

Aus der Poliklinik für Parodontologie und Zahnerhaltung  
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Zuverlässigkeit des Sensibilitäts-Kältetests bei der Diagnose irreversibler Pulpitiden

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der  
Zahnmedizin  
der Universitätsmedizin  
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Jule Strobel  
aus Laupheim

Mainz, 2020

Tag der Promotion:

08. Dezember 2020

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                                       |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Inhaltsverzeichnis .....</b>                                                       | <b>.....</b> |
| <b>Abbildungsverzeichnis .....</b>                                                    | <b>.....</b> |
| <b>Tabellenverzeichnis .....</b>                                                      | <b>.....</b> |
| <b>1 Einleitung .....</b>                                                             | <b>1</b>     |
| <b>2 Literaturdiskussion .....</b>                                                    | <b>2</b>     |
| <b>2.1 Aufbau eines Zahnes .....</b>                                                  | <b>2</b>     |
| 2.1.1 Makroskopischer Aufbau .....                                                    | 2            |
| 2.1.2 Mikroskopischer Aufbau .....                                                    | 3            |
| 2.1.2.1 Bestandteile der Zahnpulpa .....                                              | 3            |
| 2.1.2.2 Innervation der Zahnpulpa.....                                                | 5            |
| 2.1.2.3 Schmerzwahrnehmung.....                                                       | 7            |
| <b>2.2 Erkrankungen der Zahnpulpa.....</b>                                            | <b>7</b>     |
| 2.2.1 Einleitung.....                                                                 | 7            |
| 2.2.2 Pulpitis.....                                                                   | 7            |
| 2.2.3 Pulpanekrose .....                                                              | 10           |
| 2.2.4 Parodontitis apicalis.....                                                      | 10           |
| <b>2.3 Diagnostisches Verfahren .....</b>                                             | <b>10</b>    |
| 2.3.1 Anamnese .....                                                                  | 10           |
| 2.3.2 Klinische Untersuchung.....                                                     | 11           |
| 2.3.3 Möglichkeiten der Sensibilitäts-Messung der dentalen Pulpa.....                 | 12           |
| 2.3.3.1 Einleitung.....                                                               | 12           |
| 2.3.3.2 Sensibilitäts-Kälte- und -Wärmetest.....                                      | 13           |
| 2.3.3.2.1 Verschiedene Substanzen zur Durchführung des Sensibilitäts-Kältetests ..... | 15           |
| 2.3.3.3 Elektrische Pulpamessung .....                                                | 16           |
| 2.3.3.4 Aktuelle Studienlage zur Sensibilitätstestung.....                            | 17           |
| 2.3.3.5 Dentale Pulsoxymetrie .....                                                   | 18           |
| 2.3.3.6 Laser-Doppler-Flowmetrie .....                                                | 21           |
| 2.3.4 Weitere diagnostische Testverfahren .....                                       | 23           |
| 2.3.4.1 Perkussion.....                                                               | 23           |

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.4.2 Röntgen .....                            | 24        |
| 2.3.4.3 Transillumination .....                  | 26        |
| 2.3.4.4 Anästhesietest .....                     | 26        |
| 2.3.4.5 Testkavität .....                        | 27        |
| <b>3 Material und Methoden .....</b>             | <b>28</b> |
| 3.1 Studienteilnehmer .....                      | 28        |
| 3.2 Klinische Untersuchung .....                 | 29        |
| 3.3 Klinische Diagnose .....                     | 32        |
| 3.4 Pulpainspektion .....                        | 32        |
| 3.5 Finale/endgültige Diagnose .....             | 33        |
| 3.6 Statistische Auswertung .....                | 33        |
| <b>4 Ergebnisse .....</b>                        | <b>35</b> |
| 4.1 Sensibilitäts-Kältetest .....                | 35        |
| 4.1.1 Klinische Diagnose .....                   | 35        |
| 4.1.2 Pulpainspektion .....                      | 38        |
| 4.1.3 Finale Diagnose .....                      | 40        |
| 4.1.4 Sensitivität / Spezifität .....            | 41        |
| 4.2 Perkussion .....                             | 44        |
| 4.2.1 Klinische Diagnose .....                   | 44        |
| 4.2.2 Pulpainspektion .....                      | 46        |
| 4.2.3 Finale Diagnose .....                      | 49        |
| 4.2.4 Sensitivität / Spezifität .....            | 50        |
| 4.3 Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion ..... | 52        |
| 4.3.1 Klinische Diagnose .....                   | 53        |
| 4.3.2 Pulpainspektion .....                      | 55        |
| 4.3.3 Finale Diagnose .....                      | 56        |
| 4.3.4 Sensitivität / Spezifität .....            | 57        |
| 4.4 Röntgen .....                                | 59        |
| 4.4.1 Apikale Läsion .....                       | 60        |
| 4.4.1.1 Sensibilitäts-Kältetest .....            | 60        |
| 4.4.1.2 Perkussion .....                         | 61        |
| 4.4.1.3 Sensitivität / Spezifität .....          | 63        |
| 4.4.2 Karies .....                               | 65        |
| 4.4.2.1 Sensibilitäts-Kältetest .....            | 65        |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| 4.4.2.2 Perkussion.....               | 66        |
| 4.4.3 Sensitivität / Spezifität ..... | 68        |
| <b>4.5 Pulpainspektion.....</b>       | <b>69</b> |
| 4.5.1 Klinische Diagnose .....        | 70        |
| 4.5.2 Finale Diagnose .....           | 71        |
| 4.5.3 Sensitivität / Spezifität ..... | 73        |
| <b>5 Diskussion .....</b>             | <b>75</b> |
| <b>6 Zusammenfassung .....</b>        | <b>80</b> |
| <b>7 Literaturverzeichnis .....</b>   | <b>82</b> |

# Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Abbildung 2.3.3.1:</b> Schematische Darstellung der dentalen Pulsoxymetrie; (A) Leuchtdiode; (B) Zahnpulpa im Querschnitt; (Hb o.) oxygeniertes Hämoglobin; (Hb d.) desoxygeniertes Hämoglobin; (C) Fotodetektor; (D) Monitor ..... | 19 |
| <b>Abbildung 2.3.3.2:</b> Schematische Darstellung der Laser-Doppler-Flowmetrie. (A) Sonde aus Glasfasern; (B) Detektor für Ausgangssignal; (C) Zahnpulpa im Querschnitt; (D) Erythrozyten; (E) stationäre Gewebezellen .....          | 21 |
| <b>Abbildung 2.3.4.1:</b> Exemplarischer diagnostischer Fragebogen im Rahmen der Dissertation „Zuverlässigkeit des Sensibilitäts-Kältetests bei der Diagnose irreversibler Pulpitiden“ .....                                           | 29 |
| <b>Abbildung 4.1.1.1:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest zu klinischer Diagnose .....                                                                                                                     | 36 |
| <b>Abbildung 4.1.1.2:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest zu klinischer Diagnose (vereinfachte Darstellung) .....                                                                                          | 37 |
| <b>Abbildung 4.1.2.1:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest zu Pulpainspektion .....                                                                                                                         | 38 |
| <b>Abbildung 4.1.2.2:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest zu Pulpainspektion (vereinfachte Darstellung) .....                                                                                              | 39 |
| <b>Abbildung 4.1.3.1:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest zu finaler Diagnose .....                                                                                                                        | 40 |
| <b>Abbildung 4.1.3.2:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest zu finaler Diagnose (vereinfachte Darstellung) .....                                                                                             | 41 |
| <b>Abbildung 4.1.4.1:</b> Sensitivität und Spezifität des Sensibilitäts-Kältetests .....                                                                                                                                               | 42 |
| <b>Abbildung 4.1.4.2:</b> 95%-Konfidenzintervall des Sensibilitäts-Kältetests.....                                                                                                                                                     | 43 |
| <b>Abbildung 4.2.1.1:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Perkussion zu klinischer Diagnose.....                                                                                                                                   | 44 |
| <b>Abbildung 4.2.1.2:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Perkussion zu klinischer Diagnose (vereinfachte Darstellung).....                                                                                                        | 45 |
| <b>Abbildung 4.2.2.1:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Perkussion zu Pulpainspektion .....                                                                                                                                      | 47 |
| <b>Abbildung 4.2.2.2:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Perkussion zu Pulpainspektion (vereinfachte Darstellung) .....                                                                                                           | 48 |

|                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Abbildung 4.2.3.1:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Perkussion zu finaler Diagnose.....                                                                  | 49 |
| <b>Abbildung 4.2.3.2:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Perkussion zu finaler Diagnose (vereinfachte Darstellung).....                                       | 50 |
| <b>Abbildung 4.2.4.1:</b> Sensitivität und Spezifität der Perkussion .....                                                                                         | 51 |
| <b>Abbildung 4.2.4.2:</b> 95%-Konfidenzintervalle der Perkussion .....                                                                                             | 52 |
| <b>Abbildung 4.3.1.1:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion zu klinischer Diagnose .....                                  | 54 |
| <b>Abbildung 4.3.2.1:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion zur Pulpainspektion .....                                     | 55 |
| <b>Abbildung 4.3.3.1:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion zur finalen Diagnose.....                                     | 57 |
| <b>Abbildung 4.3.4.1:</b> Sensitivität und Spezifität des Sensibilitäts-Kältetest in Kombination mit der Perkussion .....                                          | 58 |
| <b>Abbildung 4.3.4.2:</b> 95%-Konfidenzintervalle des Sensibilitäts-Kältetests in Kombination mit der Perkussion .....                                             | 59 |
| <b>Abbildung 4.4.1.1:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest zur apikalen Läsion (vereinfachte Darstellung) .....                         | 60 |
| <b>Abbildung 4.4.1.2:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Perkussion zu apikaler Läsion (vereinfachte Darstellung) .....                                       | 62 |
| <b>Abbildung 4.4.1.3:</b> Auswirkungen der apikalen Läsion auf den Sensibilitäts-Kältetest und die Perkussion bezogen auf die Sensitivität und die Spezifität..... | 63 |
| <b>Abbildung 4.4.1.4:</b> Auswirkungen der apikalen Läsion auf den Sensibilitäts-Kältetest und die Perkussion bezogen auf die 95%-Konfidenzintervalle .....        | 64 |
| <b>Abbildung 4.4.2.1:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest zur Kariestiefe.....                                                         | 65 |
| <b>Abbildung 4.4.2.2:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung Perkussion zur Kariestiefe .....                                                                     | 67 |
| <b>Abbildung 4.4.3.1:</b> Auswirkungen der Kariestiefe auf den Sensibilitäts-Kältetest und die Perkussion bezogen auf die Sensitivität und die Spezifität .....    | 68 |
| <b>Abbildung 4.4.3.2:</b> Auswirkungen der Kariestiefe auf den Sensibilitäts-Kältetest und die Perkussion bezogen auf die 95%-Konfidenzintervalle.....             | 69 |
| <b>Abbildung 4.5.1.1:</b> Häufigkeitsverhältnis der Beziehung klinische Diagnose zu Pulpainspektion .....                                                          | 70 |

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Abbildung 4.5.2.1:</b> Häufigkeitsverteilung der Beziehung finaler Diagnose zur<br>Pulpainspektion ..... | 72 |
| Abbildung 4.5.3.1: Sensitivität und Spezifität der Pulpainspektion .....                                    | 73 |
| <b>Abbildung 4.5.3.2:</b> 95%-Konfidenzintervall der Pulpainspektion .....                                  | 74 |

# Tabellenverzeichnis

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabelle 4.1.1.1:</b> Verhältnis von Sensibilitäts-Kältetest zu klinischer Diagnose in absoluten Zahlen .....            | 35 |
| <b>Tabelle 4.1.2.1:</b> Verhältnis Sensibilitäts-Kältetest zu Pulpainspektion in absoluten Zahlen .....                    | 38 |
| <b>Tabelle 4.1.3.1:</b> Verhältnis Sensibilitäts-Kältetest zu finaler Diagnose in absoluten Zahlen .....                   | 40 |
| <b>Tabelle 4.2.1.1:</b> Verhältnis Perkussion zu klinischer Diagnose in absoluten Zahlen .....                             | 44 |
| <b>Tabelle 4.2.2.1:</b> Verhältnis Perkussion zu Pulpainspektion in absoluten Zahlen .....                                 | 46 |
| <b>Tabelle 4.2.3.1:</b> Verhältnis Perkussion zu finaler Diagnose in absoluten Zahlen .....                                | 49 |
| <b>Tabelle 4.3.1.1:</b> Verhältnis Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion zu klinischer Diagnose.....                      | 53 |
| <b>Tabelle 4.3.2.1:</b> Verhältnis Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion zu Pulpainspektion .....                         | 55 |
| <b>Tabelle 4.3.3.1:</b> Verhältnis Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion zu finaler Diagnose .....                        | 56 |
| <b>Tabelle 4.4.1.1:</b> Verhältnis Sensibilitäts-Kältetest zu Vorhandensein einer apikalen Läsion in absoluten Zahlen..... | 60 |
| <b>Tabelle 4.4.1.2:</b> Verhältnis Perkussion zu Vorhandensein einer apikalen Läsion in absoluten Zahlen.....              | 61 |
| <b>Tabelle 4.4.2.1:</b> Verhältnis Sensibilitäts-Kältetest zu Kariestiefe in absoluten Zahlen .....                        | 65 |
| <b>Tabelle 4.4.2.2:</b> Verhältnis Perkussion zu Kariestiefe in absoluten Zahlen .....                                     | 66 |
| <b>Tabelle 4.5.1.1:</b> Verhältnis klinische Diagnose zu Pulpainspektion in absoluten Zahlen .....                         | 70 |
| <b>Tabelle 4.5.2.1:</b> Verhältnis finale Diagnose zu Pulpainspektion in absoluten Zahlen.....                             | 71 |

# 1 Einleitung

Um eine Erkrankung der Zahnpulpa festzustellen gibt es heutzutage in der Zahnmedizin verschiedene diagnostische Verfahren. Zu den konventionellen Methoden zählen der Sensibilitäts-Kältetest, der Perkussionstest und die Röntgendiagnostik. Mit Hilfe dieser Verfahren, der Anamnese und einer extra- und intraoralen Untersuchung ist es dem Zahnarzt möglich, eine Diagnose zu stellen und somit eine adäquate Therapie für den Patienten zu erzielen (1,2).

Allerdings können diese Tests fehlerhaft sein und so einen falschen Rückschluss auf die Erkrankung der Pulpa geben. Dies hat zur Folge, dass immer noch häufig eine falsche Diagnose und somit auch eine falsche Therapie erfolgt (2). Die Tatsache, dass die Zahnpulpa von umliegendem verkalktem Gewebe umschlossen und so keine direkt Sicht auf das pulpale Gewebe möglich ist (3), erschweren die Durchführbarkeit eines nicht-invasiven Tests erheblich. Trotz dieser Tatsache, zählt die Vitalitätsprüfung zu einem der wichtigsten diagnostischen Hilfsmittel für den Zahnarzt (4).

Zur Untersuchung der Häufigkeit falscher Diagnosen und somit falscher Therapieentscheidungen, wurden im Rahmen einer klinischen Studie 216 erkrankte Zähne untersucht und nach Diagnosestellung eine Wurzelkanalbehandlung eingeleitet. Die Trepanation ließ einen Rückschluss auf die bestehende Erkrankung der Pulpa zu. Primäres Ziel der Studie war es, herauszufinden, wie häufig die in der Praxis üblichen konventionellen diagnostischen Verfahren falsch liegen.

Durch eine Verbesserung bzw. Weiterentwicklung der bestehenden Verfahren könnte ggf. eine Vielzahl nicht notwendiger Trepanationen bzw. Wurzelkanalbehandlungen vermieden werden. Des Weiteren sollten moderne Verfahren zur Feststellung des Pulpastatus erläutert und kritisch evaluiert werden.

## **2 Literaturdiskussion**

### **2.1 Aufbau eines Zahnes**

#### **2.1.1 Makroskopischer Aufbau**

Das vollständige erwachsene menschliche Gebiss besteht aus 32 Zähnen. Jeder Zahn hat verschiedene Komponenten, auf die hier näher eingegangen werden soll, da sie wichtig sind für das Verständnis der thermischen Erregbarkeit des Zahnes.

Jeder Zahn besteht aus dem Zahnschmelz (Enamelum), dem Zahnbein (Dentium), der Zahnpulpa (Pulpa dentis) und dem Wurzelzement (Cementum). Diese Bestandteile lassen sich in eine Zahnkrone (Corona dentis), welche in die Mundhöhle ragt, und eine Zahnwurzel (Radix dentis), welche physiologisch unterhalb des Zahnfleisches liegt, aufteilen. Die Zone zwischen Zahnkrone und -wurzel wird als Zahnhals bezeichnet (Cervis dentis). Die Pulpa füllt die innerste Kammer, das sogenannte Pulpakavum (Cavitas dentis) aus und dient der Innervation und der Vaskularisation des Zahnes. Die Nervenfasern und Blutgefäße gelangen über das Foramen apicale (Apex radialis dentis) in den Zahn. Die Pulpa lässt sich aufteilen in eine Kronen- und eine Wurzelpulpa. Sie entspricht der Grundform des jeweiligen Zahnes. Jedoch ist die Vorstellung, dass lediglich ein Wurzelkanal pro Zahnwurzel auftreten kann falsch. Wolf et al. zeigten (5-8) in mehreren Studien, dass verschiedene Wurzelkanalkonfigurationen und interradikuläre Kanäle auftreten können. Mittels Mikro-Computer Tomographie (Micro-CT) konnten verschiedene Zähne untersucht und die Wurzelkanalkonfiguration ermittelt werden. Das genaue Verständnis der Wurzelkanalanatomie eines jeden Zahnes ist unabdingbar, um eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung durchführen zu können. Des Weiteren hilft es dem Behandler bei der Diagnose pulpalen Erkrankungen und kann so in besseren Therapie-Entscheidungen resultieren.

Um die Pulpa findet sich Dentin. Das Dentin wird durch Odontoblastenfortsätze innerviert. Odontoblasten sind Pulpa-Zellen. Sie kleiden das gesamte Pulpakavum aus und sind durch ihre Ausläufer in der Lage, das Dentin zu versorgen. Dadurch wird eine thermische Reizung des Zahnes nicht nur von der Pulpa wahrgenommen,

sondern auch vom Dentin. Um das Kronendentin befindet sich Zahnschmelz. Der Zahnschmelz ist weder innerviert noch vaskularisiert, das bedeutet er bildet eine Schutzschicht gegenüber Einflüssen der Mundhöhle. Um das Wurzeldentin befindet sich Wurzelzement.

Das Parodont, der sogenannte Zahnhalteapparat, dient der Verankerung des Zahnes in der Alveole. Bestandteile des Parodonts sind das Desmodont (Wurzelhaut), der Wurzelzement, der Alveolarknochen und die Gingiva (Zahnfleisch).

Das Desmodont umlagert den kompletten Wurzelzement und ist mit den sogenannten Sharpey'schen Fasern verbunden. Diese sind ein Bandapparat mit direkter Verbindung zum Alveolarknochen wodurch Kaukräfte abgefangen werden können und den darunterliegenden Knochen entlasten.

## **2.1.2 Mikroskopischer Aufbau**

### **2.1.2.1 Bestandteile der Zahnpulpa**

Die Bestandteile der Pulpa sind hauptsächlich mesenchymales Gewebe, welches von afferenten, sympathischen und parasympathischen Fasern durchzogen wird (9). Des Weiteren finden sich die verschiedenen Zelltypen der Pulpa wieder sowie Neuropeptide, die vor allem bei der Schmerzweiterleitung eine wichtige Rolle spielen. Zu den verschiedenen Zelltypen gehören die zuvor genannten Odontoblasten. Sie differenzieren sich aus den mesenchymalen Stammzellen in ein terminales Stadium und werden zu langlebigen post-mitotischen Zellen innerhalb der Pulpa (10). Laut Lilja befinden sich die Odontoblasten mit ihren Ausläufern über den gesamten Zahn verteilt innerhalb der Dentintubuli. Das bedeutet, es finden sich sowohl in der Krone als auch in der Wurzel Odontoblastenfortsätze, die für eine Innervation des Dentins sorgen (11). Byers et al. kamen allerdings auf ein anderes Ergebnis. Sie führten eine Studie an Affen durch und fanden heraus, dass innerviertes Dentin häufig in der Nähe der Pulpahörner liegt, wohingegen radikuläres Dentin meist nicht innerviert wird. Zusätzlich konnten sie im reparativen Dentin, welches von den Odontoblasten gebildet werden kann - dies wird in den Funktionen der Pulpa nochmals genauer beschrieben - keinerlei Innervation finden. Im innervierten Dentin sind die

Odontoblastenfortsätze säulenförmig angeordnet, mit einer angrenzenden zellfreien Zone und darunter liegendem Nervenplexus (12).

Zudem finden sich Fibroblasten wieder, welche für die Produktion der Grundsubstanz verantwortlich sind und somit den größten Anteil an Zellen ausmachen. Außerdem gibt es undifferenzierte mesenchymale Stammzellen, die in der Lage sind, sich in jeden anderen Zelltyp der Pulpa weiter zu entwickeln. Auch Zellen zur Immunabwehr, wie beispielsweise Makrophagen oder auch T- und B-Lymphozyten kommen in der Pulpa vor.

Es gibt verschiedene Arten von Blutgefäßen innerhalb der Pulpa: endständige Arteriolen, präkapilläre Arteriolen, Kapillaren, postkapilläre Venolen und Muskelvenen. Nervenplexi finden sich vor allem um die endständigen Arteriolen wieder (13). Aufgrund dieser verschiedenen Blutgefäße entspricht das Gefäßsystem der Pulpa einem Endstromgebiet. Die Arteriolen treten über das Foramen apicale und weitere akzessorische Kanäle in die Pulpa ein. Sie bilden dann im subodontoblastischen Bereich ein Kapillarnetz, gelangen allerdings selbst nie ins Dentin. Diese Funktion ist ausschließlich den Nervenfasern vorbehalten, welche auch einen subodontoblastischen Plexus bilden und mit dünnen immunaktiven Fasern bis in den odontoblastischen Bereich ragen können (14). Die Arteriolen bilden nun Anastomosen mit sich dort befindenden Venolen, welche dann wiederum aus dem Foramen apicale und den akzessorischen Kanälen austreten können (15). Die afferenten Nervenfasern der Pulpa entstammen dem fünften Hirnnerven, dem N. Trigemini. Im Unterkiefer ist der weiterführende Ast der N. alveolaris inferior, im Oberkiefer sind es die Nn. alveolares superiores posteriores, N. alveolaris superior medius und Rr. alveolares superiores anteriores (16). Die afferenten Fasern lassen sich im Grunde in zwei große Typen unterscheiden: A-Delta- und C-Fasern. A-Delta-Fasern sind myelinisiert und haben eine wesentlich höhere Leitungsgeschwindigkeit von über 30 m/s als die unmyelinisierten C-Fasern mit unter 2 m/s. Sie vereinen sich im Raschkowschen Plexus. A-Delta-Fasern sind hauptsächlich für einen scharfen, stechenden Schmerz und die C-Fasern für den langsamer auftretenden Schmerz verantwortlich (1).

### **2.1.2.2 Innervation der Zahnpulpa**

Wie schon genannt, befinden sich in der Pulpa drei verschiedene Faserqualitäten: sensorische/afferente, sympathische und parasympathische Nervenfasern. Sie entstammen jeweils verschiedenen Ganglien. Die afferenten Fasern entstammen dem Ganglion trigeminale, die sympathischen dem zervikalen sympathischen Ganglion und die parasympathischen dem parasympathischen Ganglion (12,17). Alle Nervenfasern legen sich zu mehreren Nervenbündeln zusammen, welche sowohl in der zentralen als auch in der apikalen Pulpa vorkommen. Sie werden oft von Blutgefäßen begleitet (14). Die Nervenfasern werden von Neuropeptiden begleitet. Neuropeptide agieren als Neurotransmitter, das heißt sie können einen bestehenden Reiz von einer Nervenzelle auf eine andere Zelle übertragen (9). Auf Grund der aktuellen Studienlage kann davon ausgegangen werden, dass sie eine zentrale Rolle in der Schmerzweiterleitung spielen. Zum einen sind sie für die Expression von Entzündungsmediatoren verantwortlich (9). Zum anderen sind sie für die Entzündungsreaktion mitverantwortlich. Sie interagieren mit immunkompetenten Zellen, wodurch sie in der Lage sind Chemotaxis, Phagozytose und Lymphozytenproliferation auszulösen (9,18). Dadurch spielen sie eine wichtige Rolle für die Entstehung und Weiterentwicklung von pulpalen Entzündungen (19). Neuropeptide sind für die Modulation des intrapulpalen Blutflusses mitverantwortlich, da sich vor allem CGRP (calcitonin gene-related peptide) und Neuropeptid Y innerhalb des Nervenplexus an den endständigen Arteriolen befinden (13). Die hämodynamische Regulierung der Pulpa besteht jedoch nicht nur aus lokalen sondern auch aus entfernteren (interdentale Sinnesnerven) Mechanismen zur Kontrolle des Gefäßsystems. Die korrekte Hämodynamik ist für den Gesundheitszustand der Pulpa unerlässlich, da sie für die Ernährung der Pulpazellen sowie den Abtransport von Metaboliten und Abfallprodukten verantwortlich ist (20).

Zu den Neuropeptiden, welche in den afferenten Fasern vorkommen, zählen insbesondere die Substanz P, Neurokinin A und CGRP. Durch den Stimulus von sensorischen Neuronen werden diese Substanzen freigesetzt und haben in Folge einen pro-inflammatorischen Effekt. Durch die Freisetzung von Histamin kommt es zu einer Vasodilatation, Plasmaextravasation, Hypersensibilität und erhöhten Gefäßpermeabilität (18,21). Da die Entzündung von einem nervalen Stimulus ausgeht wird sie auch als neurogene Entzündung bezeichnet. Neuropeptide wie

Substanz P und CGRP sind an sich schon in einer relativ hohen Konzentration in der Pulpa vorhanden (22). Jedoch konnten mehrere Autoren belegen, dass der Konzentrationsspiegel bei pulpalen Entzündungen wie der irreversiblen Pulpitis nochmals ansteigt (23-25). Caviedes-Bucheli et al. (26) konnten zudem zeigen, dass eine vermehrte Freisetzung von Substanz P bei Zähnen, die zuvor präpariert wurden, zu beobachten ist. Auch diese Studie deutet darauf hin, dass Neuropeptide vermehrt bei Stimuli ausgeschüttet werden. Die Neuropeptide der afferenten Fasern finden sich in der zentralen Pulpa und der Pulpa-Dentin-Zone nahe der Blutgefäße, sowie in den Odontoblastenfortsätzen des mineralisierten Dentins wieder (9,14,27). Eine weitere Funktion von Substanz P und CGRP ist die Wachstumsstimulation von Fibroblasten, wodurch sie die Pulpaheilung unterstützen können (28). CGRP induziert die Dentinregeneration durch Interaktion mit den Pulpazellen (29).

Das Neuropeptid Y entstammt dem sympathischen zervikalen Ganglion und findet sich in der zentralen Pulpa wieder (14). Wie auch die Neuropeptide der afferenten Fasern ist der Konzentrationsspiegel von Neuropeptid Y bei Entzündungen erhöht, führt jedoch nicht zu einer Vasodilatation sondern zu einer Vasokonstriktion (9,24). Zusammen mit den oben genannten Neuropeptiden, dient es vor allem auch der Schmerzerkennung und -weiterleitung (30).

Als letztes wichtiges Neuropeptid wird das VIP (vasoaktives intestinales Peptid) betrachtet, welches seinen Ursprung in den parasympathischen Ganglien hat. Es findet sich in der Pulpa entweder innerhalb von Nervenbündeln um Blutgefäße herum oder aber als einzelne Fasern innerhalb des Pulpa-Stromas wieder (14,31). Wie auch die Neuropeptide der afferenten Fasern führt VIP zu einer Vasodilatation (9). Allerdings ist der Konzentrationsspiegel bei pulpaler Entzündung gleichbleibend (24). Auffällig ist, dass eine höhere Expression von VIP bei periapikalen Läsionen zu erkennen ist, weshalb dieses Neuropeptid vermutlich noch weitere Zusammenhänge zu pulpalen Zellen hat (32).

Ein Phänomen, das bei allen aufgeführten Neuropeptiden vorkommt, ist die erhöhte Expression bei vorhandener Karies (33,34).

Neuropeptide spielen demnach eine wichtige Rolle für die neurogene Entzündung und die Schmerzweiterleitung.

### **2.1.2.3 Schmerz Wahrnehmung**

Nach Caviedes-Bucheli et al. (9) lässt sich die Wahrnehmung von odontogenen Schmerzen in drei Schritte aufteilen. Zunächst erkennen die nozizeptiv afferenten Nervenfasern ein vermehrtes Vorhandensein von Entzündungsmediatoren, welche zuvor von Neuropeptiden über mehrere Schritte exprimiert wurden. Durch die nun erfolgende Vasodilatation und erhöhte Gefäßpermeabilität kommt es zu einem Anstieg des intrapulpalen Drucks und somit zu einer Überempfindlichkeit der intradentalen Nerven. Die A-Delta-Fasern – und teilweise auch die C-Fasern – werden erregt (35) und geben den Reiz an das Ganglion trigeminale weiter. So gelangt der Reiz in das medulläre Hinterhorn, wodurch er über mehrere Schritte zum Thalamus und der Großhirnrinde weitergeleitet wird. Hier erfolgt letztlich die Schmerzwahrnehmung (9).

## **2.2 Erkrankungen der Zahnpulpa**

### **2.2.1 Einleitung**

Grundsätzlich können Schmerzen der Mundhöhle zwei verschiedene Ursachen haben: Schmerzen mit dentalem oder Schmerzen mit systemischem Ursprung (36). Die verschiedenen Pulpa-Testverfahren sind in jedem Fall hilfreich, um eine systemische Ursache auszuschließen (1). Im Rahmen dieser Literaturdiskussion soll allerdings lediglich auf die Schmerzen odontogenen Ursprungs eingegangen werden.

### **2.2.2 Pulpitis**

Unabhängig von der Pathogenese einer Pulpitis ist die Tatsache, dass sie erst durch die Anwesenheit von Bakterien entstehen kann.

Es lässt sich eine primär-bakterielle, hervorgerufen durch eine kariöse Läsion oder eine offene Kavität, von einer sekundär bakteriellen Pulpitis unterscheiden. Die sekundär bakterielle Pulpitis kann durch verschiedene Reize hervorgerufen werden. Als mechanischer Reiz lassen sich hier zum Beispiel ein Zahntrauma, welches durch einen Sportunfall hervorgerufen werden kann, oder auch eine Abnutzung in Form von Attrition, Abrasion oder Erosion nennen. Ein sogenanntes Schleiftrauma, welches iatrogen durch eine ungenügende Kühlung bei der Präparation eines Zahnstumpfes hervorgerufen werden kann, erzeugt einen thermischen Reiz.

Sowohl primär als auch sekundär bakterielle Reize haben zur Folge, dass Dentintubuli freiliegen und somit Bakterien an die Pulpa-Dentin-Grenze vordringen können.

Die Pulpitis durchläuft wie jede andere Entzündung mehrere Phasen. Zunächst erfolgt eine zelluläre Phase, in welcher vor allem die neutrophilen Granulozyten als Entzündungszellen eine wichtige Rolle spielen. Darauf folgt die vaskuläre Phase, wobei es zu einer Kapillarvermehrung und einer erhöhten Permeabilität der Kapillaren kommt. Durch die erhöhte Permeabilität erfolgt nun eine Druckerhöhung im Interstitium der Pulpa.

Man spricht von einer reversiblen Pulpitis, wenn lediglich lokale Pulpabereiche, die direkt an angrenzenden Dentintubuli liegen, von der Reaktion betroffen sind. An diesem Bereich kann nun eine Abwehrreaktion der Pulpa erfolgen. Die Odontoblasten sind durch den Reiz in der Lage Tertiärdentin zu bilden und somit die Pulpa vor weiterer Bakterienexposition zu schützen. Die Pulpa kann sich in diesem Stadium noch vollständig generieren, eine Restitutio ad Integrum ist möglich. Eine reversible Pulpitis kann allerdings nur rückgängig gemacht werden, wenn möglichst schnell eine Reizausschaltung erfolgt. Der Patient empfindet meist einen milden bis moderaten Schmerz. Histologisch betrachtet findet sich eine geringe Entzündung oder eine chronisch partielle Pulpitis ohne Nekrose wieder (36).

Sollte der Reiz nicht beseitigt werden, führt dies zu einer irreversiblen Pulpitis. Diese Reaktion ist beispielsweise bei einer schnell voranschreitenden Karies zu beobachten. In diesem Fall ist keine Tertiärdentinbildung mehr möglich. Als Maßnahme sollte also bei vorhandener Karies stets eine rasche Therapie erfolgen, um eine Mitbeteiligung der Pulpa zu vermeiden (37). Die Reizpersistenz führt zu einer Degeneration der Odontoblasten, wodurch kein Tertiärdentin mehr gebildet

werden kann. Die Pulpa ist so nicht mehr gegen äußere Angriffe durch mikrobielle Erreger abgeschirmt. Die Bakterien können größere Teile der Pulpa einnehmen. Dies hat eine Hyperämie der Kapillaren und demnach eine erhöhte Gefäßpermeabilität zur Folge. Dadurch steigt auch der Gewebedruck an. Der Patient empfindet stärkere Schmerzen und histologisch kann eine chronisch partielle Pulpitis mit Nekrose beobachtet werden. Als Therapie ist hier eine Wurzelkanalbehandlung oder im schlimmsten Fall eine Extraktion des Zahns durchzuführen (36,38).

