

**Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik  
der Universität Würzburg  
Direktor: Prof. Dr. med. dent. Dipl.- Ing. E.- J. Richter**

**D3 Web Dentist  
Ein wissenschaftliches System zur Planung von komplexem Zahnersatz  
Inaugural - Dissertation**

**zur Erlangung der Doktorwürde der  
Medizinischen Fakultät  
der  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg**

**vorgelegt von  
Joachim Hemsing  
aus Hückelhoven  
Würzburg, November 2007**

**Referent:** Prof. Dr. Dipl.-Ing. E.-J. Richter

**Korreferent:** Prof. Dr. B. Klaiber

**Dekan:** Prof. Dr. M. Frosch

**Tag der mündlichen Prüfung: 8.10.2008**

**Der Promovend ist Zahnarzt**

# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Einleitung</b>                                 | <b>2</b>  |
| 1.1 Expertensysteme in der Medizin                   | 5         |
| 1.2 Das Expertensystem <i>D3 Web Dentist</i>         | 5         |
| <b>2. Material und Methode</b>                       | <b>8</b>  |
| 2.1 Aufgabenstellung                                 | 8         |
| 2.2 Befundmerkmale und deren Ausprägungen            | 10        |
| 2.3 Erfasste Befundmerkmale                          | 13        |
| <b>Zustandsbeschreibung eines Zahns</b>              | <b>13</b> |
| 2.3.1 Zahn vorhanden                                 | 13        |
| 2.3.2 Röntgenologische Veränderungen                 | 13        |
| 2.3.3 Lockerung                                      | 16        |
| 2.3.4 Vitalität, Perkussion, Endodontische Situation | 17        |
| 2.3.5 Anzahl der Wurzeln/ Furkationsgrad             | 19        |
| 2.3.6 Wurzellänge                                    | 21        |
| 2.3.8. Knochenabbau / Attachmentloss                 | 23        |
| 2.3.9. Wurzelkaries                                  | 24        |
| 2.3.9. Angulation                                    | 25        |
| 2.3.11. Elongation                                   | 26        |
| 2.4 Bewertung der Befunde                            | 27        |
| 2.5 Probandengut                                     | 28        |
| 2.6 Datenmaske                                       | 30        |
| 2.7 Erhebungsablauf                                  | 31        |
| <b>3. Ergebnisse</b>                                 | <b>34</b> |
| 3.1 Probandengut                                     | 34        |
| 3.2 Überblick über die Basisdaten                    | 34        |
| 3.3 Auswertungsverfahren                             | 36        |
| <b>4. Diskussion</b>                                 | <b>42</b> |
| 4.1 Probandengut                                     | 42        |
| 4.2 Untersuchungsmethoden                            | 42        |
| 4.3 Ergebnisse                                       | 44        |
| <b>5. Zusammenfassung</b>                            | <b>46</b> |
| <b>6. Literaturverzeichnis</b>                       | <b>47</b> |

## 1. Einleitung

Die prothetische Planung zur Gestaltung eines komplexen und möglichst dauerhaft funktionstüchtigen Zahnersatzes ist eine der schwierigsten Aufgaben in der zahnärztlichen Prothetik. Die Rehabilitation eines Patienten mit Zahnersatz erfolgt dabei in aller Regel nach einem festen Schema. Zu Beginn der Behandlung wird die Anamnese erhoben, um eventuelle Allgemeinerkrankungen und damit einhergehende Probleme angemessen bei der Planung und Therapie berücksichtigen zu können. Dann werden im Rahmen der Vorbehandlung die hygienischen Verhältnisse im Mund des Patienten optimiert, bevor eine ausführliche Befundaufnahme für die eigentliche Zahnersatzplanung erfolgt.

Im Rahmen dieser Befundaufnahme werden die Zähne klinisch dental, klinisch parodontal und röntgenologisch untersucht und anhand der vorgefundenen Befunde hinsichtlich ihres Zustandes bewertet, wobei für jeden Zahn quasi eine Diagnose gestellt wird. Hierbei ist es wichtig zu beurteilen, ob Zähne erhaltungsfähig sind oder nicht, und welche Therapie erfolgen muss, um erhaltungsfähige Zähne für die Aufnahme von Zahnersatz vorzubereiten. Eine derartige Bewertung wird bis dato noch vom behandelnden Zahnarzt <sup>1)</sup> auf Grundlage seines Wissens und seiner bisherigen klinischen Erfahrung vorgenommen und unterliegt damit einer gewissen Fehleranfälligkeit. Es ergibt sich zwangsläufig, dass die Diagnose und mithin die beabsichtigte Planung behandlerabhängig sind. Die Bewertung der Befunde - die ja zur Diagnose führen und Grundlage der Planung des Zahnersatzes ist - wird durch Ausbildungsniveau, Berufserfahrung und persönliche Einstellungen des Behandlers beeinflusst. Auf Grund dessen variieren die therapeutischen Ansätze zwischen verschiedenen Behandlern erheblich [1-9].

Anmerkungen

<sup>1)</sup> Zur Vereinfachung werden im Text die Begriffe *Zahnarzt* und *Zahnärztin* unter dem Begriff *Zahnarzt* subsummiert.

Weiterhin müssen die (räumliche) Relation der Kiefer zueinander, eventuelle Dysfunktionen, Wünsche und letztlich finanzielle Aspekte des Patienten mit in die Planung einfließen.

Wenn die Therapieplanung abgeschlossen ist, erfolgt die eigentliche Therapie – in der Regel werden zunächst die nicht erhaltungsfähigen Zähne entfernt. Zunehmend wird heute die Anzahl der Pfeiler mit Hilfe der Insertion von enossalen Implantaten an strategisch wichtigen Positionen im Gebiss erhöht beziehungsweise werden nicht erhaltungswürdige Pfeiler ersetzt [10,11]. Unter Umständen werden auch Maßnahmen durchgeführt, die das Knochenlager für Implantate verbessern. Erst dann kann mit dem eigentlichen Wunsch des Patienten – der Herstellung des neuen Zahnersatzes – begonnen werden.

Der Begriff „Prothetische Planung“ beschreibt den hierarchischen Weg der Entscheidungen auf der Grundlage zahlreicher Befunde, an dessen Ende die Auswahl einer definitiven Konstruktion von mehr oder weniger umfangreichem Zahnersatz steht. Dabei ist es zum einen das Ziel, den Patienten dauerhaft adäquat funktionell und ästhetisch zumindest hinreichend zu versorgen. Zum anderen sollten dabei auch sozioökonomische Faktoren, wie z. B. die individuellen finanziellen Möglichkeiten und die Wünsche des Patienten, Berücksichtigung finden. Dass sich diese Aspekte in der heutigen Zeit oft gegenseitig ausschließen oder nur unbefriedigend in Einklang zu bringen sind, macht das Vorhaben zunehmend schwieriger. Im Rahmen einer Therapieplanung sind beispielsweise Entscheidungen zu den folgenden Sachverhalten wichtig:

- Welche Zähne sind erhaltungswürdig und welche nicht?
- Welche Zähne kann man als tragende Pfeiler in eine Konstruktion einplanen?
- Wieviel Aufwand ist zu der Erhaltung wichtiger Pfeiler notwendig?
- Welche Therapierisiken sind damit verbunden?

- Lohnen sich die jeweiligen Maßnahmen aus ökonomischer Sicht und sind sie für den Patienten ein vertretbarer Gewinn auf Zeit?

Die Vielschichtigkeit der die Planung beeinflussenden Faktoren stellt somit jeden Zahnarzt immer wieder vor schwierige Entscheidungen. Bei allen modernen Entwicklungen im Bereich der zahnärztlichen Diagnostik und der Therapie verlorener Zähne wird die Entscheidung zu einer geeignet erscheinenden Behandlungsform heute noch ohne spezielle Hilfsmittel getroffen. Bestenfalls fließen Ergebnisse wissenschaftlicher Studien, die dem Zahnarzt bekannt sind und auf die er zurückgreift, in seine Entscheidung ein. Es stellt sich daher die Frage, ob und in welcher Form sich ein geeignetes Hilfsmittel konstruieren lässt, welches eine Standardisierung des überwiegenden Teils der prothetischen Planung zulässt und auf diese Weise den Zahnarzt durch moderne Technologien unterstützt, ohne dass dabei die Entscheidungsfreiheit des Behandlers aufgehoben wird.

Es soll daher versucht werden, ein intelligentes System zu schaffen, das die zahnärztlichen Befunde in detaillierter Form speichern und bewerten kann, um dem behandelnden Zahnarzt gewisse Empfehlungen auf Grundlage von in das System integrierten evidenzbasierten Erkenntnissen der Zahnheilkunde zu geben. Letztlich soll die Wahl der definitiven Therapie jedoch dem Zahnarzt überlassen bleiben.

Das vorgesehene prothetische Planungstool soll aus mehreren hierarchischen Ebenen bestehen. Für jedes Niveau sind Entscheidungen zu treffen, wobei diese durch „Wissensbasen“ unterstützt werden sollen (siehe unter Punkt 1.1). Die in dieser Arbeit untersuchte primäre Ebene behandelt die Entscheidung über den Erhalt jedes einzelnen Zahnes und seine Eignung als prothetischen Pfeilerzahn zur Aufnahme von Zahnersatz. Dazu werden alle Befunde erhoben, gespeichert und anhand eines Punktesystems in Bezug auf die Pfeilereignung und -erhaltungswürdigkeit bewertet, so dass jedem Zahn auf dieser ersten Ebene zwei Diagnosen, eine zur Erhaltungsfähigkeit und eine zur Pfeilereignung, zugeordnet werden.

Dazu werden die beiden Kiefer zunächst getrennt bewertet. Die Relation der Kiefer zueinander wird in einer späteren Ebene behandelt. Das gilt ebenso für die patientenbezogenen Befunde. Dazu gehören Dysfunktionen, Allgemeinerkrankungen, Patientenwünsche und finanzielle Aspekte.

## **1.1 Expertensysteme in der Medizin**

Für die Entwicklung der prothetischen Planungssoftware wurde eine Software zur Hilfe genommen, die speziell zur Entwicklung von Diagnose-Wissensbasen programmiert wurde, der so genannte „Expertensystem-Shell-Baukasten D3“. Mit diesem Tool können Programmierlaien fachspezifische Diagnose-Wissensbasen entwickeln. Im Übrigen wurde dieses System im Rahmen des Forschungsprojekts „Kooperierende Diagnostik-Expertensysteme zur Komplexitätsreduktion bei der Entwicklung sehr großer Wissensbasen“ (Laufzeit: 7 / 95 - 3 / 99) vom Projektträger „Arbeit und Technik“ in Bonn gefördert (Projekt-Kennziffer: 01 HP 8440). In diesem Projekt arbeiteten der Lehrstuhl für angewandte Informatik und Künstliche Intelligenz der Universität Würzburg (Leiter Prof. Dr. Puppe), die König & Bauer-Albert AG in Würzburg und die Technologie GmbH der Technischen Universität Hamburg-Harburg / Arbeitsbereich Technikbewertung und Technikgestaltung zusammen. „D3“ wird im Übrigen auch von Facharbeitern und Ingenieuren genutzt [12].

Im vorliegenden Fall wurde zur Problemlösung das „D3web.Train“ verwendet, eine weitere Entwicklungsstufe des D3-Systems. D3web.Train ist ein Werkzeug zur Entwicklung fall- und wissensbasierter Trainingssysteme [13], eine Weiterentwicklung des D3Trainers [14] zur Vermittlung von medizinischem Wissen anhand klinischer Fälle [15].

## **1.2 Das Expertensystem *D3 Web Dentist***

Wie bereits in Kapitel 1.1 erwähnt und auf der folgenden Seite als Schaubild dargestellt, besteht das System in seiner endgültigen Form aus mehreren Entscheidungsebenen, die sich unterschiedliche Wissensbasen für die Bewertung der eingegebenen Befunde zunutze machen. Auf der ersten Ebene beurteilt die Wissensbasis anhand von zuvor festgelegten Regeln (Tab 1, S.14) die Befunde und

generiert auf diese Weise eine Diagnose für jeden einzelnen Zahn. Dabei werden parallel die Frage nach dem möglichen Erhalt des Zahnes und die Frage nach seiner Eignung als prothetischer Pfeiler entschieden. Nach Durchlauf der Datenbewertung in dieser ersten Ebene liegen also für jeden vorhandenen Zahn konkrete Diagnosen zu Zahnerhalt oder Extraktion und zur Pfeilereignung vor. Diese Diagnosen werden zunächst für Ober- und Unterkiefer separat betrachtet und in einem Zahnschema dargestellt.

Der daraus resultierende verwertbare Restzahnbestand wird dann auf Grundlage einer weiteren Wissensbasis mit speziellen Regeln dahingehend ausgewertet, ob festsitzender oder herausnehmbarer Zahnersatz angezeigt ist. In den folgenden Ebenen werden zusätzliche patientenbezogene Befunde ausgewertet, um die Art des Zahnersatzes weiter zu konkretisieren. Dabei werden beispielsweise die Lagebeziehung der Kiefer bewertet und Dysfunktionen des Kauystems. Ebenfalls werden z. B. Wünsche und finanzielle Möglichkeiten des Patienten mit einbezogen. Für diese weiteren Auswertungen werden zusätzliche Wissensbasen entwickelt und eingesetzt.

