



Anne Katharina Möller

## NoXrayCeph und Fernröntgenseitenbild im Vergleich – Magnetinduktion statt Röntgenstrahlen in der kieferorthopädischen Kephalemetrie?



**INDIZES** Fernröntgenseitenbild, Röntgenstrahlen, noXrayCeph®, Magnetfeld, kieferorthopädische Diagnostik

**Anne Katharina Möller**

Dr. med. dent.  
 Facharztpraxis für Kieferorthopädie Dr. B. Hübers  
 Alleestraße 8, 77933 Lahr  
 E-Mail: anne.katharina.moeller@googlemail.com

Das noXrayCeph® (NoX) nach Brandt/Kopp stellt eine röntgenfreie Möglichkeit der kephalometrischen, dreidimensionalen Vermessung dar. In der vorliegenden Studie wurde das NoX mit dem Fernröntgenseitenbild (FRS) verglichen. Bei 54 Patienten wurden ein FRS und ein NoX im Hinblick auf ihre diagnostischen Aussagen anhand ausgewählter Werte der kephalometrischen Analyse nach Rakosi<sup>1</sup> verglichen. Der Wilcoxon-Test und die Pearsonsche Korrelation wurden berechnet. Bei dem Vergleich der Verfahren wurden signifikante Unterschiede der Mittelwerte festgestellt. Eine Anwendung der FRS-Richtwerte für NoX führte nur zu einer Übereinstimmung von 50 bis 79%. Da jedoch eine hohe Korrelation zwischen den Messwerten der Verfahren vorlag, wurden dem FRS entsprechende NoX-Richtwerte und eine Umrechnungsgleichung berechnet. NoX bietet eine strahlungsfreie Möglichkeit zur kephalometrischen 3-D-Vermessung und kann zuverlässige Aussagen zu skelettalen und dentalen Abweichungen treffen. Da signifikante Unterschiede zwischen den Werten von FRS und NoX festgestellt wurden, ist es für eine Vergleichbarkeit der Verfahren entscheidend, NoX-spezifische Richtwerte zu verwenden oder eine Umrechnung durchzuführen.

### ■ Einleitung

Die kephalometrische Analyse ist seit der Einführung durch Broadbent<sup>2</sup> und Hofrath<sup>3</sup> im Jahr 1931 ein wichtiger Bestandteil der kieferorthopädischen Diagnostik. Das Fernröntgenseitenbild (FRS) ermöglichte eine erste verzerrungsarme, nahezu größenrichtige, seitliche Kopfdarstellung<sup>4</sup>. Hierdurch werden auch heute die Befunde von Orthopantomogramm (OPG), Modellen, Fotos und Funktionsanalyse um die skelettalen und dentalen Abweichungen sowie die Reifestadien der zervikalen Halswirbel ergänzt.

Neben dem Informationsgewinn durch das FRS weist diese zweidimensionale (2-D) Darstellung eines dreidimensionalen (3-D) Körpers jedoch auch Nachteile auf. Asymmetrien der rechten und linken Kopfseite können nicht beurteilt werden. Eine alternative,

dreidimensionale Analyse mittels DVT im Rahmen der kieferorthopädischen Diagnostik ist nach Prof. Hirschfelder<sup>5</sup> angesichts der erhöhten Strahlenexposition jedoch nur in Ausnahmefällen zulässig. Es wird empfohlen ein DVT ausschließlich auf Anomalien mit Verlagerungen, überzähligen Zähnen, Wurzel dysplasien, komplexen Fehlbildungen oder pathologischen Knochenstrukturen zu beschränken. Deshalb wird das FRS heute noch als Standard in der kieferorthopädischen Diagnostik angesehen.

Im Rahmen des Röntgenverfahrens entstehen durch die Strahlendivergenz unterschiedliche Vergrößerungen der filmnahen und -fernen Strukturen<sup>6</sup>, die als Parallaxefehler bei paarig angelegten Strukturen abgebildet werden. Durch einen großen Fokus-Film-Abstand von mindestens 1,5 m wird heute die Schädelvergrößerung auf ungefähr 7 % reduziert. Ein

### Manuskript

Eingang:  
15.10.2012  
Annahme:  
10.01.2013



geringer Objekt-Film-Abstand optimiert zusätzlich die Abbildungsschärfe<sup>4</sup>. Des Weiteren ist für eine verzerrungsarme Darstellung von Bedeutung, dass Objekt- und Filmebene senkrecht zum Zentralstrahl eingestellt werden<sup>7</sup>. Um diese Verzerrungseffekte zu minimieren, ist ein Kephaloostat für die Sicherung der Kopfposition verantwortlich<sup>8</sup>. Anschließend wird das Röntgenbild manuell mittels Stift, Lineal und Winkelmesser oder mithilfe von Computerprogrammen digital kephalometrisch<sup>9</sup> ausgewertet. Heute sind mehr als 100 verschiedene Analysen des FRS bekannt, die sich über die Verifizierung anatomischer, anthropologischer, konstruierter sowie röntgenologischer Punkte<sup>4</sup> und deren Verbindung zu Strecken, Linien und Winkeln orientieren. Die größte Fehlerquelle stellt die Identifizierung und Reproduzierbarkeit der Punkte dar<sup>10,11</sup>. Zur diagnostischen Interpretation der kephalometrischen Messwerte werden Durchschnittswerte, die sogenannten Norm- oder Richtwerte, herangezogen. Diese werden nicht als absolutes Behandlungsziel bewertet, sondern als Vergleichsmaßstab angeführt<sup>4</sup>.

Im Rahmen der kieferorthopädischen Diagnostik, in der neben einem FRS auch ein OPG sowie je nach Indikation auch eine Handröntgenaufnahme durchgeführt wird, kommt es zu einer Röntgenbelastung des Patienten. Erste Erfolge zur Reduktion der Strahlenbelastung waren durch die Einführung des digitalen Röntgens zu verzeichnen, durch das eine Halbierung der Strahlenexposition (von 2,3 $\mu$ Sv auf 1,1 $\mu$ Sv für ein FRS)<sup>12</sup> und sogar eine bessere Reproduzierbarkeit der kephalometrischen Referenzpunkte erreicht werden konnte<sup>13</sup>. Weitere Vorteile der digitalen Variante sind die günstigere Übersetzung von Dichteunterschieden der Körperareale, die sofortige Bildinformationsvorlage und die Möglichkeit der Bildnachbearbeitung<sup>14</sup>. Jedoch ist zu bedenken, dass durch die Digitalisierung eine Verlängerung der Belichtungszeit (von bis zu ca. 15 Sekunden) erforderlich ist. Hierbei ist nach Sommer<sup>15</sup>, der als Erster die motorische Unruhe des Schädels während der digitalen FRS-Aufnahme untersuchte, ein Einfluss auf die Auswertung der Kephalmetrie gegeben. Generell spielt die reproduzierbare Positionierung im Kephaloostaten eine wichtige Rolle für die Interpretation eines Röntgenbildes<sup>8</sup>.

Trotz aufgezeigter Grenzen der Röntgenkephalmetrie durch Abbildungsschwächen und Strahlenbelastung stellt das FRS heute den Standard zur kephalometrischen Analyse dar.

Eine neue Erfindung, das noXrayCeph<sup>®</sup> [NoX (Orthotec OMS S.L., Wiesbaden)] nach Brandt/Kopp, verspricht jedoch eine kephalometrische Untersuchung völlig ohne Röntgenstrahlung. Es basiert auf einer 3-D-Registrierung im Magnetfeld und wird vom Hersteller als eine Alternative zur klassischen 2-D- sowie 3-D-Kephalmetrie empfohlen. Im Gegensatz zum FRS wird eine separate rechte, linke und zusätzliche frontale Schädeldarstellung sowie eine Unterkieferbewegungsaufnahme ermöglicht. Der untersuchte Patientenschädel wird nicht in einem 3-D-Raster, sondern in 2-D-Ansichten wiedergegeben.

