

Aus der kieferorthopädischen Abteilung (Leiter: Prof. Dr. K. Nawrath) der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten (Direktor: Prof. Dr. F. Jung) der Johannes Gutenberg-Universität, Mainz

Wurzelmineralisation und Zahndurchbruch im Wechselgebiß

Eine Studie an Panorama-Röntgenbildern

Von **P. M. Schopf, Mainz**

Mit 6 Abbildungen

Für die Planung, Durchführung und Prognose einer kieferorthopädischen Behandlung ist die Kenntnis des Reifezustandes eines kindlichen Gebisses von großer Bedeutung. Eine Möglichkeit zur Feststellung des vom chronologischen Alter nicht selten abweichenden „Zahnalters“ bieten die Tabellen von Matiegka [23], Skaloud [34], Hurme [18] und Adler-Hradecky [4, 6]. Mit ihrer Hilfe lassen sich Früh-, Normal- und Spätzahner an Hand der durchgebrochenen bleibenden Zähne bzw. der noch vorhandenen Milchzähne [1] klassifizieren.

Schwierigkeiten bereitet dabei nicht nur die große individuelle Schwankungsbreite, sondern auch die Tatsache, daß im frühen Wechselgebiß, d. h. mit 7 bis 8½ Jahren, nur wenige permanente Zähne zur Bestimmung herangezogen werden können und daß der Bestand der Milchzähne weitgehend von exogenen Faktoren (Karies, frühzeitige Extraktionen usw.) abhängt.

Es erscheint daher zweckmäßig, bei der Analyse des dentalen Alters auch den Reifezustand der noch im Kiefer liegenden Zahnkeime zu berücksichtigen.

Die Feststellung von Mineralisation und Position der Keime ist durch histologische und röntgenologische Untersuchung möglich. Während die histologische Untersuchung sich in der Regel auf ein zahlenmäßig kleines Sektionsmaterial beschränken muß, erlaubt die röntgenologische Darstellung des Gebißsystems eine Analyse auf wesentlich breiterer Basis. Zu diesem Zweck finden nicht nur intraorale, sondern auch extraorale Aufnahmen — Fernröntgenbilder, Unterkieferaufnahmen und in letzter Zeit auch Panoramabilder — Verwendung.

Auf Grund projektorischer Gegebenheiten und des begrenzten Bildausschnitts läßt ein Status aus intraoralen Aufnahmen nicht in allen Kieferabschnitten exakte Aussagen zu. Auch die Beurteilung der Zahnentwicklung der Fernröntgenaufnahmen in der Norma lateralis bereitet infolge der Überlagerung beider Seiten Schwierigkeiten. Die isolierte Darstellung des horizontalen und aufsteigenden Unterkieferastes erlaubt lediglich eine Wertung der unteren Seitenzähne, während die Zähne des Oberkiefers nicht genau zu identifizieren sind.

Als großer Fortschritt in der röntgenologisch-kieferorthopädischen Befunderhebung wurde daher die von Paatero [30, 31] entwickelte Panorama Röntgentechnik empfunden, die in allen Kieferabschnitten, auch im retromolaren Raum, eine optimale Darstellung der Mineralisations- und Positionsstufen der Zähne erlaubt [26, 8, 11, 27].

Bei Durchsicht der einschlägigen Literatur, insbesondere der Handbücher der Zahnheilkunde, zeigt sich, daß die heute gebräuchlichen Mineralisationstabellen in der Mehrzahl auf Untersuchungen von Logan und Kronfeld [22] aus dem Jahre 1933 zurückgehen. Die von beiden Autoren auf Grund einer histologischen und röntgenologischen Analyse von 25 Kindern im Alter von 0 bis 15 Jahren aufgestellten Tabellen wurden 1940 von Schour und Massler [32] modifiziert und ergänzt.

Neuere Publikationen von Garn, Lewis und Shoemaker [12] sowie Moorrees, Fanning und Hunt [24] basieren auf dem Röntgenmaterial der „Fels Longitudinal Studies“, welche ab 1939 am Fels Research Institute in Yellow Springs, Ohio, durchgeführt wurden. Hier standen die Unterkieferröntgenbilder von über 250 Kindern zur Verfügung: die Angaben beschränken sich demnach, wie die 1962 erschienenen Tabellen von Grøn [15], auf die Mineralisationsstadien der unteren Prämolaren und Molaren. Auch die Arbeiten von Andreas [7] und Nawrath [28] enthalten wertvolle Informationen in bezug auf die Entwicklung der zweiten Prämolaren bzw. der Eckzähne, während sich die Dissertation von Immel [19] mit dem Teilproblem der Symmetrie und Asymmetrie der Seitenzahnentwicklung beschäftigt.

Eine Überprüfung der Tabellen von Logan und Kronfeld aus dem Jahre 1933 erscheint daher wünschenswert, zumal für die oberen und unteren Zähne zwar getrennte Angaben existieren, zwischen Mädchen und Jungen damals jedoch nicht unterschieden wurde.

Nach den Untersuchungen von Garn, Lewis, Koski und Polachek [13] ist eine derartige Unterteilung erforderlich. Auch der von Adler [3] festgestellte Geschlechtsunterschied im Zahnwechsel läßt eine zeitlich voneinander abweichende Zahnentwicklung bei Jungen und Mädchen vermuten.

Hinzu kommt, daß infolge der von vielen Autoren [6, 33, 16, 17, 35 u. a.] festgestellten Akzeleration im Zahndurchbruch auch Verschiebungen in der prä-eruptiven Phase zu erwarten sind.

Eigene Untersuchungen

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen kamen die Orthopantomogramme von 350 Kindern im Alter von 6 bis 13 Jahren zur Auswertung. Jede der Altersklassen enthielt zur Hälfte Mädchen und Jungen. Die Analyse beschränkte sich auf die Feststellung der Mineralisations- und Positionsstufen der oberen und unteren Eckzähne, Prämolaren sowie der zweiten Molaren. Die Entwicklung der Schneidezähne und der Sechsjahrmolaren wurde nicht registriert, da das vorhandene Material lediglich die Beurteilung der letzten Stadien der Zahnentwicklung zuließ, für kieferorthopädische Belange also in bezug auf die Inzisivi und ersten Molaren nur Ergebnisse von untergeordneter Bedeutung zu erwarten waren. Auch auf die Feststellung der Weisheitszahnentwicklung wurde verzichtet, da die Anlage der Sapientes erst auf den Röntgenaufnahmen der älteren Patienten dargestellt werden konnte. Zur Beurteilung des Mineralisationsgrades der einzelnen Zähne schien das von Gleiser und Hunt angegebene und von Fanning [9] sowie Moorrees [24] erweiterte Schema besonders geeignet. Es wurde zur besseren statistischen Bearbeitung nur geringfügig modifiziert. Abb. 1 gibt ein Bild der Mineralisationsstadien für ein- und mehrwurzelige Zähne. Kronen-, Wurzel- und Apexbildung sind entsprechend dem oben erwähnten Auswertungsschema mit Buchstabensymbolen gekennzeichnet.

