

### Zusammenfassung

Durch den Einzug von digitalen Verfahren in die Zahnmedizin ist es möglich, neue Ansätze bei der Simulation von Realbewegungen des Unterkiefers zu etablieren. Das DMD-System der Fa. Ignident (Ludwigshafen) ermöglicht, die Unterkieferbewegung zahnnahe digital aufzuzeichnen. Die gewonnenen Daten können zur Befunderhebung, Diagnostik oder als offenes Datenformat direkt an ein dentales CAD-System zum Konstruieren von Restaurationen übergeben werden. Hierdurch entfällt das Nachahmen der Bewegung durch eingeschränkte, mechanische oder virtuelle Komponenten. Die Realbewegung ist somit die Grundlage der zahnmedizinischen Therapie.

### Indizes

virtueller Artikulator, analoger Artikulator, Unterkieferbewegung, Nahbewegungen, Bewegungsaufzeichnung

## Elektronische Aufzeichnung der Unterkieferbewegung und deren Integration in die restaurative Zahnmedizin

Das DMD-System von Ignident mit Schnittstelle ins CAD (Exocad)

### Ralph Riquier

Die Fertigung von funktionellem Zahnersatz ist eng mit der Integration von patientenindividuellen Kieferbewegungen in die Kauflächenkonstruktion verbunden. Die interferenzfreie Restauration gilt als Grundlage, um möglichen Kiefergelenkserkrankungen vorzubeugen.

In der analogen Zahnmedizin werden zumeist Kiefergelenksbewegungen aufgezeichnet und im Anschluss ausgewertet. Hierbei entstehen Parameter, anhand derer ein mechanischer Artikulator eingestellt (programmiert) wird. Der Gesichtsbogen liefert dann noch die Zuordnung vom Oberkiefer zu den Kondylen. In der digitalen Zahnmedizin wird häufig diese Übergabe kopiert. Virtuelle Artikulatoren werden anhand von Werten aus Kiefergelenksaufzeichnungen programmiert (eingestellt) (Abb. 1). Die Simulation der Bewegungen in einem starren Artikulatorsystem kann aber nicht dem biologischen, natürlichen Bewegungsablauf des Kausystems gerecht werden. Gerade komplexe Bewegungsabläufe, die auch Re-, Sur-, De- und Protrusion des Arbeitskondylus beinhalten, sind nicht exakt nachzuahmen. Auch Nahbewegungen der ersten 1 bis 1,5 Millimeter unter Zahnkontakt, die

### Einleitung



Abb. 1 Programmieren eines virtuellen Artikulators mit analogen Werten.



Abb. 2 Der Magnetfeldgenerator des DMD-Systems.

kaum eine Bewegung des Kondylus bedingen, sind nicht in ihrer Fülle zu imitieren. Stör- sowie Frühkontakte bei den in einem Artikulator gefertigten Restaurationen sind somit vor- bzw. einprogrammiert. Dies gilt gleichermaßen für die Verwendung von mechanischen oder virtuellen Artikulatoren, denn auch diese imitieren nur eine Bewegung anhand der programmierten Bewegungseinstellung. Die so durchgeführten Bewegungsabläufe sind zwar patientenindividuell, aber sie entsprechen nicht der realen Patientenbewegung.