Byers et al. führten eine Untersuchung an Ratten durch, wobei sie jeweils verschiedene Bereiche des Zahns schädigten, um die Auswirkungen zu beobachten. Kam es lediglich zu einer Verletzung des zervikalen Dentins, konnte sich dieses komplett normalisieren. Bei Anätzung des zervikalen Dentins konnte eine Tertiärdentinbildung beobachtet werden. Bei tatsächlicher Pulpaexposition gab es eine Vielzahl von Reaktionen die meist in einer Pulpanekrose geendet haben, teilweise mit zusätzlicher apikaler Läsion (39). Dieser Versuch belegt die zuvor beschriebenen Reaktionen.

Die genannten Phasen der Entzündung der Pulpa laufen vermutlich gleichzeitig in verschiedenen Regionen der Pulpa ab. Aus diesem Grund ist die Unterscheidung zwischen einer akuten und einer chronischen Pulpitis sehr schwierig.

Unabhängig von der Art der Pathogenese verläuft die Symptomatik einer Pulpitis relativ ähnlich. Besonders bei der irreversiblen Pulpitis lassen sich die klassischen Entzündungssymptome erkennen: Rubor (Rötung) und Calor (Hitze) bedingt durch die Hyperämie, Tumor (Schwellung) bedingt durch die Druckerhöhung im umliegenden Gewebe, Functio laesia (eingeschränkte Funktion) und Dolor (Schmerz). Der Schmerz ist meist durch bestimmte Reize wie Wärme oder Kälte provozierbar. Bei der reversiblen Pulpitis können diese Symptome auch auftreten, jedoch liegen sie hier meist in abgeschwächter Form vor.

### **2.2.3 Pulpanekrose**

Sollte die Immunreaktion nicht mehr vorhanden sein, kommt es zu nekrotischen Bereichen innerhalb der Pulpa. Diese sind zunächst lokal begrenzt, können sich aber auf die komplette Pulpa ausbreiten (9,40).

Die Pulpanekrose kann allerdings nicht nur durch eine Pulpitis verursacht werden (9). Auch sie kann durch ein direktes Trauma, wie beispielsweise eine Wurzelfraktur, hervorgerufen werden. Dadurch kommt es zur direkten Verletzung der Pulpa, wodurch diese nekrotisiert (41,42).

### **2.2.4 Parodontitis apicalis**

Die unbehandelte Pulpitis führt mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit zu einer apikalen Parodontitis (43). Das bedeutet, dass die Bakterien entweder über das Foramen apicale oder durch Seitenkanäle in das umliegende Parodont gelangen können. Hier können sie eine Resorption des Knochens und des Gewebes verursachen. Bei weiterer unterlassener Behandlung ist eine Zystenbildung oder eine Abszedierung möglich (44). In vielen Fällen ist die apikale Parodontitis röntgenologisch zu erkennen (45). Da der Druck sich nun in diese Region ausweitet ist es möglich, dass der Patient eine besondere Symptomatik entwickelt: er hat das Gefühl, dass der Zahn ‚zu hoch‘ ist, da sich dieser leicht aus der Alveole herauslöst.

## **2.3 Diagnostisches Verfahren**

### **2.3.1 Anamnese**

Die Erfragung der Anamnese ist ein elementarer Bestandteil jeder ärztlichen und zahnärztlichen Behandlung. Dabei sollte nicht nur die spezielle Anamnese, das heißt

die Vorgeschichte des betreffenden Zahns, sondern auch die allgemeine Anamnese erfragt werden.

Bei der speziellen Schmerzanamnese sollte der Behandler sowohl die Dauer des Schmerzes als auch die Schmerzqualität erfragen. Obwohl eine Korrelation zwischen den verschiedenen Schmerzqualitäten und der möglichen Diagnose nicht zwingend vorhanden sein muss, sollte der Zahnarzt über Dauer und Qualität des Schmerzes Informationen sammeln (46). In einer Studie zu den verschiedenen Schmerzqualitäten mit darauffolgender histopathologischer Untersuchung des Zahns, konnte Cisneros-Cabello (47) einige Zusammenhänge feststellen. So sind beispielsweise Anzeichen für eine chronische Pulpitis vermehrt die länger auftretenden und lang anhaltenden Schmerzen. Es ist daher wichtig, alle Informationen bezüglich des betreffenden Zahns vom Patienten zu erfahren, um im nächsten Schritt diese Informationen mit weiteren aus der klinischen Untersuchung zusammenfassend zu betrachten.

### **2.3.2 Klinische Untersuchung**

Die klinische Untersuchung umfasst eine extra- und eine intraorale Untersuchung. Bei der extraoralen Untersuchung ist besonders auf Schwellungen oder Rötungen zu achten. Zudem sollten die Lymphknoten abgetastet werden.

Bei der intraoralen Untersuchung sollte zunächst eine visuelle Inspektion des kompletten Mundraumes vorgenommen werden, bevor sich der Zahnarzt rein auf den betreffenden Zahn konzentriert. Wichtig ist nun die Palpation, da ein geschwollenes Vestibulum am betreffenden Zahn schon auf eine mögliche apikale Parodontitis hindeuten könnte. Etwaige Restaurationen und kariöse Läsionen werden nach Befundung notiert. Eine allgemeine Beschreibung zum Zustand des Gebisses abzugeben ist sinnvoll. Zur oralen Inspektion zählt zudem die Charakterisierung von Gingiva und Parodont. Hierbei können Schwellung und Taschentiefen angegeben werden. Auch der Lockerungsgrad ist von großer Bedeutung, da eine erhöhte Lockerung des Zahns auf eine periapikale Entzündung oder auf eine vorliegende parodontale Erkrankung hindeuten kann (48).

Der Zahnarzt sollte eine ausführliche orale Inspektion durchführen, bevor verschiedene Testverfahren zur Pulpavitalität eingesetzt werden.

### **2.3.3 Möglichkeiten der Sensibilitäts-Messung der dentalen Pulpa**

#### **2.3.3.1 Einleitung**

Der ideale Test zur Messung der Pulpa-Vitalität sollte laut Chambers (49) nicht-invasiv, schmerzfrei, standardisiert und reproduzierbar, kostengünstig und objektiv sein. Da dies bisher noch nicht realisiert werden konnte, gibt es heutzutage in der Zahnmedizin eine Vielzahl von Testverfahren, um die Vitalität und den Zustand der Zahnpulpa zu messen. Sie geben dem Zahnarzt, obwohl sie nicht alle oben genannten Kriterien erfüllen, hilfreiche Informationen zur Befundung und schließlich zum Stellen von Diagnose/n und Therapieplan (48).

Die ältesten und einfachsten Methoden sind sogenannte Sensibilitäts-Kälte- und -Wärmetests. Zusammen mit der elektrischen Pulpamessung zählen sie zu den Testverfahren, die auf die Innervation der Pulpa abzielen. Dies hat zur Folge, dass im eigentlichen Sinne nicht die Vitalität der Pulpa überprüft wird, da die Gefäßversorgung eine wichtigere Aussage über die Gesundheit der Pulpa abgeben kann als ihre sensorische Versorgung (50). Solche Tests treffen also keine Aussage über die Blutversorgung der Zahnpulpa, sondern lediglich über deren Innervation. Es handelt sich somit um rein subjektive Testverfahren, die schwer reproduzierbar sind. Trotz der Einfachheit und teilweisen Ungenauigkeit thermischer Tests ist der Nutzen als diagnostisches Hilfsmittel vorhanden (51). Bei Schmerzen mit Verdacht auf einen odontogenen Ursprung können die Sensibilitätstest hilfreich sein, um den betreffenden Zahn ausfindig zu machen (36). Sie geben einen ersten Hinweis auf mögliche Erkrankungen der Zahnpulpa.

Neuere Verfahren für die Messung der Pulpavitalität sind vor allem die Pulsoxymetrie und die Laser-Doppler-Flowmetrie. Sie messen tatsächlich die Vitalität der Pulpa, da sie auf die Blutversorgung der Pulpa abzielen. Diese Testverfahren sind jedoch wesentlich aufwendiger und schwieriger in der Handhabung, weshalb in der zahnärztlichen Praxis in der Regel der Sensibilitätstest angewendet wird. Laut Abdelmeguid et al. haben diese Testverfahren trotz ihrer Nachteile das größte Potenzial zur klinischen Anwendung in der Zukunft (50).

Maupomé et al. (52) haben mehrere Studien untersucht und sind zu dem Fazit gekommen, dass es teilweise sinnvoll sein kann, mehr als nur einen dieser

Testverfahren anzuwenden, die verschiedene Resultate miteinander zu vergleichen und so eine bessere Befundung für den Patienten ermöglichen.

### **2.3.3.2 Sensibilitäts-Kälte- und -Wärmetest**

Zu den thermischen Testverfahren zählen der Sensibilitäts-Kälte- und Wärmetest. Bei der Testung mit Kälte wird der Zahn mittels verschiedener Applikatoren und verschiedener Substanzen gekühlt. Bei der Wärmetestung wird heißes Stangenguttapercha verwendet, um den Zahn zu erhitzen. Das heiße Guttapercha kann nicht nur die A-Delta-Fasern stimulieren, sondern oftmals auch die C-Fasern. Das hat jedoch zur Folge, dass der Patient zusätzliche Schmerzen für mehrere Sekunden empfindet (50). Durch die schlechteren Resultate dieses Testverfahrens und der zusätzlichen Schmerzproduktion am Patienten kommt es heutzutage eher selten zum Einsatz (53).

Das Prinzip der Kältetestung beruht auf der Aktivierung von A-Delta-Fasern, welche sich innerhalb der Dentintubuli befinden. Die Aktivierung erfolgt durch eine Volumenänderung der Flüssigkeit innerhalb der Dentintubuli, wodurch ein Stimulus hervorgerufen wird. Die A-Delta-Fasern benötigen lediglich 25% der Reizmenge von C-Fasern, weshalb diese schneller aktiviert werden können (54). Die thermischen Testverfahren geben nur Aufschluss über die Reizweiterleitung, nicht jedoch über die Gefäßversorgung der Pulpa an sich. Dies kann als Nachteil angesehen werden, da die alleinige Aussage über die Reizweiterleitung keine genaue Angabe zum Zustand beziehungsweise zum Grad der Erkrankung der Pulpa gibt. Der Kältetest kann also lediglich zwischen vital und nekrotisch unterscheiden (55). Dies bedeutet auch, dass bei der Verdachtsdiagnose einer Pulpitis ein Kältetest sehr sinnvoll sein kann, da dieser die eigentliche Symptomatik einer Pulpitis reproduzieren und somit hervorrufen kann (54).

Luthman et al. (14) führten eine Studie an Zähnen mit offenen Apices durch welche eine weitere Einschränkung zeigt. Da diese noch kein abgeschlossenes Wurzelwachstum haben, findet sich eine weniger dichte Neurofilamentinnervation in der koronalen Pulpa wieder und die Sensibilitätstestung ist nicht so effektiv. Ein zusätzlicher Nachteil des Sensibilitäts-Kältetests ist, dass er für den Patienten sehr

unangenehm und gelegentlich auch schmerzhaft sein kann (56,57). Hinzu kommt, dass dieses Testverfahren auf einer rein subjektiven Empfindung des Patienten beruht. Dies hat zur Folge, dass die Kältetestung nicht standardisierbar und reproduzierbar ist. Der Behandler muss die Empfindung des Patienten interpretieren, was wiederum eine subjektive Wahrnehmung darstellt und somit als mögliche Fehlerquelle berücksichtigt werden muss. Der Sensibilitäts-Kältetest ist ein subjektiver Test, bei dem sich gewisse Fehlerquellen nicht eliminieren lassen (54,58). Dies kann mögliche ungenaue und nicht wahrheitsgemäße Ergebnisse zur Folge haben (57).

Eine weitere Verfälschung der Diagnose kann durch falsch-positive oder falsch-negative Ergebnisse hervorgerufen werden. So haben Ikeda et al. (59) beschrieben, wie Zähne, die an sich keine Reizweiterleitung mehr ausüben, trotzdem noch vaskularisiert sein können. Ein Beispiel hierfür wären zerstörte Zähne nach Trauma, wobei die Reizweiterleitung nicht mehr stattfinden kann, eine Vaskularisation aber durchaus möglich ist. Peters et al. (60) fanden heraus, dass falsch-positive Ergebnisse besonders bei Molaren eine große Rolle spielen. Die Erklärung hierfür beruht auf der Mehrwurzigkeit dieser Zähne, da mehrere Wurzeln gleichzeitig auch mehrere Wurzelkanäle bedeuten. Sollte mindestens einer der Wurzelkanäle noch vital sein, obwohl die Pulpa bereits avital ist, kann dies dennoch zu einem positiven Ergebnis führen.

Falsch-negativ Resultate können besonders bei älteren Patienten beobachtet werden (61). Durch die Dentinablagerungen innerhalb der Pulpa, welche beim älteren Patienten gehäuft vorkommen, verkleinert sich das Pulpakavum. Das hat zur Folge, dass die Kälte die Pulpa nicht mehr erreicht und somit ein falsch-negatives Testergebnis entsteht. Obwohl der Zahn noch vital ist, reagiert der Patient nicht auf die Kälte.

Rutsatz et al. (62) fanden heraus, dass sowohl Parodontopathien als auch Gingivarezessionen direkten Einfluss auf die Schmerzskala des Patienten bei der Ausführung des Sensibilität-Kältetests haben. So beschreiben die Autoren, dass bei einem Millimeter Attachmentverlust die Schmerzintensität um 0,5 Punkte auf der numerisch-visuellen Analogskala absinkt.

### **2.3.3.2.1 Verschiedene Substanzen zur Durchführung des Sensibilitäts-Kältetests**

Zur Durchführung des Sensibilitäts-Kältetests gibt es verschiedene Substanzen. Im Folgenden sollen die gebräuchlichsten Substanzen dargestellt und dessen Vor- und Nachteile erläutert werden: Ein Eiskegel erreicht lediglich eine Kälte von 0 bis -20°C. Chlorethylsprays sind in der Lage weiter abzukühlen von -20°C bis -25°C, wohingegen Propan-/Butansprays auf -40°C bis -45°C kommen. Das wirksamste Mittel ist jedoch der Kohlendioxidschnee, der einen Kältegrad von bis zu -77°C erreichen kann. Da Eis und Chlorethyl einen zu niedrigen Kältegrad erreichen und Kohlendioxidschnee in der Gewinnung und Anwendung sehr kompliziert ist, haben sich vor allem Propan- bzw. Butansprays in der Praxis durchgesetzt (63).

Bezüglich der Temperatur, die die Pulpa durch Hitze oder Kälte aushalten kann, ohne davon einen bleibenden Schaden zu nehmen, gaben Augsburger et al. an, dass kein Temperaturmaximum bekannt ist (64). Durch weitere Untersuchungen fanden Rickoff et al. (65) im Jahr 1988 jedoch heraus, dass keine Gefährdung der Vitalität beziehungsweise der Gesundheit der Zahnpulpa durch Hitze (Guttapercha) oder Kältesprays (Kohlendioxidschnee) zu erwarten sei. Jones (66) beschäftigte sich nicht mit der Substanz selbst, welche auf den Zahn aufgetragen wird, sondern mit der Art, wie eine Substanz aufgetragen wird. Der Autor beschreibt, welche Applikationsform die besten Ergebnisse in der Sensibilitätstestung ergeben. Dabei erzielte er mit einem „large cotton pellet“, also einem großen Wattepellet, die besten Ergebnisse.

Heutzutage hat sich die Anwendung von Propan- beziehungsweise Butansprays in Kombination mit einem großen Wattepellet zur Sensibilitätstestung in der zahnärztlichen Praxis etabliert.

### **2.3.3.3 Elektrische Pulpamessung**

Die elektrische Pulpamessung ist ein non-invasives Verfahren. Wie auch die Sensibilitätsmessung mittels Wärme oder Kälte zielt es darauf ab, die nervale Versorgung der Pulpa zu bestimmen.

Die Messmethode ist wie ein Kreislauf aufgebaut. Zum einen gibt es eine Sonde mit Sondenspitze, die an den Zahn angebracht wird. Um den Kreislauf zu vervollständigen, wird dem Patienten ein Lippenclip eingehängt. Nun wird ein elektrischer Reiz von der Sondenspitze abgegeben. Es wird vermutet, dass der abgegebene Strom entlang der Schmelzprismen zu den Dentintubuli und somit letztlich in die Pulpa verläuft (67). Entlang der A-Delta-Fasern wird ein Aktionspotenzial ausgelöst. Der abgegebene Strom stimuliert die A-Delta-Fasern, da die myelinisierten C-Fasern einen höheren Schwellenwert aufweisen (50). Bei Erreichen des Schwellenwerts der A-Delta-Fasern verspürt der Patient ein leichtes Kribbeln und kann somit dem Behandler eine Rückmeldung geben. Wie auch beim Sensibilitäts-Kältetest ist dieser Schwellenwert subjektiv und wird von mehreren Faktoren beeinflusst, wie beispielsweise Alter des Patienten, Restaurationen oder dem subjektiven Schmerzempfinden (1). Es gibt bei dieser Messmethode sehr ähnliche Einschränkungen wie beim Sensibilitäts-Kältetest. So können falsch-negative Ergebnisse vor allem bei erst kürzlich traumatisierten Zähnen, bei welchen zwar die Vaskularisation noch intakt ist, aber die sensorische Weiterleitung nicht mehr funktioniert, auftauchen (68). Hingegen könnten falsch-positive Zähne bei teilnekrotischen Zähnen auftauchen, da sie eine anscheinend noch funktionierende sensorische Weiterleitung besitzen, jedoch keine Blutversorgung mehr stattfindet (69).

Um das bestmögliche Ergebnis zu erreichen, haben sich mehrere Autoren mit der optimalen Positionierung der Sonde am Zahn befasst. Diese sollte an der Labialfläche des Zahnes und zusätzlich an den inzisalen beziehungsweise okklusalen zwei Dritteln sein. Dies führt zu möglichst einheitlichen Ergebnissen (70-73). Die Positionierung in den inzisalen bzw. okklusalen zwei Dritteln des Zahnes ist vermutlich deshalb so effektiv, da im tubulären Dentin nahe der Pulpahörner die meisten Nervenendigungen zu finden sind (12). Cooley et al. beschrieben, dass ein leitfähiges Material auf den Zahn aufgetragen werden muss. Mickel et al.

spezifizierten diese Aussage, indem ihrer Meinung nach das Leitmedium nicht flüssigkeitsbasiert sein darf, da sonst bei Kontakt mit Zahnfleisch oder Speichel falsch-positive Ergebnisse entstehen könnten. Ein Tropfen Zahnpasta stellt in beiden Studien das beste und einfachste Leitmittel dar und ist außerdem ein unerlässlicher Schritt für die elektrische Pulpamessung, da ohne dieses Leitmittel die Leitfähigkeit eingeschränkt sei und es somit zu falschen Ergebnissen kommen könnte (70,74). Eine Zeit lang wurde diskutiert, ob die elektrische Pulpamessung Auswirkungen auf implantierte Herzschrittmacher oder Defibrillatoren haben könnte. Wilson et al. widerlegten diese Vermutung jedoch in ihrer Studie. Laut ihrer Aussage gebe es keinerlei Beeinträchtigungen für solche implantierte Geräte, weder bei der elektrischen Pulpamessung noch bei der Verwendung von Apex-Lokatoren (75).

#### **2.3.3.4 Aktuelle Studienlage zur Sensibilitätstestung**

Im Folgenden sollen vier Studien beschrieben werden, die sich mit verschiedenen Möglichkeiten der Sensibilitätstestung auseinandergesetzt haben. Hierzu zählen nicht nur der Kälte- bzw. Wärmetest, sondern auch die elektrische Pulpamessung. Die Autoren konnten durch ihre Versuche Kenngrößen der statistischen Auswertung wiedergeben. Diese sind die Sensitivität und die Spezifität, das bedeutet zum einen die Anzahl der als krank Diagnostizierten unter den Kranken und zum anderen die Anzahl der als gesund Diagnostizierten unter den Gesunden. Alle Autoren haben ihre Ergebnisse mit einem von ihnen ausgewählten Gold-Standard verglichen. Dieser war in den meisten Fällen die Beobachtung möglicher Blutungen nach Trepanation, also die direkte visuelle Inspektion der Pulpa.

Fuss et al. untersuchten innerhalb des Sensibilitäts-Kältetest den Kohlendäureschnee, Ethylchlorid und Eis. Zusätzlich führten sie Untersuchungen zur elektrischen Pulpamessung durch (76). Die Sensitivität war bei der elektrischen Pulpamessung mit 1,0 am höchsten. Für die thermischen Messungen schnitt der Kohlendäureschnee mit 0,96 am besten ab, darauf folgte Ethylchlorid mit 0,48 und normales Eis mit 0,33. Die Spezifität betrug bei allen untersuchten Substanzen 1,0.

Petersson et al. untersuchten insgesamt 75 Zähne, wobei 59 eine Wurzelkanalbehandlung benötigten und 16 intakte Zähne waren. Als Kältemittel

benutzten sie Ethylchlorid, zusätzlich verwendeten sie heißes Stangenguttapercha als Wärmemittel und einen elektrischen Pulpatest. Für den Wärmetest betrug die Sensitivität 0,86, für den Kältetest 0,83 und für den elektrischen Test 0,72. Bei der Spezifität schnitten der Kälte- und der elektrische Test mit 0,93 gleich gut ab, wohin gegen der Wärmetest mit 0,41 schlechter abschnitt. Führt man diese Ergebnisse zusammen, kann man feststellen, dass der Kältetest für beide Parameter die besten Ergebnisse lieferte (69).

Eine weitere Versuchsreihe wurde von Gopikrishna et al. durchgeführt. Sie verwendeten 80 einwurzlige Zähne für ihre Untersuchung. Das Ergebnis ergab eine Sensitivität von 0,81 für den Kälte- und 0,71 für den elektrischen Test. Die Spezifität betrug sowohl beim Kälte- als auch beim elektrischen Test 0,92. Auch hier kann man feststellen, dass der Sensibilitätstest mittels Kälte bessere Ergebnisse lieferte (56).

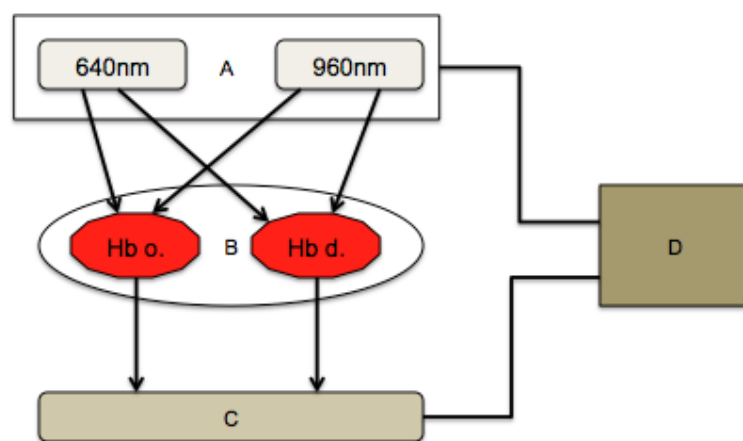
Zuletzt sollen die Ergebnisse von Kamburoğlu et al. aufgeführt werden. Sie verwendeten für ihre Untersuchungen 142 Zähne, wobei 93 eine Wurzelkanalbehandlung benötigten und 49 intakt waren. Sie kamen auf sehr ähnliche Ergebnisse wie Gopikrishna et al. Die Sensitivität war beim Kältetest mit 0,93 höher als beim elektrischen Test mit 0,83. Die Spezifität ergab eine geringe Differenz von 0,02, für den Kältetest betrug sie 0,98 und für den elektrischen Test 0,96. Es konnte beobachtet werden, dass der Kältetest sowohl hinsichtlich Spezifität als auch Sensitivität die besten Ergebnisse lieferte und somit als Mittel der Wahl betrachtet werden kann (77).

Der Sensibilitäts-Kältetest war in drei von vier betrachteten Studien überlegen im Vergleich zur elektrischen Pulpamessung. Dies belegt den Nutzen der Sensibilitäts-Kältetestung.

#### **2.3.3.5 Dentale Pulsoxymetrie**

Die Pulsoxymetrie ist ein Verfahren, das sich in der Medizin schon seit langer Zeit etabliert hat. Es ist ein nicht-invasives Verfahren zur Überwachung der Sauerstoffsättigung im Blut und zur Messung der Pulsfrequenz des Patienten (4). Da

die Anwendung relativ einfach ist, wird es in der heutigen Medizin häufig und routinemäßig eingesetzt. Die Geräte sind so konzipiert, dass eine Sonde an Ohr, Finger oder Zeh angebracht und so die Sauerstoffsättigung und die Pulsfrequenz ohne Punktion eines Blutgefäßes gemessen werden kann (78,79). Auch in der Zahnmedizin wurde die Pulsoxymetrie bereits eingesetzt. Durch den Einsatz kann eine vitaler und nekrotische Pulpa voneinander unterschieden werden (80). Schnettler et al. führten bereits 1991 eine Untersuchung über die Treffsicherheit der Pulsoxymetrie durch und fanden heraus, dass vitale von nekrotischen Zähnen unterschieden werden können (81).



**Abbildung 2.3.3.1:** Schematische Darstellung der dentalen Pulsoxymetrie; (A) Leuchtdiode; (B) Zahnpulpa im Querschnitt; (Hb o.) oxygeniertes Hämoglobin; (Hb d.) desoxygeniertes Hämoglobin; (C) Fotodetektor; (D) Monitor

Der Aufbau eines Gerätes für die Zahnmedizin ist so konzipiert, dass zwei Leuchtdioden an den Zahn angebracht werden. Eine sendet rotes Licht (640nm) und die andere Infrarotlicht (960nm) in die Pulpagefäße aus. Auf der Rückseite des Zahnes befindet sich nun ein Fotodetektor, welcher die absorbierten Lichtanteile misst. Die Funktionsweise beruht auf dem Lambert-Beer'schen-Gesetz. Die Konzentration einer Lösung kann durch Absorption von monochromatischem Licht berechnet werden. Im Falle der Pulsoxymetrie ist die unbekannte Variable die Hämoglobin-Konzentration und die bekannte Variable das Blut. Die Absorption ist nun abhängig von der Hämoglobin-Konzentration und von der Sauerstoffsättigung des Hämoglobins. Oxygeniertes Hämoglobin absorbiert Licht anders als desoxygeniertes Hämoglobin, wodurch verschiedene Wellenlängen am Fotodetektor ankommen. Dieser erkennt die unterschiedlichen Lichtabsorptionen und kann sie

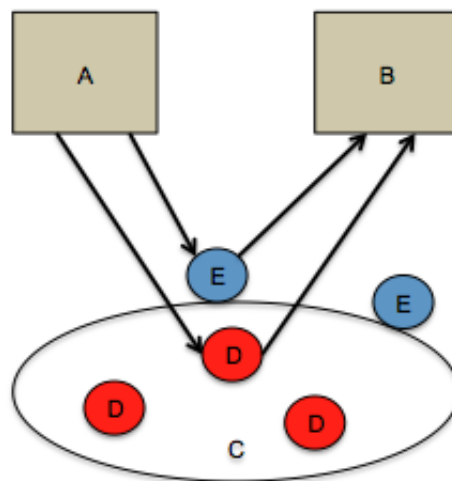
aufzeichnen (4,80). Durch das eben beschriebene Verfahren lässt sich die Sauerstoffsättigung im Blut feststellen. Zusätzlich wird durch die Veränderung des Gewebevolumens innerhalb der Pulpa während des Herzzyklus die Absorption verändert. Hierin besteht die Möglichkeit, die Pulsfrequenz des Patienten zu messen. Weiterhin fanden Jafarzadeh et al. heraus, dass die Absorption des Lichts zwar während der verschiedenen Phasen des Herzzyklus variiert, jedoch eine geringere Amplitude zu sehen ist als beispielsweise bei Anbringung der Sonde an Finger oder Ohr (80). Zur gleichen Erkenntnis gelangte Goho schon früher, wobei dieser noch weiterführende Untersuchungen durchführte. Die Sauerstoffsättigung im vitalen Zahn war zwar geringer als die Sauerstoffsättigung im Ohr, jedoch war sie höher als im avitalen Zahn (78). Dies beweist erneut, dass die Pulsoxymetrie zur Diagnose von vitalen und avitalen Zähnen geeignet ist. Calil et al. veröffentlichten im Jahr 2008 eine noch genauere Studie. Sie untersuchten 32 mittlere Schneidezähne und 32 Eckzähne des Oberkiefers. Bedingung für die Studienteilnahme war, dass die Zähne vital sein mussten und keine Entzündung oder größere Restaurationen vorhanden sein durften. Zusätzlich maßen sie die Sauerstoffsättigung am Finger der Probanden. Ihre Ergebnisse bestätigen die oben genannten Aussagen. Die Sauerstoffsättigung am Finger betrug im Durchschnitt 95% (Normwert: 80-100%), an den mittleren Schneidezähnen 91,29% und an den Eckzähnen 90,69%. Hier zeigt sich, dass die Sauerstoffsättigung in der Pulpa geringer ist als an anderen Körperteilen (82).

Der Einsatz von Pulsoxymetrie ist grundsätzlich für alle Teilgebiete der Zahnmedizin sinnvoll, vorausgesetzt der Zahnarzt möchte genauere Informationen zum Zustand der Pulpa erfahren. Spezielle Indikationsstellungen finden sich aber besonders bei traumatisierten Zähnen. Hier sind die herkömmlichen Sensibilitätstest nicht effektiv und wenig aussagekräftig, da es zu einer Parästhesie der Nervenfasern kommen kann und somit der Sensibilitätstest negativ wäre. Da jedoch die Blutzufuhr in solch einem Fall nach wie vor vorhanden sein kann, ist die Pulsoxymetrie ein besseres diagnostisches Verfahren, um über den Zustand der Pulpa Informationen zu sammeln. Eine weitere besondere Indikation ist die Anwendung der Pulsoxymetrie bei Angstpatienten oder Kindern, da der Sensibilitätstest oft als unangenehm oder sogar schmerzhaft wahrgenommen wird und der Zahnarzt dem Patienten so eine angenehmere Befundung ermöglichen kann (56,78).

Allerdings finden sich auch bei diesem Testverfahren Einschränkungen. So können gerade allgemeinmedizinische Erkrankungen zu verfälschten Ergebnissen führen. Dies sind zum Beispiel Hämoglobinstörungen oder Hypotonie. Des Weiteren kann bei langjährigen Rauchern ein verfälschtes Testergebnis resultieren. Bei einer erhöhten Säureproduktion, wie beispielsweise bei einer Entzündung, oder bei einer erhöhten Stoffwechselproduktion kommt es zu einer vermehrten Desoxygenierung des Hämoglobins und somit erneut zu einem verfälschten Ergebnis. Auch gewissen Umgebungseinflüssen wie eine zusätzliche Lichtquelle oder unnötige Bewegungen von Sonde oder Patient können verfälschte Ergebnisse hervorrufen (80).

### 2.3.3.6 Laser-Doppler-Flowmetrie

Die Laser-Doppler-Flowmetrie – kurz LDF – ist ein nicht-invasives, elektro-optisches Verfahren zur Bestimmung des pulpalen Blutflusses.



**Abbildung 2.3.3.2:** Schematische Darstellung der Laser-Doppler-Flowmetrie. (A) Sonde aus Glasfasern; (B) Detektor für Ausgangssignal; (C) Zahnpulpa im Querschnitt; (D) Erythrozyten; (E) stationäre Gewebezellen

Die Funktionsweise beruht auf einer Sonde, die aus Glasfasern besteht und direkt auf die Zahnkrone gerichtet wird. Der Laserstrahl gibt monochromatisches Infrarotlicht (780-820nm) beziehungsweise nahezu Infrarotlicht ( $<780\text{nm}$ ) ab (4). Die Dentintubuli agieren als Leitfaden für das einkommende Licht, wodurch die Laserstrahlen direkt auf die Zahnpulpa gerichtet werden (83). Durch das

einkommende Licht werden Photonen von Erythrozyten und vom umliegenden Gewebe aktiviert und gestreut. Da Erythrozyten stets in Bewegung sind, werden ihre Photonen ganz nach dem Doppler-Prinzip in einer anderen Frequenz gestreut als die Photonen von stationären Gewebezellen (4,84). Das zurück gestreute Licht kann nun zu einem Ausgangssignal verarbeitet und ausgewertet werden. Das Ausgangssignal wird in einer Spannung angegeben und somit in Volt gemessen (85). Laut Karayilmaz et al. ist die LDF eine bessere und effektivere Methode als die Sensibilitätstestung und die Pulsoxymetrie, da sie vor allem bei jüngeren Patienten genauere Ergebnisse liefert. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass bei jüngeren Patienten das Wurzelwachstum oftmals noch nicht abgeschlossen ist und somit noch keine vollständige Innervation der Pulpa vorhanden ist. Dies beeinträchtigt die Wirksamkeit und Zuverlässigkeit von herkömmlichen Messverfahren (4). Roy et al. hingegen zeigten in ihrer Studie, dass kein signifikanter Unterschied des pulpalen Blutflusses in vitalen und avitalen Zähnen nachgewiesen werden konnte. Ihre Erklärung lag darin, dass angeblich zu viele Störfaktoren wie Lippe, Zunge, Parodont oder Gingiva auf das Signal Einfluss nehmen und somit kein genaues Ergebnis erzielt werden kann (2).

