

E. Schneider<sup>1</sup>, G. Wahl<sup>2</sup>

# Röntgenologische Analyse experimentell erzeugter implantatnaher Läsionen im humanen Kieferknochen – ein In-vitro-Modell

## *Radiographic detection of artificial bone lesions adjacent to dental implants in human jaw – an in-vitro study model*

**Einführung:** Das Ziel der vorliegenden Studie war es, die diagnostische Aussagekraft konventioneller intraoraler Zahnfilm-aufnahmen in Bezug auf implantatnahe Läsionen des humanen Kieferknochens zu überprüfen. Des Weiteren sollten Faktoren beschrieben und untersucht werden, welche die Erkennbarkeit oben genannter Läsionen beeinflussen.

**Material und Methoden:** Neunzehn Kieferknochensegmente aus Ober- oder Unterkiefer wurden mit jeweils einem dentalen Implantat versorgt und die Situation mit einer orthoradialen und einer exzentrischen Zahnfilm-aufnahme dokumentiert. Anschließend wurden von oral und auch vestibulär (jeweils n = 9) verschieden große implantatnahe Knochen-defekte präpariert. Jeder Defekt wurde nach der Anfertigung eines orthoradialen und eines exzentrischen Zahnfilm-es mit Bohrern aufsteigender Größe erweitert, sodass von jedem einzelnen Segment am Ende 20 Zahnfilme vorlagen. Diese wurden von 6 Untersuchern mit unterschiedlich langer diagnostischer Erfahrung begutachtet. Die Betrachter sollten die Zahnfilme auf die mögliche Erkennbarkeit implantatnaher Defekte hin analysieren. Die Ergebnisse wurden dokumentiert und auf deren Grundlage ein mathematisches Vorhersagemodell für die Erkennbarkeit implantatnaher Knochen-defekte erstellt.

**Ergebnisse:** Das Modell zeigte, dass Defekte besser erkannt wurden, wenn diese oral des Implantats lagen, im Oberkiefer lokalisiert waren und auf einem exzentrischen Zahnfilm abgebildet waren. In der Kombination dieser Parameter lag der Mindestdurchmesser für einen Defekt, der von allen Betrachtern erkannt wurde, bei 4,5 mm im Ober- und 5 mm im Unterkiefer, bei einem Durchmesser von 1,8 mm diagnostizierte die Hälfte der Betrachter den Defekt.

**Schlussfolgerungen:** Die Ergebnisse der vorliegenden Studie legen nahe, dass im Recall bei Implantatpatienten neben der klinischen und standardisierten radiologischen Diagnos-

**Introduction:** The aim of this study was to evaluate the diagnostic efficacy of conventional intraoral radiographs for detection of bone lesions adjacent to dental implants in an ex-vivo model. Furthermore, the authors aimed to characterize additional factors influencing their detectability.

**Materials and Methods:** In 19 human cadaver bloc sections from upper and lower jaws provided with implants, artificial defects with progressively increasing size (n = 9) were created. Two analogue intraoral radiographs were taken of each defect (orthoradial and oblique technique). Six investigators were asked to decide on the presence of a bony lesion on 380 randomly presented radiographs. Linear regression analysis was performed to evaluate data.

**Results:** The minimum size of a defect, which was detected by almost 50 percent of the observers, was 1.8 mm in diameter. The radiographic detection correlated with an increasing size of the defect and was more frequent when the intraoral radiograph was taken with the oblique technique. In addition, the defect's location (oral or buccal side of the implant) and the bone structure (maxilla or mandible) were of major concern. There was a significantly higher rate of detection for bone lesions in the maxilla and if the defect was near to the intraoral x-ray film.

**Discussion:** If there is a reasonable suspicion for bone lesions near implants, which are not visible in standard periapical films, an additional x-ray taken with the oblique technique can provide further information. For the visualization of very small defects different imaging methods may be considered.

*Keywords:* dental implant maintenance; bone lesions; radiographic diagnosis, dental implants

<sup>1</sup> Poliklinik für Parodontologie, Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universitätsklinikum Bonn

<sup>2</sup> Direktor der Poliklinik für Chirurgische Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universitätsklinikum Bonn

<sup>1</sup> Department of Periodontology, Operative and Preventive Dentistry, University Hospital Bonn, Bonn, Germany

<sup>2</sup> Head of Department, Department of Oral Surgery, University Hospital Bonn, Bonn, Germany

Übersetzung: LinguaDent

tik zusätzliche exzentrische Röntgenaufnahmen zur Darstellung ossärer Defekte erforderlich sein können. Darstellung und Diagnose besonders kleiner Läsionen sind mit konventionellen Zahnfilmaufnahmen nicht immer möglich.

*Schlüsselwörter:* Knochenläsionen; Implantatnachsorge; röntgenologische Diagnostik; Implantate

#### Zitierweise:

Schneider E, Wahl G: Röntgenologische Analyse experimentell erzeugter implantatnaher Läsionen im humanen Kieferknochen – ein In-vitro-Modell. *Z Zahnärztl Implantol* 2013;29:308–320

**DOI** 10.3238/ZZI.2013.0308–0320

## Einleitung

Die Implantologie ist heute ein wichtiger Bestandteil der zahnärztlichen Behandlung und bietet vielfältige Möglichkeiten zum Ersatz der eigenen Zähne.

Die Gewebe, die im Rahmen einer Implantation von großer Bedeutung sind, sind der Alveolarknochen, die bedeckende Schleimhaut sowie die Gingiva. Die Einheilung eines Implantates und damit der Erfolg hängen entscheidend vom Zustand dieser Gewebe, beziehungsweise ihrer Reaktion auf die Implantation ab. Während die Schleimhaut und die Gingiva klinisch zu beurteilen sind, lässt sich der Alveolarknochen nur indirekt mithilfe verschiedener bildgebender Verfahren, meist radiologischer Art, betrachten. Diese Tatsache verdeutlicht die Wichtigkeit qualitativ hochwertiger und aussagekräftiger Aufnahmen, da sie in der Regel die einzige Grundlage darstellen, auf der eine Beurteilung des Kieferknochens erfolgen kann. Deshalb spielen radiologische Aufnahmen eine entscheidende Rolle sowohl in der präoperativen Planung als auch in der Nachsorge [1, 4].

Intraorale Zahnfilmaufnahmen weisen die höchste Auflösung (Linien/mm) unter den gängigen radiologischen Aufnahmen auf und kommen besonders dann zum Einsatz, wenn nur ein kleines Gebiet abgebildet werden soll oder eine bestimmte Region genau dargestellt werden muss. Für die präoperative Planung sind sie allein nur bedingt geeignet, da sie nur eine zweidimensionale Darstellung des Operationsgebietes erlauben. Für die Planung von Einzelzahnimplantaten bei unkomplizierten anatomisch-topographischen Verhältnissen kann ein Zahnfilm zusätzlich zur Übersichtsaufnahme ausreichend sein, für umfangreiche und kompliziertere Planungen ist oft eine dreidimensionale Darstellung, etwa als digitale Volumentomographie anzufertigen.

Im Implantat-Recall hingegen stellt der Zahnfilm im Rahmen der radiologischen Kontrolle insbesondere bei Einzelzahnimplantaten die Aufnahme der Wahl dar, da er eine sehr hohe Auflösung bei relativ geringer Strahlenbelastung des Patienten bietet.

Um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu sichern und Komplikationen wie eine Periimplantitis zu vermeiden bzw. rechtzeitig zu erkennen, ist die radiologische Kontrolle der entsprechenden Region im Recall von essenzieller Bedeutung. Ein besonderes Augenmerk muss bei der Betrachtung der Aufnahmen auf eventuell auftretende Läsionen des Alveolarknochens gerichtet werden. Diese müssen frühzeitig diagnostiziert und gegebenenfalls therapiert werden, um den Implantatverlust zu verhindern [15].

#### Citation:

Schneider E, Wahl G: Radiographic detection of artificial bone lesions adjacent to dental implants in human jaw – an in-vitro study model. *Z Zahnärztl Implantol* 2013;29:308–320

**DOI** 10.3238/ZZI.2013.0308–0320

## Introduction

Implantology is an important component of dental treatment nowadays and offers a variety of options for replacing natural teeth.