# 1. Ebene

**Wissensbasis, entwickelt aus der Behandlungserfahrung von Zahnärzten**  
Die Wissensbasis enthält alle Regeln für die Bewertung der Befunde.

Eingabe der Befunde

Auswertung der Befunde und Erstellung einer Diagnoseentscheidung über Zahnerhalt oder Extraktion

Auswertung der Befunde und Erstellung einer Diagnoseentscheidung über die Pfeilereignung

Restzahnverteilung und Pfeilereignung der zu erhaltenden Zähne des Oberkiefers

Restzahnverteilung und Pfeilereignung der zu erhaltenden Zähne des Unterkiefers

# 2. Ebene

**Wissensbasis**

Entscheidung anhand der Pfeilerverteilung für herausnehmbaren oder festsitzenden Zahnersatz

# Weitere Ebenen

Überprüfung der Planung anhand zusätzlicher patientenbezogener Parameter wie beispielsweise Bissverhältnisse, Patientenwünsche und Kosten

## 2. Material und Methode

### 2.1 Aufgabenstellung

Im vorliegenden Fall besteht das System aus mehreren Entscheidungsebenen, an deren Ende eine Therapieempfehlung in Form eines konkreten prothetischen Behandlungsvorschlages steht. Zunächst werden aufgrund der erhobenen Befunde die restlichen Zähne, die zum Zeitpunkt des Eingangsbefundes vorhanden waren, als erhaltungs- oder extraktionswürdig eingestuft. Im weiteren Verlauf werden – auf Basis der gleichen Befunde – die erhaltungswürdigen Zähne auf ihre Eignung als prothetische Pfeiler geprüft.

Ziel der ersten Untersuchungen war es, herauszufinden, wie die Wissensbasis, die zunächst auf Grundlage des Wissens von erfahrenen Behandlern entworfen wurde, adaptiert werden muss, um eine möglichst hohe Zahl von Übereinstimmungen des Systems mit der tatsächlichen Entscheidung des Zahnarztes zu erzielen.

Um die vom System hergeleiteten Diagnosen bezüglich der Extraktion oder der Erhaltung von Zähnen auf ihre Richtigkeit überprüfen zu können, müssen Behandlungsfälle getestet werden, die in der Realität bereits befundet und mit Zahnersatz versorgt wurden. Dabei wird vorausgesetzt, dass die gewählten Fälle nach Expertenmeinung „prothetisch korrekt“ versorgt wurden. Hinzufügen muß man, dass oft verschiedene Formen von Zahnersatz möglich sind und diese unterschiedlich gut und lange in Funktion bleiben können. Dabei können Art und Form des Zahnersatzes das Überleben aller Zähne, nicht nur der Pfeilerzähne, beeinflussen. Um nicht nur eine qualitative, sondern auch eine quantitativ-definitive Aussage über die Entscheidungsschärfe des Systems zur Frage *Zahnerhalt oder Pfeilerzahneignung* treffen zu können, müssen zusätzliche Parameter hinsichtlich Überlebensdauer der Pfeilerzähne und des Zahnersatzes zur Auswertung hinzugezogen werden. Da bis bisher keine ausreichend langen Beobachtungszeiten der untersuchten Fälle vorliegen, werden sie vorerst als „korrekt gelöst“ angenommen.

Zu einer weiteren Wissensbasis sollen später Daten zur Überlebensdauer von Zahnersatz und einzelnen Zähnen sowie – falls möglich – auch relative Risiken in die Beurteilungskriterien bzw. die Therapieentscheidung einfließen. –

Um die Entscheidungsparameter der ersten Ebene anzupassen, wurden in einer ersten Datenmaske die Ausgangsbefunde von bereits definitiv mit Zahnersatz versorgten Patienten eingegeben. Dieses bietet die Möglichkeit der Überprüfung des hergeleiteten Ergebnisses des Expertensystems mit der als „richtig“ angenommen, tatsächlich durchgeführten Therapie. Die hohe Zahl von Übereinstimmungen zeigt, dass das System korrekt arbeitet – also die jeweiligen Entscheidungen des behandelnden Zahnarztes nachvollzieht – und die entwickelte Wissensbasis somit richtig angelegt ist. Dies gilt allerdings nur unter der Voraussetzung, dass die Therapieentscheidungen – und zwar jede einzelne – tatsächlich richtig waren, wobei die Langlebigkeit des Zahnersatzes der anzulegende Maßstab ist.

Diese Expertensoftware wird somit wie ein neues Diagnoseverfahren verwendet, wobei der „Goldstandard“ die von erfahrenen Zahnärzten geplanten und gelösten Patientenfälle sind.

## 2.2. Befundmerkmale und deren Ausprägungen

„Befundmerkmale“ beschreiben detailliert den physiologischen oder pathologischen Zustand des untersuchten Zahnes. – Jedes Befundmerkmal wird in seiner unterschiedlichen Ausprägung erfasst. Die insgesamt 12 Merkmale können vorerst oder grob in zwei Gruppen eingeteilt werden (12 Merkmale scheinen ausreichend zu sein):

- Sie können unterschiedlich ausgeprägt sein,
- Die Differenzierungen werden mit „Malus-Punkten“ bewertet –
- je mehr Malus-Punkte ein Zahn erhält, desto eher ist der Zahnerhalt gefährdet und desto wahrscheinlicher wird die Therapieempfehlung „Extraktion“ lauten. )

### Biologische Merkmale

- Zahn vorhanden
- Lockerungsgrad
- Röntgenologische Veränderungen
- Vitalität, Perkussion, Endo
- Attachmentloss
- Anzahl der Wurzel
- Kronenhöhe
- Wurzellänge
- Wurzelkaries

### Technische Merkmale

- Angulation
- Elongation/Extrusion
- Stellung des Zahnes im Zahnbogen

Nach Eingabe der Befundmerkmale und deren Ausprägungen werden – wie in Tabelle 1 dargestellt – diese Ausprägungen zu jedem Merkmal mit Maluspunkten zwischen 5 und 40 belegt. Das Merkmal „Zahn vorhanden“ ist nicht mit Maluspunkten belegt, da das Fehlen oder Vorhandensein eines Zahnes keine Bewertung erfordert. Der Maluspunktwert „Ad Ex (ad extractionem)“ führt automatisch zu der Therapieanweisung „Extraktion“.

Dieser Punktwert wird bei Ausprägungen von Befundmerkmalen vergeben, bei denen der Erhalt eines Zahnes ausgeschlossen ist und die Indikation zur Extraktion besteht.

Die Maluspunkte wurden vor der Konstruktion der Wissensbasis, die zur Bewertung der Befunde eingesetzt wird, festgelegt. Dabei wurde zunächst versucht, eine Gewichtung der Befunde und deren Ausprägungen zu entwickeln oder zu generieren. Nach Eingabe der ersten Patientenfälle wurden diese Maluspunkte dann auf ihre Richtigkeit überprüft und von Fall zu Fall korrigiert, um die Sensitivität der Expertensoftware anzupassen. Die Maluspunkte werden bei jedem einzelnen Zahn anhand der Befundausprägungen vergeben und zu einem Wert, dem „Zahnscore“, addiert.

Es wurde ein summativer Grenzwert von 45 Maluspunkten für den Zahnscore festgelegt, der nach der ersten Auswertung überprüft und gegebenenfalls korrigiert wurde. Hiermit wird sichergestellt, dass dieser Maximalwert numerisch von der Addition der Einzelwerte nicht überschritten werden kann, ohne daß die Therapieempfehlung oder –anweisung „Extraktion“ erfolgt.

Überschreitet ein Zahn in der Addition seiner Maluspunkte diesen Wert, so wird er, wie oben dargelegt, mit der Diagnose „ad Ex“ belegt und ist damit nicht erhaltungswürdig. Bleibt die Summe der Punkte unterhalb des Grenzwertes, so wird der Zahn mit der Diagnose „IN“ belegt und die Therapieanweisung lautet „erhalten“.

Tab 1: Mögliche Befundmerkmale werden mit Malus-Punkten belegt

| Mögliche Befundmerkmale  | Ausprägung   | Malus | Punkte |
|--|--|-------|--------|
| 1 Zahn vorhanden   | Ja   |       |        |
|  | Nein, Lücke ist offen  |       |        |
|  | Nein, Lücke ist geschlossen  |       |        |
| 2 Röntgenologische Veränderungen                                     | nein   |       | 0      |
|  | nur apikal   |       | 10     |
|  | apikal und periradikulär   |       | ad ex  |
| 3 Lockerungsgrad   | Grad 0   |       | 0      |
|  | Grad 1   |       | 10     |
|  | Grad 2   |       | 25     |
|  | Grad 3   |       | ad ex  |
| 4 Vitalität , Perkusion , Endo                                       | Vit +, Perk -  |       | 0      |
|  | Vit +, Perk +  |       | 5      |
|  | Vit -, Perk -, suffiziente Endo  |       | 5      |
|  | Vit -, Perk +, suffiziente Endo , WSR oder Revision möglich  |       | 10     |
|  | Vit -, Perk +, suffiziente Endo , WSR oder Revision nicht möglich  |       | ad ex  |
|  | Vit -, Perk +, Endo möglich  |       | 5      |
|  | Vit -, Perk -, Endo möglich  |       | 5      |
|  | Vit -, Perk +, suffiziente Stiftversorgung , WSR oder Revision möglich   |       | 10     |
|  | Vit -, Perk +, suffiziente Stiftversorgung , WSR oder Revision nicht möglich   |       | ad ex  |
|  | Vit -, Perk -, suffiziente Stiftversorgung vorhanden   |       | 5      |
|  | Vit -, Perk -, Endo nicht möglich , seit Jahren ohne Beschwerden   |       | 15     |
| Vit -, Perk -, Endo nicht möglich , letzte Behandlung vor einem Jahr |  | ad ex |        |
| Vit -, Perk +, Endo nicht möglich                                    |  | ad ex |        |
| 5 Anzahl der Wurzeln   | Einwurzelig  |       | 10     |
|  | Mehrwurzelig, Furkationsgrad 0   |       | 0      |
|  | Mehrwurzelig, Furkationsgrad 1   |       | 5      |
|  | Mehrwurzelig , Furkationsgrad 2: Hemisektion /Amputation /Endo möglich   |       | 15     |
|  | Mehrwurzelig , Furkationsgrad 2: Hemisektion /Amputation /Endo nicht möglich   |       | 30     |
| Mehrwurzelig, Furkationsgrad 3                                       |  | ad ex |        |
| 6 Wurzellänge  | mehrfach doppelte Kronenhöhe   |       | 0      |
|  | mindestens so lang wie Kronenhöhe  |       | 10     |
|  | kürzer als Kronenhöhe  |       | 25     |
|  |  |       |        |
| 7 Kronenhöhe   | Höhe > 5 mm , defektfrei   |       | 0      |
|  | Höhe > 5 mm , kleine Füllung /Karies /Defekt   |       | 5      |
|  | Höhe > 5 mm , erheblich geschädigt , Stift -Stumpf -Aufbau möglich   |       | 20     |
|  | Höhe > 5 mm , erheblich geschädigt , Stift -Stumpf -Aufbau nicht möglich   |       | 25     |
|  | Höhe 3-5 mm , defektfrei   |       | 5      |
|  | Höhe 3-5 mm , kleine Füllung /Karies /Defekt   |       | 10     |
|  | Höhe 3-5 mm , erheblich geschädigt , Stift -Stumpf -Aufbau möglich   |       | 25     |
|  | Höhe 3-5 mm , erheblich geschädigt , Stift -Stumpf -Aufbau nicht möglich   |       | 30     |
|  | Höhe < 3 mm , Kronenverlängerung auf mindestens 3 mm Kronenhöhe möglich  |       | 15     |
|  | Höhe < 3 mm , Kronenverlängerung auf mindestens 3 mm Kronenhöhe nicht möglich  |       | 25     |
|  | Krone fehlt , Kronenverlängerung auf mindestens 3 mm Kronenhöhe möglich  |       | 20     |
|  | Krone fehlt , Kronenverlängerung auf mindestens 3 mm Kronenhöhe nicht möglich  |       | 25     |
|  |  |       |        |
| 8 Attachmentloss   | gering 0-15 %  |       | 0      |
|  | deutlich 16-30 %   |       | 10     |
|  | gravierend 31-50 %   |       | 25     |
|  | bedenklich mehr als 50 %   |       | 40     |
| 9 Wurzelkaries   | keine  |       | 0      |
|  | kleinflächig bzw oberflächlich   |       | 10     |
|  | erhebliche Ausdehnung bzw tiefreichend   |       | 25     |
| 10 Angulation  | Zahn steht orthograd   |       | 0      |
|  | leicht geneigt   |       | 10     |
|  | stark geneigt  |       | 25     |
| 11 Elongation/Extrusion  | Zahn steht in Kauzebene  |       | 0      |
|  | leicht elongiert   |       | 5      |
|  | stark elongiert (ohne Alveolarfach ) , Vit -Einhalt möglich  |       | 10     |
|  | stark elongiert (ohne Alveolarfach ) , Vit -Einhalt nicht möglich , Endo möglich , Kronenhöhe > 3 mm                   |       | 15     |
|  | stark elongiert (ohne Alveolarfach ) , Vit -Einhalt nicht möglich , Endo möglich , Kronenhöhe < 3 mm                   |       | 20     |
|  | stark elongiert (ohne Alveolarfach ) , Vit -Einhalt nicht möglich , Endo nicht möglich                                 |       | ad Ex  |
|  | stark elongiert (mit Alveolarfach ) , Vit -Einhalt möglich , Kronenhöhe ≥ 3 mm   |       | 10     |
|  | stark elongiert (mit Alveolarfach ) , Vit -Einhalt möglich , Kronenhöhe < 3 mm , KV möglich                            |       | 15     |
|  | stark elongiert (mit Alveolarfach ) , Vit -Einhalt möglich , Kronenhöhe < 3 mm , KV nicht möglich                      |       | 20     |
|  | stark elongiert (mit Alveolarfach ) , Vit -Einhalt nicht möglich , Endo nicht möglich                                  |       | ad Ex  |
|  | stark elongiert (mit Alveolarfach ) , Vit -Einhalt nicht möglich , Endo möglich , Kronenhöhe ≥ 3 mm                    |       | 10     |
|  | stark elongiert (mit Alveolarfach ) , Vit -Einhalt nicht möglich , Endo möglich , Kronenhöhe < 3 mm , KV möglich       |       | 15     |
|  | stark elongiert (mit Alveolarfach ) , Vit -Einhalt nicht möglich , Endo möglich , Kronenhöhe < 3 mm , KV nicht möglich |       | 20     |
| 12 Stellung des Zahnes im Zahnbogen                                  | Zahn steht zumindest überwiegend im Verlauf des Zahnbogens   |       | 0      |
|  | Zahn steht stark außerhalb des Verlaufs des Zahnbogens , kieferorthopädisch einstellbar                                |       | 5      |
|  | Zahn steht stark außerhalb des Verlaufs des Zahnbogens , kieferorthopädisch nicht einstellbar                          |       | 10     |
|  | Zahn steht stark außerhalb des Verlaufs des Zahnbogens , KFO nicht möglich , Stift -Stumpf -Aufbau möglich             |       | 10     |
|  | Zahn steht stark außerhalb des Verlaufs des Zahnbogens , KFO nicht möglich , Stift -Stumpf -Aufbau nicht möglich       |       | ad Ex  |