Jedoch gibt es auch bei dieser Messtechnik einige Einschränkungen. Die größte Fehlerquelle findet sich in der Verunreinigung des absorbierten Lichts durch umliegendes Parodontalgewebe (86). Laut Polat et al. dringt der Laserstrahl zwangsläufig in das umliegende Parodontalgewebe ein. Aus diesem Grund sollte bei der Anwendung der LDF eine Isolation der Gingiva vorgenommen werden, um diese Fehlerquelle möglichst zu minimieren. Die Isolation kann mithilfe eines Kofferdams erreicht werden (87). Man sollte jedoch bei der Auswertung des Tests bedenken, dass dieser Störfaktor nie ganz ausgeschaltet werden kann (88). So konnten Sasano et al. zeigen, dass zwar sowohl bei vitalen als auch bei avitalen Zähnen stets ein positiver Output vorhanden ist, er jedoch bei vitalen Zähnen signifikant höher ist und somit auf einen vitalen Zahn geschlossen werden kann (89). Wie auch bei der Pulsoxymetrie sollte die Messung in möglicher Bewegungslosigkeit stattfinden. Das bedeutet, dass sowohl Sonde als auch Patient möglichst starr zum Zeitpunkt der Messung sind. Falls dies nicht der Fall ist, werden die umliegenden Gewebe vermehrt in die Messung mit aufgenommen und das Messergebnis wird verfälscht (83). Laut Chen et al. sollte die LDF des Weiteren nicht bei Restaurationen, welche

die gesamte Zahnkrone betreffen eingesetzt werden, da es hier zu verfälschten Ergebnissen kommen kann (1).

Es sind mehrere Produkte mit verschiedenen Kombinationen der Parameter momentan im Dental-Handel erhältlich. Roebuck et al. führten im Jahr 2000 eine Studie durch, bei der sie vier Parameter untersucht haben, um auf ein bestmögliches Ergebnis zu kommen: Laserquelle, Bandbreitenfilter, Faserabstand und Sondenabstand zur Gingiva. Laut dieser Studie sollte die Laserquelle bei 633nm liegen, 3kHz Bandbreitenfilter vorhanden sein, der Faserabstand innerhalb der Sonde 500µm und der Sondenabstand zur Gingiva 2-3mm betragen (90).

Zusätzliche Einsatzmöglichkeiten der LDF sind die Messung der Revaskularisation bei avulsierten Zähnen, die replantiert und geschient wurden (91) oder generell zur Überwachung des pulpalen Blutflusses (92).

## **2.3.4 Weitere diagnostische Testverfahren**

### **2.3.4.1 Perkussion**

Die Perkussion gehört wie der Sensibilitäts-Kältetest und die Röntgendiagnostik zu den üblichen Diagnoseverfahren in der Zahnmedizin. Zwar ist die Perkussion alleine betrachtet die am wenigsten effektive Methode, um den Pulpastatus festzustellen, sollte aber stets in Kombination mit den anderen Testverfahren angewendet werden, um eine vollständige Diagnostik durchzuführen (77). Sie ist eine non-invasive Methode zur Stabilitätstestung von Zähnen. Sheets et al. untersuchten die mikroskopische Struktur von Zähnen in Bezug auf diverse Pathologien. Ihre Ergebnisse gaben eine Spezifität von 0,98 und eine Sensitivität von 1 in Bezug auf Zähne, welche mikro- oder makroskopische Risse aufwiesen, wobei bei jedem Zahn eine histologische Aufarbeitung als Kontrolle durchgeführt wurde (93). Der Behandler klopft mit dem Griff eines Instruments leicht auf die Zähne. Hierbei ist wichtig, dass er nicht mit dem betreffenden Zahn beginnt, um den Patienten an das Gefühl des Klopfens zu gewöhnen. Nun sollte der Zahnarzt in zufälliger Reihenfolge auf mehrere Zähne klopfen, welche den betreffenden Zahn inkludiert und den Patienten danach

fragen, ob ein Zahn mehr Empfindlichkeit aufwies als die anderen (48). In der Regel reagiert der Patient vermehrt auf die Perkussion, wenn eine apikale Parodontitis oder Risse innerhalb des Zahnes vorliegen. Bei einer Studie, die den Zustand des Zahnes nach einer Restauration überwachen sollte, fanden Sheets et al. heraus, dass die Perkussion die strukturelle Stabilität des Zahnes feststellt und somit frühe Veränderungen ausmachen kann, lange bevor tatsächliche Symptome auftreten. Der Behandler kann also früher eingreifen und eine entsprechende Therapie einleiten, um größere Schäden zu vermeiden (94). Taguchi et al. fanden heraus, dass bei einer vorliegenden parodontalen Erkrankung die Perkussionsgeräusche länger zu hören sind. Es liegt also eine enge Korrelation zwischen der Dauer des Perkussionsgeräusches und dem Zustand des umliegenden Parodonts vor (95).

Die Perkussion ist als Stimulus anzusehen, der eine geringe Vasodilatation innerhalb der Pulpa verursacht, die dann wiederum von intradentalen Sinnesnerven erkannt werden kann (96). Närhi et al. führten eine Studie an Hunden durch, wobei Pulpen freigelegt und mechanischen Reizen ausgesetzt wurden. Auch hier wurde festgestellt, dass intradentale A-Fasern durch die Flüssigkeitsbewegung in den Dentintubuli aktiviert wurden und so eine Reizweiterleitung stattfinden konnte (97). So kann ein mechanischer Reiz wie die Perkussion, Fasern innerhalb der Pulpa aktivieren und so auch eine Reizweiterleitung einleiten.

Die Perkussion ist allerdings nicht nur an Zähnen, sondern auch an dentalen Implantaten anwendbar, wobei sie hier als ein Indikator für die Osseointegration bzw. die kortikale Knochenabstützung fungiert (98).

#### **2.3.4.2 Röntgen**

Insbesondere zur Diagnostik von Karies und Parodontalerkrankungen gilt das Röntgen als Standard-Diagnoseverfahren in der Zahnmedizin (99). Zwar können okklusale kariöse Läsionen oft schon mittels visueller Inspektion diagnostiziert werden, um allerdings die Kariesausdehnung und somit die Nähe der Karies zur Pulpa beurteilen zu können, kann eine Röntgenaufnahme indiziert sein (100).

Zahlreiche Studien belegen die Effektivität der Röntgendiagnostik. Stheeman et al. führten eine Studie durch, bei der sich 98 Zahnärzte verschiedene Röntgenaufnahmen ansahen und sie in Bezug auf physiologischen Knochen, Anomalie im periapikalen Knochen oder aktiver pathologischer Prozess im periapikalen Knochen auswerteten. Im Durchschnitt wurden 81% aller Anomalien und 59% aller pathologischer Prozesse erkannt, wobei in 55% eine Anomalie diagnostiziert wurde, wo allerdings laut dem Goldstandard der Histopathologie keine Anomalie vorhanden war (101). Die teilnehmenden Zahnärzte an der Studie von Bohay mussten lediglich zwischen dem Vorhandensein oder Fehlen einer apikalen Läsion unterscheiden. Hier betrug die Spezifität 0,78 und die Sensitivität 0,65. Bohay ließ die Zahnärzte die gleichen Röntgenaufnahmen nach einiger Zeit nochmals betrachten. Auffällig war, dass jeder Zahnarzt oftmals die gleiche Diagnose abgab, jedoch nur eine gewisse Übereinstimmung zu den anderen Zahnärzten vorhanden war (102). Somit war die Intra-Reliabilität höher als die Inter-Reliabilität. Eine neuere Studie nahm als Goldstandard die Histopathologie und erzielte eine Spezifität von 1 und eine Sensitivität von 0,77, wobei die Zahnärzte entweder eine apikale Parodontitis diagnostizieren sollten oder nicht (103).

Es gilt zudem noch zu unterscheiden, mit welchem Gerät und mit welcher Technik die Röntgenaufnahme hergestellt worden ist. Laut Farman et al. schnitt das analoge Röntgen in Bezug auf intraossäre Läsionsgrößen zur Feststellung einer periradikulären Läsion durchweg schlechter ab als das digitale Röntgen (104). Bei der Frage, ob eine Paralleltechnik der Halbwinkeltechnik vorzuziehen ist, stellten Forsberg et al. keinen signifikanten Unterschied fest. Bei richtiger Einstellung der jeweiligen Technik ergab die Größe der periapikalen Läsion ähnliche Ergebnisse (105).

Trotz des großen Nutzens der Röntgenologie in vielen Bereichen der Zahnmedizin sollte eine enge Indikationsstellung stets berücksichtigt werden. Da der Patient bei der Röntgenaufnahme Röntgenstrahlung ausgesetzt ist, sollte der Behandler abwägen, inwieweit die Röntgenaufnahme ihm einen zusätzlichen Nutzen zur Diagnosefindung bietet (99).

#### **2.3.4.3 Transillumination**

Die Funktionsweise der Transillumination beruht auf einer Lichtquelle, welche Farbveränderung innerhalb des Zahnes detektieren kann. So ist der Einsatz für die frühe approximale Kariesdiagnostik unumstritten, da die Transillumination ähnliche bis gleiche Sensitivitäten und Spezifitäten wie die Bissflügelaufnahme aufweist (106,107). Sinnvoll ist insbesondere der Einsatz bei Kindern, da die Strahlenbelastung durch Röntgenstrahlung bei der Transillumination wegfällt. Jedoch gibt es auch Einschränkungen bei dieser Technologie. So ist der Einsatz bei Molaren oder Zähnen mit großen Restaurationen eher weniger sinnvoll, da der Kariesfortschritt im Dentin nicht zuverlässig bestimmt werden kann (1,108).

Jedoch dient die Transillumination nicht nur zur Kariesdiagnostik. Laut Hill ist sie zusätzlich ein nützliches Hilfsmittel zur Erkennung von Pulpaerkrankungen und vor allem in Kombination mit der Sensibilitätstestung (109).

#### **2.3.4.4 Anästhesietest**

Der Anästhesietest wird heutzutage nur noch selten in der zahnärztlichen Praxis durchgeführt. Er ist vor allem dann hilfreich, wenn andere diagnostische Verfahren fehlgeschlagen sind, um den erkrankten Zahn zu identifizieren. Die Vorgehensweise beruht darauf, dass ein Tropfen Anästhetikum nahe der Zahnwurzel des am weitesten mesial gelegenen Zahns injiziert wird. Sollte der Patient direkt eine Erleichterung des Schmerzes spüren, ist der betreffende Zahn gefunden. Sollte dies nicht der Fall sein, kann der behandelnde Zahnarzt von mesial nach distal die anderen möglich erkrankten Zähne anästhesieren, bis der Patient eine Erleichterung spürt (48,110).

#### **2.3.4.5 Testkavität**

Die Testkavität zählt zusammen mit den thermischen und elektrischen Testverfahren zu den Sensibilitätstestungen der Pulpa (54). Anders jedoch als thermische oder elektrische Tests ist die Schaffung einer Testkavität ein invasives Verfahren, wodurch eine direkte Stimulation des Dentins vorgenommen wird (56). Die Kavität sollte so präpariert werden, dass der Zahnarzt danach wieder in der Lage ist, die Kavität leicht zu reparieren. Wenn die vorangegangenen Tests keine eindeutigen Ergebnisse geliefert haben, kann eine Testkavität ohne Betäubung vorgenommen werden. Die Kavität beschränkt sich dabei lediglich auf das Dentin. Sollten nun die freiliegenden Dentintubuli mit der Pulpa kommunizieren, wird der Patient reagieren. Die Testkavität kann außerdem bei künstlichen Kronen erforderlich sein. Teilweise gibt in diesem Fall weder der Sensibilitäts-Kälte- oder –Wärme-Test oder die elektrische Pulpamessung (die Sonde kann nicht richtig angebracht werden) ausreichende Ergebnisse, sodass eine Kavitätenpräparation als sinnvoll angesehen werden kann (48). Nach Chen et al. ist dieser Test jedoch fragwürdig, da die Wahrscheinlichkeit, dass dieses Verfahren mehr Informationen über den Zustand der Pulpa gibt als die vorangegangenen, sehr gering ist. Zudem empfinden die Zahnärzte diesen Test bei ängstlichen Patienten als nicht sinnvoll, da sie vermehrt falsche Antworten abgeben würden (1). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Testkavität als letzte Mittel der Wahl angesehen wird und ist nur in sehr wenigen Fällen sinnvoll.

## **3 Material und Methoden**

### **3.1 Studienteilnehmer**

Die Studie wurde in der Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie der Zahn-Mund-Kiefer-Klinik der Johannes Gutenberg-Universität Mainz durchgeführt. Das Patientenkollektiv, das an dieser Studie teilgenommen hat, waren Patienten, die zur Schmerzbehandlung gekommen sind. Bevor der Behandler die Trepanation einleiten konnte, wurde der Patient separat im Rahmen der Studie untersucht.

Voraussetzung zur Teilnahme an der Studie war, dass der Behandler eine akute oder chronische irreversible Pulpitis oder eine avitale Pulpa diagnostiziert hatte. Zur richtigen Diagnosefindung verwendete der Behandler folgende Hilfsmittel: einen Sensibilitäts-Kältetest, einen Perkussionstest und eine dentale Röntgenaufnahme. Als Therapiemaßnahme für diese drei Krankheitsbilder erfolgte in den meisten Fällen die Trepanation mit darauffolgender Wurzelkanalbehandlung und späterer Wurzelkanalfüllung.

Insgesamt wurden 278 Zähne in diese klinische Studie aufgenommen. Darunter befanden sich sowohl teilweise gesunde Zähne, bei denen entweder keine Trepanation erfolgte oder wurzelkanalbehandelte Zähne eingeschlossen, die in dieser Studie keine Verwendung fanden, da keine vollständige Erhebungsdatenlage vorlag. Insgesamt wurden daher 216 Zähne in die Datenerfassung eingeschlossen; bei diesen lagen die Erhebungsdaten vollständig zur Verfügung (Abbildung 2.3.4.1). Diese Zähne wurden als irreversibel erkrankte Zähne diagnostiziert und mittels Trepanation und anschließender Wurzelkanalbehandlung therapiert. Für diese klinische Studie lag ein positives Votum der Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz vor (Bearbeitungsnummer 837.107.15(9875)).

## 3.2 Klinische Untersuchung

|                                                                                                                                                      |                          |                                                                     |                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <b>Diagnostischer Fragebogen im Rahmen der Dissertation „Zuverlässigkeit des Sensibilitäts-Kältetests bei der Diagnose irreversibler Pulpitiden“</b> |                          |                                                                     |                            |
| <b>Patienten-ID:</b> _____                                                                                                                           | <b>Geschlecht:</b> M / W | <b>Alter:</b> _____                                                 | <b>Zahn:</b> _____         |
| <b>Schmerzlevel:</b> 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10                                                                                          |                          |                                                                     |                            |
| <b>Zahnstatus:</b> NAD – Füllung – Krone – Frakturiert – Karies                                                                                      |                          | <b>Restaurationsausmaß:</b> 1 – 2 – 3 – 4 – 5 Flächen               |                            |
| <b>Restaurationslokalisation:</b> Krone – mesial – distal – vestibulär – oral – okklusal/inzisal                                                     |                          |                                                                     |                            |
| <b>Restaurationsmaterial:</b> Amalgam – Composite – GIZ – provisorisches Material – Keramik – Metallkeramik – gemischt                               |                          |                                                                     |                            |
| <b>Gingivastatus:</b> NAD – entzündet – geschwollen – zurückgezogen                                                                                  |                          |                                                                     |                            |
| <b>Parodontalstatus:</b> NAD – tiefe Tasche                                                                                                          |                          | <b>Lockerungsgrad:</b> 0 – I – II – III                             |                            |
| <b>Kälte-Sensibilitätstest:</b> negativ – positiv – doppelt positiv                                                                                  |                          | <b>Elektrischer Test:</b> N/A – negativ – positiv – doppelt positiv |                            |
| <b>Perkussionstest:</b> negativ – positiv – doppelt positiv                                                                                          |                          | <b>Testkavität:</b> N/A – negativ – positiv – doppelt positiv       |                            |
| <b>Röntgen:</b> apikale Läsion – laterale Läsion – Karies – Frakturiert – RCT (root canal treated) – NAD                                             |                          |                                                                     |                            |
| <b>Ausmaß d. kariösen Läsion:</b> 1 – 2 – 3 – 4 – 5 Flächen                                                                                          |                          |                                                                     |                            |
| <b>Klinische Diagnose:</b> gesund – avital – akute Pulpitis – chronische Pulpitis                                                                    |                          |                                                                     |                            |
| <b>Palpainspektion:</b> gesund – N/A – entzündet – eitrig – nekrotisch                                                                               |                          |                                                                     |                            |
| <b>Finale Diagnose:</b> vital – avital                                                                                                               |                          |                                                                     |                            |
|                                                                                                                                                      |                          |                                                                     | <b>Datum, Unterschrift</b> |

**Abbildung 2.3.4.1:** Exemplarischer diagnostischer Fragebogen im Rahmen der Dissertation „Zuverlässigkeit des Sensibilitäts-Kältetests bei der Diagnose irreversibler Pulpitiden“.

Es wurden für jeden Patienten allgemeine und spezifisch dem Zahn zugeordnete Parameter erhoben. Zu den allgemeinen Parametern gehörten das Alter und das Geschlecht des Patienten.

Der Patient wurde nach seinem Schmerzempfinden bezüglich des betreffenden Zahnes befragt. Hierzu wurde die Numerische Rating-Skala verwendet, wobei der Patient zwischen 0, gar kein Schmerz und 10, am stärksten vorstellbarer Schmerz, entscheiden musste. Es wurde ein ausführlicher Zahnstatus erhoben. Eine klinische Untersuchung des Zahnes wurde durchgeführt und Befunde dokumentiert. Es wurden alle Arten von Restaurationen notiert. Bei den Restaurationen wurde nochmals genau auf die Ausdehnung (mesial, distal, okklusal bzw. inzisal, bukkal, lingual bzw. palatinal) aber auch auf das Restaurationsmaterial (Komposit, Amalgam, Glasionomerzement für Füllungen und Gold, Keramik, Metallkeramik für Kronen und provisorisches Material für beide Arten der Restauration) dokumentiert. Da jeweils nur der betreffende Zahn an sich betrachtet wurde, spielte es keine Rolle, ob sich dieser in einer mehrgliedrigen Restauration wie beispielsweise einer Brücke oder als Pfeilerzahn für eine Prothese befand. Des Weiteren wurde festgestellt, ob eine kariöse Läsion am betreffenden Zahn vorlag. Die Abkürzung „NAD“ war die Bezeichnung für einen gesunden Zahn.

Darauffolgend wurden sowohl der Parodontal- als auch der Gingiva-Status erhoben. Beim Parodontalstatus wurde lediglich zwischen einer tiefen Tasche oder einem gesunden Zahn unterschieden. Beim gingivalen Status konnten mehrere Auffälligkeiten notiert werden: entzündet, geschwollen oder zurückgezogen. Auch hier wurde das Augenmerk lediglich auf das Parodont beziehungsweise die Gingiva des betreffenden Zahnes gelegt, nicht jedoch auf das gesamte Gebiss. Auch der Lockerungsgrad wurde erhoben. Hier wurde die übliche Einteilung in die Stadien 0-III verwendet. Grad I entspricht einer gerade fühlbaren Beweglichkeit, Grad II einer sichtbaren Beweglichkeit und Grad III einer Beweglichkeit auf Lippen- und Zungendruck beziehungsweise einer Beweglichkeit in der vertikalen Ebene.

Es wurde ein Sensibilitäts-Kältetest durchgeführt. Die innerhalb der Studie verwendete Substanz „Plurasol Kältespray“ (Pluradent, Offenbach am Main, Deutschland) und ist ein Butan-Propan-Isobutan-Minzöl-Gemisch. Es wurde mittels großem Wattepellet (Unigloves Arzt- und Klinikbedarf, Troisdorf-Spich, Deutschland) auf den jeweiligen Zahn appliziert, um die Reaktivität des Zahnes festzustellen. Hierbei gab es eine Unterscheidung zwischen normal empfindlich (als ‚+‘

dokumentiert), stark empfindlich bis schmerzhaft (als ,++' dokumentiert) oder der Zahn reagierte überhaupt nicht (als ,-' dokumentiert).

Wichtig bei der Durchführung des Sensibilität-Kältetests ist die korrekte Anwendung. Es ist darauf zu achten, dass zunächst ein gesunder Zahn mit dem Kältemittel in Kontakt kommt. Dadurch erfährt der Patient ein Gefühl für die Kälte und für eine sogenannte normale Empfindung. Es muss darauf geachtet, dass weder falsch-positive noch falsch-negative Ergebnisse hervorgerufen werden. Es können beispielsweise falsch-positive Ergebnisse zustande kommen, in dem der betreffende Zahn sich innerhalb einer Brücke aus Metall befindet. Das Metall leitet die Kälte auf einen benachbarten Zahn innerhalb der Brücke weiter, der noch vital ist. Der Patient würde in diesem Fall die Kälte spüren, obwohl der betreffende Zahn möglicherweise bereits avital ist. Dasselbe passiert, wenn der Zahnarzt das Wattepellet nicht exakt auf den Zahn hält, sondern die Gingiva oder einen Nachbarzahn zusätzlich berührt. Auch hier spürt der Patient die Kälte und antwortet fälschlicherweise mit ,positiv'. Hingegen kann es bei älteren Patienten durch die Degeneration der Pulpa vermehrt zu falsch-negativen Ergebnissen kommen. Durch die vermehrten Dentinablagerungen innerhalb der Pulpa verringert sich das Pulpakavum und die Kälte kann nicht mehr bis zur Pulpa durchdringen. Die Patienten antworten dann fälschlicherweise mit negativ. Bei Verdacht auf falsch-positive oder falsch-negative Ergebnisse sollte der Test nach einer Pause von etwa 30 Sekunden erneut durchgeführt werden.

Beim Perkussionstest klopfte der Behandler mit der umgekehrten Seite einer zahnärztlichen Sonde leicht auf den Zahn und erfragte beim Patienten, ob dies als schmerzhaft empfunden wurde oder nicht. Auch hier gab es wieder die Auswahlmöglichkeiten nicht schmerzhaft (als ,-' dokumentiert), leicht schmerzempfindlich (als ,+' dokumentiert) oder sehr schmerzhaft (als ,++' dokumentiert).

Als letztes wurde das Röntgenbild betrachtet, um bezüglich des umliegenden Hartgewebes (Knochen) eine Aussage treffen zu können. Hier konnten entweder apikale oder laterale Läsionen, Karies (mit zusätzlichem Ausmaß der kariösen Läsion laut Röntgenbild), Frakturen oder bereits wurzelkanalbehandelte und –gefüllte Zähne ausgemacht und dokumentiert werden.

### **3.3 Klinische Diagnose**

Anhand der erhobenen Parameter konnte einer der Studien-Zahnärzte eine Diagnose stellen. Es gab letztlich vier mögliche Diagnosestellungen: eine akute oder chronische irreversible Pulpitis, ein avitaler Zahn oder in seltenen Fällen wurde die Pulpa als gesund beziehungsweise ohne Befund diagnostiziert. Bei gesund diagnostizierten Zähnen wurde keine anschließende Trepanation durchgeführt. Durch die Kombination der verschiedenen diagnostischen Hilfsmittel, musste sich der Studien-Zahnarzt auf eine Diagnose festlegen.

### **3.4 Pulpainspektion**

Bei drei der vier möglichen Diagnosen, akute oder chronische Pulpitis beziehungsweise avitaler Zahn, wurde nun die Therapie (endodontische Behandlung) mittels Trepanation des betroffenen Zahns eingeleitet. Der betroffene Zahn wurde von okklusal bzw. bei den Frontzähnen von palatinal oder lingual bis zur Zahnpulpa eröffnet und eine Zugangskavität präpariert.

Die extirpierte Pulpa wurde anhand folgender Kriterien genauestens inspiziert:

- entzündet: Bei der Eröffnung des Pulpakavums ist Blut zu sehen. Da ein erhöhter Blutstrom für eine Entzündung spricht, wird in diesem Fall eine entzündete Pulpa festgestellt.
- eitrig: In diesem Fall ist kein Blut zu sehen, jedoch Eiter, der sich um das Pulpakavum befindet.
- nekrotisch: Es ist weder Blut noch Eiter zu sehen. In vielen Fällen ist die Pulpa schwarz, in manchen kann die Pulpa als solche nicht mehr identifiziert werden.
- ohne Befund beziehungsweise gesund: In seltenen Fällen ist die Inspektion des Pulpagewebes unauffällig.

Anhand dieser Inspektion des Behandlers über den klinischen Zustand der Pulpa konnte nun festgestellt werden, inwieweit das bisher angewandte Diagnoseverfahren

sich bewahrheitet hatte oder nicht. Das bedeutet, dass nun die erste Diagnose, also nach Aufnahme der Parameter vor Trepanation, mit der zweiten Diagnose, der Pulpainspektion, verglichen werden und eventuelle Fehler der üblichen Diagnoseverfahren erörtert werden konnten.

### **3.5 Finale/endgültige Diagnose**

Nach Erkennung des Pulpazustands nach der Trepanation wurde im letzten Schritt nun noch eine Diagnose erstellt, bei der sowohl die klinische Diagnose als auch die Pulpainspektion berücksichtigt wurden. Hier konnte nur zwischen ‚vital‘ oder ‚avital‘ unterschieden werden.

### **3.6 Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung wurde mithilfe von Microsoft Excel (Microsoft Excel 2011, Redmond Washington, Vereinigte Staaten von Amerika) erstellt. Im Ergebnisteil befinden sich Tabellen, die das Verhältnis von zwei Parametern in absoluten Zahlen widerspiegeln. Säulendiagramme in Form von relativen Häufigkeiten sind mit verschiedenen Parametern dargestellt.

Sensitivitäten und Spezifitäten sowie die dazu gehörenden 95%-Konfidenzintervalle wurden ermittelt. Auch diese sind in Form von Säulendiagrammen erstellt worden.

Um nachvollziehen zu können, wie im Rahmen dieser Studie die Spezifität beziehungsweise die Sensitivität ermittelt wurden, soll dies im folgenden erklärt werden: Der betreffende Zahn wurde während des Sensibilitäts-Kältetests im Rahmen der klinischen Untersuchung als ‚vital‘ deklariert. Da als Goldstandard die direkte visuelle Inspektion betrachtet wird, wurde nach der Trepanation nach Blutungen gesucht. Fand sich eine Blutung innerhalb der Pulpa wieder, lässt dies auf einen vitalen Zahn schließen und der Sensibilitäts-Kältetest konnte als ‚richtig‘ deklariert werden.

Sollte der Zahn bei der Eingangsuntersuchung negativ auf den Sensibilitäts-Kältetest reagiert haben und bei der anschließenden Pulpainspektion keine Blutung aufgetreten sein, kann auch hier der Test als ‚Erfolg‘ gewertet werden.

Die Spezifität ist hier dargestellt analog der Anzahl der als gesund diagnostizierten unter den gesunden, als vital diagnostizierte Zähne unter den vitalen Zähnen.

Dasselbe gilt für die Sensitivität. Diese beinhaltet die als avital beziehungsweise nekrotisch diagnostizierten Zähne unter den avitalen beziehungsweise nekrotischen Zähnen.

Die Berechnung der Spezifität ist wie folgt:

$$\frac{\text{Anzahl der als vital diagnostizierten Zähne in der klinischen Diagnose}}{\text{Anzahl aller als vital diagnostizierten Zähne nach dem Goldstandard}} = \text{Spezifität}$$

Dies gilt auch für die Sensitivität bei den Zähnen, die als avital beziehungsweise nekrotisch diagnostiziert wurden.

$$\frac{\text{Anzahl der als avital diagnostizierten Zähne in der klinischen Diagnose}}{\text{Anzahl aller als avital diagnostizierten Zähne nach dem Goldstandard}} = \text{Sensitivität}$$

## 4 Ergebnisse

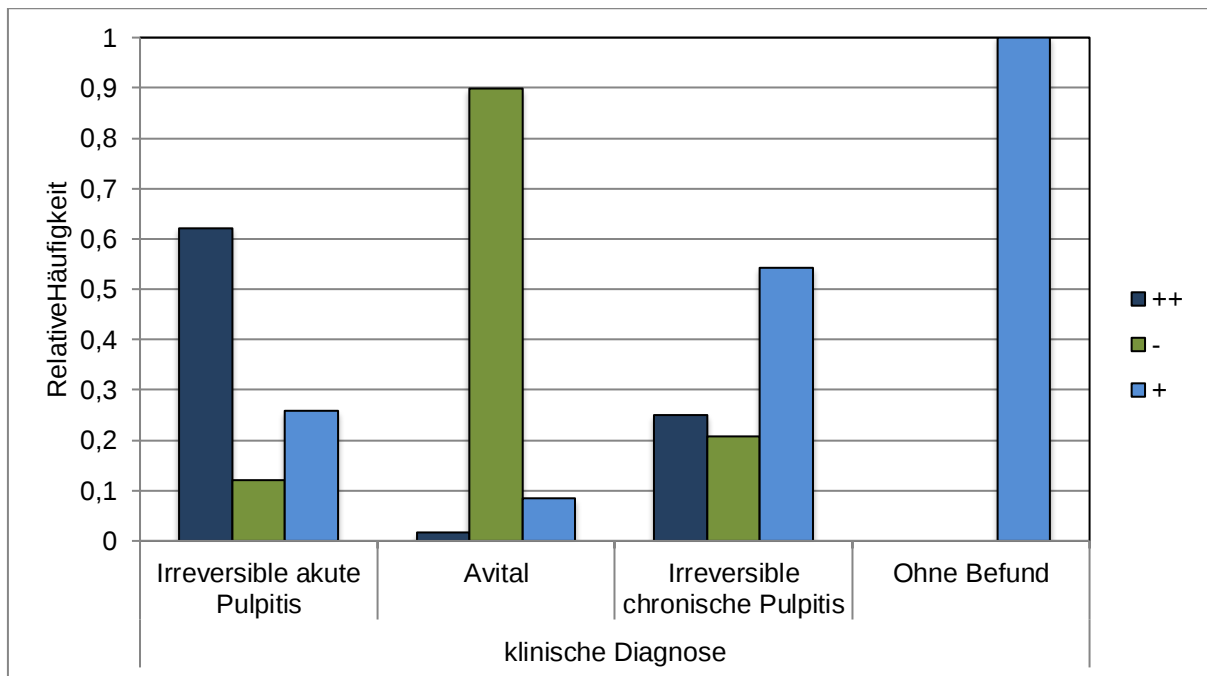
### 4.1 Sensibilitäts-Kältetest

#### 4.1.1 Klinische Diagnose

|                                     |    | Klinische Diagnose                |        |                                        |                | Summe      |
|-------------------------------------|----|-----------------------------------|--------|----------------------------------------|----------------|------------|
|                                     |    | Irreversible<br>akute<br>Pulpitis | Avital | Irreversible<br>chronische<br>Pulpitis | Ohne<br>Befund |            |
| <b>Sensibilitäts-<br/>Kältetest</b> | ++ | 41                                | 2      | 6                                      | 0              | 49         |
|                                     | -  | 8                                 | 106    | 5                                      | 0              | 119        |
|                                     | +  | 17                                | 10     | 13                                     | 8              | 48         |
| <b>Summe</b>                        |    | 66                                | 118    | 24                                     | 8              | <b>216</b> |

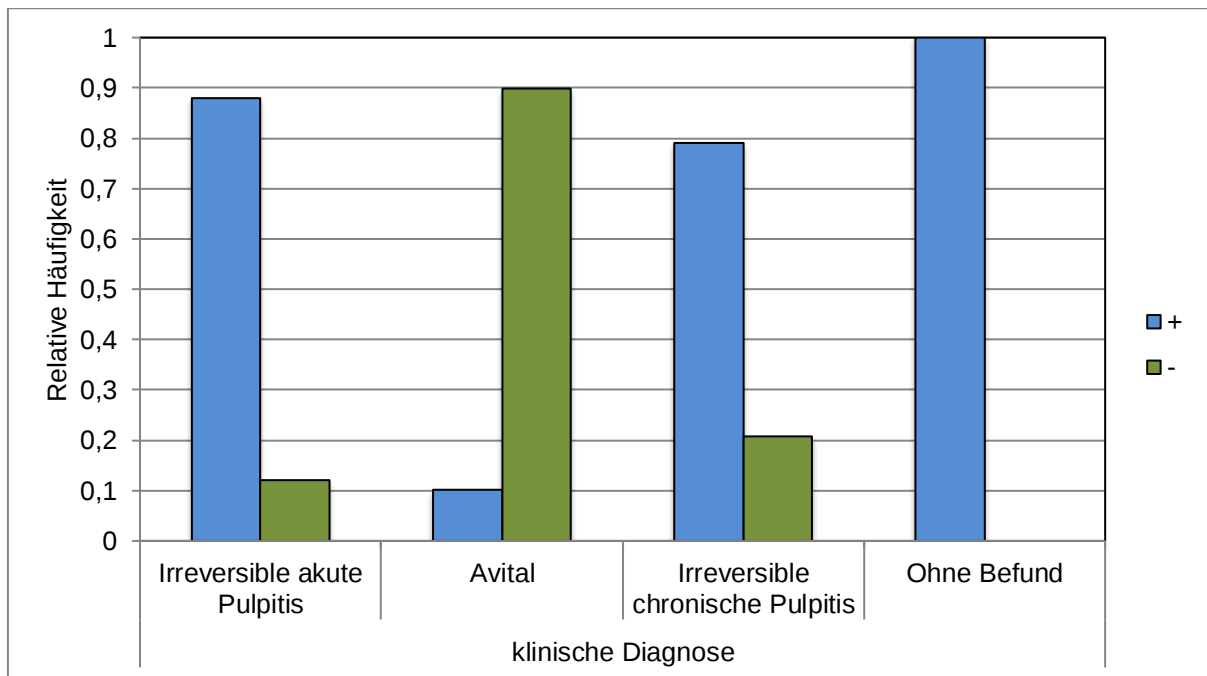
**Tabelle 4.1.1.1:** Verhältnis von Sensibilitäts-Kältetest zu klinischer Diagnose in absoluten Zahlen

Diese Tabelle stellt die untersuchten Zähne inklusive klinische Diagnose dar. Es wurden insgesamt 216 Zähne untersucht, 66 wiesen eine akute irreversible Pulpitis auf, 118 waren avital, 24 zeigten eine irreversible chronische Pulpitis und 8 Zähne waren ohne pathologischen Befund.



