



## MRT-Sicherheit von Dentaurum-Produkten



## Was ist MRT?

Die Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT), auch Kernspin-Tomographie genannt, ist ein medizinisches Bildgebungsverfahren, bei dem im Gegensatz zu allen Röntgenuntersuchungen keine ionisierende Strahlung eingesetzt wird. Die inzwischen immer häufiger angewendete MRT arbeitet stattdessen mit unterschiedlich starken Magnetfeldern: Das Hauptfeld der *Ultraniedrigfeld*-Geräte liegt bei nur 0,05 Tesla (T), die *Niedrigfeld-MRT* arbeitet mit ca. 0,5 T. Die am weitesten verbreitete sogenannte *Standard-MRT* benutzt Hauptfelder zwischen 1,5 und 3 T. Die *Hochfeld-MRT* mit derzeit bis zu 7 T dient vorerst nur der Forschung.

Außerdem werden in allen Geräten elektromagnetische Wellen verschiedener Frequenzen erzeugt (Radiofrequenzen), durch die das Hauptfeld „gekippt“ wird, was erst die Bildentstehung ermöglicht.

## Welche Wechselwirkungen sind zwischen MRT und Dentalmaterialien möglich?

Bei jedem Patienten, der sich einer MRT-Untersuchung unterziehen muss, stellt sich die Frage, ob mit spezifischen Nebenwirkungen durch das Magnetfeld und die Radiofrequenzen zu rechnen ist. Dabei richtet sich der Fokus auf festsitzende Metallimplantate, wozu auch die in der Mundhöhle und am Schädel genutzten zahnärztlichen und chirurgischen Objekte gehören: Füllungen, Kronen, kieferorthopädische Multiband-Apparaturen, Zahnimplantate, Retainerdrähte, Frakturschienen, Osteosyntheseplatten etc. Es bestehen dann drei grundsätzliche Risiken [1]:

- Die mögliche Erwärmung metallischer Objekte durch die Radiofrequenzen,
- die an den Objekten durch das Magnet-Hauptfeld erzeugten Verschiebe- und Rotationskräfte,
- Bildlöschungen und Verzerrungen durch die Magnetisierbarkeit der Objekte (Suszeptibilitäts-Artefakte) oder durch die Induktion von Wirbelströmen (eddy current artifacts).

Die ersten beiden Punkte sind gut untersucht und für zahnärztliche Produkte vernachlässigbar [1, 5, 7, 9, 11, 14 - 17, 20, 21, 23]. Der dritte Punkt ist jedoch von Bedeutung, weil die Bildgebung durch Artefakte unbrauchbar sein kann. Die Forderung, deshalb müssten vor einer MRT alle Metalle aus dem Mund entfernt werden, wäre jedoch eine primitive Lösung für ein komplexes Problem.

Welche Maßnahmen zu ergreifen sind, hängt in erster Linie von der Fragestellung ab, unter der die MRT-Untersuchung durchgeführt werden soll. Sind Bilder der Kopf-/Halsregion erforderlich, können die von festsitzenden Metall-Applikationen ausgehenden Artefakte die Auswertung erschweren oder sogar unmöglich machen [4, 8, 25]. Den Radiologen stehen zwar einige Sequenzen und Geräteeinstellungen zur Verfügung, mit deren Hilfe die Entstehung von Artefakten vermindert, jedoch nicht gänzlich verhindert werden kann. Deren Einsatz ist zudem nicht bei allen Fragestellungen möglich.

Um also zu verhindern, dass in solchen Fällen festsitzende Applikationen aufwändig zu entfernen sind, sollten möglichst Metalle verwendet werden, die nicht oder nur minimal magnetisierbar sind. Denn für die großen „Suszeptibilitäts-Artefakte“ bei der MRT ist diese Eigenschaft die Entscheidende.



Für die wesentlich kleineren eddy current artifacts (EC-artifacts) kann zusätzlich die Ausrichtung des Objekts im Hauptfeld des MRT Einfluss auf die Ausdehnung der gestörten Areale haben [19].