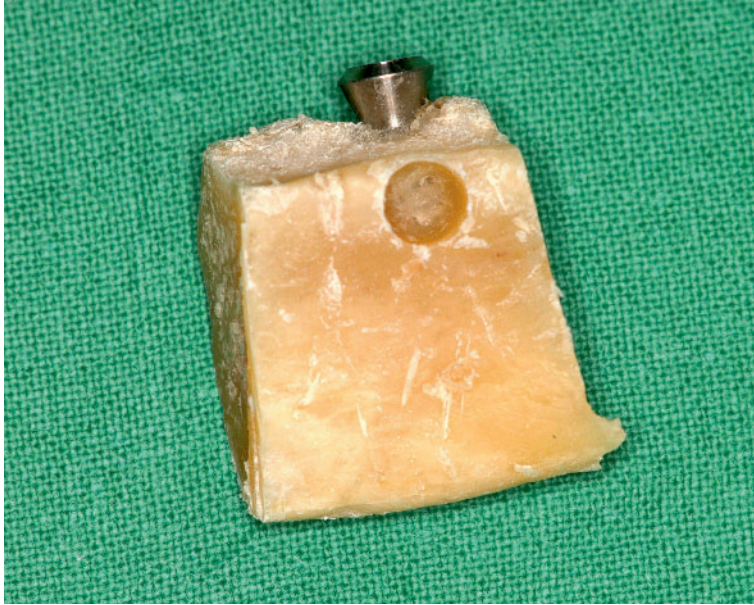
The important tissues in implantation are the alveolar bone, the mucosa that covers it and the gingiva. Implant healing and thus a successful outcome depend crucially on the condition of these tissues and on their reaction to the implantation. While the mucosa and gingiva can be assessed clinically, the alveolar bone can only be examined indirectly using various imaging methods, mainly radiographic. This fact illustrates the importance of high-quality and reliable radiographs, as they are usually the only foundation on which the bone can be assessed. Radiographs therefore play a crucial part in both preoperative planning and in follow-up [1, 4].

Intraoral dental radiographs have the highest resolution (linepairs/mm) among current radiographic methods and are used especially when only a small area is to be imaged precisely. On their own, they are not entirely suitable for preoperative planning as they allow only two-dimensional imaging of the operation region. For planning single implants when the anatomical topography is uncomplicated, an intraoral film in addition to the plain image may suffice but three-dimensional imaging, for instance as digital volume tomography, is often required for extensive and more complicated planning.

In implant recall, on the other hand, the dental radiograph is the method of choice for follow-up, especially in the case of single implants, as it offers very high resolution with a relatively small radiation burden for the patient.

To ensure a satisfactory result and avoid complications such as peri-implantitis or recognize them promptly, radiographic follow-up of the region in question is essential. Particular attention must be directed toward any lesions of the alveolar bone. These must be diagnosed promptly and treated, if necessary, to prevent implant loss [15].

This was the background to this study, which investigated the minimum diameter of a bone lesion in the maxilla or mandible to be identified by all observers if it is not mesial or distal to the implant but is in buccal or oral location. In addition, the often better visibility of lesions adjacent to implants in periapi-



**Abbildung 1** Kieferknochensegment des Unterkiefers mit Defekt auf der oralen Seite (Ø 4,5 mm).

**Figure 1** Bloc section of the human mandible with implant and calibrated defect (Ø 4.5 mm) at the oral side of the implant.

Vor diesem Hintergrund sollte ermittelt werden, wie groß der Durchmesser einer Knochenläsion in Ober- oder Unterkiefer mindestens sein muss, damit der Defekt von allen Betrachtern erkannt wird, wenn er nicht mesial oder distal des Implantates, sondern vestibulär oder oral lokalisiert ist. Zudem sollte die oftmals bessere Sichtbarkeit von implantatnahen Läsionen auf exzentrisch aufgenommenen Zahnfilmen im Vergleich zu orthoradialen Aufnahmen verifiziert werden.

## Material und Methoden

Aus dem Anatomischen Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn wurde für diese Untersuchung menschlicher Kieferknochen von 3 Individuen zur Verfügung gestellt. Es handelte sich dabei um unbezahnte Knochen des Ober- und Unterkiefers, die mit Formaldehyd (Formalin) konserviert worden waren. Der Knochen wurde in 2–3 cm große Segmente geteilt und fortlaufend nummeriert. Es erfolgte zusätzlich eine Kennzeichnung mit den Buchstaben „R“ und „L“ für rechts und links sowie „O“ für den Oberkiefer. Das den Knochen umgebende Weichgewebe wurde abgelöst und entfernt.

Es wurden 19 Segmente ausgewählt, die die Voraussetzungen für eine Implantatinsertion erfüllten. Die Lagerung der Segmente erfolgte in 70 %igem Alkohol in jeweils einzelnen Schraubendeckeldosen (Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe) bei 4 °C.

Jedes Knochensegment wurde mit einem Implantat (Straumann Implant Standard/Standard Plus; Straumann AG Basel, Switzerland) versorgt, das einen Durchmesser von 3,3 mm und eine Länge von 8 oder 10 mm hatte.

Nach der Implantatinsertion wurden implantatnahe Defekte in den Knochen gesetzt, die sich entweder oral oder vestibulär des Implantats befanden (Abb. 1). Nach radiologischer Dokumentation (s.u.) wurden die Defekte jeweils mit dem nächst größeren Bohrer erweitert, sodass bei jedem Segment alle Größen zum Einsatz kamen. Hierzu wurden chirurgische Hartmetall-Rundbohrer (Meisinger, Neuss) in 9 verschiedenen Größen

cal films taken with the oblique technique compared with orthoradial films was confirmed.

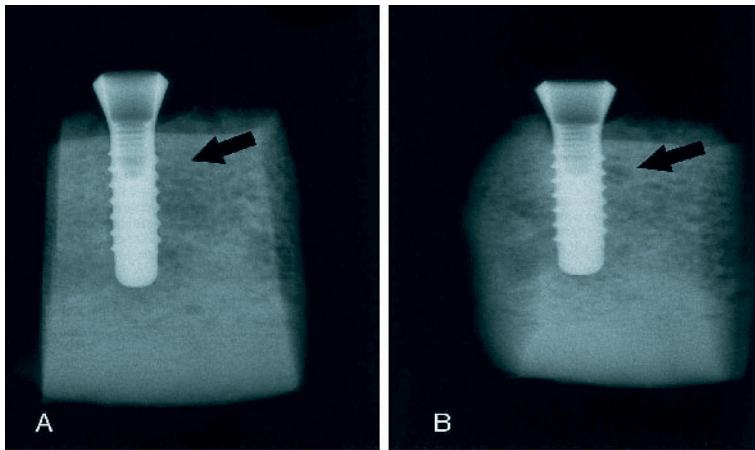
## Materials and methods

Human jaw bones from 3 individuals were provided for this study from the Anatomy Institute of the Rhenish Friedrich Wilhelm University Bonn. This consisted of edentulous maxilla and mandible that had been preserved with formaldehyde (Formalin). The bone was divided into 2–3 cm segments which were numbered consecutively. They were also labeled “R” and “L” for right and left and “O” for the maxilla. The soft tissue surrounding the bone was divided and removed.

19 segments that met the requirements for implant insertion were selected. The segments were stored at 4°C in 70% alcohol in individual screw-top containers (Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe).

An implant (Straumann Implant Standard/Standard Plus; Straumann AG Basel, Switzerland) with a diameter of 3.3 mm and a length of 8 or 10 mm was inserted in each bone segment.

Following implant insertion, juxta-implant defects were made in the bone, either oral or buccal to the implant (Fig. 1). After radiographic documentation (see below) the defects were extended with the next bur in size so that all sizes were used in each segment. Surgical carbide round burs (Meisinger, Neuss, Germany) in 9 different sizes (1 mm to 5 mm diameter) were used. Two conventional radiographs were taken before the first defect was made and after each subsequent drilling. To obtain two different views of a defect, the first radiograph was taken at an orthoradial angle (90°) and the second was taken obliquely (45°) from the mesial direction (Fig. 2). The Oralix 65 (Phillips,



**Abbildung 2** Ausschnitte aus zwei Zahnfilm-aufnahmen eines Unterkiefersegmentes mit Implantat und Defekt (Ø 2,7 mm).

**A.** Orthoradiale Projektionsrichtung, Defekt nicht sichtbar (s. Pfeilmarkierung).

**B.** Exzentrische Projektionsrichtung (45° von mesial), Defekt zu vermuten (s. Pfeilmarkierung).

**Figure 2** Details of two periapical films showing a bloc section of the human mandible with implant and calibrated defect (Ø 2.7 mm).