## **2.3. Erfasste Befundmerkmale – Zustandsbeschreibung eines Zahns**

### *2.3.1 Zahn vorhanden*

#### ***Ausprägungen:***

***Ja***

***Nein, Lücke offen***

***Nein, Lücke geschlossen***

An erster Stelle steht die Angabe, ob ein Zahn im aktuellen Fall vorhanden ist oder fehlt. Dies ist zunächst unabhängig von der Ursache des Nichtvorhandenseins. Fehlt ein Zahn im Zahnbogen, so findet man in der Regel eine Lücke in der Zahnreihe. Es kommt jedoch vor, dass die vorhandene Lücke durch Wandern der Nachbarzähne, meistens von distal nach mesial, verengt oder durch nachbarlichen Zahnkontakt geschlossen wird. Dies kann im weiteren Verlauf einer Planung eine wichtige Rolle spielen. Gerade bei verengten Lücken kann es schwierig sein, ästhetisch und funktionell korrekte Brückenversorgungen herzustellen. Dies gilt auch für herausnehmbaren Zahnersatz, bei dem Kompromisse, abweichend von der Idealform, geschlossen werden müssen.

### *2.3.2 Röntgenologische Veränderungen*

#### ***Ausprägungen:***

***Nein***

***nur apikal***

***apikal und periradikulär***

Nach Röntgendiagnostik mit Röntgenorthopantomogramm und Zahnstatus, bestehend aus mehreren Zahnfilmen, erfolgt die Befundung der Röntgenbilder mit

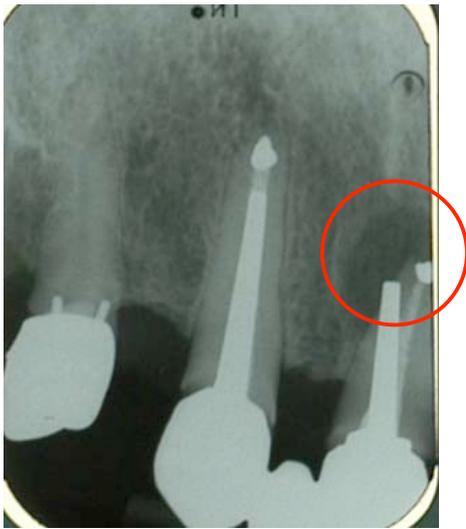
adäquaten Durchlichtgeräten zur besseren Darstellung der Bilder und Verifizierung der Befunde

Besonderes Augenmerk muss auf eventuell vorhandene, pathologische Veränderungen im Bereich der Wurzeln und der Wurzelspitzen gerichtet werden. Solche Bezirke, die sich im Bereich der Wurzelspitze auf dem Röntgen-Bild dunkler darstellen, können mehr oder weniger groß sein. Sie dehnen sich in der Regel zirkulär um die Wurzelspitze des röntgenologischen Apex aus. Man spricht je nach Lage und Ausdehnung von periapikalen, periradikulären oder apikalen Aufhellungen (auch „Apikale Läsion“), da sich diese dunkleren Bereiche als stärker transluzent darstellen. - Der Begriff „Apikale Ostitis“, der das pathologische Äquivalent dieser röntgenologischen Auffälligkeiten ist, stellt bereits eine Diagnose und entfernt sich von dem eigentlichen Befund. In diesem Stadium ist der Knochen zirkulär um die Wurzelspitze betroffen. Z.B. durch Exazerbation eines primär chronischen Entzündungsprozesses im Wurzelkanal dringen Keime in das die Wurzelspitze umgebende Knochengewebe und führen durch immunologische Prozesse zur Gewebseinschmelzung. Daraus resultiert die größere Transluzenz oder Durchlässigkeit des Gewebes für die Röntgenstrahlung und damit die stärkere Schwärzung des Röntgenfilms.

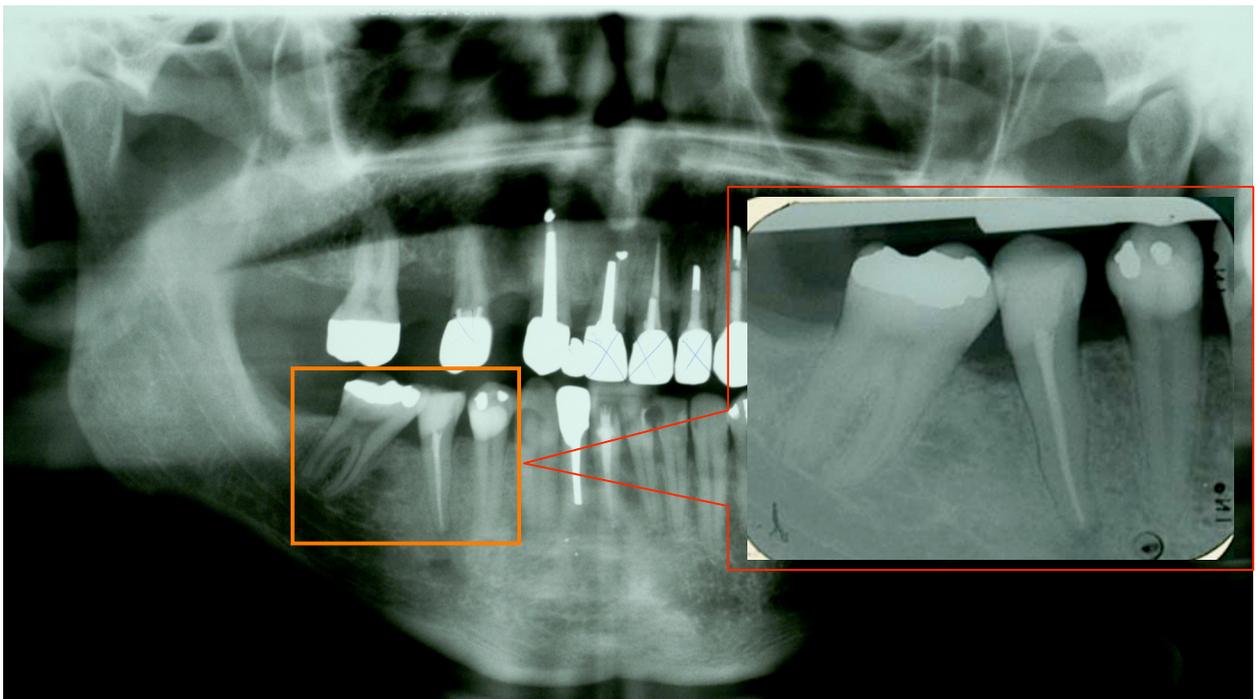
Einige Beispiele im Bild:



**Abb. 2:** Deutliche apikale Aufhellung bei benachbarten Prämolaren



**Abb. 3:** Ausgeprägte apikale und periradikuläre Aufhellung nach Stiftperforation



**Abb. 4:** Das OPG zeigt bereits eine apikale Aufhellung an Zahn 45. Im Zahnfilm wird die apikale Läsion noch deutlicher.

### 2.3.3 Lockerung

#### **Ausprägungen:**

##### **Grad I**

##### **Grad II**

##### **Grad III**

Die Lockerung eines befundeten Zahnes wird in drei Grade eingeteilt. Berücksichtigt wird hier nur die pathologische Lockerung, also eine Lockerung, die über die physiologische Beweglichkeit eines gesunden Zahnes hinausgeht. Die Zähne sind außer im Fall einer pathologischen Ankylose nicht starr in der Knochenalveole mit dem Kieferknochen verbunden, sondern über einen Faserapparat, dem Parodontium, elastisch aufgehängt. Dies wird als Thekodontie bezeichnet [16]. Sie weisen also eine gewisse physiologische Beweglichkeit auf. Um die pathologische Beweglichkeit eines Zahnes zu erfassen, bewertet man nach folgender Graduierung: Lockerungsgrad I, II oder III.

Grad I beschreibt nach Lehrmeinung die gerade eben fühlbare Beweglichkeit in transversaler Richtung zur Zahnachse. Eine Lockerung Grad II liegt vor, wenn der Zahn über 1mm ebenfalls in transversaler Richtung sichtbar beweglich ist. Ein Zahn mit Lockerungsgrad III zeigt pathologische Beweglichkeiten über 1mm sowohl in transversaler als auch in axialer Richtung. Man spricht dann von vertikaler Beweglichkeit. Die weitere Auslegung dieser drei Befundstufen ist zum einen in ihrer Gewichtung behandlerabhängig, zum anderen werden die drei Kategorien hinsichtlich ihrer therapeutischen Konsequenz unterschiedlich bewertet.

Zweifellos lässt die unphysiologische Lockerung Rückschlüsse auf den Zustand des Parodontiums und die Ausprägung des stattgefundenen Knochenverlustes und somit auf die Stärke des „Attachmentloss“ zu.

### 2.3.4 Vitalität, Perkusion, Endodontische Situation

#### **Ausprägungen:**

**Vit +, Perk-**

**Vit +, Perk +**

**Vit -, Perk +, suffiziente „endodontische Versorgung“ (im Folgenden“Endo“)**

**Vit -, Perk +, suffiziente Endo vorhanden, WSR oder Endorevision möglich**

**Vit -, Perk +, suffiziente Endo, WSR oder Revision nicht möglich**

**Vit. -, Perk. +, Endo möglich**

**Vit. -, Perk. -, Endo möglich**

**Vit. -, Perk.+, suffiziente Stiftversorgung, WSR oder Revision möglich**

**Vit. -, Perk. +, suffiziente Stiftversorgung, WSR oder Revision nicht möglich**

**Vit. -, Perk. -, suffiziente Stiftversorgung vorhanden**

**Vit. -, Perk. -, Endo nicht möglich, seit Jahren ohne Beschwerden**

**Vit. -, Perk. -, Endo nicht möglich, letzte Behandlung vor einem Jahr**

**Vit. -, Perk. +, Endo nicht möglich**

Bei der Diagnostik kommen unterschiedliche Hilfsmittel zum Einsatz:

- Der intraorale Vitalitätstest mittels auf den Zahn appliziertem Kälteschaum oder

- das sogenannte Provo-Test-System, bei dem eine elektrische Spannung am Zahn angelegt wird, die den pulpalen Nerv reizt und, je nach Zustand der Zahnpulpa, zu einer positiven Schmerzreaktion führt oder bei Avitalität keine Reaktion zeigt.
- Außerdem werden die Ergebnisse der Röntgendiagnostik hinzugezogen, um eine eventuelle endodontische Versorgung des Zahns zu beurteilen. Die Qualität der Wurzelkanalbehandlung entscheidet über eventuelle weitere Therapiemaßnahmen wie Revision der Füllung oder ortho- bzw. retrograde Wurzelspitzenresektion – Maßnahmen, welche die Prognose des Zahns verbessern oder sichern können.