**Vorgehen** Elektronische Bewegungsaufzeichnungen von Systemen wie dem Dental Motion Decoder (DMD)-System (Ignident, Ludwigshafen) können mehr. Mit diesen Aufzeichnungen ist es möglich, Kieferbewegungen sowie Kaubewegungen in Bezug zu digitalen Kiefermodellen zu erfassen und so die limitierenden Faktoren eines Artikulators (egal ob analog oder virtuell) zu eliminieren. So können die realen Patientenbewegungen imitiert werden. Grundlage bildet hierbei eine direkte zahnnahe Aufzeichnung. Die Patientenbewegung sollte nicht durch die Aufzeichnungsapparatur eingeschränkt werden. Messsysteme, die auf eine Befestigung mittels Schienen oder Bissplatten angewiesen sind, sind in ihrer Möglichkeit beschränkt. Eine direkte Bewegungsaufzeichnung unter Zahnkontakt (dynamische Okklusion) oder die natürliche Kaubewegung sind für den Patienten hiermit nicht durchführbar. Beim DMD-System werden keine externen Apparaturen am Patienten angelegt. Die Aufzeichnung erfolgt mittels motion tracking von Sensoren in einem Magnetfeld (Abb. 2). Das Magnetfeld wird über dem Kopf des Patienten angebracht. Im Patientenmund werden lediglich jeweils ein Sensor mit Epitel-Kleber (Epiglu, Meyer-Haake, Ober-Mörlen) an den Oberkiefer- beziehungsweise Unterkieferzähnen befestigt (Abb. 3). Die Sensoren sollte im



3



4

**Abb. 3** Aufkleben der Sensoren für das elektronische motion tracking.



5

**Abb. 4** Antasten der Referenzpunkte.

**Abb. 5** Aufzeichnen der Unterkieferbewegungen der Patientin.

jeweiligen gegenüberliegenden Quadranten angeheftet werden. Durch die geringe Größe der Sensoren können diese so positioniert werden, dass nur in seltenen Fällen die Gefahr besteht, dass die dynamische oder die statische Okklusion beeinträchtigt wird.

Als erste Messung wird am Patienten eine Referenzebene bestimmt. Hierbei tastet der Behandler mittels Stiftsensor die gewünschten Bezugspunkte an (Abb. 4). Dies können z. B. Kondylen links und rechts sowie der Infraorbital-Punkt sein. Im nächsten Schritt wird dann die habituelle Okklusion erfasst. Diese ersten Messungen bilden die Grundlage für die nun folgenden dynamischen Bewegungsaufzeichnungen. Nach vorgegebenem oder frei wählbarem Ablaufprotokoll lässt der Behandler den Patienten den Unterkiefer bewegen. Mundöffnung, Protrusion, Laterotrusionsbewegungen können mit und ohne Zahnkontakt aufgenommen werden (Abb. 5). Ebenso ist es möglich, den Patienten in Okklusion funktionelle Nahbewegungen im Bereich von ein bis zwei Millimetern durchführen zu lassen oder die Kaubewegung z. B. beim Zerkleinern eines Gummibärgchens aufzuzeichnen. Durch die Bewegungsfreiheit, die die Methode des elektronischen motion trackings bietet, können so zusätzliche Informationen zum Bewegungstonus des Patienten generiert werden. Sind alle benötigten Aufnahmen gemacht, können diese gelenkbezogen analysiert werden (Abb. 6).