### **Maßnahmen vor MRT-Untersuchungen im Kopf-Hals-Bereich**

Es ist nicht davon auszugehen, dass alle metallischen Werkstoffe bekannt sind, die ein Patient im Mund hat. Ebenso kann man nicht davon ausgehen, dass die Metalle unter dem Aspekt nur minimal magnetisierbar ausgewählt wurden. Aus diesem Grund sollten alle Metalle, soweit dies problemlos möglich und durch den Patienten selbst realisierbar ist, für eine MRT-Untersuchung aus dem Mund entfernt werden. Dies betrifft herausnehmbare Prothesen und kieferorthopädische Apparaturen. Alle festsitzenden zahnärztlichen Versorgung (Implantate, Kronen, Brücken, kieferorthopädischen Apparaturen) sollten im Mund verbleiben. Da das Entfernen meist mit der Zerstörung dieser Versorgung einhergeht. Wie die einzelnen Materialien sich im MRT verhalten, ist nachfolgend aufgeführt.

Wenn für eine festsitzende kieferorthopädische Apparatur (je nach Behandlungsphase) Bögen aus Edelstahl verwendet wurden, ist folgendes zu beachten. Bei Stahldrähten ist trotz austenitischem Ursprungsgefüge auf Grund ihrer Verarbeitung mit martensitischen Eigenschaften zu rechnen [1]. Aus diesem Grund sollten Stahlbögen vor einer MRT-Untersuchung aus dem Mund entfernt werden. Hingegen können zum Beispiel Bögen aus NiTi im Mund verbleiben.

### **Dentalkeramiken und Kunststoffe**

Diese Werkstoffe sind nicht magnetisierbar und führen deshalb nicht zu Artefakten im MRT-Bild [13, 25]. In Reinform werden sie für definitive oder temporäre Kronen, Brücken und Brackets und auch für Zahnimplantate benutzt. Bei der Verwendung dieser Materialien für zahnfarbige Verblendungen ist immer ein darunter befindliches Metallgerüst zu beachten!

### **Metalle und Legierungen**

Hier muss streng zwischen den Materialeigenschaften einzelner Elemente und der aus ihnen zusammengesetzten Legierungen unterschieden werden. Nickel ist ein gutes Beispiel: Als Element ist es hoch magnetisierbar, als Legierungsbestandteil z.B. in Edelstählen sorgt es für eine sehr geringe Magnetisierbarkeit.

#### **■ Edelmetalllegierungen**

Edelmetalllegierungen sind nicht magnetisierbar und erzeugen somit bei der MRT keine Suszeptibilitäts-Artefakte [10]. Die einzige Ausnahme stellen Palladium-Kobalt (Pd-Co)-Legierungen dar, die für Magnetanker in der Subtotalprothetik genutzt werden. Dentaforum hat keine Produkte aus Edelmetalllegierungen im Lieferprogramm. CAVE: goldfarbene Drähte bestehen selten aus einer Goldlegierung. Ihre Farbe beruht i.d.R. auf einer Titanitrid-Beschichtung.

#### **■ Titan und Titanlegierungen**

Titanwerkstoffe (z.B. 3.7025, 3.7035, 3.7065, 3.7165), aus denen Implantate, Meso- und Suprastrukturen für Implantate,



Kronen, Brücken oder Wurzelstifte hergestellt werden, sind ebenfalls nicht magnetisierbar. Im MRT wirken deshalb keine Translations- oder Rotationskräfte auf sie ein, und es entstehen keine Suszeptibilitäts-Artefakte. Allerdings treten bei diesen Metallen die typischen Wirbelstrom-Artefakte auf, welche durch die im Tomographen erzeugten Wechselfelder und Gradienten induziert werden. Sie sind deutlich kleiner als die Suszeptibilitäts-Artefakte und betreffen nur die unmittelbare Umgebung solcher Implantate und Schrauben. Dadurch wird die Diagnostik der Verbundzone zum Knochen unmöglich und ggf. auch die exakte Lagebestimmung eng benachbart liegender Gefäße und Nerven erschwert. Für andere Fragestellungen können solche Produkte jedoch im Mund verbleiben.

Eine spürbare oder gar gewebeschädigende Erwärmung von Titan-Implantaten unter dem Einfluss des 3 Tesla-MRT ist anhand der eindeutigen Studienlage nicht zu befürchten [11]. Selbst im starken 7 Tesla-MRT fanden sich keine derartigen Hinweise [17].

Dentaurum bietet aus Titan bzw. Titanlegierungen folgende Fertigprodukte an: Implantate, Aufbauten für Implantate, Gussmetalle, Fräsblanks, Pulver für die additive Fertigung, Brackets, Dehnschrauben, tomas®-pin, tomas® PI (palatal implant), Retainer und den prime4me® RETAIN3R [2, 10, 16, 22, 24].

