

LEYBOLD®

FUNDAMENTAL UND PROFESSIONAL X-RAY



FÜR PHYSIK, BIOLOGIE, MEDIZIN,
CHEMIE, MINERALOGIE
UND MATERIALWISSENSCHAFTEN

LEYBOLD®

DAS SYSTEM



MODULARES KONZEPT FÜR PHYSIK, BIOLOGIE, MEDIZIN, CHEMIE, MINERALOGIE UND MATERIALWISSENSCHAFTEN

Das LEYBOLD-Röntgengerät setzt weltweit neue Standards in Auflösung und Intensität im Bildungsbereich. Nicht nur die hohe Auflösung bei Bragg-Spektren begeistert, sondern auch der neue hochauflösende Röntgenbildsensor, der zuverlässige Röntgenenergiedetektor und die Gold-Röhre.

Der modulare Aufbau des Systems ermöglicht sowohl einen preisgünstigen Einstieg (FUNDAMENTAL Experiments) als auch fortgeschrittene Anwendungen (PROFESSIONAL Experiments) für viele verschiedene Versuchsthemen.

VIelfältige Versuchsmöglichkeiten am Gymnasium und an der Hochschule

GRUNDLAGEN

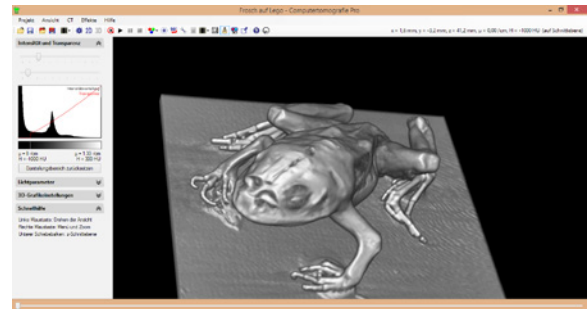
- Durchstrahlung
- Röntgenfotografie
- Ionisation und Dosimetrie
- Schwächung von Röntgenstrahlen

KRISTALLOGRAFIE

- Bragg: Bestimmung der Gitterkonstanten von Einkristallen
- Laue: Untersuchung der Gitterstruktur von Einkristallen
- Debye-Scherrer: Bestimmung der Netzebenenabstände von polykristallinen Pulverproben

ANWENDUNGEN

- Radiologie
- Mineralogie
- Strahlenschutz
- Röntgenfluoreszenzanalyse
- Zerstörungsfreie Materialanalyse
- Zerstörungsfreie Prüfung
- Computertomografie auch in 3D



3D-Rekonstruktion eines durchstrahlten Froschs mit der LEYBOLD-Computertomografie-Software.

ATOMPHYSIK

- Bragg: Beugung von Röntgenstrahlen an einem Einkristall
- Untersuchung des Energiespektrums einer Röntgenröhre
- Duane-Hunt: Bestimmung von h aus der Grenzwellenlänge
- Energieabhängige Absorption, K- und L-Kanten
- Moseley-Gesetz und Bestimmung der Rydberg-Konstanten
- Feinstruktur von Röntgenspektren
- Röntgenfluoreszenz
- Compton-Effekt an Röntgenstrahlung

DIE ANWENDUNGSBEREICHE SIND BREIT GEFÄCHERT.

Je nach Schwerpunkt finden Sie die passende Übersicht entweder über den Fachbereich oder über ein Thema.

ANWENDUNGSBEREICH

	PHYSIK (SEITE 10)	BIOLOGIE (SEITE 12)	MEDIZIN (SEITE 14)	CHEMIE MINERALOGIE (SEITE 16)	MATERIAL- WISSENSCHAFTEN (SEITE 18)
Ionisation und Dosimetrie (Seite 20)	X		X		
Durchstrahlung und Radiografie (Seite 22)	X	X	X		X
Bragg-Reflexion (Seite 24)	X		X	X	
Laue-Aufnahmen (Seite 26)	X			X	
Röntgenenergiespektren und -fluoreszenz (Seite 28)	X	X		X	X
Computertomografie (Seiten 8 + 30)	X	X	X		X

FÜR JEDE ANFORDERUNG UND JEDES BUDGET

Das LEYBOLD-Röntgensystem ist modular konzipiert und ermöglicht die individuelle Zusammenstellung der einzelnen Geräte, sodass Sie nur das kaufen, was Sie auch tatsächlich benötigen.

Zur Grundausstattung wählen Sie je nach Versuchsanforderung Ihr Zubehör für Grundlagenversuche (FUNDAMENTAL Experiments) oder fortgeschrittene Anwendungen (PROFESSIONAL Experiments).



GRUND- AUSSTATTUNG

RÖNTGENERÄT

Das Röntgenerät steht in zwei Varianten zur Verfügung - als Grundgerät oder als Komplettgerät mit Mo-Röhre, Goniometer und NaCl-Einkristall. Möchten Sie andere Röhren einsetzen, ist das Röntgen Grundgerät die flexibelste Lösung.

Davon unabhängig können Sie das Röntgenerät um eine Schublade für Ihr Zubehör erweitern.

Goniometer

Egal ob Sie sich für Bragg-Spektren, Röntgenenergiespektren oder Computertomografie interessieren, Sie werden sich über die Präzision und die hohe Auflösung des Goniometers freuen.



RÖHREN

Neben der Mo-Röhre gibt es weitere Röhren, die sich für spezielle Anwendungsgebiete besser eignen, z.B. Cu-Röhre für Debye-Scherrer-Aufnahmen, Ag-Röhre für Röntgenfluoreszenz wegen ihrer hochenergetischen K-Linien, W- oder Au-Röhre für Durchstrahlung und Computertomografie wegen ihrer hohen Intensität.



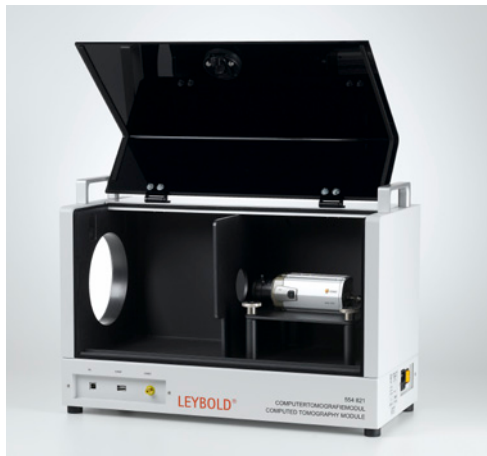
RÖNTGENENERGIE-DETEKTOR

Der Röntgenenergiedetektor nimmt energieaufgelöste Röntgenspektren mit dem CASSY-System auf. Anhand von Röntgenenergiespektren lassen sich leicht verschiedene chemische Elemente anhand ihrer charakteristischen Röntgenstrahlung unterscheiden sowie ihr Massenanteil bestimmen. Zusätzlich lässt sich der Comptoneffekt bestätigen.

FUNDAMENTAL EXPERIMENTS

COMPUTERTOMOGRAFIE-MODUL

Das Röntgengerät hat einen seitlich eingebauten Fluoreszenzschirm, auf dem Röntgenbilder direkt sichtbar sind. Das Computertomografiemodul nimmt dieses sichtbare Röntgenbild auf und die dort mitgelieferte Software steuert die Drehung des Objekts im Röntgengerät um 360° und führt die Rückprojektion des Röntgenbildes für die Echtzeit-3D-Rekonstruktion durch.



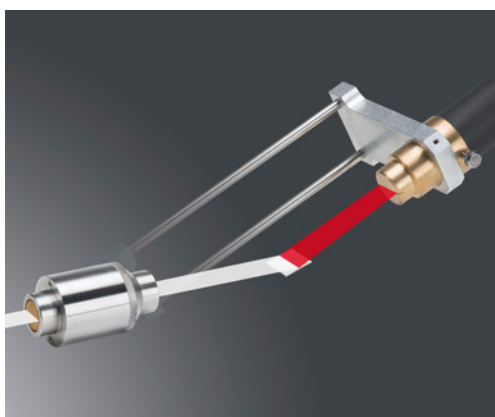
BRAGG-SPEKTREN

Bereits mit dem Komplettgerät mit Mo-Röhre haben Sie alles für die Aufnahme Ihres ersten Bragg-Spektrums. Weitere erhältliche Einkristalle und/oder Röntgenröhren bieten viele Variationsmöglichkeiten.

PROFESSIONAL EXPERIMENTS

COMPUTERTOMOGRAFIE PRO

Wenn die Auflösung des Computertomografiemoduls nicht reicht, bietet der Röntgenbildsensor mit seiner Megapixelauflösung und seinen 12-Bit-Graustufen die Lösung. Damit sind Voxelauflösungen bis unter 50 µm Kantenlänge kein Problem. Auch für Laue-Aufnahmen bietet der Röntgenbildsensor eine komfortable und schnelle Lösung.



HD-zusatz

Mit dem HD-Zusatz bestehend aus hochauflösendem Kollimator und Zählrohrhalter mit dünnen Spalten sowie neuer Software erhöht sich die Winkelauflösung des Goniometers auf 0,01°. Damit sind Bragg-Spektren mit 4-facher Auflösung möglich.

