgründigeren Analyse angewendet. Die allgemein zugrundeliegende logistischen Regressionsgleichung ist in Abbildung 2 zu erkennen.

$$P(K) = \frac{\exp(a_0 + a_1 x_1 + \dots a_n x_n)}{1 + \exp(a_0 + a_1 x_1 + \dots a_n x_n)} = \frac{1}{1 + \exp(-(a_0 + a_1 x_1 + \dots a_n x_n))}$$

Abb. 2: Mathematische Formel zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Abhängigkeit von den zu untersuchenden Variablen (x_0, x_1 etc.).

Auf der Grundlage dieser Gleichung wurde die Wahrscheinlichkeit P für die abhängige binäre Zielgröße K für jeden individuellen Fall ermittelt. Dabei stellt K das Ereignis einer Blutung in Abhängigkeit von den unabhängigen signifikanten Einflussgrößen ($x_1, \dots, x_n$) dar. Auf die Studie bezogen sind die unabhängigen signifikanten Einflussgrößen die patienten- und behandlungsspezifischen Variablen. Ziel und Funktionsweise des Verfahrens war es herauszufinden, ob die patienten- und behandlungsspezifischen unabhängigen Variablen einen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit haben, dass die Komplikation einer Blutung bei Verwendung der hochfrequenten Polyamid-Schallspitze eintritt und entsprechend den Wahrscheinlichkeitswert von 1 annimmt. Zudem konnte mit dem Verfahren die Gewichtung der Einflüsse ermittelt werden. Bestimmte signifikante Variablen wurden dabei schon vor der logistischen Regression aus der Analyse ausgeschlossen, da diese untereinander zu stark korrelierten und die weitere Inklusion sonst gegen die Grundregeln der Statistik verstoßen hätte. In Abbildung 3 ist die logistische Regressionsfunktion, angepasst an die statistische Auswertung der Studie, zu erkennen.

$$P(\text{Blutung}=1) = \frac{1}{1 + \exp -(a_0 + a_1 \cdot \text{Perkussionsschmerz} + a_2 \cdot \text{Schwellung} \dots a_n \cdot x_n)}$$

Abb. 3: Für die Studie angepasste Formel.

Die Zielgröße der Berechnung ist die Blutung im Kanal, diese hat eine binäre Ausprägung. Sie konnte nur zwei Zustände annehmen, die Werte 1, als Ausdruck für

eine Blutung im Kanal (Komplikation) oder 0, als Ausdruck für keine Komplikation (keine Blutung im Kanal). Über die logistische Transformation des logistischen Regressionsmodellansatzes wurde der Wertebereich für P auf größer, gleich 0 und kleiner, gleich 1 abgebildet, da Wahrscheinlichkeiten innerhalb dieses Wertebereichs liegen. Entsprechend wurde die Grundformel (Abb. 2) definiert, und die Funktionswerte wurden somit auf den genannten Zahlenraum limitiert. Die Regressionskoeffizienten ($a_0, \dots, a_n$) wurden mittels der Maximum-Likelihood-Methode durch SPSS (SPSS Statistics 25, IBM, New York, USA) geschätzt. Die Odds dieser Studie stellen das Verhältnis der Wahrscheinlichkeit einer Komplikation zur Gegenwahrscheinlichkeit einer ausbleibenden Komplikation dar. Durch die Transformation der Odds ($K_{1/0}$) in Logits (Abb. 4) wurde eine Linearisierung ermöglicht. Die sogenannten Logits dienen als Verbindungsfunktion zwischen der Wahrscheinlichkeit für die Komplikation und dem linearen Prädiktor, der das Produkt aus den Einflussgrößen (Perkussionsschmerz, Schwellung, ... x_n) und den Regressionskoeffizienten ($a_0, \dots, a_n$) darstellt. Schließlich wurde dann die Regressionsgleichung (Abb. 4) erstellt.

$$\text{logit}(P(K=1)) = a_0 + a_1 \cdot \text{Perkussionsschmerz} + a_2 \cdot \text{Schwellung} \dots a_n \cdot x_n$$

Abb. 4: Linearisierte Regressionsformel, angepasst an die Studie.

Ein wichtiges Entscheidungskriterium für den Ablauf der logistischen Regression war der Entschluss, in welcher Reihenfolge die Einflussfaktoren in das Modell aufgenommen werden sollten. Aufgrund der hohen Fallzahl wurde die Rückwärtseliminationsmethode des Einschlusses (Likelihood-Quotient) angewendet. Dieses Ausschlussverfahren resultiert auf der Grundlage höchster partieller Likelihood-Schätzungen, basierend auf der Wahrscheinlichkeit der Likelihood-Quotienten-Statistik.

3 Ergebnisse

Insgesamt wurden 334 Wurzelkanalbehandlungen, die in der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein (UKSH) durchgeführt und mit Hilfe des Datenmanagementsystems dokumentiert wurden, statistisch ausgewertet. Nacheinander wurden 350 Patienten anhand zuvor festgelegter Kriterien auf ihre Eignung zur Studienteilnahme überprüft. Schließlich erfüllten 334 Patienten*innen (176 männliche und 158 weibliche Probanden, Durchschnittsalter $50,03 \pm 18,01$ Jahre, Median 46 Jahre, 25-75. Perzentil 36-67 Jahre) die Einschlusskriterien, 16 konnten nicht in die Studie aufgenommen werden (Abb. 5).

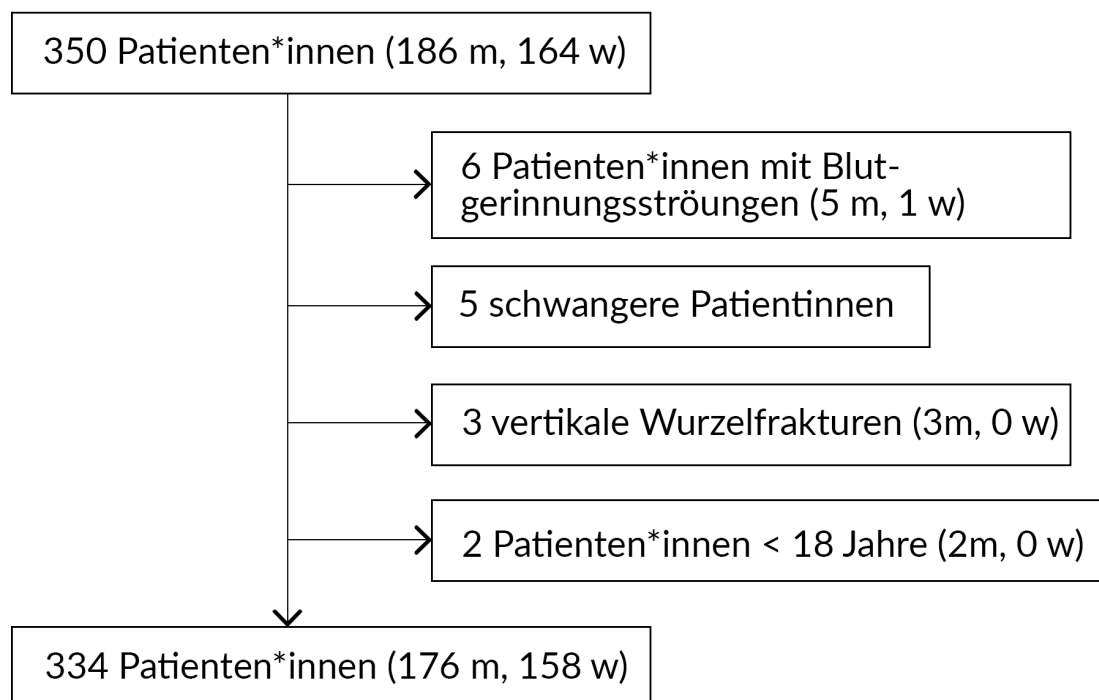


Diagramm 1: Flussdiagramm der in die Studie aufgenommenen und ausgeschlossenen Patienten*innen.

Insgesamt führten 91 Studierende 182, 4 Allgemeinmediziner*innen 15 und 2 Endodontologen 137 Wurzelbehandlungen durch. In 97 endodontischen Behandlungen wurde bei der Anwendung der Polyamidspitze eine Blutung im Wurzelkanal beobachtet.

Der Schwerpunkt der Untersuchung lag auf der Identifizierung von Faktoren, die bei der schallbasierten Desinfektion zu einer Blutung im Wurzelkanal führten. Die behandler-, patienten- und behandlungsspezifischen Parameter der in Tabelle 1 zusammengefassten Werte wurden untersucht.

Tabelle 1: Einfluss verschiedener behandler-, patienten - und behandlungsspezifischer Parameter auf das Auftreten einer Blutung bei Anwendung der Polyamid-Schallspitze.

Variablen	p-Werte
Behandlerspezifisch	
Behandlererfahrung	0.135
Patientenspezifisch	
Schwellung	0.003**
Perkussion	0.007**
Durchmesser der apikalen Aufhellung	0.011*
Ausgangsschmerzniveau	0.032*
Rötung	0.034*
Alter	0.058
Raucherstatus	0.076
Schmerzreduktion	0.086
Pathologie	0.207
Kompromitierte Heilung	0.699
Fistel	0.332
Geschlecht	0.904
Behandlungsspezifisch	
Verwendung eines dentalen Operationsmikroskopes	0.053
Kontinuierliche endodontische Längenmessung	0.133

a. Gesamtanzahl der analysierten Wurzelkanalbehandlungen (n = 334).

b. Signifikante p-Werte sind fett und mit einem oder deutliche Signifikanzen mit zwei Sternen markiert (Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

3.1 Der Einfluss der Behandlererfahrung auf das Auftreten einer Blutung

Die detaillierte Auswertung der Behandlergruppen führte zu mehreren Ergebnissen. Im Gesamtkontext gab es keine signifikanten Unterschiede ($p = 0.135$) bei der Untersuchung des Einflusses auf eine erhöhte Blutungsrate bei der Schalldesinfektion in Abhängigkeit von der Behandlererfahrung. Wie aus Diagramm 1 ersichtlich wird, war bei Zahnärzten/innen mit dem Tätigkeitsschwerpunkt Endodontie (35,0 %, n = 137), gefolgt von der Gruppe der Studierenden des zweiten klinischen Semesters

(29,6 %, n = 81), die höchste Behandlungszahl mit Wurzelkanalblutungen bei der Anwendung der Polyamid-Schallspitze zu beobachten.

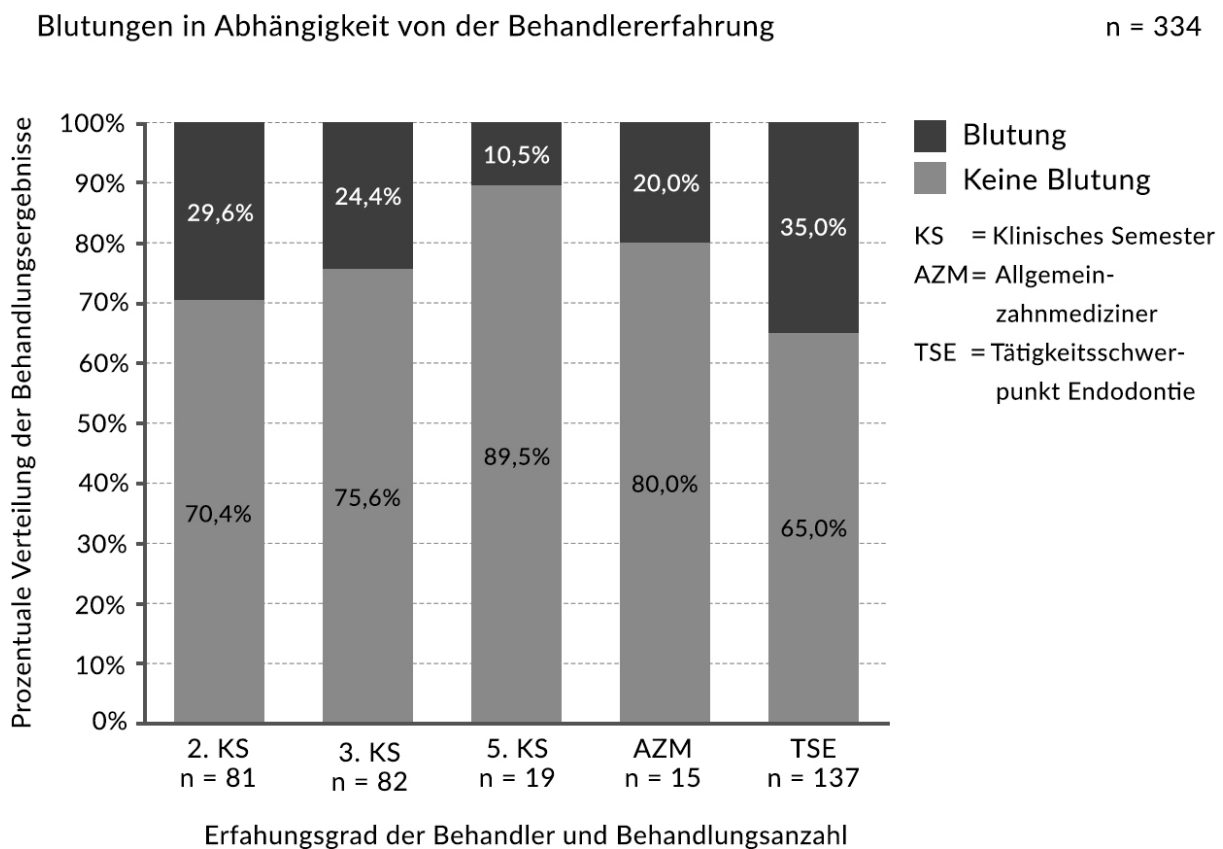


Diagramm 2: Prozentuale Verteilung der Behandlungen mit und ohne Blutung nach der Anwendung der Polyamid-Schallspitze in Abhängigkeit von der Erfahrung der Behandler.

Die Studierenden des fünften klinischen Semesters erzielten mit 10,5 % (n = 19) die niedrigste Komplikationsrate. Für die Allgemeinzahnärzte/innen ergab sich eine Komplikationsrate von 20,0 % (n = 15) bei der Anwendung der Schallspitze, sie bewegten sich damit ebenso wie die Studierenden des dritten klinischen Semesters (n = 82) mit einer Komplikationsrate von 24,4 % im Mittelfeld der Verteilung.

Deutlich erkennbar ist, dass bei der Anwendung der Schallspitze die Behandlungen ohne Blutungen mit steigendem Erfahrungsstand der Studierenden zunahmen: im zweiten klinischen Semester verliefen 70,4 % der Behandlungen ohne Blutungen, im dritten klinischen Semester 75,6 % und im fünften klinischen Semester 89,5 %. Die Blutungsfallzahl erhöhte sich mit zunehmendem Erfahrungsstand der approbierten Zahnärzte/innen. Allgemeinzahnmediziner/innen praktizierten in 80,0 % der

Behandlungen komplikationslos. Zahnärzte/innen mit dem Tätigkeitsschwerpunkt Endodontie wiesen die niedrigste Fallzahl ohne Blutungen auf (65 %).

3.2 Der Einfluss behandlungsspezifischer Parameter auf das Auftreten einer Blutung

3.2.1 Verwendung eines dentalen Operationsmikroskops

Die Verwendung eines dentalen Operationsmikroskops erfolgte in 167 Behandlungen. Dabei kam es in 34,1 % der Fälle ($n = 57$) zu Blutungen bei der Schalldesinfektion. Bei Behandlungen ohne Operationsmikroskop trat in 25,0 % der Fälle eine Blutung auf. Der exakte Test nach Fischer ergab keinen statistischen Zusammenhang ($p = 0,053$) zwischen diesem Parameter und dem Auftreten einer Blutung bei der Schalldesinfektion.

3.2.2 Kontinuierliche endodontische Längenmessung

Die Durchführung einer kontinuierlichen endodontischen Längenmessung erfolgte in 50 Behandlungen, wobei es in 38,0 % der Fälle ($n = 50$) zu Blutungen bei der Schalldesinfektion kam. Bei der Behandlung ohne kontinuierliche endodontische Längenmessung kam es in 27,5 % ($n = 78$) der Fälle zu Blutungen. Der exakte Test nach Fischer ergab keinen statistischen Zusammenhang zwischen diesem Parameter und dem Auftreten von Blutungen bei der Schalldesinfektion ($p = 0,133$).

3.3 Einfluss patientenspezifischer Parameter auf das Auftreten einer Blutung

3.3.1 Patientenalter

Die Altersverteilung in der Patientenpopulation reichte von 18 bis 94 Jahre. Das mittlere Alter lag bei 56,8 Jahren. Die 54- bis 79-Jährigen bildeten die größte Gruppe mit 60,7 %. Der männliche Populationsanteil lag mit 52,7 % geringfügig höher als der weibliche mit 47,3 %. Eine detaillierte Darstellung aller untersuchten Parameter wird zum Ende des Abschnitts 3.3.14.3 in Tabelle 2 präsentiert.

