

DIGITALE VOLUMENTOMOGRAFIE

State of play

PD Dr. Dirk Schulze

→ Warum Sie diesen Beitrag lesen sollten?

Ob es nun vermehrt in der Praxis Anwendung finden wird oder nicht, die DVT ist nicht mehr wegzudenken. Die Grundlagen der DVT und der Geräte werden oft als kompliziert wahrgenommen, weil die gesamte Materie sehr techniklastig ist. Ein Grundverständnis für diese Technologie und „worauf es ankommt“ sollten wir aber alle wissen.

Zusammenfassung: Durch die rasante technische Entwicklung drängen immer mehr Firmen auf den Markt, die eine digitale Volumentomografie (DVT) anbieten. Wenn die Überlegung in der Praxis besteht, eine DVT anzuschaffen, ist nicht mehr der Vergleich der vielen unterschiedlichen Anbieter relevant. In der Fülle an von den Herstellern bereitgestellten Informationen ist es wichtig, nicht den Überblick zu verlieren. Deshalb ist die Fokussierung auf die elementaren, technischen, vermeintlich kompliziert erscheinenden Parameter wichtig. Diese Parameter werden in dieser Übersicht leicht verständlich beschrieben. Somit bekommt die oder der Kaufwillige eine Orientierung, oder die bereits getroffene Entscheidung kann mithilfe dieses Artikels bestätigt oder eben wieder revidiert werden. In jedem Fall ist die weiter voranschreitende Digitalisierung nie aus den Augen aus zu verlieren, um up to date zu bleiben.

Schlüsselwörter: DVT; Aufnahmevolumen; FoV; Ortsauflösung; Bildqualität; DICOM; Bewegungsartefakte

Zitierweise: Schulze D: Digitale Volumentomografie. State of play. Z Zahnärztl Implantol 2021; 37: 24–28

DOI.org/10.3238/ZZI.2021.0024–0028

EINLEITUNG

Seit 20 Jahren beschäftige ich mich nun schon mit bildgebenden Verfahren in der Zahnheilkunde, und die digitale Volumentomografie (DVT) allein stellt inzwischen einen wesentlichen Bestandteil meines beruflichen Lebens dar.

Bestimmte Fragen tauchen in der Auseinandersetzung mit dem Verfahren oder auch bei Fortbildungsveranstaltungen immer wieder auf. Wir alle kennen diese Situation: in einem Moment noch auf das Problem fokussiert, und nur wenige Augenblicke später wird man von anderen Gedanken, Einflüssen distrahiert. Und die Frage, die man eigentlich stellen wollte, ist vergessen. Bei der nächstbesten Gelegenheit steht man jedoch wieder vor dem Problem und erinnert sich an diese Situation.

Deshalb möchte ich gern im Rahmen dieses Artikels die aus meiner Sicht wichtigsten Fragen hinsichtlich der Anwendung der DVT in der Zahnheilkunde versuchen zu klären.

GRUNDSÄTZLICHE FRAGE: WAS IST DAS BESTE GERÄT AUF DEM MARKT?

Diese Frage kann so nicht korrekt beantwortet werden. Eine unlängst veröffentlichte Systemübersicht listet allein etwa 200 aktuell verfügbare DVT-Geräte auf [1]. Technisch gesehen gibt es mit Sicherheit Unterschiede zwischen den Systemen, die sich logischerweise auch im Preis niederschlagen. Ein DVT-System besteht jedoch aus mehreren Komponenten und die gilt es, vor der Beschaffung genau zu analysieren. Generell lassen sich DVT-Systeme in 2 wesentliche Teile gliedern:

- Akquisitions- und Rekonstruktionseinheit
- Befundungs- und Betrachtungseinheit.

Akquisitions- und Rekonstruktionseinheit

Darunter sind selbstverständlich alle DVT-Röntgeneinrichtungen sowie die daran anhängende EDV-Struktur zu subsumieren. Letztere muss nach den Vorgaben der Hersteller umgesetzt werden, hier besteht also wenig Handlungsspielraum.