#### ■ Kobalt-Chrom-Legierungen

CoCr-Legierungen sind bei einem Cr-Gehalt von  $\geq 19\%$  im üblichen Temperaturbereich einer Anwendung von  $< 40^\circ\text{C}$  nicht magnetisierbar [6, 12, 18] und führen somit bei der MRT nicht zu Suszeptibilitäts-Artefakten. Dentaurum bietet aus diesen Legierungen Gussmetalle, Fräsblanks, Pulver für

die additive Fertigung, Brackets, Bukkalröhrchen und Drähte an. Diese können bei der MRT EC-artifacts hervorrufen, die geringfügig größer sind als bei Titan. Sie können im Mund verbleiben [2, 13, 22].

#### ■ Nickel-Titan-, Nickel-Chrom- und Titan-Molybdän-Legierungen

NiTi-, NiCr- sowie TiMo-Legierungen sind nicht magnetisierbar und führen somit bei der MRT nicht zu Suszeptibilitäts-Artefakten. Dentaurum bietet aus diesen Legierungen Gussmetalle, Drähte und Federn an.

#### ■ Edelstahl

Unter Stahl versteht man Legierungen des Eisens mit Kohlenstoff. Durch Zulegieren bestimmter Metalle wie Chrom, Nickel und z.B. auch Molybdän entstehen die „Edelstähle“, von denen es über 100 Sorten mit den verschiedensten Eigenschaften gibt. Die Legierungszusätze nehmen einen wesentlichen Einfluss auf die atomare Anordnung und somit auf das Gefüge bzw. auf die Gefügebestandteile des Edelstahls. Typische Gefügebestandteile von Edelstählen sind Austenit, Ferrit und Martensit, die jeweils eine unterschiedliche Magnetisierbarkeit aufweisen. Im Gegensatz zu den Sorten mit martensitischem und ferritischem Gefüge sind die austenitischen Stähle nicht magnetisierbar. Dies trifft allerdings nur zu, insofern das Gefüge der zur austenitischen Kategorie zählenden nichtrostenden Edelstähle ausschließlich austenitisch und somit frei von Ferrit und Martensit oder anderweitigen magnetisierbaren Phasen ist. Abgesehen von höher legierten Sorten, können nichtrostende Edelstähle durchaus auch Ferritanteile aufweisen, die sich meist im niedrigen einstelligen oder gar nur Zehntel-Prozentbereich bewegen und somit für eine geringfügige Magnetisierbarkeit



des Werkstoffs sorgen. Durch die gezielte Anwendung einer Glühbehandlung lässt sich der Ferritgehalt reduzieren. Alternativ kann durch einen steigenden Legierungsgehalt der Austenit stabilisiert und somit die Umwandlung in Ferrit teils oder vollends unterbunden werden. Zudem kann es bei metastabilen Austeniten durch Kaltverformung zu einer äußerlich nicht erkennbaren martensitischen Transformation kommen, wodurch die nichtrostenden Edelstähle dann auch magnetisierbar werden. Um diesen „Verformungsmartensit“ zu vermeiden, müssen bei der Herstellung der kieferorthopädischen Produkte anstelle ausschließlich kaltverformender Methoden alternative Vorgehen genutzt werden.

Soweit der Vertreiber bzw. Hersteller von Dentalprodukten aus nichtrostendem Edelstahl deren Werkstoffnummer angibt, sind damit das Gefüge und dessen Stabilität relativ einfach recherchierbar. Die konkrete Produktionsart der metastabilen Austenite wird von den Herstellern leider nur selten deklariert. Selbst anhand der exakten elementaren Zusammensetzung können Experten nur mit Kenntnis des Herstellwegs und der thermomechanischen Vorgeschichte eines Edelstahles dessen magnetische Eigenschaft sicher erkennen. Soweit diese Information nicht erhältlich ist, droht den Patienten mit metallischen festsitzenden Applikationen tatsächlich die pauschale Entfernung dieser Objekte vor MRT, insbesondere in dringlichen Fällen.