Das Alter der Patienten hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Blutung nach Anwendung der Polyamid-Schallspitze. Jedoch liegt die Signifikanz mit einem p-Wert von 0,06 nahe an der Signifikanzgrenze von $p \leq 0,05$. Aus Diagramm 2 wird scheinbar eine abnehmende Tendenz einer Blutungshäufigkeit mit zunehmendem Alter ersichtlich.

Blutungen im Bezug auf das Patientenalter

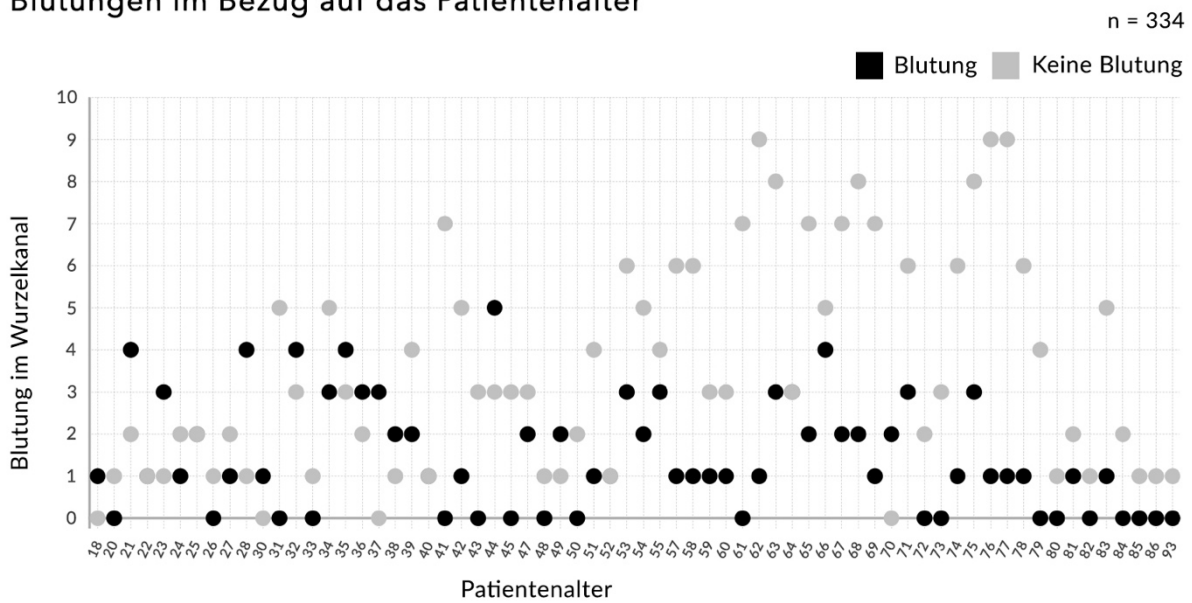


Diagramm 3: Numerische Verteilung der Behandlungen mit und ohne Blutung nach der Anwendung der Polyamid-Schallspitze mit Zuordnung zum Alter der Patienten.

Jedoch konnte dies statistisch nicht belegt werden. Insbesondere traten bei Patienten zwischen 18 und 30 Jahren Blutungen bei der Schalldesinfektion auf. Patienten ab einem Alter von 83 Jahren wiesen keine Blutung auf, jedoch gab es in dem aufsteigenden Altersbereich nur wenige Behandlungsfälle (1 %).

3.3.2 Geschlecht

An der Studie nahmen 158 weibliche und 176 männliche Patienten teil. Bei 29,5 % ($n = 52$) der männlichen und 28,5 % ($n = 45$) der weiblichen Patienten trat eine Blutung bei der Behandlung auf. Es ergab sich kein Zusammenhang zwischen dem Geschlecht des Patienten und der Blutungshäufigkeit bei der Schalldesinfektion ($p = 0,904$).

3.3.3 Raucherstatus

An der Studie nahmen 68,6% Nichtraucher (n = 214), 24,7 % Raucher (n = 77) und 6,7 % Ex-Raucher (n = 21) teil, die wiederum entsprechend den Empfehlungen des Robert-Koch-Instituts zur Vereinheitlichung der Erhebung des Rauchens in epidemiologischen Studien in Gelegenheitsraucher (n = 7), Gegenwärtige Raucher (n = 49), Ex-Raucher (n = 21) und Passivraucher (n = 3) eingeteilt wurden. Es konnte kein signifikanter Einfluss des Raucherstatus auf das Auftreten einer Blutung bei Anwendung der Schallspitze festgestellt werden ($p = 0,076$).

3.3.4 Kompromittierte Heilung

Der Anteil von Patienten mit einer kompromittierten Heilungsfähigkeit aufgrund von Erkrankungen wie z.B. Diabetes mellitus oder einer Chemotherapie lag bei 89,2 %. Die Untersuchung auf eine erhöhte Behandlungszahl mit Blutungen bei der schallbasierten Desinfektion zeigte keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,699$). Der Großteil (62,9 %) kompromittiert eingestufte Patienten (n = 210) wies keine Blutung bei der Behandlung auf. Ebenso verhielt es sich bei nicht kompromittierten Patienten, bei 27 Fällen trat keine Blutung auf, gegenüber 9 Fällen mit Blutung.

3.3.5 Ausgangsschmerz und Schmerzabnahme

In der Studie wurden 139 Patientenfälle mit Schmerzen unterschiedlicher Stärke vor Behandlungsbeginn dokumentiert. In 195 Fällen wurde kein Ausgangsschmerz diagnostiziert. Der Ausgangsschmerz stellte im Rahmen des Chi-Quadrat Tests einen signifikanten Zusammenhang ($p = 0,032$) zu Blutungen bei der Schalldesinfektion dar.

Im Rahmen der Studie wurde weiterhin der Einflussfaktor der Schmerzabnahme zwischen dem ersten und zweiten Behandlungstermin von 324 Patienten untersucht. Da 10 der behandelten Patienten keinen zweiten Behandlungstermin hatten, wurden sie nicht in diese Analyse eingeschlossen. Bei 126 Behandlungen kam es zu einer Schmerzabnahme, dabei traten bei 49 Patienten Blutungen auf. Die statistische Auswertung ergab keine signifikanten Werte für eine erhöhte Blutungsrate im Zusammenhang mit der Schalldesinfektion ($p = 0,086$).

3.3.6 Fisteln, intra- oder extraorale Rötungen und Schwellungen

In 4,5 % der 334 Fälle wurde klinisch eine Fistel in Verbindung mit dem endodontisch erkrankten Zahn diagnostiziert. In 38,1 % ($n = 8$) der Behandlungen von Patienten mit einer Fistel trat eine Blutung auf, bei Patienten ohne Fistel ($n = 89$) kam es in 28,4 % der Behandlungen zu Blutungen. Im Rahmen der Analyse zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang bei der Anwendung der Schalldesinfektion und dem Auftreten einer Blutung in Abhängigkeit von der Existenz einer Fistel ($p = 0,332$).

Es wurden 19 Fälle mit einer intra- oder extraoralen Rötung, die im Zusammenhang mit dem endodontisch betroffenen Zahn standen, diagnostiziert. In 52,6 % dieser Fälle ($n = 10$) trat während der Spülung mit der Polyamid-Schallspitze eine Blutung auf. Im Vergleich zur Gruppe ohne Rötungen ($n = 315$) wurde bei 28,3 % der Fälle eine Blutung beobachtet. Es konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Bestehen einer Rötung und einer bei der Schalldesinfektion auftretenden Blutung nachgewiesen werden ($p = 0,034$).

Im Rahmen der Befundung wurde bei 22 Patienten im Bereich des zu behandelnden Zahnes eine intra- oder extraoral vorliegende Schwellung festgestellt. In dieser Gruppe kam es in 59,1 % der Fälle ($n = 13$) zu einer Blutung bei der Schalldesinfektion. Bei 312 Patienten bestand vor Behandlungsbeginn keine Schwellung. In 26,9 % der Behandlungen von Patienten ohne Schwellung traten Blutungen auf. Es konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen Schwellungen und Blutungen im Rahmen der Schalldesinfektion bestätigt werden ($p = 0,003$).

3.3.7 Durchmesser der apikalen Aufhellung

Im Rahmen der Befundung wurden zudem 241 apikale Aufhellungen diagnostiziert. Neben Verbreiterungen des PA-Spaltes wurden apikale Aufhellungen mit Durchmessern bis zu 13 mm diagnostiziert. Der Chi-Quadrat Test zeigte einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen dem Durchmesser der apikalen Aufhellung und dem Auftreten einer Blutung bei der Schalldesinfektion ($p = 0,011$).

3.3.8 Perkussion

In 127 Behandlungen wurde eine Perkussionsempfindlichkeit des zu behandelnden Zahnes diagnostiziert. Bei 37,8 % (n = 48) der Behandlungen dieser Gruppe trat eine Blutung auf. In der Gruppe ohne Perkussionsempfindlichkeiten kam es in 23,7 % der Fälle zu einer Blutung. Es konnte eine signifikante Korrelation zwischen der Perkussionsempfindlichkeit und dem Auftreten von Blutungen bei der Schalldesinfektion nachgewiesen werden ($p = 0,007$).

3.3.9 Diagnose vor Behandlungsbeginn

In der Untersuchung ergab sich folgende Verteilung der Diagnosen vor Behandlungsbeginn: 49 Patienten mit einer Pulpitis (davon 48 irreversibel und 1 reversibel), 221 Behandlungen mit einer akuten apikalen Parodontitis (davon 172 mit und 49 ohne apikale Aufhellung), 56 Revisionen aufgrund einer insuffizienten Wurzelfüllung und einer klinischen Symptomatik. Es konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p = 0,207$) zwischen der Pathologie und dem Auftreten von Blutungen bei der Schalldesinfektion nachgewiesen werden.

3.3.10 Weiterführende Analyse der Signifikanz und Odds-Ratio kategorialer Variablen

Bei der Analyse der binären patientenspezifischen Variablen stellten sich die Parameter Vorliegen einer extra- oder intraoralen Schwellung ($OR = 3,92$; $p = 0,003$), einer extra- oder intraoralen Rötung ($OR = 2,91$; $p = 0,034$) und einer Perkussionsempfindlichkeit des behandelten Zahnes ($OR = 1,96$; $p = 0,007$) als signifikante Einflussfaktoren auf eine entsprechend der Odds-Ratios erhöhte Blutungschance bei der Anwendung der Schallspitze heraus (Diagramm 4).

Analyse der Signifikanz und Odds-Ratio kategorialer Variablen

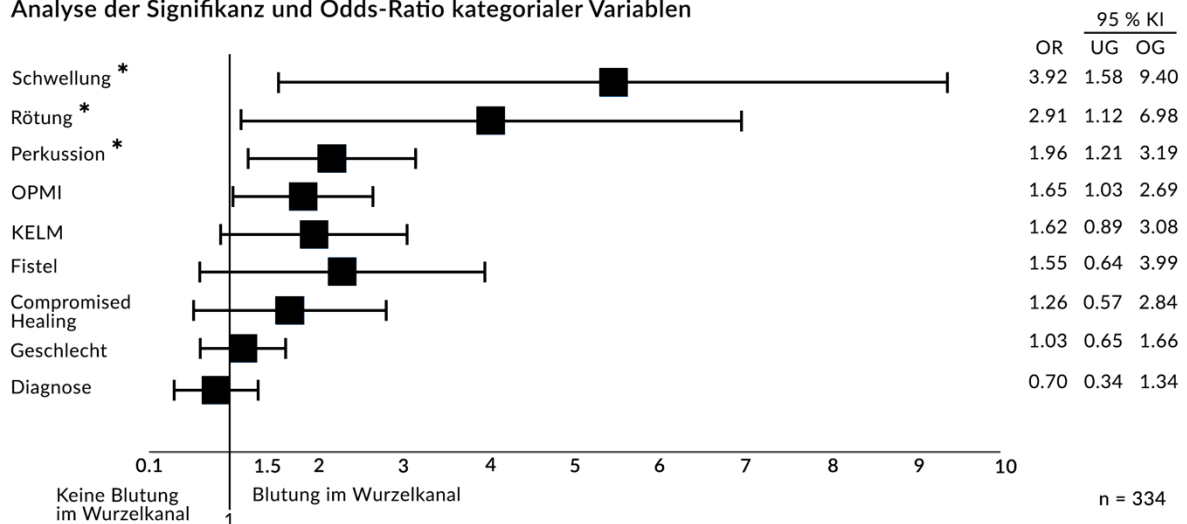


Diagramm 4: Forest-Plot über die kategorialen Variablen, ihrer Signifikanz (*), Odds-Ratio (OR) und Konfidenzintervalle (KI) mit unterer (UG) und oberer (OG) Grenze. OPMI: Operationsmikroskop, KELM: Kontinuierliche endodontische Längenmessung.

Die Verwendung eines dentalen Operationsmikroskops unabhängig von der Behandlergruppe steht in keinem signifikanten Zusammenhang mit dem Auftreten einer Blutung (OR = 1,65; $p = 0,053$). Dies trifft auch auf die Durchführung der Wurzelkanalbehandlung mit einer kontinuierlichen endodontischen Längenmessung durch approbierte Zahnärzte/innen zu (OR = 1,62; $p = 0,133$).

Das Vorliegen einer Fistel (OR = 1,55; $p = 0,332$), eine kompromittierte Heilung (OR = 1,26; $p = 0,699$), das Geschlecht der Patienten (OR = 1,03; $p = 0,904$) sowie die vorliegende endodontische Diagnose (OR = 0,70; $p = 0,207$) haben keinen signifikant erhöhten Einfluss auf das Auftreten einer Blutung. Jedoch wird aus dem Diagramm 4 auch deutlich, dass alle Parameter mit Ausnahme der Pathologie (Diagnose) des endodontisch behandelten Zahnes im Forest Plot rechtsverschoben erscheinen. Folglich zeigt sich, dass eine Diskussion der Variablen als potenzielle Einflussfaktoren im Gesamtkontext von Relevanz ist, welche den hohen p-Werten gegenübergestellt werden müssen.

3.3.11 Ergebnisse der logistischen Regression

Die signifikanten Variablen der Kontingenztabellenanalyse Vorliegen einer intra- oder extraoralen Schwellung, einer intra- oder extraoralen Rötung,

Perkussionsempfindlichkeit, Durchmesser der apikalen Aufhellung und Ausgangsschmerz vor Behandlungsbeginn wurden mittels der weiterführenden logistischen Regression tiefgreifend analysiert. Die Ergebnisse sind im Forest-Plot (Diagramm 4) dargestellt.

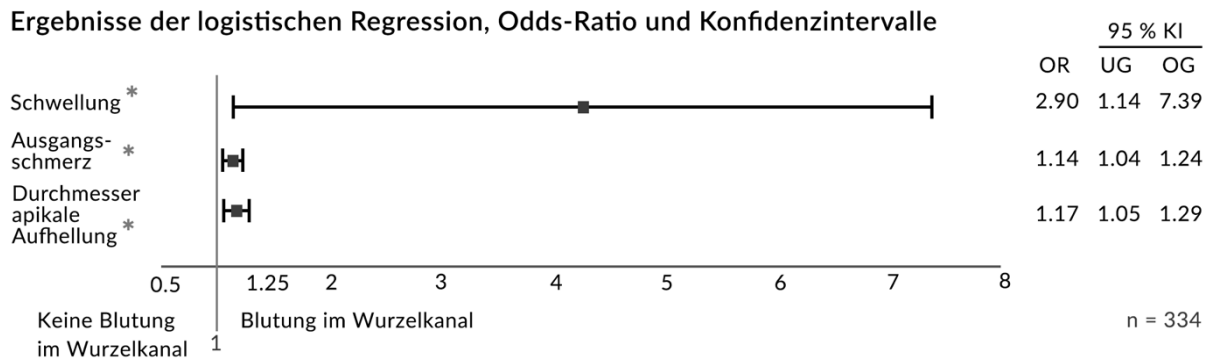


Diagramm 5: Forest-Plot über die signifikanten Variablen (*) der Studie nach Durchführung der logistischen Regressionsanalyse. Darstellung der zugehörigen Odds-Ratio (OR) und Konfidenzintervalle (KI), UG: untere Grenze, OG: obere Grenze der Konfidenzintervalle.