GOLD-RÖHRE

Die Gold-Röhre ist die LEYBOLD-Röhre mit der höchsten Intensität. Sie eignet sich besonders für die Aufnahme von Röntgenbildern, Laue-Aufnahmen oder Computertomogrammen. Neben der Wolfram-Röhre ist sie auch die einzige Röhre, deren Bragg-Spektren aus L-Linien bestehen.

WEGWEISENDE TECHNOLOGIE



GROSSES DISPLAY
INTUITIVE BEDIENUNG
ONE-TOUCH
ONE-FUNCTION

Am Röntgenerät lassen sich alle Parameter manuell einstellen. Es gibt für jede Funktion eine sofort erreichbare Taste und zum Verändern des ausgewählten Parameters einen integrierten Drehknopf. Die aktuellen Einstellungen werden auf einer großen und gut sichtbaren digitalen Anzeige dargestellt. Natürlich lässt sich die Einstellung des Röntgeneräts parallel durch einen angeschlossenen PC vornehmen.

FREIER BLICK
AUF DIE RÖHRE

Das Herzstück eines jeden Röntgeneräts ist seine Röntgenröhre. Sie ist gut sichtbar hinter einer großen Bleiglasscheibe untergebracht, damit sie im Betrieb beobachtet werden kann. Je höher der Anodenstrom ist, umso heller leuchtet die Kathode.

OPTIONALE
SCHUBLADE

Die große Schublade mit gerätegeformter Einlage sorgt für Ordnung. Damit können Sie bis zu zwei weitere Röhren und viel Zubehör inklusive Kristalle, Filter und Targetsätze sicher aufbewahren.

INTEGRIERTER FLUORESZENZSCHIRM

Der große Leuchtschirm für Durchstrahlungsexperimente ist bereits beim Röntgenrundgerät standardmäßig integriert.

BRAGG-SPEKTREN IN HD-QUALITÄT

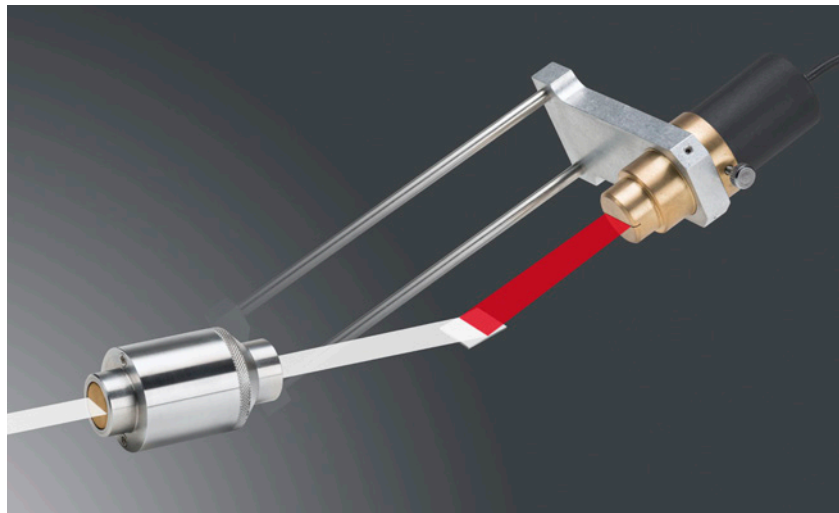
Mit dem HD-Zusatz sind durch seine dünnen Spalte und dem hochauflösenden Goniometer Bragg-Spektren mit 4-facher Auflösung möglich. Damit sind nicht nur die Linien um den Faktor 4 schärfer, auch der Kontrast zwischen scharfer Linie und breitem Kontinuum erhöht sich entsprechend.

DAS UMFANGREICHE RÖHRENSORTIMENT

Die LEYBOLD-Röntgenröhren sind mit den Anodenmaterialien Kupfer, Eisen, Silber, Molybdän, Wolfram und Gold erhältlich. So haben Sie je nach spezieller Anwendung immer die Möglichkeit, die am besten geeignete Röhre einzusetzen.

RÖHREN EINFACH UND SICHER WECHSELN

Der Wechsel einer Röntgenröhre erinnert an das Wechseln einer Glühbirne, nur dass hier gesteckt wird. Eine Röntgenröhre benötigt im Vergleich zur Glühbirne lediglich noch einen Hochspannungsanschluss, der die Elektronen zur Anode beschleunigt.



STRAHLENSCHUTZ UND SICHERHEIT

Das LEYBOLD-Röntgengerät ist nach den Vorgaben der aktuellen Röntgenverordnung von der PTB geprüft und vom BfS zugelassen worden.

Die Türen werden automatisch verriegelt und durch zwei unabhängige Sicherheitskreise überwacht. Diese Sicherheitskreise werden vor jedem Einschalten der Hochspannung selbstständig überprüft.

Genauso werden nach dem Abschalten der Hochspannung die Türen erst dann automatisch entriegelt, wenn die Hochspannung abgefallen ist und keine Röntgenstrahlung mehr entstehen kann.

Diese automatisch ablaufende Sicherheitsüberwachung erlaubt eine einfache und sichere Bedienung mit nur einem Tastendruck.

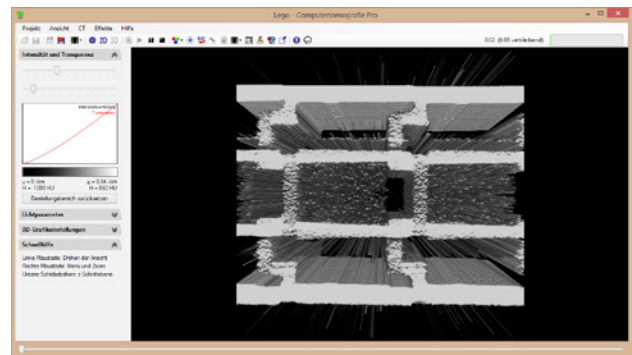
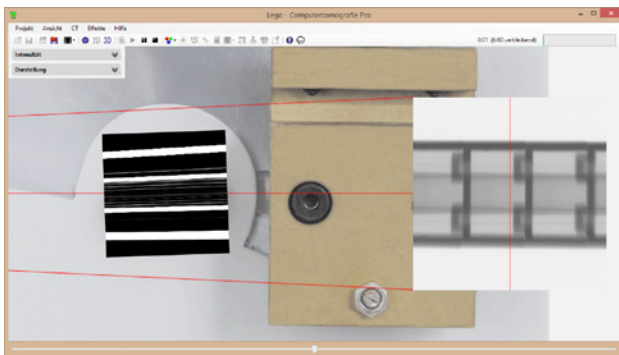
COMPUTERTOMOGRAFIE

Das Röntengerät wird zur Aufnahme der Röntgenbilder in wählbaren Winkelschritten gesteuert. Bereits während der Aufnahme wird der Rückprojektionsprozess wahlweise in zwei oder drei Dimensionen in Echtzeit visualisiert. Es stehen also sowohl Schnittbilder als auch 3D-Bilder des noch unfertigen 3D-Objekts mit allen Ansichtswerkzeugen (Drehen, Zoomen, Transparenzeffekte, Schnitte, stereoskopische Darstellung, Beleuchtung ähnlich zum Heidelberger Raytracing Modell) zur Verfügung. Der Rückprojektionsprozess komplettiert mit jedem zusätzlichen Winkelschritt das schließlich fertige 3D-Objekt.

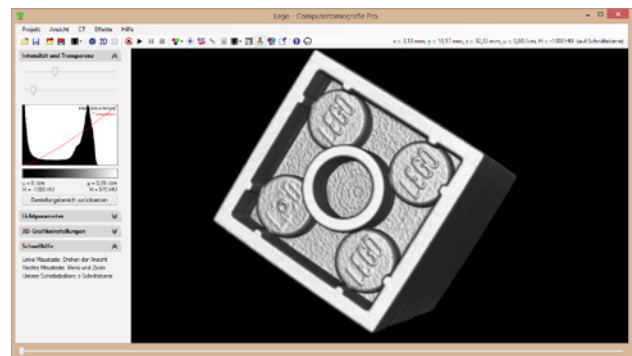
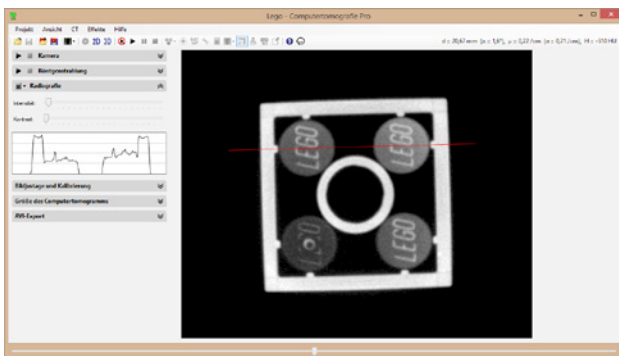
Mit einer Rot-Cyan-Brille lässt sich sowohl dieser Vorgang als auch das fertige Objekt stereoskopisch beobachten.

Trotz der niedrigen Röntgenenergie eines Schulröntengeräts von 35 keV lassen sich gut aufgelöste Computertomogramme unterschiedlicher Objekte aufnehmen sowie qualitativ und quantitativ auswerten. Der Schwerpunkt liegt auf der didaktischen Aufbereitung des Aufnahmeprinzips und der Auswertung.