Eine gewisse Sonderstellung nehmen die Zähne ein, deren Vitalitätstest negativ ausfällt, die nicht perkussionsempfindlich sind und bei denen eine endodontische Behandlung aus unterschiedlichen Gründen nicht möglich ist. Solche Gründe können zum Beispiel eine fortgeschrittene Obliteration der Wurzelkanäle sein, die vor allem bei älteren Patienten vorkommt. Auch eine mögliche, aber eher seltene Verlegung der Kanäle durch Dentikel kann eine erfolgreiche Endodontie verhindern. Sind solche Zähne bereits seit Jahren beschwerdefrei, so kann man den Zustand belassen. Es muss aber ein erhöhtes Verlustrisiko dieser Pfeiler in Betracht gezogen werden.

Wie die Auswahlmöglichkeiten des Pop-Ups zeigen, gibt es vielfältige endodontische Befunde. Hier werden aus Sicht des Systems die wichtigsten Befunde aufgeführt, mit denen das System alle möglichen Konstellationen abdecken kann. Für eine Versorgung mit Zahnersatz ist der Zustand der Zahnwurzel und ihrem Endodontium von entscheidender Bedeutung, da er die Prognose solcher Zähne hinsichtlich einer Pfeilereignung wesentlich beeinflusst. Entsprechend gibt es endodontische Befunde, die eine Einbeziehung bestimmter befundeter Zähne von vornherein ausschließen und demnach eine Extraktion noch vor Versorgung empfehlen. Andere Befunde wiederum schränken die Pfeilereignung lediglich ein, so dass der betroffene Zahn für die Verankerung von „hochwertigem Zahnersatz“ fragwürdig ist.

### 2.3.5 Anzahl der Wurzeln/ Furkationsgrad

#### **Ausprägungen:**

#### **Einwurzelig**

#### **Mehrwurzelig, Furkationsgrad 0**

#### **Mehrwurzelig, Furkationsgrad 1**

#### **Mehrwurzelig, Furkationsgrad 2: Hemisektion/Amputation/Endo möglich**

#### **Mehrwurzelig, Furkationsgrad 2: Hemisektion/Amputation/Endo nicht möglich**

#### **Mehrwurzelig, Furkationsgrad 3**

| Oberkieferzähne | Anzahl der Wurzeln | Unterkieferzähne | Anzahl der Wurzeln  |
|-----------------|--------------------|------------------|---------------------|
| 11/21           | 1                  | 31/41            | 1                   |
| 12/22           | 1                  | 32/42            | 1                   |
| 13/23           | 1                  | 33/43            | 1                   |
| 14/24           | 2 (>60 %)          | 34/44            | 1 (74 %) / 2 (26 %) |
| 15/25           | 1 (>85 %)          | 35/45            | 1 (85 %) / 2 (15 %) |

|       |   |       |   |
|-------|---|-------|---|
| 16/26 | 3 | 36/46 | 2 |
| 17/27 | 3 | 37/47 | 2 |

**Tab. 2:** Anzahl und Häufigkeit der Wurzelkonfigurationen abhängig von der Topographie der Zähne [17]

Aus Tabelle 2 lässt sich entnehmen, dass die unterschiedlichen Zähne auch eine unterschiedliche Wurzelkonfiguration aufweisen. Im Bereich der Schneidezähne und Canini ist die Einwurzeligkeit kein Nachteil für eine Versorgung mit Zahnersatz. Molaren und Prämolaren mit mehreren Wurzeln haben eine größere Stabilität. Andererseits entsteht eine Problematik, wenn mehrwurzelige Zähne parodontal vorgeschädigt sind und durch fortgeschrittenen Knochenabbau die Bi- oder Trifurkation für Plaque und Keime zugänglich ist.

Diese Bereiche sind schwierig zu reinigen und lassen sich auf Dauer nur mit großem Aufwand und nicht unbedingt effektiv therapieren. Beim obligaten Parodontalbefund wird daher auch der Grad des Befalls der Furkation gemessen.

Man unterteilt den Befall in Furkationsgrade 1 bis 3 [18] :

**Grad 1:** Furkation bis ein Drittel der Kronenbreite eröffnet,

**Grad 2:** Furkation über ein Drittel der Kronenbreite eröffnet,

**Grad 3:** Furkation durchgängig.

Klinisch bewährt wird bei oberen Molaren der mesiale Furkationseingang von mesio-palatinal ertastet, während der distale Furkationseingang sowohl von disto-palatinal als auch von disto-bukkal sondiert werden kann. Die bukkale Furkation oberer Molaren wird von bukkal beurteilt. Die Sondierung der Unterkiefermolaren erfolgt von lingual und bukkal [19] .

### 2.3.6 Wurzellänge

#### **Ausprägungen:**

***mehr als doppelte Kronenhöhe***

***mindestens so lang wie Kronenhöhe***

***kürzer als Kronenhöhe***

Die Länge der Wurzel des Pfeilerzahnes ist nicht per se von entscheidender Bedeutung, sondern das Verhältnis zwischen Zahnkrone, Wurzellänge und geplanter prothetischer Konstruktion. Es gelten die Hebelgesetze zwischen Zahnkrone, Zahnwurzel und verankerter prothetischer Konstruktion (Kraftarm mit einwirkender Kraft). Dreh- oder Unterstützungspunkt des Hebels (Hypomochlion) sind der Pfeilerzahn mit im Knochen verankerter Wurzel, wobei das Maß, mit dem die Wurzel im Knochen befestigt ist (Attachment) neben der absoluten Länge der Zahnwurzel von entscheidender Bedeutung ist. Eine entsprechend lange Wurzel führt zu besserer Stabilität im koronalen Bereich des Zahns oder Aufbaus (in der Regel eine künstliche Krone) mit prothetischem Kraftarm und einwirkender Kraft als eine kurze Wurzel. So lässt sich begründen, warum ein Eckzahn als prothetisch wertvoll eingestuft wird. Eckzähne haben in der Regel lange Wurzeln, also einen günstigen Dreh- oder Unterstützungspunkt des Hebels (Hypomochlion). Außerdem stehen sie in einer strategisch wichtigen oder günstigen Position im Zahnbogen.

Das Kriterium „***kürzer als Kronenhöhe***“ kommt klinisch selten vor. Diese Konfiguration kann sich beispielsweise durch Wurzelspitzenresektion ergeben, wobei das Verhältnis Kraftarm zu Unterstützungspunkt des Hebels eine klinisch unbrauchbare Situation ergibt.

### 2.3.7 Kronenhöhe

#### **Ausprägungen:**

**Höhe > 5 mm, defektfrei**

**Höhe > 5 mm, kleine Füllung oder Karies bzw. Defekt**

**Höhe > 5 mm, erheblich geschädigt, Stift-Stumpf-Aufbau möglich**

**Höhe > 5 mm, erheblich geschädigt, Stift-Stumpf-Aufbau nicht möglich**

**Höhe 3-5 mm, defektfrei**

**Höhe 3-5 mm, kleine Füllung oder Karies bzw. Defekt**

**Höhe 3-5 mm, erheblich geschädigt, Stift-Stumpf-Aufbau möglich**

**Höhe 3-5 mm, erheblich geschädigt, Stift-Stumpf-Aufbau nicht möglich**

**Höhe < 3 mm, Kronenverlängerung auf mindestens 3 mm Kronenhöhe möglich**

**Höhe < 3 mm, Kronenverlängerung auf mindestens 3 mm Kronenhöhe nicht möglich**

**Krone fehlt, Kronenverlängerung auf mindestens 3 mm Kronenhöhe möglich**

**Krone fehlt, Kronenverlängerung auf mindestens 3 mm Kronenhöhe nicht möglich**

Neben der genetisch vorgegebenen Zahnform werden Ausmaß und Höhe der Zahnkrone durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Hartsubstanzverlust durch Karies,
- Trauma,
- Kronenpräparation,
- Bruxismus und
- Anomalien bei Okklusion und Kieferrelation.

Weiter ist entscheidend, ob ein Zahn mit ausgeprägtem Substanzverlust im Kronenbereich durch Therapiemaßnahmen wie Stift-Stumpf-Aufbauten unterschiedlicher Techniken oder chirurgische Kronenverlängerung erhalten und für die prothetische Versorgung restauriert werden kann. Für eine Kronenverankerung ist eine zirkuläre Restsubstanzhöhe von 3mm anerkannt notwendig.

Je länger eine Zahnkrone ist, desto mehr Friktionsfläche steht für die makromechanische Retention der Krone und die mikromechanische Verankerung durch Zement oder Komposit-Klebstoff zur Verfügung.

#### *2.3.8. Knochenabbau / Attachmentloss*

##### ***Ausprägungen:***

***gering 0-15 %***

***deutlich 16-30 %***

***gravierend 31-50 %***

***bedenklich mehr als 50 %***

Der röntgenologisch beurteilbare Knochenabbau lässt Rückschlüsse auf den durch die Parodontitis verursachten Abbau von Hartgewebe zu.

Das *Klinische Attachmentlevel* (CAL) ist definiert als die Distanz zwischen der Schmelz-Zement-Grenze und dem klinisch sondierbaren Sulkusboden. Es setzt

sich somit aus der Taschensondierungstiefe und der eventuell vorhandenen parodontalen Rezession zusammen.

Um die Eingabe zu erleichtern, haben wir uns auf eine prozentuale Angabe des auf dem Orthopantomogramm (OPG) sichtbaren Knochenverlustes festgelegt: Maßgeblich ist hierfür der im OPG sichtbare Knochenverlust in Relation zur Wurzellänge des jeweiligen Zahnes.

Der röntgenologisch beurteilbare Knochenabbau lässt Rückschlüsse auf den durch die Parodontitis verursachten Abbau von Hartgewebe zu.

Das *Klinische Attachmentlevel* (CAL) ist definiert als die Distanz zwischen der Schmelz-Zement-Grenze und dem klinisch sondierbaren Sulkusboden. Das Klinische Attachmentlevel setzt sich somit aus der Taschensondierungstiefe und der eventuell vorhandenen parodontalen Rezession zusammen [18].

### 2.3.9. Wurzelkaries

#### **Ausprägungen:**

**keine**

**kleinflächig bzw. oberflächlich**

**erhebliche Ausdehnung bzw. tief reichend**

Neben der Ausdehnung der Wurzelkaries spielt ihre therapeutische Zugänglichkeit eine entscheidende Rolle. Kleine oberflächliche Läsionen im marginalen Wurzeldrittel, die aufgrund von Knochenverlust und Gingivarezession freiliegen, lassen sich gut therapieren.

Ist die Ausdehnung der Karies oder des Defektes groß aber dennoch mit geeigneter Füllungstechnik bei gutem Zugang therapierbar, muß man mit einer deutlichen Schwächung der betroffenen Wurzel rechnen, da bei Präparation und Füllung viel Zahnhartsubstanz verloren geht. Auch eine adhäsive Füllung ist nicht in der Lage, die für einen prothetischen Pfeiler auf Dauer notwendige Stabilität im

Wurzelbereich zu garantieren, selbst wenn der Substanzverlust ausgeglichen wird.

### 2.3.9. Angulation

#### **Ausprägungen:**

#### **Zahn steht orthograd**

#### **leicht geneigt**

#### **stark geneigt**

Eine mehr oder weniger starke horizontale Neigung des Zahnes kann eine prothetische Versorgung lege artis behindern. Z. B. kann es unmöglich sein, einen geneigten oder gekippten Zahn im Rahmen einer Brücken- oder Doppelkronen-Versorgung so zu beschleifen, daß eine gemeinsame Einschubrichtung entsteht, ohne die Vitalität des Zahnes zu gefährden. Auch einer Modellgußprothese kann ein gekippter Zahn dadurch im Weg stehen, daß eine gemeinsame Einschubrichtung der Pfeilerzähne verhindert wird. Gelingt es dennoch, bei gekippten Pfeilern durch Präparation eine gemeinsame Einschubrichtung für festsitzenden oder bedingt festsitzenden Zahnersatz (z.B. Teleskopkronen) zu erreichen, so werden die auftretenden Kräfte beim Kauen oder bei Parafunktionen nicht in axialer Richtung der Zahnwurzeln abgeleitet. Dieser Umstand der extraaxialen Krafteinleitung wird sich vor allem im parodontal nicht resistenten Gebiß in Form von Zahnlockerung, beschleunigtem horizontalen Knochenabbau und möglicherweise Zahnfrakturen als Komplikationen äußern.

Mesiale und (seltener) distale Kippungen von Zähnen kommen vor allem dann vor, wenn der Zahn unmittelbar an eine Lücke grenzt und der natürliche Nachbarzahn als Stabilisator des Zahnbogens fehlt. Der Zahn neigt sich in die Lücke, wobei der Drehpunkt im Bereich der Wurzelspitze liegt, und verliert seine orthograde Stellung im Zahnbogen. Fehlt der okklusal abstützende Antagonist im Gegenkiefer, wird bei parodontaler Erkrankung dieser Effekt verstärkt auftreten. In der Oberkieferfront beobachten wir eine Neigung der Frontzähne in vestibulä-

rer oder labialer Richtung, wobei („schleichender“) Stützonenverlust, Bruxismus, parodontale Erkrankung und erhöhter Zungendruck dieses Phänomen verursachen oder zumindest begünstigen. Auch ein Missverhältnis zwischen sagittaler Ausdehnung des Unterkiefers und Größe der Zahnkronen wird dazu führen, dass distale endständige Molaren nach mesial (und häufig lingual) geneigt sind, und so eine schwierig zu beeinflussende okklusale Störung bei der Mediotrusion des Unterkiefers verursachen. Ein Umstand, der die Planung und Durchführung von Zahnersatz erschweren kann.