**Abbildung 4.1.1.1:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest zu klinischer Diagnose

In diesem Diagramm ist eine Verteilung der Sensibilitäts-Kältemessungen in Bezug auf die mögliche klinische Diagnose dargestellt. Interessant hierbei ist, dass bei der irreversiblen akuten Pulpitis vermehrt eine doppelt positive Antwort auf die Kälteprüfung bei 62,12% angegeben wurde. 25,76 wurde als einfach positiv und 12,12% als negativ von den Patienten beantwortet. Die irreversible chronische Pulpitis hingegen zeigte mit einfach positiv 54,17% den höchsten Anteil, doppelt positiv waren 25,00% und negativ 20,83%. Der größte Anteil im avitalen Bereich war die negative Antwort auf den Kältetest mit insgesamt 89,83%. Nur 1,69% gaben eine doppelt positive und 8,48% eine einfach positive Antwort wieder. Die Pulpen, die als ohne Befund diagnostiziert wurden, wurden von den Patienten als einfach positiv beschrieben.



**Abbildung 4.1.1.2:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest zu klinischer Diagnose (vereinfachte Darstellung)

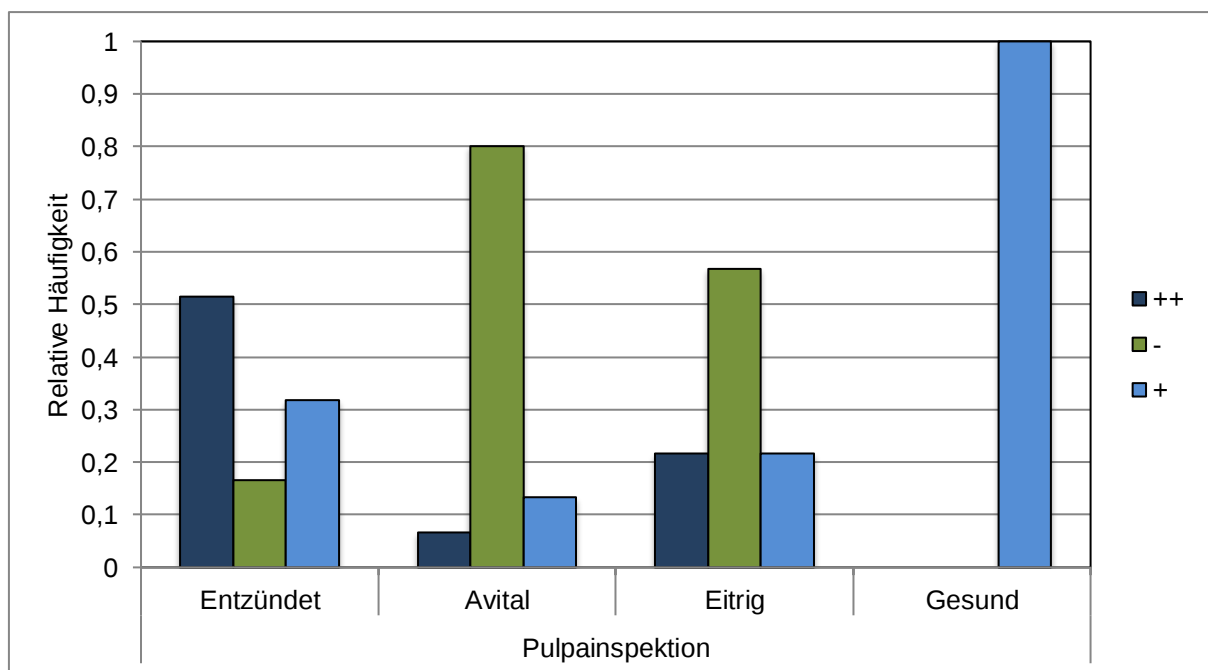
Wie schon beschrieben ist der Sensibilitäts-Kältetest ein subjektives Testverfahren. Um eine bessere Übersicht zu erhalten, wurde in dieser Tabelle lediglich zwischen einer positiven und einer negativen Antwort auf den Sensibilitäts-Kältetest unterschieden. Die klinische Diagnose einer irreversiblen akuten Pulpitis wurde bei 87,88% aller positiven und bei 12,12% aller negativen Antworten festgestellt. Beinahe umgekehrt verhielt es sich für die avitalen Zähne. Hier wurde in 89,83% keine und in 10,17% eine Reaktion auf den Test hervorgerufen. Für die irreversible chronische Pulpitis lässt sich in dieser Tabelle ein eindeutigeres Ergebnis erkennen: in 79,17% fiel der Test positiv und in 20,83% negativ aus. Bei den Pulpen ohne Befund lässt sich keine Veränderung zum vorhergehenden Diagramm finden. Alle Zähne reagierten positiv.

#### 4.1.2 Pulpainspektion

|                                |    | Pulpainspektion |        |        |        | Summe      |
|--------------------------------|----|-----------------|--------|--------|--------|------------|
|                                |    | Entzündet       | Avital | Eitrig | Gesund |            |
| <b>Sensibilitäts-Kältetest</b> | ++ | 34              | 7      | 8      | 0      | 49         |
|                                | -  | 11              | 84     | 21     | 0      | 116        |
|                                | +  | 21              | 14     | 8      | 8      | 51         |
| <b>Summe</b>                   |    | 66              | 105    | 37     | 8      | <b>216</b> |

**Tabelle 4.1.2.1:** Verhältnis Sensibilitäts-Kältetest zu Pulpainspektion in absoluten Zahlen

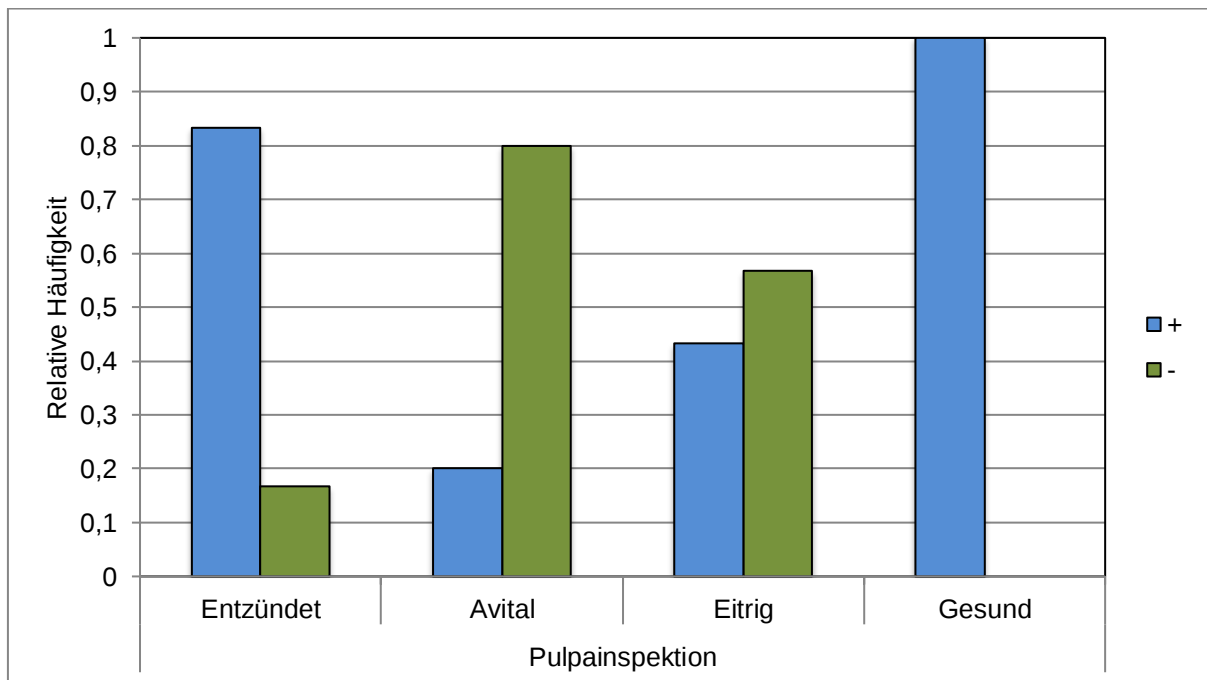
Dieser Tabelle sind die Zähne entsprechend der Pulpainspektion und ihrer jeweiligen Sensibilitäten abgebildet. Auch hier ist auffällig, dass besonders die Zähne, die eine doppelt positive Vitalität ergeben haben, als entzündet erkannt wurden.



**Abbildung 4.1.2.1:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest zu Pulpainspektion

Auch in diesem Diagramm sind die genauen Verteilungen in Prozent des Sensibilitäts-Kältetest gegenüber der Pulpainspektion dargestellt. Bei einer entzündeten Pulpa gab der Patient in 51,51% eine starke Empfindlichkeit, also doppelt positiv, an. 31,82% waren einfach positiv und 16,67% gaben keine Kälteempfindlichkeit an. Für die Diagnose einer avitalen Pulpa gaben 80,00% der Patienten keine Reaktion auf die Kälte an. Die restlichen 20,00% lassen sich in

13,33% einfach und 6,67% doppelt positiv aufteilen. Im Falle einer eitrigen Pulpa empfanden 56,76% der Patienten den Kältetest als negativ. Die übrigen gaben in gleicher Häufigkeit von 21,62% eine doppelt oder einfach positive Reaktion an. Bei den gesunden Zähnen verhielt es sich gleich wie bei der klinischen Diagnose. Alle Patienten gaben eine einfach positive Reaktion auf die Kälte an.



**Abbildung 4.1.2.2:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest zu Pulpainspektion (vereinfachte Darstellung)

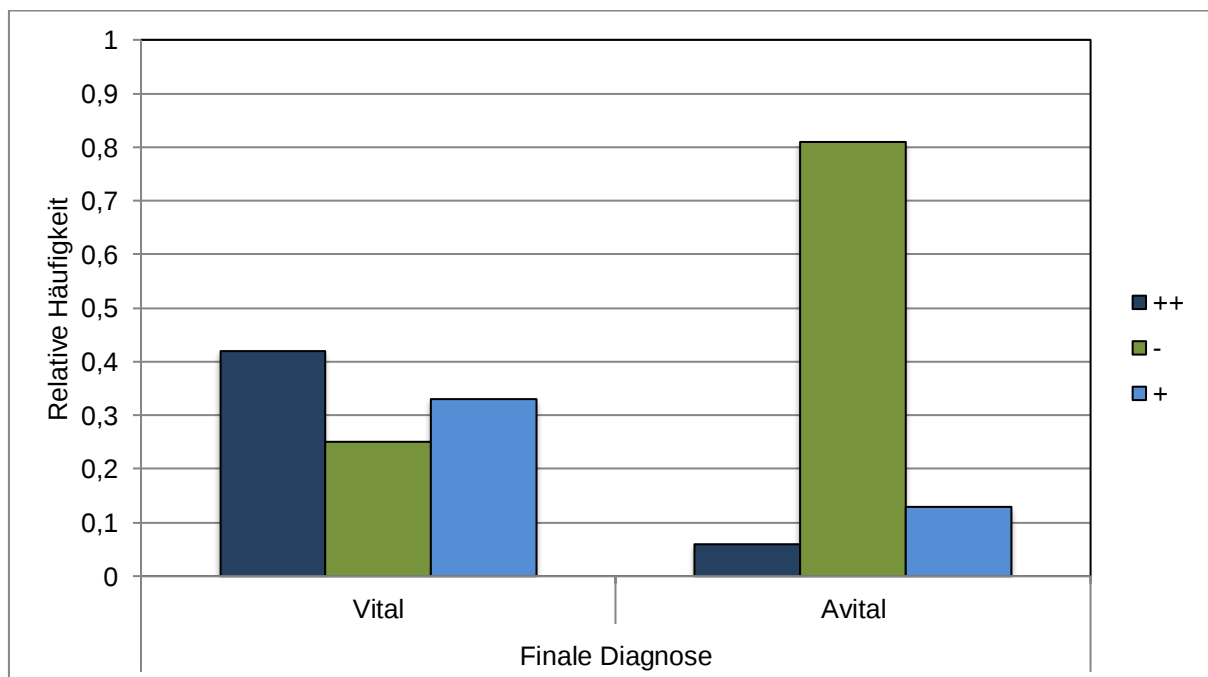
Bei der Pulpainspektion sind wie auch bei der klinischen Diagnose statistisch relativ eindeutige Ergebnisse in Bezug auf die entzündeten und die avitalen Zähne zu erkennen. Dabei reagierten 83,33% aller entzündeten Zähne positiv und nur 16,67% negativ auf den Sensibilitäts-Kältetest. Wohingegen bei den avital diagnostizierten Zähnen lediglich 20,00% positiv und 80,00% negativ reagierten. Statistisch nicht eindeutig einzuordnen sind Zähne, die bei der Pulpainspektion eine eitrige Diagnose erhielten. Hierbei wurden beim vorangehenden Kältetest 43,24% als positiv und 56,76% als negativ angegeben. Für die gesunden Zähne gaben alle eine positive Antwort auf den Test an.

### 4.1.3 Finale Diagnose

|                                |    | Finale Diagnose |        | Summe      |
|--------------------------------|----|-----------------|--------|------------|
|                                |    | Vital           | Avital |            |
| <b>Sensibilitäts-Kältetest</b> | ++ | 42              | 7      | 49         |
|                                | -  | 25              | 94     | 119        |
|                                | +  | 33              | 15     | 48         |
| <b>Summe</b>                   |    | 100             | 116    | <b>216</b> |

**Tabelle 4.1.3.1:** Verhältnis Sensibilitäts-Kältetest zu finaler Diagnose in absoluten Zahlen

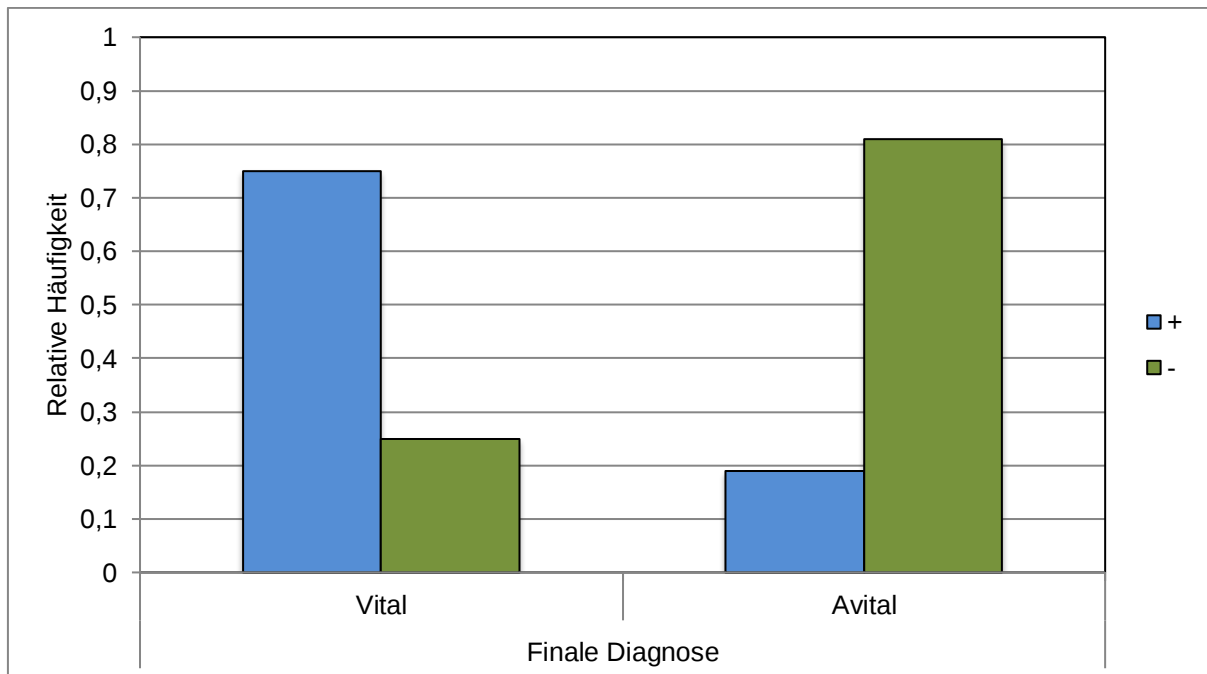
Bei der finalen Diagnose ergab sich dem Zahnarzt lediglich die Möglichkeit zwischen vital und avital zu unterscheiden. Dadurch ist erkennbar, dass die Verteilung einer vitalen finalen Diagnose etwa gleich häufig bei doppelt und einfach positiven Reaktionen zum Vorschein trat, wohingegen eine avitale Diagnose oftmals auch eine avitale Reaktion bei der Kältetestung ergab.



**Abbildung 4.1.3.1:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest zu finaler Diagnose

Zu dem Ergebnis einer vitalen finalen Diagnose kamen 42,00% der als doppelt positiv bewerteten, 33,00% der als einfach positiv und 25,00% der als negativ bewerteten Zähne. Ein wesentlich deutlicheres Ergebnis ergab sich für die avitale finale Diagnose, da bei dieser 81,03% der Zähne als avital während der

Kältemessung bewertet wurden, 12,94% als einfach positiv und nur 6,03% als doppelt positiv.

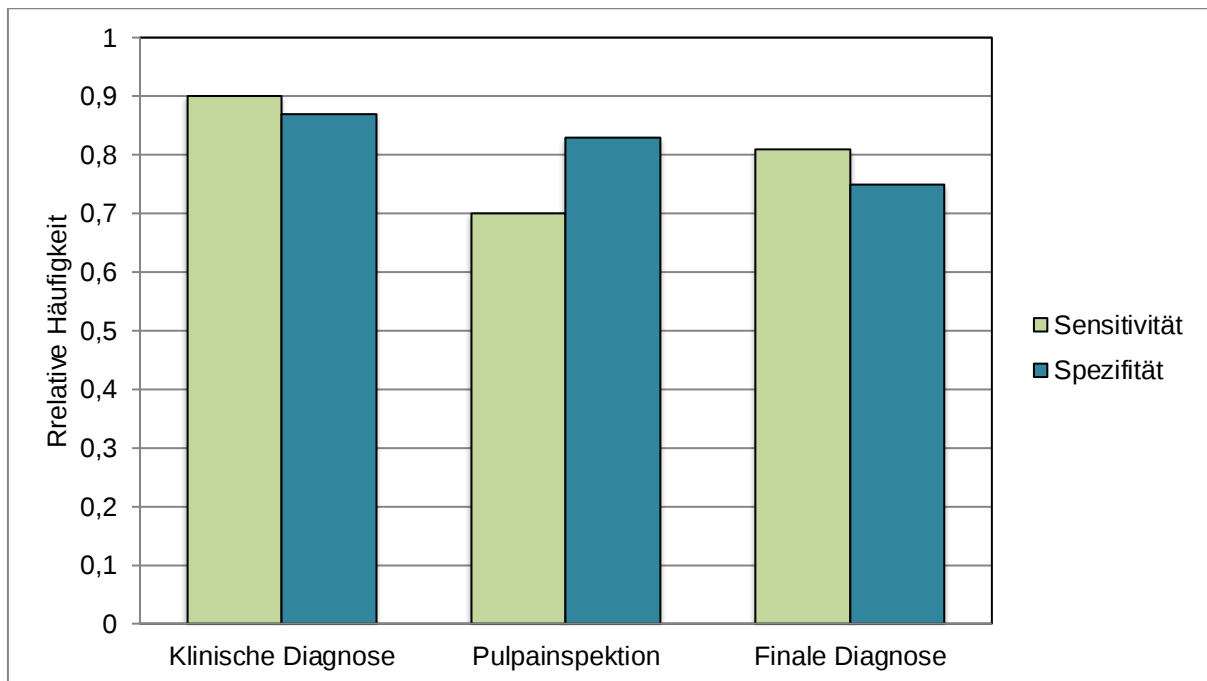


**Abbildung 4.1.3.2:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest zu finaler Diagnose (vereinfachte Darstellung)

Dieses Diagramm zeigt den Sensibilitäts-Kältetest in Bezug auf die finale Diagnose wobei für den Test wiederum nur zwischen positiven und negativen Reaktionen unterschieden wurde. Es lassen sich eindeutige Ergebnisse ablesen. Für die als vital diagnostizierten Zähne lag bei 75,00% eine positive und bei 25,00% eine negative Reaktion vor. Noch eindeutigere Ergebnisse lassen sich für alle avitalen Zähne aufzeigen: hierbei wurden 18,97% als positiv bewertet und der Großteil von 81,01% als negativ.

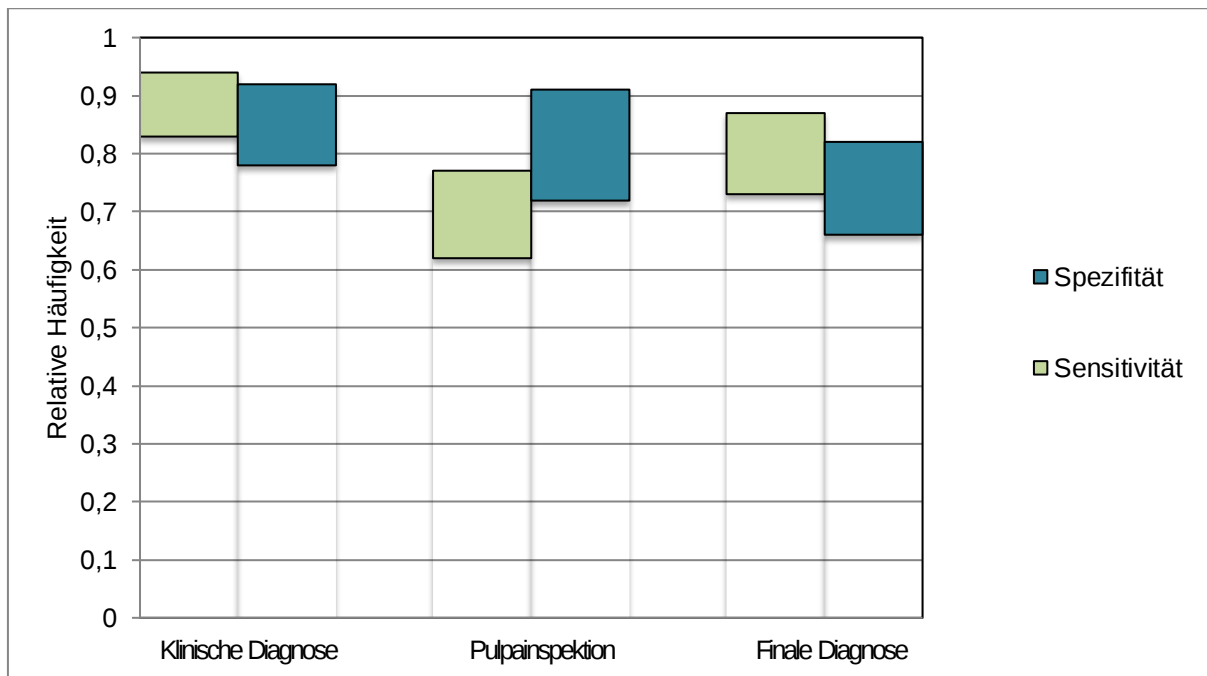
#### 4.1.4 Sensitivität / Spezifität

Im nächsten Schritt werden die Sensitivitäten und die Spezifitäten für die drei Verfahren klinische Diagnose, Pulpainspektion und finale Diagnose beschrieben.



**Abbildung 4.1.4.1:** Sensitivität und Spezifität des Sensibilitäts-Kältetests

Die höchste Sensitivität und auch Spezifität ergaben sich in der klinischen Diagnose mit 0,9 und 0,87. Da die klinische Diagnose jedoch nur anhand von allen diagnostischen Hilfsmitteln erhoben wurde und noch keine direkte Pulpasicht vorhanden war, sollte dies nicht als absoluter Goldstandard bewertet werden. Als Goldstandard wäre die Pulpainspektion anzusehen. Hier ergaben sich eine Sensitivität von 0,7 und eine Spezifität von 0,83. Wohingegen die Spezifität bei der Pulpainspektion im Vergleich zur klinischen Diagnose nahezu gleich blieb, findet sich eine statistisch signifikante Herabsetzung der Sensitivität wieder. Als letztes wurde die finale Diagnose betrachtet. Es wurde eine Sensitivität von 0,81 und eine Spezifität von 0,75 festgestellt. Bei dieser Untersuchung kann die finale Diagnose als geeignetes Mittel für einen Goldstandard angesehen werden, da hier sowohl die Pulpainspektion als auch die klinische Diagnose herangezogen werden konnte. Es ist deshalb auch nicht verwunderlich, dass sich sowohl Spezifität als auch Sensitivität in der Mitte der beiden zuvor gewählten ‚Goldstandards‘ befindet.



**Abbildung 4.1.4.2:** 95%-Konfidenzintervall des Sensibilitäts-Kältetests

Zu den jeweiligen Sensitivitäten und Spezifitäten wurden die zugehörigen 95%-Konfidenzintervalle ermittelt. Das 95%-Konfidenzintervall für die klinische Diagnose befindet sich bei der Sensitivität in einem Bereich von 0,83-0,94 und für die Spezifität bei 0,78-0,92. Für die Pulpainspektion liegt sie bei der Sensitivität im Bereich von 0,62-0,77 und bei der Spezifität von 0,72-0,91. Zuletzt wurden die 95%-Konfidenzintervalle für die finale Diagnose ermittelt, die für die Sensitivität bei 0,73-0,87 und für die Spezifität bei 0,66-0,82 liegen.

## 4.2 Perkussion

### 4.2.1 Klinische Diagnose

|            |    | Klinische Diagnose             |        |                                        |                | Summe |
|------------|----|--------------------------------|--------|----------------------------------------|----------------|-------|
|            |    | Irreversible<br>akute Pulpitis | Avital | Irreversible<br>chronische<br>Pulpitis | Ohne<br>Befund |       |
| Perkussion | ++ | 24                             | 16     | 6                                      | 0              | 46    |
|            | -  | 9                              | 37     | 5                                      | 7              | 58    |
|            | +  | 33                             | 65     | 13                                     | 1              | 112   |
| Summe      |    | 66                             | 118    | 24                                     | 8              | 216   |

Tabelle 4.2.1.1: Verhältnis Perkussion zu klinischer Diagnose in absoluten Zahlen

Dieser Tabelle sind alle Zähne entsprechend dem Grad der Perkussion bezogen auf die klinische Diagnose zu entnehmen.

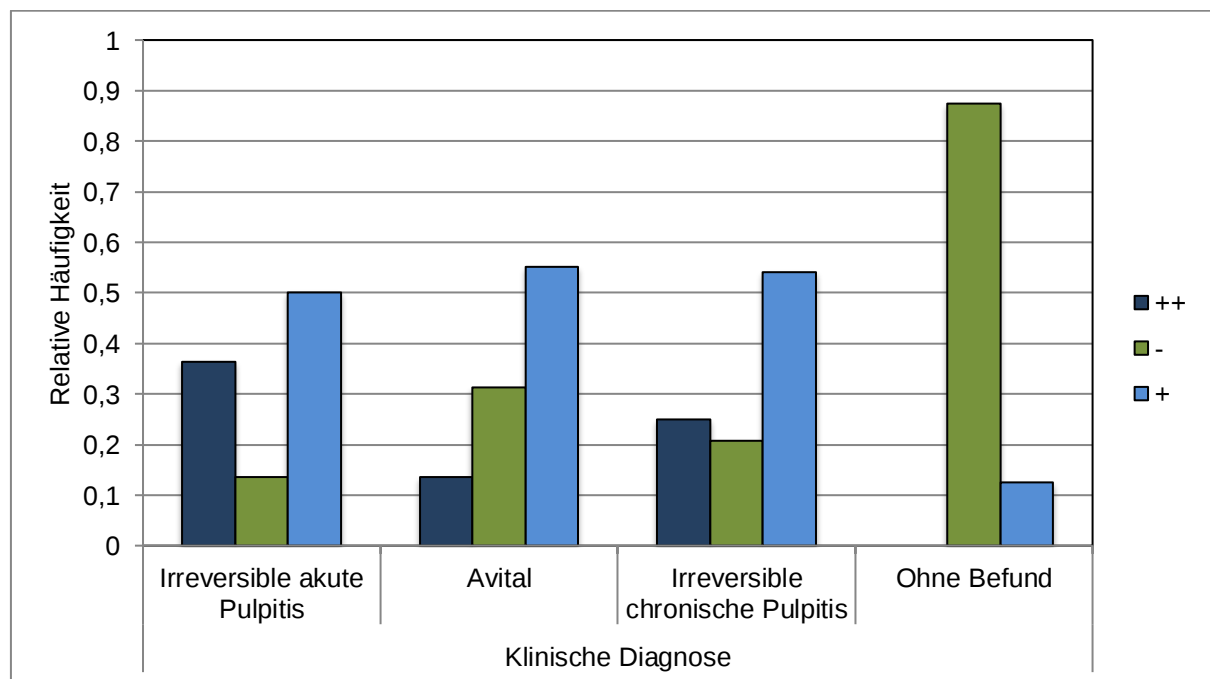
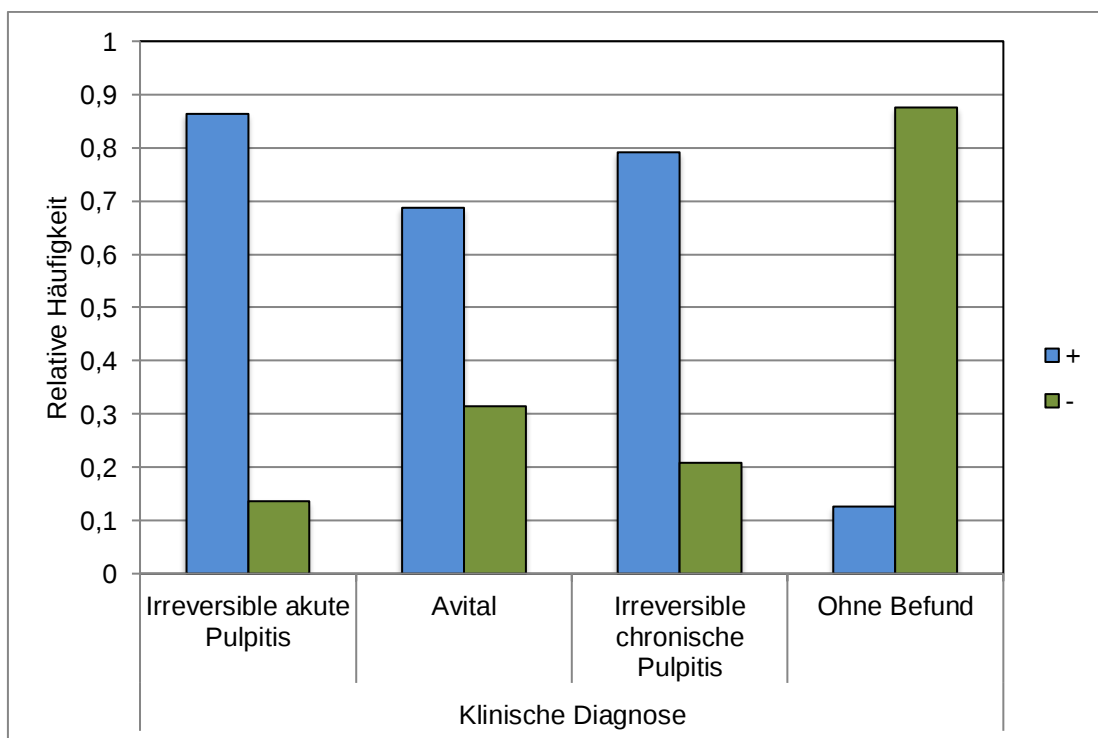


Abbildung 4.2.1.1: Häufigkeitsverteilung der Beziehung Perkussion zu klinischer Diagnose

Bei der irreversiblen akuten Pulpitis wurden die Zähne in 36,36% der Fälle als doppelt positiv und somit als sehr schmerzhaft wahrgenommen, in 50,00% als einfach positiv und in 13,64% als gar nicht schmerzhaft. Für die irreversible chronische Pulpitis lässt sich ein ähnlicher Zusammenhang feststellen: hier ergaben 25,00% ein doppelt positives, 54,17% ein einfach positives und 31,36% ein negatives Ergebnis. Bei einer avitalen klinischen Diagnose waren auch die einfach positiven Resultate am häufigsten mit 55,08%. Als zweithäufigstes (31,36%) Ergebnis gab der Patient keinerlei Reaktion auf die Perkussion an und selten wurde der Zahn als sehr schmerzhaft, also doppelt positiv beschrieben (13,56%). Bei den als gesund diagnostizierten Zähnen ergab die Perkussion in 87,50% keine Reaktion, also ein negatives Ergebnis, und in 12,50% eine einfach positive Reaktion, nie jedoch eine doppelt positive Reaktion. Auffällig ist, dass sowohl bei der irreversiblen chronischen und akuten Pulpitis als auch bei den avitalen Zähnen am häufigsten eine leichter Schmerz (einfach positiv) als Reaktion auf die Perkussion angegeben wurde. Insbesondere bei den als avital deklarierten Zähnen war nur ein sehr geringer Prozentsatz doppelt positiv.