**A.** Orthoradial projection, defect not visible (see arrow)  
**B.** Excentric projection from mesial direction (45°), defect suspected (see arrow). Fotos: E. Schneider

(Ø 1 mm bis Ø 5 mm) verwendet. Vor der ersten Defektbohrung und nach jeder weiteren Bohrung wurden von jedem Segment 2 konventionelle Zahnfilme angefertigt. Um 2 verschiedene Darstellungen eines Defektes zu erhalten, wurde der Röntgenstrahl für den ersten Zahnfilm orthoradial (90°) auf das Knochensegment gerichtet, für den zweiten Zahnfilm exzentrisch (45°) von mesial kommend (Abb. 2). Das verwendete Röntgengerät Oralix 65 (Philipps, Hamburg) wurde auf eine Belichtungszeit von 0,32 s eingestellt, die Spannung lag bei 70 kV und die Stromstärke bei 7 mA. Die belichteten Zahnfilme (Kodak Insight Dental Film; Kodak, Stuttgart) wurden anschließend im Automaten standardisiert entwickelt (Dürr Dental XR 24 Nova; Dürr Dental, Bietigheim – Bissingen), mit der Segmentnummer gekennzeichnet und randomisiert in handelsübliche Kunststoffhüllen einsortiert. Insgesamt lagen danach 380 Zahnfilme zur Auswertung vor.

Die Zahnfilme wurden nun 6 Betrachtern mit unterschiedlich langer Erfahrung in der Röntgendiagnostik vorgelegt. Zur Befundung diente eine Leuchtplatte der Firma Kaiser („Prolite basic“; Kaiser Fototechnik GmbH & Co. KG, Buchen), die auf die höchste Helligkeitsstufe (4x13 W) eingestellt wurde. Der unbenutzte Teil des Diabetrachters wurde abgedeckt und somit eine mögliche Blendwirkung ausgeschlossen.

Die Aufgabe für die 6 Betrachter lautete, die Zahnfilme auf implantatnahe Knochendefekte zu untersuchen, wobei im Vorfeld keinerlei Angaben zu Größe, Form oder Entstehung eines möglichen Defektes gemacht wurden. Jeder vermeintlich erkannte Defekt musste der Person gezeigt werden, die die Betrachtung anleitete und kontrollierte. So konnte die Erkennung „falscher“ Defekte, Artefakte oder bereits zuvor vorhandener Knochenläsionen ausgeschlossen werden.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Verfahren der linearen Regression (PASW Statistics 18.0 für Mac; SPSS GmbH, München). Diese statistische Analyseermöglicht es, eine abhängige Variable mithilfe der unabhängigen beeinflussenden Variablen zu charakterisieren und ein Modell zu berechnen, mit dem die unabhängige Variable als Zielgröße näherungsweise vorhersagbar wird. Im vorliegenden Fall ist die abhängige Variable die Zielgröße „Defekterkennung ja/nein“, die unabhängigen erklärenden Variablen sind die Defektgröße (Bohrergröße), die Lage des Defektes (oral oder vestibulär), die Aufnahmeorientierung der Zahnfilme (orthoradial oder exzentrisch) und die Kieferknochenart (Ober- oder Unterkiefer). Da es bei der multiplen linearen Regression theoretisch nur um die

Hamburg, Germany) X-ray machine was set at an exposure time of 0.32 s, the voltage was 70 kV and the current was 7 mA. The radiographs (Kodak Insight Dental Film; Kodak, Stuttgart) were then developed in the standard way (Dürr Dental XR 24 Nova; Dürr Dental, Bietigheim – Bissingen, Germany), labeled with the segment number and placed randomized in conventional plastic sleeves. 380 dental films in total were available for analysis.

The dental radiographs were then shown to six investigators with varying experience in diagnostic radiology. A viewing box from Kaiser („Prolite basic“; Kaiser Fototechnik GmbH & Co. KG, Buchen, Germany) was used, set to the highest level of brightness (4x13 W). The unused part of the slide viewer was covered to exclude a potential glare effect.

The task of the six investigators was to examine the radiographs for juxta-implant bone defects and they were given no information beforehand about the size, shape or origin of a possible defect. Each apparently identified defect had to be shown to the person who was directing and monitoring the investigation. In this way, identification of “false” defects, artifacts or previous bone lesions was excluded.

Statistical analysis was performed using the linear regression method (PASW Statistics 18.0 for Mac; SPSS GmbH, Munich, Germany). This statistical analysis method allows a dependent variable to be characterized with the aid of the independent variables and to calculate a model with which the independent variable is approximately predictable as an effect variable. In this case, the dependent variable is “defect identification yes/no“, the independent explanatory variables are the defect size (bur size), the location of the defect (oral or buccal), the angle of the projection (orthoradial or oblique) and the type of bone (maxilla or mandible). As multiple linear regression theoretically involves only the description of a straight line, the general model equation is

$$y = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n,$$

where  $n = 4$  in this study. By way of illustration, if there is only one explanatory variable  $x$ , “ $a$ ” can be interpreted as the intercept of the line and “ $b$ ” as the slope. If there is more than one explanatory variable, the regression equation can no longer be shown graphically as a line so “ $a$ ” is then called a constant and “ $b_1 - b_n$ ” a regression coefficient.  $x_1 - x_n$  is the value of the respective variables [5].

Koeffizienten für das Vorhersagemodell bezüglich der Defektgröße					
Coefficients for the predictability model regarding defect size					
Modell	nicht standardisierte Koeffizienten		standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
Model	Non-standardised coefficients		Standardised coefficients	T	Sig.
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
	Regression coefficient B	Standard error	Beta		
Konstante	0,288	0,029		10,010	< 0,001
Constant	0.288	0.029		10.010	< 0.001
Defektgröße	0,070	0,005	0,595	13,636	< 0,001
Defect size	0.070	0.005	0.595	13.636	< 0.001

**Tabelle 1** Errechnete Koeffizienten für das Vorhersagemodell mit den Variablen „Mittelwert der Urteile der Betrachter“ und „Defektgröße“; durch Einsetzen in die allgemeine Geradengleichung „ $y = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n$ “ ( $a$  = Regressionskoeffizient für die Konstante,  $b$  = Regressionskoeffizient für die Defektgröße,  $x$  = Wert für die Defektgröße, für den die Vorhersage getroffen werden soll) erhält man das Modell für die Vorhersage der Erkennbarkeit des Defektes in Abhängigkeit von seiner Größe (Regressionskoeffizient B: Steigungsmaß der Geraden für die jeweilige Variable, Beta: Regressionskoeffizient innerhalb des Modells, T: Ergebnis des t-Tests, Sig.: statistische Signifikanz).

**Table 1** Coefficients for the model with the independent variable „size of the defect“ (regression coefficient B: slope of the straight for the concerned variable, beta: regression coefficient within the model, t: result of the t-test, sig.: statistical significance).

Beschreibung einer Geraden geht, lautet die allgemeine Modellgleichung

$$y = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n,$$

wobei in dieser Studie  $n = 4$  ist. Gibt es nur eine erklärende Variable  $x$ , so lassen sich veranschaulichend „ $a$ “ als der Achsenabschnitt der Geraden und „ $b$ “ als das Steigungsmaß interpretieren. Bei mehreren erklärenden Variablen lässt sich die Regressionsgleichung grafisch nicht mehr als Gerade darstellen, weshalb dann „ $a$ “ als Konstante und „ $b_1$ – $b_n$ “ als Regressionskoeffizienten bezeichnet werden.  $x_1$ – $x_n$  nehmen die Werte der jeweiligen Variablen an [5].

Durch die errechneten Regressionskoeffizienten werden die unabhängigen Variablen charakterisiert beziehungsweise gewichtet und ermöglichen somit eine Berechnung von „ $y$ “. Der Wert für „ $y$ “ gibt auf der Basis der ermittelten Daten eine Näherung an das zu erwartende Betrachtungsergebnis an. Die Signifikanzschwelle wurde bei  $p \leq 0,05$  festgelegt.