### *2.3.11. Elongation*

#### ***Ausprägungen:***

***Zahn steht in der Kauebene,***

***ist leicht elongiert,***

***ist stark elongiert (ohne Alveolarfach), Vitalitäts-Erhalt ist möglich,***

***ist stark elongiert (ohne Alveolarfach), Vitalitäts-Erhalt ist nicht möglich, endodontische Behandlung („Endo“ im Folgenden) ist möglich, Kronenhöhe  $\geq 3$  mm,***

***ist stark elongiert (ohne Alveolarfach), Vitalitäts-Erhalt ist nicht möglich, Endo ist möglich, Kronenhöhe  $< 3$  mm,***

***ist stark elongiert (ohne Alveolarfach), Vitalitäts-Erhalt ist nicht möglich, Endo ist nicht möglich,***

***ist stark elongiert (mit Alveolarfach), Vitalitäts-Erhalt ist möglich, Kronenhöhe  $\geq 3$  mm,***

***ist stark elongiert (mit Alveolarfach), Vitalitäts-Erhalt ist möglich, Kronenhöhe  $< 3$  mm, chirurgische Kronenverlängerung („KV“ im Folgenden) ist möglich,***

***ist stark elongiert (mit Alveolarfach), Vitalitäts-Erhalt ist möglich, Kronenhöhe < 3 mm, KV ist nicht möglich***

***ist stark elongiert (mit Alveolarfach), Vitalitäts-Erhalt ist nicht möglich, Endo ist nicht möglich,***

***ist stark elongiert (mit Alveolarfach), Vitalitäts-Erhalt ist nicht möglich, Endo ist möglich, Kronenhöhe  $\geq 3$  mm,***

***ist stark elongiert (mit Alveolarfach), Vitalitäts-Erhalt ist nicht möglich, Endo ist möglich, Kronenhöhe < 3 mm, KV ist möglich***

***ist stark elongiert (mit Alveolarfach), Vitalitäts-Erhalt ist nicht möglich, Endo ist möglich, Kronenhöhe < 3 mm, KV ist nicht möglich***

Ähnlich wie bei der Neigung der Zähne im vorherigen Befundparameter verhält es sich auch bei der Elongation eines oder mehrerer Zähne. Bei Verlust der antagonistischen okklusalen Abstützung kommt es, vor allem im parodontal nicht resistenten Gebiß, zu vertikalem Herauswandern des Zahnes in Richtung der Kauebene, bei dem deren horizontaler Verlauf überschritten werden kann. Um eine gerade Kauebene zu gestalten, müssen diese Zähne gekürzt werden. Ist dies nicht möglich, können therapeutische Maßnahmen wie endodontische Behandlung (Endo) und Kronenverlängerung mit endodontischer Behandlung (KV, Endo) angewandt werden. Dabei ist entscheidend, ob der Zahn ohne den ihn umgebenden Knochen elongiert, oder ob der Alveolarknochen dem Zahn mehr oder weniger folgt.

## **2.4. Bewertung der Befunde**

Zur Auswertung der erhobenen Befunde wurde eine Wissensbasis entwickelt, in der geregelt ist, wie die qualitativen Parameter der Befunde in Bezug auf die daraus folgende Diagnose bewertet werden sollen. Danach wurden für jeden Befund Maluspunkte vergeben, die in der Summation pro Zahn einen Zahnscore ergeben, der schliesslich zur Diagnoseentscheidung Extraktion oder Erhalt des

Zahnes führt. Das bedeutet, dass jeder Zahn für jeden Befund unterschiedlich gewichtete Bewertungen erhält, die über seine Erhaltungswürdigkeit entscheiden.

In Tabelle 1 sind die Maluspunkte entsprechend der Befunde aufgelistet. In der linken Spalte sind die Befunde beschrieben, die mittlere Spalte zeigt die Wahlmöglichkeiten bei der Eingabe in die Maske über die Pop-Up-Menüs. In der rechten Spalte sind die Malus Punkte aufgelistet.

## 2.5. Probandengut

Um feststellen zu können, ob das Expertensystem die Behandlungsrealität möglichst genau erreicht, benötigten wir bereits abgeschlossene reale Patientenfälle, die den Anforderungen entsprechend ausführlich dokumentiert waren.

Notwendig waren:

- Die einzelnen Befunde,
- die prothetische Therapieplanung,
- ihre Durchführung oder die Versorgung mit Zahnersatz
- und die eventuell präprothetischen Extraktionen.

Dazu benötigten wir die einzelnen Befunde einschließlich der ausgeführten prothetischen Therapieplanung und der im Vorfeld zu extrahierenden oder bereits extrahierten Zähne.

Die auf diese Weise versorgten Patientenfälle mit Befund und Planung entstammen dem klinischen Behandlungskurs Prothetik I und II der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Julius-Maximilians-Universität Würzburg. So konnte sichergestellt werden, dass zum einen ein großes Maß an Kontinuität in der Planung und Durchführung von Zahnersatz vorliegt, und zum anderen die größtmögliche Streuung von Zahnersatzarten für die Patienten realisiert wurde.

Studenten der Behandlungskurse befunden ausführlich das Gebiss des Patienten und müssen die prothetische Planung sowohl mit dem jeweiligen Assistenz-

Zahnarzt, der den Kurs betreut, als auch mit den die Kurse leitenden Oberärzten besprechen und abgleichen. In unserem Fall wurden diese Planungen als „Goldstandard“ definiert, der als Grundlage für den Vergleich mit den Entscheidungen des Expertensystems diente. Auf der ersten Entscheidungsebene betraf das die notwendigen Beurteilungen über die Frage nach der Erhaltungswürdigkeit eines Zahnes.



**G.G.** Initialen des Patienten

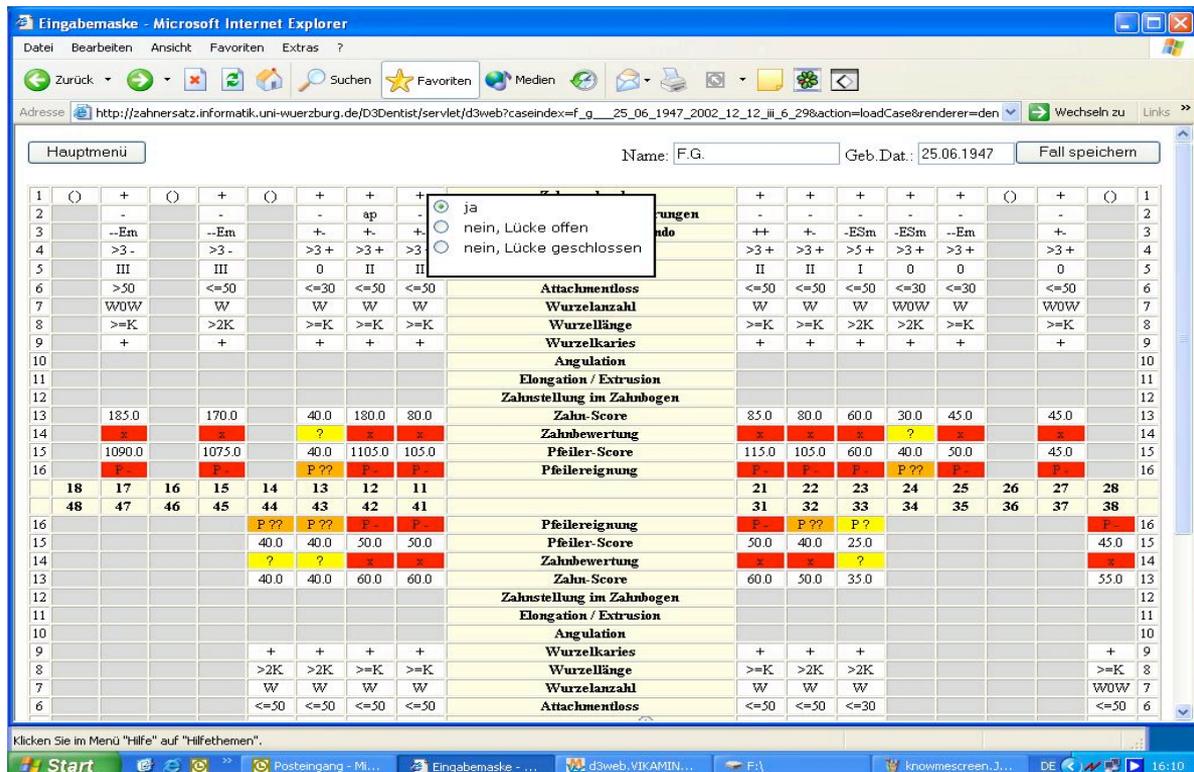
**\*12.10.1926** Geburtsdatum des Patienten

**°2003-6-11°** Eingabedatum des Befundes

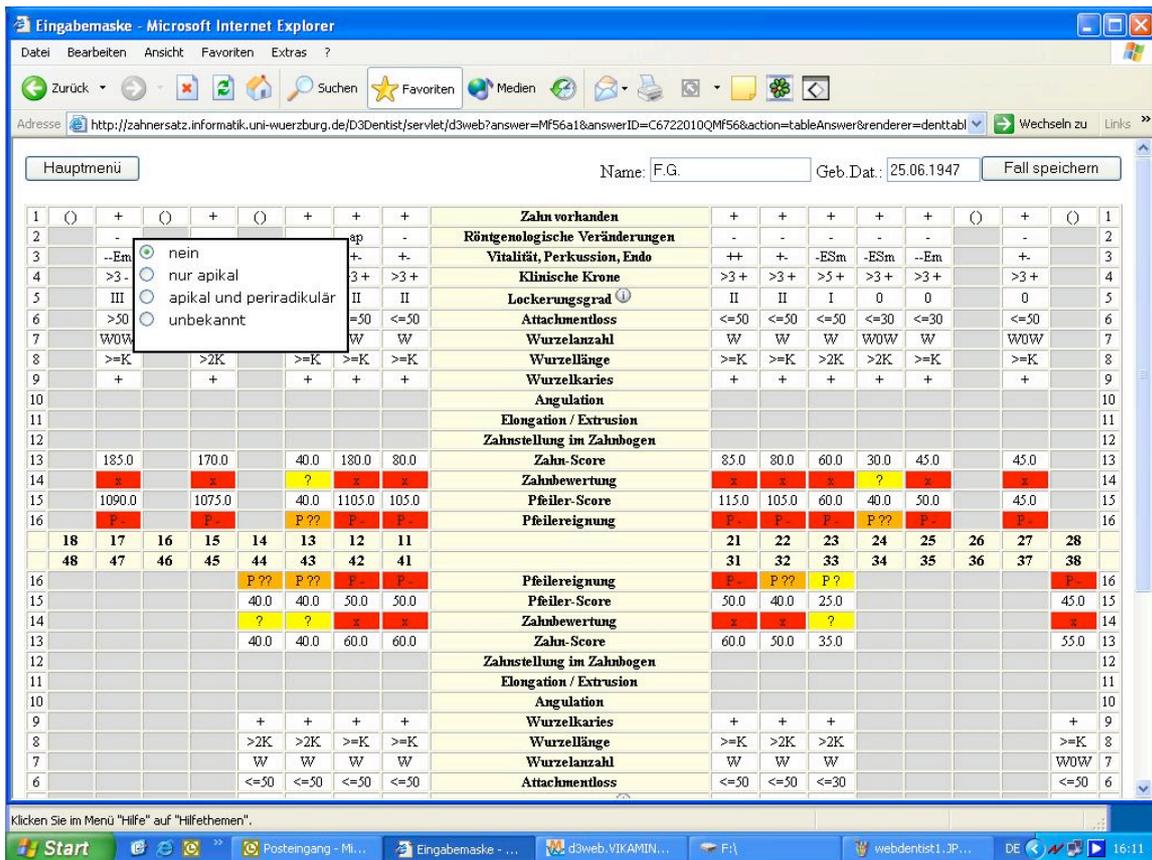
**II\_2°** römische Zahl für den Quadranten und arabische Ziffer für die Position des Zahnes

## 2.7 Erhebungsablauf

Nach abgeschlossener Befundaufnahme werden die Befunde anhand der Datenmaske über einen Java-fähigen Internetbrowser online eingegeben. Zur effektiven und übersichtlichen Eingabe erfolgt die Datenaufnahme mit Hilfe von Pop-Up-Fenstern, in denen die einzelnen Befunde den Auswahlmöglichkeiten wie unter Punkt 3.2 beschrieben zugeordnet werden.