Bei der Auswahl des Bildsensors haben Sie die Wahl zwischen der FUNDAMENTAL- und der PROFESSIONAL-Variante. Die FUNDAMENTAL-Variante besteht durch Ihren einfachen didaktischen Aufbau: Das Röntgenbild ist auf dem Fluoreszenzschirm sichtbar und wird von einer Kamera aufgenommen und zum PC übertragen. Bei der PROFESSIONAL-Lösung entsteht dieses Zwischenbild bereits im Sensor und wird mit deutlich höherer Auflösung digitalisiert.



Visualisierung der Rückprojektion während der Aufnahme eines CTs von LEGO-Steinen in 2D und in 3D. Jede einzelne kegelförmige Rückprojektion endet im Brennpunkt der Röntgenröhre.

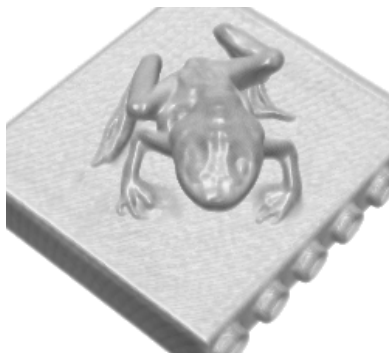


Schnittbild einer LEGO-Steckverbindung mit Linienprofil und 3D-Ansicht dieser LEGO-Steckverbindung nach Addition von 360 Rückprojektionen. Der LEGO-Schriftzug hat eine Tiefe von etwa 100 µm.

Besuchen Sie auch unsere CT-Seite im Internet unter www.ld-didactic.de/ct

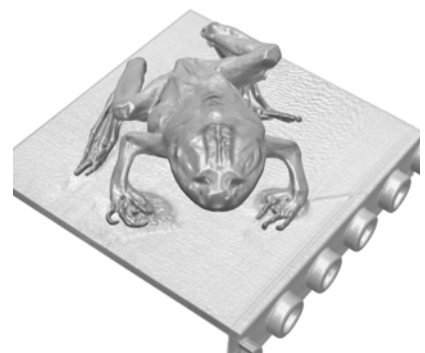


Der praktische LEGO-Adapter ermöglicht die einfache Objektaufnahme verschiedenster Objekte. Hier dreht sich ein Frosch vor dem hochauflösenden Röntgensensordetektor.



VERGLEICH DER AUFLÖSUNG

Computertomogramm des selben Frosches einmal mit dem Computertomografiemodul und einmal mit dem Röntgensensordetektor aus dem Paket Computertomografie Pro aufgenommen.



COMPUTERTOMOGRAFIEMODUL

COMPUTERTOMOGRAFIE PRO

Zielgruppe	Gymnasium/Hochschule	Hochschule/Universität
Röntgenbild	beobachtbar auf Fluoreszenzschirm	nicht beobachtbar im Bildsensor
Bildsensor	lichtempfindliche Kamera	CMOS-Bildsensor
Auflösung	640 Pixel x 480 Pixel	1024 Pixel x 1000 Pixel
Bittiefe (Graustufen)	8 Bit	12 Bit
Empfindlichkeit	hoch	sehr hoch (auch für Laue-Aufnahmen)
max. Objektgröße	ca. 8 cm x 8 cm x 8 cm	ca. 4 cm x 4 cm x 4 cm
max. Objektauflösung	ca. 0,3 mm	ca. 0,05 mm
Anschluss an PC	USB	USB
Gebrauchsmuster	DE202008006100U1	
Preis inkl. Software		

FUNDAMENTAL
EXPERIMENTS

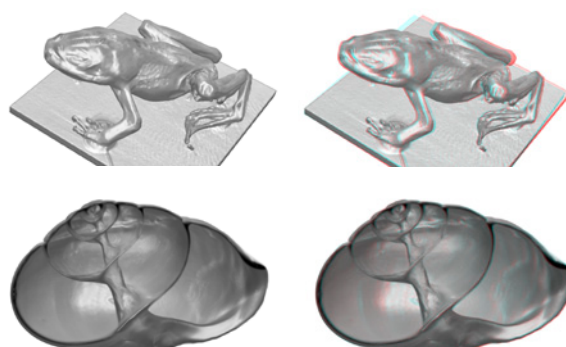
PROFESSIONAL
EXPERIMENTS

PHYSIK

THEMENÜBERBLICK



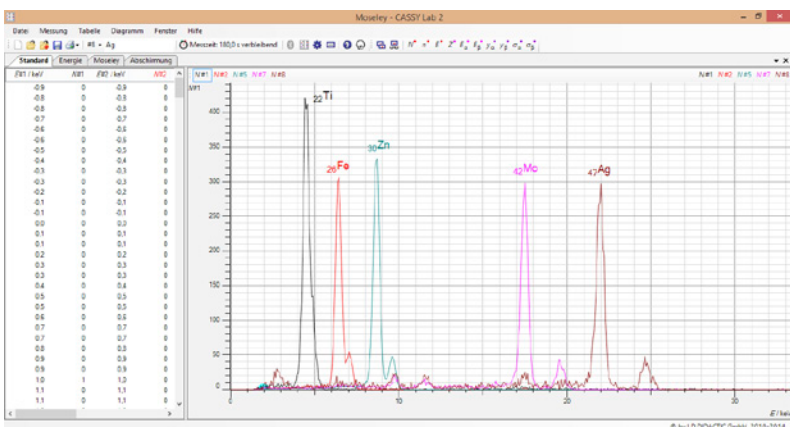
Verschiedene Objekte für eine Computertomografie, die dazu einfach auf den LEGO-Adapter gesteckt werden.



Hochaufgelöste Computertomogramme eines Frosches und eines Schneckenhauses. 3D-Darstellung auch stereoskopisch für Rot-Cyan-Brillen (rechts).



Dem CT-Algorithmus bei der Arbeit zugesehen: Die Bilder zeigen jeweils das gleiche Schnittbild eines LEGO-Steins nach der Rückprojektion aus 1, 4, 15, 45, 90 und 360 Winkeln.



Abhängig von der Ordnungszahl Z zeigen chemische Elemente verschiedene Fluoreszenzlinien, anhand derer sie leicht identifiziert werden können.

THEMEN

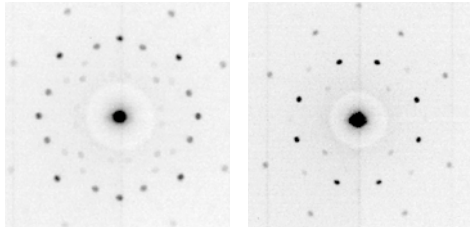
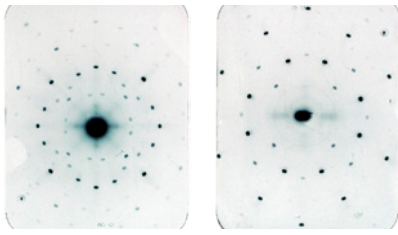
VERSUCHE

FUNDAMENTAL EXPERIMENTS

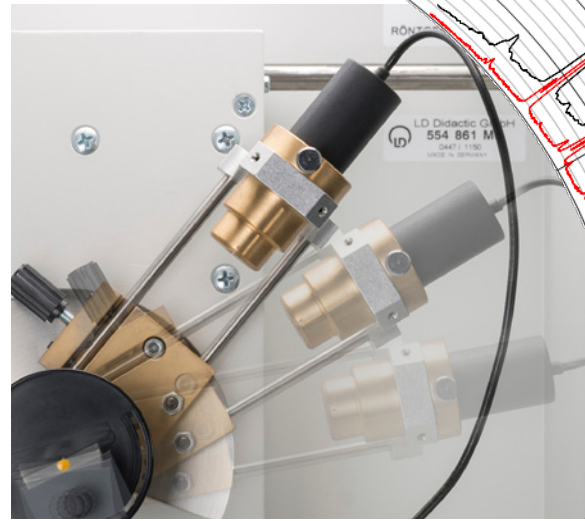
PROFESSIONAL EXPERIMENTS

THEMEN	VERSUCHE	FUNDAMENTAL EXPERIMENTS	PROFESSIONAL EXPERIMENTS
Ionisation und Dosimetrie (vgl. Seite 20)	Nachweis und Wirkung von Röntgenstrahlung	X	
	Bestimmung der Dosisleistung (Röntgendosimetrie)	X	
	Abschirmung von Röntgenstrahlung	X	
Durchstrahlung und Radiografie (vgl. Seite 22)	Schwärzung von Filmen durch Röntgenstrahlung	X	
	Grundlagen digitaler Röntgenbilder	X	X
	Bestimmung von Schwächungskoeffizienten	X	X
	Auflösungsvermögen eines Röntgenbildes	X	X
	Auswirkung von Hochspannung auf Kontrast und Intensität des Röntgenbildes	X	X
	Einfluss der Aufhärtung von Röntgenstrahlung auf das Röntgenbild		X