**Abbildung 4.2.1.2:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Perkussion zu klinischer Diagnose (vereinfachte Darstellung)

Auch für die Perkussion wurde im Sinne einer besseren und vereinfachten Darstellung – und da auch dieser Test ein hauptsächlich subjektives Verfahren darstellt – nur zwischen einer positiven und einer negativen Reaktion unterschieden.

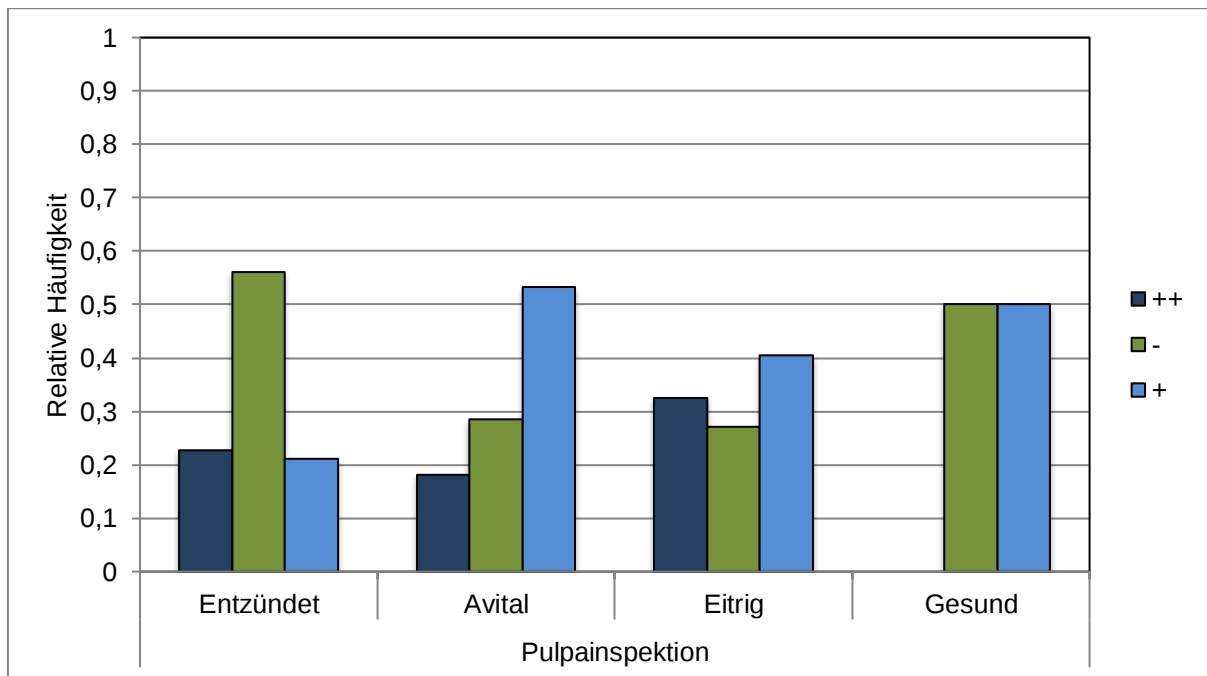
Bei der klinischen Diagnose einer irreversiblen akuten Pulpitis konnte in 86,36% eine positive und in 13,64% eine negative Reaktion festgestellt werden. Für die avitalen Zähne gaben 68,64% der Patienten eine leichte bis starke Schmerzsymptomatik und 31,36% keinerlei Schmerzen an. Die Diagnose einer irreversiblen chronischen Pulpitis ergab ähnliche Werte wie die irreversible akute Pulpitis: in 79,17% der Fälle wurde positiv auf den Perkussionstest, in 20,83% negativ geantwortet. Anders als beim Sensibilitäts-Kältetest liegt für die gesunden Zähne kein eindeutiges 100%-Ergebnis vor. 87,5% der Patienten gaben zwar keinerlei Schmerzsymptomatik an, jedoch wurde bei 12,5% ein leichter Schmerz diagnostiziert.

#### 4.2.2 Pulpainspektion

|            |    | Pulpainspektion |        |        |        | Summe |
|------------|----|-----------------|--------|--------|--------|-------|
|            |    | Entzündet       | Avital | Eitrig | Gesund |       |
| Perkussion | ++ | 15              | 19     | 12     | 0      | 46    |
|            | -  | 37              | 30     | 10     | 4      | 81    |
|            | +  | 14              | 56     | 15     | 4      | 89    |
| Summe      |    | 66              | 105    | 37     | 8      | 216   |

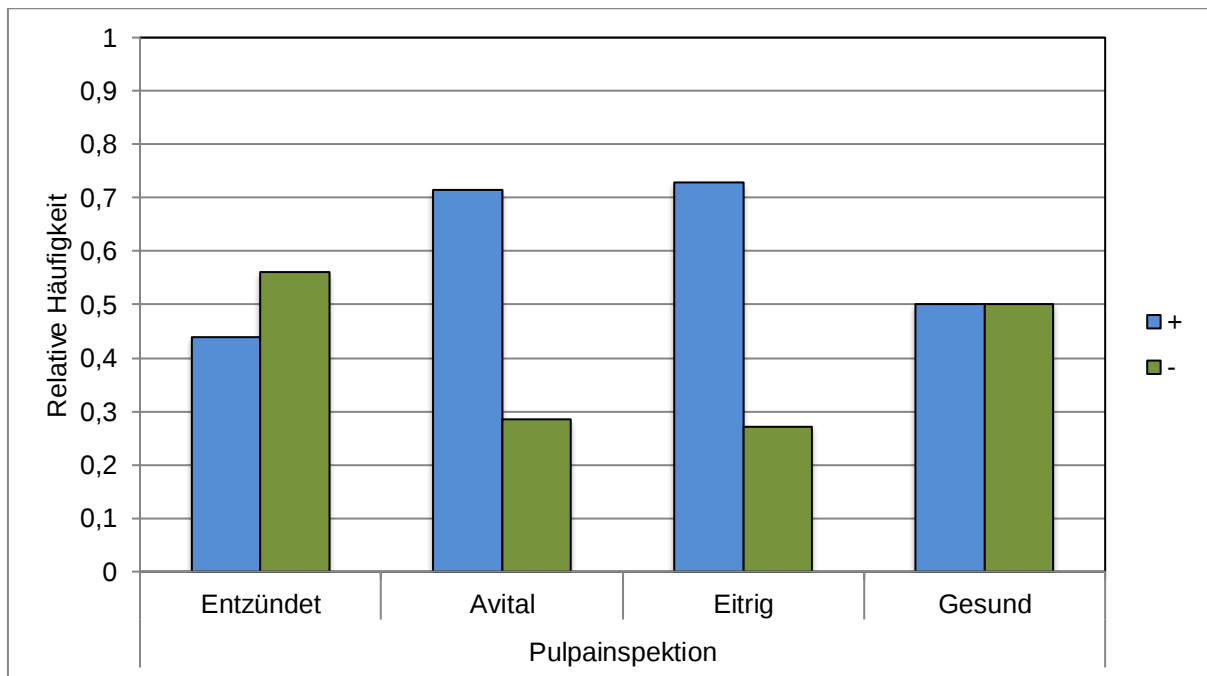
**Tabelle 4.2.2.1:** Verhältnis Perkussion zu Pulpainspektion in absoluten Zahlen

In dieser Tabelle zeigen sich die verschiedenen Reaktionen auf die Perkussion in Bezug auf die Pulpainspektion in ganzen Zahlen.



**Abbildung 4.2.2.1:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Perkussion zu Pulpainspektion

Bei einer entzündeten Pulpainspektion gaben die Patienten in den meisten Fällen (56,06%) keinerlei Reaktion auf die Perkussion an. In etwa gleichem Maße (einfach positiv 21,21% und doppelt positiv 22,73%) gaben die Patienten eine schmerzhaft Reaktion auf die Perkussion an. Im anderen Falle der avitalen Pulpainspektion gaben die meisten Patienten eine einfache Schmerzsymptomatik (einfach positiv 53,34%) an. In 18,09% waren die Zähne doppelt positiv und in 28,57% negativ. Bei der eitrigen Pulpainspektion waren die Zähne in 32,43% doppelt positiv, in 27,03% negativ und in 40,54% einfach positiv gegenüber der Perkussion. Bei den gesunden Zähnen gaben 50% der Patienten eine einfach positive Reaktion und 50% keinerlei Reaktion an.



**Abbildung 4.2.2.2:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Perkussion zu Pulpainspektion (vereinfachte Darstellung)

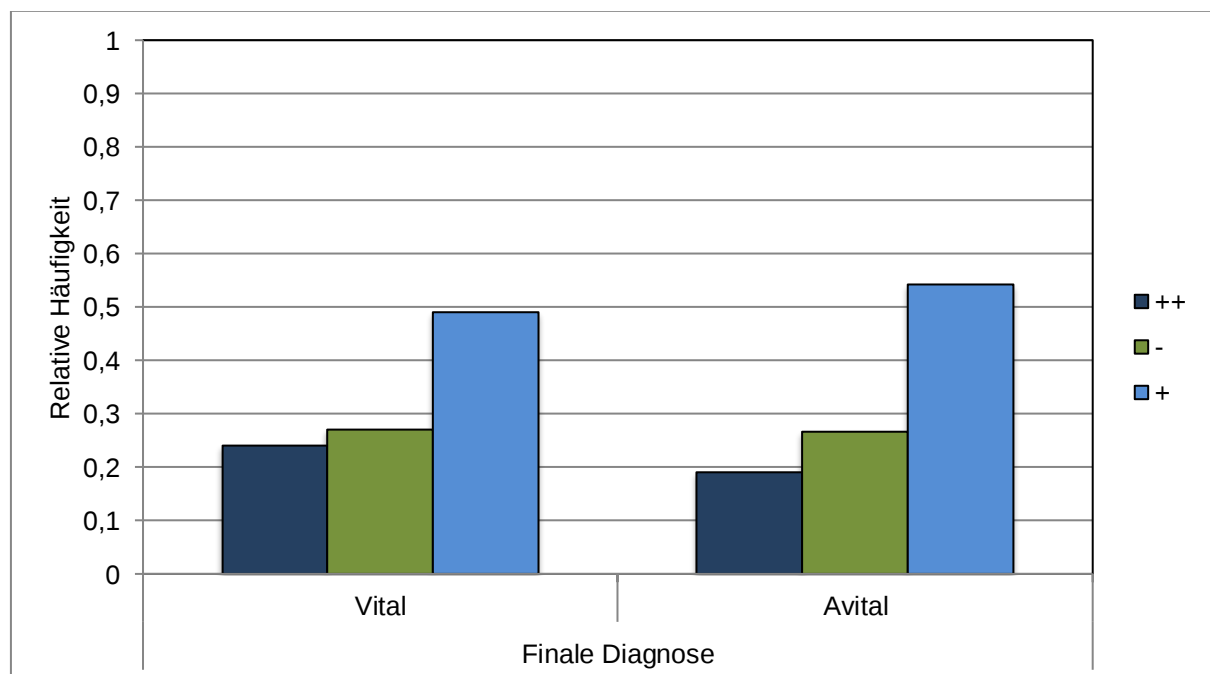
Für die Pulpainspektion in Bezug auf die Perkussion ergibt sich folgende Statistik: anders als bei der klinischen Diagnose findet sich nun für die entzündeten Zähne kein eindeutiges Ergebnis wieder. 56,06% empfanden den Perkussionstest als nicht schmerzhaft wohingegen 43,94% Schmerzen angaben. Für alle avitalen Zähne lässt sich die gleiche Tendenz wie auch schon bei der klinischen Diagnose erkennen. In 71,44% war eine Schmerzsymptomatik vorhanden, in 28,57% nicht. Ähnlich verhält es sich für alle eitrigen Zähne. Hierbei waren 72,97% schmerzhaft und 27,03% schmerzfrei. Für die als gesund diagnostizierten Zähne ergab sich eine genaue 50%-Verteilung.

### 4.2.3 Finale Diagnose

|            |    | Finale Diagnose |        | Summe |
|------------|----|-----------------|--------|-------|
|            |    | Vital           | Avital |       |
| Perkussion | ++ | 24              | 22     | 46    |
|            | -  | 27              | 31     | 58    |
|            | +  | 49              | 63     | 112   |
| Summe      |    | 100             | 116    | 216   |

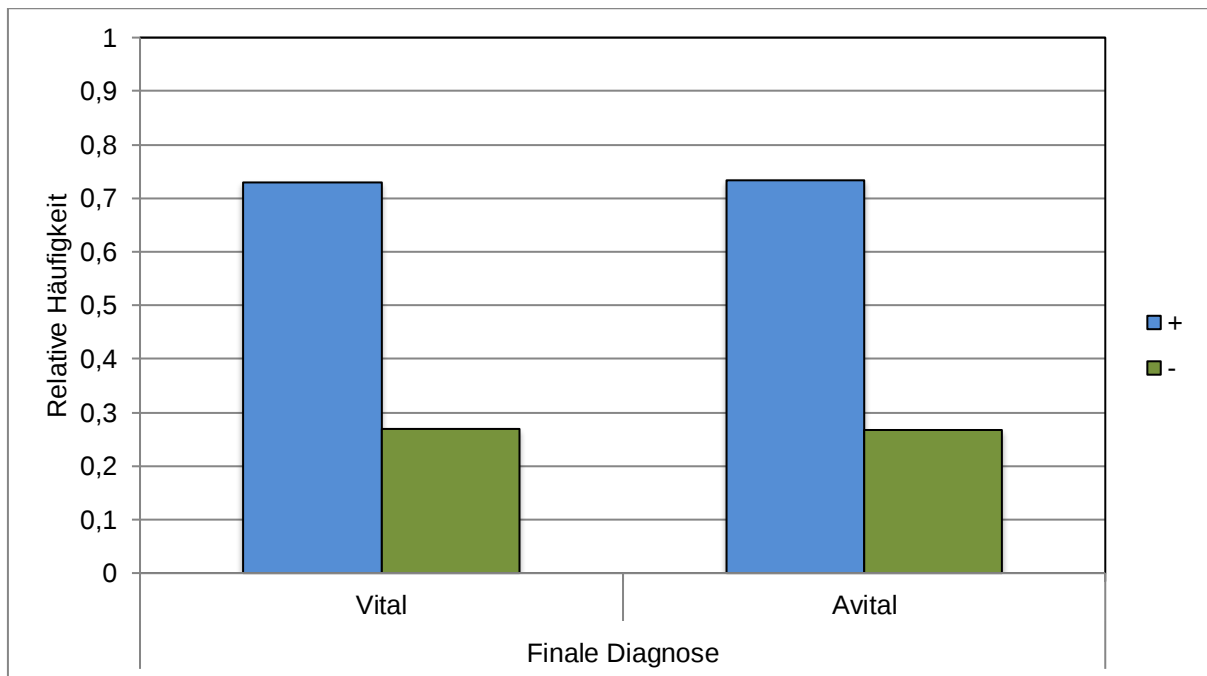
**Tabelle 4.2.3.1:** Verhältnis Perkussion zu finaler Diagnose in absoluten Zahlen

In dieser Tabelle sind alle Perkussionsreaktionen in Bezug auf die finale Diagnose dargestellt.



**Abbildung 4.2.3.1:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Perkussion zu finaler Diagnose

Bei der finalen Diagnose fällt sofort auf, dass sowohl im vitalen (49%) als auch im avitalen (54,31%) Bereich eine einfach positive Reaktion der Patienten am häufigsten wiederzufinden war. Eine doppelt positive Reaktion ergab sich für die vitale finale Diagnose in 24% der Fälle und für die avitale finale Diagnose in 18,97%. Am zweithäufigsten gaben die Patienten keinerlei schmerzhaft Reaktion an. Für die vitale finale Diagnose in 27,00% der Fälle und für die avitale in 26,72%.



**Abbildung 4.2.3.2:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Perkussion zu finaler Diagnose (vereinfachte Darstellung)

Sowohl bei den vitalen als auch bei den avitalen Zähnen konnte am häufigsten eine positive Perkussion festgestellt werden. Für die vitalen Zähne liegt diese bei 73%, für die avitalen bei 73,28%.

#### 4.2.4 Sensitivität / Spezifität

Auch für die Perkussion konnte nun im nächsten Schritt die Sensitivität und Spezifität für die klinische Diagnose und die Pulpainspektion bestimmt werden. Es wäre allerdings nicht sinnvoll die Sensitivität und die Spezifität auch für die finale Diagnose zu bestimmen. Da bei der finalen Diagnose lediglich eine Unterscheidung zwischen vital und avital getroffen werden konnte und die Perkussion kein Indikator für die Vitalität eines Zahnes, sondern vielmehr seiner Stabilität im Knochen ist, findet sich in den folgenden Abbildungen die finale Diagnose nicht wieder.

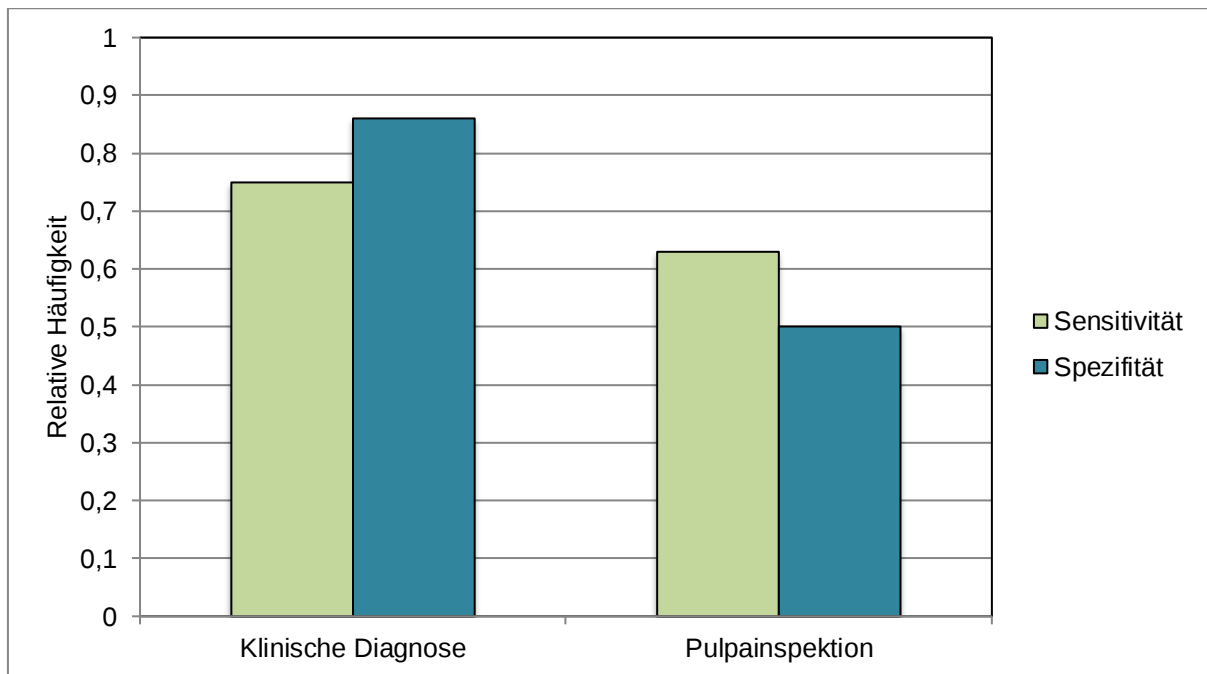
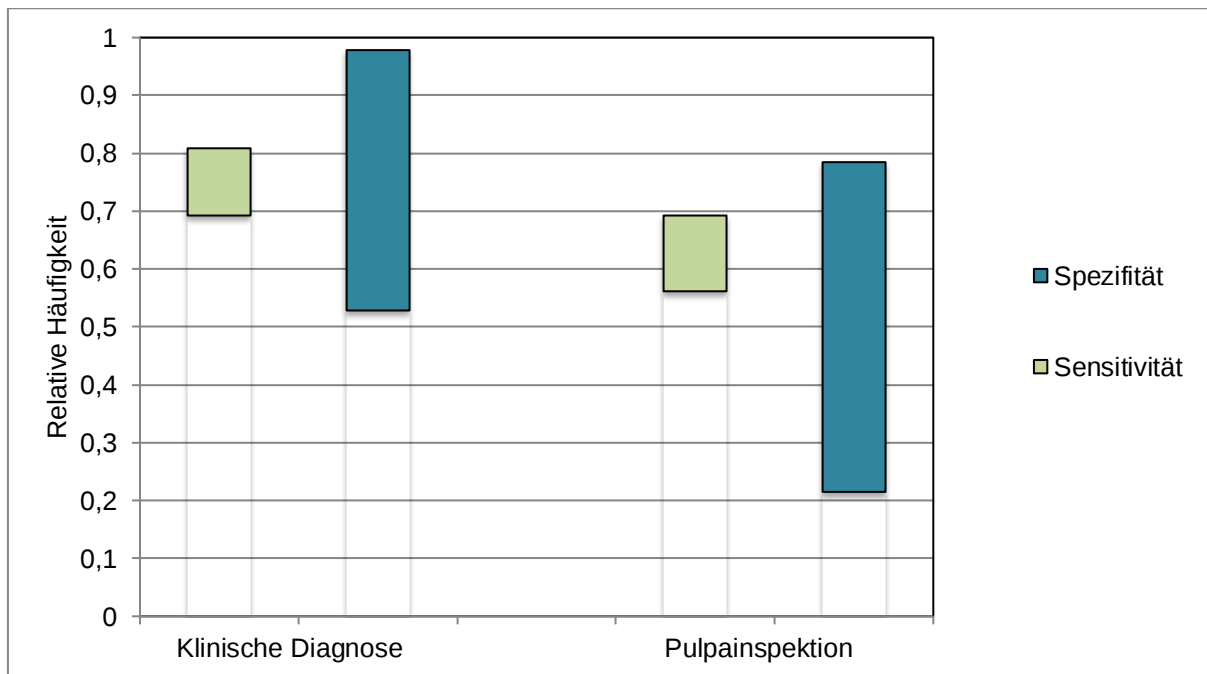


Abbildung 4.2.4.1: Sensitivität und Spezifität der Perkussion

Für die klinische Diagnose ergab sich eine leicht höhere Spezifität (0,86) als Sensitivität (0,75). Bei der Pulpainspektion ergaben sich eine Sensitivität von 0,63 und eine Spezifität von 0,5. Zu bedenken ist, dass die Spezifität mit einer sehr geringen Anzahl an Zähnen ermittelt wurde – sowohl bei der Pulpainspektion, als auch bei der klinischen Diagnose - was sich in der folgenden Abbildung im 95%-Konfidenzintervall wiederfindet. Grund für die geringe Anzahl an untersuchten Zähnen ist wie folgt: Da zum größten Teil nur Zähne trepaniert wurden, die eine Erkrankung hatten, bleibt nur ein ganz geringer Prozentsatz an Zähnen übrig, die als gesund deklariert werden konnten und somit zur Ermittlung der Spezifität mit einbezogen wurden.



**Abbildung 4.2.4.2:** 95%-Konfidenzintervalle der Perkussion

Es lässt sich sofort erkennen, dass die Balken der Spezifität wesentlich größer sind als diejenigen der Sensitivität. Dies lässt sich mit der zuvor beschriebenen geringeren Anzahl an untersuchten gesunden Zähnen erklären.

So liegt nun das 95%-Konfidenzintervall für die Spezifität bei der klinischen Diagnose zwischen 0,53-0,98 und bei der Pulpainspektion zwischen 0,22-0,78. Für die Sensitivitäten ergaben sich wesentlich kleinere Intervalle. Bei der klinischen Diagnose ergab sich ein Konfidenzintervall von 0,69-0,81 und bei der Pulpainspektion von 0,56-0,69.

### 4.3 Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion

Im Folgenden wurden nun die Daten des Sensibilitäts-Kältetests und der Perkussion vereint und jeweils der klinischen Diagnose, der Pulpainspektion und der finalen Diagnose gegenübergestellt. Hierbei soll die Abkürzung „Vipr.“ den Sensibilitäts-Kältetest symbolisieren und „Perk.“ die Perkussion.

Um eine übersichtliche Darstellung der Daten zu generieren, wird im Folgenden nur noch zwischen einem positiven und negativen Resultat sowohl bei der Sensibilitätsprüfung als auch bei der Perkussion unterschieden. Das bedeutet, dass doppelt positive Aussagen zu einem der beiden Testverfahren zu den einfach

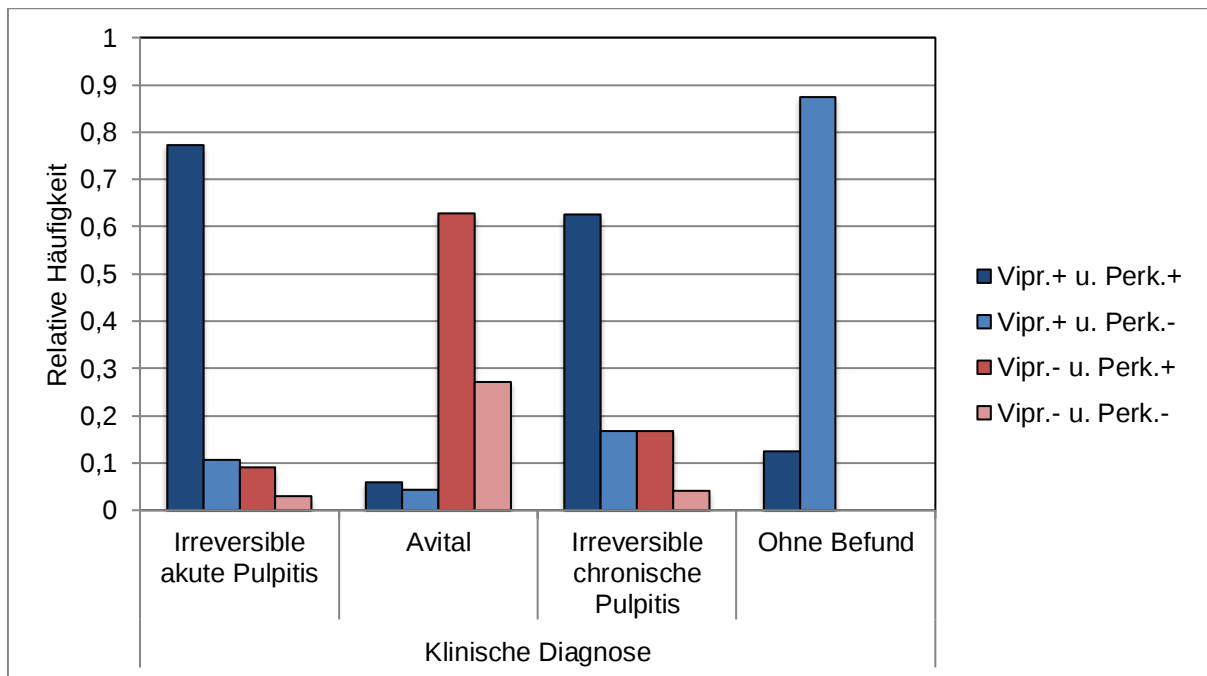
positiven gezählt werden. Dies kann nicht nur im Sinne der Übersicht als sinnvoll betrachtet werden. Da sowohl der Sensibilitäts-Kältetest als auch die Perkussion-Test diagnostische Verfahren sind, die zu einem großen Teil auf der Subjektivität des Patienten und auch des Zahnarztes basieren, ist es durchaus möglich, keine Abstufung bei einer positiven Resonanz zu tätigen.

#### 4.3.1 Klinische Diagnose

|                  | klinische Diagnose             |        |                                        |                | Summe      |
|------------------|--------------------------------|--------|----------------------------------------|----------------|------------|
|                  | Irreversible<br>akute Pulpitis | Avital | Irreversible<br>chronische<br>Pulpitis | Ohne<br>Befund |            |
| Vipr.+ u. Perk.+ | 51                             | 7      | 15                                     | 1              | 74         |
| Vipr.+ u. Perk.- | 7                              | 5      | 4                                      | 7              | 23         |
| Vipr.- u. Perk.+ | 6                              | 74     | 4                                      | 0              | 84         |
| Vipr.- u. Perk.- | 2                              | 32     | 1                                      | 0              | 35         |
| <b>Summe</b>     | 66                             | 118    | 24                                     | 8              | <b>216</b> |

**Tabelle 4.3.1.1:** Verhältnis Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion zu klinischer Diagnose

In dieser Tabelle wird der Sensibilitäts-Kältetest und die Perkussion gegenüber der klinischen Diagnose betrachtet.



**Abbildung 4.3.1.1:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion zu klinischer Diagnose

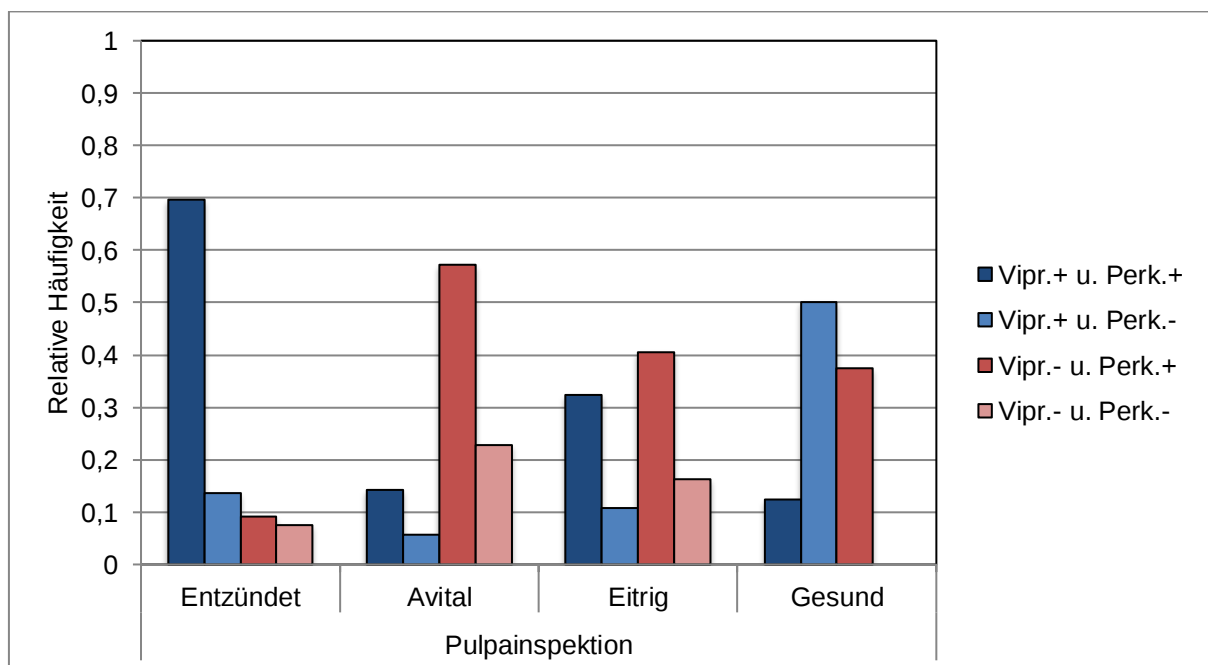
In dieser Tabelle wurden der Sensibilitäts-Kältetest und die Perkussion zusammengeführt und gegen die klinische Diagnose gestellt. Bei der Diagnose der irreversiblen akuten Pulpitis fand sich bei 77,27% der Fälle eine positive Vitalität und Perkussion wieder. In 10,61% war die Vitalität positiv und die Perkussion negativ, in 9,09% die Vitalität negativ und die Perkussion positiv und in 3,03% die Vitalität negativ und die Perkussion positiv. Bei den avitalen Zähnen war am häufigsten mit 62,71% die Vitalität negativ und die Perkussion positiv, wohingegen am zweithäufigsten mit 27,12% die Vitalität und die Perkussion negativ waren. Für die Fälle mit einer positiven Vitalität war in 5,93% die Perkussion positiv und in 4,24% negativ. Bei der irreversiblen chronischen Pulpitis war ein positives Ergebnis, sowohl bei der Vitalität als auch bei der Perkussion, der häufigste Fall mit 62,5%. In gleichem Maße folgten nun mit 16,67% zum einen eine positive Vitalität mit einer negativen Perkussion und eine negative Vitalität mit einer positiven Perkussion. Selten (4,16%) kam die Kombination von negativer Vitalität und negativer Perkussion vor. Bei einer gesunden Diagnose war, wie zu erwarten, die Kombination einer positiven Vitalität und einer negativen Perkussion das häufigste Ergebnis mit 87,5%. Die verbleibenden 12,5% waren hinsichtlich Vitalität als auch Perkussion positiv.