Dentaurum setzt für die Herstellung von Brackets, Bändern, Drähten und Dehnschrauben der Klasse II-Apparaturen sowie für die Zubehörteile des tomas® Verankerungssystems verschiedene Edelstähle ein. Es handelt sich um nichtrostende Edelstähle mit stabilem oder metastabilem austenitischem Gefüge. Dabei wird eine etwaige Martensitbildung durch

spezielle Produktionsverfahren verhindert. Deshalb erzeugen die daraus gefertigten Produkte, welche zum dauerhaften Verbleib in der Mundhöhle ausgelegt wurden (siehe Tabellen im Anhang), im MRT keine relevanten Artefakte [2-4].

### Autoren

Wissenschaftliche Beratung: OA Dr. Felix Blankenstein (Abteilung für Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnmedizin und Funktionslehre, Charité Berlin)

**Dr.-Ing. Alexander Matz**

Leiter Entwicklung Werkstoffe und Chemie bei Dentaurum

**Dr. med. Thomas Lietz**

Head of clinical Affairs bei Dentaurum

**Dr.-Ing. Christoph Schippers**

Person responsible for regulatory compliance bei Dentaurum

## Tabellen

**Tabelle 1:** Übersicht der in der Dentalbranche verwendeten Edelstähle (sortiert nach Lfd.-Nr.). Welche Produkte aus diesen Legierungen gefertigt werden, ist der Dentaforum Werkstoffliste zu entnehmen.

Lfd.-Nr. <sup>1</sup>	Bezeichnung	Werkstoffnummer		Kurzname	Gefüge
		DIN*	AISI / ASTM**		
1.000	nichtrostender Stahl	1.4301	<i>AISI 304</i>	X5CrNi18-10	Austenit <sup>2</sup>
1.001	nichtrostender Stahl	1.4303	<i>AISI 305</i>	X4CrNi18-12	Austenit <sup>2</sup>
1.002	nichtrostender Stahl	1.4305	<i>AISI 303</i>	X8CrNi18-9	Austenit <sup>2</sup>
1.003	nichtrostender Stahl (dentaform®, remanium®)	1.4310	<i>AISI 301 / AISI 302</i>	X10CrNi18-8	Austenit <sup>2</sup>
1.004	nichtrostender Stahl	1.4401	<i>AISI 316</i>	X5CrNiMo17-12-2	Austenit <sup>2</sup>
1.005	nichtrostender Stahl (remanium®)	1.4404	<i>AISI 316L</i>	X2CrNiMo17-12-2	Austenit <sup>2</sup>
1.006	nichtrostender Stahl (Noninium®)	1.4456	—	X8CrMnMoN18-18-2	Austenit
1.007	nichtrostender Stahl	1.4460	<i>AISI 329</i>	X3CrNiMoN27-5-2	Austenit/Ferrit <sup>2</sup>
1.008	nichtrostender Stahl	1.4541	<i>AISI 321</i>	X6CrNiTi18-10	Austenit <sup>2</sup>
1.009	nichtrostender Stahl	1.4542	<i>AISI 630</i>	X5CrNiCuNb16-4	Austenit / Ferrit / Martensit / Ausscheidungen <sup>3</sup>
1.010	nichtrostender Stahl	1.4435	<i>AISI 316L</i>	X2CrNiMo18-14-3	Austenit <sup>2</sup>
1.011	nichtrostender Stahl (dentaform®)	<i>1.4310</i>	AISI 302	—	Austenit <sup>2</sup>
1.012	nichtrostender Stahl (dentaform®)	<i>1.4326</i>	AISI 302 B	—	Austenit
1.013	nichtrostender Stahl (dentaform®, remanium®)	<i>1.4301</i>	AISI 304	—	Austenit <sup>2</sup>
1.014	nichtrostender Stahl (Noninium®)	1.3808	<i>ASTM F 2581</i>	X20CrMnMoN17-11-3	Austenit
1.015	nichtrostender Stahl	1.4568	<i>AISI 631</i>	X7CrNiAl17-7	Austenit / Ferrit / Martensit / Ausscheidungen <sup>3</sup>
1.016	nichtrostender Stahl	1.4197	—	X20CrNiMoS13-1	Martensit
1.017	nichtrostender Stahl	1.4034	<i>AISI 420</i>	X46Cr13	Martensit
1.018	nichtrostender Stahl	1.4571	<i>AISI 316 Ti</i>	X6CrNiMoTi17-12-2	Austenit <sup>2</sup>
1.019	nichtrostender Stahl	1.4501	<i>ASTM A 1082</i>	X2CrNiMoCuWN25-7-4	Austenit / Ferrit <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Nummerierung in der Dentaforum Werkstoffliste