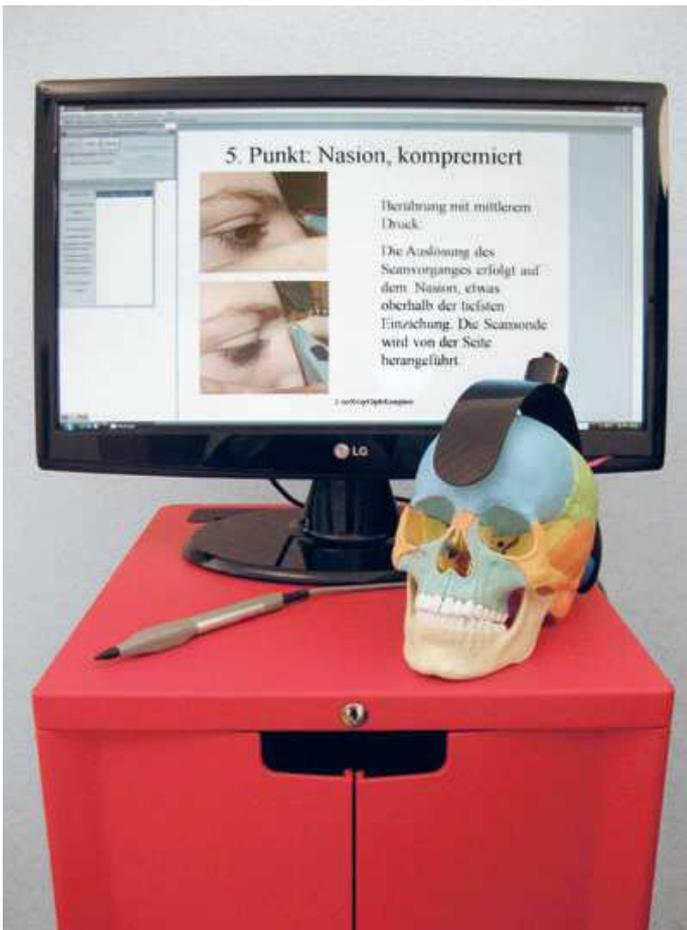
Ziel dieser Studie war es, die Fragestellung zu beantworten, ob in unserer Praxis das FRS durch das neue Verfahren noXrayCeph<sup>®</sup> ersetzt werden kann. Im Rahmen der statistischen Auswertung wurden die Winkel und Streckenwerte miteinander verglichen und besonderes Augenmerk auf die diagnostischen 2-D-Aussagen der beiden Verfahren gelegt.

## ■ Material und Methoden

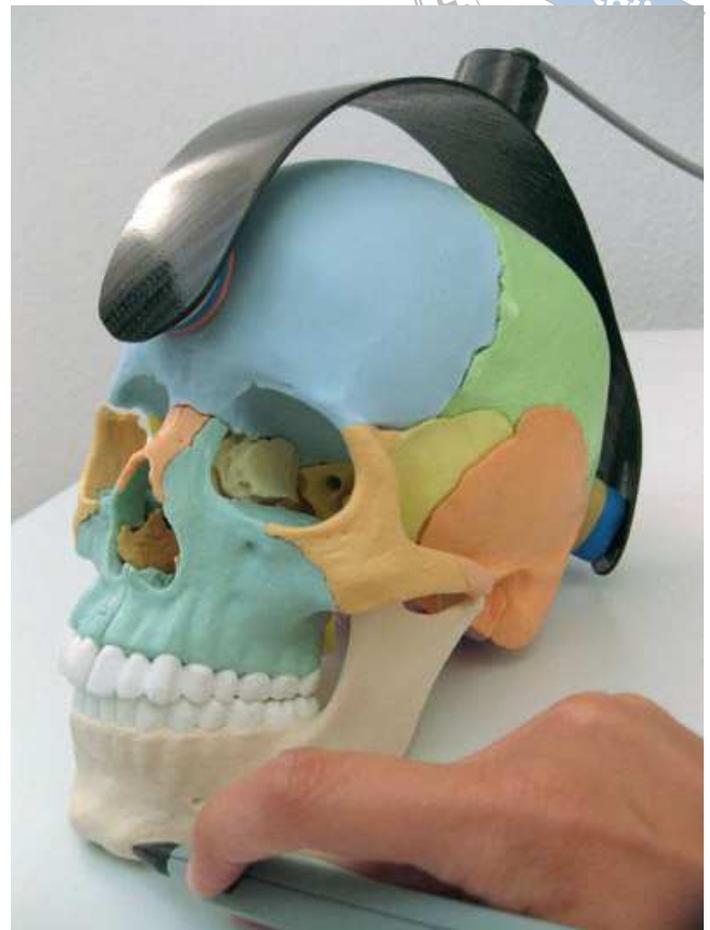
Die Untersuchung basierte auf Daten von 54 Patienten (23 männliche/31 weibliche), bei denen im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung ein FRS und ein NoX erfolgten. Um Ungenauigkeiten durch Wachstum, Einflüsse kieferorthopädischer Apparaturen oder Habits zu vermeiden, wurden das FRS und das NoX am selben Tag durchgeführt.

Das Gerät zur Erhebung des konventionell durchgeführten FRS, Orthoceph OC 100 (Instrumentarium Dental, Tuusula, Finnland), wurde unter folgenden Einstellungen verwendet: 18x24AV, 77kV, 12mA, 0,25-0,32S. Für die Auswertung des FRS wurde dieses zur nachträglichen Digitalisierung eingescannt und mittels Punktmarkierung über das Quick Ceph<sup>®</sup> System (Quick Ceph, Inc., San Diego, USA) computergestützt analysiert.

Die kephalometrische Analyse mittels NoX wurde über Magnetfeldinduktion direkt am Patienten durchgeführt. Eine mobile Kopfkappe aus Karbon (Cephostat<sup>®</sup>, Orthotec OMS S.L.), deren Anpassung und Sitzsicherung durch entsprechende Schaumpolster gewährleistet war, wurde dem Patienten auf dem Kopf platziert. Das dazugehörige Computerprogramm (DirectCeph<sup>®</sup>, Orthotec OMS S.L.) gab



**Abb. 1** NoXrayCeph: Das Programm (DirectCeph) ist gestartet. Die Karbonkappe (Cephostat) ist auf dem Kopf platziert und der Scanstift (Scan-Stylus) liegt bereit. Der Punkt „Nasion, komprimiert“ soll erhoben werden.



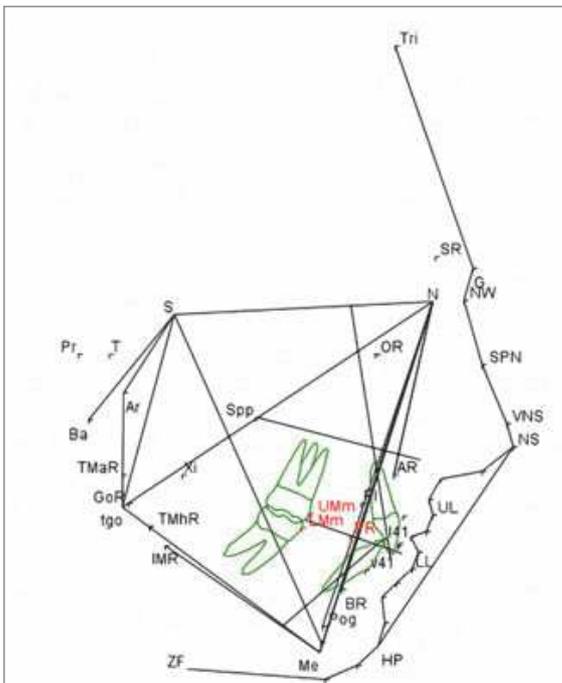
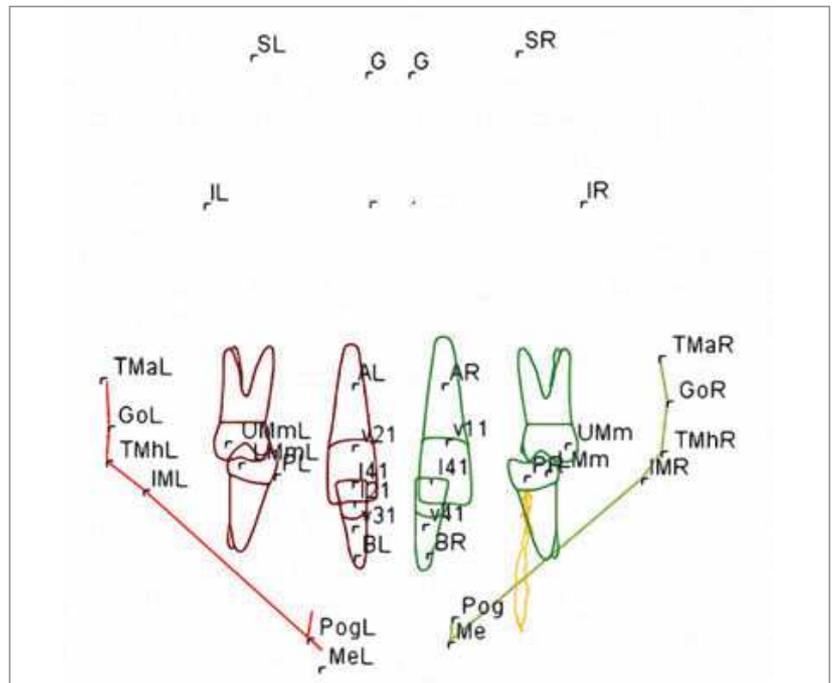
**Abb. 2** Die Karbonkappe ist auf dem Kopf platziert. Mit dem Scanstift wird folgender Punkt markiert: „Pogonion, komprimiert bei geschlossenem Biss“.