### 4.3.2 Pulpainspektion

|                  | Pulpainspektion |            |           |          | Summe      |
|------------------|-----------------|------------|-----------|----------|------------|
|                  | Entzündet       | Avital     | Eitrig    | Gesund   |            |
| Vipr.+ u. Perk.+ | 46              | 15         | 12        | 1        | 74         |
| Vipr.+ u. Perk.- | 9               | 6          | 4         | 4        | 23         |
| Vipr.- u. Perk.+ | 6               | 60         | 15        | 3        | 84         |
| Vipr.- u. Perk.- | 5               | 24         | 6         | 0        | 35         |
| <b>Summe</b>     | <b>66</b>       | <b>105</b> | <b>37</b> | <b>8</b> | <b>216</b> |

**Tabelle 4.3.2.1:** Verhältnis Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion zu Pulpainspektion

In dieser Tabelle sind der Sensibilitäts-Kältetest zusammen mit der Perkussion gegen die Pulpainspektion aufgeführt.



**Abbildung 4.3.2.1:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion zur Pulpainspektion

In diesem Diagramm ist der Sensibilitäts-Kältetest in Kombination mit Perkussion gegenüber der Pulpainspektion dargestellt.

Bei einer entzündeten Pulpa lag in 69,7% sowohl eine positive Vitalität als auch Perkussion vor. Für die anderen drei Kombinationen ergaben sich in absteigender Reihenfolge 13,64%, 9,09% und 7,57%. Auch bei einer avitalen Pulpainspektion

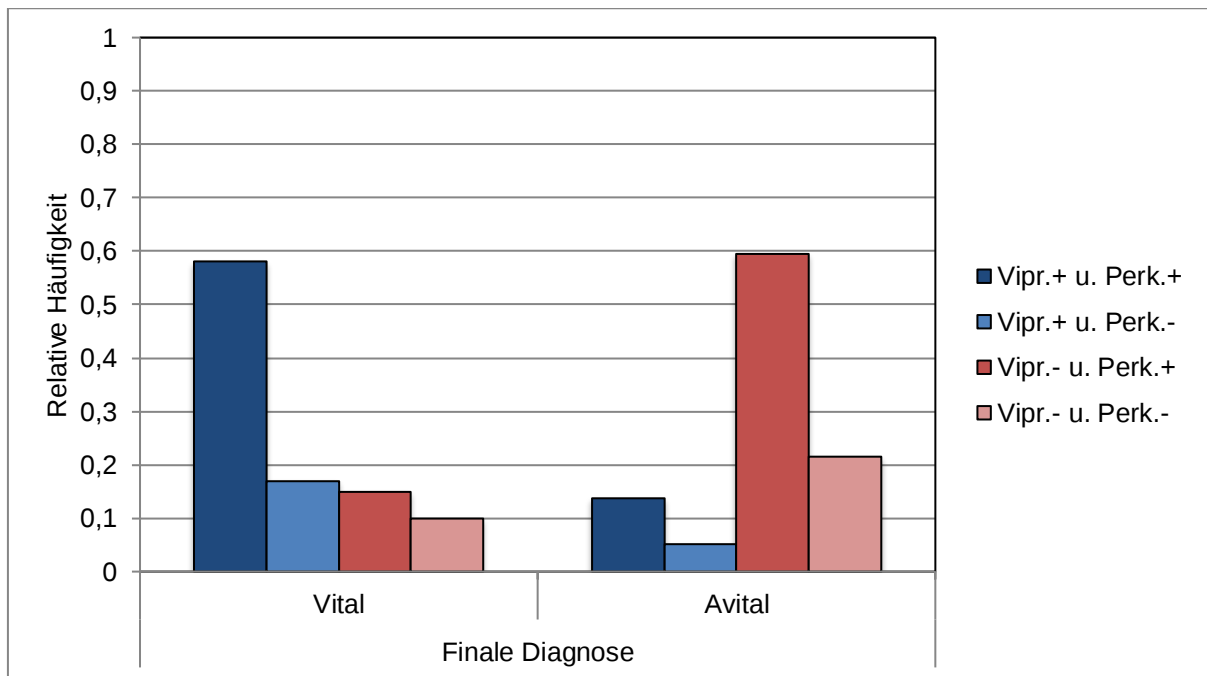
ergab sich ein statistisch eindeutiges Ergebnis. Die häufigste Kombination mit einer negativen Vitalität und einer positiven Perkussion war in 57,14% der Fall. Eine negative Vitalität mit einer negativen Perkussion war in 22,86% der Fälle wiederzufinden. Bei einer positiven Vitalität war in 14,29% eine positive Perkussion und in 5,71% eine negative Perkussion zu sehen. Im Falle einer eitrigten Pulpa konnte etwa ähnlich häufig entweder eine negative Vitalität mit positiver Perkussion (40,54%) oder eine positive Vitalität mit positiver Perkussion (32,43%) festgestellt werden. Die Kombination einer negativen Vitalität mit negativer Perkussion kam in 16,22% der Fälle vor, wohingegen gerade mal 10,81% eine positive Vitalität mit negativer Perkussion aufzeigten. Wie auch bei der klinischen Diagnose machte der größte Anteil der gesunden Zähne die Kombination aus positiver Vitalität mit negativer Perkussion aus (50%). Die anderen beiden Kombinationen waren eine negative Vitalität mit positiver Perkussion (37,50%) und eine positive Vitalität mit positiver Perkussion (12,50%).

#### 4.3.3 Finale Diagnose

|                  | Finale Diagnose |        | Summe      |
|------------------|-----------------|--------|------------|
|                  | Vital           | Avital |            |
| Vipr.+ u. Perk.+ | 58              | 16     | 90         |
| Vipr.+ u. Perk.- | 17              | 6      | 23         |
| Vipr.- u. Perk.+ | 15              | 69     | 84         |
| Vipr.- u. Perk.- | 10              | 25     | 35         |
| <b>Summe</b>     | 100             | 116    | <b>216</b> |

**Tabelle 4.3.3.1:** Verhältnis Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion zu finaler Diagnose

Diese Tabelle zeigt die Kombination aus Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion gegenüber der finalen Diagnose.



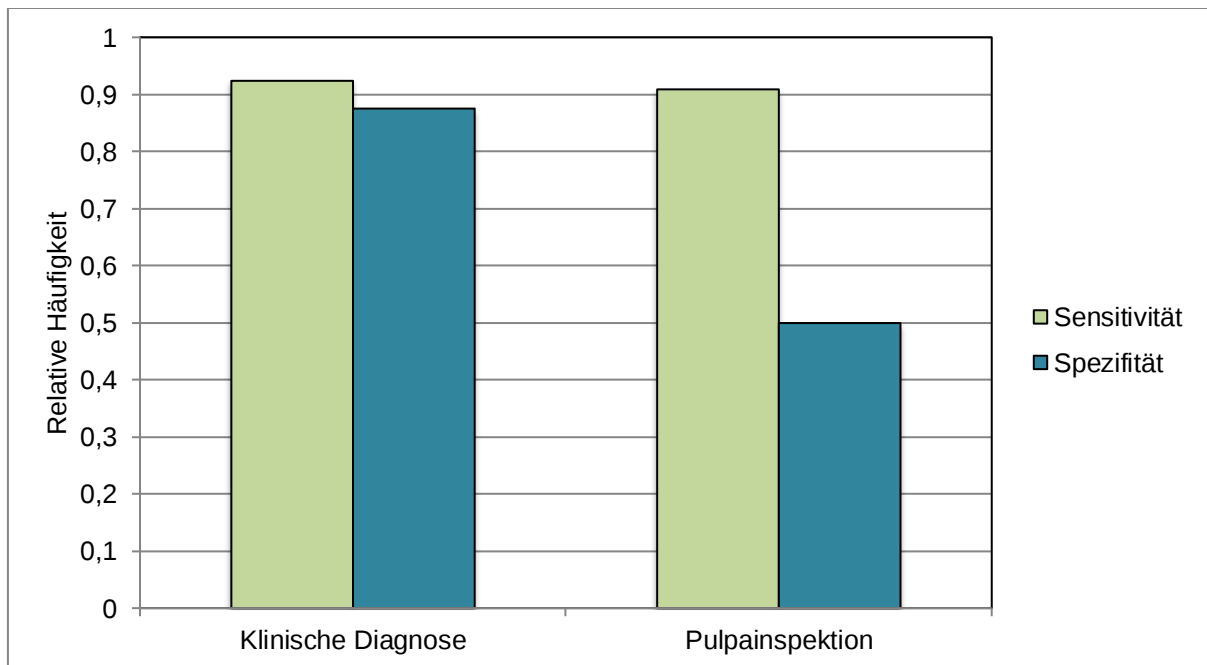
**Abbildung 4.3.3.1:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion zur finalen Diagnose

In diesem Diagramm ist der Sensibilitäts-Kältetest mit Perkussion in Bezug auf die finale Diagnose dargestellt. Sowohl bei der vitalen als auch bei der avitalen finalen Diagnose fällt auf, dass der größte Prozentsatz mit der Aussage über die Vitalität übereinstimmt und in beiden Fällen die Perkussion positiv ist. Für die vitale Diagnose entsprach dies 58,00%, für die avitale 59,48%. Die restlichen Kombinationen waren für die vitale finale Diagnose in abnehmender Reihenfolge wie folgt vertreten: 17,00%, 15,00% und 10,00%. Bei der avitalen finalen Diagnose kam die Kombination einer negativen Vitalität mit negativer Perkussion in 21,56% der Fälle vor, eine positive Vitalität mit positiver Perkussion in 13,79% und eine positive Vitalität mit negativer Perkussion in 5,17%.

#### 4.3.4 Sensitivität / Spezifität

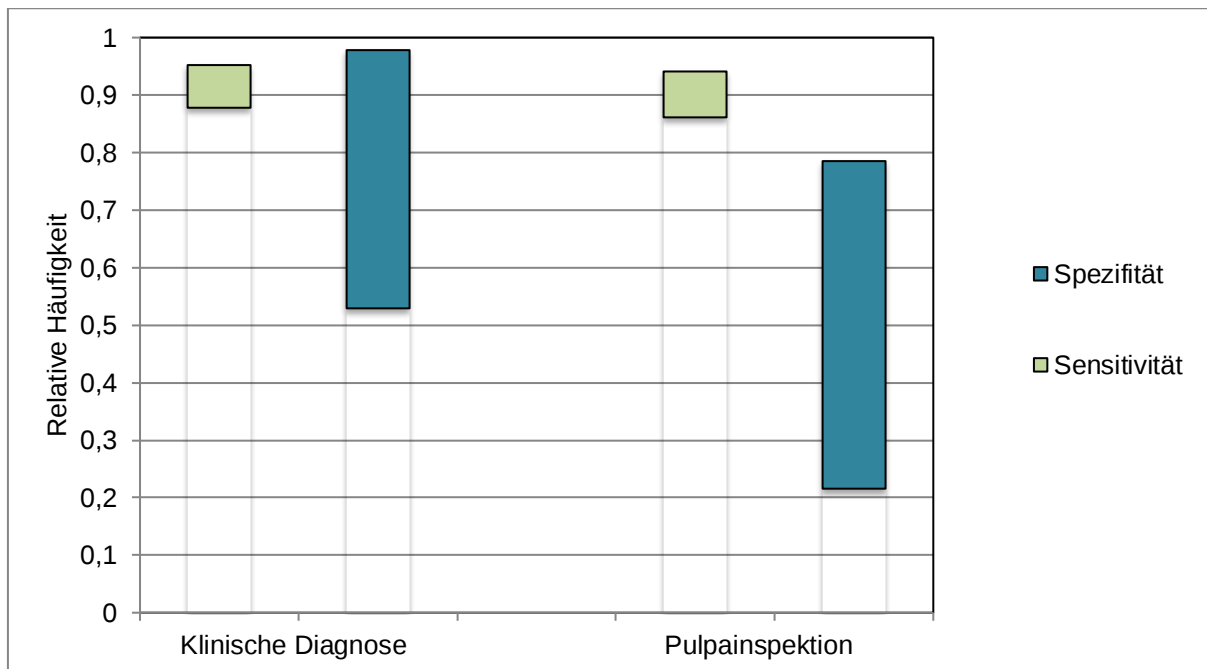
Für die Kombination von Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion ließen sich Sensitivitäten und Spezifitäten darstellen. Es wurde definiert, dass ein gesunder Zahn eine positive Vitalitätsprobe und eine negative Perkussion aufweisen sollte. Auch hier wurden die Sensitivität und die Spezifität nur für die klinische Diagnose und die Pulpainspektion berechnet. Die finale Diagnose unterschied nur zwischen

vital und avital. Per definitionem ist ein Zahn mit Merkmalen positive Vitalität und negative Perkussion gesund. Das bedeutet, sobald die Perkussion auch positiv ist, wird der Zahn als krank bewertet. Jedoch ist der Zahn in diesem Fall immer noch vital. Da bei der finalen Diagnose lediglich die Unterscheidung zwischen vital und avital getroffen werden konnte, nicht jedoch zwischen krank und gesund, ist es nicht möglich, die Kombination von Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion auf die finale Diagnose anzuwenden, um so die Sensitivität und die Spezifität zu ermitteln.



**Abbildung 4.3.4.1:** Sensitivität und Spezifität des Sensibilitäts-Kältetest in Kombination mit der Perkussion

Bei der klinischen Diagnose ergaben sich ähnliche Werte für die Sensitivität und die Spezifität. Die Sensitivität betrug 0,92 und die Spezifität 0,86. Wohingegen die Werte sich bei der Pulpainspektion signifikant unterschieden. Es konnte ein wesentlich höherer Wert für die Sensitivität (0,91) als für die Spezifität (0,5) ermittelt werden.



**Abbildung 4.3.4.2:** 95%-Konfidenzintervalle des Sensibilitäts-Kältetests in Kombination mit der Perkussion

Wie auch schon bei den 95%-Konfidenzintervallen der Spezifität für die Perkussion, ist erkennbar, dass nur eine geringe Menge an Zähnen untersucht wurde, wodurch ein sehr großes Konfidenzintervall entstand. Für die klinische Diagnose betrug dieses 0,53-0,98 und für die Pulpainspektion 0,22-0,78. Die Intervalle für die Sensitivität betrugen für die klinische Diagnose 0,88-0,95 und für die Pulpainspektion 0,86-0,94.

## 4.4 Röntgen

Bei jedem Patienten wurde vor der Trepanation eine Röntgenaufnahme zur weiteren Diagnosesicherung nach Stellen der rechtfertigenden Indikation angefertigt. An diesem wurde dann zum einen eine mögliche Karies und zum anderen das Vorhandensein einer apikalen Läsion betrachtet. So konnten diese beiden Faktoren gegen die schon vorhandenen Diagnosen gestellt werden.

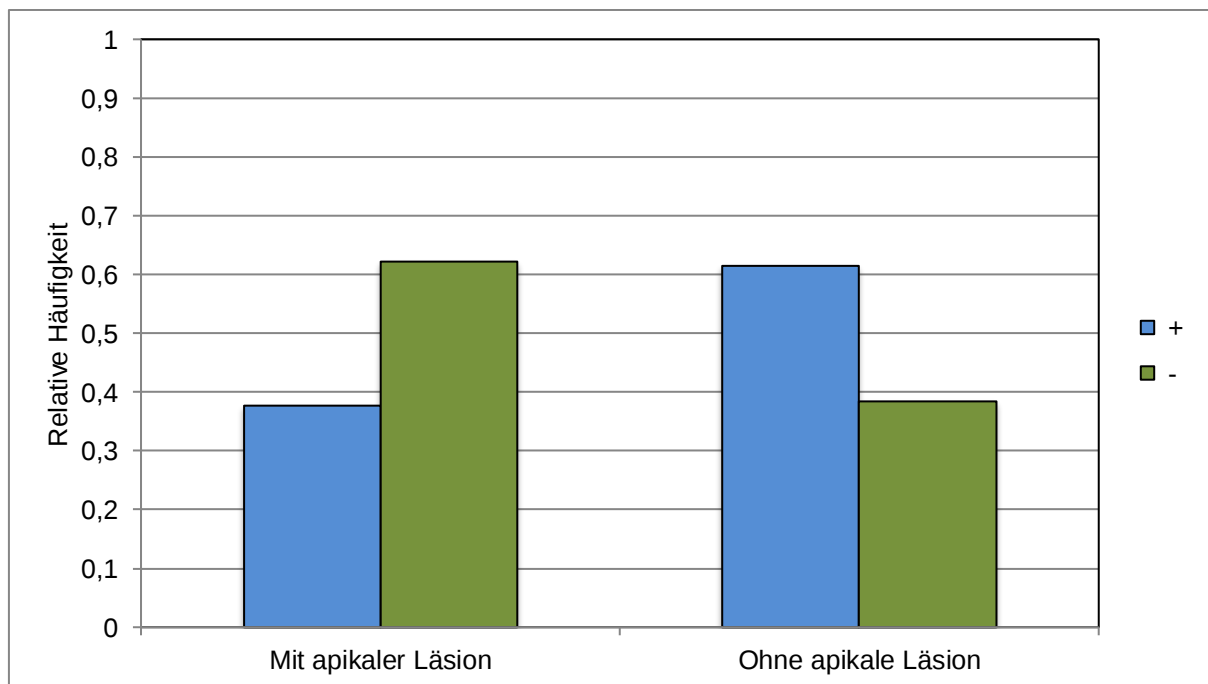
#### 4.4.1 Apikale Läsion

##### 4.4.1.1 Sensibilitäts-Kältetest

|                         |    | Apikale Läsion vorhanden? |      | Summe |
|-------------------------|----|---------------------------|------|-------|
|                         |    | Ja                        | Nein |       |
| Sensibilitäts-Kältetest | ++ | 29                        | 20   | 49    |
|                         | -  | 94                        | 25   | 119   |
|                         | +  | 28                        | 20   | 48    |
| Summe                   |    | 151                       | 65   | 216   |

**Tabelle 4.4.1.1:** Verhältnis Sensibilitäts-Kältetest zu Vorhandensein einer apikalen Läsion in absoluten Zahlen

In dieser Tabelle sind die Ergebnisse des Sensibilitäts-Kältetests gegenüber dem Vorhandensein einer apikalen Läsion in absoluten Zahlen dargestellt.



**Abbildung 4.4.1.1:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest zur apikalen Läsion (vereinfachte Darstellung)

In diesem Diagramm sind die Auswirkungen der apikalen Läsion in Bezug auf den Sensibilitäts-Kältetest dargestellt. Dabei wurde bei der Sensibilitätsprüfung lediglich

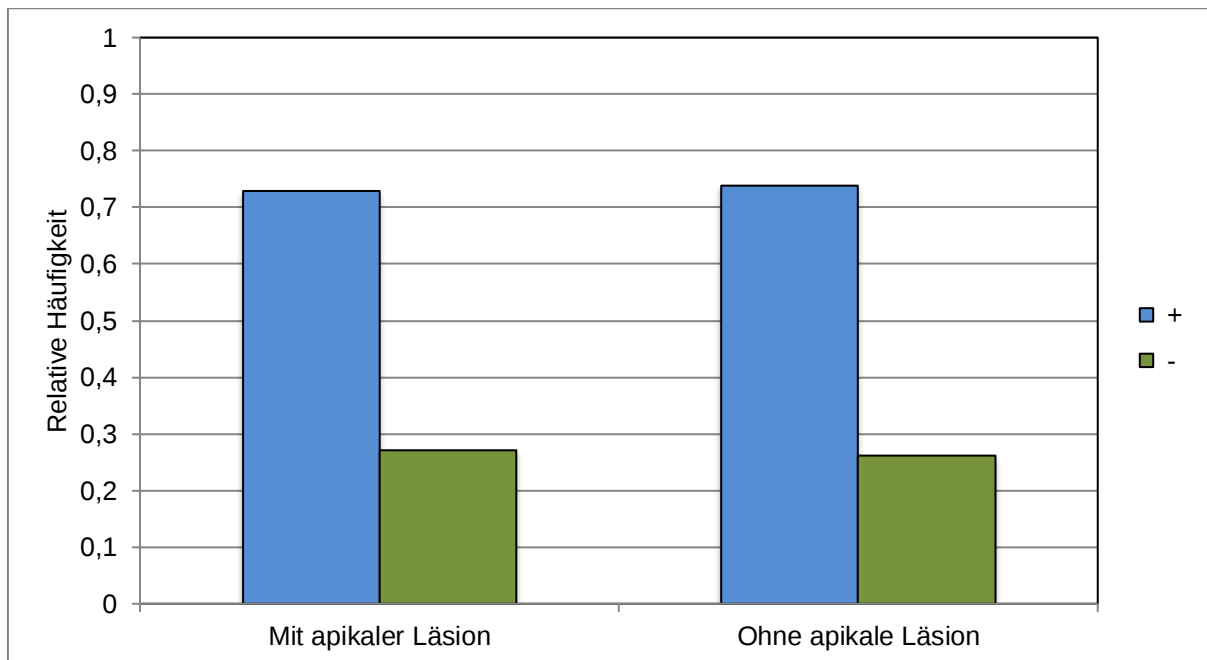
zwischen einem positiven und einem negativen Ergebnis unterschieden. Es kann beobachtet werden, dass bei Vorhandensein einer apikalen Läsion der Kältetest häufiger negativ (62,25%) als positiv (37,75%) ist. Im Gegensatz dazu konnte festgestellt werden, dass bei fehlender apikaler Läsion der Patient zu 61,54% eine positive Reaktion auf den Sensibilitätstest bewertete. Hingegen in 38,46% gab der Patient eine negative Reaktion an.

#### 4.4.1.2 Perkussion

|            |    | Apikale Läsion vorhanden? |      | Summe |
|------------|----|---------------------------|------|-------|
|            |    | Ja                        | Nein |       |
| Perkussion | ++ | 32                        | 14   | 46    |
|            | -  | 41                        | 17   | 58    |
|            | +  | 78                        | 34   | 112   |
| Summe      |    | 151                       | 65   | 216   |

**Tabelle 4.4.1.2:** Verhältnis Perkussion zu Vorhandensein einer apikalen Läsion in absoluten Zahlen

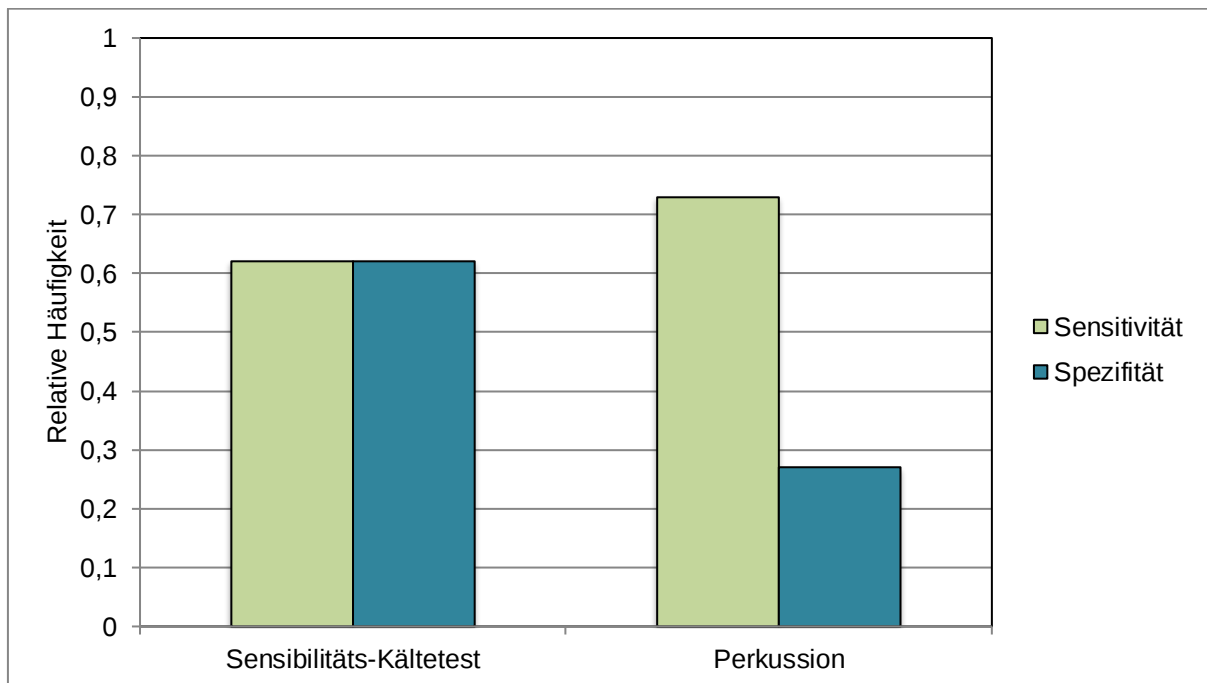
In dieser Tabelle sind die Reaktionen auf Perkussion gegen Vorhandensein einer apikalen Läsion in ganzen Zahlen dargestellt.



**Abbildung 4.4.1.2:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Perkussion zu apikaler Läsion (vereinfachte Darstellung)

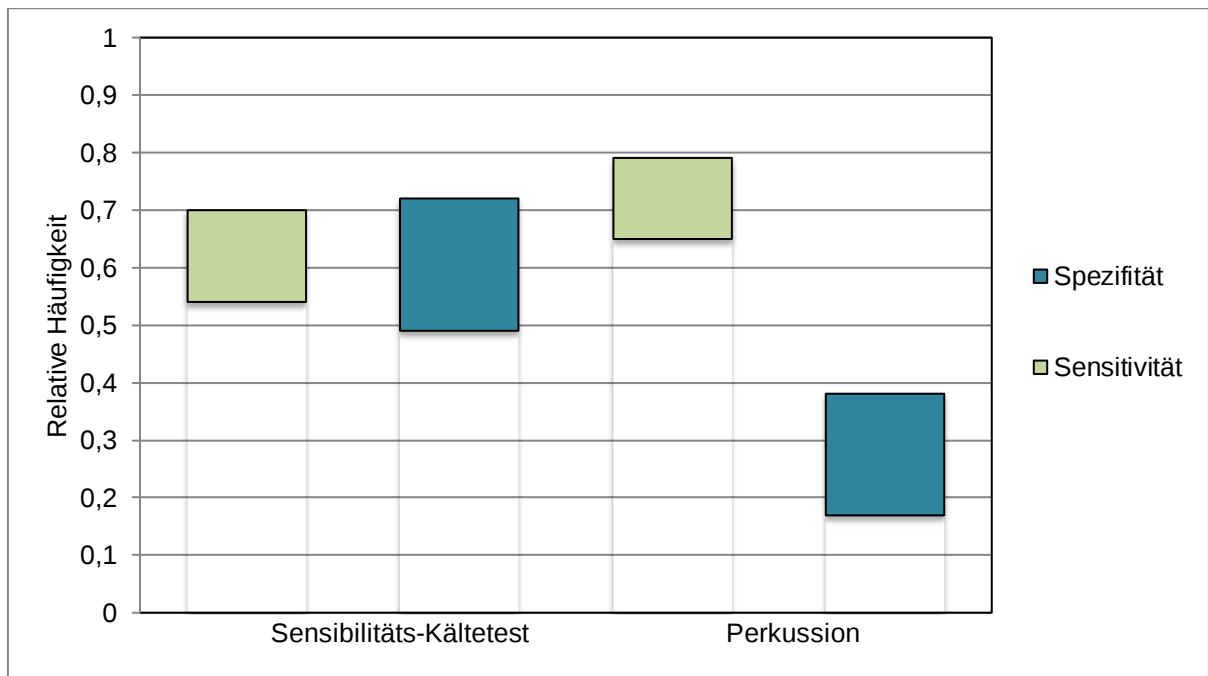
In diesem Diagramm sind wie auch schon bei dem Sensibilitäts-Kältetest, die Reaktionen der Patienten mit dem Vorhandensein einer apikalen Läsion verglichen. Auch hier wurde bei der Perkussion lediglich die Unterscheidung zwischen positiver und negativer Reaktion getätigt. In diesem Diagramm ist auffällig, dass egal ob eine apikale Läsion vorhanden war oder nicht, die Perkussion häufiger schmerzhaft, also positiv, wahrgenommen wurde. Bei Vorhandensein einer apikalen Läsion wurde die Perkussion in 72,85% als schmerzhaft und in 27,15% als nicht schmerzhaft wahrgenommen. Ähnliche Zahlen finden sich auch auf Röntgenaufnahmen ohne apikale Läsion: Die Patienten gaben in 73,85% eine schmerzhafte Wahrnehmung auf die Perkussion an und in 26,15% keine.

#### 4.4.1.3 Sensitivität / Spezifität



**Abbildung 4.4.1.3:** Auswirkungen der apikalen Läsion auf den Sensibilitäts-Kältetest und die Perkussion bezogen auf die Sensitivität und die Spezifität

In diesem Diagramm sind die Spezifität und die Sensitivität in Bezug auf die Kälte und die Perkussion bei Vorhandensein oder Nicht-Vorhandensein einer apikalen Läsion aufgeführt. Die Sensitivität (0,62) und die Spezifität (0,62) sind für die Kälte verhältnismäßig niedrig. Für die Perkussion findet sich eine sehr niedrige Spezifität von 0,26 wieder. Hingegen ist die Sensitivität mit 0,73 verhältnismäßig hoch.



**Abbildung 4.4.1.4:** Auswirkungen der apikalen Läsion auf den Sensibilitäts-Kältetest und die Perkussion bezogen auf die 95%-Konfidenzintervalle

In diesem Diagramm sind die 95%-Konfidenzintervalle in Bezug auf Kälte und Perkussion entweder bei Vorhandensein oder bei Nicht-Vorhandensein einer apikalen Läsion dargestellt. Die Konfidenzintervalle für die Sensibilitätstestung liegen hinsichtlich Spezifität bei 0,49-0,72 und Sensitivität bei 0,54-0,7. Bei der Perkussion sind die Konfidenzintervalle zu Sensitivität bei 0,65-0,79 und zu Spezifität bei 0,17-0,38.

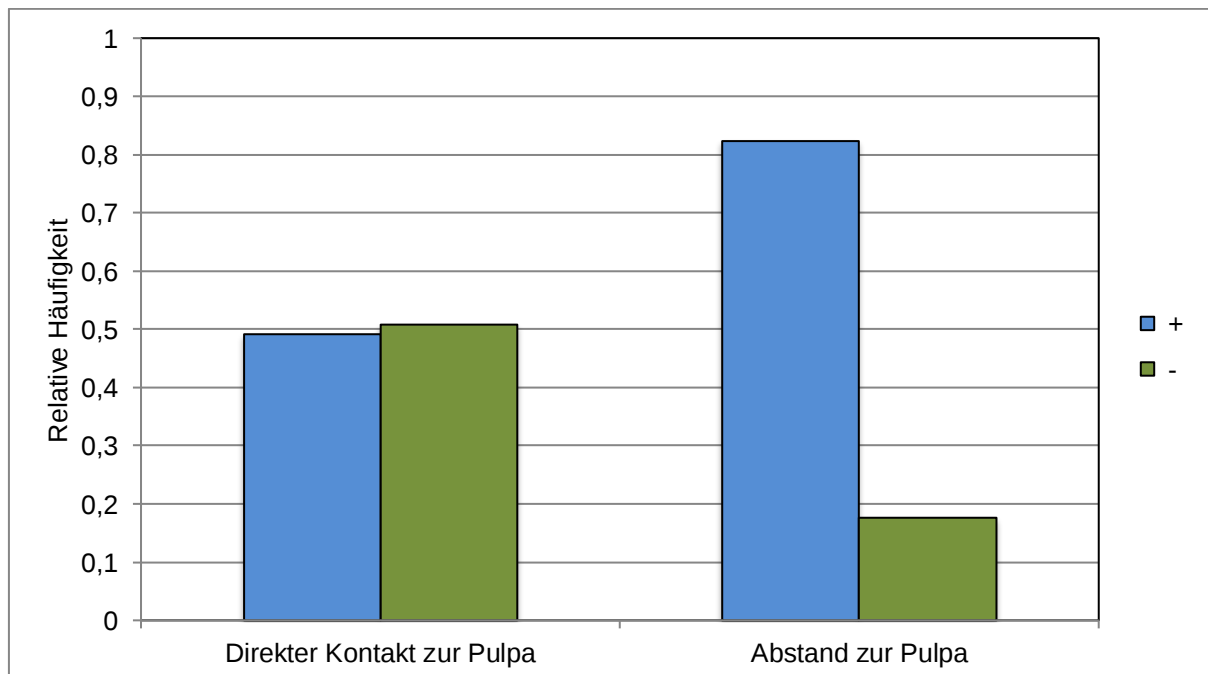
## 4.4.2 Karies

### 4.4.2.1 Sensibilitäts-Kältetest

|                                |    | Abstand Karies zu Pulpa |             | Summe     |
|--------------------------------|----|-------------------------|-------------|-----------|
|                                |    | Direkter Kontakt        | Mit Abstand |           |
| <b>Sensibilitäts-Kältetest</b> | ++ | 16                      | 6           | 22        |
|                                | -  | 33                      | 3           | 36        |
|                                | +  | 16                      | 8           | 24        |
| <b>Summe</b>                   |    | 65                      | 17          | <b>82</b> |

**Tabelle 4.4.2.1:** Verhältnis Sensibilitäts-Kältetest zu Kariestiefe in absoluten Zahlen

In dieser Tabelle sind alle kariösen Zähnen, die in Röntgenaufnahmen als solche diagnostiziert wurden, im Vergleich zum Sensibilitäts-Kältetest dargestellt. Da nicht alle untersuchten Zähne eine Karies aufwiesen, sind hier keine 216 Zähne zu finden, sondern lediglich 82. Es wurde nun unterschieden, ob ein direkter Kontakt der Karies zur Pulpa auf dem Zahnfilm zu erkennen war oder ob sich noch eine Dentinbrücke zwischen Karies und Zahnpulpa befand.