**Abb. 6:** Screenshot Datenmaske mit geöffnetem Pop-Up-Fenster „Zahn vorhanden“



**Abb. 7:** Screenshot Datenmaske mit geöffnetem Pop-Up-Fenster „Röntgenologische Veränderung“

Somit kann die Auswertung der Röntgenbefunde direkt an der Eingabemaske erfolgen. Für die weitere Entwicklung ist eine „Chairside“-Eingabe denkbar (Eingabe unmittelbar an der Behandlungseinheit), die Erhebung und Eingabe der Befunde zeitgleich ermöglicht und somit eine Effektivitätssteigerung (Einsparung von Zeit) und Minimierung von Fehlern bei der Übertragung erwarten lässt. Die Eingabe erfolgt auf Grundlage der in der Wissensbasis verankerten Frage-

stellungen, deren mögliche Antworten in den Pop-Up-Menüs definiert sind. – Zum Abschluss der Eingabe erfolgt eine Datensicherung über den Button „Fall speichern“, womit die Datensätze pro Zahn und patientenbezogen in der Fallbasis als einzelner Fall abgelegt werden.

In der vorgelegten Untersuchung wurden die über die Befundbögen dokumentierten Patientenfälle eingegeben, die bereits im Rahmen der klinischen Behandlungskurse (Zahnärztlichen Prothetik I und II) versorgt wurden.

|   |    |    |    |    |    |    |    |    |                                |    |    |    |   |  |    |   |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------------------------|----|----|----|---|--|----|---|
| 2 |    |    |    | -  | -  | -  |    |    | Röntgenologische Veränderungen |    |    | -  | - |  |    | 2 |
| 1 | () | () | () | +  | +  | +  | () | () | Zahn vorhanden                 | () | () | +  |   |  |    | 1 |
|   |    | EX |    |    | EX | EX |    |    | tatsächliches Ergebnis         | EX |    | aP |   |  |    |   |
|   |    | EX |    |    | EX | EX |    |    | hergeleitetes Ergebnis         | EX |    | aP |   |  |    |   |
|   | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 |                                | 21 | 22 | 23 |   |  | 28 |   |
|   | 48 | 47 | 46 | 45 | 44 | 43 | 42 | 41 |                                | 31 | 32 | 33 |   |  | 38 |   |
|   |    |    |    | EX | EX | aP |    |    | hergeleitetes Ergebnis         |    |    | aP |   |  |    |   |
|   |    |    |    | EX | EX | aP |    |    | tatsächliches Ergebnis         |    |    | aP |   |  |    |   |

- P+
- P?
- aP
- EX
- IN
- keine Diagnose

**Abb. 8:** Ergebnisfeld mit Auswahl des Pop-Up-Menüs zur Aufnahme der tatsächlichen Diagnose

Wie in Abb. 8 zu sehen ist, werden zur Auswertung die tatsächlichen Diagnosen des realen Behandlungsergebnisses durch den Zahnarzt aufgenommen und eingegeben, um diese dann mit dem hergeleiteten Ergebnis der Expertensoftware zu vergleichen.

### 3. Ergebnisse

Im Folgenden sind die Ergebnisse nach Aufnahme der Befunddaten von 58 untersuchten Patienten wiedergegeben.

#### 3.1 Probandengut

Insgesamt wurden 1856 Zähne als Fälle (Cases) in die Fallbasis eingegeben, von denen in 822 Fällen die Zähne vorhanden waren und daher auch vom System bewertet wurden, so dass die Auswertung auf die Fälle der vorhandenen Zähne begrenzt wurde. Das Durchschnittsalter aller Patienten lag zum Zeitpunkt der Datenerhebung bei 62,4 Jahren.

#### 3.2 Überblick über die Basisdaten

Betrachtet wurden 822 der 1856 Fälle (=Zähne), bei denen jeweils die Frage "Zahn vorhanden" mit "ja" beantwortet war. Die Fälle sind nach der Position 1- 8 des Zahnes segmentiert. Die Spalte "ALL" gibt die Gesamtanzahl der Fälle im entsprechenden Segment an. Dabei sind die "TP" (true positives), die Fälle, bei denen Benutzer- und Systemdiagnose übereinstimmen.

| Position | Diagnose        | Cases | Cases% | TP (true pos) | TP%   | FP(false pos) | FP%   | FN(false neg) | FN%   |
|----------|-----------------|-------|--------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
| 1        | ALL             | 137   | 100,00 | 109           | 79,56 | 28            | 20,44 | 28            | 20,44 |
| 1        | IN;;;grey(P_In) | 97    | 100,00 | 69            | 71,13 | 2             | 2,06  | 26            | 26,80 |
| 1        | EX;;;red(P63)   | 68    | 100,00 | 40            | 58,82 | 26            | 38,24 | 2             | 2,94  |
| 2        | ALL             | 140   | 100,00 | 114           | 81,43 | 26            | 18,57 | 26            | 18,57 |
| 2        | IN;;;grey(P_In) | 101   | 72,14  | 75            | 74,26 | 7             | 6,93  | 19            | 18,81 |
| 2        | EX;;;red(P63)   | 65    | 46,43  | 39            | 60,00 | 19            | 29,23 | 7             | 10,77 |
| 3        | ALL             | 183   | 100,00 | 160           | 87,43 | 23            | 12,57 | 23            | 12,57 |
| 3        | IN;;;grey(P_In) | 160   | 87,43  | 137           | 85,63 | 0             | 0,00  | 23            | 14,37 |
| 3        | EX;;;red(P63)   | 46    | 25,14  | 23            | 50,00 | 23            | 50,00 | 0             | 0,00  |
| 4        | ALL             | 127   | 100,00 | 107           | 84,25 | 20            | 15,75 | 20            | 15,75 |
| 4        | IN;;;grey(P_In) | 95    | 74,80  | 75            | 78,95 | 3             | 3,16  | 17            | 17,89 |
| 4        | EX;;;red(P63)   | 52    | 40,94  | 32            | 61,54 | 17            | 32,69 | 3             | 5,77  |
| 5        | ALL             | 90    | 100,00 | 79            | 87,78 | 11            | 12,22 | 11            | 12,22 |
| 5        | IN;;;grey(P_In) | 60    | 66,67  | 49            | 81,67 | 2             | 3,33  | 9             | 15,00 |
| 5        | EX;;;red(P63)   | 41    | 45,56  | 30            | 73,17 | 9             | 21,95 | 2             | 4,88  |
| 6        | ALL             | 42    | 100,00 | 39            | 92,86 | 3             | 7,14  | 3             | 7,14  |
| 6        | IN;;;grey(P_In) | 25    | 59,52  | 22            | 88,00 | 1             | 4,00  | 2             | 8,00  |
| 6        | EX;;;red(P63)   | 20    | 47,62  | 17            | 85,00 | 2             | 10,00 | 1             | 5,00  |
| 7        | ALL             | 78    | 100,00 | 64            | 82,05 | 14            | 17,95 | 14            | 17,95 |
| 7        | IN;;;grey(P_In) | 43    | 55,13  | 29            | 67,44 | 4             | 9,30  | 10            | 23,26 |
| 7        | EX;;;red(P63)   | 49    | 62,82  | 35            | 71,43 | 10            | 20,41 | 4             | 8,16  |
| 8        | ALL             | 25    | 100,00 | 19            | 76,00 | 6             | 24,00 | 6             | 24,00 |
| 8        | IN;;;grey(P_In) | 17    | 68,00  | 11            | 64,71 | 4             | 23,53 | 2             | 11,76 |
| 8        | EX;;;red(P63)   | 14    | 56,00  | 8             | 57,14 | 2             | 14,29 | 4             | 28,57 |
| Gesamt   | all             | 822   |        | 691           | 84,06 |               |       |               |       |

**Tab. 4:** Übersicht der ersten Auswertung *ohne* Anpassung der Wissensbasis

Nach Anpassung der Wissensbasis erfolgte eine erneute Auswertung. Dabei wurden nur noch 777 der 1811 möglichen Fälle betrachtet, bei denen jeweils die Frage "Zahn vorhanden" mit "ja" beantwortet war. Die jetzt nicht mehr ausgewerteten Fälle beschreiben Zähne, die aus übergeordneten Gründen aus der Wissensbasis entfernt wurden.

Betrachtet wurden dabei 777 der 1811 Fälle. Die Fälle sind nach der "Position" des Zahns segmentiert. Die Spalte "ALL" gibt die Gesamtanzahl der Fälle im entsprechenden Segment an. Dabei sind die "TP" (true positives), die Fälle bei denen die Benutzer- und Systemdiagnose übereinstimmen.

In der Spalte "ALL" sind die FP (falsch positives) und FN (falsch negatives), also alle Nichtübereinstimmungen, gleich, weil bei falsch gelösten Fällen unter Berücksichtigung zweier Diagnosen, FP und FN symmetrisch bezüglich Benutzer und Systemdiagnose sind, wenn die Fälle jeweils nur eine Diagnose haben. Das heißt, dass auf die Diagnose „EX“ bezogen, bei Nichtübereinstimmung der Benutzer- und Systemdiagnose entweder das System zu sensibel oder nicht sensibel genug bewertet hat. Falsch positiv würde eine zu sensible Bewertung und Falsch negativ eine nicht ausreichend sensible Bewertung bedeuten. Falsch negativ bedeutet also, dass ein Zahn vom System nicht mit der Diagnose „EX“ belegt wurde, obwohl er die Benutzerdiagnose „EX“ trägt und als zu extrahieren an zu sehen ist. Umgekehrt bedeutet Falsch positiv, dass ein laut Benutzerdiagnose zu erhaltender Zahn vom System mit der Diagnose „EX“ belegt wurde und so als zu extrahierender Zahn eingestuft wurde. Für die Auswertung in dieser ersten Ebene ist dies nicht relevant und deshalb sind diese Parameter symmetrisch. Die relativen Angaben der "Fälle pro Diagnose" (Cases bei den Diagnosen) sind bezüglich der Gesamtfallanzahl im Segment normiert. Die anderen relativen Angaben (z.B. TP%) sind dann für die Gesamtzahl der betroffenen Fälle normiert, also zeilenweise.

| D               | Cases | Cases% | TP  | TP%   | FP | FP%  | FN | FN%  |
|-----------------|-------|--------|-----|-------|----|------|----|------|
| ALL             | 777   | 100,00 | 736 | 94,72 | 41 | 5,28 | 41 | 5,28 |
| EX:::red(P63)   | 262   | 33,72  | 221 | 84,35 | 19 | 7,25 | 22 | 8,40 |
| IN:::grey(P_In) | 556   | 71,56  | 515 | 92,63 | 22 | 3,96 | 19 | 3,42 |

| Position | D               | Cases | Cases% | TP (true posit) | TP%    | FP (false posit) | FP%   | FN (false neg) | FN%   |
|----------|-----------------|-------|--------|-----------------|--------|------------------|-------|----------------|-------|
| 1        | ALL             | 133   | 100,00 | 126             | 94,74  | 7                | 5,26  | 7              | 5,26  |
| 1        | EX:::red(P63)   | 45    | 33,83  | 38              | 84,44  | 1                | 2,22  | 6              | 13,33 |
| 1        | IN:::grey(P_In) | 95    | 71,43  | 88              | 92,63  | 6                | 6,32  | 1              | 1,05  |
| 2        | ALL             | 129   | 100,00 | 123             | 95,35  | 6                | 4,65  | 6              | 4,65  |
| 2        | EX:::red(P63)   | 47    | 36,43  | 41              | 87,23  | 3                | 6,38  | 3              | 6,38  |
| 2        | IN:::grey(P_In) | 88    | 68,22  | 82              | 93,18  | 3                | 3,41  | 3              | 3,41  |
| 3        | ALL             | 178   | 100,00 | 170             | 95,51  | 8                | 4,49  | 8              | 4,49  |
| 3        | EX:::red(P63)   | 31    | 17,42  | 23              | 74,19  | 3                | 9,68  | 5              | 16,13 |
| 3        | IN:::grey(P_In) | 155   | 87,08  | 147             | 94,84  | 5                | 3,23  | 3              | 1,94  |
| 4        | ALL             | 120   | 100,00 | 118             | 98,33  | 2                | 1,67  | 2              | 1,67  |
| 4        | EX:::red(P63)   | 36    | 30,00  | 34              | 94,44  | 1                | 2,78  | 1              | 2,78  |
| 4        | IN:::grey(P_In) | 86    | 71,67  | 84              | 97,67  | 1                | 1,16  | 1              | 1,16  |
| 5        | ALL             | 86    | 100,00 | 78              | 90,70  | 8                | 9,30  | 8              | 9,30  |
| 5        | EX:::red(P63)   | 35    | 40,70  | 27              | 77,14  | 4                | 11,43 | 4              | 11,43 |
| 5        | IN:::grey(P_In) | 59    | 68,60  | 51              | 86,44  | 4                | 6,78  | 4              | 6,78  |
| 6        | ALL             | 41    | 100,00 | 39              | 95,12  | 2                | 4,88  | 2              | 4,88  |
| 6        | EX:::red(P63)   | 18    | 43,90  | 16              | 88,89  | 1                | 5,56  | 1              | 5,56  |
| 6        | IN:::grey(P_In) | 25    | 60,98  | 23              | 92,00  | 1                | 4,00  | 1              | 4,00  |
| 7        | ALL             | 71    | 100,00 | 63              | 88,73  | 8                | 11,27 | 8              | 11,27 |
| 7        | EX:::red(P63)   | 42    | 59,15  | 34              | 80,95  | 6                | 14,29 | 2              | 4,76  |
| 7        | IN:::grey(P_In) | 37    | 52,11  | 29              | 78,38  | 2                | 5,41  | 6              | 16,22 |
| 8        | ALL             | 19    | 100,00 | 19              | 100,00 | 0                | 0,00  | 0              | 0,00  |
| 8        | EX:::red(P63)   | 8     | 42,11  | 8               | 100,00 | 0                | 0,00  | 0              | 0,00  |