Dabei stellten sich die Perkussionsempfindlichkeit des Zahnes und das Vorliegen von intra- oder extraoralen Rötungen als Confounder dar und wurden folglich als insignifikante aber im indirekten Zusammenhang stehende Variablen herausgefiltert. Wie dem Forest Plot (Diagramm 4) zu entnehmen ist, stellen das Vorhandensein von Schwellungen, der Ausgangsschmerz und die Größe der apikalen Aufhellung als signifikante Einflussgrößen eine erhöhte Chance auf eine Blutung dar. Die höchste Odds-Ratio (OR = 2,90) weist der Parameter Schwellung auf. Beim Vorliegen dieses klinischen Befundes bestand eine 2,9-fach erhöhte Chance für das Auftreten einer Blutung im Wurzelkanal bei Anwendung der Polyamid-Schallspitze. Jedoch ist hinzuzufügen, dass das Konfidenzintervall (95 % KI, OR = 1,14 - 7,39) im Vergleich mit den beiden anderen Parametern, Ausgangsschmerz (OR = 1,14; 95 % KI = 1,04 – 1,24) und Durchmesser der apikalen Aufhellung (OR = 1,17; 95 % KI = 1,05 – 1,29), groß ist.

3.3.11.1 *Korrelation von Schwellungen und Blutungen nach Anwendung der Polyamid-Schallspitze*

Beim Vorliegen einer Schwellung vor Behandlungsbeginn traten in 59 % der endodontischen Behandlungen Blutungen auf. Wurden keine Schwellungen vor Behandlungsbeginn beobachtet, dann trat nur in 27% der Fälle eine Blutung nach dem Einsatz der Schallspitze auf. Das Balkendiagramm (Diagramm 5) zeigt die deutliche Verteilung der Fälle. Der Chi-Quadrat Test ($p = 0,003$) und die logistische Regressionsanalyse ($p = 0,026$) lieferten signifikante Ergebnisse. Bei der Berechnung des relativen Risikos zeigte sich zudem ein engeres Konfidenzintervall (untere Grenze 1,392 – obere Grenze 3,066) als bei den Berechnungen zur Odds-Ratio (untere Grenze 1,575 – obere Grenze 9,396). Tendenziell zeigt die logistische Regression eine Verringerung der Odds-Ratio um 1,024 von ursprünglich 3,921 auf 2,897 und der Signifikanz (+ 0,0233) auf 0,026. Folglich kann man eine kleinere, aber trotzdem deutliche Chance auf eine Blutung bei der Schalldesinfektion im Gesamtzusammenhang vermuten.

Auftreten von Blutungen im Bezug auf Schwellungen

n = 334

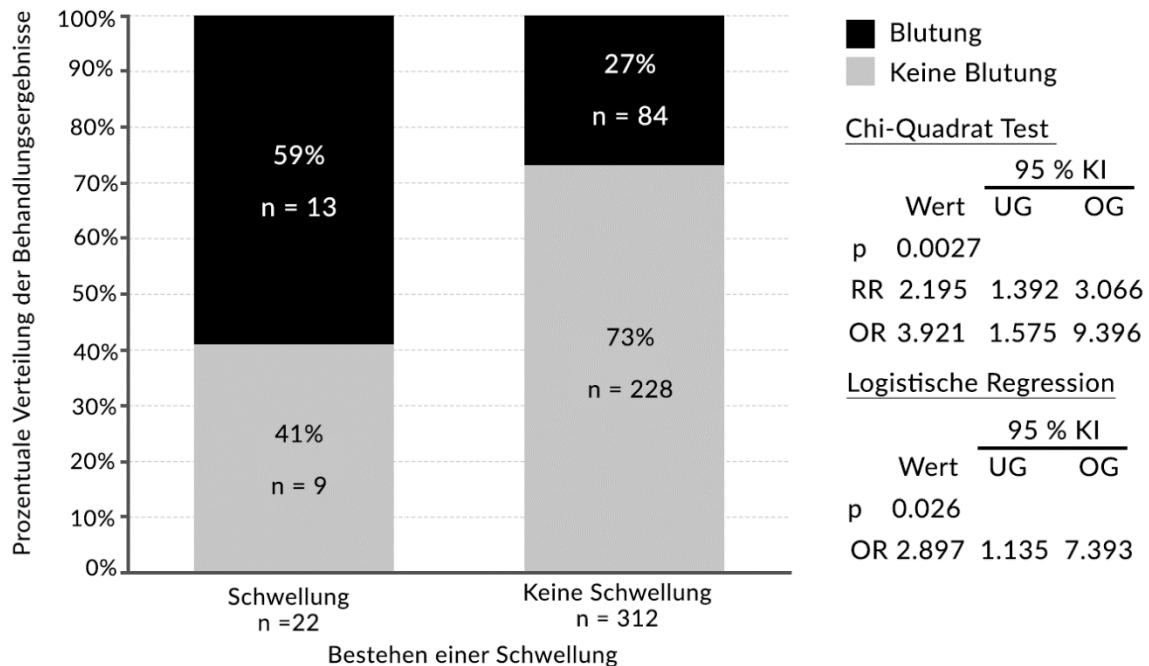


Diagramm 6: Balkendiagramm über die prozentuale Verteilung der Behandlungen mit und ohne Blutungen in Abhängigkeit von dem Bestehen einer extra- oder intraoralen Schwellung. Darstellung der Signifikanz (p), des Relativen Risikos (RR) und der Odds-Ratio (OR).

3.3.11.2 Korrelation zwischen dem Ausgangsschmerzniveau und Blutungen nach Anwendung der Polyamid-Schallspitze

Einen weiteren signifikanten Einflussfaktor stellte das Ausgangsschmerzniveau vor dem Behandlungsbeginn dar. Anhand der Befragung der Patienten, basierend auf der numerischen Rating-Skala, wurde die Schmerzintensität erfasst. Die Analyse der Ausgangsschmerzlevels (siehe Diagramm 6) zeigt, dass eine Schmerzintensität von 4 bis 6 (n = 43) mit einer erhöhten Häufigkeit (45 - 56 %) für Blutungen im Wurzelkanal nach Anwendung der Schallspitze verbunden war.

Auftreten von Blutungen im Bezug auf das Ausgangsschmerzniveau bei Aufnahme des Patienten

n = 334

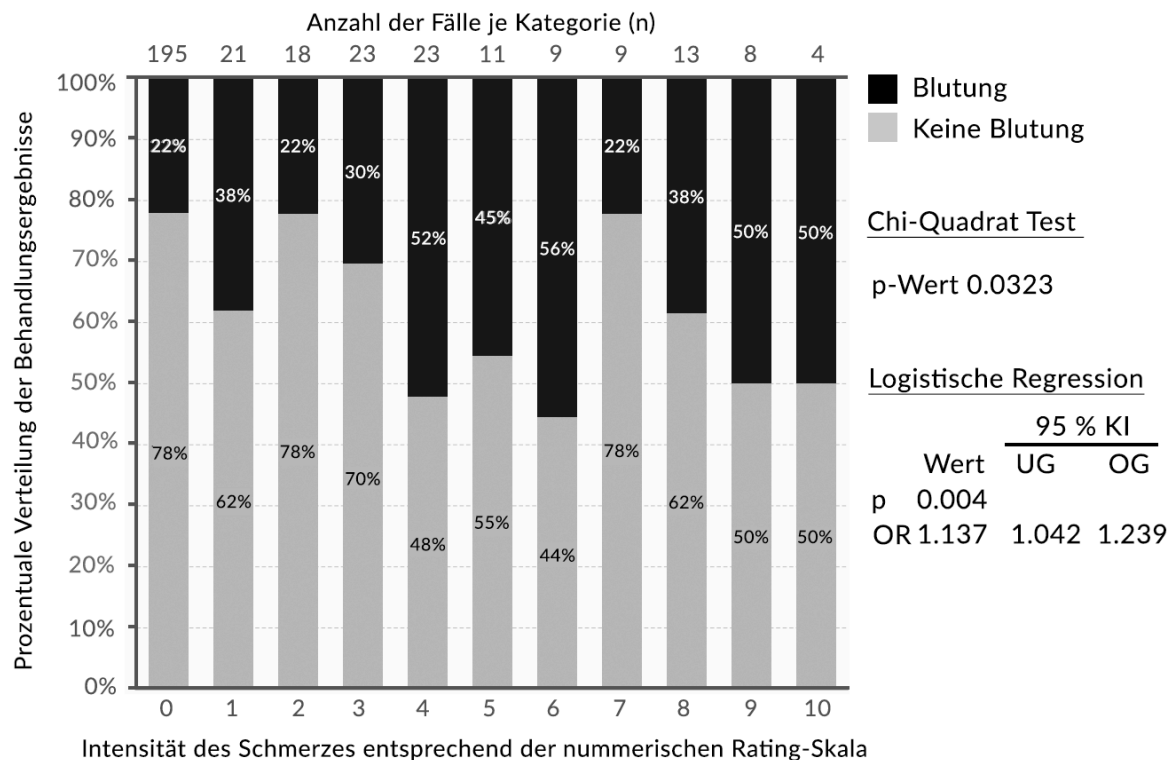


Diagramm 7: Balkendiagramm über die prozentuale Verteilung der Fälle mit und ohne Blutungen in Abhängigkeit vom Ausgangsschmerz, Signifikanz (p) und Odds-Ratio (OR).

Ebenso traf dies mit einer Komplikationsrate von 50 % auf sehr starke Schmerzen von 9 (n = 8) und 10 (n = 4) Einheitswerten zu.

Vergleichsweise ist eine Zunahme der Chance auf eine Blutung (OR = 0,137) mit mittleren und sehr starken Schmerzen erkennbar. Gestützt wird dieses Ergebnis durch das enge Konfidenzintervall (95 % KI 1,042 – 1,239). Bei stärkeren Ausgangsschmerzen mit dem Wert 7 (n = 9) traten in 22 % der Fälle Blutung bei der Schallspülung auf, bei einer Schmerzintensität von 8 (n = 13) kam es in 38 % der Fälle zu Blutungen. Insbesondere zeigte sich bei Patienten mit geringeren Schmerzen im Bereich von 1 bis 3 (n = 62) eine verhältnismäßig niedrige prozentuale Fallzahl (22 – 38 %) von Behandlungen mit Blutungen bei Anwendung der Polyamid-Schallspitze. Ebenso sind die 197 schmerzfreien Patienten einzuordnen (22 % der Behandlungen mit Blutungen).

3.3.11.3 Korrelation zwischen dem Durchmesser der apikalen Aufhellung und Blutungen nach Anwendung der Polyamid-Schallspitze

Die Auswertung der Daten zum Durchmesser der apikalen Aufhellung und Blutungen nach der Schalldesinfektion ergab, dass Behandlungen bei kaum messbarer apikaler Aufhellung mit dem Wert 0 mm zu keiner Blutung führten (siehe Diagramm 7).

Auftreten von Blutungen in Bezug auf den Durchmesser der apikalen Aufhellung

n = 241

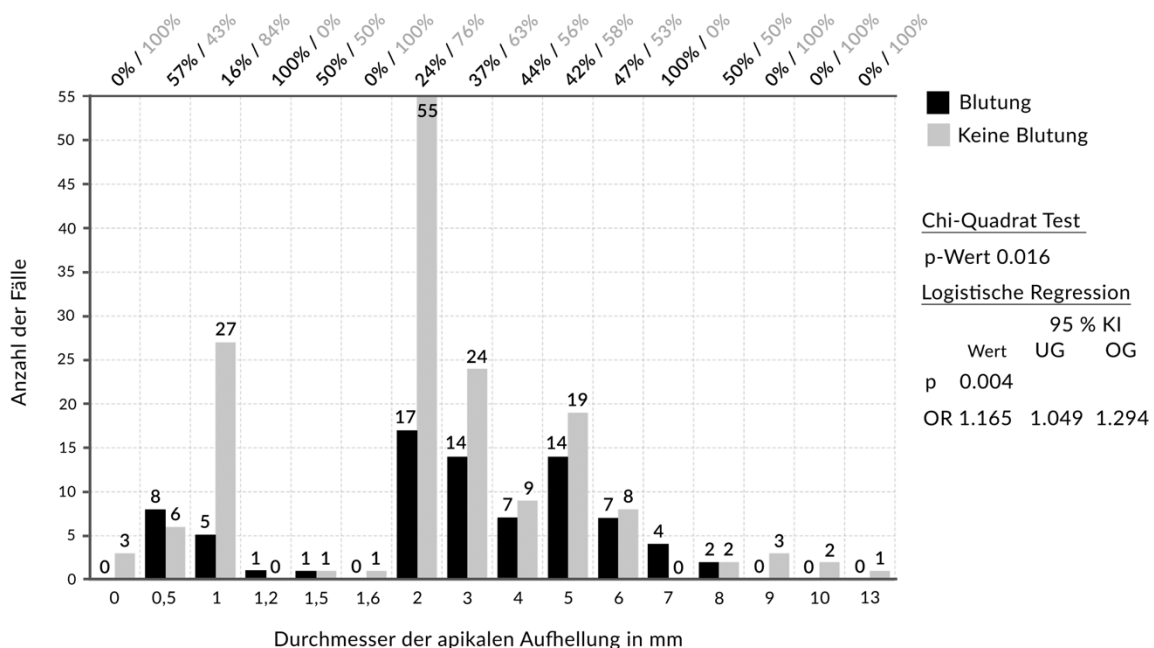


Diagramm 8: Balkendiagramm über die numerische und prozentuale Verteilung der Fälle mit und ohne Blutungen in Abhängigkeit vom Durchmesser der apikalen Aufhellung. Darstellung der Signifikanz (p) und Odds-Ratio (OR).

Doch bereits bei gerade sichtbaren apikalen Aufhellungen, welche mit einem Durchmesser von 0,5 mm angegeben wurden, trat eine Blutung in 57 % der Fälle auf (n = 22). Im Rahmen der Studie fiel eine vergleichsweise erhöhte Blutungsrate von 42 % bis 100 % bei Durchmessern der apikalen Aufhellungen im Bereich von 4 mm bis 8 mm (n = 72) auf. Bei sehr großen apikalen Aufhellungen traten keine Blutungen bei der Schalldesinfektion auf. Das Diagramm 7 zeigt den Zusammenhang komplikationsfreier Behandlungen ab einem Durchmesser von 9 mm (100 % der Fälle) bis zum maximal gemessenen Durchmesser von 13 mm.

Tabelle 2: Darstellung des Einflusses verschiedener behandler-, patienten- und behandlungsspezifischer Variablen auf das Auftreten einer Blutung bei Anwendung der Polyamid-Schallspitze.

Variablen	Blutung	Keine Blutung	p-Werte
Behandlerspezifisch			
Behandler			0.135
2. Klinisches Semester	24	57	
3. Klinisches Semester	20	62	
5. Klinisches Semester	2	17	
Allgemeinzahnarzt/ärztin	3	12	
Tätigkeitsschwerpunkt Endodontie	48	89	
Patientenspezifisch			
Alter (n=334)			0.058
Geschlecht (n=334)			0.904
Männlich	52	124	
Weiblich	45	113	
Raucherstatus (n=291)			0.076
Nichtraucher	65	149	
Ex-Raucher	6	15	
Gelegenheitsraucher	2	5	
Gegenwärtiger Raucher	11	38	
Passivraucher	3	0	
Kompromittierte Heilung (n=334)			0.699
Ja	88	210	
Nein	9	27	
Ausgangsschmerz (n=334)			0.032*
0	43	152	
1	8	13	
2	4	14	
3	7	16	
4	12	11	
5	5	6	
6	5	4	
7	2	7	
8	5	8	
9	4	4	
10	2	2	
Schmerzreduktion (n=324)			0.086
0	45	153	
1	11	14	
2	4	16	
3	7	13	
4	7	10	
5	4	3	
6	5	5	
7	3	7	
8	3	4	
9	4	4	
10	1	1	
Rötung (n=334)			0.034*
Ja	10	9	
Nein	87	228	
Schwellung (n=334)			0.003**
Ja	13	9	
Nein	84	228	
Fistel (n=334)			0.332
Ja	8	13	

Nein	89	224	
Perkussion (n=334)			0.007**
Positiv	48	79	
Negativ	49	158	
Durchmesser der apikalen Aufhellung in mm (n=241)			0.011*
0	0	3	
0.5	8	6	
1	5	27	
1.2	1	0	
1.5	1	1	
1.6	0	1	
2	17	55	
3	14	24	
4	7	9	
5	14	19	
6	7	8	
7	4	0	
8	2	2	
9	0	3	
10	0	2	
13	0	1	
Pathologie (n = 326)			0.207
Insuffiziente Wurzelfüllung	19	37	
Reversible Pulpitis	0	1	
Irreversible Pulpitis	17	31	
Nekrose ohne apikale Aufhellung	8	41	
Nekrose mit apikaler Aufhellung	52	120	
Behandlungsspezifisch (n = 334)			0.053
Verwendung des Operationsmikroskopes(n=334)			
Ja	57	110	
Nein	40	127	
Kontinuierliche endodontische Längenmessung (n=334)			0.133
Ja	19	31	
Nein	78	206	

- a. Gesamtanzahl der analysierten Wurzelkanalbehandlungen (n = 334), Fälle mit Blutung (n= 97).
- b. Signifikante p-Werte sind fett und mit einem oder deutliche Signifikanzen mit zwei Sternen markiert (Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).
- c. Sofern die Zahl der erfassten Fälle bei einzelnen Parametern kleiner als die Gesamtanzahl ist, resultiert dies aus der Art des Parameters, der nur auf bestimmte Fälle anwendbar ist oder wenn keine Angaben zu einem Parameter gemacht wurden.
- d. Die Tabelle umfasst nicht die Ergebnisse der finalen logistischen Regression, sondern nur der einfachen p-Wert Berechnungen.