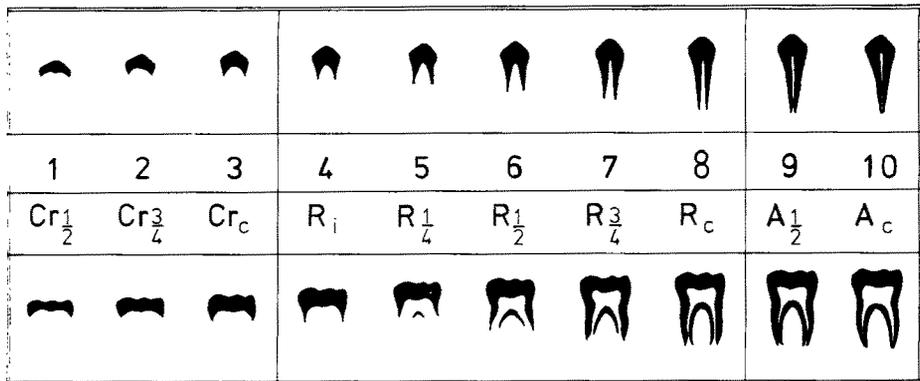


Abb. 1. Mineralisationsstadien ein- und mehrwurzeliger Zähne

Aus rechentechnischen Gründen wurden die einzelnen Stadien zusätzlich mit Nummern von 1 bis 10 versehen (Tab. I).

Tabelle I. Mineralisationsstadien

- 1 (Cr $\frac{1}{2}$) Krone zur Hälfte mineralisiert
- 2 (Cr $\frac{3}{4}$) Dreiviertel der Krone mineralisiert
- 3 (Cr c) Krone voll mineralisiert
- 4 (R i) Beginn der Wurzelbildung
- 5 (R $\frac{1}{4}$) Ein Viertel der Wurzel gebildet
- 6 (R $\frac{1}{2}$) Wurzel zur Hälfte ausgebildet
- 7 (R $\frac{3}{4}$) Dreiviertel der Wurzellänge
- 8 (R c) Volle Wurzellänge
- 9 (A $\frac{1}{2}$) Apex zur Hälfte geschlossen
- 10 (A c) Zahn voll ausgebildet

Die Festlegung der vertikalen Position erfolgte für die Eckzähne und Seitenzähne in unterschiedlicher Weise. Für die Positionsbestimmung der Eckzahnschneiden war entsprechend den Vorschlägen von Kloeppe [21] und Nawrath [28] der Abstand zur Grundebene bzw. zur Okklusionsebene maßgeblich. Eine Aufteilung des Raumes zwischen Nasenboden bzw. Unterkieferrand und Okklusionsebene in je 10 Streifen gleicher Ausdehnung erwies sich als sinnvoll.

Bei Stufe 0 lag die Eckzahnschneide in Höhe der Grundebene, während der Zahn in Stufe 10 die Okklusionsebene erreicht hatte (Abb. 2).

Im Seitenzahngebiet bot sich als Bezugsobjekt für die Beurteilung der Vertikalentwicklung der Prämolaren und zweiten Molaren der Sechsjahrmolar an (Abb. 3). Während die Spitzen der Zahnkeime sich in der ersten Stufe etwa auf der Höhe der Wurzelmitte, in der dritten auf Höhe der Bifurkation und in der fünften Stufe in der Ebene des Pulpenbodens befinden, beziehen sich die Positionen 6 bis 10 auf die Relation der Keime zur Okklusionsebene. In Position 6 ist die Krone noch von einer geringen Knochenschicht bedeckt, die dann im 7. Stadium durchbrochen ist. Position 8 entspricht dem Zeitpunkt des Durchbruchs in die Mundhöhle, während der Zahn in der zehnten und letzten Stufe die Okklusionsebene erreicht hat. In Zweifelsfällen wurde hier die Röntgenanalyse durch den Befund des Kieferabgusses ergänzt.

Nach Auswertung der Orthopantomogramme wurden die fast 19000 Einzelwerte auf Lochkarten übertragen, um durch maschinelle Datenverarbeitung die weiteren statistischen Berechnungen zu erleichtern¹⁾.

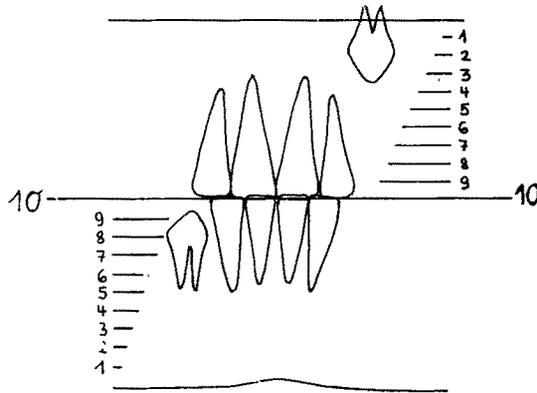


Abb. 2. Auswertungsschema für Positionsbestimmung der Eckzähne

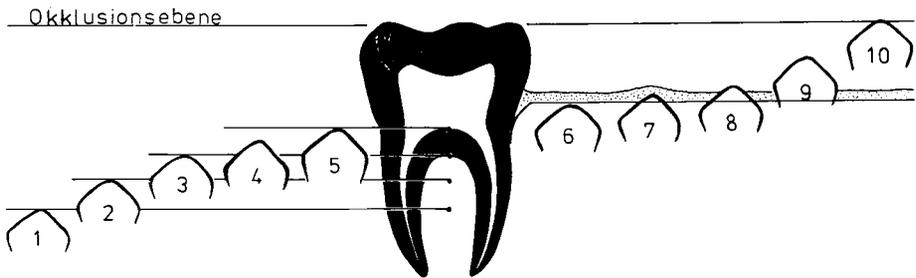


Abb. 3. Auswertungsschema zur Positionsbestimmung der Prämolaren und zweiten Molaren

Ergebnisse

Um einen Überblick über die altersabhängige Entwicklung der Eckzähne, Prämolaren und zweiten Molaren im Ober- und Unterkiefer zu erhalten, wurden für jeden Zahn die Werte aller untersuchten Kinder, getrennt nach Altersklassen und Geschlecht, addiert und jeweils ein Durchschnittswert errechnet. In Tabelle II sind die Mittelwerte mit der dazugehörigen Standardabweichung für die Mineralisation aufgeführt; Tabelle III enthält die Angaben für die Position der einzelnen Zähne. Die meisten Werte weisen eine relativ große Schwankungsbreite auf, was in den errechneten Standardabweichungen zum Ausdruck kommt. Die weiteste Streuung zeigten erwartungsgemäß die zweiten Prämolaren, deren Durchbruch von allen untersuchten Zähnen am häufigsten exogenen Einflüssen ausgesetzt ist.