<sup>2</sup> gem. DIN EN 10088-3

<sup>3</sup> Phasenverteilung stark abhängig von vorangegangener thermomechanischer Behandlung

\* Die mit einer DIN-Werkstoffnummer gekennzeichneten Stähle entsprechen im Wesentlichen den mit einer AISI-/ASTM-Werkstoffnummer gekennzeichneten Stählen. Es sind allerdings marginale Unterschiede der zulässigen Toleranzen für die chemischen Zusammensetzungen möglich. Die Vergleichssorte zum jeweils eingesetzten Stahl ist *kursiv* angegeben.

\*\* Angabe der ASTM-Werkstoffnummer, insofern keine AISI-Werkstoffnummer existiert

**Tabelle 2:** Übersicht der in der Dentalbranche verwendeten Edelstähle (sortiert nach DIN-Nr.). Welche Produkte aus diesen Legierungen gefertigt werden, ist der Dentaforum Werkstoffliste zu entnehmen.

Lfd.-Nr. <sup>1</sup>	Bezeichnung	Werkstoffnummer		Kurzname	Gefüge
		DIN*	AISI / ASTM**		
1.014	nichtrostender Stahl (Noninium®)	1.3808	ASTM F 2581	X20CrMnMoN17-11-3	Austenit
1.017	nichtrostender Stahl	1.4034	AISI 420	X46Cr13	Martensit
1.016	nichtrostender Stahl	1.4197	—	X20CrNiMoS13-1	Martensit
1.000	nichtrostender Stahl	1.4301	AISI 304	X5CrNi18-10	Austenit <sup>2</sup>
1.013	nichtrostender Stahl (dentaform®, remanium®)	1.4301	AISI 304	—	Austenit <sup>2</sup>
1.001	nichtrostender Stahl	1.4303	AISI 305	X4CrNi18-12	Austenit <sup>2</sup>
1.002	nichtrostender Stahl	1.4305	AISI 303	X8CrNiS18-9	Austenit <sup>2</sup>
1.003	nichtrostender Stahl (dentaform®, remanium®)	1.4310	AISI 301 / AISI 302	X10CrNi18-8	Austenit <sup>2</sup>
1.011	nichtrostender Stahl (dentaform®)	1.4310	AISI 302	—	Austenit <sup>2</sup>
1.012	nichtrostender Stahl (dentaform®)	1.4326	AISI 302 B	—	Austenit
1.004	nichtrostender Stahl	1.4401	AISI 316	X5CrNiMo17-12-2	Austenit <sup>2</sup>
1.005	nichtrostender Stahl (remanium®)	1.4404	AISI 316L	X2CrNiMo17-12-2	Austenit <sup>2</sup>
1.010	nichtrostender Stahl	1.4435	AISI 316L	X2CrNiMo18-14-3	Austenit <sup>2</sup>
1.006	nichtrostender Stahl (Noninium®)	1.4456	—	X8CrMnMoN18-18-2	Austenit
1.007	nichtrostender Stahl	1.4460	AISI 329	X3CrNiMoN27-5-2	Austenit / Ferrit <sup>2</sup>
1.019	nichtrostender Stahl	1.4501	ASTM A 1082	X2CrNiMoCuWN25-7-4	Austenit / Ferrit <sup>2</sup>
1.008	nichtrostender Stahl	1.4541	AISI 321	X6CrNiTi18-10	Austenit <sup>2</sup>
1.009	nichtrostender Stahl	1.4542	AISI 630	X5CrNiCuNb16-4	Austenit / Ferrit / Martensit / Ausscheidungen <sup>3</sup>
1.015	nichtrostender Stahl	1.4568	AISI 631	X7CrNiAl17-7	Austenit / Ferrit / Martensit / Ausscheidungen <sup>3</sup>
1.018	nichtrostender Stahl	1.4571	AISI 316 Ti	X6CrNiMoTi17-12-2	Austenit <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Nummerierung in der Dentaforum Werkstoffliste

<sup>2</sup> gem. DIN EN 10088-3

<sup>3</sup> Phasenverteilung stark abhängig von vorangegangener thermomechanischer Behandlung

\* Die mit einer DIN-Werkstoffnummer gekennzeichneten Stähle entsprechen im Wesentlichen den mit einer AISI-/ASTM-Werkstoffnummer gekennzeichneten Stählen. Es sind allerdings marginale Unterschiede der zulässigen Toleranzen für die chemischen Zusammensetzungen möglich. Die Vergleichssorte zum jeweils eingesetzten Stahl ist kursiv angegeben.