4 Diskussion

Die Endodontie ist ein eminenter Grundpfeiler der konservierenden Zahnheilkunde. Durchschnittlich 7 Millionen endodontische Behandlungen werden jährlich durchgeführt, zugleich nimmt die Zahl der Extraktionen seit 1992 kontinuierlich ab, von ca. 16,9 auf 12,4 Millionen im Jahr 2018 (BUNDESVEREINIGUNG 2019). Der normative Anspruch endodontischer Behandlungen besteht darin, dass eine physikalische und chemische Desinfektion des Wurzelkanalsystems zur Erhaltung endodontisch erkrankter Zähne durchgeführt wird (ENDODONTOLOGIE 2006). Die komplexen Strukturen und unterschiedlichen Anatomien des Wurzelkanalsystems mit zahlreichen Seitenkanälchen und die Vielfalt der pathologischen Mikroorganismen stellen dabei eine Herausforderung an die Endodontie dar (MOHAMMADI & ABBOTT 2009, VILLALTA-BRIONES et al. 2021). Eine vollständige Desinfektion des gesamten Endodonts ist mit den bisherigen Techniken noch nicht möglich (MOHAMMADI et al. 2017, NASCIMENTO et al. 2021).

Viele der bisherigen Studien sind auf die Untersuchung der Parameter Erfolg oder Misserfolg einer endodontischen Behandlung ausgerichtet (ZEHNDER 2006, NG et al. 2011b, a, CHUBB 2019, PANARIELLO et al. 2021). Dabei wird jedoch der Begriff Erfolg sehr uneinheitlich in der Forschung definiert (BENDER et al. 1966, ORSTAVIK 1996, ESTEFAN et al. 2016, CHUBB 2019). In einer Studie von Ng et al. (NG et al. 2011b) wurde die periapikale Heilung als Erfolg einer endodontischen Behandlung definiert. Die Studie kam unter anderem zu dem Ergebnis, dass kleinere periapikale Aufhellungen und kein auftretendes Flare-Up (Schmerzen oder Schwellungen) zwischen den Behandlungen signifikante Faktoren für eine periapikale Heilung sind. In weiteren Studien wurden Surrogatparameter wie die Keimbelastung im Wurzelkanal vor und nach der Behandlung als Erfolgsparameter bestimmt (NEUHAUS et al. 2016, HAUPT et al. 2020). Doch es gibt kaum Untersuchungen zur Bestimmung von Faktoren, welche im Zusammenhang mit endodontischen Behandlungsformen zu Komplikationen, wie z.B. Blutungen, führen.

In dieser prospektiven Studie wird die Korrelation von 15 behandler-, patienten- und behandlungsspezifischen Faktoren zum Auftreten einer Blutung bei der chemisch-physikalischen Schalldesinfektion untersucht. Erstmals wurde dabei der Einfluss des Erfahrungslevels der Behandler und patientenspezifische Parameter auf das Auftreten

einer Blutung bei der Schalldesinfektion evaluiert. In der Studie wurde eine im Hochfrequenzbereich arbeitende Spülspitze aus Polyamid zur Aktivierung der Spülflüssigkeiten verwendet. Es konnten insgesamt 334 Wurzelkanalbehandlungen mithilfe eines neu programmierten Datenmanagementsystems erfasst und ausgewertet werden. In 97 Wurzelkanalbehandlungen kam es zu Blutungen bei der Anwendung der Polyamid-Schallspitze.

4.1 Diskussion von Material und Methoden

Um den Ansprüchen an eine endodontische Behandlung gerecht zu werden, gibt es viele Faktoren zu beachten (ØRSTAVIK et al. 2004, AZIM et al. 2021, ZHANG et al. 2021). Durch eine Behandlungszahl von 334 Fällen, verteilt auf einen breiten Altersbereich von 18 bis 94 Jahren, konnten aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden. Die anhand der Fallzahlkalkulation berechnete Stichprobengröße ($n = 260$) zuzüglich geplanter Dropouts konnte eingehalten werden. Daher hat die Studie eine entsprechende Power. Die relativ gleichmäßige Geschlechtsverteilung mit 52,7 % männlichen ($n = 176$) und 47,3 % weiblichen ($n = 158$) Patienten ermöglichte es, allgemein aussagekräftige Auswertungen durchzuführen. Darüber hinaus ermöglichten Einführungsseminare für das Datenmanagementsystem, die einheitliche Dokumentation durch Nutzung dieses Programms und das vorgegebene Spülprotokoll einen hohen Grad der Standardisierung.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sollten jedoch vor dem Hintergrund ihrer Einschränkungen sorgfältig interpretiert werden. Zum einen nahmen an der vorliegenden Untersuchung eine ungleiche Anzahl von Zahnärzten*innen jeder Leistungsstufe teil, wie es in einem normalen Universitätsklinikum üblich ist. Zum anderen wurden die Patienten/Innen den Ärzten nach dem Zufallsprinzip entsprechend ihrer Behandlungskapazität zugewiesen. Eine Verblindung von Behandlern und Patienten war aus praktischen und ethischen Gründen (Aufklärung und Einwilligung der Behandler bzw. Patienten) nicht möglich. Darüber hinaus handelt es sich hier um eine monozentrische Studie, die die Behandlungssituation an einer einzigen deutschen Universitätsklinik widerspiegelt. Die Anfertigung der Röntgenbilder (Röntgenzahnfilme im orthoradialen Strahlengang) erfolgte in dieser Studie durch viele verschiedene Behandler an unterschiedlichen Standorten. Die Verwendung

unterschiedlicher Röntgengeräte und Abweichungen in der Aufnahmetechnik können dabei zu Unterschieden in der Messgenauigkeit und damit zu einer reduzierten Vergleichbarkeit der Ergebnisse geführt haben. Die Messung der apikalen Aufhellungen erfolgte jedoch einheitlich digital mithilfe des Programms Xero Viewer (XERO Viewer, Agfa HealthCare N.V., Belgium). Und als abschließende Einschränkung ist zu erwähnen, dass die Angaben der Patienten*innen zu der von ihnen empfundenen Schmerzintensität ein nur bedingt vergleichbarer Parameter sind. Die Patienten gaben ihr Schmerzempfinden zwar anhand einer wissenschaftlich etablierten numerischen Ratingskala an (WILLIAMSON & HOGGART 2005, FERREIRA-VALENTE et al. 2011), doch bleiben diese Ergebnisse subjektiv und könnten durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden, einschließlich einer geschlechts- (DANCE 2019) und altersabhängigen (LAUTENBACHER et al. 2017) Schmerzwahrnehmung.

4.1.1 Behandlerpopulation

Die große Anzahl unterschiedlicher Behandler (n = 139) von Studierenden des zweiten klinischen Semesters bis zu Zahnärzten/innen mit dem Tätigkeitsschwerpunkt Endodontie spiegelte eine umfangreiche Breite an verschiedenen Erfahrungsstufen wider. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die tatsächliche Situation in zahnärztlichen Praxen mit ausschließlich approbierten Zahnärzten/innen könnte hinterfragt werden. In der Studie sind Unterschiede in den prozentualen Anteilen an Fällen mit Komplikationen je nach Behandler zu erkennen, so zeigen Zahnärzte/innen mit dem Tätigkeitsschwerpunkt Endodontie die höchste Anzahl an Fällen mit einer Komplikation (35,04 %). Dabei sollte aber beachtet werden, dass diese Zahnarztgruppe die komplexesten endodontischen Fälle (Revisionen, apikal weite Kanäle) behandelt hat und diese wiederum oftmals signifikante Komplikationsfaktoren aufwiesen. Zudem zeigte die statistische Auswertung, dass kein signifikanter Einfluss ($p = 0,135$) der Ausbildungsstufe des Behandlers hinsichtlich des Auftretens einer Blutung beim Einsatz der Polyamid-Schallspitze während der Wurzelkanalinfektion zu erkennen war.

Die Behandler dokumentierten anhand des Datenmanagementsystems mehr als 150 Daten je Behandlung. Ihnen war bewusst, dass die Studie Parameter im Zusammenhang mit der Polyamid-Schallspitze untersuchte. Im Vordergrund stand die korrekte Durchführung der Wurzelkanalbehandlung nach Klinikstandard. Die

Bedingungen einer Doppelblindstudie konnten zwar nicht erfüllt werden und folglich ist der Rosenthal-Effekt (Versuchsleiterfehler) nicht auszuschließen, jedoch ist er als gering zu betrachten.

4.1.2 *Patientenpopulation*

Die Auswahl der Patienten erfolgte nicht durch eine enge Definition von Kriterien. Die Entwicklung und Anwendung des selbst programmierten Datenmanagementsystems standen im Vordergrund dieser Studie. Dies führte bewusst zur Entwicklung einer sehr heterogenen Patientengruppe mit entsprechend hoher Datenquantität. Darüber hinaus ermöglichte dies, Erkenntnisse über viele Einflussfaktoren zu gewinnen, die wiederum in spezifischeren Studien untersucht werden können. Der qualitative Anspruch der Studie wurde durch die Definition entsprechend erwähnter Ausschlusskriterien gewährleistet. Die Erfüllung ethischer Normen und die klinischen Qualitätsansprüche an endodontische Behandlungen schlossen eine Kontrollgruppe aus, die ohne eine schallbasierte Desinfektion behandelt wurde. Die Aktivierung der Spülflüssigkeit ist nach den aktuellen Erkenntnissen sehr wirksam (URBAN et al. 2017, EGGMANN et al. 2020, GÜMÜŞ & DELIKAN 2021) und wird von den bereits erwähnten Leitlinien beschrieben.

4.1.3 *Statistische Analyse*

Im Rahmen der statistischen Auswertung aller erhobenen Daten wurde bewusst über die Analyse von signifikanten Werten hinaus deren Einfluss aufeinander mittels logistischer Regression analysiert und folglich Confounder herausgefiltert. Die statistische Auswertung bediente sich des Chi-Quadrat-Tests nach Pearson, des exakten Tests nach Fischer, des einfachen t-Tests und einer einfaktoriellen Varianzanalyse, welche vorerst zu einigen signifikanten Ergebnissen führte. Diese Werte wurden kritisch hinterfragt und theoretische Zusammenhänge wurden formuliert. Entsprechende Parameter wurden dann in der weiterführenden logistischen Regressionsanalyse bestätigt oder herausgefiltert, um abschließend die tatsächlichen verbleibenden signifikanten Einflussfaktoren widerspruchsfrei darzustellen. Somit konnten signifikante direkte Faktoren von Confoundern statistisch und logisch übereinstimmend abgegrenzt werden. Aufgrund der hohen Fallzahl wurde die

logistische Regression zudem im Rahmen der Rückwärtseliminationsmethode des Einschlusses (Likelihood-Quotient) durchgeführt.

4.1.4 Datenmanagementsystem

Die der Studie vorausgegangene umfangreiche Programmierung eines komplexen Datenmanagementsystems durch den Doktoranden ergab zudem zahlreiche qualitative Vorteile im Rahmen der Untersuchungen. Eine vorausgehende Testphase des Programms zur Vermeidung von Programmfehlern fand vor Studienbeginn statt. Alle Behandler wurden mit dem digitalen System zu Beginn dieser Studie vertraut gemacht und über die Definitionen der einzelnen Faktoren aufgeklärt. Dazu hielt der Doktorand in jedem Semester Einführungs- und Wiederholungsseminare. Darüber hinaus betreute der Doktorand unter Aufsicht der approbierten Zahnärzte/innen die Studierenden im Rahmen der Zwischen- und Endabnahme der Datenerfassung. Es erfolgten zusätzlich wöchentliche bis monatliche Datenqualitätskontrollen, um Fehler in der Datenverarbeitung bei neuen Behandlern zu verhindern. Alle für die Forschung relevanten Daten wurden dabei zentral erfasst. Die individuell auf die Behandlung abgestimmte Benutzeroberfläche bot eine personalisierte und zeitsparende Dokumentation. Dies ermöglichte eine wichtige Grundlage für eine effizientere Kommunikation und auswertbare Behandlungsergebnisse. Vorgegebene Auswahlmöglichkeiten und Definitionen der Art und Länge der einzelnen Untersuchungsparameter (Zahlenfelder, Textfelder, Skalen, Kalender) ermöglichten eine sinnvolle statistische Auswertung. Zusätzliche Freitextfelder gaben jedem Behandler die Möglichkeit weitere Anmerkungen festzuhalten und Besonderheiten bei der Auswertung entsprechend zu beachten. Zusammenfassend konnte somit eine außerordentlich hohe Datenqualität gewährleistet werden. Die Einführung des Programms in allen Behandlungsbereichen der konservierenden Zahnheilkunde der Zahnklinik des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein führte zur Teilnahme vieler Behandler und folglich zu einer hohen Datenquantität. Regelmäßige Datensicherungen und ein speziell entwickeltes Registrierungssystem mit unterschiedlichen Zugriffsrechten der Benutzer ermöglichten ein effizientes Datenmanagement und eine hohe Datensicherheit. Weitere Vorteile bot die schnelle Auswertbarkeit der Daten, Übertragungsfehler von Papierbögen in digitale Datenbanken konnten zudem ausgeschlossen werden. Preissner et al. entwickelten

2015 ein digitales Datenerfassungssystem für die endodontische Forschung an der Charité Berlin. Dieses System belegt ebenfalls die Vorteile für eine qualitative und effiziente Forschung (PREISSNER et al. 2015).

4.1.5 Endodontische Behandlungen

Eine eingeschränkte Aussagekraft der Ergebnisse besteht darin, dass die Studie monozentrisch ist und damit die Behandlungssituation an einem deutschen Universitätsklinikum widerspiegelt. Daher bedarf es fortführender Studien an anderen universitären Standorten, ggf. in Zusammenarbeit mit privaten Zahnarztpraxen bzw. -zentren. Die endodontischen Behandlungen erfolgten im Rahmen der fachlichen Leitlinien zur Durchführung endodontischer Eingriffe, die trotz der älteren Statuierung inhaltlich noch bindend sind, entsprechend den "Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlungen" der Europäischen Gesellschaft für Endodontology (ENDODONTOLOGIE 2006). Sie orientierten sich weiterhin an den Stellungnahmen der DGZMK (DGZMK 2000b, a, 2001b, 2004) und der Grundlage der Stellungnahme des Endodontie-Beirats der DGZ (HÜLSMANN et al. 2005). Das leitlinienkonforme Durchführen der einzelnen endodontischen Behandlungsschritte ermöglicht es, weitere wissenschaftliche Untersuchungen mit nachprüfbaren Messkriterien durchführen zu können – möglicherweise auch im Vergleich mit Datenmanagementsystemen anderer Standorte.

Für die vorliegende Studie besteht hinsichtlich der Aussagekraft der Ergebnisse eine weitere Einschränkung. Die Resultate beziehen sich ausschließlich auf Behandlungen mit der hochfrequenten Schallspitze aus Polyamid. Im Unterschied zu den klassischen niederfrequenten Schallinstrumenten vibriert die untersuchte Polyamidspitze mit einer wesentlich höheren Schallfrequenz von 6000 Hz gegenüber 150 – 190 Hz (RIUS et al. 2021). Somit können die Ergebnisse nicht auf alle schallbasierten Desinfektionsmethoden übertragen werden. Zudem unterscheidet sich die Funktionsweise der Schalldesinfektion wesentlich von anderen Methoden der Aktivierung der Spülflüssigkeit (RÖDIG 2012). In dieser Studie wurde die Polyamid-Schallspitze als Behandlungsinstrument gewählt, weil sie aufgrund ihrer Schallfrequenz zu einer nachweislich verbesserten Hydrodynamik führt, wie sie bisher nur bei der Ultraschallaktivierung festgestellt werden konnte (NEUHAUS et al. 2016).

4.2 Diskussion der Ergebnisse

Intrakanale Blutungen wurden als Zielparameter der aktuellen Studie ausgewählt, da sie eine der Hauptursachen für apikale Mikroleckagen sein können (KAPUR et al. 2019, OZLEK et al. 2020).

Untersuchungen im Fachbereich der Endodontie über Einflussfaktoren zum Auftreten von Blutungen bei der chemisch-physikalischen Desinfektion sind aufgrund der geringen Datenlage aktuell kaum vergleichbar. Die für diese Studie relevanten Einflussfaktoren werden entsprechend ihrer Zusammenhänge im Folgenden geschlossen diskutiert.