¹⁾ An dieser Stelle sei den Mitarbeitern des Instituts für Statistik und Dokumentation der Universität Mainz (Leiter: Prof. Dr. Dr. S. Koller) für ihre freundliche Unterstützung gedankt.

Tabelle II. Mineralisationsmittelwerte mit Standardabweichung der Altersklassen 6 bis 13

Altersklasse	6	7	8	9	10	11	12	13
Alter (Mw.)	6,56 ± 0,33	7,54 ± 0,32	8,42 ± 0,31	9,43 ± 0,30	10,29 ± 0,27	11,41 ± 0,23	12,34 ± 0,22	13,44 ± 0,29
OK 3	4,4 ± 0,7	5,2 ± 0,6	6,1 ± 0,9	6,6 ± 0,7	7,0 ± 0,8	7,7 ± 0,8	8,1 ± 0,5	8,3 ± 1,1
4	3,8 ± 0,9	4,5 ± 0,6	5,8 ± 0,8	6,2 ± 0,9	6,7 ± 0,8	7,8 ± 0,7	8,4 ± 0,7	9,0 ± 0,8
5	3,1 ± 0,8	3,8 ± 0,7	5,1 ± 0,8	5,3 ± 0,8	6,0 ± 1,0	7,3 ± 1,2	8,0 ± 0,8	8,8 ± 0,9
7	3,0 ± 0,9	4,0 ± 0,3	4,4 ± 0,6	4,6 ± 0,7	5,4 ± 0,8	6,6 ± 1,1	7,5 ± 1,0	8,3 ± 0,8
UK 3	4,7 ± 0,8	5,5 ± 0,8	6,2 ± 0,7	6,6 ± 0,7	7,2 ± 0,7	7,6 ± 0,8	8,3 ± 0,5	8,8 ± 0,6
4	3,6 ± 0,7	4,7 ± 0,9	5,5 ± 0,8	6,1 ± 0,9	6,6 ± 1,1	7,7 ± 1,2	8,4 ± 0,8	9,1 ± 0,7
5	3,4 ± 0,8	3,9 ± 1,0	5,1 ± 1,0	5,5 ± 1,0	6,3 ± 1,2	7,1 ± 1,2	7,5 ± 1,3	8,6 ± 0,8
7	2,7 ± 0,8	3,7 ± 1,0	4,5 ± 0,8	4,8 ± 0,6	5,6 ± 0,9	6,6 ± 1,1	7,4 ± 0,8	8,2 ± 0,6
Alter (Mw.)	6,75 ± 0,14	7,56 ± 0,28	8,48 ± 0,25	9,45 ± 0,27	10,38 ± 0,26	11,43 ± 0,29	12,30 ± 0,24	13,38 ± 0,32
OK 3	5,1 ± 0,6	5,8 ± 0,8	6,5 ± 0,7	7,1 ± 0,7	7,5 ± 0,6	8,2 ± 0,5	8,6 ± 0,7	9,3 ± 0,8
4	4,1 ± 0,3	4,9 ± 0,9	5,8 ± 1,0	6,5 ± 1,0	7,2 ± 1,0	8,1 ± 0,9	8,5 ± 0,9	9,6 ± 0,7
5	3,3 ± 0,6	4,1 ± 0,8	4,9 ± 1,0	5,8 ± 1,2	6,6 ± 1,1	7,7 ± 0,8	8,1 ± 1,2	9,1 ± 1,0
7	3,5 ± 1,1	3,7 ± 0,7	4,5 ± 1,0	5,0 ± 0,8	5,9 ± 1,0	6,8 ± 1,0	7,5 ± 1,3	8,8 ± 0,9
3	5,5 ± 0,6	6,0 ± 0,7	6,8 ± 0,8	7,4 ± 0,7	7,6 ± 0,6	8,4 ± 0,8	8,7 ± 0,5	9,5 ± 0,7
4	4,5 ± 0,6	5,0 ± 0,5	5,8 ± 0,9	6,6 ± 1,1	7,2 ± 0,8	8,2 ± 1,0	8,7 ± 0,9	9,7 ± 0,6
5	3,6 ± 0,8	4,0 ± 0,7	5,0 ± 1,3	5,9 ± 1,2	6,6 ± 1,0	7,7 ± 0,9	8,2 ± 1,0	9,0 ± 1,1
7	3,3 ± 0,5	3,6 ± 0,8	4,5 ± 1,1	5,3 ± 1,1	6,1 ± 1,0	7,2 ± 0,8	7,6 ± 0,9	8,6 ± 0,9

♂

♀

Tabelle III. Positionsmittelwerte mit Standardabweichung der Altersklassen 6 bis 13

Altersklasse	6	7	8	9	10	11	12	13
Alter (Mw.)	6,56 ± 0,33	7,54 ± 0,32	8,42 ± 0,31	9,43 ± 0,30	10,29 ± 0,27	11,41 ± 0,23	12,34 ± 0,22	13,44 ± 0,29
OK 3	1,9 ± 1,1	3,2 ± 1,8	4,3 ± 2,1	4,3 ± 1,5	5,9 ± 2,1	8,2 ± 1,7	8,9 ± 1,5	9,4 ± 0,9
4	4,9 ± 2,3	6,0 ± 1,2	7,0 ± 1,4	7,6 ± 1,6	7,9 ± 1,7	9,4 ± 1,2	9,7 ± 0,8	9,8 ± 0,5
5	4,4 ± 2,4	5,1 ± 1,5	6,3 ± 1,5	6,4 ± 1,3	7,0 ± 1,9	8,7 ± 1,8	9,0 ± 1,5	9,5 ± 1,1
7	4,9 ± 1,4	5,7 ± 0,7	5,6 ± 0,8	5,6 ± 0,7	6,1 ± 0,6	7,3 ± 1,6	8,0 ± 1,6	8,8 ± 1,5
UK 3	3,6 ± 1,4	4,9 ± 1,8	6,1 ± 1,6	6,6 ± 1,4	7,9 ± 1,9	9,3 ± 1,0	9,6 ± 0,7	10,0 ± 0,2
4	3,5 ± 1,7	5,0 ± 1,4	6,5 ± 1,9	6,9 ± 1,7	8,1 ± 1,9	9,3 ± 1,3	9,5 ± 0,9	9,9 ± 0,3
5	3,2 ± 1,5	3,4 ± 1,1	5,4 ± 1,8	5,4 ± 1,6	6,7 ± 2,2	8,3 ± 1,8	8,4 ± 2,3	9,8 ± 0,6
7	4,8 ± 1,7	5,9 ± 0,8	6,1 ± 0,8	6,1 ± 0,7	7,0 ± 1,3	8,3 ± 1,3	8,7 ± 1,3	9,8 ± 0,6
Alter (Mw.)	6,75 ± 0,14	7,56 ± 0,28	8,48 ± 0,25	9,45 ± 0,27	10,38 ± 0,26	11,43 ± 0,29	12,30 ± 0,24	13,38 ± 0,32
OK 3	2,3 ± 1,4	3,0 ± 1,0	4,1 ± 1,7	6,1 ± 2,5	6,7 ± 2,2	8,4 ± 1,4	9,4 ± 1,1	9,7 ± 0,8
4	5,8 ± 1,7	6,1 ± 1,0	6,8 ± 1,4	7,7 ± 1,8	8,3 ± 1,5	9,4 ± 0,9	9,7 ± 0,6	9,9 ± 0,4
5	4,4 ± 0,9	5,3 ± 1,4	6,0 ± 1,4	7,2 ± 2,1	7,4 ± 1,7	8,8 ± 1,5	9,1 ± 1,5	9,6 ± 1,1
7	4,9 ± 0,9	5,1 ± 1,0	5,7 ± 0,6	5,9 ± 1,2	6,2 ± 0,9	7,5 ± 1,6	8,3 ± 1,8	9,1 ± 1,3
UK 3	5,5 ± 0,6	5,6 ± 1,4	7,0 ± 1,8	8,4 ± 1,8	9,1 ± 1,3	9,8 ± 0,5	10,0 ± 0,1	10,0 ± 0,3
4	3,3 ± 1,2	5,3 ± 1,2	6,3 ± 1,9	7,4 ± 2,3	8,4 ± 1,6	9,5 ± 0,8	9,9 ± 0,2	9,9 ± 0,3
5	3,4 ± 1,8	4,0 ± 1,2	4,9 ± 1,9	6,3 ± 2,7	6,7 ± 1,8	8,8 ± 1,7	9,4 ± 1,4	9,6 ± 1,0
7	4,5 ± 2,4	5,7 ± 0,7	6,4 ± 1,0	6,8 ± 1,0	7,3 ± 1,1	8,9 ± 1,5	9,2 ± 1,3	9,8 ± 0,5