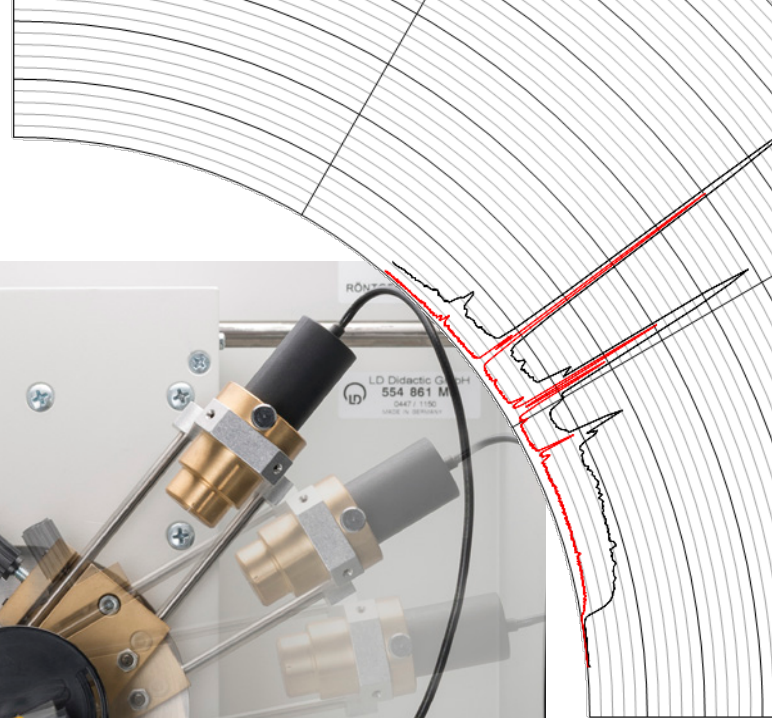
Laue-Aufnahmen von NaCl und LiF auf Röntgenfilm (100 min Belichtungszeit).



Digitale Laue-Aufnahmen von NaCl und LiF (1 min Belichtungszeit).



Au-Spektrum mit LiF-Einkristall winkeltreu dargestellt. Das rote Spektrum wurde mit dem HD-Zusatz aufgenommen.



THEMEN

VERSUCHE

FUNDAMENTAL EXPERIMENTS

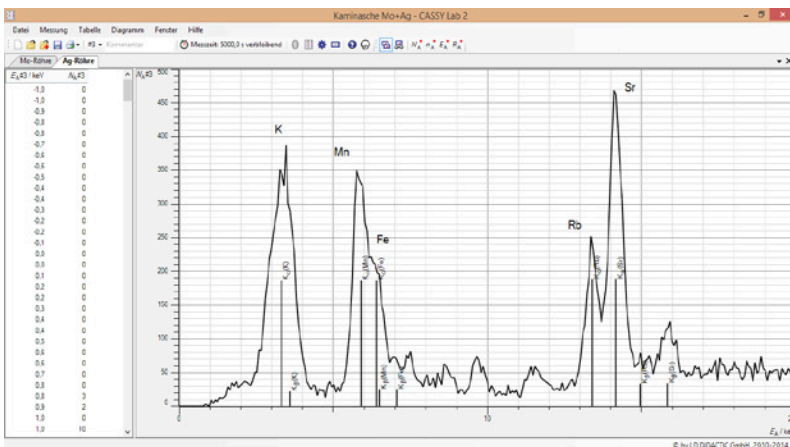
PROFESSIONAL EXPERIMENTS

THEMEN	VERSUCHE	FUNDAMENTAL EXPERIMENTS	PROFESSIONAL EXPERIMENTS
Bragg-Reflexion (vgl. Seite 24)	Beugung an verschiedenen Einkristallen (Bremsstrahlungsspektrum)	X	X
	Vergleich der Spektren verschiedener Anodenmaterialien	X	X
	Auswirkung eines Filters auf das Energiespektrum einer Röntgenröhre (Härte von Röntgenstrahlung)	X	X
	Feinstrukturanalyse von Anodenmaterialien		X
	Moseleysches Gesetz + Rydbergkonstante (über K-Kanten)	X	
	Duane-Huntsches Gesetz	X	
Laue-Aufnahmen (vgl. Seite 26)	Untersuchung der Gitterstruktur von Stoffen mit einem Röntgenfilm	X	
	Debye-Scherrer-Aufnahmen	X	
	Schnelle Untersuchung von Kristallgittern durch digitale Laue-Aufnahmen		X
	Auswertung von digitalen Laue-Aufnahmen		X
Röntgenenergiespektren (vgl. Seite 28)	Vergleich der Energiespektren verschiedener Anodenmaterialien	X	
	K- und L-Linienfluoreszenz von Metallen	X	
	Zerstörungsfreie Untersuchung der chemischen Zusammensetzung von Objekten (Röntgenfluoreszenzanalyse)	X	
	Moseleysches Gesetz + Rydbergkonstante (Röntgenfluoreszenzanalyse)	X	
	Compton-Effekt	X	
Computertomografie (vgl. Seiten 8 und 30)	Aufnahme und Darstellung eines CT-Scans	X	X
	Entstehung der 3D-Rekonstruktion und der 2D-Schnittbilder beim CT	X	X
	Veranschaulichung des CT-Algorithmus'	X	X
	Auflösungsvermögen eines CT-Scans	X	X
	Strahlungsaufhärtung und andere Artefakte	X	X
	Messung von Absorptionskoeffizienten	X	X
	Einfluss der Aufhärtung von Röntgenstrahlung auf das CT		X

BIOLOGIE

THEMENÜBERBLICK

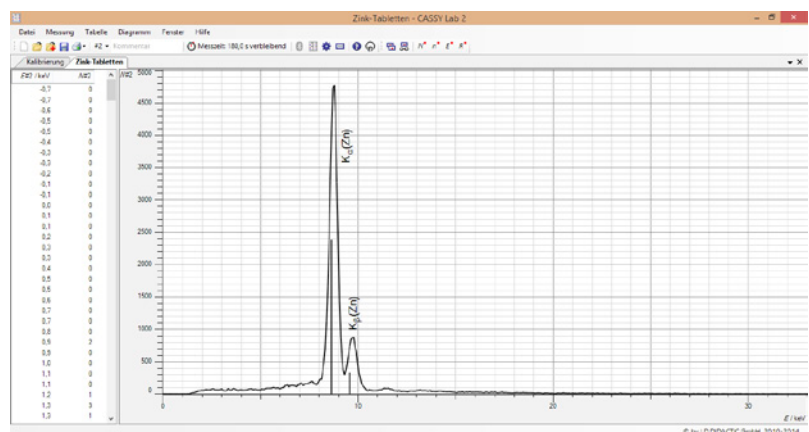
THEMEN	VERSUCHE	FUNDAMENTAL EXPERIMENTS	PROFESSIONAL EXPERIMENTS
Durchstrahlung und Radiografie (vgl. Seite 22)	Aufnahme von Röntgenbildern von Pflanzen und Tieren	X	X
	Auflösungsvermögen eines Röntgenbildes	X	X
Röntgenenergie-spektren (vgl. Seite 28)	Röntgenfluoreszenzanalyse in der Umweltanalytik	X	
	Nachweis chemischer Elemente in Lebensmitteln	X	
Computertomografie (vgl. Seiten 8 und 30)	Aufnahme und Darstellung eines CT-Scans	X	X
	Entstehung der 3D-Rekonstruktion und der 2D-Schnittbilder beim CT	X	X
	Veranschaulichung des CT-Algorithmus'	X	X
	Auflösungsvermögen eines CT-Scans	X	X



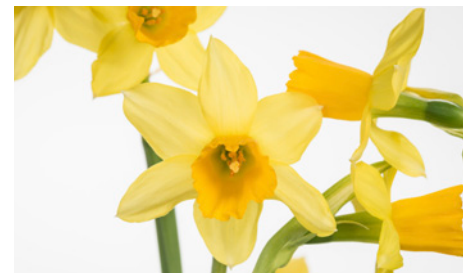
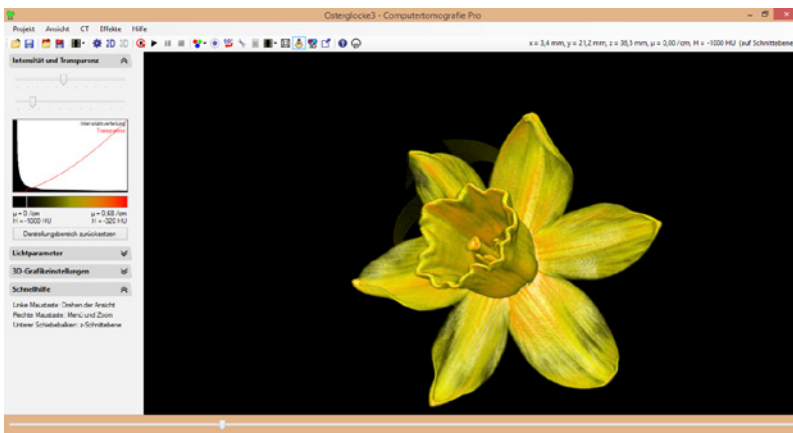
Röntgenfluoreszenzanalyse von Kaminasche. Das Buchenholz hat im Laufe seines Lebens nicht nur Kalium und Mangan, sondern auch nennenswerte Mengen an Rubidium und Strontium angereichert.



Röntgenfluoreszenzanalyse von Nahrungsergänzungsmitteln - hier von Zink-Tabletten.