4.2.1 Diskussion der Ursache von Blutungen

Gegenüber den Vorteilen der hochfrequenten Schalldesinfektion steht die Annahme einer erhöhten Extrusion von Spülflüssigkeiten im Vergleich mit Ultraschallsystemen (DOS REIS et al. 2020). Darüber hinaus wurde eine signifikant erhöhte Extrusion von apikalem Debris im Vergleich zu manuellen Spülungen, Ultraschall- und Lasersystemen bestätigt (İNCE YUSUFOGLU et al. 2020). Dies könnte zur Annahme führen, dass hochfrequente Schallspitzen Blutungen durch ihre apikal extrudierende Wirkung induzieren könnten. Die Studien von Dos Reis et al. und Yusufoglu wurden jedoch nicht in vivo durchgeführt. Die Ergebnisse basieren auf Untersuchungen, in denen Eppendorf Reaktionsgefäße zur Imitation des Parodonts genutzt wurden. In vitro Untersuchungen sind nur bedingt mit der Aussagekraft von in vivo Studien vergleichbar (ECKERT et al. 2003). Jedoch konnten die Untersuchungen belegen, dass die technische Weiterentwicklung der Endodontie auch zu möglichen Komplikationen führen kann. Der Vorteil von in vivo Studien ist, dass sowohl behandler-, patienten- und behandlungsspezifische Einflussfaktoren auf die Entstehung einer Komplikation mit einbezogen werden können. Hülsmann et al. unterstrichen in ihrem Review die hohe Reinigungsleistung von hochfrequenten Schallspitzen aus Polyamid und wiesen gleichzeitig auf den Mangel an Untersuchungen über die Risiken dieser Schallspitzen hin (BITTER & HÜLSMANN 2020).

4.2.2 Diskussion behandler- und behandlungsspezifischer Parameter

Die Untersuchung des Einflusses der Behandlererfahrung auf die Blutungsrate bei der Schalldesinfektion bedingte die Gruppierung in Studierende des zweiten, dritten sowie fünften klinischen Semesters und Allgemein Zahnärzte/innen, sowie Zahnärzte/innen mit dem Tätigkeitsschwerpunkt Endodontie. Die Studie konnte aufzeigen, dass kein signifikanter Einfluss der Behandlererfahrung auf die Häufigkeit von Blutungen bei Verwendung der Polyamid-Schallspitze vorliegt ($p = 0,135$). In einer vorausgegangenen Untersuchung von AlRahabias (ALRAHABI 2017) an der saudi-arabischen Universität Taibah wurde ebenfalls der Einfluss der Behandlererfahrung auf Wurzelkanalbehandlungen untersucht. Er kam zu dem Ergebnis, dass kein signifikanter Zusammenhang ($p > 0.05$) zwischen der Behandlererfahrung und Fehlerarten oder -häufigkeiten bei Wurzelkanalbehandlungen besteht. Als Behandlungsfehler wurden jedoch andere Parameter definiert: insuffiziente Wurzelfüllungen, Instrumentenfrakturen, apikale Perforationen und Verlegungen des Wurzelkanalverlaufs. Zudem betrachtete er bei den 280 Behandlungen nur das vierte und fünfte klinische Semester. Daher sind die Ergebnisse aus den Untersuchungen von AlRahabias (ALRAHABI 2017) nur bedingt mit dieser Risikostudie vergleichbar, da er nicht potentielle Komplikationen bei der chemisch-physikalischen Wurzelkanaldesinfektion untersuchte, sondern die Qualität der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung und -füllung.

In dieser Studie wurde besonders deutlich, dass die Anzahl der aufgetretenen Blutungen bei der Schalldesinfektion mit steigendem Erfahrungsgrad der Studierenden abnimmt. Dies kann durch die zunehmende praktische Sicherheit im Laufe des Studiums begründet werden. Zudem praktizierten die Prüflinge des 5. klinischen Semesters vorsichtig. Die höhere Rate an Behandlungen mit Blutungen, die von Allgemein Zahnärzten/innen sowie Zahnärzten/innen mit dem Tätigkeitsschwerpunkt Endodontie durchgeführt wurden, könnte sich aufgrund komplexerer und anspruchsvollerer endodontischer Behandlungen erklären. Entsprechende Behandlungen (wie z.B. Revisionen insuffizienter Wurzelfüllungen) waren nur diesen Gruppen vorbehalten. Zudem kann das zunehmende Wissen und die längere Erfahrung einen weiteren bedeutenden Effekt haben. Diese Gruppen

wissen um die Bedeutung einer möglichst intensiven Spülung und arbeiten im Allgemeinen entsprechend zügiger und entschlossener.

Im Rahmen dieser Doktorarbeit wurde auch ein möglicher Zusammenhang zwischen dem Auftreten einer Blutung bei Schallaktivierung und der Verwendung eines dentalen Operationsmikroskops untersucht. Das Operationsmikroskop fand in 50 % der Behandlungsfälle Anwendung. Daher ließ die Analyse dieses Parameters eine im Verhältnis gleiche Fallmenge von Behandlungen ohne Operationsmikroskop zu und lieferte ein aussagekräftiges Ergebnis. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang im Rahmen der Betrachtung dieser Behandlungsmethode für Blutungen bei der Schalldesinfektion festgestellt werden ($p = 0,053$). Aufgrund der Nähe zur Grenze des Signifikanzwertes ($p = 0,05$) wurden die statistischen Berechnungen weitergeführt, schon aufgrund der Tatsache, dass diese Grenzwertfestlegung allein aus statistischer Sicht tragbar wäre. Die Auswertung ergab, dass eine 1,65-fach erhöhte Chance hinsichtlich einer Blutung bei Anwendung des Operationsmikroskops (OR 1,65; KI 1,03 – 2,69) vorliegt, falls man den Parameter als signifikant betrachten würde. Zu erwähnen ist, dass ein Operationsmikroskop hauptsächlich bei komplexen endodontischen Fällen von Allgemeinzahnärzten/innen sowie Zahnärzten/innen mit dem Tätigkeitsschwerpunkt Endodontie angewendet wurde (83,23 % der Behandlungen). Diese Behandler wiesen prinzipiell schon eine vergleichsweise erhöhte Behandlungsrate mit Blutungen auf. Entsprechend scheint die Ursache nicht die Verwendung eines Operationsmikroskops zu sein ($p = 0,053$). Die tatsächliche Betrachtung des Parameters als Einflussfaktor ist somit nur eingeschränkt deutbar. In der Forschung wurde der Vorteil eines dentalen Operationsmikroskops bereits in anderen Studien untersucht. Sie kamen zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Im Review von Del Fabbro et al. konnte kein Vorteil für das Outcome einer endodontischen Behandlung festgestellt werden (DEL FABBRO et al. 2015), wohingegen in anderen Studien ein Operationsmikroskop als vorteilhaft für die Qualität von endodontischen Behandlungen bewertet wird (MARTINS et al. 2011, KHALIGHINEJAD et al. 2017). Deutlich wird dies in der Studie von Khalighinejad et al. mit 195 endodontischen Behandlungen (KHALIGHINEJAD et al. 2017). In der Untersuchung wurde der zweite mesiobukale Kanal ohne die Nutzung eines dentalen Mikroskops gegenüber der Behandlung mit einem Operationsmikroskop mit einer 5,1-fachen Wahrscheinlichkeit ($p < 0,02$; OR 5,1; KI 3,21 – 8,78) nicht erkannt. Entsprechend

bietet die Anwendung dieses Vergrößerungsgerätes visuelle Vorteile bei der endodontischen Behandlung. Doch muss in der Vergleichbarkeit der Studien beachtet werden, dass in der Untersuchung von Khalighinejad et al. ausschließlich der erste Oberkiefermolar behandelt wurde und eine andere indirektere Form der Komplikation untersucht wurde. In der aktuellen Studie wurden hingegen alle Zähne eines adulten Gebisses behandelt. Es wurde eine in bzw. während der Behandlung auftretende Blutung ausgewertet. Zusammenfassend ergibt sich aus dem statistischen, behandlungsbedingten und ergänzend zum wissenschaftlich möglichen vergleichbaren Kontext, dass ein dentales Operationsmikroskop kein Komplikationsfaktor zum Auftreten einer Blutung bei der Schalldesinfektion darstellt.

Darüber hinaus wurde die kontinuierliche endodontische Längenmessung als behandlungsspezifischer Einflussfaktor für das Auftreten einer Blutung nach dem Einsatz der Polyamid-Schallspitze untersucht. Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass dieser Parameter keinen signifikanten Einfluss hat ($p = 0,133$). Einschränkend muss erwähnt werden, dass der Gesamtanteil der endodontischen Behandlungen mit diesem Verfahren mit 14,97 % ($n = 50$) vergleichsweise gering war und ein höherer Anteil die Aussagekraft bestärken würde.

Während die aufgeführten behandlungsspezifischen Parameter keine Einflussfaktoren auf Blutungen darstellten, zeigten die Ergebnisse der statistischen Auswertung der patientenspezifischen Faktoren sowohl signifikante als auch insignifikante Parameter. Im Folgenden werden diese detaillierter diskutiert.

4.2.3 Diskussion patientenspezifischer Parameter

In der Studie konnte kein Zusammenhang zwischen dem Patientenalter und einer erhöhten Zahl an Blutungen im Wurzelkanal nach Durchführung der Schalldesinfektion festgestellt werden ($p = 0,058$). Wissenschaftliche Untersuchungen haben die Bedeutung des Patientenalters für Komplikationen im Rahmen von Wurzelkanalbehandlungen in verschiedenen Forschungsbereichen analysiert. In einem Review von Ng et al. wurde der Einfluss des Alters auf die Erfolgsrate von primären Wurzelkanalbehandlungen untersucht. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass kein Zusammenhang zwischen Alter und Erfolgsrate besteht (Ng et al. 2008). Ein weiteres Review bestätigt, dass das Patientenalter nicht als Einflussfaktor für das

Outcome von endodontischen Behandlungen betrachtet werden sollte (AMINOSHARIAE et al. 2017). Nun konnte mit der Studie ergänzend gezeigt werden, dass das Patientenalter wahrscheinlich nicht als Einflussfaktor für Blutungen bei der endodontischen Schalldesinfektion zu betrachten ist. In einer retrospektiven Studie mit 950 Patienten analysierten Azim et al. die Einflussfaktoren für Flare-ups zwischen den Behandlungstagen (AZIM et al. 2017). Sie kamen zu dem Ergebnis, dass das Patientenalter in Zusammenhang mit der Entwicklung von Flare-ups steht ($p = 0,03$). Zur Hochrisikogruppe gehören laut der Studie insbesondere Patienten über 50 Jahren. Das Geschlecht hingegen hatte keinen Einfluss auf die Entstehung von Flare-ups ($p = 0,539$) wie auch in dieser Studie zum Auftreten einer Blutung ($p = 0,904$). In der Studie von Azim et al. fand eine Einteilung in Altersgruppen (<20 Jahre, 20–50 Jahre, >50 Jahre) statt. Bisher gibt es jedoch zur Kategorisierung der Patienten in Altersgruppen kein einheitliches wissenschaftliches Vorgehen (MARTINS et al. 2018, PRADEEPKUMAR et al. 2019, YAVOREK et al. 2020). Die Untersuchung ist somit nur bedingt im wissenschaftlichen Kontext vergleichbar. In der aktuellen Untersuchung fand keine Einteilung in Altersgruppen statt, da somit präzise Rückschlüsse auf jedes untersuchte Alter getroffen werden konnten (Diagramm 2).

In der vorliegenden Untersuchung nahm die Anzahl der aufgetretenen Blutungen bei der Schalldesinfektion mit zunehmendem Patientenalter ab (statistisch nicht signifikant). Dies zeigte sich insbesondere bei Patienten, die älter als 39 Jahre waren. Durch die lebenslange Bildung von Sekundärdentin kommt es mit zunehmendem Alter zur Verkleinerung der Pulpakammer. Die mit der dritten Lebensdekade einsetzende apikale und sich nach koronal fortsetzende Sklerosierung des Dentins führt zusätzlich zur Schließung von Nebenkanälen und Isthmen sowie Einengung der Dentintubuli im Wurzelkanal (PAQUÉ et al. 2006). Diese Veränderungen verringern die Fläche des infizierbaren Dentins und erleichtern daher die chemisch-physikalische Desinfektion (ØRSTAVIK et al. 2004, MOLINA et al. 2021). Darüber hinaus führt die Verengung des apikalen Wurzelkanalbereichs und der apikalen Konstriktion zu einer zunehmenden Separierung des Wurzelkanals vom periapikalen Gewebe. Das Risiko einer durch die Schalldesinfektion induzierten Blutung des periapikalen Gewebes wird entsprechend reduziert. Diese Veränderungen können die abnehmende Blutungshäufigkeit mit zunehmendem Patientenalter erklären.

Neben der Qualität der endodontischen Aufbereitung, Desinfektion und Füllung werden das Vorliegen einer systemischen Erkrankung wie Diabetes (NAGENDRABABU et al. 2020) sowie Chemotherapie (WYNNE 2017, DEPTUŁA et al. 2019) für eingeschränkte periapikale Heilungsraten und Outcomes verantwortlich gemacht (HOLLAND et al. 2017, LAUKKANEN et al. 2019). So ist das Risiko für das Auftreten einer apikalen Parodontitis bei Patienten mit einem Typ-I-Diabetes um das 1,42-fache ($OR=1,42$) erhöht (SEGURA-EGEA et al. 2016), bei Patienten mit einer Osteoporose sogar um das 3,36-fache ($OR=3,36$) (KATZ & ROTSTEIN 2021). Viele der in diese Studie eingeschlossenen Patienten wiesen in ihrer Anamnese Faktoren auf, die eine Heilung einschränken könnten. Die kompromittierte Heilung wurde somit als potentieller Einflussfaktor für das Auftreten einer Blutung bei der Schalldesinfektion untersucht.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung konnten zeigen, dass das Vorliegen einer kompromittierten Heilung des Patienten nicht als Parameter für das Auftreten einer Blutung bei der Schalldesinfektion zu werten ist ($p = 0,699$). Die Schalldesinfektion scheint als adäquate Aktivierungsart bei kompromittierter Heilung hinsichtlich geringer Blutungsraten geeignet zu sein. Da der Anteil der Patienten in dieser Studie mit kompromittiertem Heilungszustand relativ groß ist (89,2 %), ist die Aussagekraft eingeschränkt. Entsprechend wäre eine weitere Studie mit einem höheren Anteil gesunder Patienten sinnvoll, um die Ergebnisse zu bestätigen.

In dieser Studie wurde auch der Einfluss des Rauchens der Patienten auf das Auftreten einer Blutung bei der Schalldesinfektion untersucht. Dabei waren 64 % der Patienten Nichtraucher, wodurch sich eine relativ aussagekräftig verteilte Analyse zu den Gruppierungen unterschiedlicher Rauchertypen ergibt. Laut einer vor 3 Jahren publizierten Studie entspricht dies nahezu dem ermittelten Bundesdurchschnitt von 71,7 % an Nichtrauchern (KOTZ et al. 2018). Die Differenz von 7,7% lässt sich dadurch erklären, dass bei Rauchern eine signifikant höhere Rate an Zahnextraktionen vorliegt ($p = 0,01$) als bei Nichtrauchern und folglich restaurative Behandlungen häufiger nicht durchgeführt werden (RAVALD & JOHANSSON 2012). Als Grund für die Extraktionen lagen in 7 % der Fälle Komplikationen bei der endodontischen Behandlung vor, der überwiegende Anteil war auf parodontale Pathologien (73 %) zurückzuführen.

In der durchgeführten Untersuchung konnte nur ein geringer Anteil an Rauchern (12,9 %) im Zusammenhang mit einer Komplikation bei der endodontischen

Schallaktivierung von Spülflüssigkeiten identifiziert werden. Es stellte sich kein signifikanter Zusammenhang ($p = 0,076$) heraus. Der Einfluss des Rauchens auf endodontische Pathologien und Komplikationen konnte auch in anderen Studien bisher nicht nachgewiesen werden. In einer Untersuchung von Bergström et. al konnte kein Zusammenhang ($p = 0,124$) zwischen einem erhöhten Risiko von Rauchern für periapikale Entzündungen festgestellt werden (BERGSTRÖM et al. 2004). Weitere in dieser Studie durchgeführte logistische Regressionsrechnungen senkten zudem die Chance auf eine tatsächliche Beziehung der Parameter zueinander (Odds-Ratio Wert von 1,3 – ursprünglich 1,6). Somit wurde verdeutlicht, dass dieser Parameter keine Bedeutung trägt, und wenn man ihn als statistisch relevant betrachten würde, dann tritt dieser Parameter in zahlreichen Fällen hauptsächlich als Confounder auf. Dies verdeutlicht, dass andere bedeutende Faktoren oft bei Rauchern gleichzeitig auftreten. Folgend erklärt sich, warum der in dieser Untersuchung ermittelte p-Wert ($p = 0,076$) in der Nähe des Signifikanzwertes ($p = 0,05$) liegt, jedoch auch in dieser Studie kein Zusammenhang festgestellt werden konnte.