nach Eingabe der Patientendaten (Vorname/Nachname/Geburtsdatum/Geschlecht) und Starten des Scans die Analysepunkte der Reihe nach vor (Abb. 1, Übersicht). Mittels Scanstift (Scan-Stylus) wurden die 76 zu erhebenden Punkte aufgesucht und über einen schwarzen Druckknopf auf dem Scanstift markiert (Abb. 2). Nach den 43 extraoralen Punkten folgten 22 intraorale und 11 Punkte, die unter Verwendung eines eingesetzten Beißklotzes erhoben wurden. Eine Unterkieferbewegung wurde nach abgeschlossenem Punktescan aufgezeichnet. Dabei fixierte der Untersucher den Scanstift an einem beliebigen Punkt im Patientenmund, der Scanvorgang wurde über den Druckknopf am Scanstift gestartet und der Patient führte die gewünschte Bewegung durch. Die Bestimmung der Position der Referenzpunkte und der Unterkieferbewegung erfolgte über den noXrayCeph®-Scanner, der nach Herstellerangaben das Prinzip der elektromagnetischen Feldkopplung ausnutzt. Das

DirectCeph®-Computerprogramm berechnete aus den aufgezeichneten Daten die Analogwerte zur FRS-Analyse. Es lieferte zwei laterale Schädelansichten, die einen Symmetrievergleich der rechten (Abb. 3) und linken Seite ermöglichten, eine frontale Ansicht (Abb. 4) sowie eine Unterkieferbewegungsbahn (Abb. 3 und 4). Im Schädelinneren liegende oder röntgenologische Punkte werden laut Herstellerangaben näherungsweise berechnet. In die Studie wurden ausschließlich Werte einbezogen, die keiner Rekonstruktion unterlagen. Damit wurden alle Winkel mit Bezug zu den Punkten Sella (S), Basion (Ba) und Artikulare (Ar) ausgeschlossen. In dieser Studie orientierte man sich an der kephalometrischen Analyse sowie den Richtwerten nach Rakosi<sup>1</sup> und konzentrierte sich auf die folgenden Winkel bzw. Streckenwerte: ANB, Go2, SpP-Me-Go (Basiswinkel), Mx1-SpP, Md1-Me-Go, ii (Interinzisalwinkel), Mx1-N-Pog, Md1-N-Pog, Lab. sup./E, Lab. inf./E. Dabei beschrieb ANB die sagiti-

**Übersicht** Strecken und Winkel, Angaben nach Rakosi<sup>1</sup>.

Abkürzung	Einheit	Erläuterung
ANB	Grad (°)	Winkel beschreibt die anterior-posteriore Lagebeziehung zwischen A- und B-Punkt in Bezug zum Nasionpunkt A = A-Punkt, Subspinale; der Scheitelpunkt der Krümmung des Oberkieferalveolarfortsatzes zwischen den Punkten Prosthion und Spina nasalis anterior B = B-Punkt, Supramentale; der Scheitelpunkt der Krümmung des Unterkieferalveolarfortsatzes zwischen den Punkten Infradentale und Pogonion als ventralster Punkt der apikalen Basis N = Nasion; der ventrokraniale Punkt der Sutura nasofrontalis in der Median-Sagittal-Ebene
Go2	Grad (°)	Unterer Abschnitt des Kieferwinkels (NGoMe) Go = Gonion; ein konstruierter Punkt am Tangentschnittpunkt der hinteren Ramuslinie mit dem Mandibularplanum Me = Menton; der kaudale Punkt der Unterkiefersymphyse in der Median-Sagittal-Ebene
SpP – Me-Go	Grad (°)	Winkel zwischen der Oberkiefergrundebene (SpP) und der Unterkiefergrundebene (Basiswinkel)
Mx1 – SpP	Grad (°)	Winkel zwischen der Schneidezahnachse des oberen mittleren Inzisivus und der Oberkiefergrundebene (SpP)
Md1 – Me-Go	Grad (°)	Winkel zwischen der Schneidezahnachse des unteren mittleren Inzisivus und der Unterkiefergrundebene (MeGo)
li – Winkel	Grad (°)	Interinzisalwinkel; der Winkel zwischen der oberen und unteren Schneidezahnachse
Mx1 – N-Pog	Millimeter (mm)	Entfernung der Schneidekante des oberen mittleren Inzisivus zur N-Pog-Linie Pog = Pogonion; der ventralste Punkt des knöchernen Kinns in der Median-Sagittal-Ebene
Md1 – N-Pog	Millimeter (mm)	Entfernung der Schneidekante des unteren mittleren Inzisivus zur N-Pog-Linie
Lab. sup/E	Millimeter (mm)	Entfernung der Oberlippenkante (Labrale superius) zur Ästhetiklinie nach Ricketts <sup>16</sup> Ästhetiklinie nach Ricketts <sup>16</sup> = esthetic line, E-Line; Tangente an Kinn (Pog') und Nasenspitze (NS) zur Profilbeurteilung
Lab. inf/E	Millimeter (mm)	Entfernung der Unterlippenkante (Labrale inferius) zur Ästhetiklinie nach Ricketts <sup>16</sup>


**Abb. 3** NoXrayCeph: Durchzeichnung nach Rakosi<sup>1</sup>, rechte Seite.

**Abb. 4** NoXrayCeph: Durchzeichnung nach Rakosi<sup>1</sup>, frontale Ansicht links und rechts. In gelber Farbe ist die Unterkieferbewegungsbahn abgebildet.



talen Verhältnisse, Go2 und SpP-Me-Go die vertikalen und Lab. sup./E sowie Lab. inf./E das Profil zur Ästhetiklinie nach Ricketts<sup>16</sup>. Die restlichen Werte waren für die Analyse der dentalen Gegebenheiten verantwortlich.

Die statistische Auswertung erfolgte mit Medas<sup>®</sup> (Grund EDV, Margetshöchheim). Neben Mittelwert (MW) mit Standardabweichung (ST) wurde der Median mit Konfidenzintervall (CI) berechnet. Die Unterschiede zwischen den untersuchten Verfahren wurden mittels Wilcoxon-Test (Rangsummentest) erhoben. Um die Stärke eines Zusammenhangs zwischen zwei quantitativen Merkmalen zu beschreiben, bediente man sich des Korrelationskoeffizienten (r) nach Pearson und berechnete die Regressionsgleichung. Zur grafischen Darstellung wurden Box- und Whiskers-Plots sowie die Regressionsgeraden verwendet. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt.

## ■ Ergebnisse

Die Studie beschreibt 54 Patienten im Alter von 8 bis 37 (vollendete Lebensjahre). Das mittlere Alter betrug  $13,37 \pm 4,68$  Jahre, der Altersmedian war 12,43 Jahre. Dreiundzwanzig Patienten (43 %) waren männlich, 31 (57 %) weiblich.

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte mit Standardabweichung, der Median mit 68%-Konfidenzintervall sowie die Minimal- und Maximalwerte der erhobenen Daten aufgelistet. Die Medianwerte sind von Bedeutung, wenn Verteilungen wesentlich von einer Gauß-Verteilung abweichen. „FRS aus NoX“ stellt die Werte für das aus NoX berechnete FRS dar. Sein Mittelwert wurde so konstruiert, dass er mit dem des FRS übereinstimmte.

Zunächst wurde untersucht, ob ein Unterschied zwischen der rechten und linken NoX-Seite bestand. Es wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt. P aus dem Wilcoxon-Test war mit Ausnahme von Mx1-N-Pog ( $p = 0,069$ ) und Mx1-SpP ( $p = 0,18$ ) immer  $p \geq 0,35$ . Die Korrelationen der rechten und linken Analyseseite sind mit Ausnahme von SpP-Me-Go ( $r = 0,7650$ ) sehr hoch. Besonders gut lässt sich bei Mx1-N-Pog ( $r = 0,9608$ ) und Md1-N-Pog ( $r = 0,9384$ ) von der einen zur anderen Seite schlie-

ßen. Es bestand auch kein signifikanter Unterschied zwischen den Korrelationen NoX rechts zum FRS und NoX links zum FRS. Aus diesem Grund wurde für den weiteren Verlauf der Studie mit den NoX-Mittelwerten der rechten und linken Kopfseite gerechnet.