### Ablauf der Bewegungsaufzeichnung

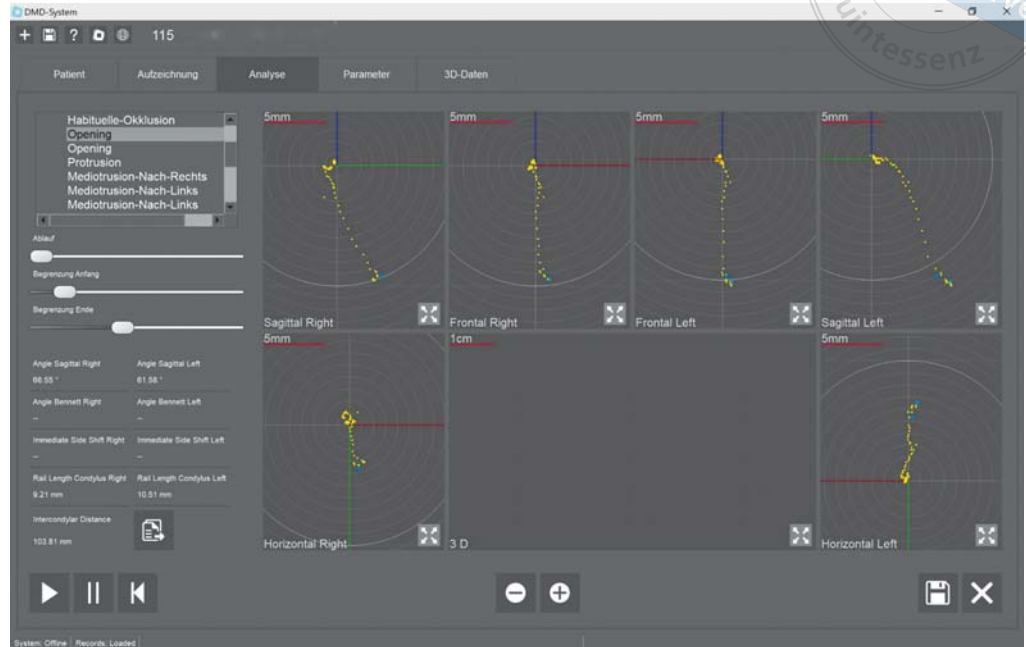


Abb. 6 Softwareseitige Analyse der Bewegungsbahn.

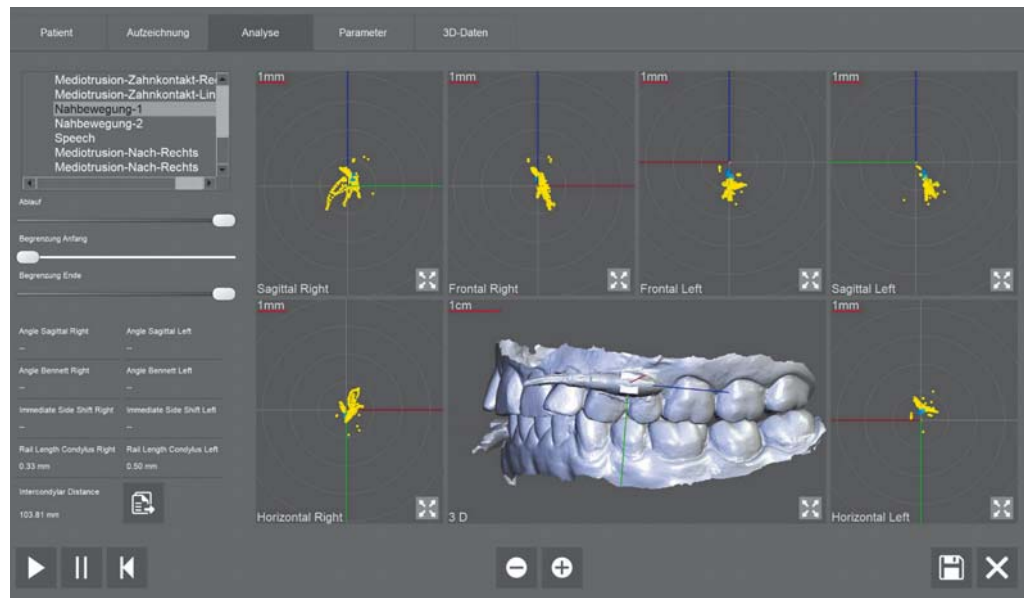


Abb. 7 Das Einladen von 3-D-Kieferdaten ermöglicht eine weiterführende zahnbezogene Visualisierung.