Im Rahmen der differenzierteren statistischen Analyse der signifikanten Parameter ergaben sich aus den logistischen Regressionsanalysen mehrere deutliche Zusammenhänge. Insbesondere haben vor Behandlungsbeginn bestehende intra- und extraorale Schwellungen einen signifikanten Einfluss ($p = 0,003$) mit einer 2,9-fach erhöhten Chance (OR 2,9) auf das Auftreten einer Blutung bei Anwendung der Polyamid-Schallspitze. Es war zu erwarten, dass periapikale Inflammationen und Schwellungen mit einer Entzündungsreaktion, einer Perkussionsempfindlichkeit und einem erhöhten Blutfluss einhergehen (HELLWIG et al. 1995) und daher mit einer iatrogen induzierten Blutung nach der Instrumentierung korrelieren könnten. Es wurde bereits postuliert, dass die Schallaktivierung im Vergleich zu manuellen, Ultraschall- oder Laseraktivierungssystemen eine signifikant höhere Spülextrusion (DOS REIS et al. 2020) und damit eine höhere Wahrscheinlichkeit der Induktion von Wurzelkanalblutungen verursachen könnte. Dennoch war nur ein Teil der Wurzelkanalspülungen mit Blutungen verbunden (29 %; $n=97$). Neben dem Ausschluss von Patienten mit Blutgerinnungsstörungen könnte ein möglicher Erklärungsansatz in der Annahme liegen, dass die eingeschlossenen Patienten, auch die mit Schwellungen, nicht überschießende chronisch entzündliche periapikale

Entzündungen mit geringerem Blutfluss und entsprechend geringerem Blutungsrisiko aufwiesen (NAIR 2004).

Aufgrund der hohen Odds-Ratio von 2,9 scheinen vor Behandlungsbeginn vorliegende Schwellungen einen bedeutenden Einfluss auf das Auftreten von Blutungen zu haben. Untersuchungen zu Auswirkungen von Schwellungen auf postoperative Schmerzen wurden von Glennon et al. durchgeführt (GLENNON et al. 2004). Es konnte ein deutlicher Zusammenhang zwischen präoperativen Schwellungen und postoperativen Schmerzen ($OR = 2,433$, $P = 0,040$) festgestellt werden. Eine vor Behandlungsbeginn bestehende Schwellung mit entsprechend erhöhter Durchblutung des umliegenden Gewebes könnte allgemein iatrogen induzierte Blutungen begünstigen. Durch diese Schädigung würden sich auch die erhöhten postoperativen Schmerzen bei Patienten mit bereits vor Behandlungsbeginn bestehender Schwellung erklären. In der Studie von Glennon et al. wurde jedoch keine standardisierte chemisch-physikalische Behandlungsform definiert. Die Aussagen der Studien sind somit nur bedingt gemeinsam einzuordnen. Weitere Untersuchungen zur Verknüpfung der Zusammenhänge von Schwellungen, Blutungen und postoperativen Schmerzen sollten durchgeführt werden.

In einer Studie von Ng et. al wurden die Daten von 2484 endodontischen Behandlungen hinsichtlich der Einflussfaktoren auf die Heilung von periapikalen Aufhellungen untersucht. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass ein Auftreten von Komplikationen zwischen den Behandlungsterminen in Form von Schwellungen und Schmerzen die Chance auf eine vollständige periapikale Heilung signifikant ($p = 0,002$) um 47 % senkt (NG et al. 2011b). Schwellungen, die im Rahmen eines Flare-ups auftreten, sind nicht mit der vorliegenden Untersuchung direkt vergleichbar. Da es jedoch nur wenige Forschungen über Schwellungen und ihren Einfluss auf die Behandlung gibt, sind die Ergebnisse ein Warnzeichen. Schwellungen scheinen einen bedeutenden Einfluss auf die Behandlung, den Verlauf und postoperative Beschwerden zu haben. In der aktuellen Studie wurden darüber hinaus Rötungen als isolierter Parameter betrachtet. Dieser Parameter stellte einen signifikanten Einflussfaktor auf das Auftreten von Blutungen bei der Schalldesinfektion dar ($p = 0,034$). Rötungen traten jedoch hauptsächlich im Zusammenhang mit Schwellungen auf und wurden im Rahmen der logistischen Regression als Confounder erkannt. Somit sind Rötungen ein Hinweis auf weitere Einflussfaktoren für

Wurzelkanalblutungen wie Schwellungen, die im Rahmen von entzündlichen Prozessen auftreten (MEDZHITOV 2008).

In dieser Studie wurde auch der Zusammenhang zwischen dem Vorliegen einer Fistel und dem Auftreten von Blutungen bei Anwendung der Schalldesinfektion untersucht. Jedoch konnte hier keine Signifikanz ($p = 0,332$) festgestellt werden. Dieses Ergebnis reiht sich in die aktuelle Forschung ein. In dem 2016 aktualisierten Review von Manfredi et al. (MANFREDI et al. 2016) wurden Studien über insgesamt 3751 Wurzelkanalbehandlungen analysiert. Die Ergebnisse zeigten unter anderem, dass das Vorliegen einer Fistel ($n = 345$) keinen Einfluss auf nachfolgende Komplikationen oder eine verminderte Heilung im Vergleich von einmaligen und mehrphasigen endodontischen Behandlungen hatte (RR 0,98).

Bei der Untersuchung von zahnspezifischen Parametern ergab die statistische Auswertung, dass der Durchmesser der apikalen Aufhellung einen signifikanten Einfluss ($p = 0,011$) auf Komplikationen wie das Auftreten einer Blutung bei Anwendung der Polyamid-Schallspitze hat. In Abhängigkeit vom Durchmesser ist die Chance auf eine Blutung um 1,17fach erhöht (OR = 1,17; KI 1,05 – 1,29). Insbesondere bei röntgenologisch gerade sichtbaren apikalen Aufhellungen (0,5 mm) kam es in 57 % der Fälle zu Blutungen. Die mikrobiologischen Prozesse periapikaler Entzündungen sind bereits hinreichend erforscht (NAIR 2004): Als Folge einer starken Reizung des periapikalen Gewebes durch eine Noxe finden Entzündungsreaktionen statt. Diese führen wiederum zu einer Aktivierung von Abwehrzellen, einer Durchblutungssteigerung und Osteoklastenaktivierung. Innerhalb weniger Tage wird der periapikale Knochenbereich resorbiert und eine Aufhellung wird radiologisch sichtbar. Eine länger andauernde Anwesenheit von Pathogenen führt zu einer Anpassungsreaktion des Körpers im Rahmen der akuten apikalen Parodontitis. Die Zusammensetzung der Abwehrzellanteile in der Läsion verändert sich und es kommt zu einer gesteigerten Produktion von verschiedenen Zytokinen durch aktivierte T-Zellen. Dies führt wiederum zu einer verminderten Ausschüttung von proinflammatorischen Zytokinen, und daraus resultieren eine Hemmung der Osteoklastenaktivität sowie eine Förderung des Aufbaus von kollagenem Bindegewebe. Außerdem wird die Durchblutung minimiert und entsprechend sinkt die Gefahr einer Blutung, wenn deutlich größere apikale Aufhellungen bei der endodontischen Schalldesinfektion vorliegen. Das vergleichsweise enge

Konfidenzintervall und der passende mikrobiologische Kontext für den Parameter der apikalen Aufhellungsgröße (OR = 1,17; KI 1,05 – 1,29) und seiner Wirkung als Einflussfaktor auf Wurzelkanalblutungen bestärkt seine Wertung.

Die diagnostizierte endodontische Pathologie hat jedoch keinen Einfluss auf das Auftreten einer Blutung ($p = 0,207$). Es wäre aus der vorausgegangenen Betrachtung anzunehmen, dass es zwischen einer Nekrose mit apikaler Aufhellung gegenüber einer Nekrose ohne apikale Aufhellung Unterschiede gibt. In Behandlungen von Nekrosen mit apikalen Aufhellungen trat in nahezu doppelt so vielen Fällen eine Blutung auf (30,23% der Fälle) gegenüber Nekrosen ohne apikale Aufhellung (16,33% der Fälle). Auch dieser Befund belegt, dass der Durchmesser von apikalen Aufhellungen ein Einflussfaktor für das Auftreten von Blutungen ist.

Im Rahmen des akuten Entzündungsprozesses treten klinische Symptome wie Schmerz und Perkussionsempfindlichkeit auf (NAIR 2004). In dieser Studie konnte der Parameter Perkussionsempfindlichkeit als signifikanter Einflussfaktor auf Wurzelkanaleinblutungen ermittelt werden ($p = 0,007$; OR = 1,96; KI 1,21 – 3,19). Dies fügt sich in den Kontext ein, dass akute Entzündungsprozesse einen Einfluss auf Blutungen haben. Die weiterführende logistische Regression zeigte, dass der Parameter Perkussionsempfindlichkeit als Confounder zu betrachten ist. Im Rahmen der Forschung ist dieser daher als Begleitsymptom für entzündliche Prozesse zu betrachten. Ebenso konnte bei Patienten mit mittleren und starken Schmerzen (4 bis 6 sowie 9 und 10 auf einer Skala von 0-10) vor Behandlungsbeginn ein signifikanter Einfluss auf das Auftreten von Blutungen bei der Schalldesinfektion ermittelt werden ($p = 0,032$). Die Schmerzreduktion zwischen dem ersten und zweiten Behandlungstermin ist hingegen kein Einflussfaktor für das Auftreten einer Blutung bei der Schalldesinfektion ($p = 0,0869$). Schmerz stellt einen wesentlichen Indikator für die Diagnose und den Therapieverlauf dar (PAU et al. 2005). Die letzten zwei Millennien haben gezeigt, dass Schmerz als Begriff infolge der wissenschaftlichen Forschung einen dynamischen Definitionswandel durchläuft und einen wichtigen Parameter in der zahnmedizinischen Behandlung darstellt (CONE 1849, PRICE 1999, REIBER 2000, RECHENBERG et al. 2016, MURILLO-BENÍTEZ et al. 2020). Bisher wurde die Analyse des Schmerzes hauptsächlich als Indikator für die Identifikation des endodontisch erkrankten Zahnes (KLIMM 2011) und der pulpalen Pathologie des Zahnes genutzt (RECHENBERG et al. 2016). Aktuellere Studien beschäftigen sich im Gegensatz zur

vorliegenden Untersuchung jedoch nicht mit dem Einfluss des Schmerzes auf die Behandlung, sondern umgekehrt. Sie betrachten den Einfluss von Behandlungsformen auf den Schmerz. Diese Untersuchungen ergaben, dass bisher kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Auftretens von Schmerzen nach einer einmaligen oder mehrphasigen endodontischen Behandlung besteht (MANFREDI et al. 2016, SCHWENDICKE & GÖSTEMEYER 2017).

Die aktuelle Studie ergänzt nun die Forschung im Rahmen der Untersuchung von Komplikationsfaktoren, die auf das Auftreten von Blutungen während der Schalldesinfektion im Laufe einer endodontischen Behandlung Einfluss haben. Ein vor Behandlungsbeginn mittlerer und starker Schmerz führt zu einer 1,14-fach höheren Chance ($OR = 1,14$) auf das Auftreten einer Blutung bei der Schalldesinfektion. Das enge Konfidenzintervall stützt die Aussagekraft der Studie ($KI\ 1,04 - 1,24$).

4.2.4 Schlussfolgerungen

Die prospektive Planung und Entwicklung dieser Studie ermöglichte eine standardisierte Dokumentation. Dies zeigte sich insbesondere daran, dass alle Datensätze widerspruchsfrei in die Studie einbezogen werden konnten. Das programmierte Datenmanagementsystem stellte sich als ein außerordentlich effizientes Studienprogramm dar, welches ein umfangreiches Potenzial für bereits geplante zukünftige Studien bietet. Diese Technik erlaubt es, mit geringen finanziellen Mitteln große Datenmengen im Rahmen multizentrischer Studien zu generieren und auch international kooperativ zu forschen. Seit der Einführung des Systems wurden bis zu 195 Parameter je endodontischer Behandlung erfasst, bereits weit mehr als 100.000 Daten liegen digital vor. Diese können jederzeit direkt von Statistikprogrammen ausgewertet werden. Die erwiesene Effizienz der Datenerfassung sowie die Qualität und Quantität der Datensätze bieten ein sehr großes Potential für die Realisierung weiterer Forschungsprojekte im Fachgebiet der Endodontie oder anderen Bereichen der Zahnmedizin.

5 Zusammenfassung

Die chemisch-physikalische Desinfektion stellt einen entscheidenden Faktor für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung und damit den langfristigen Erhalt der Zähne dar. Umso wichtiger ist es, Kenntnisse über Risikofaktoren dieser Behandlung zu haben. In dieser monozentrischen universitären Risikostudie wurden behandler-, patienten- und behandlungsspezifische Parameter bei der Schalldesinfektion im Rahmen von 334 endodontischen Behandlungen untersucht. Als adjuvantes Behandlungsinstrument wurde eine hochfrequente Spülspritze aus Polyamid verwendet. Ziel war es, Einflussfaktoren, die bei der schallbasierten Desinfektion des Wurzelkanals zu einer Blutung führen könnten, aufzuzeigen.

Die komplexe Programmierung eines Datenmanagementsystems ermöglichte die umfangreiche Studie. Vor dem Hintergrund der Einschränkungen dieser Studie stellt die Verwendung des untersuchten Schallsystems aus Polyamid in Hinsicht auf Blutungen, unabhängig vom Erfahrungsstand der Behandler, ein sicheres Verfahren für die Aktivierung von Spülflüssigkeiten dar. Die Auswertung der Studie zeigt zudem, dass im Rahmen der Schalldesinfektion Schwellungen, Ausprägungen periapikaler Aufhellungen und die Intensität des Ausgangsschmerzes vor Behandlungsbeginn Einflussfaktoren für das Auftreten einer Blutung bei der schallbasierten Desinfektion darstellen. Die Perkussionsempfindlichkeit eines endodontisch kompromittierten Zahnes und in diesem Zusammenhang bestehende extra- und intraorale Rötungen stellen Confounder der Einflussfaktoren dar. Die Verwendung eines dentalen Operationsmikroskopes und die Durchführung einer kontinuierlichen endodontischen Längenmessung haben keinen signifikanten Einfluss, ebenso die patientenspezifischen Parameter Patientenalter, Geschlecht, Raucherstatus, kompromittierter Heilungszustand, Vorliegen einer Fistel, die Schmerzreduktion zwischen erstem und zweiten Behandlungstermin und die spezifische Pathologie des endodontisch behandlungsbedürftigen Zahnes.

Diese Studie bildet aufgrund des entwickelten Datenmanagementsystems und der Erkenntnisse die Grundlage für weitere umfangreiche Untersuchungen mit gezielten Fragestellungen im Fachbereich der modernen Endodontie.

Weitere Studien, in denen das untersuchte System zur Aktivierung der Schallspülung mit anderen Aktivierungsgeräten/-techniken in den Händen von Behandlern mit unterschiedlichen Erfahrungsniveaus verglichen wird, müssen durchgeführt werden, um die vorliegenden Ergebnisse zu validieren.