Bezüglich der Güte von DVT-Röntgeneinrichtungen finden sich beispielsweise folgende relevante Parameter:

Verfügbare Akquisitionsvolumina und -modi: Neben der maximal verfügbaren Volumengröße (z.B. 8–10 cm Durchmesser und 8–10 cm Höhe) sollten aktuelle DVT-Systeme in jedem Fall mindestens noch 2 weitere Akquisitionsvolumen unterstützen, d.h. die Darstellung eines Kiefers (z.B. 8–10 cm Durchmesser und 4–5 cm Höhe) und die Darstellung eines Quadranten bzw. einiger Zähne (4–5 cm Durchmesser und 4–5 cm Höhe). Die verfügbaren Expositionsprotokolle sollten entweder eine Differenzierung zwischen Erwachsenen und Kindern berücksichtigen oder sogar eine frei verfügbare Programmierung von Expositionsparametern (Röhrenspannung in kV und Röhrenstrom in mA) ermöglichen.

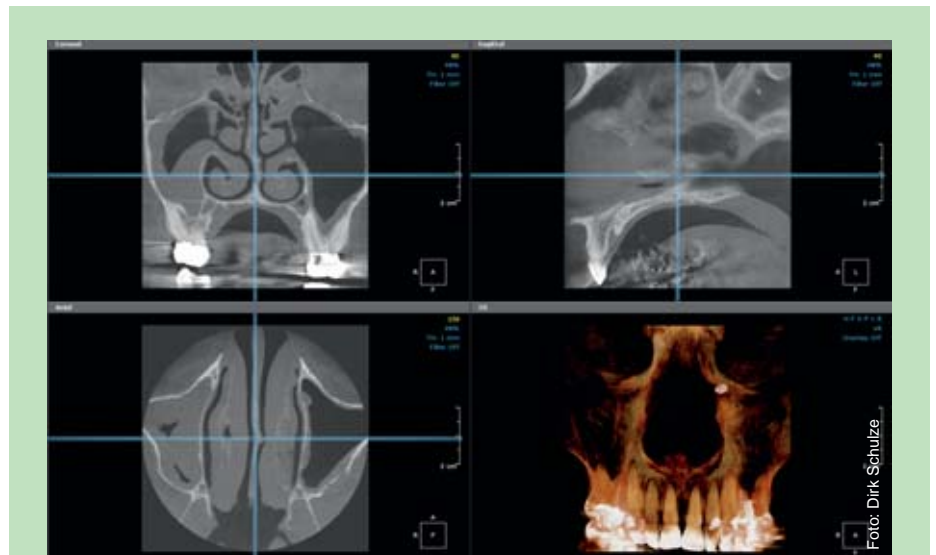


Abb. 1: Orthogonale multiplanare Rekonstruktion (MPR), gleichzeitige Darstellung aller 3 Raumebenen im rechten Winkel zueinander. Diese Darstellung inklusive der Rotation aller Raumebenen beherrschen derzeit auch frei verfügbare DICOM-Viewer, sodass in der Regel auf einen proprietären Viewer auch verzichtet werden kann.



Abb. 2: Kleines Aufnahmevolumen zur Darstellung eines dentalen Traumas in der Oberkieferfront. Der Abbildungsumfang eines 4x4 cm großen, zylindrischen Volumens wird häufig unterschätzt. In Kombination mit adäquaten Expositionsparametern bieten diese kleinen Volumina die derzeit beste Abbildungsqualität.

möglichen. Die Abstimmung der Expositionsparameter mit dem aufzuzeichnenden Volumen und der daraus resultierenden geometrischen Auflösung ist für jeden Anwender ein essenzieller Aspekt, dem ich mich beim Thema Bildqualität zuwenden werde.

Umlauf- und Expositionsgeschwindigkeit: Dieser Punkt steht natürlich in Verbindung mit den oben beschriebenen Aspekten, ich möchte vor allem auf die ge-

samte Untersuchungsdauer hinweisen. Der Einfluss der Expositionszeit auf Patientenbewegungen wurde inzwischen detailliert untersucht. Wie nicht anders zu erwarten, führt eine Verlängerung der Expositionszeit zu vermehrten Bewegungsartefakten. Daher sollte eine zu beschaffende DVT-Einrichtung im Standard-Modus eine Expositionszeit ≤ 12 Sekunden aufweisen. Im Idealfall liegen auch Untersuchungsprotokolle mit wesentlich kürzeren Expositionszeiten von ≤ 10 Sekunden vor.