**IGNIDENT**  
DENTAL HEALTHCARE PRODUCTS

Name: Ralph  
Nachname: Requier  
Patientennummer: 115

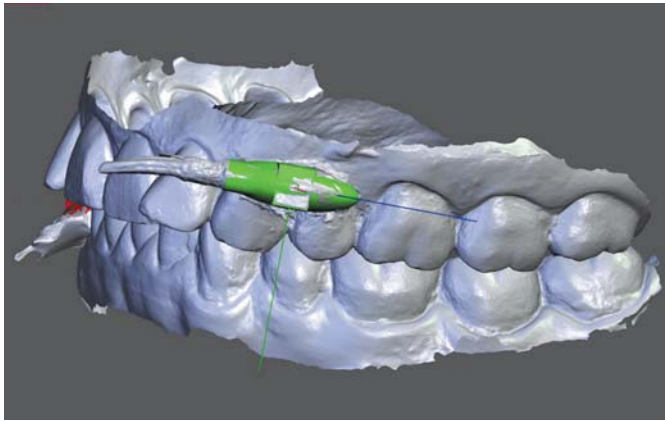
**Opening 30-11-2017 14:16:20**  
 Angle Sagittal Right: 66.55 °  
 Angle Sagittal Left: 61.58 °  
 Angle Bennett Right: --  
 Angle Bennett Left: --  
 Immediate Side Shift Right: --  
 Immediate Side Shift Left: --  
 Rail Length Condylus Right: 9.21 mm  
 Rail Length Condylus Left: 10.51 mm  
 Intercondylar Distance: 103.81 mm

**Mediotrusion-Nach-Links 30-11-2017 14:16:20**  
 Angle Sagittal Right: 52.76 °  
 Angle Sagittal Left: --  
 Angle Bennett Right: 10.95 °  
 Angle Bennett Left: --  
 Immediate Side Shift Right: 0.15 mm  
 Immediate Side Shift Left: 0.14 mm  
 Rail Length Condylus Right: 11.29 mm  
 Rail Length Condylus Left: 6.04 mm  
 Intercondylar Distance: 103.81 mm

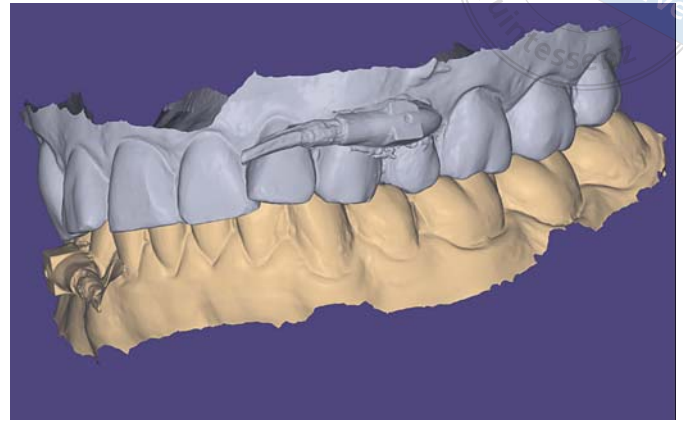
**Mediotrusion-Nach-Rechts 30-11-2017 14:16:20**  
 Angle Sagittal Right: --  
 Angle Sagittal Left: 50.92 °  
 Angle Bennett Right: --  
 Angle Bennett Left: 24.54 °  
 Immediate Side Shift Right: --  
 Immediate Side Shift Left: 0.18 mm  
 Rail Length Condylus Right: 4.08 mm  
 Rail Length Condylus Left: 11.47 mm  
 Intercondylar Distance: 103.81 mm

Abb. 8 Artikulatorparameter können aus den Bewegungsbahnen generiert werden.