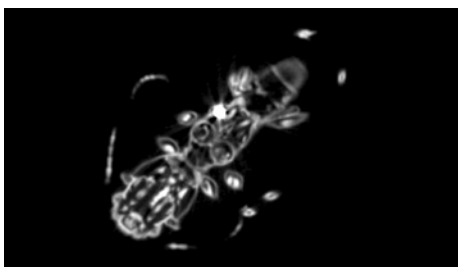
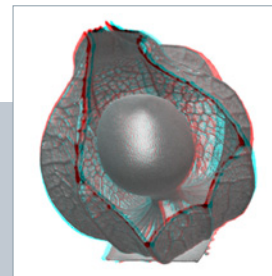
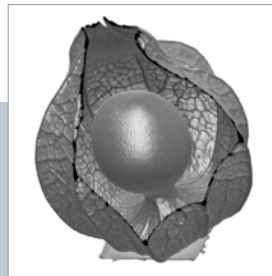


Verschiedene Objekte für eine Computertomografie, die dazu einfach auf den LEGO-Adapter gesteckt werden.

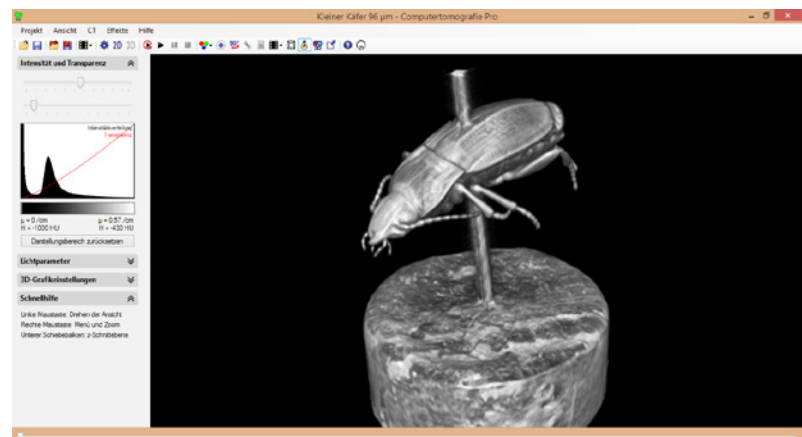


3D-Darstellung des Computertomogramms einer Osterglocke.

Die Physalis in der 3D-Ansicht (links). Erst in der stereoskopischen Darstellung mit Rot-Cyan-Brille (rechts) entsteht der richtige räumliche Eindruck.



3D-Darstellung des Computertomogramms eines getrockneten Käfers auf einem Korken. Im Schnittbild des Käfers lässt sich die Dicke des Chitin-Panzers ausmessen. Die Dicke beträgt etwa 100 μm .



MEDIZIN

THEMENÜBERBLICK

THEMEN	VERSUCHE	FUNDAMENTAL EXPERIMENTS	PROFESSIONAL EXPERIMENTS
Ionisation und Dosimetrie (vgl. Seite 20)	Nachweis und Wirkung von Röntgenstrahlung	X	
	Bestimmung der Dosisleistung (Röntgendosimetrie)	X	
	Abschirmung von Röntgenstrahlung	X	
Durchstrahlung und Radiografie (vgl. Seite 22)	Schwärzung von Filmen durch Röntgenstrahlung	X	
	Grundlagen digitaler Röntgenbilder		X
	Aufnahme von Röntgenbildern von Pflanzen und Tieren	X	X
	Bestimmung von Schwächungskoeffizienten		X
	Anwendung von Kontrastmitteln im Blutgefäßmodell	X	
	Ausmessung und Orientierung von Objekten (Implantat) auf dem Röntgenbild	X	X
	Auflösungsvermögen eines Röntgenbildes	X	X
	Auswirkung von Hochspannung und Strom auf Kontrast und Intensität eines Röntgenbildes	X	X
	Einfluss der Aufhärtung von Röntgenstrahlung auf das Röntgenbild		X
Bragg-Reflexion (vgl. Seite 24)	Auswirkung eines Filters auf das Energiespektrum einer Röntgenröhre (Härte von Röntgenstrahlung)		X
Computertomografie (vgl. Seiten 8 und 30)	Aufnahme und Darstellung eines CT-Scans	X	X
	Entstehung der 3D-Rekonstruktion und der 2D-Schnittbilder beim CT	X	X
	Veranschaulichung des CT-Algorithmus'	X	X
	Auflösungsvermögen eines CT-Scans	X	X
	Strahlungsaufhärtung und andere Artefakte	X	X
	Bestimmung von Hounsfieldeinheiten	X	X
	Einfluss der Aufhärtung von Röntgenstrahlung auf das CT		X

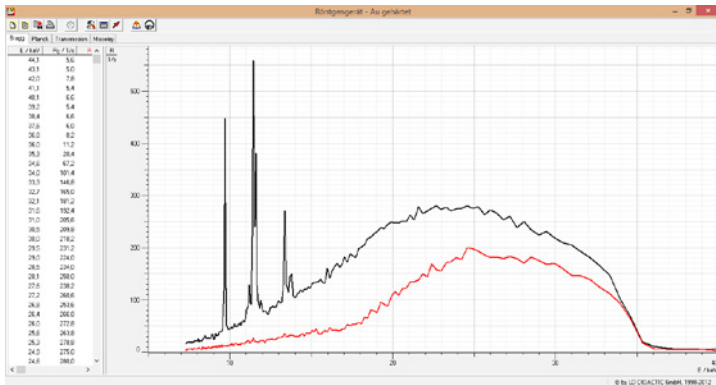


Die Wirkung von Kontrastmitteln wird mit dem Blutgefäßmodell demonstriert.

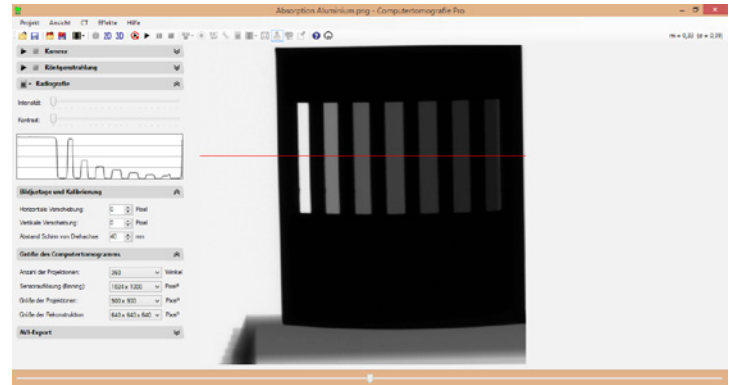


Der Nagel im Implantatmodell kann durch Röntgenbilder von verschiedenen Seiten lokalisiert und ausgemessen werden.

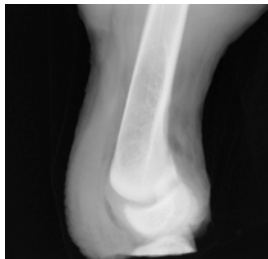
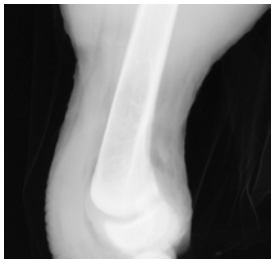
Verschiedene Objekte für eine Computertomografie, die dazu einfach auf den LEGO-Adapter gesteckt werden.



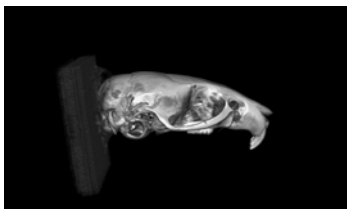
Zwei Röntgenspektren der gleichen Gold-Röhre. Die schwarze Kurve zeigt die ungefilterte Röntgenstrahlung. Für die rote Kurve wurde 1 mm Aluminium in den Strahlengang gebracht. Der hochenergetische Anteil (hart) der Röntgenstrahlung überwiegt nach dem Filter deutlich.



Verschieden dicke Aluminiumplättchen erzeugen unterschiedliche Schwärzungen im Röntgenbild. Aus den Verhältnissen lässt sich das exponentielle Schwächungsgesetz bestätigen.

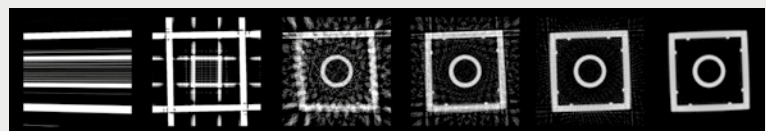


Im Vergleich der beiden Röntgenbilder eines Hühnerbeins, aufgenommen mit weicher (ganz links) und aufgehärteter Röntgenstrahlung zeigt (links) einen höheren Kontrast im Knochenbereich bei der harten Röntgenstrahlung. Röntgenaufnahme eines Knochenbruchs (rechts).



3D-Ansicht des Computertomogramms eines Mausschädels. Im Schnittbild des Mausschädels lässt sich knöcherner Nasenstruktur von unter 100 µm nachmessen.

Dem CT-Algorithmus bei der Arbeit zugesehen: Die Bilder zeigen jeweils das gleiche Schnittbild eines LEGO-Steins nach der Rückprojektion aus 1, 4, 15, 45, 90 und 360 Winkeln.