Positionierungs- und Einstiegs-/Ausstiegsoptionen für den Patienten: In Abhängigkeit von der Räumlichkeit, in der die DVT-Röntgeneinrichtung platziert werden soll, ergeben sich häufig bestimmte Vorgaben für den Stellplatz, der für die Röntgeneinrichtung zur Verfügung steht, und den Zugang für Patienten und Bedienpersonal. Hier sollte im Vorfeld doch mehr Platz für den Patientenzugang eingeplant werden, denn gerade die Untersuchung älterer oder körperlich behinderter Patienten wird durch eine räumliche Enge selbstverständlich erschwert. Gleichzeitig kann eine einfachere Positionierung des Systems am Patienten dann erfolgen, wenn ein größerer Abstand zwischen Röhre und Detektionseinheit besteht.

Befundungs-/Betrachtungseinheit

Die Befundung bzw. Betrachtung der Daten ist letztlich Aufgabe des Betreibers der Röntgeneinrichtung, wobei es auch Konzepte gibt, die diese Prozesse externalisieren. Neben einer geeigneten Hardware (Computer und Peripherie sowie einem adäquaten Bildwiedergabegerät [Befunddisplay, welches mindestens die Vorgaben der Raumklasse 5 erfüllt und eine jährliche messtechnische Prüfung autark durchführen kann]) ist auf die Umgebungshelligkeit zu achten oder es sind die Voraussetzungen dafür zu schaffen, diese zu reduzieren. Der wichtigste Punkt ist hierbei die Software, repräsentiert diese doch die Schnittstelle zwischen Mensch und Daten. Die Software wird in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle vom Hersteller bereitgestellt, inzwischen handelt es sich dabei um umfangreiche und teils modular aufgebaute Software-Suiten. Ob dies der richtige Weg sein wird, vermag ich an dieser Stelle noch nicht sicher einzuschätzen.

Die Bedienung dieser Plattform sollte intuitiv erlernbar sein und sich an Standard-Bedienkonzepten bekannter Betriebssysteme orientieren. Neben der Darstellung des Datensatzes – am besten initial nach dem Datenaufbau als orthogonale MPR (multiplanare Rekonstruktion) – sollten Funktionen zur Rekonstruktion typischer zahnmedizinisch relevanter Ansichten, z.B. Panorama-/Freihandrekonstruktion als Topogramm und darauf basierende transversale Schnittbilder mit jeweils

variierbarer Schichtdicke und Schichtabstand und – bei etwaigen Positionierungsfehlern – Möglichkeiten zur Normalisierung und Neuausrichtung des Datensatzes vorhanden sein (Abb. 1). An jeder Stelle müssen in der Software Möglichkeiten zur Änderung der Fensterwerte (Helligkeit und Kontrast bzw. eine DICOM-konforme Graustufen-Fensterung), Zoomfunktionen, Annotationen und Markierungen, Messfunktionen, ggf. auch das Platzieren von einfachen STL-Objekten sowie das Erzeugen von Screenshots verfügbar sein. Die so erzeugten Daten sollte wiederum neben DICOM auch in geeigneten anderen Dateiformaten zur Verfügung stehen. Weiterhin sollte die Software auch in der Lage sein, DICOM-Datensätze von DVT-Systemen anderer Hersteller ohne Qualitätsverlust zu importieren. Schließlich muss sich ein DICOM-Datensatz zzgl. eines kleinen Betrachtungsprogramms (Viewer) exportieren lassen. Wer nun auch nach einer Implantatplanungs-Plattform fragt, sei auf spezialisierte Software-Applikationen verwiesen. Es existieren aber auch für die zahnmedizinischen Bildverwaltungssysteme Planungsmodule, die mit in-office 3D-Druckern gekoppelt werden können. Am Ende des Tages stellt sich die Frage des Preises, wenn die Lösungen alle aus einer Hand kommen.

Wie man sieht, ist die Software fast wichtiger als die Röntgeneinrichtung, aber das wäre sicherlich zu viel des Guten. Bildqualität ist nicht ausschließlich eine Frage des Herstellers, denn diese hängt in großem Maße davon ab, wie die Aufnahme erstellt wird.

WIE ERREICHT MAN EINE OPTIMALE BILDQUALITÄT?