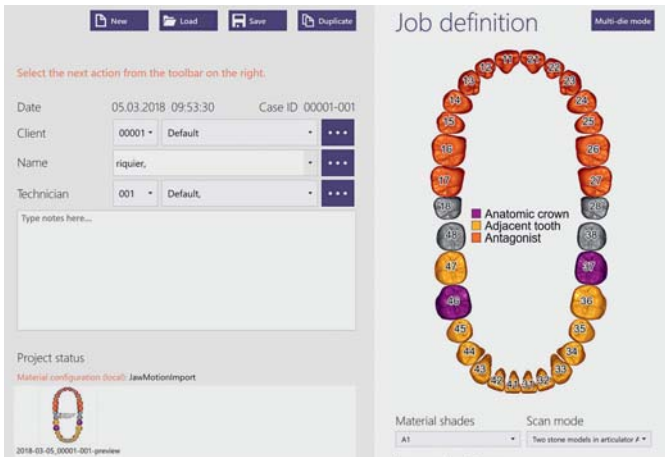
Durch das Zuladen von 3-D-Kieferscandaten werden die Bewegungen zusätzlich kaufflächenbezogen simuliert (Abb. 7). Es ist auch möglich, die Aufzeichnung in Parameter zur Artikulatorprogrammierung umzurechnen (Abb. 8). Sollen die realen Bewegungsbahnen zur Konstruktion verwendet werden, können diese in ihrer Lagebeziehung zu den Kiefermodellen als offenes Datenpaket exportiert werden (Abb. 9). So stehen diese Informationen für eine anschließende restaurative Behandlung zur Verfügung.



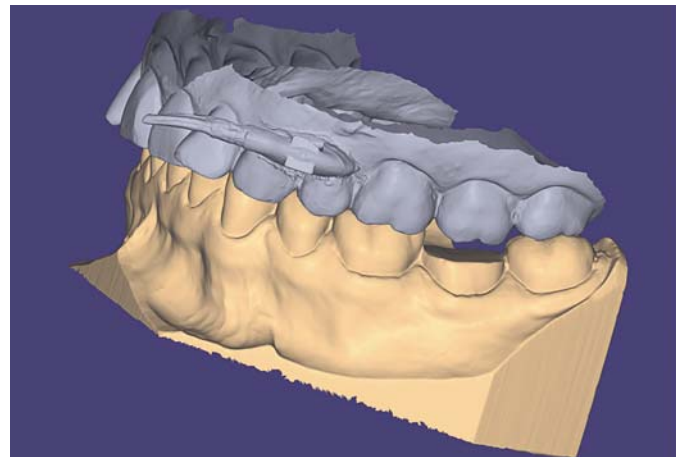
**Abb. 9** Der Export ermöglicht es, die realen Bewegungsbahnen an ein CAD-System zu übergeben.



**Abb. 10** Eine abgestimmte Schnittstelle definiert die Lagebeziehung im CAD-System.



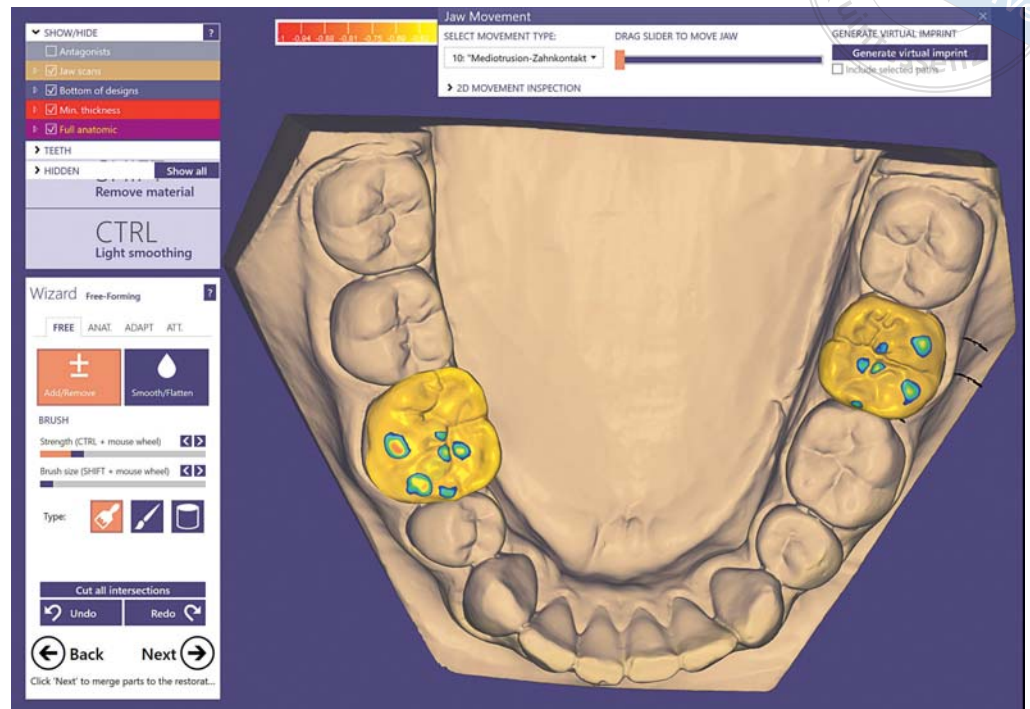
**Abb. 11** Auftragseingabe im CAD-System von Exocad.