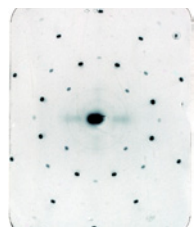
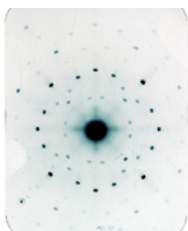
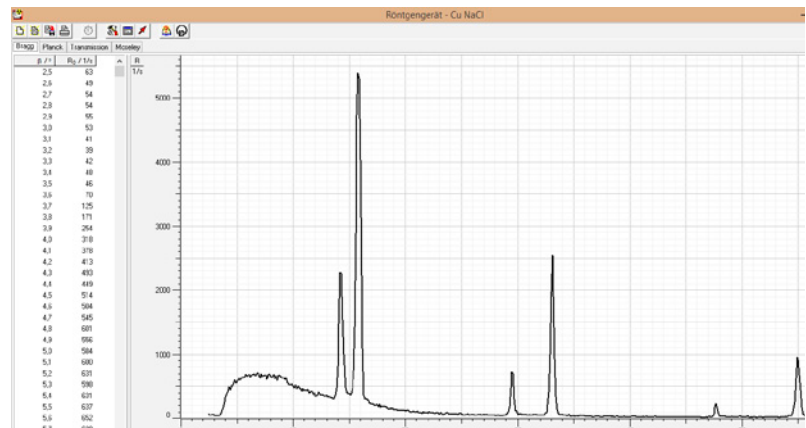
CHEMIE / MINERALOGIE

THEMENÜBERBLICK

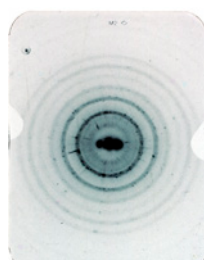
THEMEN	VERSUCHE	FUNDAMENTAL EXPERIMENTS	PROFESSIONAL EXPERIMENTS
Bragg-Reflexion (vgl. Seite 24)	Beugung an verschiedenen Einkristallen (Bremsstrahlungsspektrum)	X	
	Vergleich der Spektren verschiedener Anodenmaterialien	X	
Laue-Aufnahmen (vgl. Seite 26)	Untersuchung der Gitterstruktur von Stoffen mit einem Röntgenfilm	X	
	Debye-Scherrer-Aufnahmen	X	
	Schnelle Untersuchung von Kristallgittern durch digitale Laue-Aufnahmen		X
	Auswertung von digitalen Laue-Aufnahmen		X
Röntgenenergiespektren (vgl. Seite 28)	Röntgenfluoreszenzanalyse in der Umweltanalytik	X	
	Nachweis chemischer Elemente in Lebensmitteln	X	
	Vergleich der Energiespektren verschiedener Anodenmaterialien	X	
	K- und L-Linienfluoreszenz von Metallen	X	
	Zerstörungsfreie Untersuchung der chemischen Zusammensetzung von Objekten (Röntgenfluoreszenzanalyse)	X	
	Gesteinsanalyse	X	
	Lagerstättenuntersuchung	X	



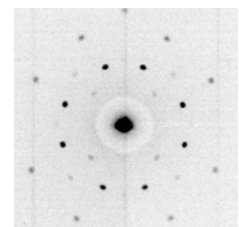
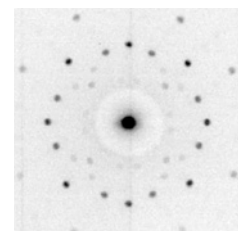
Bragg-Spektrum einer Cu-Röhre mit einem NaCl-Einkristall. Die K-Linien sind bis zur dritten Beugungsordnung dargestellt.



Laue-Aufnahmen von NaCl und LiF auf Röntgenfilm (100 min Belichtungszeit).

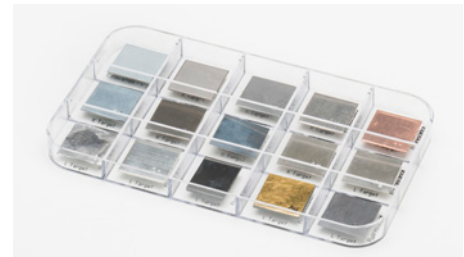
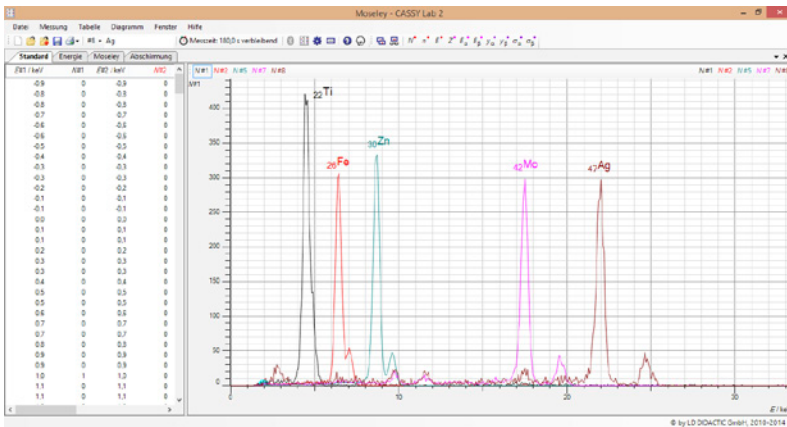


Debye-Scherrer-Aufnahme von NaCl auf Röntgenfilm (500 min Belichtungszeit).



Digitale Laue-Aufnahmen von NaCl und LiF (1 min Belichtungszeit).

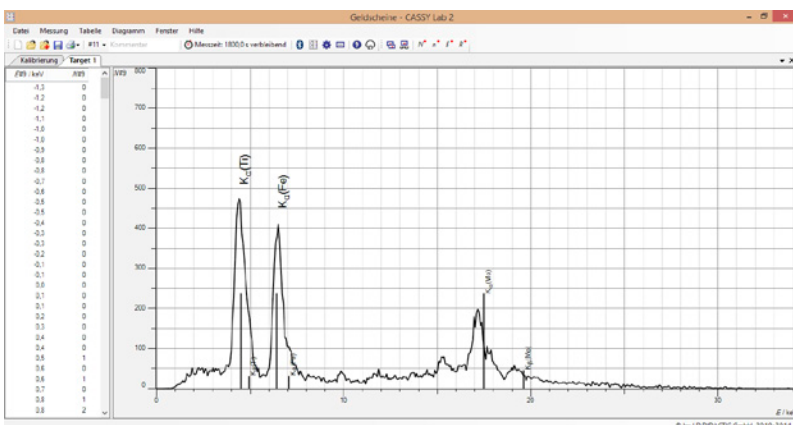
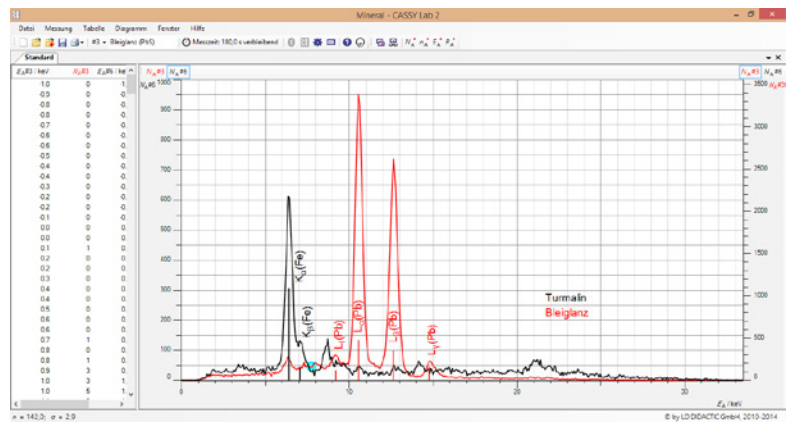
Verschiedene Objekte für eine zerstörungsfreie Materialanalyse durch Röntgenfluoreszenz.



Abhängig von der Ordnungszahl Z zeigen chemische Elemente verschiedene Fluoreszenzlinien, anhand derer sie leicht identifiziert werden können.



Röntgenfluoreszenzspektrum der Mineralien Turmalin und Bleiglanz, deren Bestandteile Eisen und Blei durch die angeregten K- und L-Linien sofort sichtbar sind.

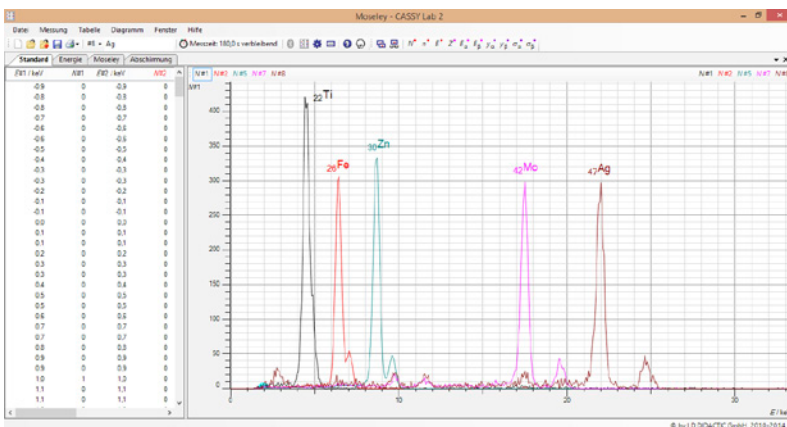


Was machen Titan und Eisen in einem Geldschein?