5

9

Bezüglich der Unterschiede zwischen beiden Geschlechtern ergab sich kein einheitliches Bild. In der Mineralisation waren die Eckzähne und die unteren ersten Prämolaren der Mädchen in allen Altersklassen deutlich voraus (Abb. 4).

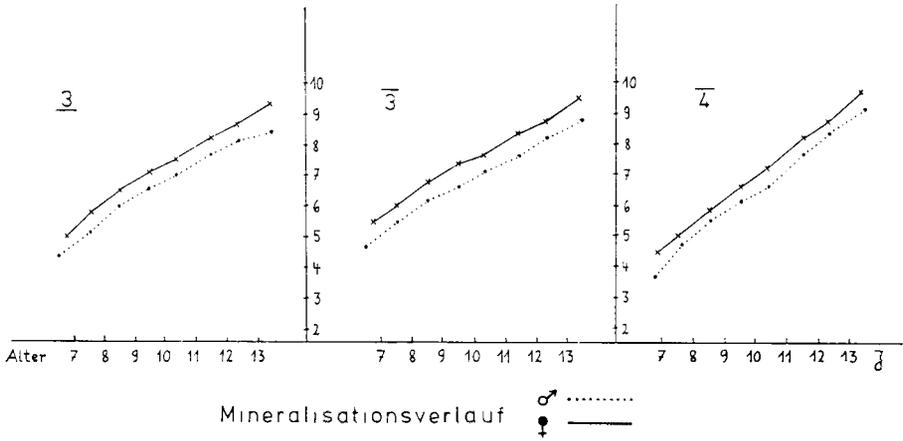


Abb. 4. Graphische Darstellung der Mineralisationsmittelwerte in den einzelnen Altersklassen für die Eckzähne und die unteren 1. Prämolaren

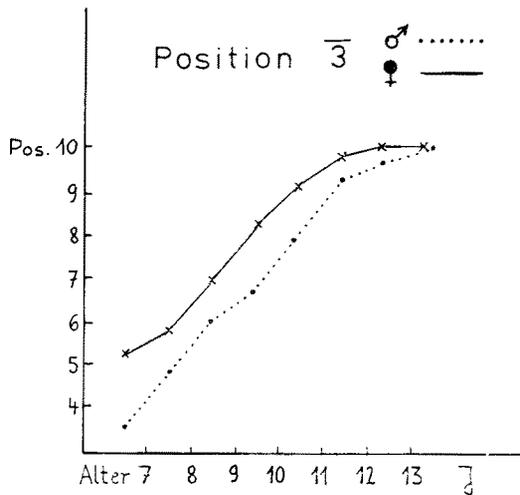


Abb. 5. Graphische Darstellung der Positionsmittelwerte in den einzelnen Altersklassen für die unteren Eckzähne

Bei den übrigen Zähnen war allenfalls nach dem 9. Lebensjahr ein geringer Vorsprung feststellbar. Auch in bezug auf die vertikale Position konnte nur bei den unteren Eckzähnen ein eindeutiger Geschlechtsunterschied verzeichnet werden (Abb. 5).

Dieses Ergebnis deckt sich mit den Feststellungen von Adler [3], dessen Untersuchungen über den Zahnwechsel ebenfalls die signifikantesten Unterschiede bei den unteren Eckzähnen zeigten. Während die oberen Eckzähne sowie die unteren Prämolaren und zweiten Molaren bei den Mädchen einen geringen Wachstumsvorsprung erkennen ließen, unterschieden sich die Positionswerte der oberen Prämolaren und zweiten Molaren nicht wesentlich von denen der männlichen Vergleichsgruppe.

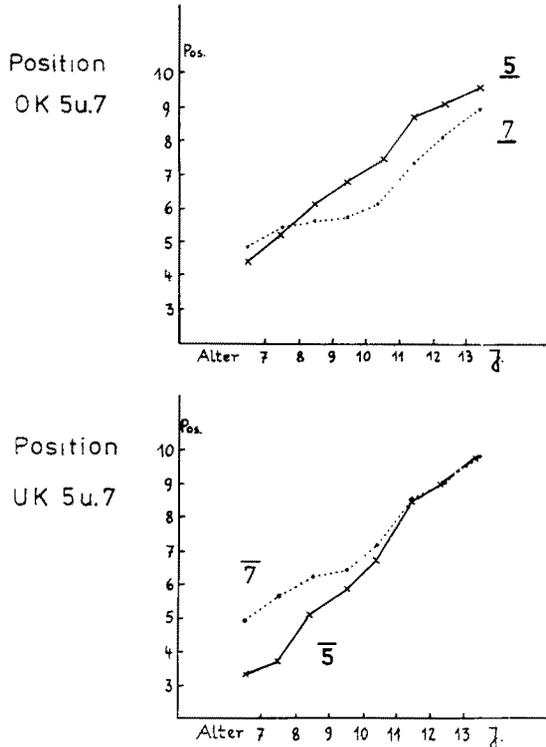


Abb. 6. Vergleich der Positionswerte der 2. Prämolaren und 2. Molaren im Ober- und Unterkiefer

Wichtige Aufschlüsse für die Extraktionstherapie und die Stützzonenerhaltung ergab ein Vergleich der Positionswerte der zweiten Prämolaren und Molaren. Im Oberkiefer zeigte der zweite Prämolare etwa vom 8. Lebensjahr an einen deutlichen Wachstumsvorsprung (Abb. 6).