**Abbildung 4.4.2.1:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Sensibilitäts-Kältetest zur Kariestiefe

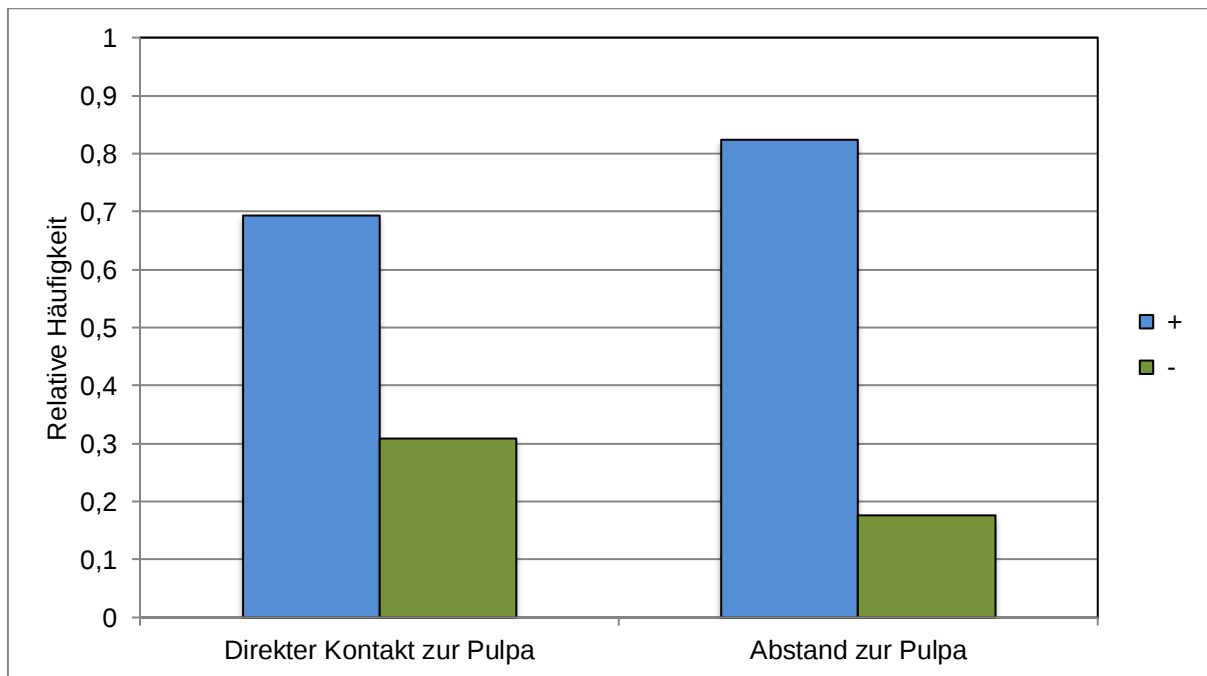
In diesem Diagramm sind nun der Sensibilitätstest gegenüber der vorhandenen Karies dargestellt, wobei beim Sensibilitätstest nur zwischen positivem und negativem Resultat unterschieden wurde. Bei einer Karies, welche direkten Kontakt zur Zahnpulpa aufwies, ist der Sensibilitäts-Kältetest in 49,23% positiv und in 50,77% negativ. Hieraus lässt sich schließen, dass bei direktem Kontakt keine Aussage über das Resultat des Sensibilitäts-Tests getroffen werden kann. Hingegen konnte bei vorhandener Dentinbrücke gezeigt werden, dass der Kältetest in 82,35% positiv und in 17,65% negativ war. Dies zeigt, dass bei noch vorhandenem Abstand zwischen Zahnpulpa und Karies die Sensibilität in einem großen Prozentsatz der Fälle vorhanden war.

#### 4.4.2.2 Perkussion

|            |    | Abstand Karies zu Pulpa |             | Summe |
|------------|----|-------------------------|-------------|-------|
|            |    | Direkter Kontakt        | Mit Abstand |       |
| Perkussion | ++ | 14                      | 3           | 17    |
|            | -  | 20                      | 3           | 23    |
|            | +  | 31                      | 11          | 42    |
| Summe      |    | 65                      | 17          | 82    |

**Tabelle 4.4.2.2:** Verhältnis Perkussion zu Kariestiefe in absoluten Zahlen

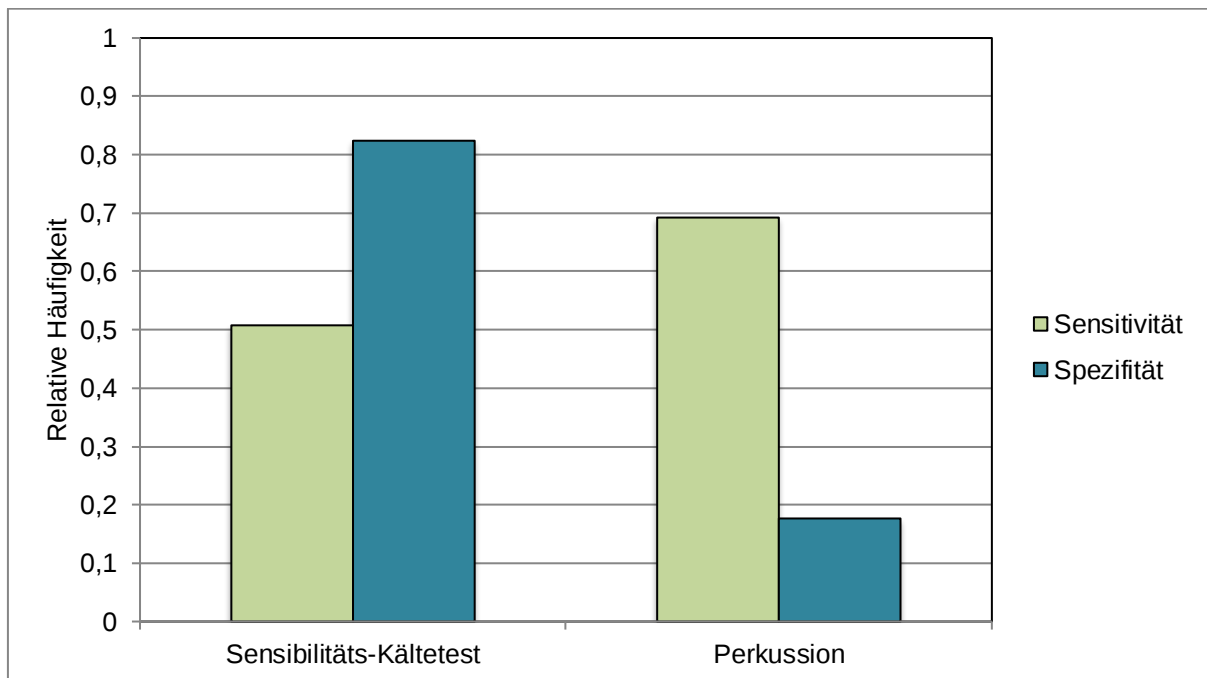
In dieser Tabelle sind alle Zähne dargestellt, die auf der Röntgenaufnahme als kariös im Vergleich zur Perkussion diagnostiziert wurden.



**Abbildung 4.4.2.2:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung Perkussion zur Kariestiefe

In diesem Diagramm finden sich die röntgenologisch kariösen Zähne bezogen auf die Perkussion wieder. Dabei wurde auch hier die Perkussion nur in positiv und negativ eingeteilt. Bei einem direkten Kontakt der Karies zur Zahnpulpa war die Perkussion in 69,23% positiv und in 30,77% negativ. Bei einer noch vorhandenen Dentinbrücke war die Perkussion in 82,25% positiv und in 17,65% negativ. Es lässt sich also sagen, dass sobald eine Karies am betroffenen Zahn vorhanden war, die Perkussion statistisch gesehen häufiger positiv als negativ war, unabhängig von der Nähe zur Zahnpulpa.

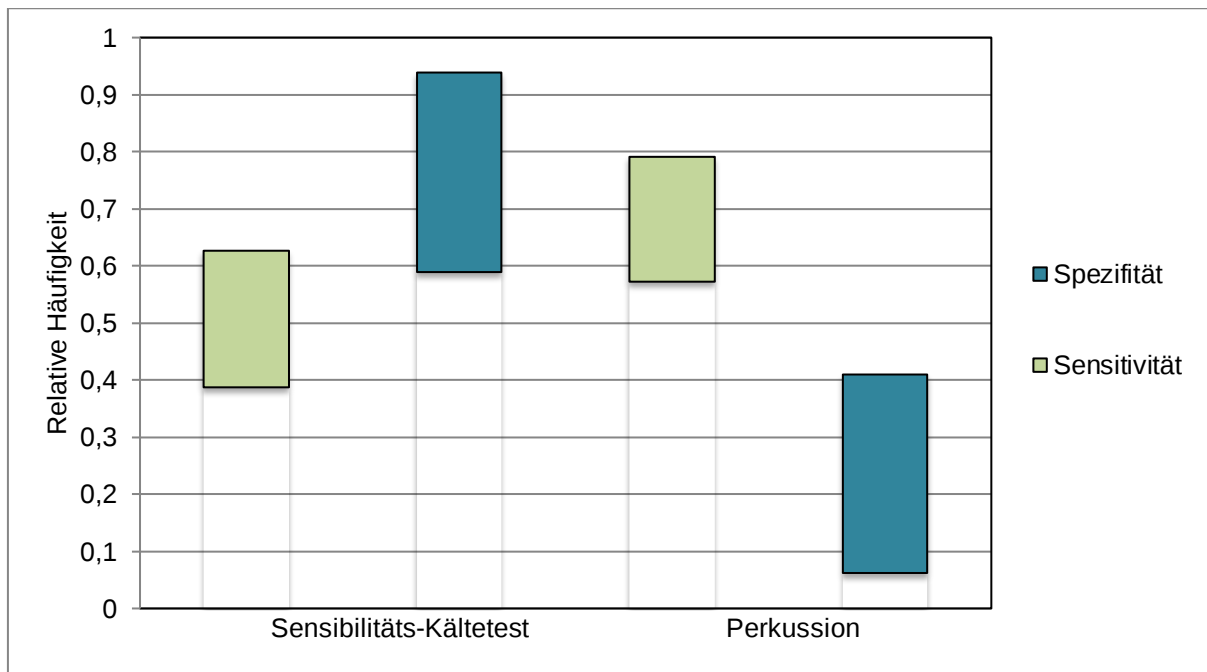
#### 4.4.3 Sensitivität / Spezifität



**Abbildung 4.4.3.1:** Auswirkungen der Kariestiefe auf den Sensibilitäts-Kältetest und die Perkussion bezogen auf die Sensitivität und die Spezifität

In diesem Diagramm sieht man Sensitivitäten und Spezifitäten sowohl für den Sensibilitäts-Kältetest als auch für die Perkussion abhängig von der Kariestiefe. Es wurde definiert, dass bei vorhandener Dentalbrücke zwischen Karies und Pulpa die Vitalität positiv und die Perkussion negativ sein sollte.

Hieraus ergibt sich, dass eine verhältnismäßig hohe Spezifität (0,82) für den Sensibilitäts-Kältetest vorlag. Die Sensitivität lag bei 0,51. Für die Perkussion ergaben sich eine verhältnismäßig niedrige Spezifität von 0,18 und eine Sensitivität von 0,69.



**Abbildung 4.4.3.2:** Auswirkungen der Kariestiefe auf den Sensibilitäts-Kältetest und die Perkussion bezogen auf die 95%-Konfidenzintervalle

Die 95%-Konfidenzintervalle des Sensibilitäts-Kältetests waren für die Sensitivität 0,39-0,63 und für die Spezifität 0,59- 0,94. Für die Perkussion ergaben sich bezogen auf die Sensitivität Konfidenzintervalle von 0,57-0,79 und für die Spezifität 0,06-0,41.

## 4.5 Pulpainspektion

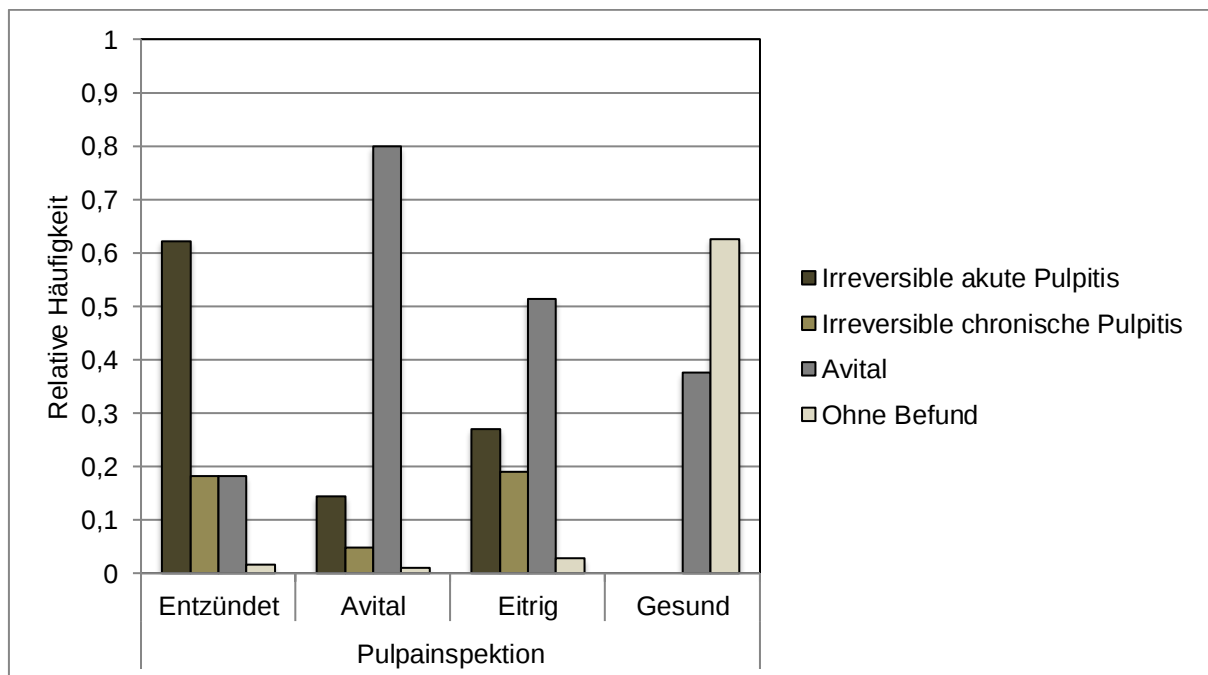
Wie zuvor erwähnt kann die Pulpainspektion als Goldstandard bewertet werden. Aus diesem Grund sind hier sowohl die klinische als auch die finale Diagnose gegen die Pulpainspektion ausgewertet.

#### 4.5.1 Klinische Diagnose

|                           |                                  | Pulpainspektion |        |        |        | Summe      |
|---------------------------|----------------------------------|-----------------|--------|--------|--------|------------|
|                           |                                  | Entzündet       | Avital | Eitrig | Gesund |            |
| <b>Klinische Diagnose</b> | Irreversible akute Pulpitis      | 41              | 15     | 10     | 0      | 66         |
|                           | Irreversible chronische Pulpitis | 12              | 5      | 7      | 0      | 24         |
|                           | Avital                           | 12              | 84     | 19     | 3      | 118        |
|                           | Ohne Befund                      | 1               | 1      | 1      | 5      | 8          |
| <b>Summe</b>              |                                  | 66              | 105    | 37     | 8      | <b>216</b> |

**Tabelle 4.5.1.1:** Verhältnis klinische Diagnose zu Pulpainspektion in absoluten Zahlen

In dieser Tabelle ist die klinische Diagnose in Bezug auf die Pulpainspektion in ganzen Zahlen dargestellt.



**Abbildung 4.5.1.1:** Häufigkeitsverhältnis der Beziehung klinische Diagnose zu Pulpainspektion

Wie in diesem Diagramm zu erkennen ist, stimmt in vielen Fällen die klinische Diagnose mit der Pulpainspektion überein. So war beispielsweise bei einer entzündeten Pulpa in 62,12% der Fälle zuvor eine irreversible akute Pulpitis diagnostiziert worden. In jeweils 18,18% wurde entweder eine irreversible chronische

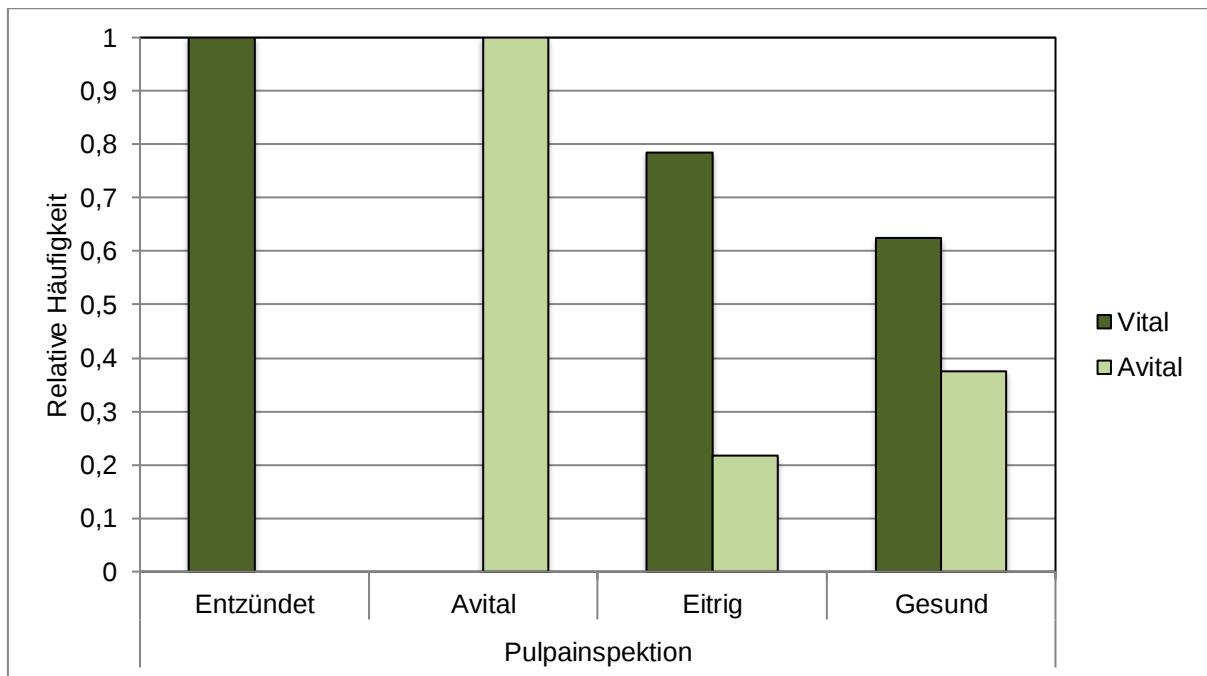
Pulpitis oder ein avitaler Zahn und nur in 1,52% wurde der Zahn als gesund diagnostiziert. In noch stärkerem Ausmaß lässt sich dieser Zusammenhang bei den avitalen Pulpen erkennen. So wurde in 80% zuvor schon eine Devitalität des Zahnes erkannt, wohingegen bei 14,29% eine irreversibel akute und bei 4,76% eine irreversibel chronische Pulpitis festgestellt wurde. In gerade einmal 0,95% wurde die Diagnose gesund gestellt. Auch bei den eitrigen Pulpainspektionen lässt sich in Bezug auf die klinische Diagnose eine Tendenz erkennen. So wurde in 51,35% der Zahn zuvor als avital beschrieben, in 27,03% als irreversibel akute Pulpitis, in 18,92% als irreversibel chronische Pulpitis und in 2,7% als gesund. Die Pulpen, die bei der Pulpainspektion als gesund deklariert wurden, konnten in 62,5% auch bei der klinischen Diagnose als solche erkannt werden. In 37,5% wurden die gesunden Pulpen in der klinischen Diagnose als avital diagnostiziert.

#### 4.5.2 Finale Diagnose

|                 |        | Pulpainspektion |        |        |        | Summe      |
|-----------------|--------|-----------------|--------|--------|--------|------------|
|                 |        | Entzündet       | Avital | Eitrig | Gesund |            |
| Finale Diagnose | Vital  | 66              | 0      | 29     | 5      | 100        |
|                 | Avital | 0               | 105    | 8      | 3      | 116        |
| <b>Summe</b>    |        | 66              | 105    | 37     | 8      | <b>216</b> |

**Tabelle 4.5.2.1:** Verhältnis finale Diagnose zu Pulpainspektion in absoluten Zahlen

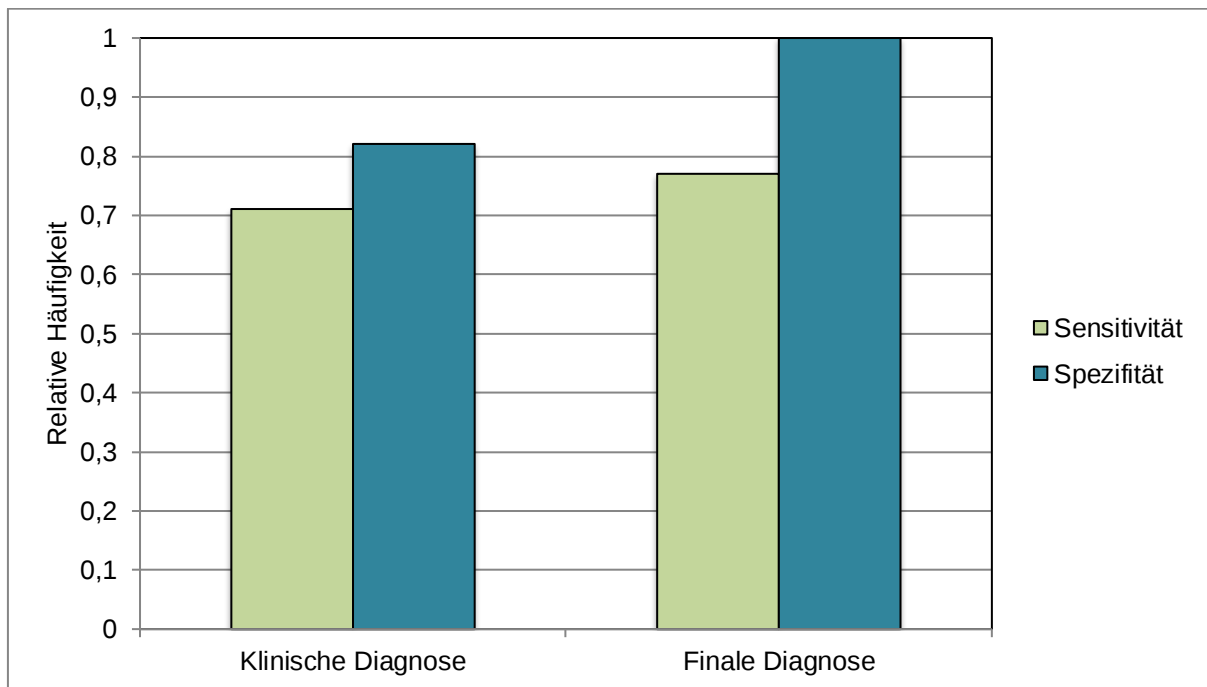
Diese Tabelle zeigt die Pulpainspektion, die der finalen Diagnose gegenübergestellt wird.



**Abbildung 4.5.2.1:** Häufigkeitsverteilung der Beziehung finaler Diagnose zur Pulpainspektion

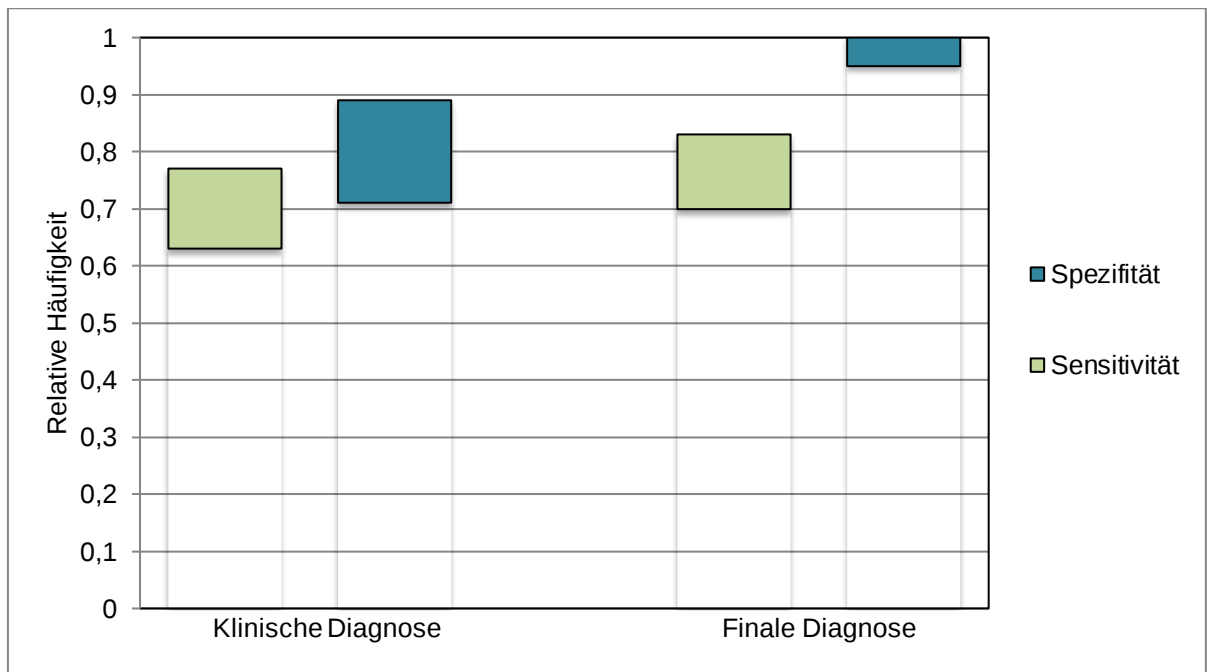
Dieses Diagramm zeigt die finale Diagnose in Bezug auf die Pulpainspektion. Hierbei sind sehr eindrückliche Ergebnisse abzulesen. So fand sich jeweils eine vollkommene Übereinstimmung bei einer vitalen finalen Diagnose und einer entzündeten Pulpa und bei einer avitalen finalen Diagnose und einer avitalen Pulpainspektion. Bei einer eitrigen Pulpainspektion zeigte sich in 78,38% eine vitale und in 21,62% eine avitale finale Diagnose. Gleiches gilt für Zähne, bei denen eine Pulpainspektion mit ‚gesund‘ diagnostiziert wurde. Hier war der Anteil an vitalen Zähnen mit 62,5% ebenfalls höher als an avitalen mit 37,5%.

### 4.5.3 Sensitivität / Spezifität



**Abbildung 4.5.3.1:** Sensitivität und Spezifität der Pulpainspektion

Auch hier konnten im nächsten Schritt die Sensitivitäten und Spezifitäten ermittelt werden. Für die klinische Diagnose ergaben sich in Bezug auf die Pulpainspektion eine Sensitivität von 0,71 und eine Spezifität von 0,82. Für die finale Diagnose wurden sogar noch höhere Resultate erzielt: eine Sensitivität von 0,77 und eine Spezifität von 1.



**Abbildung 4.5.3.2:** 95%-Konfidenzintervall der Pulpainspektion

Die 95%-Konfidenzintervalle für die Pulpainspektion ergaben bei der klinischen Diagnose 0,63-0,77 für Sensitivität und 0,71-0,89 für Spezifität. Folglich waren auch hier die Resultate für die finale Diagnose höher: das 95%-Konfidenzintervall für die Sensitivität betrug hier 0,7-0,83 und für die Spezifität 0,95-1.

## 5 Diskussion

Ziel dieser Studie war es, die Zuverlässigkeit des Sensibilitäts-Kältetests in Bezug auf irreversible akute beziehungsweise chronische Pulpitiden zu ermitteln.

Gleichzeitig konnten im Rahmen dieser Studie noch weitere diagnostische Verfahren wie beispielsweise die Perkussion und die Röntgendiagnostik untersucht und deren Effektivität betrachtet werden.

Bei der ausführlichen Eingangsdiagnostik wurden mehrere Parameter, die in der Literatur als sinnvoll beschrieben sind, untersucht. So ist nicht nur die Erhebung der Schmerzintensität (46), sondern auch die Bestimmung des Lockerungsgrades und die Erhebung eines gingivalen und parodontalen Status (48) als wichtig anzusehen. Als Kältemedium für den Sensibilitäts-Kältetest wurde im Rahmen dieser Studie ein Butan-Propan-Isobutan-Minzöl-Gemisch verwendet. Durch die einfache und reproduzierbare standardisierte Handhabung ist dieses Medium am praktikabelsten für den zahnärztlichen Alltag (63). Aufgrund der häufigen Anwendung dieses Mediums in der zahnärztlichen Praxis wurde auf einen Test mithilfe eines anderen Mediums verzichtet. Als weiteres diagnostisches Testverfahren wurde die Perkussion, die zur vollständigen Diagnostik erheblich ist (77), eingesetzt. Zuletzt konnte noch mittels Röntgendiagnostik als standardisiertes Diagnoseverfahren (98) ein umfassendes Bild der vorhandenen pulpalen Erkrankung geschaffen werden. Die Durchführung der Eingangsdiagnostik, die Sensibilitäts-Kältetest, Perkussion und Röntgendiagnostik beinhaltete, wurde von mehreren Behandlern durchgeführt. Auch die Trepanation und die direkte visuelle Inspektion wurde von mehreren Behandlern durchgeführt. Alle an der Studie beteiligten Behandler wurden kalibriert. Intra- und Inter-Reliabilität werden in einer weiteren Veröffentlichung bearbeitet und diskutiert.

Weisleder et al. (111) verwendeten in ihrer Studie 150 Zähne. Anders als in der vorliegenden Studie konnten keine Patienten mit Restaurationen an dem betreffenden Zahn, obliterierte Kanäle, kürzliche Traumata oder moderate bis starke Schmerzen hatten, teilnehmen. Als Kältemedium zur Anwendung des Sensibilitäts-Kältetests wurde zum einen Tetrafluorethan, zum anderen Kohlendioxidschnee verwendet. Durch die Verwendung mehrerer Kältemedien konnten Weisleder et al. bereits innerhalb ihrer Studie Vergleiche ziehen und darstellen, welches Kältemedium effektiver ist. Obwohl Weisleder et al. die Sensitivität und die Spezifität

anders deklariert haben, können die beiden Werte doch mit den Spezifitäten und Sensitivitäten dieser Studie verglichen werden. Weisleder et al. definierte die Sensitivität als vital diagnostizierte Zähne unter allen vitalen Zähnen. Dies bestätigt die Definition zu Spezifität der aktuellen Studie. Sowohl für Tetrafluorethan als auch für Kohlendäureschnee liegt der Wert für die als vital erkannten Zähne 7% unter dem Wert der vorliegenden Studie. Für die als nekrotisch erkannten Zähne liegt der Wert für Tetrafluorethan 22% und für Kohlendäureschnee 19% höher. Eine mögliche Erklärung ist, dass bei Weisleder et al. keine Patienten mit Schmerzsymptomatik teilnehmen durften. Dies hat zur Folge, dass viele Zähne, die pulpitisches sind, und somit bei Trepanation Blut zu sehen ist, nicht untersucht wurden. Der Wert für die als vital erkannten Zähne ist somit geringer. Zusätzlich haben Weisleder et al. noch eine elektrische Pulpamessung durchgeführt, was als zusätzliche positive Bestätigung in zukünftigen Studien berücksichtigt werden könnte. Die Sensitivität und Spezifität war jeweils höher als bei der Durchführung des Sensibilitäts-Kältetests.

Eine weitere Studie wurde von Jespersen et al. (112) durchgeführt. Hier wurde eine große Anzahl von 656 Zähnen untersucht. Auch für Jespersen et al. waren kürzlich ereignete Traumata, obliterierte Wurzelkanäle oder bereits begonnene Wurzelkanalbehandlungen ein Ausschlusskriterium. Gleich wie Weisleder et al. (111) verwendeten auch Jespersen et al. Tetrafluorethan. Als Medium zur zusätzlichen Sensibilitäts-Testung wurde auch hier eine elektronische Pulpamessung angewendet. Sowohl die Sensitivität als auch die Spezifität sind statistisch signifikant höher als in unserer Studie. Es wurden also mehr Zähne als gesund beziehungsweise vital und als nekrotisch beziehungsweise avital erkannt als in der vorliegenden Studie. Die elektrische Pulpamessung ergab ähnliche Ergebnisse für Sensitivität und Spezifität wie bei der Durchführung des Sensibilitäts-Kältetests mittels Butan-Propan-Isobutan-Gemisch. Durch die große Anzahl an untersuchten Zähnen kann dieser Studie eine große Aussagekraft zugesprochen werden.

Salgar et al. (113) untersuchten insgesamt 330 Zähne. Sie verwendeten als Kältemedium ein Butanspray. Um eine noch größere Aussagekraft für die verschiedenen Kältemedien zu erlangen, wurde der Sensibilitäts-Kältetest zusätzlich noch mit einem Eiskegel durchgeführt. Wie auch schon bei Weisleder et al. (111) und Jespersen et al. (112) wurde zusätzlich eine Sensibilitäts-Testung mit einem elektrischen Pulpamesser durchgeführt. Bei der Verwendung des Butansprays

konnten Salgar et al. zeigen, dass sowohl die Sensitivität als auch die Spezifität höher waren als bei der Verwendung mit einem Eiskegel. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass Butansprays eine Kälte von bis zu  $-45^{\circ}\text{C}$ , wohingegen Eiskegel lediglich eine Kälte von bis zu  $-20^{\circ}\text{C}$  erreichen.