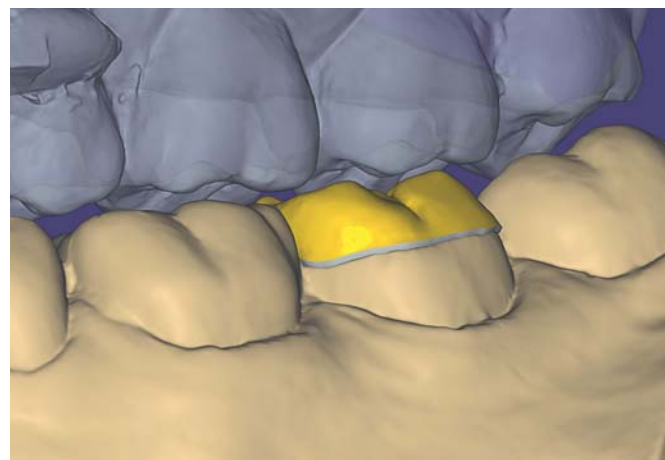
**Abb. 12** Die 3-D-Modelldaten der Präparation werden eingefügt.

Als erste CAD-Software unterstützt Exocad (Darmstadt) im Versionsstand Valletta das direkte Einlesen der Daten aus dem DMD-System (Abb. 10). Die Datenübergabe vom DMD-System zu Exocad erfolgt als XML-Datei, die alle Bewegungspunkte bezogen auf die entsprechende Bewegung beinhaltet. Zusätzlich werden STL-Daten der Kiefer in lagerichtiger Position zu den Bewegungsaufzeichnungen übergeben. Im ersten Schritt wird die Patientenkarteikarte angelegt und die Materialparameter auf JawMotionImport gesetzt (Abb. 11). Unterkiefer und Oberkiefer werden analog zum bekannten Vorgehen bei der Konstruktion hochgeladen. Im Normalfall findet die Bewegungsaufzeichnung vor der Präparation statt. Somit müssen die digitalen Kieferdaten mit den Modelldaten nach der Präparation ausgetauscht werden. Die lagerichtige Positionierung erfolgt hierbei durch ein Matching des Modelldatensatzes in den Kieferdatensatz (Abb. 12). Nachdem Kiefer hochgeladen wurde, kann mit der Konstruktion begonnen werden. Diese erfolgt im gewohnten Ablauf: Präparationsgrenze bestimmen, Zementspalt und Mindestwandstärke festlegen, Bibliotheksauffläche auswählen. Zur Adaption der Kauffläche können nun die aufgezeichneten