## Ergebnisse

Das als Ergebnis der linearen Regression vorliegende Modell charakterisiert die Abhängigkeiten zwischen der Defekterkennung und den beeinflussenden Variablen (Defektgröße, Lage des Defekts, Aufnahme richtung, Art des Kieferknochens). Um möglichst differenzierte Aussagen zu den einzelnen Variablen und ihrer Wertigkeit treffen zu können, wurde zusätzlich für jede unabhängige Variable eine einzelne lineare Regression durchgeführt. Dadurch war es möglich, einen direkten Zusammenhang zur abhängigen Variablen, der Defekterkennung herzustellen. Während die für die einzelnen Variablen errechneten Modelle nur Tendenzen aufzeigen können, lassen sich mithilfe des Gesamtmodells konkrete Schlussfolgerungen ziehen [23].

The independent variables are characterized and/or weighted by the calculated regression coefficients and thus allow calculation of “ $y$ ”. The result for “ $y$ ” gives an approximation of the expected investigation result on the basis of the obtained data. The significance level was set at  $p \leq 0.05$ .

## Results

This model, the result of the linear regression, characterizes the dependence between defect identification and the influencing variables (defect size, defect location, direction of the projection, type of bone). To allow conclusions regarding the individual variables that are as precise and reliable as possible, a single linear regression was also performed for each independent variable. This made it possible to produce a direct connection with the dependent variable, i.e. defect identification. While the models calculated for the individual variables can only show tendencies, concrete conclusions can be drawn with the aid of the overall model [23].

Koeffizienten für das Vorhersagemodell bezüglich der Lage des Defektes					
Coefficients for the predictability model regarding defect location					
Modell	nicht standardisierte Koeffizienten		standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
Model	Non-standardised coefficients		Standardised coefficients	T	Sig.
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
	Regression coefficient B	Standard error	Beta		
Konstante	0,566	0,022		25,778	< 0,001
Constant	0.566	0.022		25.778	< 0.001
Lage des Defektes	0,151	0,032	0,249	4,746	< 0,001
Defect location	0.151	0.032	0.249	4.746	< 0.001

**Tabelle 2** Errechnete Koeffizienten für das Vorhersagemodell mit den Variablen „Mittelwert der Urteile der Betrachter“ und „Lage des Defektes“; durch Einsetzen in die allgemeine Geradengleichung „ $y = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n$ “ ( $a$  = Regressionskoeffizient für die Konstante,  $b$  = Regressionskoeffizient für die Lage des Defektes,  $x$  = Wert für die Lage des Defektes, für den die Vorhersage getroffen werden soll) erhält man das Modell für die Vorhersage der Erkennbarkeit des Defektes in Abhängigkeit von seiner Lage (Regressionskoeffizient B: Steigungsmaß der Geraden für die jeweilige Variable, Beta: Regressionskoeffizient innerhalb des Modells, T: Ergebnis des t-Tests, Sig.: statistische Signifikanz).

**Table 2** Coefficients for the model with the independent variable „location of the defect“ (regression coefficient B: slope of the straight for the concerned variable, beta: regression coefficient within the model, t: result of the t-test, sig.: statistical significance).

### Größe des Defekts

Für die Abhängigkeit der Variablen „y“ von der Einflussvariablen „Defektgröße“ wurde folgendes statistisch signifikante Modell errechnet (Tab. 1):

$$y = 0,288 + 0,07 \cdot x,$$

wobei „x“ die Werte 1 bis 9 annehmen kann. Es kann also für jede Bohrergröße und damit Defektgröße ausgerechnet werden, wie laut des Modells das mittelwertige Urteil der Betrachter näherungsweise ausfallen wird. Durch Einsetzen der entsprechenden Bohrergrößen wird deutlich, dass die Wahrscheinlichkeit der Defekterkennung mit dem Durchmesser des Defektes steigt, wie zu erwarten ist.

### Lage des Defekts

Für die Abhängigkeit der Variablen „y“ von der Einflussvariablen „Lage des Defekts“ ergibt sich als statistisch signifikantes Modell (Tab. 2):

$$y = 0,566 + 0,151 \cdot x,$$

wobei „x“ die Werte 0 (vestibulär) oder 1 (oral) annehmen kann.

Es lässt sich durch Einsetzen der entsprechenden Werte feststellen, dass der Wert für „y“ bei oraler Lage des Defekts immer höher ist als bei vestibulärer Lage. Die Gleichungen hierzu lauten:

$$y = 0,566 + (0,151 \cdot 0) = 0,566$$

für einen vestibulären Defekt und

$$y = 0,566 + (0,151 \cdot 1) = 0,717$$

für einen oralen Defekt.

### Defect size

The following statistically significant model was calculated for the dependence of the variable “y” on the influencing variable “defect size” (Tab. 1):

$$y = 0.288 + 0.07 \cdot x,$$

where “x” can be 1 to 9. It can therefore be calculated approximately for each bur size and thus defect size what the average assessment of the investigator will be, according to the model. By using the corresponding bur sizes, it is clear that the probability of defect detection increases with the diameter of the defect, as would be expected.

### Defect location

A statistically significant model for the dependence of the variable “y” on the influencing variable “defect location” is (Tab. 2):

$$y = 0.566 + 0.151 \cdot x,$$

where “x” can be 0 (buccal) or 1 (oral).

By inserting the corresponding values, it can be established that “y” is always greater with an oral defect than with a buccal location. The equations are:

$$y = 0.566 + (0.151 \cdot 0) = 0.566$$

for a buccal defect and

$$y = 0.566 + (0.151 \cdot 1) = 0.717$$

for an oral defect.

Koeffizienten für das Vorhersagemodell bezüglich der Aufnahme- richtung					
Coefficients for the predictability model regarding direction of the projection					
Modell	nicht standardisierte Koeffizienten		standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
Model	Non-standardised coefficients		Standardised coefficients	T	Sig.
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
	Regression coefficient B	Standard error	Beta		
Konstante	0,600	0,023		26,017	< 0,001
Constant	0.600	0.023		26.017	< 0.001
Aufnahme- richtung	0,074	0,033	0,122	2,270	0,024
Direction of the projection	0.074	0.033	0.122	2.270	0.024

**Table 3** Errechnete Koeffizienten für das Vorhersagemodell mit den Variablen „Mittelwert der Urteile der Betrachter“ und „Aufnahmerichtung“; durch Einsetzen in die allgemeine Geradengleichung „ $y = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n$ “ ( $a$  = Regressionskoeffizient für die Konstante,  $b$  = Regressionskoeffizient für die Aufnahmerichtung,  $x$  = Wert für die Aufnahmerichtung, für den die Vorhersage getroffen werden soll) erhält man das Modell für die Vorhersage der Erkennbarkeit des Defekts in Abhängigkeit von der Aufnahmerichtung (Regressionskoeffizient B: Steigungsmaß der Geraden für die jeweilige Variable, Beta: Regressionskoeffizient innerhalb des Modells, T: Ergebnis des t-Tests, Sig.: statistische Signifikanz).

**Table 3** Coefficients for the model with the independent variable „direction of the projection“ (regression coefficient B: slope of the straight for the concerned variable, beta: regression coefficient within the model, t: result of the t-test, sig.: statistical significance).

Anhand der mit dem Modell errechneten näherungsweise Werte wird deutlich, dass ein oral gelegener und damit zahnfilmnaher Defekt des Kieferknochens häufiger im Zahnfilm erkannt wird als ein vestibulär gelegener Defekt.

#### Aufnahmerichtung

Für die Abhängigkeit der Variablen „y“ von der Einflussvariablen „Aufnahmerichtung“ ergibt sich als statistisch signifikantes Modell (Tab. 3):

$$y = 0,600 + 0,074 \cdot x,$$

wobei „x“ die Werte 0 (orthoradial) oder 1 (exzentrisch) annehmen kann.