Diese Studie von Salgar et al. lässt sich sehr gut mit der von uns durchgeführten Studie vergleichen, da sie ebenfalls ein Butanspray verwendeten. Es ist interessant, dass im Vergleich zu unserer Studie die Sensitivität und Spezifität signifikant höher ist. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass bei der Studie von Salgar et al. keine Zähne aufgenommen wurden, die künstliche Zahnkronen, große Restaurationen, kürzliche Traumata oder obliterierte Wurzelkanäle aufwiesen. Für die aktuelle Studie gab es diese Ausschlusskriterien nicht. Es kann vermutet werden, dass hierdurch vermehrt falsch-positive und falsch-negative Antworten auf den Sensibilitäts-Kältetest gegeben wurden, da Restaurationen die Kälte nur eingeschränkt zum Nerv weiterleiten und Nerven in obliterierten Kanälen die Kälte nur erschwert wahrnehmen können aufgrund des Umbildungsprozesses der Zahnpulpa. Diese Erklärung sollte auch für die Studien von Jespersen et al. (114) und Weisleder et al. (111) diskutiert werden. Bei Weisleder et al. wurden jedoch alle Patienten aus der Studie ausgeschlossen, die eine Schmerzsymptomatik aufwiesen. Aus diesem Grund wurden weniger Zähne in die Spezifität eingeschlossen (als vital erkannt unter allen vitalen Zähnen) und die Spezifität war geringer als in dieser Studie.

Auch die elektrische Pulpamessung erreichte eine höhere Sensitivität und Spezifität. Als abschließendes Fazit erkannten Salgar et al., dass die Anwendung von Butansprays und Eiskegeln effizienter und genauer seien als die Durchführung des Sensibilitäts-Kältetests mittels elektrischer Pulpamessung, wobei die Messung mittels Butanspray die höchste Sensitivität und Spezifität ergab.

Als letzte zu vergleichende Studie wird im Rahmen dieser Diskussion die Studie von Pigg et al. (114) angeführt. Sie untersuchten 708 Zähne, die anschließend trepaniert wurden. Die Durchführung der Studie erfolgte als multizentrische klinische Studie von 62 Zahnärzten aus fünf verschiedenen Regionen (Alabama/Mississippi, Florida/Georgia, Minnesota, Oregon/Washington und Dänemark/Schweden). Hierdurch wurde keine einheitliche Handhabung in Bezug auf das Kältemedium und

die Durchführung des Sensibilitäts-Kältetests festgelegt. Die leider fehlende Standardisierung erschwert die Interpretation der Daten.

Wie auch schon bei den zuvor genannten Studien überschreiten die Werte der Sensitivität und der Spezifität die Werte, die bei Sensibilitäts-Kältemessung in dieser Studie resultierten. Die Spezifität lag 6% und die Sensitivität 10% über den Werten der vorliegenden Studie. Dies zeigt, dass beide Werte nicht signifikant erhöht sind wie beispielsweise bei Salgar et al. (113). Als Erklärung kann hier die Verwendung verschiedener Kältemedien und die Durchführung des Sensibilitäts-Kältetests durch verschiedene Behandler angesehen werden.

Im Rahmen dieser Studie wurde jedoch nicht nur eine Sensibilitäts-Kältetestung vorgenommen, sondern zusätzlich eine Versuchsreihe mit dem Parameter der Perkussion durchgeführt. Die Sensitivität der Perkussion war bei Pigg et al. signifikant niedriger als in dieser Studie, wohingegen die Spezifität deutlich erhöht war. Wie auch hier wurde bei der Perkussion festgestellt, ob der Patient eine schmerzhafte Empfindung auf das Klopfen verspürt oder nicht.

In einem weiteren Schritt haben auch Pigg et al. versucht, beide Parameter – den Sensibilitäts-Kältetest und die Perkussion – zu vereinen. Dabei ergaben sich in etwa die gleichen Sensitivitäten und Spezifitäten wie auch in dieser Studie und bestätigen die Ergebnisse. Das bedeutet, dass die Sensitivität signifikant erhöht und die Spezifität signifikant erniedrigt wurde. Für Pigg et al. ist es jedoch nicht als sinnvoll anzuerkennen, diese Tests in ihren Werten der Sensitivität und Spezifität zu vereinen, da keine Verbesserung der Vorhersage über den Pulpastatus erreicht werden kann.

Allen Studien gemein ist die direkte visuelle Inspektion der Pulpa als Goldstandard der diagnostischen Verfahren zur Pulpadiagnostik. Im Falle eines Blutflusses nach Trepanation wurde die Pulpa als vital deklariert. Bei Ausbleiben einer Blutung nach Trepanation wurde die Pulpa als avital bzw. nekrotisch deklariert.

Vergleicht man nun insgesamt die zuvor beschriebenen Studien mit der vorliegenden Studie, so lassen sich folgende Punkte feststellen:

- Bei jeder Vergleichsstudie wurden prozentual mehr Zähne als avital beziehungsweise nekrotisch erkannt.

- Außer die Studie von Weisleder et al. (111) konnten alle anderen Studien häufiger die als vital diagnostizierten Zähne unter allen vitalen Zähnen erkennen.

Es liegt weiterer Forschungsbedarf auf diesem Gebiet vor. Weiterführende Studien könnten folgende Punkte beinhalten:

Während der Eingangsdiagnostik wurden weitere Parameter wie das Geschlecht und Alter des Patienten, die Schmerzintensität, der Lockerungsgrad, ein gingivaler und parodontaler Status und der Zahnstatus mit vorliegenden Restaurationen erhoben. Diese Parameter sind in die Auswertung der Ergebnisse nicht mehr mit eingeflossen. Im Rahmen einer weiterführenden Studie könnten diese Parameter berücksichtigt werden.

Bereits wurzelgefüllte Zähne könnten untersucht werden und in die Effektivität des Sensibilitäts-Kältetests mit einfließen.

Durch mögliche falsch-positive und falsch-negative Ergebnisse des Sensibilitäts-Kältetests wäre es sinnvoll die zu trepanierenden Zähne zu unterscheiden. So kann bei mehrwurzligen Zähnen nur in einer Wurzel eine Entzündung und somit eine Überreaktion auf den Sensibilitäts-Kältetest vorliegen. Dies hat allerdings nicht zur Folge, dass der Sensibilitäts-Kältetest versagt hat. Aus diesem Grund wäre es sinnvoll eine Studie mit rein einwurzligen Zähnen durchzuführen.

### **Schlußfolgerungen:**

- Höhere Spezifität als Sensitivität bei alleinigem Sensibilitäts-Kältetest
- Höhere Sensitivität als Spezifität bei Kombination Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion
- Perkussion nur in Kombination mit Sensibilitäts-Kältetest sinnvoll
- Vorhandensein von apikalen Läsionen oder Karies hat Auswirkungen auf Sensibilitäts-Kältetest und Perkussion
- Effektivitätsbeweis der Kombination von Sensibilitäts-Kältetest, Perkussion und Röntgendiagnostik durch Sensitivität (0,71) und Spezifität (0,82) der klinische Diagnose

## 6 Zusammenfassung

**Einleitung:** Ziel dieser Dissertationsschrift war es, die Zuverlässigkeit des Sensibilitäts-Kältetest bei der Diagnose pulpaler Erkrankungen festzustellen. Zudem sollten weitere diagnostische Hilfsmittel, die im klinischen Alltag von Bedeutung sind, untersucht und hinsichtlich ihrer Effektivität überprüft werden.

**Material und Methoden:** 216 Zähne wurden im Rahmen dieser klinischen Studie durch eine klinische und röntgenologische Untersuchung begutachtet. Durch die anschließende Trepanation der jeweiligen Zähne konnte die als Goldstandard definierte direkte visuelle Inspektion verwendet werden. Aufgrund der nun vorliegenden Datenlage wurden die Sensitivitäten, Spezifitäten und die jeweiligen 95%-Konfidenzintervalle bezüglich des Sensibilitäts-Kältetests, der Perkussion und der Röntgendiagnostik erhoben.

**Ergebnisse:** Für den Sensibilitäts-Kältetest beträgt die Sensitivität 0,7 (95%-Konfidenzintervall: 0,62-0,77) und die Spezifität 0,83 (95%-Konfidenzintervall: 0,72-0,91). In Kombination mit der Perkussion ergibt sich eine Sensitivität von 0,91 (95%-Konfidenzintervall: 0,86-0,94) und eine Spezifität von 0,5 (95%-Konfidenzintervall: 0,22-0,78).

**Schlussfolgerung:** Der Sensibilitäts-Kältetest hat in alleiniger Ausführung eine höhere Spezifität als Sensitivität, jedoch liegt bei Durchführung des Sensibilitäts-Kältetests in Kombination mit der Perkussion eine deutliche höhere Sensitivität als Spezifität vor. Die Perkussion allein stellt kein ausreichendes diagnostisches Verfahren im Bezug auf pulpale Erkrankungen dar und sollte stets in Kombination mit anderen Testverfahren angewendet werden. Die Röntgendiagnostik ist ein weiteres sehr hilfreiches Medium zur Feststellung pulpaler Erkrankungen, wobei sowohl die apikale Läsion als auch die Tiefe der kariösen Läsion Auswirkungen auf den Sensibilitäts-Kältetest und die Perkussion haben. Die Kombination von allen drei diagnostischen Hilfsmitteln – Sensibilitäts-Kältetest, Perkussion, Röntgen – stellt ein gutes diagnostisches Verfahren zur Erkennung pulpaler Erkrankungen dar. Besonders die klinischen Diagnosen einer irreversiblen Pulpitis und einer avitalen Pulpa konnten mit Hilfe der direkten visuellen Inspektion bestätigt werden. Es ist

erkennbar, dass die diagnostischen Hilfsmittel zur Erlangung einer klinischen Diagnose in vielen Punkten effizient sind.

## 7 Literaturverzeichnis

1. Chen E, Abbott PV. Dental pulp testing: A review. *International Journal of Dentistry*. (2009). 2009(2):365785–12.
2. Roy E, Alliot-Licht B, Dajean-Trutaud S, Fraysse C, Jean AJ, Armengol V. Evaluation of the ability of laser doppler flowmetry for the assessment of pulp vitality in general dental practice. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. (2008). 106(4):615–20.
3. Pierce A. Pulpal injury: pathology, diagnosis and periodontal reactions. *Australian Endodontic Journal*. (1998). 24(2):60–5.
4. Karayilmaz H, Kirzioglu Z. Comparison of the reliability of laser doppler flowmetry, pulse oximetry and electric pulp tester in assessing the pulp vitality of human teeth. *Journal of Oral Rehabilitation*. (2010). 38(5):340–7.
5. Wolf TG, Kim P, Campus G, Stiebritz M, Siegrist M, Briseño-Marroquín B. 3-Dimensional analysis and systematic review of root canal morphology and physiological foramen geometry of 109 mandibular first premolars by micro-computed tomography in a mixed swiss-german population. *Journal of Endodontics*. (2020). 46(6):801-809.
6. Wolf TG, Kozaczek C, Siegrist M, Betthäuser M, Paqué F, Briseño-Marroquín B. An ex vivo study of root canal system configuration and morphology of 115 maxillary first premolars. *Journal of Endodontics*. (2020). 46(6):794-800.
7. Wolf TG, Wentaschek S, Wierichs RJ, Briseño-Marroquín B. Interradicular root canals in mandibular first molars: A literature review and ex vivo study. *Journal of Endodontics*. (2019). 45(2):129–35.
8. Wolf TG, Paqué F, Zeller M, Willershausen B, Briseño-Marroquín B. Root canal morphology and configuration of 118 mandibular first molars by means of micro-computed tomography: An ex vivo study. *Journal of Endodontics*. (2016). 42(4):610–4.
9. Caviedes-Bucheli J, Muñoz HR, Azuero-Holuín MM, Ulate E. Neuropeptides

- in dental pulp: The silent protagonists. *Journal of Endodontics*. (2008). 34(7):773–88.
10. Couve E, Schmachtenberg O. Autophagic activity and aging in human odontoblasts. *International & American Associations for Dental Research*. (2011). 90(4):523–8.
  11. Lilja J. Sensory differences between crown and root dentin in human teeth. *Acta Odontologica Scandinavica*. (1980). 38(5):285–91.
  12. Byers MR, Dong WK. Autoradiographic location of sensory nerve endings in dentin of monkey teeth. *The Anatomical Record*. John Wiley & Sons, Ltd. (1983). 205(4):441–54.
  13. Zhang JQ, Nagata K, Iijima T. Scanning electron microscopy and immunohistochemical observations of the vascular nerve plexuses in the dental pulp of rat incisor. *The Anatomical Record*. (1998). 251(2):214–20.
  14. Luthman J, Luthman D, Hökfelt T. Occurrence and distribution of different neurochemical markers in the human dental pulp. *Archives of Oral Biology*. (1992). 37(3):193–208.
  15. Nanci A. Ten Cate's oral histology development, structure, and function, 8/e. Elsevier India, 8. Auflage. (2012). 14:328-333.
  16. Schulte E, Schumacher U, Schünke M, Voll M, Wesker K. Prometheus Kopf, Hals und Neuroanatomie. Georg Thieme Verlag, 5. Auflage. (2018). 4.14:120-123.
  17. Wakisaka S, Akai M. Immunohistochemical observation on neuropeptides around the blood vessel in feline dental pulp. *Journal of Endodontics*. (1989) 15(9):413–6.
  18. Hargreaves KM, Swift JQ, Roszkowski MT, Bowles W, Garry MG, Jackson DL. Pharmacology of peripheral neuropeptide and inflammatory mediator release. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. (1994). 78(4):503–10.
  19. Lundy FT, Linden GJ. Neuropeptides and neurogenic mechanisms in oral and periodontal inflammation. *Critical reviews in oral biology and medicine*.

- (2004). 15(2):82–98.
20. Olgart L. Neural control of pulpal blood flow. Critical review in oral biology and medicine. (1996). 7(2):159–71.
  21. Richardson JD, Vasko MR. Cellular mechanisms of neurogenic inflammation. The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics. (2002). 302(3):839–45.
  22. Grutzner EH, Garry MG, Hargreaves KM. Effect of injury on pulpal levels of immunoreactive substance P and immunoreactive calcitonin gene-related peptide. Journal of Endodontics. (1992). 18(11):553–7.
  23. Caviedes-Bucheli J, Gutierrez-Guerra JE, Salazar F, Pichardo D, Moreno GC, Munoz HR. Substance P receptor expression in healthy and inflamed human pulp tissue. International Endodontic Journal. John Wiley & Sons, Ltd (10.1111). (2007). 40(2):106–11.
  24. Caviedes-Bucheli J, Lombana N, Azuero-Holguin MM, Munoz HR. Quantification of neuropeptides (calcitonin gene-related peptide, substance P, neurokinin A, neuropeptide Y and vasoactive intestinal polypeptide) expressed in healthy and inflamed human dental pulp. International Endodontic Journal. John Wiley & Sons, Ltd (10.1111). (2006). 39(5):394–400.
  25. Bowles WR, Withrow JC, Lepinski AM, Hargreaves KM. Tissue levels of immunoreactive substance P are increased in patients with irreversible pulpitis. Journal of Endodontics. (2003). 29(4):265–7.
  26. Caviedes-Bucheli J, Correa-Ortíz JA, García LV, López-Torres R, Lombana N, Muñoz HR. The effect of cavity preparation on substance P expression in human dental pulp. Journal of Endodontics. (2005). 31(12):857–9.
  27. Wakisaka S, Ichikawa H, Nishimoto T, Matsuo S, Yamamoto K, Nakata T, Akai M. Substance P-like immunoreactivity in the pulp-dentine zone of human molar teeth demonstrated by indirect immunofluorescence. Archives of Oral Biology. (1984). 29(1):73–5.
  28. Trantor IR, Messer HH, Birner R. The effects of neuropeptides (calcitonin

- gene-related peptide and substance P) on cultured human pulp cells. *Journal of Dental Research*. (1995). 74(4):1066–71.
29. Calland JW, Harris SE, Carnes Jr DL. Human pulp cells respond to calcitonin gene-related peptide in vitro. *Journal of Endodontics*. (1997). 23(8):485–9.
  30. Uddman R, Kato J, Cantera L, Edvinsson L. Localization of neuropeptide Y Y1 receptor mRNA in human tooth pulp. *Archives of Oral Biology*. (1998). 43(5):389–94.
  31. Uddman R, Björlin G, Möller B, Sundler F. Occurrence of VIP nerves in mammalian dental pulps. *Acta Odontologica Scandinavica*. (1980). 38(5):325–8.
  32. Caviedes-Bucheli J, Azuero-Holguin MM, Moreno GC, González IL, Mateu E, Salazar JF, Muñoz HR. Vasoactive intestinal peptide receptor expression in chronic periapical lesions. *International Endodontic Journal*. John Wiley & Sons, Ltd (10.1111). (2007). 40(7):521–5.
  33. Rodd HD, Boissonade FM. Comparative immunohistochemical analysis of the peptidergic innervation of human primary and permanent tooth pulp. *Archives of Oral Biology*. (2002). 47(5):375–85.
  34. Karim El IA, Lamey P-J, Linden GJ, Awawdeh LA, Lundy FT. Caries-induced changes in the expression of pulpal neuropeptide Y. *European Journal of Oral Sciences*. John Wiley & Sons, Ltd (10.1111). (2006). 114(2):133–7.
  35. Ngassapa D. Correlation of clinical pain symptoms with histopathological changes of the dental pulp: A review. *East African Medical Journal*. (1996). 73(12):779–81.
  36. Bender IB. Reversible and irreversible painful pulpitis: Diagnosis and treatment. *Australian Endodontic Journal*. (2000). 26(1):10–4.
  37. Bjørndal L, Mjör IA. Pulp-dentin biology in restorative dentistry. Part 4: Dental caries-characteristics of lesions and pulpal reactions. *Quintessence International*. (2001). 32(9):717–36.
  38. Abbott PV, Yu C. A clinical classification of the status of the pulp and the root

- canal system. *Australian Dental Journal*. (2007). 52(1 Suppl):S17–31.
39. Byers MR, Taylor PE, Khayat BG, Kimberly CL. Effects of injury and inflammation on pulpal and periapical nerves. *Journal of Endodontics*. Elsevier. (1990). 16(2):78–84.
  40. Zehnder M, Wegehaupt FJ, Attin T. A first study on the usefulness of matrix metalloproteinase 9 from dentinal fluid to indicate pulp inflammation. *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd. (2011). 37(1):17–20.
  41. Emshoff R, Moschen I, Strobl H. Adverse outcomes of dental trauma splinting as related to displacement injury and pulpal blood flow level. *Dental Traumatology*. (2008). 24(1):32–7.
  42. Emshoff R, Moschen I, Strobl H. Use of laser doppler flowmetry to predict vitality of luxated or avulsed permanent teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. (2004). 98(6):750–5.
  43. Kim S. Neurovascular interactions in the dental pulp in health and inflammation. *Journal of Endodontics*. (2017). 16(2):1–6.
  44. Aggarwal V, Logani A, Shah N. The evaluation of computed tomography scans and ultrasounds in the differential diagnosis of periapical lesions. *Journal of Endodontics*. (2008). 34(11):1312–5.
  45. Akarslan ZZ, Akdevelioğlu M, Güngör K, Erten H. A comparison of the diagnostic accuracy of bitewing, periapical, unfiltered and filtered digital panoramic images for approximal caries detection in posterior teeth. *Dentomaxillofacial Radiology*. British Institute of Radiology. (2008). 37(8):1–7.
  46. Tyldesley WR, Mumford JM. Dental pain and the histological condition of the pulp. *The dental practitioner and dental record*. (1970). 20(10):333–6.
  47. Cisneros-Cabello R, Segura-Egea JJ. Relationship of patient complaints and signs to histopathologic diagnosis of pulpal condition. *Australian Endodontic Journal*. (2005). 31(1):24–7.
  48. Rowe AH, Pitt Ford TR. The assessment of pulpal vitality. *International Endodontic Journal*. (1990). 23(2):77–83.

49. Chambers IG. The role and methods of pulp testing in oral diagnosis: A review. *International Endodontic Journal*. (1982). 15(1):1–15.
50. Abd-Elmeguid A, Yu DC. Dental pulp neurophysiology: Part 2. Current diagnostic tests to assess pulp vitality. *Journal of the Canadian Dental Association*. (2017). 75(2):1–5.
51. Ehrmann EH. Pulp testers and pulp testing with particular reference to the use of dry ice. *Australian Dental Journal*. (1977). 22(4):272–9.
52. Maupomé G, Pretty IA. A closer look at diagnosis in clinical dental practice: Part 4. Effectiveness of nonradiographic diagnostic procedures and devices in dental practice. *Journal of the Canadian Dental Association*. (2004). 70(7):470–4.
53. Hülsmann M. *Endodontie*. Georg Thieme Verlag. 1. Auflage. (2008). 3:63.
54. Jafarzadeh H, Abbott PV. Review of pulp sensibility tests. Part I: General information and thermal tests. *International Endodontic Journal*. John Wiley & Sons, Ltd (10.1111). (2010). 43(9):738–62.
55. Dummer PM, Green RM. A comparison of the ability of strains of streptococci to form dental plaque-like deposits in vitro with their cariogenicity in gnotobiotic rats. *Archives of Oral Biology*. (1980). 25(4):245–9.
56. Gopikrishna V, Tinagupta K, Kandaswamy D. Evaluation of efficacy of a new custom-made pulse oximeter dental probe in comparison with the electrical and thermal tests for assessing pulp vitality. *Journal of Endodontics*. (2007). 33(4):411–4.
57. Shender O, Shora S, Siddiqui S, Tchaouchev N, Termei R, Terzioglu U, Toor N, Vishwanath S. How helpful are diagnostic tests for pulpal conditions?. *University of Toronto*. (2017). 1–15.
58. Gopikrishna V, Tinagupta K, Kandaswamy D. Comparison of electrical, thermal, and pulse oximetry methods for assessing pulp vitality in recently traumatized teeth. *Journal of Endodontics*. (2007). 33(5):531–5.
59. Ikeda H, Suda H. Subjective sensation and objective neural discharges

- recorded from clinically nonvital and intact teeth. *Journal of Endodontics*. (1998). 24(8):552–6.
60. Peters DD, Baumgartner JC, Lorton L. Adult pulpal diagnosis. I. Evaluation of the positive and negative responses to cold and electrical pulp tests. *Journal of Endodontics*. (1994). 20(10):506–11.
  61. Chen E, Abbott E. Evaluation of accuracy, reliability, and repeatability of five dental pulp tests. *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd. (2011). 37(12):1619–23.
  62. Rutsatz C, Baumhardt SG, Feldens CA, Kuchenbecker Rösing C, Grazziotin-Soares R, Barletta FB. Response of pulp sensibility test is strongly influenced by periodontal attachment loss and gingival recession. *Journal of Endodontics*. (2012). 38(5):580–3.
  63. Klimm W. *Endodontologie*. Deutscher Zahnärzte Verlag, 2. überarbeitete Auflage. (2011). 5:173-218.
  64. Augsburger RA, Peters DD. In vitro effects of ice, skin refrigerant, and CO<sub>2</sub> snow on intrapulpal temperature. *Journal of Endodontics*. (1981). 7(3):110–6.
  65. Rickoff B, Trowbridge H, Baker J, Fuss Z, Bender IB. Effects of thermal vitality tests on human dental pulp. *Journal of Endodontics*. (1988). 14(10):482–5.
  66. Jones DM. Effect of the type carrier used on the results of dichlorodifluoromethane application to teeth. *Journal of Endodontics*. Elsevier. (1999). 25(10):692–4.
  67. Mumford JM. Thermal and electrical stimulation of teeth in the diagnosis of pulpal and periapical disease. *Proceedings of the Royal Society & Medicine*. (1967). 60(2):197–200.
  68. Bhaskar SN, Rappaport HM. Dental vitality tests and pulp status. *The Journal of the American Dental Association*. (1973). 86(2):409–11.
  69. Petersson K, Söderström C, Kiani-Anaraki M, Lévy G. Evaluation of the ability of thermal and electrical tests to register pulp vitality. *Endodontics & Dental*

- Traumatology. (1999). 15(3):127–31.
70. Cooley RL, Robison SF. Variables associated with electric pulp testing. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. (1980). 50(1):66–73.
  71. Jacobson JJ. Probe placement during electric pulp-testing procedures. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. (1984). 58(2):242–7.
  72. Bender IB, Landau MA, Fonseca S, Trowbridge HO. The optimum placement-site of the electrode in electric pulp testing of the 12 anterior teeth. *The Journal of the American Dental Association*. (1989). 118(3):305–10.
  73. Lin J, Chandler N, Purton D, Monteith B. Appropriate electrode placement site for electric pulp testing first molar teeth. *Journal of Endodontics*. (2007). 33(11):1296–8.
  74. Mickel AK, Lindquist KAD, Chogle S, Jones JJ, Curd F. Electric pulp tester conductance through various interface media. *Journal of Endodontics*. (2006). 32(12):1178–80.
  75. Wilson BL, Broberg C, Baumgartner JC, Harris C, Kron J. Safety of electronic apex locators and pulp testers in patients with implanted cardiac pacemakers or cardioverter/defibrillators. *Journal of Endodontics*. (2006). 32(9):847–52.
  76. Fuss Z, Trowbridge H, Bender IB, Rickoff B, Sorin S. Assessment of reliability of electrical and thermal pulp testing agents. *Journal of Endodontics*. (1986). 12(7):301–5.
  77. Kamburoğlu K, Paksoy CS. The usefulness of standard endodontic diagnostic tests in establishing pulpal status. *The Pain Clinic*. Taylor & Francis. (2005). 17(2):157–65.
  78. Goho C. Pulse oximetry evaluation of vitality in primary and immature permanent teeth. *Pediatric Dentistry*. (1999). 21(2):125–7.
  79. Schnapp LM, Cohen NH. Pulse oximetry. Uses and abuses. (1990). 98(5):1244–50.
  80. Jafarzadeh H, Rosenberg PA. Pulse oximetry: Review of a potential aid in endodontic diagnosis. *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd. (2009).

35(3):329–33.

81. Schnettler JM, Wallace JA. Pulse oximetry as a diagnostic tool of pulpal vitality. *Journal of Endodontics*. (1991). 17(10):488–90.
82. Calil E, Caldeira CL, Gavini G, Lemos EM. Determination of pulp vitality in vivo with pulse oximetry. *International Endodontic Journal*. (2008). 41(9):741–6.
83. Matthews B, Vongsavan N. Advantages and limitations of laser doppler flow meters. *International Endodontic Journal*. (1993). 26(1):9–10.
84. Wilder-Smith PEEB. A new method for the non-invasive measurement of pulpal blood flow. *International Endodontic Journal*. (1988). 21(5):307–12.
85. Ingólfsson AR, Tronstad L, Hersh EV, Riva CE. Efficacy of laser Doppler flowmetry in determining pulp vitality of human teeth. *Endodontics & Dental Traumatology*. (1994). 10(2):83–7.
86. Akpınar KE, Er K, Polat S, Polat N. Effect of gingiva on laser doppler pulpal blood flow measurements. *Journal of Endodontics*. (2004). 30(3):138–40.
87. Polat S, Er K, Akpınar KE, Polat NT. The sources of laser doppler blood-flow signals recorded from vital and root canal treated teeth. *Archives of Oral Biology*. (2004). 49(1):53–7.
88. Polat S, Er K, Polat NT. The lamp effect of laser doppler flowmetry on teeth. *Journal of Oral Rehabilitation*. John Wiley & Sons, Ltd (10.1111). (2005). 32(11):844–8.
89. Sasano T, Nakajima I, Shoji N, Kuriwada S, Sanjo D, Ogino H, Miyahara T. Possible application of transmitted laser light for the assessment of human pulpal vitality. *Endodontics & Dental Traumatology*. (1997). 13(2):88–91.
90. Roebuck EM, Evans DJ, Stirrups D, Strang R. The effect of wavelength, bandwidth, and probe design and position on assessing the vitality of anterior teeth with laser doppler flowmetry. *International Journal of Pediatric Dentistry*. (2000). 10(3):213–20.
91. Strobl H, Gojer G, Norer B, Emshoff R. Assessing revascularization of

- avulsed permanent maxillary incisors by laser doppler flowmetry. *The Journal of the American Dental Association*. (2003). 134(12):1597–603.
92. Edwall B, Gazelius B, Berg J-O, Edwall L, Hellander K, Olgart L. Blood flow changes in the dental pulp of the cat and rat measured simultaneously by laser doppler flowmetry and local 125I clearance. *Acta Physiologica Scandinavica*. John Wiley & Sons, Ltd (10.1111). (1987). 131(1):81–91.
  93. Sheets CG, Wu JC, Rashad S, Phelan M, Earthman JC. In vivo study of the effectiveness of quantitative percussion diagnostics as an indicator of the level of the structural pathology of teeth. *The Journal of Prosthetics Dentistry*. (2016). 116(2):191–1.
  94. Sheets CG, Wu JC, Earthman JC. Quantitative percussion diagnostics as an indicator of the level of the structural pathology of teeth: Retrospective follow-up investigation of high-risk sites that remained pathological after restorative treatment. *The Journal of Prosthetics Dentistry*. (2018). 119(6):928–34.
  95. Taguchi S, Sugita N, Asazuma Y, Hara K. Duration patterns of percussion sound in healthy and periodontally affected teeth. *Journal of Oral Rehabilitation*. (1990). 17(6):579–85.
  96. Matthews B, Vongsavan N. Interactions between neural and hydrodynamic mechanisms in dentine and pulp. *Archives of Oral Biology*. (1994). 39 Suppl:87S–95S.
  97. Närhi MV, Hirvonen TJ, Hakumäki MOK. Responses of intradental nerve fibres to stimulation of dentine and pulp. *Acta Physiologica Scandinavica*. John Wiley & Sons, Ltd (10.1111). (1982). 115(2):173–8.
  98. Sheets CG, Hui DD, Bajaj V, Earthman JC. Quantitative percussion diagnostics and bone density analysis of the implant-bone interface in a pre- and postmortem human subject. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. (2013). 28(6):1581–8.
  99. Pretty IA, Maupomé G. A closer look at diagnosis in clinical dental practice: Part 3. Effectiveness of radiographic diagnostic procedures. *Journal of the Canadian Dental Association*. (2004). 70(6):388–94.

100. Schaefer G, Pitchika V, Litzenburger F, Hickel R, Kühnisch J. Evaluation of occlusal caries detection and assessment by visual inspection, digital bitewing radiography and near-infrared light transillumination. *Clinical Oral Investigations*. Springer Berlin Heidelberg. (2018). 22(7):2431–8.
101. Stheeman SE, Mileman PA, van' t Hof M, van der Stelt PF. Room for improvement? The accuracy of dental practitioners who diagnose bony pathoses with radiographs. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. (1996). 81(2):251–4.
102. Bohay RN. The sensitivity, specificity, and reliability of radiographic periapical diagnosis of posterior teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. (2000). 89(5):639–42.
103. de Paula-Silva FWG, Wu M-K, Leonardo MR, da Silva LAB, Wesselink PR. Accuracy of periapical radiography and cone-beam computed tomography scans in diagnosing apical periodontitis using histopathological findings as a gold standard. *Journal of Endodontics*. (2009). 35(7):1009–12.
104. Farman AG, Avant SL, Scarfe WC, Farman TT, Green DB. In vivo comparison of Visualix-2 and Ektaspeed Plus in the assessment of periradicular lesion dimensions. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*. (1998). 85(2):203–9.
105. Forsberg J, Halse A. Periapical radiolucencies as evaluated by bisecting-angle and paralleling radiographic techniques. *International Endodontic Journal*. (2007). 30(2):115–23.
106. Peers A, Hill FJ, Mitropoulos CM, Holloway PJ. Validity and reproducibility of clinical examination, fibre-optic transillumination, and bite-wing radiology for the diagnosis of small approximal carious lesions: An in vitro study. *Caries Research*. (1993). 27(4):307–11.
107. Zhou Q, Peng CF, Qin M. Near infrared light transillumination for detection of incipient proximal caries in primary molars. *Journal of Peking University Health Sciences*. (2019). 51(1):59–64.
108. Lederer A, Kunzelmann K-H, Heck K, Hickel R, Litzenburger F. In vitro

- validation of near-infrared transillumination at 780 nm for the detection of caries on proximal surfaces. *Clinical Oral Investigations*. Springer Berlin Heidelberg. (2019). 27(5):331–8.
109. Hill CM. The efficacy of transillumination in vitality tests. *International Endodontic Journal*. (1986). 19(4):198–201.
110. Gängler P, Hoffmann T, Willershausen B, Schwenzer N, Ehrenfeld M. *Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie*. Georg Thieme Verlag, 2. völlig überarbeitete Auflage. (2005). 5:149.
111. Weisleder R, Yamauchi S, Caplan DJ, Trope M, Teixeira FB. The validity of pulp testing: A clinical study. *American Dental Association*. (2009). 140:1–5.
112. Jespersen JJ, Hellstein J, Williamson A, Johnson WT, Qian F. Evaluation of dental pulp sensibility tests in a clinical setting. *Journal of Endodontics*. (2014). 40(3):351–4.
113. Salgar AR, Singh SH, Podar RS, Kulkarni GP, Babel SN. Determining predictability and accuracy of thermal and electrical dental pulp tests: An in vivo study. *Journal of Conservative Dentistry*. (2017). 20(1):46–4.
114. Pigg M, Nixdorf DR, Nguyen RHN, Law AS. Validity of preoperative clinical findings to identify dental pulp status: A national dental practice-based research network study. *Journal of Endodontics*. (2016). 42(6):935–42.