Viele Anwender glauben, dass die Bildqualität mit der reinen Ortsauflösung gekoppelt ist. Also in etwa nach der Gleichung: höhere Ortsauflösung = höhere Bildqualität. Das wäre schön, aber leider werden diesem Vorhaben physikalisch leicht zu identifizierende Grenzen gesetzt. Daher müsste die Frage also eher lauten: Was sind die limitierenden Faktoren der Bildqualität einer DVT-Untersuchung? Die Bildqualität hat neben den Grenzen, die uns die Physik aufzeigt, zwei mächtige Gegner: den Anwender und den Patienten. Insbesondere der ah-



(Mit freundlicher Genehmigung der Firma 3shape, Kopenhagen, Dänemark)

Abb. 3: Metallplatte mit Halteband zur Korrektur von Bewegungsartefakten. Deutlich sichtbar sind die vielen kleinen hellen Objekte auf der Oberfläche, jede räumliche Veränderung während der Aufnahme wird durch die oberhalb des Patientenkopfes befindlichen Kameras aufgezeichnet, die daraus resultierenden Bewegungsartefakte werden vor der Datenrekonstruktion korrigiert.

nungslose Anwender ist ein schwer auszurechnender Kontrahent, da er schon beim Erwerb der Röntgeneinrichtung sich möglicherweise mehr an der Politur der Oberfläche orientiert denn an den technischen Parametern. Das Akquisitionsvolumen sollte beispielsweise immer an die Fragestellung angepasst werden, z.B. passt ein einzelner verlagertes Weisheitszahn locker in ein Zylinder-Volumen von 4 cm Durchmesser und 4 cm Höhe (nachfolgend der Einfachheit halber 4x4). Gleiches gilt im Übrigen auch für alle endodontischen Fragestellungen (Abb. 2) Ein Kiefer passt in ein Volumen von 8x4 oder 8x5 (Durchmesser x Höhe in cm), beide in 8x8. Böse Zungen behaupten, in Okklusion ginge das sogar in 8x6 (aber den Stress würde ich mir nicht machen). Kieferhöhlen inklusive osteomeataler Komplex und Oberkiefer lassen sich in 8x8, 10x8 oder 10x10 darstellen, eine gewisse anatomische Bandbreite sollte sicherlich berücksichtigt werden. Alle 4 Weisheitszähne in einem Datensatz darzustellen, wird sich wohl nur mit einem größeren Volumendurchmesser bewältigen lassen. Da können für einen kräftigen Burschen aus dem bayerischen Wald 10 cm Durchmesser schon zu wenig sein. Alternativ sei dann hier noch einmal auf mein eingangs erwähntes 4x4 für jeweils beide Seiten hingewiesen. An dieser Aufzäh-



Foto: Dirk Schulze

Abb. 4: Die Übertragung der Daten kann auf eine NAS im heimischen Netzwerk erfolgen. Dieser Netzwerkspeicher befindet sich hinter der Praxis-Firewall und kann von dort als Cloud fungieren, entsprechende Routen sind sorgfältig und am besten natürlich von IT-Fachpersonal einzurichten. Über diese Funktion können Freigaben für Dritte erteilt und somit der Zugriff auf Datensätze realisiert werden.

lung fällt natürlich auf, dass größere Volumina gar nicht benötigt werden, sofern die Indikationen dem Behandlungsportfolio eines Generalisten oder Oralchirurgen entsprechen. Ja gut, sagt sich der merkbefreite Anwender, aber dann machen wir nur Hi-Res, oder? Hi-Res, HD oder Endo-Modus sind nur Konfabulate von Marketing-Abteilungen, sofern man sich mal die rekonstruierten Voxelkantenlängen anschaut, die liegen dann gern bei 80 μm oder auch darunter. Aus Sicht der hinter der Datenrekonstruktion befindlichen Algorithmen und Gleichungen ist die Voxelkantenlänge nicht relevant, sie stellt lediglich einen Parameter dar. Aus physikalischer Sicht und bezogen auf die Signalverarbeitung stellen uns derartig hohe Auflösungen vor große Probleme. Hier unterwandert zunächst der Patient unser Interesse an einer guten Bildqualität, da er sich auch bei einer noch so kurzen Untersuchungszeit – immerhin sind wir schon bei unter 5 Sekunden Expositionszeit angekommen – gern und auch ausgiebig bewegt [3, 4]. Bei der Recherche zu diesem Artikel habe ich auch eine Untersuchungsmethode namens Ballistokardiografie kennengelernt, die die Auslenkungen bzw. Bewegungen des Körpers misst, die durch die Herzstätigkeit bzw. die Pulswelle hervorgerufen werden [2]. Die derzeit vorliegenden Studien zu

Patientenbewegungen berücksichtigen dieses Szenario noch gar nicht. Untersuchungen mit hohen Auflösungen werden jedoch häufig an längere Expositionszeiten gekoppelt, daraus resultieren wiederum häufigere Patientenbewegungen.