Es lässt sich durch Einsetzen der entsprechenden Werte feststellen, dass der Wert für „y“ bei einer exzentrischen Aufnahme immer höher ist als bei einer orthoradialen Projektion. Die Gleichungen hierzu lauten:

$$Y = 0,600 + (0,074 \cdot 0) = 0,600$$

für eine orthoradiale Aufnahme und

$$y = 0,600 + (0,074 \cdot 1) = 0,674$$

für eine exzentrische Aufnahme.

Das Modell belegt somit, dass Defekte des Kieferknochens häufiger erkannt werden, wenn der Zahnfilm in exzentrischer Aufnahmetechnik angefertigt wurde.

#### Art des Kieferknochens

Für die Abhängigkeit der Variablen „y“ von der Einflussvariablen „Art des Kieferknochens“ gilt in Analogie (Tab. 4):

$$y = 0,705 + (-0,107) \cdot x,$$

wobei „x“ die Werte 0 (Oberkiefer) oder 1 (Unterkiefer) annehmen kann.

Using the approximate values calculated with the model, it is clear that a defect in oral location, that is, closer to the X-ray film, is detected more often in the radiograph than a defect in buccal location.

#### Direction of the projection

A statistically significant model for the dependence of the variable „y“ on the influencing variable „direction of projection“ is (Tab. 3):

$$y = 0.600 + 0.074 \cdot x,$$

where „x“ can be 0 (orthoradial) or 1 (oblique).

By inserting the corresponding values, it can be established that „y“ is always greater with an oblique X-ray than with an orthoradial projection. The equations are:

$$y = 0.600 + (0.074 \cdot 0) = 0.600$$

for an orthoradial radiograph and

$$y = 0.600 + (0.074 \cdot 1) = 0.674$$

for an oblique projection.

The model therefore confirms that defects in the bone are detected more often when the radiograph was taken using the oblique projection.

#### Type of jaw

Analogously, for the dependence of the variable „y“ on the influencing variable „type of jaw“ (Tab. 4):

$$y = 0.705 + (-0.107) \cdot x,$$

where „x“ can be 0 (maxilla) or 1 (mandible).

Koeffizienten für das Vorhersagemodell bezüglich der Art des Kieferknochens					
Coefficients for the predictability model regarding type of jaw					
Modell	nicht standardisierte Koeffizienten		standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
Model	Non-standardised coefficients		Standardised coefficients	T	Sig.
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
	Regression coefficient B	Standard error	Beta		
Konstante	0,705	0,027		26,415	< 0,001
Constant	0.705	0.027		26.415	< 0.001
Art des Kieferknochens	- 0,107	0,034	- 0,170	- 3,187	0,002
Type of jaw	- 0.107	0.034	- 0.170	- 3.187	0.002

**Tabelle 4** Errechnete Koeffizienten für das Vorhersagemodell mit den Variablen „Mittelwert der Urteile der Betrachter“ und „Art des Kieferknochens“; durch Einsetzen in die allgemeine Geradengleichung „ $y = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n$ “ ( $a$  = Regressionskoeffizient für die Konstante,  $b$  = Regressionskoeffizient für die Art des Kieferknochens,  $x$  = Wert für die Art des Kieferknochens, für den die Vorhersage getroffen werden soll) erhält man das Modell für die Vorhersage der Erkennbarkeit des Defektes in Abhängigkeit von der Art des Kieferknochens (Regressionskoeffizient B: Steigungsmaß der Geraden für die jeweilige Variable, Beta: Regressionskoeffizient innerhalb des Modells, T: Ergebnis des t-Tests, Sig.: statistische Signifikanz).

**Table 4** Coefficients for the model with the independent variable „type of jaw“ (regression coefficient B: slope of the straight for the concerned variable, beta: regression coefficient within the model, t: result of the t-test, sig.: statistical significance).

Es lässt sich durch Einsetzen der entsprechenden Werte feststellen, dass der Wert für „y“ bei einem Defekt im Oberkiefer höher ist als bei einem Defekt im Unterkiefer. Bedingt durch das negative Vorzeichen des Regressionskoeffizienten ergibt sich beim Einsetzen eines Wertes  $> 0$  für „x“ immer ein niedrigerer Wert als für  $x = 0$ .

Die Gleichungen hierzu lauten:

$$y = 0,705 + (-0,107 \cdot 0) = 0,705$$

für einen Defekt im Oberkieferknochen und

$$y = 0,705 + (-0,107 \cdot 1) = 0,598$$

für einen Defekt im Unterkieferknochen.

Das Modell zeigt somit, dass implantatnahe Defekte des Kieferknochens eher bei Implantaten im Oberkiefer erkannt werden.

#### Gesamtmodell

Das in Tabelle 5 aufgeschlüsselte Gesamtmodell, in das alle 4 unabhängigen Variablen miteinbezogen wurden, erlaubt eine Vorhersage des mittelwertigen Urteils der Betrachter unter Berücksichtigung aller erfassten Einflussgrößen. Die Regressionskoeffizienten für die einzelnen Variablen weichen nur minimal von den in den einzelnen Regressionen berechneten Variablen ab und werden daher nicht erneut aufgeschlüsselt.

Die Gleichung des Gesamtmodells lautet:

$$y = 0,251 + 0,070 \cdot v + 0,074 \cdot w + (-0,118) \cdot x + 0,159 \cdot z,$$

dabei gilt:  $v$  = Wert für die Bohrergröße (1–9)

$w$  = Wert für die Aufnahmeorientierung (0 oder 1)

$x$  = Wert für die Art des Kieferknochens (0 oder 1)

$z$  = Wert für die Lage des Defekts (0 oder 1).

By inserting the corresponding values, it can be established that „y“ is greater with a defect in the maxilla than with a defect in the mandible. Due to the negative sign of the regression coefficient, a lower value is always obtained when a value 0 is inserted for „x“ than for  $x = 0$ .

The equations are:

$$y = 0.705 + (-0.107 \cdot 0) = 0.705$$

for a defect in the maxilla and

$$y = 0.705 + (-0.107 \cdot 1) = 0.598$$

for a defect in the mandible.

The model therefore shows that juxta-implant defects in the bone are detected more in the case of implants in the maxilla.

#### Overall model

The overall model itemized in Table 5, which includes all 4 independent variables, allows prediction of the average assessment of the investigators when all recorded variables are considered. The regression coefficients for the individual variables deviate minimally from the variables calculated in the individual regressions and are therefore not itemized again.

The equation of the overall model is:

$$y = 0.251 + 0.070 \cdot v + 0.074 \cdot w + (-0.118) \cdot x + 0.159 \cdot z,$$

where:  $v$  = bur size (1–9)

$w$  = direction of the projection (0 or 1)

$x$  = type of bone (0 or 1)

$z$  = defect location (0 or 1).



Koeffizienten für das Vorhersagemodell bezüglich aller beeinflussenden Variablen					
Coefficients for the predictability model regarding all influencing variables					
Modell	nicht standardisierte Koeffizienten		standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
Model	Non-standardised coefficients		Standardised coefficients	T	Sig.
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
	Regression coefficient B	Standard error	Beta		
Konstante	0,251	0,035		7,252	< 0,001
Constant	0.251	0.035		7.252	< 0.001
Defektgröße	0,070	0,005	0,595	14,936	< 0,001
Defect size	0.070	0.005	0.595	14.936	< 0.001
Aufnahmerichtung	0,074	0,024	0,122	3,069	0,002
Direction of the projection	0.074	0.024	0.122	3.069	0.002
Art des Kieferknochens	- 0,118	0,025	- 0,188	- 4,721	< 0,001
Type of jaw	- 0.118	0.025	- 0.188	- 4.721	< 0.001
Lage des Defektes	0,159	0,024	0,262	6,572	< 0,001
Defect location	0.159	0.024	0.262	6.572	< 0.001

**Tabelle 5** Errechnete Koeffizienten für das Vorhersagemodell mit den Variablen „Mittelwert der Urteile der Betrachter“ und „Defektgröße“, „Aufnahmerichtung“, „Art des Kieferknochens“, „Lage des Defekts“; durch Einsetzen in die allgemeine Geradengleichung „ $y = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n$ “ (a = Regressionskoeffizient für die Konstante,  $b_1$ - $b_n$  = Regressionskoeffizient für die o.g. Variablen, x = Wert für o.g. Variablen, für die eine Vorhersage getroffen werden soll) erhält man das Modell für die Vorhersage der Erkennbarkeit des Defekts in Abhängigkeit von der Defektgröße, der Aufnahmerichtung, der Art des Kieferknochens und der Lage des Defekts (Regressionskoeffizient B: Steigungsmaß der Geraden für die jeweilige Variable, Beta: Regressionskoeffizient innerhalb des Modells, T: Ergebnis des t-Tests, Sig.: statistische Signifikanz).