\*\* Angabe der ASTM-Werkstoffnummer, insofern keine AISI-Werkstoffnummer existiert

## Literatur

1. Blankenstein, F., Truong, B. T., Thomas, A., Thieme, N., et al.: Zur Vorhersagbarkeit von Suszeptibilitätsartefakten durch metallische orthodontische Apparaturen in der Magnetresonanztomographie. *J Orofac Orthop*; 2015, 76 (1): 14-29; [# 12683]
2. Blankenstein, F., Truong, B. T., Thomas, A., Thieme, N., et al.: Predictability of magnetic susceptibility artifacts from metallic orthodontic appliances in magnetic resonance imaging. *J Orofac Orthop*; 2015, 76 (1): 14-29; [# 12681]
3. Blankenstein, F. H., Asbach, P., Beuer, F., Glienke, J., et al.: Magnetic permeability as a predictor of the artefact size caused by orthodontic appliances at 1.5 T magnetic resonance imaging. *Clin Oral Investig*; 2017, 21 (1): 281-289; [# 13644]
4. Blankenstein, F. H., Kielburg, U., Melerowitz, L., and Stelmaszczyk, D.: The intraoral permeability measurement as a screening for artifact formation by orthodontic products in MRI. *J Orofac Orthop*; 2021, [# 20769]
5. Dobai, A., Dembrovsky, F., Vízkelety, T., Barsi, P., et al.: MRI compatibility of orthodontic brackets and wires: systematic review article. *BMC oral health*; 2022, 22 (1): 298; [# 21276]
6. Gavaille, G., and Durupt, S.: Magnetic behaviour of Co-Cr alloys above the critical concentration for ferromagnetism. *Journal de Physique*; 1982, 43 (5): 773-777; [# 20737]
7. Görgülü, S., Ayyildiz, S., Kamburoglu, K., Gökçe, S., et al.: Effect of orthodontic brackets and different wires on radiofrequency heating and magnetic field interactions during 3-T MRI. *Dentomaxillofac Radiol*; 2013, 43 (2): [# 21283]
8. Hasanin, M., Kaplan, S. E. F., Hohlen, B., Lai, C., et al.: Effects of orthodontic appliances on the diagnostic capability of magnetic resonance imaging in the head and neck region: A systematic review. *International orthodontics*; 2019, 17 (3): 403-414; [# 19075]
9. Hasegawa, M., Miyata, K., Abe, Y., and Ishigami, T.: Radiofrequency heating of metallic dental devices during 3.0 T MRI. *Dentomaxillofac Radiol*; 2013, 42 (5): 20120234; [# 21285]
10. Hilgenfeld, T., Prager, M., Schwindling, F. S., Heil, A., et al.: Artefacts of implant-supported single crowns - Impact of material composition on artefact volume on dental MRI. *European journal of oral implantology*; 2016, 9 (3): 301-308; [# 21151]
11. Ideta, T., Yamazaki, M., Kudou, S., Higashida, M., et al.: Investigation of Radio Frequency Heating of Dental Implants Made of Titanium in 1.5 Tesla and 3.0 Tesla Magnetic Resonance Procedure: Measurement of the Temperature by Using Tissue-equivalent Phantom. *Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai zasshi*; 2013, 69 521-528; [# 22095]
12. Ishida, K., and Nishizawa, T.: The Co-Cr (Cobalt-Chromium) system. *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*; 1990, 11 (4): 357-370; [# 20739]