Im Unterkiefer hingegen lag der Keim des zweiten Prämolaren lange Zeit tiefer als der im retromolaren Feld angelegte zweite Molar und erreichte erst kurz vor dem Durchbruch einen Gleichstand.

Das bedeutet, daß bei den meisten der von uns untersuchten Kinder der untere zweite Prämolare und der zweite Molar zur gleichen Zeit durchbrachen bzw. daß der Molar genau so häufig vor dem Prämolaren in der Mundhöhle erschien, wie umgekehrt. Auf die Nachteile einer derartigen Entwicklung ist bereits früher von Nawrath [29] hingewiesen worden.

Der in Abb. 6 graphisch dargestellte Verlauf der Vertikalentwicklung der beiden Zähne zeigt aber auch, daß deren Position im frühen Wechselgebiß nicht ohne weiteres Rückschlüsse auf die Reihenfolge des Zahndurchbruchs zulassen. Die tiefere Lage der zweiten Prämolaren ist bis zum 10. bis 11. Lebensjahr vielmehr physiologisch und darf nicht als Ausdruck eines Wachstumsrückstandes gedeutet werden.

Während die nach Altersklassen gestaffelten Mineralisations- und Positionstabellen einen guten Überblick über die Zahnentwicklung zwischen dem 6. und 13. Lebensjahr gestatten, erscheinen sie zur Errechnung des „dentalen Alters“ weniger geeignet. Aus diesem Grunde wurde in einer weiteren Untersuchung für alle in ausreichender Zahl festgestellten Mineralisations- und Positionsstufen der Mittelwert des dazugehörigen Patientenalters bestimmt (Tab. IV und V).

Ergänzend führt Tabelle VI die den einzelnen Positionsstufen entsprechenden Mineralisationsmittelwerte auf.

Sofern signifikante Unterschiede zwischen den beiden Geschlechtern vorhanden waren, sind getrennte Werte angegeben. Während die Mineralisationstabellen bei den meisten Zähnen Altersmittelwerte für die Grade 3 bis 9 enthalten, beschränken sich die Angaben in der Positionstabelle weitgehend auf die Stufen 4 bis 8. Die nach dem Durchbruch des Zahnes registrierten Altersangaben (Stufe 9 und 10) wurden in den Aufstellungen nicht berücksichtigt.

Während bislang zur Bestimmung des „Zahnalters“ nach Matiegka [23], Hurme [18], Adler [4] u. a. nur bereits durchgebrochene permanente Zähne herangezogen werden konnten, erlauben die vorgelegten Tabellen die Errechnung des „dentalen Alters“ auf Grund der röntgenologischen Feststellung des Mineralisationsgrades und der vertikalen Position von je 8 Seitenzähnen im Ober- und Unterkiefer. Ein durch den Einfluß exogener Faktoren verfälschter Zufallsbefund kann damit weitgehend ausgeschlossen werden.

Neben der Verwendbarkeit zur Bestimmung des „Zahnalters“ enthalten die Tabellen eine Anzahl interessanter Informationen. So geht die bis zum 10. Lebensjahr gleichmäßig verlaufende Vertikalentwicklung der oberen zweiten Prämolaren und zweiten Molaren aus den Aufstellungen genau so deutlich hervor, wie die eingangs diskutierten Positionsverschiebungen der zweiten Prämolaren und Molaren im Unterkiefer.

Die Auswertung der Tabelle IV, welche die Altersmittelwerte für die Mineralisationsgrade 3 bis 9 angibt, läßt bezüglich der Verkalkungsreihenfolge erkennen, daß im frühen Wechselgebiß die Mineralisation der oberen und unteren Eckzähne am weitesten fortgeschritten ist. Es folgen die ersten, dann die zweiten Prämolaren, während die zweiten Molaren die niedrigsten Mineralisationswerte aufweisen. Nach Beendigung des Zahnwechsels, d. h. im 11. bis 12. Lebensjahr, hat sich dieses Gefälle weitgehend egalisiert, was auf eine unterschiedliche Mineralisationsgeschwindigkeit schließen läßt.

In Tabelle VI sind für die meisten Positionsstufen die dazugehörigen Mineralisationswerte aufgeführt. Die gleichmäßige Steigerung der Werte deutet darauf hin, daß Vertikalentwicklung und Verkalkung im wesentlichen parallel verlaufen. Lediglich bei den oberen Eckzähnen und bei den zweiten Prämolaren zeigen sich zwischen den Positionsstufen 5 bis 8 bzw. 7 bis 8 geringere Veränderungen des Mineralisationswertes, was sich durch eine Erhöhung der Eruptionsgeschwindigkeit kurz vor dem Zahndurchbruch erklären läßt.

Die in den Mineralisations- und Positionstabellen sichtbaren Geschlechtsunterschiede demonstrieren recht deutlich die frühere Ausreifung des weiblichen

Tabelle IV. Altersmittelwerte mit Standardabweichung der Mineralisationsgrade 3 bis 9

		Mineralisationsgrad								
		3	4	5	6	7	8	9		
OK 3	♂				8,91 ± 0,96	10,00 ± 1,08	12,03 ± 1,12	13,01 ± 0,66		
	♀			7,65 ± 0,64	8,30 ± 0,79	9,38 ± 1,07	11,24 ± 1,31	12,34 ± 0,81		
	♂		7,28 ± 1,42	8,34 ± 0,80	9,30 ± 1,02	10,14 ± 1,28	11,92 ± 1,07	12,75 ± 0,59		
	♀		7,26 ± 0,52	8,34 ± 0,80	9,30 ± 1,02	10,14 ± 1,28	11,21 ± 1,33	12,10 ± 0,96		
5	♂	7,18 ± 0,57	8,08 ± 0,80	9,10 ± 1,01	10,14 ± 1,12	11,12 ± 1,40	12,04 ± 0,99	12,93 ± 0,68		
	♀					10,77 ± 1,33	11,61 ± 1,15	12,59 ± 0,96		
7	♂	7,42 ± 0,73	8,38 ± 0,96	9,60 ± 1,00	10,82 ± 1,04	11,53 ± 1,17	12,92 ± 0,72	13,05 ± 0,64		
	♀									
UK 3	♂			7,74 ± 0,87	8,67 ± 1,05	9,93 ± 1,01	11,73 ± 1,25	12,95 ± 0,69		
	♀			7,45 ± 0,59	8,00 ± 0,75	9,26 ± 1,12	10,80 ± 1,33	12,14 ± 0,95		
	♂		7,47 ± 0,83	8,66 ± 0,91	9,45 ± 1,13	10,43 ± 1,12	12,35 ± 1,11	12,57 ± 0,94		
	♀			8,08 ± 0,79	8,96 ± 0,90	10,32 ± 1,08	11,04 ± 1,25	12,15 ± 0,93		
5	♂	7,12 ± 0,53	8,17 ± 1,19	9,20 ± 1,17	9,83 ± 1,25	10,85 ± 1,23	12,22 ± 1,02	12,83 ± 0,86		
	♀					10,56 ± 1,11	11,72 ± 1,20	12,67 ± 0,76		
7	♂	7,35 ± 0,70	8,41 ± 0,90	9,45 ± 0,96	10,60 ± 1,01	11,76 ± 1,08	12,72 ± 0,75	13,29 ± 0,50		
	♀					11,09 ± 1,18	12,26 ± 1,19	12,95 ± 0,65		