6 Literaturverzeichnis

- AL-HADDAD A Y, KUTTY M G, ABU KASIM N H, CHE AB AZIZ Z A: The effect of moisture conditions on the constitution of two bioceramic-based root canal sealers. *J Dent Sci* 12: 340-346 (2017)
- ALRAHABI M K: Evaluation of complications of root canal treatment performed by undergraduate dental students. *The Libyan journal of medicine* 12: 1345582 (2017)
- AMINOSHARIAE A, KULILD J C, MICKEL A, FOUAD A F: Association between Systemic Diseases and Endodontic Outcome: A Systematic Review. *Journal of endodontics* 43: 514-519 (2017)
- AZIM A A, AZIM K A, ABBOTT P V: Prevalence of inter-appointment endodontic flare-ups and host-related factors. *Clin Oral Investig* 21: 889-894 (2017)
- AZIM A A, ALBANYAN H, AZIM K A, PIASECKI L: The Buffalo study: Outcome and associated predictors in endodontic microsurgery- a cohort study. *International endodontic journal* 54: 301-318 (2021)
- BENDER I B, SELTZER S, SOLTANOFF W: Endodontic success—A reappraisal of criteria: Part I. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 22: 780-789 (1966)
- BERGSTROM J, BABCAN J, ELIASSON S: Tobacco smoking and dental periapical condition. *European journal of oral sciences* 112: 115-20 (2004)
- BITTER K, HÜLSMANN M: Die schallaktivierte Wurzelkanal-desinfektion. *Quintessenz Endodontie* 29: 259-271 (2020)
- BOUTSIUKIS C: Die manuelle Wurzelkanalspülung. *Quintessenz Endodontie* 29: 273-286 (2020)
- BUNDESTAG D, BUNDESRAT D: Gesetz über die Ausübung der Zahnheilkunde, 1987.
- BUNDESVEREINIGUNG K: Jahrbuch. (2019)
- BURNS R C, HERBRANSON E J: Tooth morphology and access cavity preparation.: Seventh ed. Mosby, 1998.
- CHUBB D W R: A review of the prognostic value of irrigation on root canal treatment success. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc* 45: 5-11 (2019)
- CONE C O: Treatment of Dental Caries, When the Cavity Extends Nearly to the Nervous Pulp. *Am J Dent Sci* 9: 349-357 (1849)
- COUNCIL B L C: Dentist Act. In: Board D, ed., 1984.
- DANCE A: Why the sexes don't feel pain the same way. *Nature* 567: 448-451 (2019)
- DE ALMEIDA N F, BRASIL S C, FERREIRA D C, ARMADA L: Aging effects in the expression of macrophages in post-treatment apical periodontitis lesions. *Spec Care Dentist* 37: 230-235 (2017)
- DEL FABBRO M, TASCHIERI S, LODI G, BANFI G, WEINSTEIN R L: Magnification devices for endodontic therapy. *Cochrane Database Syst Rev* 2015: Cd005969 (2015)
- DEPTUŁA M, ZIELIŃSKI J, WARDOWSKA A, PIKUŁA M: Wound healing complications in oncological patients: perspectives for cellular therapy. *Postepy Dermatol Alergol* 36: 139-146 (2019)
- DGZ S D D U: Zur Prognose von Wurzelkanalbehandlungen. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*: 206 (2001)
- DGZMK: Stellungnahme: Wurzelkanalaufbereitung. *Dtsch Zahnärztl*: 719 (2000a)
- DGZMK: Stellungnahme DGZ: Wurzelkanalfüllpasten und-füllstifte. *Dtsch Zahnärztl*: 9 (2000b)
- DGZMK: Zur Prognose von Wurzelkanalbehandlungen. *Dtsch Zahnärztl*: 206 (2001a)

- DGZMK: Stellungnahme: Zur Prognose von Wurzelkanalbehandlungen. Dtsch Zahnärztl: 206 (2001b)
- DGZMK: Stellungnahme: Die Bestimmung der endodontischen Arbeitslänge. Dtsch Zahnärztl: 605 (2004)
- DIOGUARDI M, DI GIOIA G, ILLUZZI G, LANEVE E, COCCO A, TROIANO G: Endodontic irrigants: Different methods to improve efficacy and related problems. European journal of dentistry 12: 459-466 (2018)
- DOS REIS S, CRUZ V M, HUNGARO DUARTE M A, DA SILVEIRA BUENO C E, VIVAN R R, PELEGRINE R A, BRUNO K F, KATO A S: Volumetric Analysis of Irrigant Extrusion in Immature Teeth after Different Final Agitation Techniques. Journal of endodontics 46: 682-687 (2020)
- ECKERT S E, CHOI Y G, KOKA S: Methods for comparing the results of different studies. Int J Oral Maxillofac Implants 18: 697-705 (2003)
- EGGMANN F, VOKAC Y, EICK S, NEUHAUS K W: Sonic irrigant activation for root canal disinfection: power modes matter! BMC Oral Health 20: 102 (2020)
- EL KARIM I, KENNEDY J, HUSSEY D: The antimicrobial effects of root canal irrigation and medication. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology 103: 560-569 (2007)
- ENDODONTOLOGIE E G F: Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlungen. Endodontie Journal 15: (2006)
- ESTEFAN B S, EL BATOUTY K M, NAGY M M, DIOGENES A: Influence of Age and Apical Diameter on the Success of Endodontic Regeneration Procedures. Journal of endodontics 42: 1620-1625 (2016)
- FERREIRA-VALENTE M A, PAIS-RIBEIRO J L, JENSEN M P: Validity of four pain intensity rating scales. Pain 152: 2399-2404 (2011)
- FILKER P J, COOK N, KODISH-STAV J: Electronic health records: a valuable tool for dental school strategic planning. J Dent Educ 77: 591-7 (2013)
- FRIEDBERG M W, COLTIN K L, SAFRAN D G, DRESSER M, ZASLAVSKY A M, SCHNEIDER E C: Associations between structural capabilities of primary care practices and performance on selected quality measures. Ann Intern Med 151: 456-63 (2009)
- GEORGE S, KISHEN A, SONG P: The role of environmental changes on monospecies biofilm formation on root canal wall by Enterococcus faecalis. Journal of endodontics 31: 867-872 (2005)
- GLENNON J P, NG Y L, SETCHELL D J, GULABIVALA K: Prevalence of and factors affecting postpreparation pain in patients undergoing two-visit root canal treatment. International endodontic journal 37: 29-37 (2004)
- GONDIM E, JR., SETZER F C, DOS CARMO C B, KIM S: Postoperative pain after the application of two different irrigation devices in a prospective randomized clinical trial. Journal of endodontics 36: 1295-301 (2010)
- GROSSMAN L I, MEIMAN B W: Solution of pulp tissue by chemical agents. The Journal of the American Dental Association 28: 223-225 (1941)
- GULABIVALA K, NG Y L, GILBERTSON M, EAMES I: The fluid mechanics of root canal irrigation. Physiological measurement 31: R49-84 (2010)
- GÜMÜŞ H, DELIKAN E: The effect of sonic activation of irrigant on postoperative pain after root canal treatment in primary molar teeth: a randomized, clinical study. Clin Oral Investig 25: 363-370 (2021)
- HAAPASALO M, SHEN Y, QIAN W, GAO Y: Irrigation in endodontics. Dental clinics of North America 54: 291-312 (2010)
- HAUPT F, MEINEL M, GUNAWARDANA A, HÜLSMANN M: Effectiveness of different activated irrigation techniques on debris and smear layer removal from curved root

- canals: a SEM evaluation. Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc 46: 40-46 (2020)
- HELLWIG E, KLIMEK J, ATTIN T: Einführung in die Zahnerhaltung, 1995.
- HELLWIG E, KLIMEK J, ATTIN T: Einführung in die Zahnerhaltung: Deutscher Ärzteverlag, 2009.
- HOLLAND R, GOMES J E F, CINTRA L T A, QUEIROZ Í O A, ESTRELA C: Factors affecting the periapical healing process of endodontically treated teeth. J Appl Oral Sci 25: 465-476 (2017)
- HOU B X: [Complications occurred in root canal mechanical preparation: the reason, prevention and management]. Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi 54: 605-611 (2019)
- HULSMANN M, HAHN W: Complications during root canal irrigation--literature review and case reports. International endodontic journal 33: 186-93 (2000)
- HÜLSMANN M, SCHÄFER E, PETSCHT A, HEIDEMANN D, RAAB W, WEIGER R: „Good clinical practice “: Die Wurzelkanalbehandlung. Stellungnahme der DGZ und der DGZMK. Dtsch Zahnärztl: 60 (2005)
- HÜLSMANN M: Checklisten der Zahnmedizin. Endodontie: Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2008.
- İNCE YUSUFOĞLU S, KESKIN N B, SARICAM E, BOZKURT D A: Comparison of apical debris extrusion using EDDY, passive ultrasonic activation and photon-initiated photoacoustic streaming irrigation activation devices. Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc 46: 400-404 (2020)
- INGLE J I, BEVERIDGE E E, GLICK D H, WEICHMAN J A, ABOU-RASS M: Modern endodontic therapy. Endodontics 2: 1-57 (1994)
- INGLE J I, BAKLAND L K, NETWORK H C: Endodontics: B C Decker, 2002.
- JIANG L M, VERHAAGEN B, VERSLUIS M, VAN DER SLUIS L W: Evaluation of a sonic device designed to activate irrigant in the root canal. Journal of endodontics 36: 143-6 (2010)
- KAKEHASHI S, STANLEY H R, FITZGERALD R J: The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. Oral surgery, oral medicine, and oral pathology 20: 340-9 (1965)
- KAPUR I, MALHOTRA A, MAKKAR S, GALYAN G, KUMAR M, AGGARWAL A: Effect of Distinctive Moisture Conditions on Push-out Bond Strength of Three Root Canal Sealers-An In-Vitro Study. J Int Soc Prev Community Dent 9: 492-498 (2019)
- KATZ J, ROTSTEIN I: Prevalence of Periapical Lesions in Patients with Osteoporosis. Journal of endodontics 47: 234-238 (2021)
- KERBL F M, DEVILLIERS P, LITAKER M, ELEAZER P D: Physical effects of sodium hypochlorite on bone: an ex vivo study. Journal of endodontics 38: 357-9 (2012)
- KHALIGHINEJAD N, AMINOSHARIAE A, KULILD J C, WILLIAMS K A, WANG J, MICKEL A: The Effect of the Dental Operating Microscope on the Outcome of Nonsurgical Root Canal Treatment: A Retrospective Case-control Study. Journal of endodontics 43: 728-732 (2017)
- KLIMM W: Endodontologie: Deutscher Ärzteverlag, 2011 (vol 2).
- KOTZ D, BOECKMANN M, KASTAUN S: The use of tobacco, e-cigarettes, and methods to quit smoking in Germany—a representative study using 6 waves of data over 12 months (the DEBRA study). Deutsches Aerzteblatt Online 115: (2018)
- LATZA U, HOFFMANN W, TERSCHÜREN C, CHANG-CLAUDE J, KREUZER M, SCHAFFRATH ROSARIO A, KROPP S, STANG A, AHRENS W, LAMPERT T: Erhebung,

- Quantifizierung und Analyse der Rauchexposition in epidemiologischen Studien, 2005.
- LAUKKANEN E, VEKALAHTI M M, KOTIRANTA A K: Impact of systemic diseases and tooth-based factors on outcome of root canal treatment. *International endodontic journal* 52: 1417-1426 (2019)
- LAUTENBACHER S, PETERS J H, HEESEN M, SCHEEL J, KUNZ M: Age changes in pain perception: A systematic-review and meta-analysis of age effects on pain and tolerance thresholds. *Neurosci Biobehav Rev* 75: 104-113 (2017)
- LEWIS K: Riddle of biofilm resistance. *Antimicrobial agents and chemotherapy* 45: 999-1007 (2001)
- LINDER J A, MA J, BATES D W, MIDDLETON B, STAFFORD R S: Electronic health record use and the quality of ambulatory care in the United States. *Arch Intern Med* 167: 1400-5 (2007)
- MACEDO R G, VERHAAGEN B, FERNANDEZ RIVAS D, GARDENIERS J G, VAN DER SLUIS L W, WESSELINK P R, VERSLUIS M: Sonochemical and high-speed optical characterization of cavitation generated by an ultrasonically oscillating dental file in root canal models. *Ultrason Sonochem* 21: 324-35 (2014)
- MANFREDI M, FIGINI L, GAGLIANI M, LODI G: Single versus multiple visits for endodontic treatment of permanent teeth. *Cochrane Database Syst Rev* 12: Cd005296 (2016)
- MARTINS J, PAGONA A, SAURA M: Dental Operating Microscope: Benefits of its use on root canal treatment. *Cadernos Científicos da Ordem dos Médicos Dentistas* 9: 14-21 (2011)
- MARTINS J N R, ORDINOLA-ZAPATA R, MARQUES D, FRANCISCO H, CARAMÊS J: Differences in root canal system configuration in human permanent teeth within different age groups. *International endodontic journal* 51: 931-941 (2018)
- MEDZHITOV R: Origin and physiological roles of inflammation. *Nature* 454: 428-35 (2008)
- MEYER W: Probleme der sogenannten Wurzelbehandlung *Zahnärztliche Mitteilungen*: 301-306 (1961)
- MITCHELL R P, YANG S E, BAUMGARTNER J C: Comparison of apical extrusion of NaOCl using the EndoVac or needle irrigation of root canals. *Journal of endodontics* 36: 338-41 (2010)
- MITCHELL R P, BAUMGARTNER J C, SEDGLEY C M: Apical extrusion of sodium hypochlorite using different root canal irrigation systems. *Journal of endodontics* 37: 1677-81 (2011)
- MOHAMMADI Z: Sodium hypochlorite in endodontics: an update review. *Int Dent J* 58: 329-41 (2008)
- MOHAMMADI Z, ABBOTT P: The properties and applications of chlorhexidine in endodontics. *International endodontic journal* 42: 288-302 (2009)
- MOHAMMADI Z, JAFARZADEH H, SHALAVI S, PALAZZI F: Recent Advances in Root Canal Disinfection: A Review. *Iranian endodontic journal* 12: 402-406 (2017)
- MOHAMMADI Z, SHALAVI S, YARIPOUR S, KINOSHITA J I, MANABE A, KOBAYASHI M, GIARDINO L, PALAZZI F, SHARIFI F, JAFARZADEH H: Smear Layer Removing Ability of Root Canal Irrigation Solutions: A Review. *J Contemp Dent Pract* 20: 395-402 (2019)
- MOLINA A, BRAVO M, FONSECA G M, MÁRQUEZ-GRANT N, MARTÍN-DE-LAS-HERAS S: Dental age estimation based on pulp chamber/crown volume ratio measured on CBCT images in a Spanish population. *Int J Legal Med* 135: 359-364 (2021)
- MURILLO-BENÍTEZ M, MARTÍN-GONZÁLEZ J, JIMÉNEZ-SÁNCHEZ M C, CABANILLAS-BALSERA D, VELASCO-ORTEGA E, SEGURA-EGEA J J: Association between dental anxiety

- and intraoperative pain during root canal treatment: a cross-sectional study. *International endodontic journal* 53: 447-454 (2020)
- NAGENDRABABU V, JAYARAMAN J, SURESH A, KALYANASUNDARAM S, NEELAKANTAN P: Effectiveness of ultrasonically activated irrigation on root canal disinfection: a systematic review of in vitro studies. *Clin Oral Investig* 22: 655-670 (2018)
- NAGENDRABABU V, SEGURA-EGEA J J, FOUAD A F, PULIKKOTIL S J, DUMMER P M H: Association between diabetes and the outcome of root canal treatment in adults: an umbrella review. *International endodontic journal* 53: 455-466 (2020)
- NAIR P N, SJOGREN U, KREY G, KAHNBERG K E, SUNDQVIST G: Intraradicular bacteria and fungi in root-filled, asymptomatic human teeth with therapy-resistant periapical lesions: a long-term light and electron microscopic follow-up study. *Journal of endodontics* 16: 580-8 (1990)
- NAIR P N: Pathogenesis of apical periodontitis and the causes of endodontic failures. *Crit Rev Oral Biol Med* 15: 348-81 (2004)
- NASCIMENTO G G, RABELLO D G D, CORAZZA B J M, GOMES A P M, SILVA E G, MARTINHO F C: Comparison of the effectiveness of single- and multiple-sessions disinfection protocols against endotoxins in root canal infections: systematic review and meta-analysis. *Sci Rep* 11: 1226 (2021)
- NEELAKANTAN P, OUNSI H F, DEVARAJ S, CHEUNG G S P, GRANDINI S: Effectiveness of irrigation strategies on the removal of the smear layer from root canal dentin. *Odontology* 107: 142-149 (2019)
- NEUHAUS K W, LIEBI M, STAUFFACHER S, EICK S, LUSSI A: Antibacterial Efficacy of a New Sonic Irrigation Device for Root Canal Disinfection. *Journal of endodontics* 42: 1799-1803 (2016)
- NG Y L, MANN V, RAHBARAN S, LEWSEY J, GULABIVALA K: Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature -- Part 2. Influence of clinical factors. *International endodontic journal* 41: 6-31 (2008)
- NG Y L, MANN V, GULABIVALA K: A prospective study of the factors affecting outcomes of non-surgical root canal treatment: part 2: tooth survival. *International endodontic journal* 44: 610-25 (2011a)
- NG Y L, MANN V, GULABIVALA K: A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: part 1: periapical health. *International endodontic journal* 44: 583-609 (2011b)
- NYS H: Medical law in Belgium: Kluwer Law International BV, 2019.
- OLIVI M, RAPONI G, PALAIA G, BERLUTTI F, OLIVI G, VALENTINI E, TENORE G, DEL VECCHIO A, ROMEO U: Disinfection of Root Canals with Laser-Activated Irrigation, Photoactivated Disinfection, and Combined Laser Techniques: An Ex Vivo Preliminary Study. *Photobiomodul Photomed Laser Surg* 39: 62-69 (2021)
- ØRSTAVIK D: Time-course and risk analyses of the development and healing of chronic apical periodontitis in man. *International endodontic journal* 29: 150-5 (1996)
- ØRSTAVIK D, QVIST V, STOLTZE K: A multivariate analysis of the outcome of endodontic treatment. *European journal of oral sciences* 112: 224-30 (2004)
- OZLEK E, GÜNDÜZ H, AKKOL E, NEELAKANTAN P: Dentin moisture conditions strongly influence its interactions with bioactive root canal sealers. *Restor Dent Endod* 45: e24 (2020)
- PACE R, DI NASSO L, NIZZARDO A, TAURO L, PAGAVINO G, GIULIANI V: The effects of a new decontaminant solution on root canal bleeding during endodontic treatment: a randomized controlled study. *J Biol Regul Homeost Agents* 33: 1-9 (2019)