In Tabelle 2 wurde genauer auf den Vergleich der Werte von NoX (Mittelwert der rechten und linken Seite) und FRS eingegangen: Keinen signifikanten Unterschied ( $p$  aus dem Wilcoxon-Test  $> 0,05$ ) und damit große Übereinstimmung zeigten die Winkel von SpP-Me-Go (Abweichung  $-0,1^\circ$ ) und Lab. sup./E (Abweichung  $0,4^\circ$ ). Die restlichen Winkel wiesen signifikante Unterschiede auf ( $p$  aus dem Wilcoxon-Test  $< 0,05$ ). Die größten Abweichungen zwischen NoX und FRS waren bei ii (Abweichung  $7,1^\circ$ ), Go2 (Abweichung  $-6,5^\circ$ ) und Mx1-SpP (Abweichung  $4,4^\circ$ ) zu verzeichnen.

Im weiteren Verlauf der Studie wurde untersucht, ob von den Unterschieden auch eine andere Interpretation ausging. Da vom NoX-Hersteller keine separaten Richtwerte bezogen auf eine größere Anzahl Erwachsener mit neutral-basalen Strukturen zugrunde gelegt wurden, orientierte man sich an den FRS-Richtwerten nach Rakosi<sup>1</sup>. Für die Winkel SpP-Me-Go und ii liefert Rakosi<sup>1</sup> Richtwerte, für die restlichen untersuchten Winkel und Streckenwerte werden von Rakosi<sup>1</sup> Richtwertbereiche angegeben.

In Tabelle 3 wurde die Anzahl der Messungen unter, in und über dem Richtwert bzw. Richtwertbereich angegeben. Übereinstimmende Aussagen von FRS und NoX wurden farbig hervorgehoben. Es wurde deutlich, dass die Richtwerte nach Rakosi<sup>1</sup> nicht für das NoX geeignet waren. Am wenigsten stimmten die Aussagen für Go2 überein. Hier machten die beiden Verfahren nur zu 50 % die gleiche Aussage. Die größten Übereinstimmungen lagen bei 79,6 % für die Werte ANB, Mx1-N-Pog und Lab. inf./E. Anschaulicher wird dies in den folgenden Abbildungen 5 bis 14. Hier sind die Boxplots (68 % der Patienten beinhaltend) der jeweiligen Werte für FRS, NoX rechts und NoX links dargestellt. Die FRS-Richtwerte bzw. -bereiche wurden durch die farbige Hinterlegung hervorgehoben. Bezogen auf die vertikale Komponente Go2, diagnostizierte das NoX durch seine Abweichung von minus  $6,6^\circ$  ein stärker horizontales Gesichtsschädelwachstum. Die dentale Analyse zeigte ebenfalls Abweichungen. Die Frontzahnstellung wurde von NoX im Vergleich zum



**Abb. 5 bis 14** Vergleich der Werte, die mittels FRS und NoX bestimmt wurden. Boxplot-Diagramme: die Boxen umfassen 68 % der Patienten, die Linie in der Box markiert den Median und die Whiskers die Spanne. Der durch das FRS bestimmte Richtwert bzw. Richtwertbereich nach Rakosi<sup>1</sup> ist gelb unterlegt.