13. **Klinke, T., Daboul, A., Maron, J., Gredes, T., et al.:** Artifacts in magnetic resonance imaging and computed tomography caused by dental materials. *PloS one*; 2012, 7 (2): e31766; [# 12095]
14. **Klocke, A., Kemper, J., Schulze, D., Adam, G., et al.:** Magnetic field interactions of orthodontic wires during magnetic resonance imaging (MRI) at 1.5 Tesla. *J Orofac Orthop*; 2005, 66 (4): 279-287; [# 8100]
15. **Klocke, A., Kahl-Nieke, B., Adam, G., and Kemper, J.:** Magnetic Forces on Orthodontic Wires in High Field Magnetic Resonance Imaging (MRI) at 3 Tesla. *J Orofac Orthop*; 2006, 67 (6): 424-429; [# 6910]
16. **Linetskiya, I., Starčuková, J., Hubáľková, H., Jrb, Z. S., et al.:** Evaluation of magnetic resonance imaging issues of titanium and stainless steel brackets. *ScienceAsia*; 2019, 45 (2): 145-153; [# 21038]
17. **Noureddine, Y., Bitz, A., Ladd, M., Thürling, M., et al.:** Experience with magnetic resonance imaging of human subjects with passive implants and tattoos at 7 T: a retrospective study. *Magma (New York, NY)*; 2015, 28 [# 22094]
18. **Oikawa, K., Qin, G., Ikeshoji, T., Kainuma, R., et al.:** Direct evidence of magnetically induced phase separation in the fcc phase and thermodynamic calculations of phase equilibria of the Co–Cr system. *Acta Materialia*; 2002, 50 2223-2232; [# 20740]
19. **Poorsattar-Bejeh, M. A., and Rahmati-Kamel, M.:** Should the orthodontic brackets always be removed prior to magnetic resonance imaging (MRI)? *J Oral Biol Craniofac Res*; 2016, 6 (142-152): 142-152; [# 17514]
20. **Regier, M., Kemper, J., Kaul, M., Feddersen, M., et al.:** Radiofrequency-induced Heating near Fixed Orthodontic Appliances in High Field MRI Systems at 3.0 Tesla. *J Orofac Orthop*; 2009, 70 (6): 485-494; [# 21138]
21. **Regier, M., Kemper, J., Kaul, M., Feddersen, M., et al.:** Radiofrequenzinduzierte Erwärmung fixierter kieferorthopädischer Apparaturen in der Hochfeld-MRT bei 3 Tesla. *J orofac Orthop*; 2009, 70 (6): 485-494; [# 21137]
22. **Roser, C., Hilgenfeld, T., Sen, S., Badrow, T., et al.:** Evaluation of magnetic resonance imaging artifacts caused by fixed orthodontic CAD/CAM retainers-an in vitro study. *Clin Oral Investig*; 2021, 25 (3): 1423-1431; [# 20044]
23. **Sfondrini, M. F., Preda, L., Calliada, F., Carbone, L., et al.:** Magnetic Resonance Imaging and Its Effects on Metallic Brackets and Wires: Does It Alter the Temperature and Bonding Efficacy of Orthodontic Devices? *Materials (Basel, Switzerland)*; 2019, 12 (23): [# 19078]
24. **Sonesson, M., Al-Qabandi, F., Mansson, S., Abdulraheem, S., et al.:** Orthodontic appliances and MR image artefacts: An exploratory in vitro and in vivo study using 1.5-T and 3-T scanners. *Imaging science in dentistry*; 2021, 51 (1): 63-71; [# 20461]
25. **Zhylich, D., Krishnan, P., Muthusami, P., Rayner, T., et al.:** Effects of orthodontic appliances on the diagnostic quality of magnetic resonance images of the head. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 2017, 151 (3): 484-499; [# 17220]

# Dentaurum

Deutschland | Benelux | España | France | Italia | Switzerland | Australia | Canada | USA  
und in über weiteren 130 Ländern weltweit.



DENTAURUM  
QUALITY  
WORLDWIDE  
UNIQUE

## KUNDENSERVICE

+49 72 31 / 803 - *Durchwahl*

Kieferorthopädie	- 550
Implantologie	- 590
Zahntechnik / Keramik	- 410
Customer Support Digital	- 280
Auftragsannahme	- 210

Faxbestellung 0800 / 4 14 24 34  
(gebührenfrei aus Deutschland)



ONLINE SHOP  
[shop.dentaurum.com](https://shop.dentaurum.com)



Stand der Information: 2023-11  
Änderungen vorbehalten

**D**  
DENTAURUM

Turnstr. 31 | 75228 Ispringen | Germany | Telefon +49 72 31/803-0 | Fax +49 72 31/803-295  
[www.dentaurum.com](https://www.dentaurum.com) | [info@dentaurum.com](mailto:info@dentaurum.com)