**Table 5** Coefficients for the model with the independent variables „size of the defect“, „direction of the projection“, „type of jaw“, „location of the defect“ (regression coefficient B: slope of the straight for the concerned variable, beta: regression coefficient within the model, t: result of the t-test, sig.: statistical significance).

Es lässt sich mit diesem Modell für jede beliebige Variablenkombination näherungsweise errechnen, wie das Urteil bezüglich der Defekterkennung im Mittel ausfallen wird. Durch entsprechendes Einsetzen lassen sich außerdem die Ergebnisse der einzelnen Regressionen konkretisieren.

Wie bereits beschrieben, werden Defekte im Kieferknochen häufiger im Zahnfilm erkannt, wenn dieser exzentrisch aufgenommen wurde und der Defekt oral liegt. Des Weiteren zeigen die Berechnungen die bessere Erkennbarkeit der Defekte im Oberkieferknochen. Mithilfe des Gesamtmodells kann auch berechnet werden, ab welcher Bohrergröße (Defektgröße) nahezu alle Betrachter den Defekt erkennen, wenn die 3 anderen Variablen jeweils den für die Erkennbarkeit günstigeren Wert annehmen. Es ergibt sich folgende Gleichung:

$$y = 0,251 + 0,070 \cdot v + 0,074 \cdot 1 + (-0,118 \cdot 0) + 0,159 \cdot 1.$$

Setzt man nun für die Bohrergröße (Defektgröße) nacheinander alle Werte von 1 bis 9 ein, so wird deutlich, dass zwischen der Bohrergröße 7 ( $\varnothing$  4 mm) und der Bohrergröße 8 ( $\varnothing$  4,5 mm) die Defektgröße liegt, die laut Modell von allen Betrachtern erkannt wird.

This model allows an approximate calculation of what the average assessment regarding defect detection will be for any combination of variables. By inserting the appropriate figures, the results of the individual regressions can also be put in concrete terms.

As described above, defects in the jaw are detected more often on X-ray if this was taken in an oblique projection and the defect is in oral location. Moreover, the calculations show that defects are identified better in the maxilla. The overall model can also be used to calculate above what bur size (defect size) nearly all investigators identify the defect when each of the other 3 variables have the better value for detection. The following equation applies:

$$y = 0.251 + 0.070 \cdot v + 0.074 \cdot 1 + (-0.118 \cdot 0) + 0.159 \cdot 1.$$

If all numbers from 1 to 9 are now inserted in succession for the bur size (defect size), it is clear that the defect size that is detected by all investigators according to the model is between bur size 7 (4 mm diameter) and bur size 8 (4.5 mm diameter).

In addition, when analysis by the investigators is included, the overall model confirms the results described above and it

Des Weiteren bestätigt das Gesamtmodell unter Einbeziehung der Auswertung durch die Betrachter die oben dargestellten Ergebnisse und es lässt sich deshalb schlussfolgern, dass die Erkennbarkeit eines implantatnahen Knochendefekts am wahrscheinlichsten ist, wenn der Defekt im Oberkiefer auf der oralen Seite des Knochens liegt und der Zahnfilm exzentrisch aufgenommen wurde.

Inwieweit die Erfahrung der Betrachter Einfluss auf die Defekterkennung hat, sollte ein Vergleich zwischen der Gruppe der erfahrenen und der Gruppe der weniger erfahrenen Betrachter zeigen. Es ergeben sich durch die einzeln für erfahrene und weniger erfahrene Betrachter durchgeführten linearen Regressionen unter Einbeziehung aller Variablen 2 Gesamtmodellgleichungen, die zeigen, dass die Erfahrung in Bezug auf die Defekterkennung keine signifikante Rolle spielt.

## Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass verschiedene Faktoren die Erkennbarkeit von Knochendefekten beeinflussen. Der wichtigste Parameter im errechneten Vorhersage-Modell ist die Größe des Defekts, die in zahlreichen Studien, welche sich mit dem „critical size defect“ befassen, untersucht wurde [8, 14, 19, 26, 31]. Der „critical size defect“ (CSD) ist definiert als ein Knochendefekt, der nicht im Laufe des Lebens selbstständig ausheilt [31], also einer Therapie im Sinne einer Heilungsunterstützung bedarf. Die meisten Studien untersuchten den CSD im Tiermodell, das trotz vieler Ähnlichkeiten nur eine Näherung sein kann [28]. Die Werte für den CSD unterscheiden sich erheblich und deshalb kamen *Sohn* et al. [32] zu dem Schluss, dass es unmöglich sei, einen einzigen exakten Wert für den CSD zu bestimmen. Außerdem scheinen das Vorhandensein oder die Abwesenheit von Periost entscheidender für die Heilung zu sein, als die Größe der Knochenläsion [3, 14].

Bezogen auf die vorliegende Studie zeigt sich, dass der hier bestimmte Schwellenwert für die Erkennung eines Defekts deutlich unter dem für den CSD angegebenen Werten (15–50 mm) liegt. Diese Erkenntnis ist nicht gleichzusetzen mit der Aussage, dass diese Defekte keiner Behandlung bedürfen. Es wird vielmehr die Relation für eine individuelle Beurteilung von Regenerationsprozessen und heilungsunterstützenden Maßnahmen, z.B. dem Einsatz von Knochenersatzmaterialien zur Defektregeneration geschaffen.

Besonders bei Patienten, die eine Versorgung mit Implantaten bekommen haben, ist es entscheidend, dass die entsprechenden Regionen sorgfältig und regelmäßig kontrolliert werden, um eventuelle Veränderungen zu erkennen und gegebenenfalls zu therapieren.

Das errechnete Gesamtmodell kann eine erste Orientierung geben, es sind jedoch weitere Studien nötig, da sich die meisten aktuellen Studien mit Defekten im Rahmen der Periimplantitis [12, 13, 17, 29] oder mit apikalen Läsionen an Implantaten [7, 27, 30] befassen, wobei die Defektanalysen per Röntgenbild auf die distal und mesial gelegenen Veränderungen fokussiert sind.

Es ist erwiesen, dass die röntgenologische Sichtbarkeit von oral liegenden Knochendefekten besser ist als die von bukkal liegenden Defekten, da sich die oralen Läsionen näher am Zahnfilm befinden [21, 24].

can therefore be concluded that detection of a juxta-implant bone defect is most likely when the defect is in the maxilla on the oral side of the bone and the radiograph was taken obliquely.

A comparison between experienced and less experienced investigators should show the extent to which defect detection is influenced by the investigators' experience. The linear regressions performed individually for experienced and less experienced investigators including all variables yield 2 overall model equations that show that experience does not play a significant part with regard to defect detection.

## Discussion

The results show that various factors influence the detection of bone defects. The most important parameter in the calculated prediction model is the size of the defect, which was investigated in numerous studies dealing with the "critical size defect" [8, 14, 19, 26, 31]. The critical size defect (CSD) is defined as a bone defect that does not heal independently in the course of life [31] and that therefore requires treatment in the sense of assisted healing. Most studies investigated the CSD in an animal model, which can only be an approximation despite many similarities [28]. The values for the CSD differ considerably and *Sohn* et al. [32] came therefore to the conclusion that it is impossible to determine a single exact value for the CSD. In addition, the presence or absence of periosteum appears to be more critical for healing than the size of the bone lesion [3, 14].

With regard to this study, it is apparent that the threshold for detecting a defect is well below the values given for the CSD (15–50 mm). This finding does not mean that these defects do not require any treatment. Rather, it creates the relationship for an individual assessment of regeneration processes and measures to assist healing such as use of bone substitutes for defect regeneration.

Particularly in patients who have had implants inserted, it is crucial that the regions in question are followed up carefully and regularly so that any changes are identified and treated if necessary.

The calculated overall model can provide an initial guide but further studies are needed as most recent studies deal with defects associated with peri-implantitis [12, 13, 17, 29] apical implant lesions [7, 27, 30], with the radiographic defect analysis focusing on changes in distal and mesial location.