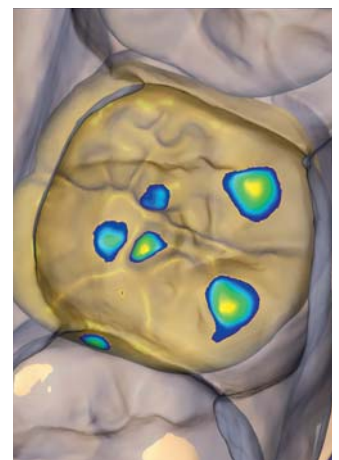
### Ablauf CAD



**Abb. 13** Konstruktion der Kauflächen in statischer Okklusion.

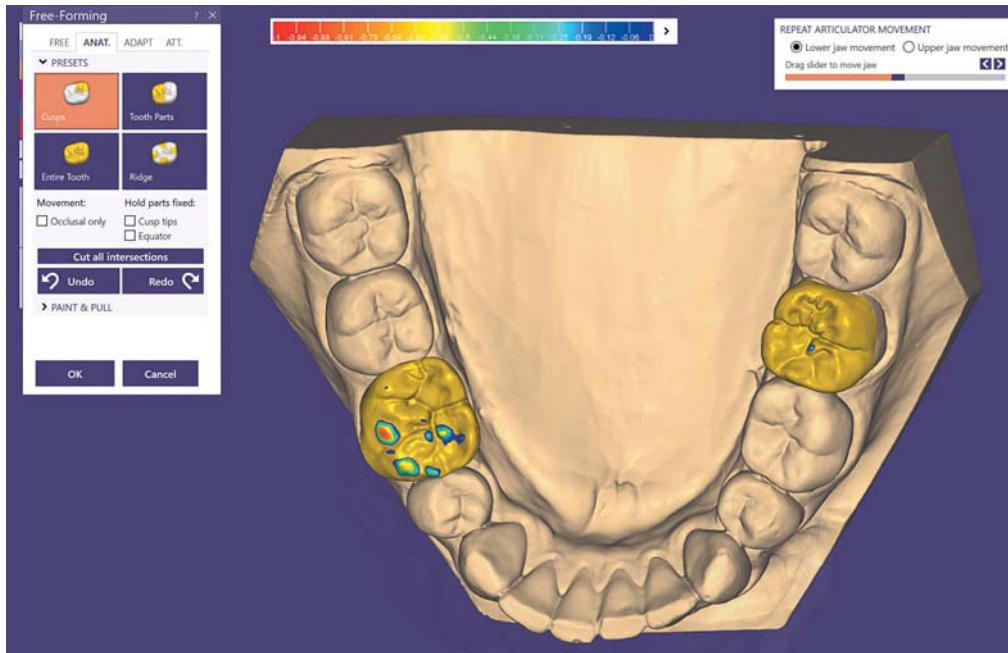


**Abb. 14** Adaption des Kauflächendesigns durch Kontrolle der dynamischen Okklusion.



**Abb. 15** Störkontakte während der funktionellen Nahbewegung werden im Okklusionsprotokoll dynamisch aufgezeigt.

Bewegungsbahnen genutzt werden (Abb. 13). Über einen Schieberegler lassen sich die einzelnen Bahnen animieren (Abb. 14). Durch die Aufzeichnung der funktionellen Nahbewegungen lassen sich mögliche Störkontakte aufzeigen und eliminieren. Das Durchdringungsprotokoll der EXOCAD-Software ermöglicht eine kontrollierte Bestimmung in einem dynamischen zeitlichen Ablauf (Abb. 15). Zusätzlich können die konstruierten Kauflächen und deren Kontakte zum Antagonisten während der Kaubewegung beim Zerkleinern des



**Abb. 16** Die Verzahnung bei der aufgezeichneten Kaubewegung lässt sich auf eventuelle Störkontakte hin überprüfen.

Gummibärchens aufgezeigt werden. Hier zeigen sich mögliche Störkontakte während der realen Kaubewegung (Abb. 16). Dies sind Informationen, die kein Artikulator aufzeigen kann. So entsteht ein Vorgehen, das ein funktionelles Kauflächendesign ermöglicht, welches nicht mechanischen Geräteparametern unterliegt, sondern die Realbewegung simuliert und so die zahntechnische Rekonstruktion der natürlichen Kaubewegung möglich macht.



**Ralph Riquier**  
 r2dental  
 Niemandberg 77  
 75196 Remchingen  
 E-Mail: Riquier@r2dental.de