Tabelle V. Altersmittelwerte mit Standardabweichung der Positionsstufen 1 bis 8

		Positionsstufe							
		1	2	3	4	5	6	7	8
OK 3	♂	7,15±0,70	7,83±0,80	8,27±0,85	9,22±1,02	9,93±1,14	10,69±1,37	10,96±1,75	11,17±1,54
	♀					9,70±1,38	10,25±1,53	10,32±1,40	11,00±1,60
	♂					7,84±0,86	8,82±1,29	9,32±1,44	9,92±0,98
	♀				8,01±1,32	8,69±1,33	9,49±1,50	11,00±1,63	11,10±1,53
UK 3	♂				8,28±1,46	8,73±1,40	9,59±1,52	11,50±1,47	11,90±1,02
	♀								
	♂					8,36±1,06	9,12±0,98	9,72±1,21	10,12±1,04
	♀				7,65±0,81	8,05±0,90	8,11±0,92	8,75±0,93	9,65±1,60
UK 4	♂				8,00±0,93	8,26±0,92	9,37±1,24	10,09±1,48	10,23±1,20
	♀						8,85±1,06	9,89±1,50	10,11±1,40
	♂					9,31±1,37	10,24±1,38	10,88±1,40	10,90±1,20
	♀		7,31±0,59	8,43±1,07	8,80±1,55	8,98±1,21	10,05±1,60	10,36±1,48	10,60±1,15
UK 7	♂					8,28±1,25	8,83±1,27	10,34±1,41	11,57±1,35
	♀								10,75±1,48
	♂								
	♀								

Gebisses. In der Verkalkung ist besonders bei den Eckzähnen ein erheblicher Vorsprung der Mädchen erkennbar, welcher sich im Unterkiefer bereits mit 7 Jahren, im Oberkiefer nach dem 8. Lebensjahr nachweisen läßt. Bezüglich der vertikalen Position sind im Oberkiefer lediglich für den Eckzahn getrennte Werte angegeben. Im Unterkiefer hingegen war bei allen Zähnen, besonders beim Eckzahn, ein signifikanter Geschlechtsunterschied festzustellen.

Wie bei vielen ähnlichen Untersuchungen [16, 2, 24 u. a.], die eine Ermittlung „biometrischer Mittelwerte“ zum Ziele haben, kann die erhebliche Schwankungsbreite nicht überraschen. So weisen die Altersangaben in den Positionstabellen eine Standardabweichung von 1 bis $1\frac{1}{2}$ Jahren auf. Die größten Schwankungen zeigten die oberen Eckzähne sowie die zweiten Prämolaren: die geringsten wurden bei den unteren Eckzähnen beobachtet.

Die Altersangaben in den Mineralisationstabellen lassen allgemein geringere Schwankungen erkennen, jedoch beträgt auch hier die Standardabweichung der Altersmittelwerte durchschnittlich etwa 1 Jahr.

Aus der Fülle der in den Tabellen enthaltenen Angaben seien zwei Punkte herausgehoben, die für die kieferorthopädische Praxis von besonderem Interesse scheinen. Aus den Tabellen V und VI lassen sich nämlich für die Positionsstufe 8, d. h. für den Zeitpunkt des Durchbruchs in die Mundhöhle, für alle untersuchten Zähne Altersangaben und zugehörige Mineralisationsmittelwerte ablesen. Zur besseren Interpretation sind diese Angaben in Tabelle VII noch einmal getrennt aufgeführt.

Tabelle VII. Alters- und Mineralisationsmittelwerte zum Zeitpunkt des Zahndurchbruchs

	Positionsstufe 8			
	Alter		Mineralisation	
	♂	♀	♂	♀
OK 3	11,2	11,0	7,5	8,0
4	9,9		6,6	
5	11,1		6,9	
7	11,9		7,3	
UK 3	10,1	9,6	7,2	
4	10,2	10,1	6,5	7,0
5	10,9	10,6	6,8	
7	11,6	10,8	6,7	

Aus ihnen läßt sich ersehen, daß bei den von uns untersuchten Kindern die unteren Eckzähne sowie die oberen und unteren ersten Prämolaren durchschnittlich mit 10 Jahren, die oberen Eckzähne sowie die zweiten Prämolaren des Ober- und Unterkiefers etwa mit 11 Jahren und die zweiten Molaren mit 11 bis 12 Jahren in der Mundhöhle erscheinen. Zu diesem Zeitpunkt weist die zugehörige Mineralisationstabelle Werte zwischen 6,5 und 8,0 auf, wobei daran erinnert wird, daß Mineralisationsgrad 6 einer Verkalkung der halben Wurzellänge entspricht, während in Stufe 7 bereits Dreiviertel der Zahnwurzel mineralisiert ist.

Am weitesten ausgereift zeigten sich beim Eintritt in die Mundhöhle die oberen Eckzähne; bei den Mädchen waren die Wurzeln dieser Zähne bereits in voller Länge vorhanden. Geringere Mineralisationswerte wurden für die ersten Prä-

molaren und die unteren zweiten Molaren errechnet. Immerhin waren auch hier zum Zeitpunkt des Durchbruchs etwa $\frac{2}{3}$ der Wurzellänge mineralisiert.

Ergebnisse der Korrelationsrechnungen

Mit Hilfe der modernen maschinellen Datenverarbeitung ist es möglich geworden, in kurzer Zeit und mit relativ geringem Arbeitsaufwand ein umfangreiches Zahlenmaterial statistisch zu bearbeiten. Auch bei den vorliegenden Untersuchungen und Korrelationsrechnungen wurde diese Möglichkeit genutzt und abschließend folgenden Fragen nachgegangen:

1. Besteht eine statistisch gesicherte Abhängigkeit zwischen dem Mineralisationsgrad und der entsprechenden Positionsstufe eines Zahnes?
2. Wie eng ist die Korrelation zwischen dem Mineralisationsgrad und dem Alter sowie
3. zwischen dem Positionswert und dem Alter?
4. Bei welchem Zahn besteht die deutlichste Abhängigkeit zwischen dem Grad der Verkalkung und dem Reifezustand des gesamten Gebisses, repräsentiert durch die Summe der Mineralisationswerte der 16 untersuchten Zähne, und
5. bei welchem Zahn besteht bezüglich seiner vertikalen Position die engste Korrelation mit der Summe der Positionswerte aller untersuchten Zähne?