Eine Ablage von Röntgenaufnahmen in einer herstellerunabhängigen Archivierung ist von Vorteil.



Ideal wäre daher folgende Herangehensweise:

- An die Fragestellung angepasstes Volumen und Auflösung wählen, generell kann heute eine Voxelkantenlänge (viele nutzen den Begriff Voxelgröße) von 200 μm als Standard angesehen werden. Höhere Auflösungen benötigt man nur bei diffizileren Fragestellungen, die sich häufig um einen einzelnen Zahn drehen. Stitching ist, wenn möglich, zu vermeiden.

- Auswahl einer möglichst kurzen Belichtungszeit bei gleichzeitig adäquat erhöhtem Röhrenstrom, z.B. sind die Stromzeitprodukte für 10 Sekunden und 5 mA und 5 Sekunden und 10 mA mit 50 mAs gleich und damit auch die Dosis für den Patienten gleich. Fünf Sekunden Expositionszeit sind dabei aber wesentlich vorteilhafter.
- Bei Fragestellungen mit einer schon im Vorfeld sicheren Datenweiterverarbeitung, z.B. im Rahmen einer Implantatplanung, kann auch mit Niedrigdosisprotokollen gearbeitet werden, dadurch sinkt das Stromzeitprodukt noch weiter, ggf. werden die Daten aber bildkosmetisch, z.B. durch den Einsatz von Rauschfiltern, aufgehübscht.

WIE LÄUFT DAS MIT DER ARCHIVIERUNG DER DATEN?

Aktuell werden Daten nach der Rekonstruktion häufig zentral abgelegt, um in einem Netzwerk den Zugriff an mehreren Standorten zu gewährleisten. Auf Basis des DICOM-Standards lässt sich ein Archiv aufbauen. Dies ist langfristig insbesondere dann erforderlich, wenn Bilder von Modalitäten verschiedener Hersteller stammen. Dann ergeben sich zwangsläufig „Zwitterlösungen“, mit denen man häufig nicht recht zufrieden ist. Meistens werden Systeme für intraorale Röntgenaufnahmen an die „Großen“ gekoppelt, dabei wäre es sinnvoller, die Daten mit der jeweiligen Herstellerplattform zu akquirieren und diese – u.U. auch nach einer initialen Bearbeitung – im DICOM-Format zentral abzulegen. Die Ablage als DICOM-Datensatz, unabhängig davon, ob es sich nun um eine 2D- oder 3D-Aufnahme handelt, sorgt vor allem für eine herstellerunabhängige Archivierung. Die Organisation der Daten wird dabei von einem PACS übernommen, dieses kann schon als Sendeziel direkt von der Modalität aus fungieren. Im Moment ist das etwas Zukunftsmusik, wir werden den Wandel in Richtung PACS und DICOMweb jedoch ganz sicher erleben, dafür sind die Vorarbeiten in diese Richtung schon weit gediehen. Daher wird es wohl derzeit in der Regel so sein, dass Daten zentral gespeichert und auch archiviert werden. Dort ist auf jeden Fall der Einsatz eines NAS (Network Attached Storage) zu empfehlen. Auf diesem Wege

könnten Daten über eine private Cloud, welche auf dem NAS-System laufen würde, mit anderen Anwendern oder Kollegen geteilt werden. Die Übertragung der Daten kann auf eine NAS im heimischen Netzwerk erfolgen. Dieser Netzwerkspeicher befindet sich hinter der Praxis-Firewall und kann von dort als Cloud fungieren, entsprechende Routen sind sorgfältig und am besten natürlich von IT-Fachpersonal einzurichten. Über diese Funktion können Freigaben für Dritte erteilt und somit der Zugriff auf Datensätze realisiert werden (Abb. 4). Gleichzeitig könnten die archivierten Daten auf einem weiteren, ortsfernen NAS-System noch einmal gesichert werden, um einem etwaigen Datenverlust auch rechtssicher vorzubeugen.