**Abb. 5** ANB.

**Abb. 6** Go 2.

**Abb. 7** SpP-Me-Go.

**Abb. 8** Mx1-SpP.

**Abb. 9** Md1-Me-Go.

**Abb. 10** ii-Winkel.

**Abb. 11** Mx1-N-Pog.

**Abb. 12** Md1-N-Pog.

**Abb. 13** Lab. sup./E.

**Abb. 14** Lab. inf./E.

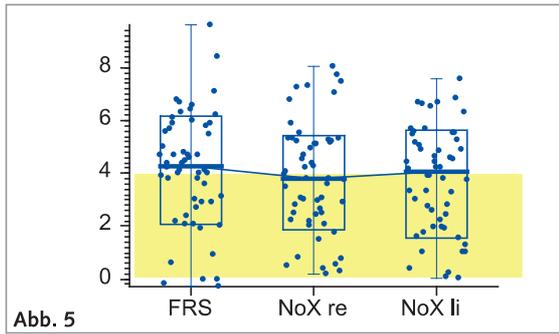


Abb. 5

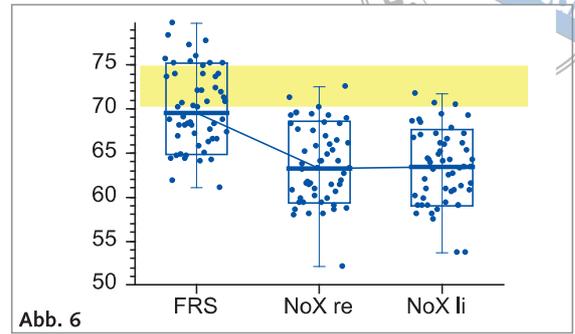


Abb. 6

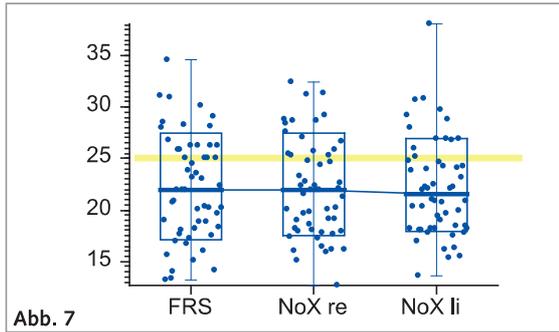


Abb. 7

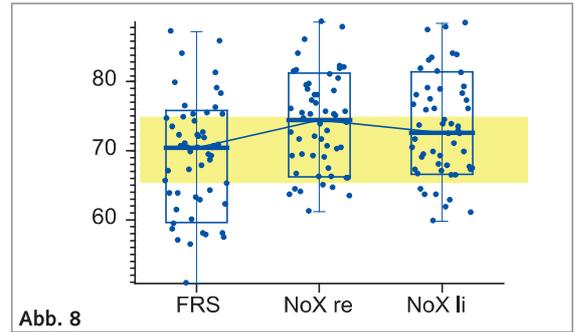


Abb. 8

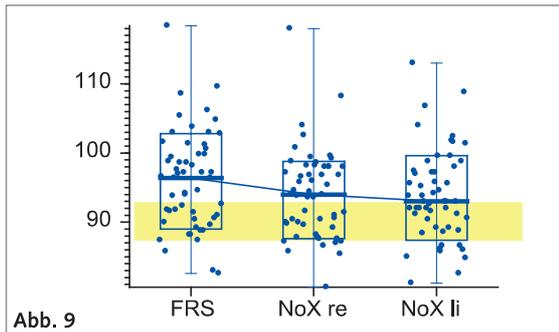


Abb. 9

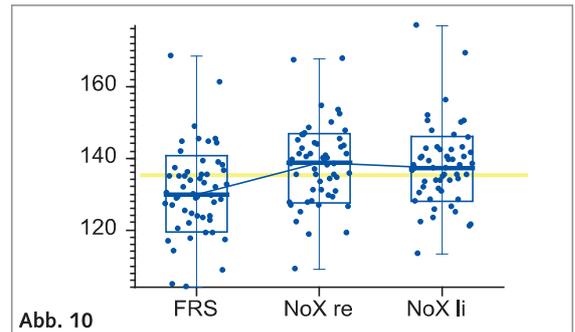


Abb. 10

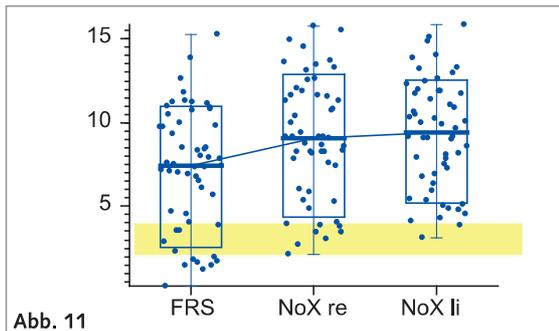


Abb. 11

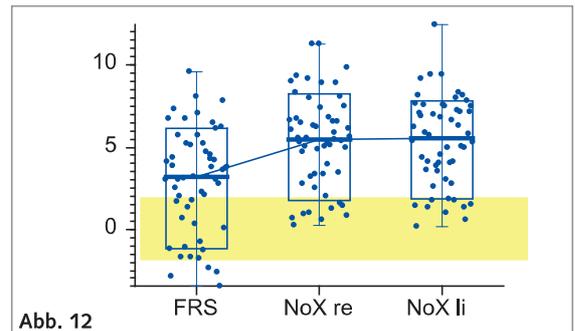


Abb. 12

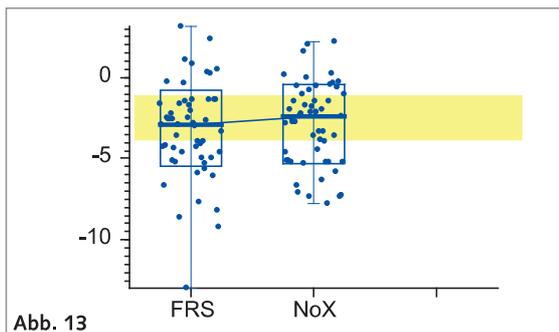


Abb. 13

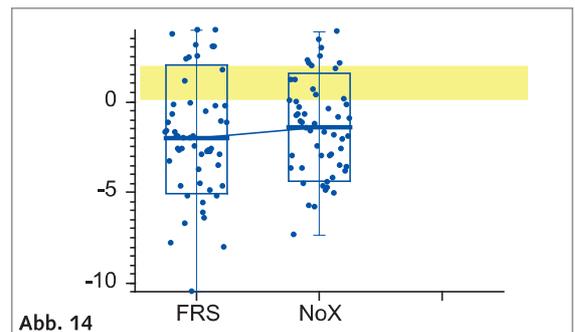
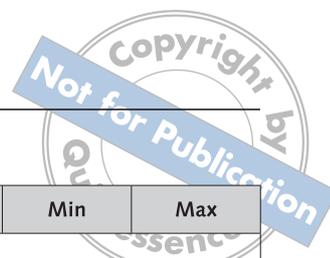


Abb. 14

Messmethode	n	MW	ST	Median	68%-CI	Min	Max	
<b>ANB [°]</b>								
FRS	54	4.165	2.149	4.300	2.100	6.159	-0.3	9.6
NoX re	54	3.832	2.076	3.785	1.878	5.444	0.18	8.03
NoX li	54	3.767	1.984	4.050	1.562	5.651	0.04	7.57
NoX mittel	54	3.799	1.969	3.973	1.856	5.838	0.2	7.66
FRS aus NoX	54	4.165	1.863	4.328	2.327	6.092	0.7605	7.8161
<b>Go2 [°]</b>								
FRS	54	70.026	4.496	69.550	64.882	75.200	61.1	79.7
NoX re	54	63.629	4.322	63.195	59.278	68.664	52.17	72.53
NoX li	54	63.303	4.183	63.390	59.018	67.591	53.62	71.8
NoX mittel	54	63.466	4.038	63.780	59.274	67.905	52.945	70.87
FRS aus NoX	54	70.026	3.980	70.335	65.895	74.400	59.657	77.322
<b>SpP – Me-Go [°]</b>								
FRS	54	22.215	5.087	22.000	17.123	27.510	13.2	34.6
NoX re	54	22.078	4.722	21.940	17.476	27.413	12.63	32.39
NoX li	54	22.129	4.789	21.500	17.916	26.882	13.66	38.03
NoX mittel	54	22.103	4.468	21.425	18.087	26.455	14.035	34.62
FRS aus NoX	54	22.215	3.384	21.701	19.172	25.511	16.103	31.696
<b>Mx1 – SpP [°]</b>								
FRS	54	69.141	8.017	70.500	59.704	75.932	50.7	87.3
NoX re	54	73.906	6.837	74.390	66.164	81.375	61.25	88.66
NoX li	54	73.222	7.265	72.640	66.569	81.428	59.88	88.63
NoX mittel	54	73.564	6.821	73.210	66.564	80.839	60.565	88.315
FRS aus NoX	54	69.141	6.488	68.804	62.481	76.061	56.775	83.173
<b>Md1 – Me-Go [°]</b>								
FRS	54	96.128	7.068	96.550	89.063	102.918	82.6	118.4
NoX re	54	94.140	6.365	94.045	87.737	98.830	80.59	118.05
NoX li	54	93.960	6.492	93.090	87.447	99.640	81.32	112.98
NoX mittel	54	94.050	6.225	94.042	87.222	99.421	83.605	115.52
FRS aus NoX	54	96.128	6.347	96.120	89.166	101.604	85.478	118.01
<b>Interinzisalwinkel [°]</b>								
FRS	54	130.794	12.063	130.050	119.568	140.656	103.9	168.3
NoX re	54	138.051	10.965	138.915	127.571	146.744	109.02	167.68
NoX li	54	137.705	11.105	137.225	128.067	146.169	113.3	176.77
NoX mittel	54	137.878	10.836	138.278	127.979	147.484	111.16	171.99
FRS aus NoX	54	130.794	11.363	131.213	120.414	140.868	102.78	166.56

Tab. 1 Messungen mit FRS und mit noXray-Ceph sowie Mittel aus rechts und links und Schätzwert für FRS aus einer linearen Regression mit dem NoX-Mittelwert. MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, CI = Konfidenzintervall.



**Tab. 1 (Fortsetzung)**  
Messungen mit FRS und mit noXrayCeph sowie Mittel aus rechts und links und Schätzwert für FRS aus einer linearen Regression mit dem NoX-Mittelwert. MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, CI = Konfidenzintervall.

Messmethode	n	MW	ST	Median	68%-CI	Min	Max	
<b>Mx1 – N-Pog (mm)</b>								
FRS	54	7.211	3.647	7.450	2.545	10.959	0.2	15.3
NoX re	54	9.029	3.625	9.115	4.386	12.906	2.15	15.79
NoX li	54	9.283	3.282	9.410	5.190	12.566	3.16	15.82
NoX mittel	54	9.156	3.420	9.175	4.818	12.678	2.945	15.66
FRS aus NoX	54	7.211	3.485	7.230	2.790	10.800	0.881	13.839
<b>Md1 – N-Pog (mm)</b>								
FRS	54	2.946	3.169	3.200	-1.159	6.159	-3.5	9.6
NoX re	54	5.340	2.839	5.485	1.793	8.241	0.2	11.32
NoX li	54	5.327	2.711	5.540	1.802	7.791	0.13	12.43
NoX mittel	54	5.333	2.732	5.438	1.691	8.165	0.165	11.875
FRS aus NoX	54	2.946	2.984	3.060	-1.032	6.039	-2.699	10.092
<b>Lab. sup / E (mm)</b>								
FRS	54	-3.287	2.935	-2.900	-5.477	-0.809	-13	3.1
NoX	54	-2.890	2.519	-2.440	-5.268	-0.465	-7.74	2.2
FRS aus NoX	54	-3.287	2.437	-2.852	-5.587	-0.940	-7.979	1.6372
<b>Lab. inf / E (mm)</b>								
FRS	54	-1.996	3.232	-2.000	-5.077	2.055	-10.5	3.9
NoX	54	-1.482	2.622	-1.370	-4.386	1.553	-7.36	3.85
FRS aus NoX	54	-1.996	2.911	-1.872	-5.221	1.373	-8.522	3.9233

FRS als anteriorer und steiler interpretiert. Daraus resultierte der für NoX größere ii, der von allen Winkeln die größte Abweichung zwischen FRS und NoX zeigte. Folglich waren die Richtwerte des FRS nach Rakosi<sup>1</sup> nicht für das NoX geeignet.

Nachdem diese signifikanten Unterschiede festgestellt wurden, hatte man sich im Rahmen der Studie mit einer Umrechnung der NoX- zu FRS-Werten beschäftigt. Ob eine Umrechnung jedoch sinnvoll ist, hängt von der Korrelation der erhobenen Daten ab. R aus der Pearsonschen Korrelation ist in Tabelle 4 zusammen mit den Umrechnungsformeln dargestellt. Die größte Korrelation zeigten Mx1-N-Pog ( $r = 0,9556$ ), ii ( $r = 0,9420$ ) und Md1-N-Pog ( $r = 0,9418$ ). Die kleinste Korrelation wurde bei SpP-Me-Go ( $r = 0,6653$ ) erhoben. Dies bedeutet, dass eine Umrechnung von FRS und NoX für SpP-Me-Go größere Ungenauigkeiten zeigen wird, als bei den restlichen Werten.

Wenn man die Werte des NoX nicht in das bekannte FRS umrechnen möchte, sollte man für eine Vergleichbarkeit jedoch die neu definierten Richtwerte für das NoX verwenden. Diese wurden mittels der Regressionsgleichung (Tab. 4) aus den vorgegebenen FRS-Richtwerten nach Rakosi<sup>1</sup> berechnet. In Tabelle 5 sind die Richtwerte der jeweiligen Verfahren aufgelistet.

Umrechnung der FRS-Richtwerte nach Rakosi<sup>1</sup> in entsprechende NoX-Richtwerte – zur Erläuterung ein Beispiel:

Für Lab. inf./E ist der FRS-Richtwertbereich nach Rakosi<sup>1</sup> von 0 bis +2 Grad angegeben.