MATERIALWISSENSCHAFTEN

THEMENÜBERBLICK

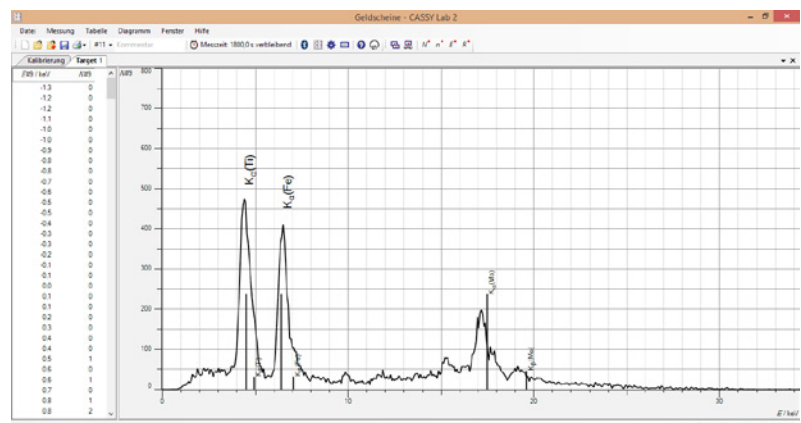
THEMEN	VERSUCHE	FUNDAMENTAL EXPERIMENTS	PROFESSIONAL EXPERIMENTS
Durchstrahlung und Radiografie (vgl. Seite 24)	Grundlagen digitaler Röntgenbilder		X
	Qualitätskontrolle, Bruchstellen, Materialdefekte auf dem Röntgenbild	X	X
	Bestimmung von Schwächungskoeffizienten		X
	Ausmessung und Orientierung von Objekten (Implantat) auf dem Röntgenbild	X	X
	Auflösungsvermögen eines Röntgenbildes	X	X
	Auswirkung von Hochspannung und Strom auf Kontrast und Intensität des Röntgenbildes	X	X
Röntgenenergiespektren (vgl. Seite 28)	K- und L-Linienfluoreszenz von Metallen	X	
	Zerstörungsfreie Untersuchung der chemischen Zusammensetzung von Objekten (Röntgenfluoreszenzanalyse)	X	
	Untersuchung von farbigen Kunststoffen	X	
Computertomografie (vgl. Seiten 8 und 30)	Aufnahme und Darstellung eines CT-Scans	X	X
	Entstehung der 3D-Rekonstruktion und der 2D-Schnittbilder beim CT	X	X
	Veranschaulichung des CT-Algorithmus'	X	X
	Auflösungsvermögen eines CT-Scans	X	X



Abhängig von der Ordnungszahl Z zeigen chemische Elemente verschiedene Fluoreszenzlinien, anhand derer sie leicht identifiziert werden können.

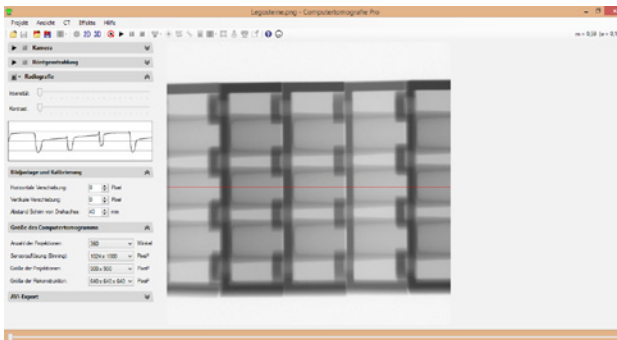
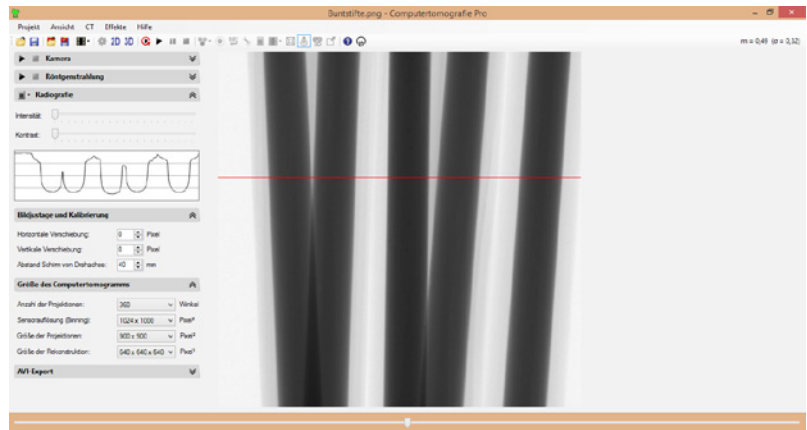


Titandioxid färbt manche Geldscheine weiß und lässt sich schnell durch die charakteristischen K-Linien des Titans nachweisen.

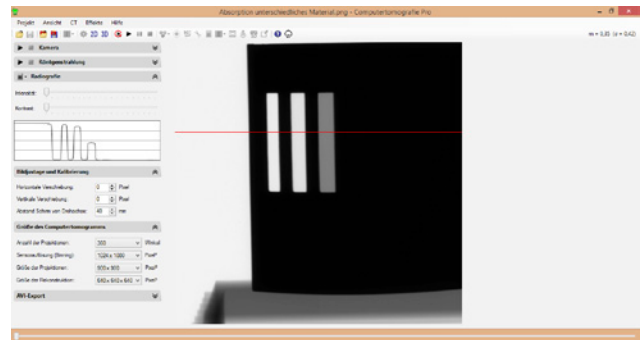




Schon an den unterschiedlichen Minima des Linienprofils lässt sich im Röntgenbild erkennen, dass die Minen der Stifte bunt sind. Die verschiedenen Farbstoffe der Minen absorbieren unterschiedlich stark.



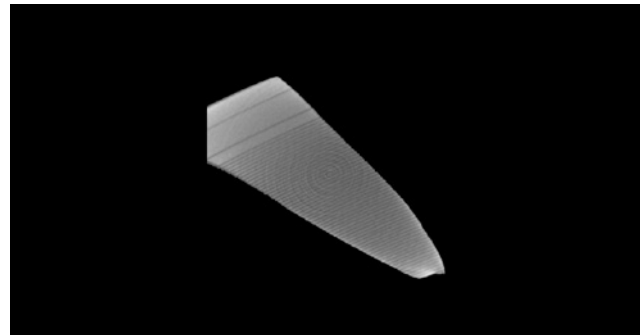
Im Röntgenbild der Legosteine lassen sich nicht nur die unterschiedlichen Farbstoffe erkennen, sondern auch der Verlauf der Materialdicke der konischen Zylinder.



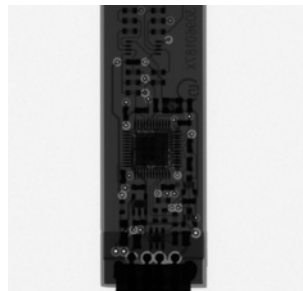
Das Röntgenbild einer Probe aus unterschiedlichen Metallen gleicher Dicke. Bei Metallen mit höherer Ordnungszahl Z bzw. Schwächungskoeffizienten μ ist bei der Durchleuchtung keine Intensität mehr messbar (rechte Seite des Linienprofils).



Verschiedene interessante Objekte für eine Computertomografie, die dazu einfach auf den LEGO-Adapter gesteckt werden.



Das Auflösungsvermögen reicht aus, um im Schnittbild der Scherbe einer Schellackplatte die Rillen auszumessen, obwohl sie nur etwa $100 \mu\text{m}$ tief sind.

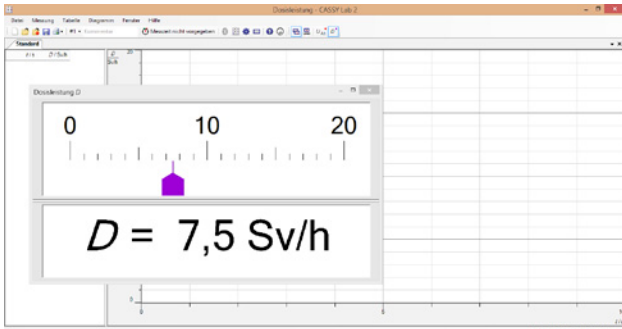


Der innere Aufbau einer Leiterkarte im Röntgenbild.



Wegen der relativ niedrigen Röntgenenergien von bis zu 35 kV sind vor allem Kunststoffe gut für die Computertomografie geeignet – hier ein kleines Teil eines Kinderspielzeugs. Auch andere Formteile lassen sich gut untersuchen und an unzugänglichen Stellen ausmessen.

IONISATION UND DOSIMETRIE



Röntgenstrahlung ionisiert Atome und Moleküle in der durchstrahlten Materie. Keine Rolle spielt, ob dies ein Röntgenfilm oder nur Luft ist.

Man misst den Ausmaß der Ionisierung der Luft durch den Ionisationsstrom in einem Plattenkondensator. Dieser Ionisationsstrom in nA kann direkt in die Dosisleistung in Sv/h umgerechnet werden.