It has been shown that the radiographic visibility of oral bone defects is better than that of defects in buccal location as the oral lesions are closer to the X-ray film [21, 24].

This is confirmed by the results of this study, as is the better visibility of defects in the maxilla compared with defects in the mandible. The reason appears to be the different radiolucency of the bone, which was investigated in various studies [1, 6].

In the case of a suspected bone lesion that is poorly located for X-ray, the probability of detecting it can be increased by taking the radiograph obliquely. The X-ray beam should be set from the mesial or distal direction so that any superimposition

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen dies, ebenso wie die bessere Sichtbarkeit von Defekten im Oberkieferknochen, verglichen mit Läsionen des Unterkieferknochens. Grund hierfür scheint die unterschiedliche Strahlendurchlässigkeit der Knochen zu sein, die in diversen Studien untersucht wurde [1, 6].

Im Falle einer vermuteten, für die Aufnahme unvorteilhaft lokalisierten Läsion des Knochens, kann die Wahrscheinlichkeit der Erkennung durch einen exzentrisch aufgenommenen Zahnfilm erhöht werden. Hierbei sollte der Strahlengang von mesial oder distal so eingestellt werden, dass eventuelle Überlagerungen des Implantates mit der Läsion verringert werden. Ziel dieser zusätzlichen Aufnahme ist es, die sich bei orthoradialen Strahlengang überlagernden Objekte bzw. Strukturen so frei zu projizieren, dass sie nebeneinander auf dem Zahnfilm beurteilbar sind [9]. Dieser Fall traf im Rahmen der vorliegenden Studie auch auf die Defekte zu, deren Durchmesser kleiner war, als der des Implantates. Der Durchmesser der verwendeten Implantate lag bei 3,3 mm und die Defekte, deren Durchmesser geringer war, wurden im orthoradialen Zahnfilm vom Implantat überlagert [22, 25]. Betroffen waren hiervon alle Läsionen mit einem Durchmesser bis 3,1 mm (Bohrergröße 6), weshalb jeweils ein zusätzlicher exzentrischer Zahnfilm aufgenommen wurde.

Im errechneten Modell für die Aufnahmerichtung wird die Abhängigkeit der Defekterkennung von der Richtung des Strahlengangs deutlich. Es ist offensichtlich, dass die Wahrscheinlichkeit der Erkennung steigt, wenn der Wert der unabhängigen Variablen auf „1“ gesetzt wird, die Aufnahme also exzentrisch angefertigt wurde. Dies bestätigt sich auch bei entsprechendem Einsetzen der Werte in das Gesamtmodell, wobei sich die Wahrscheinlichkeiten für die Erkennung eines exemplarisch eingesetzten Defektes mit 4 mm Durchmesser um 7 % unterscheiden, in Abhängigkeit von der Aufnahmerichtung.

Dieses Ergebnis war letztlich zu erwarten, da in anderen Studien die bessere Darstellung überlagerter Defekte mithilfe exzentrisch aufgenommener Zahnfilme mit anderen Versuchsansätzen bereits untersucht wurde [10, 33].

## Schlussfolgerungen

Bezieht man die Ergebnisse auf den klinischen Alltag, so können sie die Bildgebung im Recall von Implantatpatienten beeinflussen. Während bei Einzelzahnimplantaten standardmäßig ein orthoradialer Zahnfilm angefertigt wird, kann ein zusätzlicher exzentrischer Film zur Beurteilung des oral und bukkal liegenden Knochens bei entsprechendem Verdacht sinnvoll sein. Die Anfertigung erscheint besonders dann gerechtfertigt, wenn sich aus den klinischen Befunden der Verdacht auf eine Läsion des Kieferknochens ergibt, der sich im orthoradialen Zahnfilm nicht bestätigt. Es ist dabei die höhere Strahlenbelastung zu bedenken, die jedoch im Verhältnis zur möglichen Mehrinformation vertretbar erscheint. Besonders vor dem Hintergrund, dass eine frühe Diagnose ossärer Läsionen die Prognose des Implantats durch entsprechende Therapie entscheidend verbessern und gegebenenfalls auch einen Verlust verhindern kann.

Die im Rahmen der Studie bestimmten Werte für den Durchmesser eines im Zahnfilm sichtbaren Knochendefekts zeigen aber auch deutlich die Limitation der konventionellen intraoralen Aufnahmen auf, wie sie bereits von *van Assche* et al. aufgezeigt wurden [34]. Selbst bei exzentrischen Aufnahmen ist es

of the implant on the lesion is diminished. The aim of this additional X-ray is to project objects that are superimposed on the orthoradial radiograph so freely that they can be assessed next to each other on the oblique film [9]. In this study, this also applied for defects with a diameter smaller than that of the implant. The diameter of the implants employed was 3.3 mm and the implants were superimposed on defects with a smaller diameter in the orthoradial film [22, 25]. This involved all lesions with a diameter up to 3.1 mm (bur size 6), so an additional oblique radiograph was taken in each case.

The calculated model for the direction of projection shows clearly that defect detection depends on the direction of the X-ray beam. It is apparent that the probability of detection increases when the value of the independent variable is set at "1", that is, the radiograph was taken obliquely. This is also confirmed when the values are inserted in the overall model, where the probability of detecting a sample defect with a diameter of 4 mm differs by 7 % depending on the direction of projection.

This result was ultimately to be expected as the better imaging of superimposed defects by means of oblique radiographs has already been investigated in other studies with a different experimental design [10, 33].

## Conclusions

If the results are translated to routine clinical practice, they can influence imaging in the recall of implant patients. While an orthoradial dental radiograph is standard with single implants, an additional periapical film taken with an oblique projection can be useful for assessing the oral and buccal bone if a lesion is suspected. Taking an oblique X-ray appears to be justified especially when a lesion of the bone is suspected clinically but is not confirmed on the orthoradial film. The greater radiation burden must be considered, but this appears acceptable relative to the possible additional information, especially since early diagnosis of osseous lesions significantly improves the prognosis of the implant through appropriate treatment and may also prevent implant loss.

However, the values obtained in the study for the diameter of a bone defect visible on dental X-ray also show clearly the limitation of conventional intraoral radiographs, as demonstrated by *van Assche* et al. [34]. Even with oblique X-rays, it is often not possible to diagnose or exclude osseous lesions. The newer radiographic techniques, which allow three-dimensional and high-resolution imaging, offer important advantages [22]. Computed tomography and, in particular, digital

oftmals nicht möglich, ossäre Läsionen zu diagnostizieren beziehungsweise diese auszuschließen. Die neueren Aufnahmetechniken, mit welchen eine dreidimensionale und hochauflösende Darstellung möglich ist, bieten hier wichtige Vorteile [22]. So gewinnen die Computertomographie und insbesondere die Digitale Volumetomographie immer mehr Bedeutung im Rahmen der präoperativen Diagnostik und Planung [2, 11, 18, 20]. Postoperativ sollen diese aber nur nach strenger Indikationsstellung eingesetzt werden. Zwar würden auch hier dreidimensionale Aufnahmen mehr Informationen liefern und eine bessere Beurteilung bei knöchernen Defektsituationen ermöglichen, zu bedenken ist jedoch die erhöhte Strahlenbelastung. Die Anwendung sollte daher auf Situationen beschränkt bleiben, die therapeutisch eine erweiterte Röntgendiagnostik benötigen. Hier ist besonders an Situationen zu denken, in denen eine Symptomatik vorliegt, deren Ursache weder durch klinische noch durch konventionelle röntgenologische Diagnostik eindeutig identifiziert werden kann. Ebenso in Betracht zu ziehen ist die Anfertigung dreidimensionaler Aufnahmen, wenn die genaue Kenntnis von Lage und Ausdehnung einer ossären Läsion zu einer Änderung des Therapiekonzeptes führen könnte.

Bei postoperativen Untersuchungen kann alternativ ergänzend eine Ultraschalluntersuchung durchgeführt werden [16]. Dieses Verfahren ist nicht-invasiv und kann wichtige Zusatzinformationen zu möglichen Läsionen des Knochens liefern.