Nach erarbeiteter Regressionsgleichung ist NoX...

- wenn FRS 0 Grad:  
 $\text{NoX} = 0,7310560669 \times \text{FRS} - 0,022447333 = 0$
- wenn FRS +2 Grad:  
 $\text{NoX} = 0,7310560669 \times \text{FRS} - 0,022447333 \sim +1,4$



Messung		n	MW	ST	Differenz		p
					MW	ST	
ANB	NoX	54	3.8	2.0	-0.4	1.1	0.017*
	FRS	54	4.2	2.2			
Go2	NoX	54	63.5	4.0	-6.5	2.1	<0.000005***
	FRS	54	70.0	4.5			
SpP-Me-Go	NoX	54	22.1	4.5	-0.1	4.0	0.29
	FRS	54	22.2	5.1			
Mx1-SpP	NoX	54	73.6	6.8	4.4	4.7	<0.000005***
	FRS	54	69.1	8.0			
Md1-Me-Go	NoX	54	94.0	6.2	-2.1	3.1	0.00002***
	FRS	54	96.1	7.1			
ii-Winkel	NoX	54	137.9	10.8	7.1	4.1	<0.000005***
	FRS	54	130.8	12.1			
Mx1-N-Pog	NoX	54	9.2	3.4	2.0	1.1	<0.000005***
	FRS	54	7.2	3.7			
Md1-N-Pog	NoX	54	5.3	2.7	2.4	1.1	<0.000005***
	FRS	54	2.9	3.2			
Lab. sup./E	NoX	54	-2.9	2.5	0.4	1.6	0.10
	FRS	54	-3.3	2.9			
Lab. inf./E	NoX	54	-1.5	2.6	0.5	1.4	0.0099**
	FRS	54	-2.0	3.2			

**Tab. 2** Vergleich der noXrayCeph mit den FRS-Messungen. MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus dem Wilcoxon-Test  
 \* p = 0,05  
 \*\* p < 0,01  
 \*\*\* p < 0,001.

Der dem FRS-Richtwertbereich nach Rakosi<sup>1</sup> entsprechende NoX-Bereich ist von 0 bis +1,4 Grad berechnet.

## ■ Diskussion

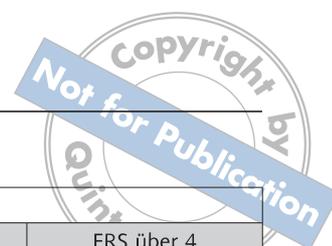
Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen, dass das neue dreidimensionale Verfahren, NoX nach Brandt und Kopp, über eine Magnetfeldinduktion eine röntgenfreie Möglichkeit zur kephalometrischen Analyse darstellt.

Standardmäßig wird heute in der kieferorthopädischen Diagnostik jedoch das FRS zur kephalometrischen Analyse durchgeführt. Neben der Sicherung der dentalen Analyse liefert das FRS Aussagen über skelettale Abweichungen, das Wachstumsmuster sowie die Reifestadien der zervikalen Halswirbel<sup>4</sup>.

Versuche, das FRS durch andere Analysebestandteile wie zum Beispiel Modelle oder OPG zu ersetzen, schlugen fehl<sup>17,18</sup>. Es wurde sogar bestätigt, dass eine Handaufnahme durch das FRS über die zervikale Halswirbelanalyse ersetzt werden kann<sup>19</sup>.

Das Röntgenverfahren führt jedoch zu Parallaxefehlern, geometrischer Verzerrung und Objektvergrößerung. Somit ist es nicht möglich eine 1:1-Abbildung darzustellen<sup>4,7</sup>. Auch die Strahlenbelastung des Patienten muss bedacht werden, da die Energie ionisierender Strahlung Molekülschäden in Form von Ionisation und Anregung hervorruft<sup>20</sup>.

Im Vergleich zum 2-D-Verfahren FRS zeigt das neue Verfahren NoX durch seine Magnetfeldinduktion Vorteile hinsichtlich der Röntgenfreiheit und der Minimierung der Abbildungsschwäche. Zusätzliche Informationen durch eine separate Darstellung der zwei lateralen und der frontalen Schädelseite sowie der Unterkieferbewegungsbahn ermöglichen eine



**Tab. 3** Anzahl der Messungen unter, in und über dem vom FRS vorgegebenen Richtwert (RW) bzw. Richtwertbereich (RB) nach Rakosi<sup>1</sup>. NoX ist der Mittelwert der rechten und der linken Messung. Die übereinstimmenden Aussagen sind farbig unterlegt; n = 54.

<b>ANB</b>			
Übereinstimmungen 43 = 79,6%	FRS unter 0	FRS (RB)0-4	FRS über 4
NoX unter 0	0	0	0
NoX 0-4	2	19	6
NoX über 4	0	3	24
<b>Go2</b>			
Übereinstimmungen 27 = 50%	FRS unter 70	FRS (RB)70-75	FRS über 75
NoX unter 70	27	17	7
NoX 70-75	0	0	3
NoX über 75	0	0	0
<b>SpP-Me-Go</b>			
Übereinstimmungen 41 = 75,9%	FRS unter 25	FRS (RW)= 25	FRS über 25
NoX unter 25	31	3	7
NoX =25	0	0	0
NoX über 25	3	0	10
<b>Mx-1-Sp-P</b>			
Übereinstimmungen 29 = 53,7%	FRS unter 65	FRS (RB)65-75	FRS über 75
NoX unter 65	3	0	0
NoX 65-75	13	15	1
NoX über 75	1	10	11
<b>Md-1-Me-Go</b>			
Übereinstimmungen 42 = 77,8%	FRS unter 87	FRS (RB)87-93	FRS über 93
NoX unter 87	3	4	0
NoX 87-93	0	12	6
NoX über 93	0	2	27
<b>Interinzisalwinkel</b>			
Übereinstimmungen 37 = 68,5%	FRS unter 135	FRS (RW)= 135	FRS über 135
NoX unter 135	20	0	0
NoX = 135	0	0	0
NoX über 135	17	0	17
<b>Mx1-N-Pog</b>			
Übereinstimmungen 43 = 79,6%	FRS unter 2	FRS (RB) 2-4	FRS über 4
NoX unter 2	0	0	0
NoX 2-4	3	3	0
NoX über 4	4	4	40
<b>Md1-N-Pog</b>			
Übereinstimmungen 42 = 77,8%	FRS unter -2	FRS (RB)-2 bis 2	FRS über 2
NoX unter -2	0	0	0
NoX -2 bis 2	4	6	0
NoX über 2	0	8	36
<b>Lab. sup. / E</b>			
Übereinstimmungen 34 = 63%	FRS unter -4	FRS(RB) -4 bis -1	FRS über -1
NoX unter -4	13	4	0
NoX -4 bis -1	8	14	2
NoX über -1	0	6	7
<b>Lab. inf. / E</b>			
Übereinstimmungen 43 = 79,6%	FRS unter 0	FRS (RB) 0 bis 2	FRS über 2
NoX unter 0	37	1	0
NoX 0 – 2	6	0	3
NoX über 2	0	1	6



	r	Regressionsgleichung
ANB	0.8668	NoX = 0.7944787221 × FRS + 0.4905876924 FRS = 0.9458016118 × NoX + 0.5712941351
Go2	0.8851	NoX = 0.7949937463 × FRS + 7.7959379219 FRS = 0.9854924395 × NoX + 7.4805532633
SpP-Me-Go	0.6653	NoX = 0.5842454589 × FRS + 9.1243360648 FRS = 0.7575003235 × NoX + 5.4716028035
Mx1-SpP	0.8093	NoX = 0.6885196233 × FRS + 25.959502492 FRS = 0.9512843824 × NoX - 0.839790198
Md1-Me-Go	0.8980	NoX = 0.7908494669 × FRS + 18.027305601 FRS = 1.0196356393 × NoX + 0.2311403084
ii-Winkel	0.9420	NoX = 0.8462504262 × FRS + 27.193108606 FRS = 1.0486581791 × NoX - 13.79240914
Mx1-N-Pog	0.9556	NoX = 0.8960441706 × FRS + 2.694914814 FRS = 1.0191173622 × NoX - 2.120323781
Md1-N-Pog	0.9418	NoX = 0.811975903 × FRS + 2.9411043303 FRS = 1.0922903028 × NoX - 2.879353124
Lab. sup/E	0.8303	NoX = 0.7126281108 × FRS - 0.547750191 FRS = 0.9673962441 × NoX - 0.491082744
Lab. inf/E	0.9009	NoX = 0.7310560669 × FRS - 0.022447333 FRS = 1.1102261255 × NoX - 0.351105656

**Tab. 4** Regressionsgleichungen zur Berechnung der FRS-Messungen aus den NoX-Messungen und umgekehrt. R aus der Pearsonschen Korrelation. Es ist immer  $p < 0,00005^{***}$ ;  $n = 54$ .