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in den Korrelationstabellen 1 bis 7 festgehalten. Die Korrelationskoeffizienten sind jeweils für die oberen und unteren Seitenzähne getrennt angegeben. Auch wurde eine Unterteilung nach Jungen und Mädchen vorgenommen, zusätzlich jedoch der Koeffizient für das Gesamtkollektiv errechnet.

Allgemein kann festgestellt werden, daß für alle Gruppen eine statistisch gesicherte Abhängigkeit nachweisbar war. In der Regel war diese bei den Jungen ausgeprägter als bei den Mädchen und bezüglich der Mineralisation deutlicher als bei den Positionswerten. Dies kommt auch in den Ergebnissen der Korrelationsrechnungen 6 und 7 zum Ausdruck, welche die altersabhängigen Veränderungen der Mineralisations- und Positionssummen betreffen.

Vergleicht man die Werte der einzelnen Korrelationskoeffizienten in der Korrelation 1, so stellt man fest, daß zwischen den Mineralisations- und Positionswerten aller untersuchten Zähne ein strenger korrelativer Zusammenhang besteht. Besonders deutlich ist diese Abhängigkeit bei den zweiten Prämolaren und Molaren des Oberkiefers sowie bei allen unteren Seitenzähnen; eine Ausnahme bilden hier die Eckzähne der weiblichen Untersuchungsgruppe. Überraschend war die Feststellung, daß für die Korrelationskoeffizienten der zweiten Prämolaren die höchsten Werte errechnet wurden.

Bei diesen Zähnen, die bekanntlich die größte Variabilität bezüglich der Eruption aufweisen, war eine weitgehend unabhängige Entwicklung der Mineralisation und der vertikalen Position vermutet worden. Im Gegensatz dazu ergaben Korrelationsrechnungen einen engen Zusammenhang zwischen dem Verkalkungsgrad der Wurzel und der vertikalen Entwicklung dieser Zähne. Dies läßt den Schluß zu, daß mit einer Durchbruchsbeschleunigung, etwa infolge vorzeitiger Entfernung gangränöser Milchmolaren, auch eine schnellere Ausreifung des Zahnes einhergeht, während die mechanische Durchbruchsbehinderung, z. B. beim Stützzoneneinbruch, gleichzeitig zu einer gewissen Verzögerung der Mineralisation

führt. Der von Fischer [10], Karwetzky [20] und Müller-Wachendorf [25] beschriebene Durchbruch von Prämolaren mit unzureichend mineralisierter Wurzel stellt nach den vorliegenden Untersuchungen den Ausnahmefall dar.

Im Zusammenhang mit der Errechnung des „Zahnalters“ war darauf hingewiesen worden, daß auf Grund der Mineralisation und der vertikalen Position der oberen und unteren Seitenzähne eine genauere Bestimmung der Gebißbreite möglich sei. Da die Summierung von je 16 aus den entsprechenden Tabellen entnommenen Alterswerten eine umfangreiche Analyse erfordert, sollten die Korrelationsrechnungen 2 bis 5 klären, welche Zähne bezüglich der Verkalkung und der Höhenposition die verlässlichsten Aussagen zulassen. Zu diesem Zwecke wurde die Abhängigkeit der Mineralisations- bzw. der Positionswerte vom chronologischen Alter sowie von der Ausreifung bzw. dem Durchbruchsstand des gesamten Gebisses untersucht. In allen Fällen ergab sich auch hier ein strenger korrelativer Zusammenhang, so daß ein Rückschluß vom Reifegrad und Höhenstand eines Zahnes auf den Entwicklungsstand des gesamten Gebisses durchaus berechtigt scheint. Eine derartige Möglichkeit wurde von Adler und Nyul [5] in anderem Zusammenhang bereits beschrieben. Es muß allerdings darauf hingewiesen werden, daß die signifikanteste Abhängigkeit vom Alter bei der Korrelationsberechnung der Mineralisations- und Positionssummen festgestellt wurde (Korr.-Rechnung 6 und 7). Um den Einfluß lokaler Faktoren nach Möglichkeit auszuschalten, wird es

Ergebnisse der Korrelationsrechnungen

1. Mineralisation : Position

		Korrelationskoeffizienten		
		♂	♀	gesamt
OK	3	0,7990 **	0,8485 **	0,8193 **
	4	0,8180 **	0,8382 **	0,8249 **
	5	0,8430 **	0,8764 **	0,8598 **
	7	0,8459 **	0,8561 **	0,8516 **
UK	3	0,8537 **	0,8004 **	0,8334 **
	4	0,8667 **	0,8487 **	0,8561 **
	5	0,8967 **	0,8914 **	0,8943 **
	7	0,8739 **	0,8833 **	0,8796 **

2. Mineralisation : Alter

		Korrelationskoeffizienten		
		♂	♀	gesamt
OK	3	0,8259 **	0,8508 **	0,8216 **
	4	0,8937 **	0,8666 **	0,8768 **
	5	0,8917 **	0,8596 **	0,8737 **
	7	0,8979 **	0,8611 **	0,8764 **
UK	3	0,8666 **	0,8489 **	0,8367 **
	4	0,8743 **	0,8789 **	0,8699 **
	5	0,8359 **	0,8490 **	0,8395 **
	7	0,8939 **	0,8657 **	0,8752 **

3. Mineralisation : Mineralisationssumme

		Korrelationskoeffizienten		
		♂	♀	gesamt
OK	3	0,8866 **	0,8734 **	0,8793 **
	4	0,9180 **	0,8814 **	0,8997 **
	5	0,9105 **	0,8715 **	0,8905 **
	7	0,9198 **	0,8859 **	0,9012 **
UK	3	0,9054 **	0,8774 **	0,8738 **
	4	0,9157 **	0,8892 **	0,9035 **
	5	0,8893 **	0,8683 **	0,8789 **
	7	0,9274 **	0,8891 **	0,9078 **

4. Position : Alter

		Korrelationskoeffizienten		
		♂	♀	gesamt
OK	3	0,8268 **	0,8182 **	0,8207 **
	4	0,7463 **	0,7511 **	0,7485 **
	5	0,7196 **	0,7044 **	0,7117 **
	7	0,7107 **	0,7308 **	0,7193 **
UK	3	0,8238 **	0,7382 **	0,7724 **
	4	0,7782 **	0,7709 **	0,7740 **
	5	0,7636 **	0,7588 **	0,7599 **
	7	0,7975 **	0,7765 **	0,7844 **

5. Position : Positionssumme

		Korrelationskoeffizienten		
		♂	♀	gesamt
OK	3	0,8661 **	0,8171 **	0,8427 **
	4	0,7985 **	0,8014 **	0,7982 **
	5	0,7778 **	0,7511 **	0,7651 **
	7	0,7238 **	0,6684 **	0,6950 **
UK	3	0,8649 **	0,8010 **	0,8316 **
	4	0,8187 **	0,8203 **	0,8198 **
	5	0,7994 **	0,7972 **	0,7993 **
	7	0,8173 **	0,7698 **	0,7948 **

6. Mineralisationssumme : Alter

$$r_{\text{♂}} = 0,9153 **, r_{\text{♀}} = 0,8978 **, r_{\text{ges.}} = 0,9004 **$$

7. Positionssumme : Alter

$$r_{\text{♂}} = 0,8640 **, r_{\text{♀}} = 0,8354 **, r_{\text{ges.}} = 0,8477 **$$

also zweckmäßig sein, mehrere Zähne zur Bestimmung des „dentalen Alters“ heranzuziehen.