BEWEGUNGSARTEFAKTE: WAS KANN MAN TECHNISCH DAGEGEN UNTERNEHMEN?

Prinzipiell haben wir gesehen, dass die Verkürzung der Expositionszeit derzeit das wirksamste Instrument gegen Bewegungsartefakte darstellt, das lässt sich jedoch nicht in einem beliebigen Umfang steuern. Wir müssen daher Patientenbewegungen während der Aufnahme in einem gewissen Maße in Kauf nehmen. In der Vergangenheit hat man z.B. versucht, den Patienten stärker über einen „head support“ zu fixieren. Derartige Ansätze, den Kopf des Patienten in eine schraubstockartige Apparatur einzuspannen, hat man jedoch aus nachvollziehbaren Gründen verlassen. Derzeit existieren nach meinem Kenntnisstand 3 verschiedene technische Herangehensweisen, um wäh-

rend bzw. direkt nach der Aufnahme oder im rekonstruierten Datensatz Bewegungsartefakte zu unterdrücken.

Zunächst können die Rohdaten direkt korrigiert werden. Dabei beobachtet man die auf dem Detektor eingehenden Fluoroskopiebilder und sucht nach Abweichungen aus einer Normposition. Sofern eine bestimmte Amplitude überschritten wird, können diese Bilder readjustiert und der Primärrekonstruktion zugeführt werden. Dabei macht man sich die visuelle Aufzeichnung von Kopfbewegungen zu Nutze, in dem man ein definiertes Objekt am Patientenkopf mit 3 verschiedenen Kameras während der Aufnahme filmt und die Kopfbewegungen mit den Veränderungen auf den Fluoroskopien korreliert (Abb. 3). Dieses Verfahren wird am X1 (3shape, Kopenhagen, Dänemark) eingesetzt.

In einem weiteren Verfahren ist es möglich, die Primärrekonstruktion auf das Vorliegen von Bewegungsartefakten zu überprüfen und über Korrekturalgorithmen zu bereinigen. Dieser Vorgang ist möglicherweise etwas zeitaufwändiger, Planmeca nennt diese Technik CALM (Correction Algorithm for Latent Movement).

Außerdem ist es möglich, einen Teil der Untersuchung von der Rekonstruktion auszuschließen. Morita bietet diese Möglichkeit bei Aufnahmen mit voller Revolution (360°) um den Patienten an. Dabei kann der Anwender den Film der aneinander gefügten Durchleuchtungsbilder anschauen und auf diesem Weg eine möglicherweise relevante Patientenbewegung detektieren. Je nach Zeitpunkt

wird dann der halbe Umlauf vor oder nach der Bewegung zur Rekonstruktion herangezogen.

Interessenkonflikte: Der Autor PD Dr. Dirk Schulze gibt an, dass im Zusammenhang mit diesem Beitrag und außerhalb dieses Beitrags keine Interessenkonflikte bestehen.

Literatur

- 1 _ Gaëta-Araujo H, Alzoubi T, de Faria Vasconcelos K et al.: Cone beam computed tomography in dentomaxillofacial radiology: a two-decade overview. Dentomaxillofac Radiol 2020; 49: 20200145
- 2 _ Giovangrandi L, Inan OT, Wiard RM, Etemadi M, Kovacs GTA: Ballistocardiography – a method worth revisiting. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc 2011; 4279–4282
- 3 _ Spin-Neto R, Kruse C, Hermann L, Kirkevang L-L, Wenzel A: Impact of motion artefacts and motion-artefact correction on diagnostic accuracy of apical periodontitis in CBCT images: an ex vivo study in human cadavers. Int Endod J 2020; 53: 1275–1288
- 4 _ Spin-Neto R, Costa C, Salgado DMRA, Zambrana NRM, Gotfredsen E, Wenzel A: Patient movement characteristics and the impact on CBCT image quality and interpretability. Dentomaxillofac Radiol 2018; 47: 20170216



Foto: privat

→ PD DR. DIRK SCHULZE
Digitales Diagnostikzentrum GmbH,
Freiburg/Breisgau
ds@ddz-info.de