**Tab. 5** Richtwertbereiche für die NoX-Werte, die den FRS-Bereichen entsprechen. Für den SpP-Me-Go- und ii-Winkel (kursiv) werden nach Rakosi<sup>1</sup> Richtwerte und keine Bereiche angegeben.

	Richtbereich FRS		Richtbereich NoX	
ANB	0	4	0,5	3,7
GO 2	70	75	63,4	67,4
<i>SpP-Me-Go</i>	25	25	23,7	23,7
Mx1-SpP	65	75	70,7	77,6
Md1-Me-Go,	87	93	86,8	91,6
<i>ii-Winkel</i>	135	135	141,4	141,4
Mx1-N-Pog	2	4	4,5	6,3
Md1-N-Pog	-2	2	1,3	4,6
Lab. sup/E	-4	-1	-3,4	-1,3
Lab. inf/E	0	2	-0,0	1,4



Asymmetriebeurteilung. Besonders bei jungen Patienten scheint vorteilhaft, dass eine absolute Körperruhe während des Scans nicht erforderlich ist. Schwieriger dürfte jedoch gerade bei diesen Patienten die intermaxilläre Beißblockfixierung während der letzten 11 zu erhebenden Punkte sein.

Da die Reproduzierbarkeit der NoX-Punkterfassung eine Studie aus Aachen<sup>21</sup> bestätigt, wurde der Aspekt in dieser Studie nicht untersucht.

Ob bei der Aufzeichnung der Unterkieferbewegungsbahn eine Beeinflussung durch die intraorale Stiftfixierung erfolgt, wurde nicht ermittelt. Es wäre interessant dieser Vermutung in weiteren Untersuchungen nachzugehen.

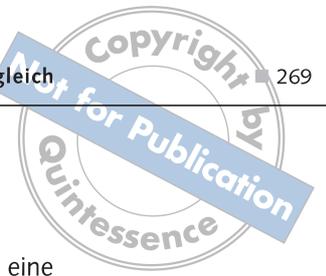
In der vorliegenden Studie wurde beim Vergleich des NoX mit dem FRS auf eine richtige oder falsche Bewertung hinsichtlich beider Verfahren verzichtet. Es wurden ausgewählte Winkel und Strecken der Rakosi-Analyse<sup>1</sup> untersucht, die nicht auf rekonstruierten, intrakranialen Punkten beruhten. Vor allem Winkel, die den Punkt Sella einschlossen, zeigten enorme Abweichungen und wurden deshalb in dieser Studie vernachlässigt. Es besteht jedoch Bedarf auch diesen Korrelationen nachzugehen und Richtwerte für Winkel mit Bezug zu den basalen Strukturen zu analysieren. Alternativ könnte eine neue Analyse erhoben werden, die sich ausschließlich auf Punkte beruft, die vom NoX einwandfrei erfasst werden können.

Zunächst wurde festgestellt, dass kein signifikanter Unterschied zwischen der rechten und linken NoX-Seite bestand. Die Oberkieferfrontzahnkliniation zeigte noch am ehesten einen Unterschied, was sich mit der möglichen, unterschiedlichen Stellung der Zähne 11/21 und der Erfassungsweise begründen lässt. Der Hersteller fordert, den am weitesten anterioren Punkt zu markieren, was zum Teil auch der seitliche Frontzahn sein kann. Im weiteren Verlauf der Studie wurde mit den NoX-Mittelwerten der rechten und linken Seite gearbeitet.

Als nächstes wurde das FRS mit dem NoX-Mittel verglichen und auf einen signifikanten Unterschied überprüft, der sich bei allen Werten bis auf SpP-Me-Go und Lab. sup./E bestätigte. Wichtiger als die Abweichungsgröße, schien jedoch der Vergleich der Interpretation anhand der Richtwerte zu sein. Die bekannten kephalometrischen Analysen in der Kieferorthopädie geben Durchschnittswerte, die sogenannten Norm- oder Richtwerte, für ihre Strecken und Win-

kel an, um eine Interpretation zu erleichtern<sup>4</sup>. Schopf<sup>22</sup> gab jedoch schon zu bedenken, dass sich die Interpretationen der Analyseverfahren in der Beurteilung der Frontzahnstellung unterscheiden und man das Ergebnis in jedem Therapieverlauf individuell überprüfen sollte. Es ist wichtig, die Richtwerte nur als Vergleichsmaßstab und nicht als definiertes Behandlungsziel zu verstehen<sup>4</sup>. Vom NoX-Hersteller waren keine Richtwerte (bezogen auf eine größere Patientenanzahl mit neutral-basalen Strukturen) vorausgesetzt, sodass überprüft wurde, ob eine Übereinstimmung mit denen des bekannten FRS (Rakosi-Analyse)<sup>1</sup> vorlag. Bemerkenswert war, dass die beiden Verfahren für den Wert Go2 nur zu 50 % zum gleichen Ergebnis kamen. Das NoX bescheinigte eher ein horizontales Schädelwachstum. Obwohl man bei einem stärker horizontalen Gesichtstyp eher von einer Extraktionstherapie absieht, schien dieses Ergebnis in der Praxis keinen Einfluss auf den Therapieverlauf genommen zu haben. Jedoch sollte diese Vermutung durch weitere Studien evaluiert werden. Die vom NoX diagnostizierte Stellung der Frontzähne zeigte eine steilere und mehr anteriore Position. Dieses Ergebnis könnte wiederum Auswirkungen auf eine eventuelle Extraktionsentscheidung nehmen, da eine Frontzahnstellung vor N-Pog (außerhalb des Richtwertbereiches) als instabil gilt und in die Errechnung der Platzbilanz einbezogen werden muss. Zusammenfassend lässt sich bei der Analyse der FRS-Richtwerte nach Rakosi<sup>1</sup> sagen, dass diese nicht für eine NoX-Interpretation geeignet waren.

Um eine Vergleichbarkeit der bekannten FRS-Analyse zum neuen Verfahren zu schaffen, sollten für das NoX bestimmte Richtwerte verwendet werden oder eine Umrechnung der NoX- zu FRS-Daten erfolgen. Da zwischen dem FRS und dem NoX große Korrelation bestand, kann mit großer Sicherheit eine Umrechnung nach erhobener Gleichung vollzogen werden. Beachtet werden muss jedoch, dass bei einer Umrechnung des Interbasiswinkels (SpP-Me-Go) eine größere Ungenauigkeit besteht, als bei den restlichen Werten. Statistisch ist auch hier die Umrechnung noch zu vertreten. Um den Vorgang der Umrechnung zu automatisieren, empfiehlt es sich, die Umrechnungsgleichung im verwendeten Computer einzufügen. Der Hersteller verneint jedoch eine Umrechnung, da er die FRS-Erfassung als falsch erklärt. Das FRS sei verzerrt, vergrößert und als lediglich 2-D-Darstellung nicht geeignet, um sie mit



einer 3-D-Messung zu vergleichen<sup>23</sup>. Vielleicht wäre jedoch eine Anlehnung an die FRS-Analyse für einen Übergang zum strahlungsfreien Verfahren nicht ungeeignet. Außerdem werden vom Hersteller keine Richtwerte geliefert, sodass vor allem Werte, die größere Abweichungen von den bekannten FRS-Richtwerten zeigen (zum Beispiel Sella-beinhaltende Winkel), keine genaue Deutung zulassen. Es ist wichtig, dass in dieser Studie die NoX-Richtwerte aus den FRS-Richtwerten nach Rakosi<sup>1</sup> mittels der Regressionsgleichung umgerechnet und keine Durchschnittswerte unserer Patienten erhoben wurden. Für eine Vergleichbarkeit zum FRS wird durch die NoX-Richtwerte eine Umrechnung nicht mehr benötigt.

Ob jedoch die Einführung des NoX in die jeweilige Praxis praktikabel ist, lässt sich trotz aller Vorteile, wie Röntgenfreiheit und zusätzlicher Informationen durch separate Darstellungen der Schädelseiten, nur individuell beurteilen. Es sollte beachtet werden, dass eine NoX-Analyse einen zeitlichen Aufwand darstellt. Auch wenn dieser Aspekt vom Hersteller verneint wird, dauert eine NoX-Erfassung je nach Patient und geschultem Personal ungefähr 5 bis 10 Minuten. Eine Auswertung zu einem späteren Zeitpunkt oder eine weitere Analyse am selben Datenmaterial, wie dies beim FRS möglich ist, kann hier nicht durchgeführt werden.