**Tab. 5:** Übersicht der Auswertung *nach* Anpassung der Wissensbasis

### 3.3 Auswertungsverfahren

Für die Auswertung der Fälle und die Modifikation der Wissensbasis wurde das d3-Tool „KnowMe“ verwendet. Mit Hilfe dieser Software konnten anhand von Subgruppenanalysen Fehlerkombinationen in der Bewertung der Befunde durch die Wissensbasis herausgefiltert werden. Dadurch konnten die formulierten Regeln vor allem bei Grenzfällen auf Ihre Richtigkeit und Gültigkeit überprüft werden. Gleichzeitig konnte über einen software-immanenten Dialog („Regeleditor“) die Wissensbasis durch Änderungen der Regeln und Punktwerte oder durch Hinzufügen neuer Regeln verändert werden, um fehlerhafte Bewertungen zu korrigieren.



gel zu viele oder zu wenige Punkte zum Zahnscore hinzufügt und so die Übereinstimmung verhindert. In der Mitte zeigt das linke Fenster die aktuell betrachtete Subgruppe und deren Befundattribute. Rechts daneben lässt sich eine kurze Auswertung in tabellarischer Form anzeigen. In der Mitte, ganz rechts, wird die Fehlerstatistik über eine Vierfeldertafel ausgegeben. Das oberste Fenster zeigt die selektierten Subgruppen, die aus dem Fenster der aktuellen Subgruppen importiert wurden und zur näheren Analyse auf spezielle Fehlerverteilungen dienen.

Es folgt eine Kurzanleitung zur Subgruppenanalyse:

1. Wissensbasis laden (Datei -> Laden)
2. Fallbasis laden (im Tab "Fallverwaltung" - unter der Toolbar)  
-> Tab anwählen, äußerst linkes Icon - Fälle importieren
3. VIKAMINE Sitzung laden (Projekt -> VIKAMINE Sitzung laden)
4. Falls die "Subgruppen Analyse Ansicht" gerade nicht aktiv ist, diese anwählen (Ansicht -> Subgruppen Analyse)
5. Im "Zoomtable" (Ansicht ganz unten, rechts "Überblick") sind verschiedene Attribute und ihre Verteilungen dargestellt.  
Eine Zielvariable auswählen (z.B. EX;;;red), und per Kontextmenu als Zielvariable setzen (EX;;;red=EX;;;red)
6. Fehleranalyse:  
Im Panel "Aktuelle Subgruppe" (Mitte) per Rechtsklick auf EX;;;red=EX;;;red -> Kontextmenu -> Fehleranalyse auswählen
7. Bei den Fehleranalyseoptionen die entsprechenden Optionen bestätigen.
8. Subgruppen Analyse:  
a) Interaktiv - durch Auswahl entsprechender Werte im Zoomtable; dadurch wird die aktuelle Subgruppe der falsch gelösten Fälle

(grün) eingeschränkt, z.B. durch Auswahl von

"Lockerungsgrad=Grad II"

b) Automatisch: dazu in der Toolbar den "Play" Button drücken, oder im Menü (Subgruppe -> Subgruppen Entdeckung).

Bei der automatischen Suche sollte(n) die andere(n) Diagnose(n) deaktiviert werden (Zoomtable, 2. Spalte nach dem Namen, Checkbox abwählen). Also z.B. bei IN;;;grey: die Checkbox nach dem Namen ausschalten; dann wird diese Diagnose für die Suche nicht beachtet.

9. Fehleranalyse-Zusammenfassung: in der Toolbar auf "das rote X"

klicken, dann erscheint im mittleren Panel, neben "Aktuelle Subgruppe" ein neuer Reiter "Fehleranalyse" - mit einer Zusammenfassung auf der aktuellen Population.

Subgruppen, die durch "Hinzufügen zu Interessante Subgruppen" in der "Interessante Subgruppen"-Tabelle aufgenommen sind, werden hier aufgelistet.

10. Ändern der Regelbewertungen und Neuanalyse der Fälle:

a) Die Regeln werden im Regeleditor angezeigt (Öffnen mit Ansicht -> Beziehungen); durch Klick auf ein Wissensbasisobjekt im Baum links (Attribut Navigator) werden die dazugehörigen Regeln geöffnet.

b) Nach dem Ändern der Bewertungen ("Übernehmen" Button nicht vergessen), werden die Fälle durch einen Druck auf den Button rechts neben dem "Fehleranalyse" - Button in der Toolbar ("Fallbasis neu durchspielen") neu durchgespielt, die Ansichten aktualisiert, und

es geht z.B. bei Schritt 6 weiter.

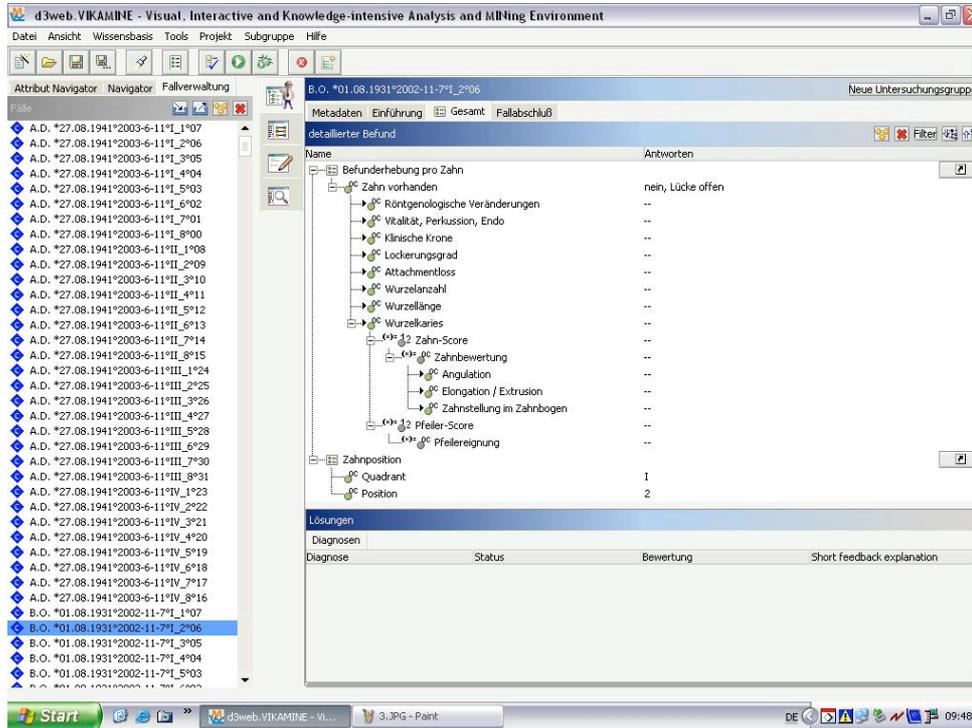


Abb. 10 „KNOWME“-Screen bei geöffneter Befundübersicht für einen Fall

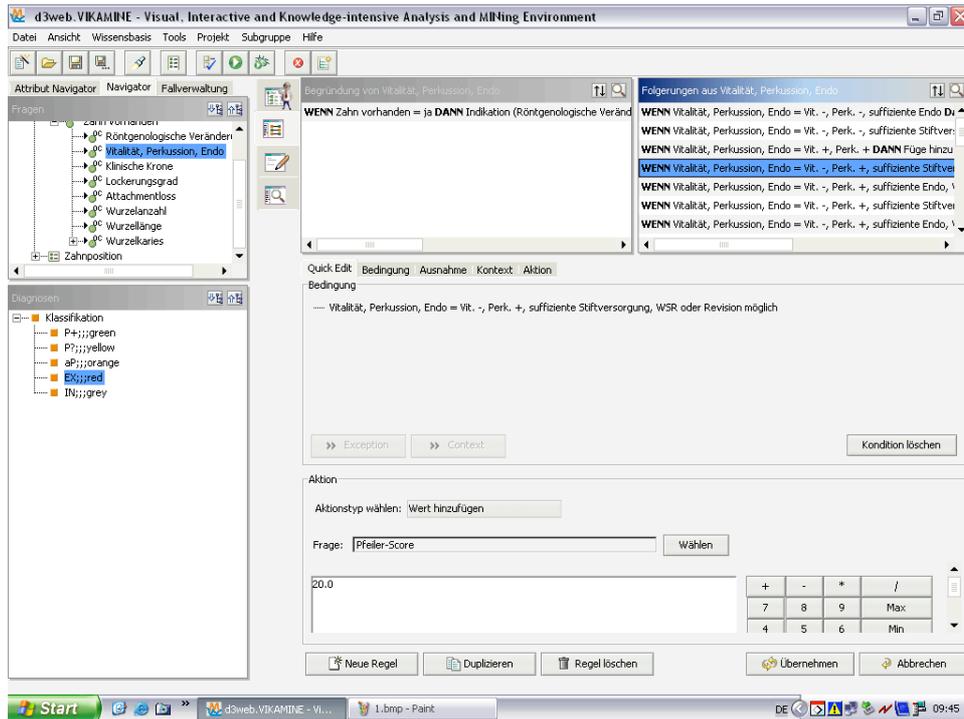


Abb. 11 „KNOWME“-Screen Regeleditor für Vitalität, Perkussion, Endo

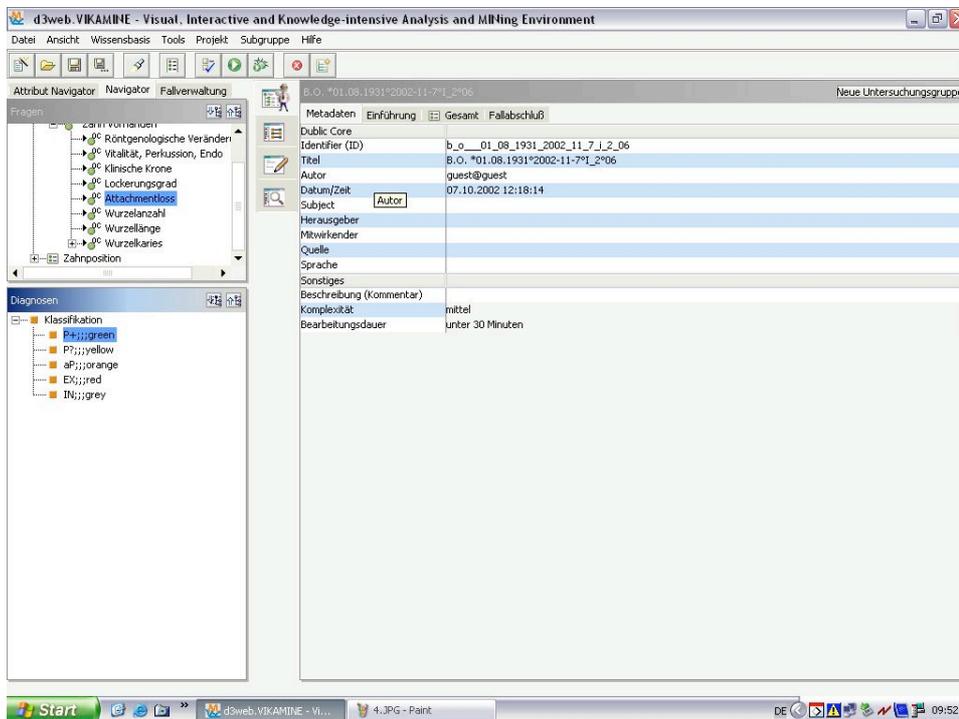


Abb. 12 „KNOWME“-Screen, rechts Übersicht Metadaten einzelner Fall (Zahn)

## **4. Diskussion**

### **4.1 Probandengut**

Die ausgewählten Patienten stellten die bestmögliche Testsituation für das ausschließlich experimentell entwickelte Expertensystem dar, dessen Wissensbasis auf der Grundlage zahnärztlicher Erfahrung konstruiert worden war. Die große Varianz und Zahl der entsprechend ausführlich dokumentierten Behandlungsfälle aus den Klinischen Behandlungskursen ergaben die Möglichkeit einer sehr breiten Fächerung der Testuntersuchung des Systems, das in seiner endgültigen Anwendung auch allen Planungssituationen gewachsen sein muss.

Experimentell immanenter Schwachpunkt ist der Aspekt, dass die Wissensbasis auf Grundlage der gleichen Lehrmeinung entwickelt wurde, die auch für die Studenten und Zahnärzte in den Behandlungskursen gültig ist.