Sollten weder die orthoradialen und exzentrischen Zahnfilmaufnahmen noch einfache Schichtaufnahmen oder eine Ultraschalluntersuchung zu ausreichender Bildgebung führen, beispielsweise bei Patienten mit Symptomen ungeklärter Ursache in der Region des Implantats, so ist es dem Behandler überlassen, weitere diagnostische Maßnahmen in Ergänzung zur klinischen Befundsituation zu nutzen.

**Interessenkonflikt:** Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt im Sinne des ICJME besteht.

#### Zitierweise:

Schneider E, Wahl G: Röntgenologische Analyse experimentell erzeugter implantatnaher Läsionen im humanen Kieferknochen – ein In-vitro-Modell. *Z Zahnärztl Implantol* 2013;29:308–320

**DOI** 10.3238/ZZI.2013.0308–0320

volume tomography are becoming more and more important in preoperative diagnosis and planning [2, 11, 18, 20]. However, these should be used postoperatively only when strictly indicated. Three-dimensional imaging would indeed provide more information and allow better assessment of bony defects but the increased radiation must be borne in mind. Its use should therefore remain restricted to situations that require extended diagnostic imaging for treatment decisions. These would be, in particular, situations where there are symptoms, the cause of which cannot be clearly identified clinically or by conventional diagnostic imaging. Three-dimensional imaging should also be considered when exact knowledge of the location and extent of an osseous lesion might lead to a change in the treatment plan.

Alternatively, ultrasound scanning can be performed postoperatively [16]. This is non-invasive and can deliver important additional information regarding possible bone lesions.

If neither orthoradial nor oblique dental radiographs nor ultrasound provide adequate imaging, for example, in patients with symptoms of uncertain origin in the region of the implant, it is up to the treating clinician to use other diagnostic measures to supplement the clinical findings.

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest in this study.

#### Citation:

Schneider E, Wahl G: Radiographic detection of artificial bone lesions adjacent to dental implants in human jaw – an in-vitro study model. *Z Zahnärztl Implantol* 2013;29:308–320

**DOI** 10.3238/ZZI.2013.0308–0320

#### Korrespondenzadresse

Dr. Eva Schneider  
Poliklinik für Parodontologie, Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde, Universitätsklinikum Bonn  
Welschnonnenstraße 17, D-53111 Bonn, Germany  
Tel.: +49-(0)-228-287-22428  
eva.schneider@uni-bonn.de

#### Literatur

1. Abrahams JJ: Dental CT imaging: A look at the jaw. *Radiology* 2001;219:334–345
2. Araki K, Maki K, Seki K et al.: Characteristics of a newly developed dentomaxillofacial X-ray cone beam CT scanner (CB MercuRay): system configuration and physical properties. *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33:51–59
3. Bender IB, Seltzer S: Roentgenographic and direct observation of experimental lesions in bone: I. 1961. *J Endod* 2003;29:702–712
4. Boeddinghaus R, Whyte A: Current concepts in maxillofacial imaging. *Eur J Radiol* 2008;66:396–418
5. Brosius F: SPSS 11. Bonn: mitp; 2002. 522–528
6. Cano J, Campo J, Vaquero JJ, Martinez Gonzalez JM, Bascones A: High resolution image in bone biology II. Review of the literature. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2008;13:31–35
7. Dahlin C, Nikfarid H, Alsen B, Kashani H: Apical peri-implantitis: possible predisposing factors, case reports, and surgical treatment suggestions. *Clin Implant Dent Relat Res* 2009;11:222–227
8. Ebina H, Hatakeyama J, Onodera M et al.: Micro-CT analysis of alveolar bone healing using a rat experimental model of critical-size defects. *Oral Dis* 2009;15:273–280
9. Forsberg J, Halse A: Radiographic simulation of a periapical lesion comparing the paralleling and the bisecting-angle techniques. *Int Endod J* 1994;27:133–138
10. Fuhrmann AW: Current practice in conventional and digital intraoral

- radiography: problems and solutions. *Int J Comput Dent* 2006;9:61–68
11. Guerrero ME, Jacobs R, Loubele M, Schutyser F, Suetens P, van Steenberghe D: State-of-the-art on cone beam CT imaging for preoperative planning of implant placement. *Clin Oral Investig* 2006;10:1–7
  12. Heitz-Mayfield LJ, Lang NP: Antimicrobial treatment of peri-implant diseases. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004;19 Suppl:128–139
  13. Hermann F, Lerner H, Palti A: Factors influencing the preservation of the peri-implant marginal bone. *Implant Dent* 2007;16:165–175
  14. Huh JY, Choi BH, Kim BY, Lee SH, Zhu SJ, Jung JH: Critical size defect in the canine mandible. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005;100:296–301
  15. Kavadella A, Karayiannis A, Nicopoulou-Karayianni K: Detectability of experimental peri-implant cancellous bone lesions using conventional and direct digital radiography. *Aust Dent J* 2006;51:180–186
  16. Li L, Zhu Z, Huang C, Chen W: Ultrasound: a potential technique to improve osseointegration of dental implants. *Med Hypotheses* 2008;71:568–571
  17. Lindhe J, Meyle J: Peri-implant diseases: Consensus Report of the Sixth European Workshop on Periodontology. *J Clin Periodontol* 2008;35 Suppl: 282–285
  18. Loubele M, Maes F, Schutyser F, Marchal G, Jacobs R, Suetens P: Assessment of bone segmentation quality of cone-beam CT versus multislice spiral CT: a pilot study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;102: 225–234
  19. Ma JL, Pan JL, Tan BS, Cui FZ: Determination of critical size defect of minipig mandible. *J Tissue Eng Regen Med* 2009;3:615–622
  20. Mengel R, Kruse B, Flores-de-Jacoby L: Digital volume tomography in the diagnosis of peri-implant defects: an in vitro study on native pig mandibles. *J Periodontol* 2006;77:1234–1441
  21. Mikolajczak T, Wilk G: The diagnostic value of oblique technique for periapical radiography and its usefulness in endodontic treatment. *Ann Acad Med Stetin* 2008;54:94–98
  22. Monsour PA, Dudhia R: Implant radiography and radiology. *Aust Dent J* 2008;53 Suppl:11–25
  23. Nitta H, Yamazaki S, Omori T, Sato T: An introduction to epidemiologic and statistical methods useful in environmental epidemiology. *J Epidemiol* 2010;20:177–184
  24. Pasler A: *Zahnärztliche Radiologie*. Stuttgart: Thieme; 2007
  25. Pikner SS: Radiographic follow-up analysis of Brånemark dental implants. *Swed Dent J* 2008; 5 Suppl: 62–69
  26. Polimeni G, Koo KT, Qahash M, Xiroupaidis AV, Albandar JM, Wikesjo UM: Prognostic factors for alveolar regeneration: bone formation at teeth and titanium implants. *J Clin Periodontol* 2004;31:927–932
  27. Rosendahl K, Dahlberg G, Kisch J, Nilner K: Implant periapical lesion. A case series report. *Swed Dent J* 2009;33: 49–58
  28. Ruehe B, Niehues S, Heberer S, Nelson K: Miniature pigs as an animal model for implant research: bone regeneration in critical-size defects. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009;108:699–706
  29. Salvi GE, Lang NP: Diagnostic parameters for monitoring peri-implant conditions. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004;19 Suppl:116–127
  30. Scarano A, Di Domizio P, Petrone G, Iezzi G, Piattelli A: Implant periapical lesion: a clinical and histologic case report. *J Oral Implantol* 2000;26:109–113
  31. Schmitz JP, Hollinger JO: The critical size defect as an experimental model for craniomandibulofacial nonunions. *Clin Orthop Relat Res* 1986;205: 299–308
  32. Sohn JY, Park JC, Um YJ et al.: Spontaneous healing capacity of rabbit cranial defects of various sizes. *J Periodontol Implant Sci* 2010;40:180–187
  33. Svenson B, Eriksson T, Kronstrom M, Palmqvist S: Quality of intraoral radiographs used for prosthodontic treatment planning by general dentists in the public dental health service. *Swed Dent J* 1995;19:47–54
  34. Van Assche N, Jacobs R, Coucke W, van Steenberghe D, Quirynen M: Radiographic detection of artificial intra-bony defects in the edentulous area. *Clin Oral Implants Res* 2009;20:273–279