In unserer Praxis wird bei der Regelbehandlung heute nur noch zu Behandlungsbeginn ein FRS durchgeführt. Das NoX ersetzt im weiteren Behandlungsverlauf und bei Frühbehandlungen das FRS vollkommen. Das NoX wird vom Assistenzpersonal erhoben, das durch spezielle Kurse des NoX-Herstellers ausgebildet wurde. Regelmäßiges Feedback und Kontrolle von ärztlicher Seite sind dabei erforderlich. Eine gute Schulung des Personals ist auch laut Hersteller<sup>23</sup> wichtig um die richtige Punktauffindung zu gewährleisten.

## ■ Schlussfolgerung

Die kieferorthopädische Diagnostik umfasst eine kephalometrische Analyse, die zuverlässig mit NoX durchgeführt werden kann. Das dreidimensionale und vor allem röntgenfreie Verfahren bietet eine neue Möglichkeit Aussagen zu skelettalen und dentalen Abweichungen zu treffen. Für die Diagnostik von Asymmetrien erscheint als weiterer Vorteil die Möglichkeit von differenzierten 2-D-Darstellungen der zwei lateralen und der frontalen Schädelansichten sowie der Unterkieferbewegungsbahn. Die Analyse der zervikalen Halswirbel vom FRS kann hier nicht durchgeführt werden. In der vorliegenden Studie wurden bei dem Vergleich der ausgewählten zweidimensionalen Aussagen des NoX und des FRS signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der beiden Verfahren festgestellt. Da vom NoX-Hersteller eine Angabe zu Richtwerten fehlt, wurden die FRS-Richtwerte nach Rakosi<sup>1</sup> zur Interpretation herangezogen. Diese führten bei den beiden Verfahren nur zu einer übereinstimmenden Interpretation von etwa 50 bis 80 %. Folglich sind die Richtwerte nach Rakosi<sup>1</sup> nicht für die NoX-Analyse geeignet. Da jedoch eine hohe Korrelation zwischen den ausgewählten Messwerten der beiden Verfahren festgestellt wurde, können, um den Übergang zur strahlungsfreien Diagnostik zu erleichtern, NoX- zu FRS-Werten anhand der erarbeiteten Formel umgerechnet werden. Alternativ bietet es sich an, die in dieser Studie berechneten NoX-Richtwerte, die von den FRS-Richtwerten nach Rakosi<sup>1</sup> umgerechnet wurden, zu verwenden. Für eine erfolgreiche Einführung des NoX in die Praxis ist eine gute Zeitplanung und Personalschulung erforderlich.

In weiteren Studien besteht Bedarf die Korrelationen der Winkel mit Bezug zu den basalen Strukturen zu untersuchen und NoX-spezifische Richtwerte zu definieren.



## ■ Literatur

- Rakosi T, Jonas I. Kephalemtrische Analyse im Fernröntgenseitenbild. In: Rateitschak KH (Hrsg). Farbatlanten der Zahnmedizin8/Kieferorthopädische Diagnostik. Stuttgart: Thieme Verlag, 1989:179-205.
- Broadbent BH. A new x-ray technique and its application to orthodontia. *Angle Orthod* 1931,1:45-60.
- Hofrath H. Die Bedeutung der Röntgenfern- und Abstands-aufnahme für die Diagnostik der Kieferanomalien. *J Orofac Orthop* 1931,1:232-258.
- Drescher D. Fernröntgenanalyse. In: Dietrich P (Hrsg). Praxis der Zahnheilkunde: Band 11/1 Kieferorthopädie. 4. Auflage. München: Urban & Fischer, 2000:263-290.
- Hirschfelder U. Stellungnahme DGKFO: Radiologische 3D-Diagnostik in der Kieferorthopädie (CT/DVT). 2008.
- Ahlqvist J, Eliasson S, Welander U. The effect of projection errors on cephalometric length measurements. *Eur J Orthodont* 1986,8:141-148.
- Skotnicky F. Problem der Projektionsverzerrung bei Fernröntgenaufnahmen des Schädels. *J Orofac Orthop* 1972, 33:277-303.
- Yoon YJ, Kim KS, Hwang MS, Kim HJ, Choi EH, Kim KW. Effect of head rotation on lateral cephalometric radiographs. *Angle Orthod* 2001,71:396-403.
- Rudolph DJ, Sinclair PM, Coggins JM. Automatic computerized radiographic identification of cephalometric landmarks. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998,113: 173-179.
- Baumrind S, Frantz RC. The reliability of head film measurements: 1. landmark identification. *Am J Orthod* 1971,60: 111-127.
- Houston WJB, Maher RE, McElroy D, Sherriff M. Sources of error in measurements from cephalometric radiographs. *Eur J Orthod* 1986,8:149-151.
- Visser H, Rödiger T, Hermann KP. Dose reduction by direct-digital cephalometric radiography. *Angle Orthod* 2001,71:159-163.
- Wegener H. Med Diss: Vergleich der Reproduzierbarkeit kephalometrischer Referenzpunkte mit Dosisreduktion bei digitaler Lumineszenzradiographie und konventionell er-  
stellten Fernröntgenseitenaufnahme. Münster: Medizinische Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität, 2003.
- Spitzer W, Rücker M. Zahnärztliche Röntgenologie. In: Schwenzer N, Ehrenfeld M (Hrsg). Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde 1 / Allgemeine Chirurgie. 3. aktual. u. erweiter. Aufl. Stuttgart: Thieme Verlag, 2003:223-260.
- Sommer T. Med Diss: Aufbau eines optoelektrischen Messsystems zur Aufzeichnung der motorischen Unruhe des Kopfes während einer digitalen Fernröntgenseitenbild-Aufnahme. Düsseldorf: Medizinische Fakultät der Heinrich-Heine-Universität, 2005.
- Ricketts RM. Esthetic, environment, and the law of lip relation. *Am J Ortho.* 1968,54:272-289.
- Hennies MO. Med Diss: Zur Korrelation von Werten der Frontzahninklination bestimmt an Modell und Fernröntgenseitenbild. Tübingen : Medizinische Fakultät der Eberhard-Karls-Universität, 2006.
- Al Borney M. Med Diss: Verwendung des Fernröntgenseitenbildes des Kopfes und des Orthopantomogramms zur metrischen Analyse des Schädels in der Kieferorthopädie. Eine vergleichende Studie. Gießen: Medizinische Fakultät der Justus-Liebig-Universität, 1999.
- Pancherz H, Szyska M. Analyse der Halswirbelkörper statt der Handknochen zur Bestimmung der skelettalen und somatischen Reife. *Inf Orthod Kieferorthop* 2000,32:151-161.
- Jäger L, Kummermehr J, Reiser M. Strahlenbiologische Grundlagen. In: Schwenzer N, Ehrenfeld M (Hrsg). Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde 1 / Allgemeine Chirurgie. 3. aktual. u. erweiter. Aufl. Stuttgart: Thieme Verlag, 2003:215-222.
- Engst J, Frye L, Fritz U. Das NoXrayCeph®-Verfahren. Eine Alternative zur kephalometrischen Fernröntgenseitenbild-analyse? DGKFO Abstractband. 84. Jahrestagung 2011.
- Schopf P. Kephalemtrische „Normwerte“ für die Stellung der Inzisivi – eine mögliche Ursache für den Mißerfolg kieferorthopädischer Behandlungen? *J Orofac Orthop* 1988,49: 37-47.
- Brandt T, Buck I, Gunkel C. Kieferorthopädische Diagnose im Magnetfeld. Düsseldorf: Digital dental news, 2009.

## Comparison of NoXrayCeph and lateral cephalograms – magnetic induction instead of X-rays in orthodontic cephalometric measurement?

**KEYWORDS** *lateral cephalogram, X-rays, noXrayCeph®, magnetic field, orthodontic diagnostics*

According to Brandt/Kopp noXrayCeph® (NoX) is an X-ray-free option for three-dimensional cephalometric measurement. The present study compares NoX to the cephalogram. A cephalogram and a NoX were compared in 54 patients with regard to their diagnostic evidence based on selected values of the cephalometric analysis according to Rakosi. The Wilcoxon test and Pearson's correlation coefficient were calculated. The comparison of the methods showed significant differences in mean values. An application of the standard cephalogram values for NoX only resulted in a match of 50% to 79%. However, since a high correlation between the measured values of the methods existed, NoX standard values corresponding to a cephalogram and a conversion equation were calculated. NoX offers a radiation-free option for 3D cephalometric measurement and may offer reliable findings on skeletal and dental deviations. Since significant differences between the cephalogram and NoX values were determined, using NoX-specific standard values or carrying out a conversion is crucial to ensure comparability of the methods.