- PANARIELLO B H D, KINDLER J K, SPOLNIK K J, EHRLICH Y, ECKERT G J, DUARTE S: Use of electromagnetic stimulation on an *Enterococcus faecalis* biofilm on root canal treated teeth in vitro. *Sci Rep* 11: 8306 (2021)
- PAQUE F, LAIB A, GAUTSCHI H, ZEHNDER M: Hard-tissue debris accumulation analysis by high-resolution computed tomography scans. *Journal of endodontics* 35: 1044-7 (2009)
- PAQUÉ F, LUDER H U, SENER B, ZEHNDER M: Tubular sclerosis rather than the smear layer impedes dye penetration into the dentine of endodontically instrumented root canals. *International endodontic journal* 39: 18-25 (2006)
- PARINI M R, PITT W G: Dynamic removal of oral biofilms by bubbles. *Colloids Surf B Biointerfaces* 52: 39-46 (2006)
- PAU A, CROUCHER R, MARCENES W, LEUNG T: Development and validation of a dental pain-screening questionnaire. *Pain* 119: 75-81 (2005)
- PEREIRA T C, DIJKSTRA R J B, PETRIDIS X, SHARMA P K, VAN DE MEER W J, VAN DER SLUIS L W M, DE ANDRADE F B: Chemical and mechanical influence of root canal irrigation on biofilm removal from lateral morphological features of simulated root canals, dentine discs and dentinal tubules. *International endodontic journal* 54: 112-129 (2021)
- PETERS L B: Disinfection of the root canal system during endodontic treatment. *Nederlands tijdschrift voor tandheelkunde* 112: 467-70 (2005)
- PLOTINO G, CORTESE T, GRANDE N M, LEONARDI D P, DI GIORGIO G, TESTARELLI L, GAMBARINI G: New Technologies to Improve Root Canal Disinfection. *Braz Dent J* 27: 3-8 (2016)
- PLOTINO G, GRANDE N M, MERCADE M, CORTESE T, STAFFOLI S, GAMBARINI G, TESTARELLI L: Efficacy of sonic and ultrasonic irrigation devices in the removal of debris from canal irregularities in artificial root canals. *J Appl Oral Sci* 27: e20180045 (2019)
- PLOTINO G, COLANGELI M, ÖZYÜREK T, DEDEUS G, PANZETTA C, CASTAGNOLA R, GRANDE N M, MARIGO L: Evaluation of smear layer and debris removal by stepwise intraoperative activation (SIA) of sodium hypochlorite. *Clin Oral Investig* 25: 237-245 (2021)
- PRADA I, MICÓ-MUÑOZ P, GINER-LLUESMA T, MICÓ-MARTÍNEZ P, COLLADO-CASTELLANO N, MANZANO-SAZ A: Influence of microbiology on endodontic failure. Literature review. *Medicina oral, patología oral y cirugía bucal* 24: e364-e372 (2019)
- PRADEEPKUMAR A R, SHEMESH H, VAN LOVEREN C, JOTHILATHA S, SHIREEN F, VIJAYABHARATHI R, KISHEN A: Impact of apical extent of root canal filling on vertical root fracture: a case-control study. *International endodontic journal* 52: 1283-1289 (2019)
- PREISSNER S, KOSTKA E, MOKROSS M, KERSTEN N V, BLUNCK U, PREISSNER R: DBEndo: a web-based endodontic case management tool. *BMC Res Notes* 8: 685 (2015)
- PRICE D: Psychological mechanisms of pain and analgesia. *Hippocampus* 19: 893-901 (1999)
- RAVALD N, JOHANSSON C S: Tooth loss in periodontally treated patients: a long-term study of periodontal disease and root caries. *J Clin Periodontol* 39: 73-9 (2012)
- RECHENBERG D K, HELD U, BURGSTALLER J M, BOSCH G, ATTIN T: Pain levels and typical symptoms of acute endodontic infections: a prospective, observational study. *BMC Oral Health* 16: 61 (2016)
- REIBER M: Kulturgeschichtliche Aspekte des Schmerzes. *Schweizerische Ärztezeitung* 81: 2652-2655 (2000)
- RESTREPO-RESTREPO F A, CAÑAS-JIMÉNEZ S J, ROMERO-ALBARRACÍN R D, VILLAMACHADO P A, PÉREZ-CANO M I, TOBÓN-ARROYAVE S I: Prognosis of root canal

- treatment in teeth with preoperative apical periodontitis: a study with cone-beam computed tomography and digital periapical radiography. *International endodontic journal* 52: 1533-1546 (2019)
- RIUS L, ARIAS A, ARANGUREN J M, ROMERO M, DE GREGORIO C: Analysis of the smear layer generated by different activation systems: an in vitro study. *Clin Oral Investig* 25: 211-218 (2021)
- RODIG T, BOZKURT M, KONIETSCHKE F, HULSMANN M: Comparison of the Vibringe system with syringe and passive ultrasonic irrigation in removing debris from simulated root canal irregularities. *Journal of endodontics* 36: 1410-3 (2010)
- RÖDIG T: Neuartige Systeme zur Applikation und Aktivierung von Spülflüssigkeiten. *Endodontie* 19: 187-195 (2012)
- RUDDLE C J: Nonsurgical endodontic retreatment. *Journal of the California Dental Association* 32: 474-84 (2004)
- RUDDLE C J: Hydrodynamic disinfection: tsunami endodontics. *Dentistry today* 26: 110, 112, 114-7 (2007)
- SCHÄFER E, BÖßMANN K: Antimikrobielle Wirksamkeit von Chlorxylenol und Chlorhexidin zur Behandlung infizierter Wurzelkanäle *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 2000 (vol 31).
- SCHWEIZERISCHE ZAHNÄRZTE-GESELLSCHAFT S: Qualitätsleitlinien in der Zahnmedizin. (2000)
- SCHWENDICKE F, GÖSTEMEYER G: Single-visit or multiple-visit root canal treatment: systematic review, meta-analysis and trial sequential analysis. *BMJ Open* 7: e013115 (2017)
- SEDGLEY C M, NAGEL A C, HALL D, APPLGATE B: Influence of irrigant needle depth in removing bioluminescent bacteria inoculated into instrumented root canals using real-time imaging in vitro. *International endodontic journal* 38: 97-104 (2005)
- SEGURA-EGEA J J, MARTÍN-GONZÁLEZ J, CABANILLAS-BALSERA D, FOUAD A F, VELASCO-ORTEGA E, LÓPEZ-LÓPEZ J: Association between diabetes and the prevalence of radiolucent periapical lesions in root-filled teeth: systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig* 20: 1133-41 (2016)
- SHAKIBA B, HAMEDY R, PAK J G, BARBIZAM J V, OGAWA R, WHITE S N: Influence of increased patient age on longitudinal outcomes of root canal treatment: a systematic review. *Gerodontology* 34: 101-109 (2017)
- SILVA E, ROVER G, BELLADONNA F G, HERRERA D R, DE-DEUS G, DA SILVA FIDALGO T K: Effectiveness of passive ultrasonic irrigation on periapical healing and root canal disinfection: a systematic review. *Br Dent J* 227: 228-234 (2019)
- SILVER S R, STEEGE A L, BOIANO J M: Predictors of adherence to safe handling practices for antineoplastic drugs: A survey of hospital nurses. *Journal of occupational and environmental hygiene* 13: 203-12 (2016)
- SIMKA A: Jahrbuch Endodontie 2019 Thema: Endodontische Komplikationen–Prävention und Management. *Jahrbuch Endodontie* (2019)
- SIPAVIČIŪTĖ E, MANELIENĖ R: Pain and flare-up after endodontic treatment procedures. *Stomatologija* 16: 25-30 (2014)
- SIQUEIRA J F, JR., LIMA K C, MAGALHAES F A, LOPES H P, DE UZEDA M: Mechanical reduction of the bacterial population in the root canal by three instrumentation techniques. *Journal of endodontics* 25: 332-335 (1999)
- SIQUEIRA J F, JR.: Aetiology of root canal treatment failure: why well-treated teeth can fail. *International endodontic journal* 34: 1-10 (2001)

- SIQUEIRA J F, JR., RÔÇAS I N: Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *Journal of endodontics* 34: 1291-1301.e3 (2008)
- SMATT Y, BROWAEYS H, GENAY A, RAOUL G, FERRI J: Iatrogenic pneumomediastinum and facial emphysema after endodontic treatment. *Br J Oral Maxillofac Surg* 42: 160-2 (2004)
- STOCK C J R C J R: *Color atlas and text of endodontics*: Mosby-Wolfe, 1995.
- TABASSUM S, KHAN F R: Failure of endodontic treatment: The usual suspects. *European journal of dentistry* 10: 144-147 (2016)
- TIEN M, TJOA H, ZHOU M, ABBOTT P V: Comparative Study of Four Endodontic File Systems to Assess Changes in Working Length during Root Canal Instrumentation and the Effect of Canal Curvature on Working Length Change. *Journal of endodontics* 46: 110-115 (2020)
- TINAZ A C, ALACAM T, UZUN O, MADEN M, KAYAOGULU G: The effect of disruption of apical constriction on periapical extrusion. *Journal of endodontics* 31: 533-5 (2005)
- TRONSTAD L, BARNETT F, SCHWARTZBEN L, FRASCA P: Effectiveness and safety of a sonic vibratory endodontic instrument. *Endodontics and dental traumatology* 1: 69-76 (1985)
- URBAN K, DONNERMEYER D, SCHAFER E, BURKLEIN S: Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clin Oral Investig* 21: 2681-2687 (2017)
- VILLALTA-BRIONES N, BACA P, BRAVO M, SOLANA C, AGUADO-PÉREZ B, RUIZ-LINARES M, ARIAS-MOLIZ M T: A laboratory study of root canal and isthmus disinfection in extracted teeth using various activation methods with a mixture of sodium hypochlorite and etidronic acid. *International endodontic journal* 54: 268-278 (2021)
- WALMSLEY A D, LUMLEY P J, LAIRD W R: Oscillatory pattern of sonically powered endodontic files. *International endodontic journal* 22: 125-32 (1989)
- WALSH L J: Novel Approaches to Detect and Treat Biofilms within the Root Canals of Teeth: A Review. *Antibiotics (Basel)* 9: (2020)
- WEINE F S: The enigma of the lateral canal. *Dental clinics of North America* 28: 833-52 (1984)
- WEINE F S: *Endodontic therapy*: Mosby, 1989.
- WEINE F S: *Endodontic therapy* 5th ed. Mosby, 1996.
- WILLIAMSON A, HOGGART B: Pain: a review of three commonly used pain rating scales. *J Clin Nurs* 14: 798-804 (2005)
- WYNNE C: Endodontics in Systemically Compromised Patients. *Common Complications in Endodontics*: 263-292 (2017)
- YAVOREK A, BHAGAVATULA P, PATEL K, SZABO A, IBRAHIM M: The Incidence of Root Canal Therapy after Full-Coverage Restorations: A 10-Year Retrospective Study. *Journal of endodontics* 46: 605-610 (2020)
- YOUSUF W, KHAN M, MEHDI H: Endodontic Procedural Errors: Frequency, Type of Error, and the Most Frequently Treated Tooth. *International Journal of Dentistry* 2015: 7 (2015)
- ZEHNDER M: Root canal irrigants. *Journal of endodontics* 32: 389-98 (2006)
- ZHANG M M, FANG G F, CHEN X T, LIANG Y H: Four-year Outcome of Nonsurgical Root Canal Retreatment Using Cone-beam Computed Tomography: A Prospective Cohort Study. *Journal of endodontics* 47: 382-390 (2021)

7 Danksagung

Meine Dankbarkeit möchte ich meiner Betreuerin Frau Prof. Dr. Birte Größner-Schreiber aussprechen, deren einfühlsame, motivierende Art und Erfahrung von großer Bedeutung für diese Arbeit, mein Studium und mich waren.

Ebenso große Dankbarkeit möchte ich meinem Betreuer Dr. David Christofzik ausdrücken, dessen unvergleichliches Engagement, Motivation und Freundschaft ich sehr schätze.

Herrn Prof. Dr. Christoph Dörfer, der als Direktor der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie die Basis für diese wissenschaftliche Arbeit zur Verfügung gestellt hat und durch richtungsweisende Kommentierungen diese Dissertation ermöglicht hat, gilt mein Dank.

Statistisch signifikanter Dank gebührt Frau Dr. Sandra Freitag-Wolf, deren Anleitung vom ersten Schritt der Forschung an es mir ermöglichte, ein Verständnis für das Thema der Statistik zu entwickeln.

Ebenso möchte ich Herrn Prof. Dr. Christian Graetz besondere Dankbarkeit aussprechen, der mir mit seinen hilfreichen Weisungen zur Seite stand und mit mir an weiteren Studien arbeitet.

Herrn Dr. Sönke Harms, der mich seit den ersten Semestern des Studiums begleitete, möchte ich meinen Dank aussprechen.

Dank sage ich meiner Mutter, deren Fürsorge und Unterstützung mir diesen Weg ermöglicht hat.

8 Anhang

8.1 Ethik

MEDIZINISCHE FAKULTÄT
DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL

ETHIK-KOMMISSION



Ethik-Kommission · Schwannenweg 20 · 24105 Kiel

Prof. Dr. med. Birte Größner-Schreiber
UKSH Kiel
Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie
Arnold-Heller-Straße 3, Haus B
24105 Kiel

Postadresse:
Arnold-Heller-Straße 3 / Haus U 27
D-24105 Kiel

Telefon 04 31 / 500-14 191
Telefax 04 31 / 500-14 195
ethikkomm@email.uni-kiel.de

Datum: 06. Februar 2020

AZ.: D 424/20 (bitte stets angeben)
Studienplan: **Auswertung der Prävalenz von postendodontischen Beschwerden und deren Ursache durch chemisch-physikalische Desinfektionsmethoden**
Basisformular v. 20.01.20, UKSH Einwilligungserklärung „Daten und Biomaterialien für die medizinische Forschung“
Studienleiter: Prof. Dr. Birte Größner-Schreiber, UKSH Kiel
Doktorand: Tobias Hahn, UKSH Kiel
Antrag vom: 20. Januar 2020 (Eingang: 30. Januar 2020)

Sehr geehrte Frau Kollegin Größner-Schreiber,

wir bestätigen den Eingang des obengenannten Antrages zur Beratung gemäß § 15 Berufsordnung (BO) der Ärztekammer Schleswig-Holstein. Nach Durchsicht der Unterlagen durch die Geschäftsstelle und durch mich als Vorsitzenden der Ethik-Kommission bestehen gegen die Durchführung der Studie keine berufsethischen und berufsrechtlichen Bedenken.

Die im Folgenden aufgeführten Hinweise müssen beachtet werden:

1. Es wird darauf hingewiesen, dass die Patienteninformation und Einwilligungserklärung „Daten und Biomaterialien für die medizinische Forschung“ am UKSH Kiel ausschließlich für volljährige einwilligungsfähige Patienten gilt. Somit ist der Einschluss Minderjähriger entgegen der Angaben im Basisformular 3.2 nicht zulässig und dies muss korrigiert werden. (Bitte Zusendung Korrektur per E-Mail).

Falls Minderjährige rekrutiert werden sollen, müssen die Sorgeberechtigten mündlich und schriftlich mit einer studienspezifisch zu erstellenden Information und Einwilligungserklärung aufgeklärt werden und einwilligen.

2. Es wird darauf hingewiesen, dass datenschutzrechtliche Aspekte grundsätzlich nur kurSORisch durch die Ethik-Kommissionen geprüft werden. Dieses Votum ersetzt nicht die Konsultation des zuständigen Datenschutzbeauftragten.

3. Es wird darauf hingewiesen, dass künftige Änderungen der Studie der Ethik-Kommission anzuzeigen sind und gegebenenfalls eine erneute Beratung erforderlich machen.

4. Die ethische und rechtliche Verantwortung für die Durchführung dieser Studie verbleibt beim Studienleiter.

5. Die Ethik-Kommission weist darauf hin, dass für eventuell in Zukunft weitere teilnehmende Zentren eine berufsrechtliche Beratung bei der jeweils für sie zuständigen Ethik-Kommission erforderlich ist.

AZ_D424/20_Jan20

Seite 1 von 2

6. Gemäß Deklaration von Helsinki **muss** der Ethik-Kommission nach Studienende ein Abschlussbericht vorgelegt werden, der eine Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen der Studie enthält.

Wir wünschen Ihnen für die Durchführung der Studie viel Erfolg.

Mit freundlichen kollegialen Grüßen


Prof. Dr. med. H. M. Meißner
Vorsitzender der Ethik-Kommission


Dr. med. Christine Glinicke
Geschäftsführung der Ethik-Kommission