Bezüglich der Mineralisation (Korr.-Tab. 2 und 3) scheinen die ersten Prämolaren und die zweiten Molaren auf Grund der höheren Korrelationskoeffizienten am verlässlichsten.

In bezug auf die vertikale Position zeigten die Werte der Eckzähne und der ersten Prämolaren die deutlichste Abhängigkeit vom chronologischen Alter und vom Durchbruchsstand des gesamten Gebisses (Korr.-Tab. 4 und 5).

Zusammenfassung

Zur Ergänzung und Überprüfung der von Logan und Kronfeld 1933 veröffentlichten Mineralisationstabellen wurden von 350 Kindern im Alter von 6 bis 13 Jahren Panorama-Röntgenbilder angefertigt. Die Auswertung beschränkte sich auf die kieferorthopädisch besonders interessierenden Mineralisations- und Positionsstufen der Eckzähne, Prämolaren und zweiten Molaren im Ober- und Unterkiefer. Altersgestaffelte Tabellen gestatten einen guten Überblick über den Verlauf der Verkalkung und der Vertikalentwicklung dieser Zähne. Getrennte Angaben für Jungen und Mädchen zeigen für die meisten Zähne — insbesondere in den höheren Altersklassen — deutliche Geschlechtsunterschiede. Zur genaueren Bestimmung des vom chronologischen Alter nicht selten abweichenden individuellen „Zahnalters“ wurden ferner Tabellen erstellt, die für alle Mineralisationsgrade und Positionsstufen den dazugehörigen Altersmittelwert enthalten. Aus den Aufstellungen ist auch die Durchbruchzeit der untersuchten Zähne sowie deren Wurzellänge zum Zeitpunkt des Eintritts in die Mundhöhle ersichtlich. Abschließende Korrelationsrechnungen ergaben, daß zwischen den Mineralisations- und den Positionswerten der einzelnen Zähne in allen Fällen eine statistisch gesicherte Abhängigkeit bestand. Für die Errechnung des „dentalen Alters“ scheinen, was die Mineralisation anlangt, die ersten Prämolaren und zweiten Molaren die verlässlichsten Aussagen zu erbringen. In bezug auf die vertikale Position sollten vorzugsweise die Eckzähne und ersten Prämolaren herangezogen werden.

Schrifttum

1. Adler, P., Zahnärztl. Prax. **6** (1955) 6. — 2. Adler, P., Öst. Z. Stomat. **54** (1957) 449. — 3. Adler, P., Dtsch. Zahn-, Mund- u. Kieferheilk. **31** (1959) 20. — 4. Adler, P., und C. Adler-Hradecky, Dtsch. Zahnärztl. Z. **13** (1958) 1362. — 5. Adler, P., und L. Nyul, Fortschr. Kieferorthop. **22** (1961) 262. — 6. Adler-Hradecky, C., Stoma **10** (1957) 213. — 7. Andreas, A., Röntgenologische Darstellung der physiologischen Entwicklung der zweiten unteren Prämolaren. Med. Diss. Mainz 1956. — 8. Dahan, J., Fortschr. Kieferorthop. **27** (1966) 226. — 9. Fanning, E. A., N. Z. dent. J. **57** (1961) 202. — 10. Fischer, G., Schweiz. Mschr. Zahnheilk. **68** (1958) 369. — 11. Fleischer-Peters, A., Fortschr. Kieferorthop. **24** (1963) 150. — 12. Garn, S. M., A. B. Lewis und D. W. Shoemaker, J. dent. Res. **35** (1956) 55. — 13. Garn, S. M., A. B. Lewis, K. Koski und D. Polachek, J. dent. Res. **37** (1958) 561. — 14. Gleiser, J., und E. E. Hunt, Amer. J. Phys. Anthropol. **13** (1955) 253. — 15. Grøn, A. M., J. dent. Res. **41** (1962) 573. — 16. Grosch, F. C., und Joksch, H. C., Dtsch. Zahnärztebl. **14** (1960) 336. — 17. Henke, W., Dtsch. Zahnärztebl. **14** (1960) 669. — 18. Hurme, V. O., J. dent. Child. **16** (1949) 11. — 19. Immel, M. D., Untersuchungen über die Symmetrie und Asymmetrie der Milchzahnresorption und der Entwicklung der permanenten Zähne im Wechselgebiß. Med. Diss. Mainz 1968. — 20. Karwetzky, R., Dtsch. Zahnärztebl. **14** (1960) 263. — 21. Kloeppe, J. G., Fortschr. Kieferorthop. **22** (1961) 147. — 22. Logan, W. H. G., und R. Kronfeld, J. Amer. dent. Ass. **20** (1933) 379. — 23. Matiegka, J., Rev. Anthropol. **31** (1921) 258. — 24. Moorrees, C. A. F., E. A. Fanning und E. E. Hunt, J. dent. Res. **42** (1963) 1490. — 25. Müller-Wachendorff, R., Dtsch. Zahnärztebl. **16** (1961) 1357. — 26. Nawrath, K., Med. Welt (Stuttg.) **1963** 1524. — 27. Nawrath, K., Die Röntgen-Panorama-Aufnahme in der Kieferorthopädie, S. 107, Studieweek 1965, Nederl.

Verenig. voor Orthodontische Studie. Leiden 1965. — 28. Nawrath, K., Fortschr. Kieferorthop. **27** (1966) 36. — 29. Nawrath, K., Fortschr. Kieferorthop. **29**. (1968) 89. — 30. Paatero, Y. V., Acta radiol. **32** (1949) 11. — 31. Paatero, Y. V., Fortschr. Kieferorthop. **13** (1952) 115. — 32. Schour, I., und M. Massler, J. Amer. dent. Ass. **27** (1940) 1918. — 33. Schützmannsky, G., Dtsch. Stomat. **7** (1957) 404. — 34. Skaloud, F., Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilk. **1** (1934) 137. — 35. Valsik, J. A., und E. Fabryova, Dtsch. Stomat. **14** (1964) 236.

Anschrift d. Verf.: Priv.-Doz. Dr. Peter M. Schopf, 65 Mainz, Augustusplatz 2