### **4.2 Untersuchungsmethoden**

Wenn neue Befund- oder Diagnosesysteme auf ihre Sensitivität überprüft werden, so werden in der Regel sogenannte Goldstandards hinzugezogen. Diese sind bewährte Verfahren oder Instrumente, die bisher mit hoher Genauigkeit und Erfolg für die zu prüfende Diagnose benutzt wurden. Zum Beispiel wird zur Überprüfung eines möglichen neuen Kariesdiagnoseverfahrens die Bissflügel-Röntgenaufnahme als Goldstandard hinzugezogen, weil sie derzeit die bevorzugte Methode mit hoher Genauigkeit bei der Diagnose von Karies – vor allem im approximalen Zahnbereich – ist.

In unserem Fall wurde die Behandlerentscheidung aus den klinischen Kursen als Goldstandard betrachtet und dann rückwirkend mit der hergeleiteten Entscheidung des Systems verglichen. Ziel war es, eine möglichst hohe Zahl von Übereinstimmungen zu erreichen. Darum wurde die Wissensbasis nach Abschluss der Datenaufnahme und einer ersten Auswertung (siehe Tab 4.) weiterentwickelt. Über interaktive Subgruppenanalysen wurden die Regeln in der Wissensbasis verändert, verfeinert und zusätzliche Regeln aufgestellt, um die Sensitivität zu steigern.

Die zweite Auswertung (siehe Tab 5.) zeigt eine deutliche Verbesserung der Übereinstimmungen von mehr als 10 Prozent zur ersten Auswertung. Das belegt, dass eine Anpassung der primär erstellten Wissensbasis erforderlich war, um die Sensitivität des Systems zu optimieren.

### 4.3 Ergebnisse

Bei der ersten Auswertung vor Adaptation der Wissensbasis fallen vor allem die niedrigen Übereinstimmungswerte („TP“) bei Position 2 und 3 in Bezug auf die Diagnose „Ex“ auf. Diese waren zunächst überraschend, lassen sich aber damit erklären, dass vor allem die Positionen der Eckzähne 13 - 43 als prothetisch wichtige Pfeiler von allen Behandlern bezüglich einer möglichen Extraktion kritischer bewertet wurde als alle übrigen Zahn-Positionen. Ähnlich verhält es sich mit Position 2, nur dass hier die Extraktion großzügiger in Kauf genommen wird, da unter ästhetischen Gesichtspunkten ein Erhalt des lateralen Schneidezahns oft Schwierigkeiten für die prothetische Versorgung mit sich bringt. –

In der Auswertung lässt sich jeweils nicht erkennen, ob eine Nichtübereinstimmung der Benutzerdiagnose mit der hergeleiteten Systemdiagnose in Richtung Erhalt oder Extraktion eines Zahnes verlief. Das bedeutet, dass vom System extraktionswürdig eingestufte Zähne an Position 3 oft von den Behandlern erhalten wurden, um die strategisch wichtige Stellung im Zahnbogen zu nutzen. Dagegen wurden laterale Schneidezähne im Oberkiefer an Position 12 und 22 oft extrahiert, obwohl deren Zahnscore knapp unterhalb des Grenzwertes lag. Der Erhalt dieser Zähne hätte in der Folge allerdings Probleme verursacht.

Dies zeigt die wesentliche Problematik bei der Implementierung eines solchen Systems. Oft ist eine Entscheidung des Zahnarztes auch gegen die Befunde möglich. Es ist nicht möglich, diesen Umstand in ein solches System zu integrieren. Es zeigt aber auch, dass die Entscheidung für oder gegen den Erhalt eines Zahnes bei einer Gesamtplanung von Zahnersatz nicht nur von den erhobenen Befunden, sondern auch von weiteren Faktoren abhängig ist. Dies können Planungsaspekte, wie schwierige (z.B. parodontale) Prognosen oder ungünstige Verteilung der Restzähne, ästhetische Aspekte oder finanzielle Erwägungen sein.

Dennoch zeigt bereits die erste Auswertung ohne eine Anpassung der Wissensbasis gute Übereinstimmungswerte zwischen Benutzerdiagnose und der hergeleiteten Diagnose des Systems. Ein Grund dafür liegt darin, dass die untersuchten Patienten in derselben Klinik behandelt wurden, in der die Zahnärzte tätig sind,

die die Wissensbasis konstruiert haben. Sie sind also von der gleichen Lehrmeinung beeinflusst und bewerten die Befunde ähnlich.

Ohne Zweifel muß im weiteren Studienverlauf geprüft werden, wie Zahnärzte und Studenten aus anderen Universitätskliniken die aufgenommenen Befunde bewerten und zu welchen Planungsergebnissen sie führen.

Eine signifikante Verbesserung der Übereinstimmungen von Benutzerdiagnose und Systemdiagnose von mehr als 10 % wurde bei der Gesamtzahl aller befundeten Zähne beobachtet. Die Adaptation der Wissensbasis mit Hilfe der interaktiven Subgruppenanalyse führte zu einer deutlichen Verbesserung der Übereinstimmungswerte und somit zur Verbesserung der Funktion des Expertensystems „3DWebDentist“.

Bei dieser Subgruppenanalyse standen vor allem die befundeten Zähne im Mittelpunkt, deren Zahnscore im Grenzbereich zwischen Erhalt und Extraktion lagen. Auch die oben beschriebenen Werte für die strategisch wichtigen Zähne an den Eckzahnpositionen 13 - 43 haben sich durch Änderung der Bewertungsregeln signifikant um mehr als 8 % („TP“) verbessert.

Bei den lateralen Schneidezähnen 12 und 22 fiel die Verbesserung mit 14% („TP“) noch deutlicher aus. Im Wesentlichen bestand die Modifikation der Regeln darin, herauszufinden welche Befunde sich gegenseitig abschwächen oder potenzieren. Dadurch wurde der Grenzwert bei einem Zahnscore von 45 Punkten zu spät oder zu früh überschritten. Um dies zu vermeiden, mussten neue Regeln erstellt werden, die beispielsweise durch Punktabzug oder Ausschluss der Regelanwendung keine Potenzierung der Punkte zulassen. Ebenfalls wurde bei einigen Regeln die Höhe der Punktvergabe nach oben oder unten korrigiert.

Um das Expertensystem weiter zu testen und die Entwicklung der nächsten Entscheidungsebenen voran zu treiben, ist es notwendig, die Zahl der Patientenfälle und somit die Anzahl der befundeten Zähne deutlich zu erhöhen.

## 5. Zusammenfassung

Die bisherigen Anwendungen von Expertensystemen in der Medizin haben gezeigt, dass es möglich ist, aus Befunden eindeutige Diagnosen herzuleiten. Dadurch können solche Systeme sowohl zu tutoriellen Zwecken im Rahmen der Ausbildung als auch zur diagnostisch-therapeutischen Unterstützung im medizinisch-praktischen Arbeitsablauf genutzt werden.

Im Bereich der Zahnheilkunde und besonders der Zahnärztlichen Prothetik, wo die Entwicklung seit ca. ¼ Jahrhundert zunehmend von der empirischen Therapie hin zu einer wissenschaftlichen, auf retrospektiven und prospektiven klinischen Langzeitstudien sowie in-vitro-Untersuchungen basierenden Therapie drängt, liegt die Entwicklung und Weitergestaltung entsprechender Expertensysteme ebenso auf der Hand.

Die Ergebnisse vorliegender Studie zu einem ersten Expertensystem in der Zahnärztlichen Prothetik zeigen sehr gute Übereinstimmungen, vor allem nach Adaptation der Wissensbasis, so dass auf einer ersten Stufe eine bestmögliche Anpassung an die reale Situation erreicht werden konnte.

Dennoch bleibt eine entscheidende Abhängigkeit durch den Zahnarzt und seine Ausbildung bei der Therapieentscheidung erhalten. Die Wissensbasis des Systems ist durch die Lehrmeinung der Entwickler beeinflusst und somit nicht zwingend allgemein gültig. Es besteht bei der Bewertung der Befunde ein gewisser Auslegungsspielraum durch den behandelnden Zahnarzt, der bei der Eingabe dieser Befunde über die Auswahlmenüs zum Tragen kommt und therapieentscheidend sein kann.

Es bleibt abzuwarten, ob sich die Varianz der prothetischen Planungen durch solche Systeme im Sinne einer evidenzbasierten Zahnmedizin minimieren lässt.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Supper, R.W., W. *Qualitätsförderung in der zahnärztlichen Therapieplanung.* Deutsch Zahnärztl Z, 60, 78-82 (2005)
2. Bader, J.D.S., Shugars, D.A. *Variations in Dentists' Clinical Decisions.* Public Health Dent, 5, 181-188 (1995)
3. Bader, J.D.S., Shugars, D.A. *Agreement among Dentists' Recommendations for Restorative Treatment.* J Dent Res, 72 , 891-896 (1993)
4. Bader, J.D., et al. *Dentist reliability in classifying disease risk and reason for treatment.* J Public Health Dent, 59, 158-61 (1999)
5. Bader, J.D., Shugars, D.A. *What do we know about how dentists make caries-related treatment decisions?* Community Dent Oral Epidemiol, 25, 97-103 (1997)
6. Bader, J.D., Shugars, D.A. *Variation, treatment outcomes, and practice guidelines in dental practice.* J Dent Educ, 59, 61-95 (1995)
7. Bader, J.D. and Shugars, D.A. *Understanding dentists' restorative treatment decisions.* J Public Health Dent, 52, 102-10 (1992)
8. Bader, H.I. *A vision for the future: diagnostics and recognition.* Dent Today, 14, 44, 46-7 (1995)
9. Micheelis, W.W., Szecsenyi, J. *Zahnärztliche Qualitätszirkel-Grundlagen und Ergebnisse eines Modellversuches.* IDZ Materialienreihe, 18 (1998)
10. Richter, E.-J. *Implantate als zusätzliche strategische Pfeiler bei herausnehmbarem Zahnersatz – Ein Therapiekonzept. Teil 1: Der Ersatz wichtiger fehlender Pfeilerzähne durch Implantate.* Implantologie, 11/1, 39-60 (2003)
11. Richter, E.-J. *Implantate als zusätzliche strategische Pfeiler bei herausnehmbarem Zahnersatz – Ein Therapiekonzept. Teil 2: Der Ersatz wichtiger asensibler Pfeilerzähne durch Implantate.* Implantologie, 11/2, 119-136 (2003)

12. Ziegler, S.S. *15. Tutorial für die Entwicklung von Wissensbasen mit dem Expertensystem Shell-BAukasten D3*. 1998, Hamburg -Harburg: TuTech Technologie GmbH der Technischen Universität Hamburg-Harburg.
13. Betz, C.B., Tony, H.-P., Hörnlein, A., Puppe, F., Schuhmann, M. *Generierung diagnostischer Trainingsfälle aus Arztbriefen*. Rechnergestützte Lehr- und Lernsysteme in der Medizin, Lübeck (2004), Shaker, Aachen (2004)
14. Reimer, S., Kneitz, C., Tony, H.-P., Schewe, S., Hörnlein, A., Puppe, F. *d3web.Train: Erste Evaluationsergebnisse zum Einsatz in der Mediziner- ausbildung an der Medizinischen Poliklinik der Universität Würzburg*. Lübeck (2004) Shaker Aachen (2004)
15. Reinhardt, B., Puppe, F. *Didaktische Aspekte in fallorientierten intelligenten Trainingssystemen*. CBT in der Medizin-Methoden Techniken, Anwendungen, Proc. GMDS-Workshop, Aachen, 157-168 (1997)
16. Peyer, B. *Die Zähne. Ihr Ursprung, ihre Geschichte und ihre Aufgabe*. Springer, Berlin (1963)
17. Schumacher, G.-H. *Anatomie: Lehrbuch und Atlas*. Leipzig-Heidelberg, Barth (1991)
18. Lindhe, J. *Klinische Parodontologie*. Thieme, Stuttgart (1968)
19. Lang, D.E. *Checkliste zahnärztliche Behandlungsplanung*. Thieme, Stuttgart (1988)

## Lebenslauf

Name: Joachim Hemsing  
Adresse: Zedernstrasse 22, 52525 Heinsberg  
Geburtsort: Erkelenz  
Geboren am: 26.12.1975

1982-1986 GGS Hückelhoven

1986-1995 Gymnasium der Stadt Hückelhoven

1995      Abitur

1995-1996 Zivildienst

1996-2002 Studium der Zahnheilkunde an der Julius-Maximilians-  
Universität Würzburg

2002      Examen

2003-2007 Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Poliklinik für  
Zahnärztliche Prothetik der Universität Würzburg

2008      Niedergelassen als Zahnarzt in eigener Praxis

## **Danksagung**

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dipl.-Ing. Ernst-Jürgen Richter für die Überlassung des Themas, die Anregungen und die Unterstützung im Verlauf der Studie.

Bedanken möchte ich mich bei den Mitarbeitern des Lehrstuhls für angewandte Informatik VI der Universität Würzburg, im speziellen bei Herrn Dr. Martin Atzmüller und Herrn Prof. Dr. E. Puppe.

Herrn Prof. Dr.-Ing. B. Klaiber danke ich für die Übernahme des Korreferates.

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. Thomas Holste für die Durchsicht und Korrektur der Arbeit.

Ein Besonderer Dank gilt meiner Frau Anne für die Unterstützung in all den Jahren und meinen Eltern für die Möglichkeit des Studiums und deren Unterstützung dabei.