FUNDAMENTAL EXPERIMENTS

Typische Ausstattung

554 800	Röntgengrundgerät	
554 861	Röntgenröhre Mo	
554 840	Plattenkondensator X-ray	
522 27	Netzgerät 450 V	
532 14	Elektrometerverstärker	
577 02	Widerstand 1 GOhm	
575 24	Messkabel BNC/4 mm	
	Spannungsmessgeräte	



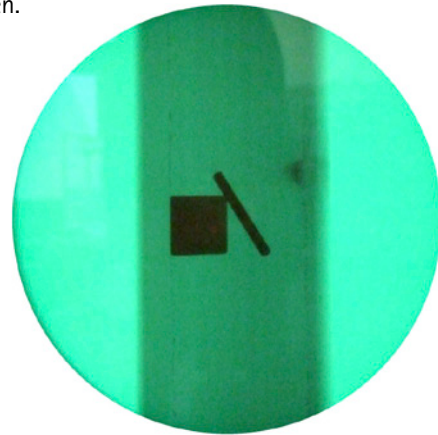
Röntgenstrahlung ionisiert Luft zwischen den beiden Kondensatorplatten. Wenn Spannung anliegt, fließt deswegen ein Ionisationsstrom durch den Kondensator, der verstärkt und gemessen wird.

VERSUCHE	PHYSIK	MED
Nachweis und Wirkung von Röntgenstrahlung	x	x
Bestimmung der Dosisleistung (Röntgendosimetrie)	x	x
Abschirmung von Röntgenstrahlung	x	x

DURCHSTRAHLUNG UND RADIOGRAFIE



Der Nagel im Implantatmodell kann durch Röntgenbilder von verschiedenen Seiten lokalisiert und ausgemessen werden.



Die Wirkung von Kontrastmitteln wird mit dem Blutgefäßmodell demonstriert.

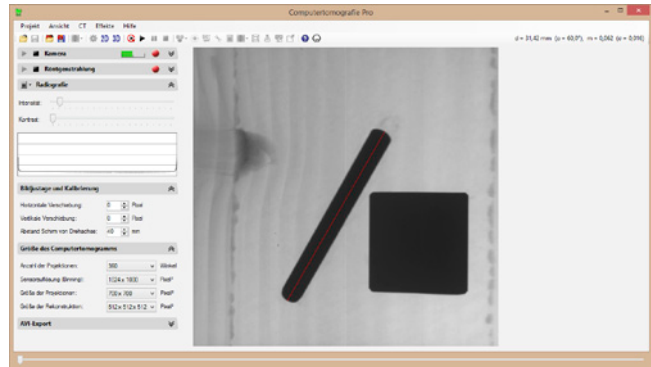
FUNDAMENTAL EXPERIMENTS

Typische Ausstattung

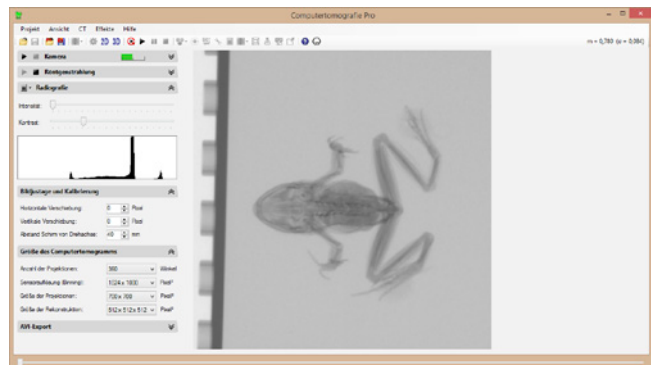
554 800	Röntgenrundgerät	
554 866	Röntgenröhre Au	
554 821	Computertomografiemodul	

*für quantitative Auswertungen empfohlen

VERSUCHE	PHYSIK	BIO	MED	MAT
Schwärzung von Filmen durch Röntgenstrahlung	x		x	
Grundlagen digitaler Röntgenbilder	x		x	x
Aufnahme von Röntgenbildern von Pflanzen und Tieren		x	x	
Qualitätskontrolle, Bruchstellen, Materialdefekte auf dem Röntgenbild				x
Anwendung von Kontrastmitteln im Blutgefäßmodell			x	
Ausmessung und Orientierung von Objekten (Implantat) auf dem Röntgenbild			x	x
Auflösungsvermögen eines Röntgenbildes	x	x	x	x
Auswirkung von Hochspannung auf Kontrast und Intensität des Röntgenbildes	x		x	x



Das Röntgenbild lässt sich direkt am Computer ausmessen. So kann die Größe des Nagels im Implantatmodell bestimmt werden.



Die Bildauflösung und Anzahl der Graustufen ist mit dem Röntgenbildsensor auch hohen Ansprüchen gewachsen.

PROFESSIONAL EXPERIMENTS

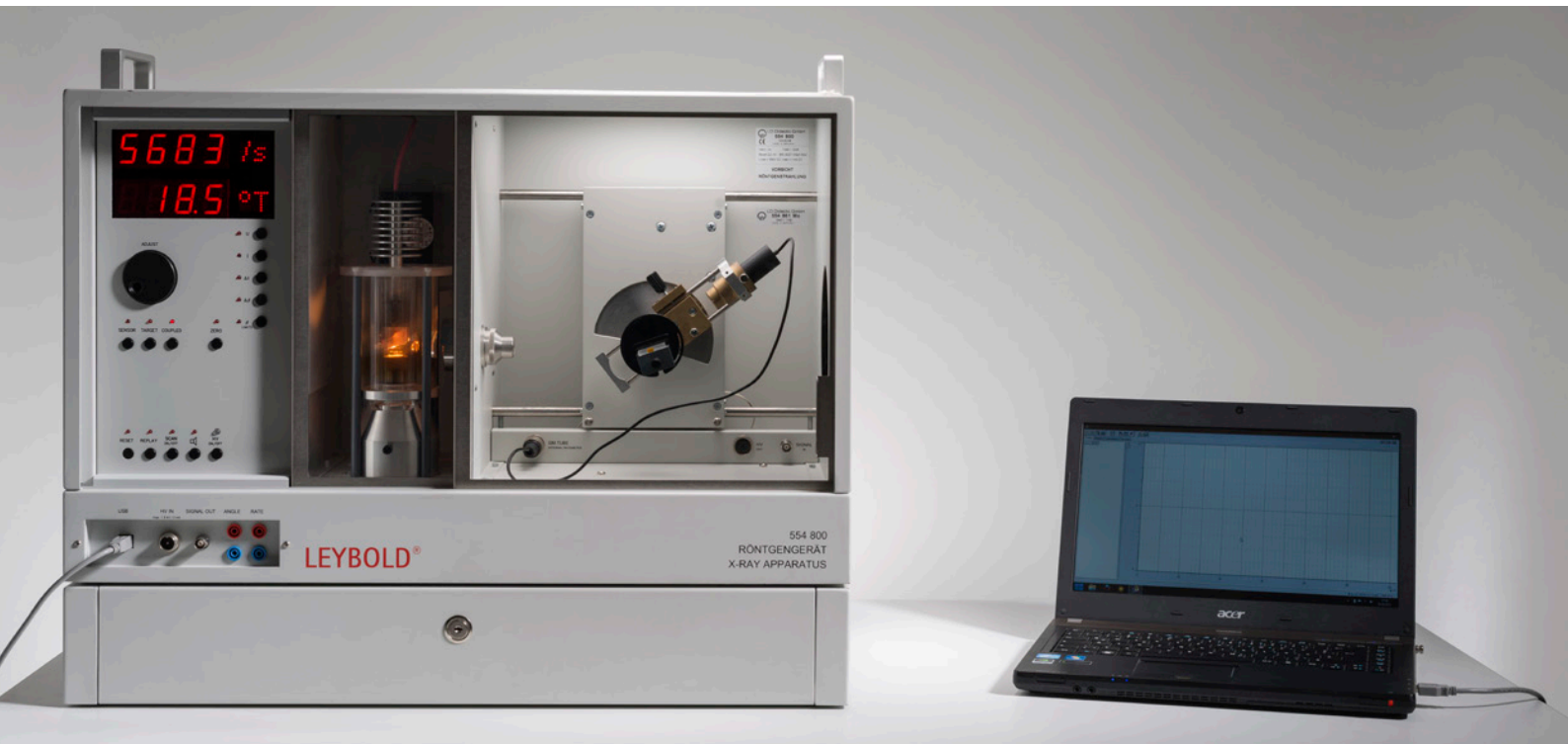
Typische Ausstattung

554 800	Röntgen Grundgerät	
554 866	Röntgenröhre Au	
554 828	Röntgenbildsensor	
554 829	Präzisionsschlitten Röntgenbildsensor	

VERSUCHE	PHYSIK	BIO	MED	MAT
Grundlagen digitaler Röntgenbilder	x		x	x
Aufnahme von Röntgenbildern von Pflanzen und Tieren		x	x	
Qualitätskontrolle, Bruchstellen, Materialdefekte auf dem Röntgenbild				x
Bestimmung von Schwächungskoeffizienten	x		x	
Anwendung von Kontrastmitteln im Blutgefäßmodell			x	
Ausmessung und Orientierung von Objekten (Implantat) auf dem Röntgenbild			x	x
Auflösungsvermögen eines Röntgenbildes	x	x	x	x
Auswirkung von Hochspannung auf Kontrast und Intensität des Röntgenbildes	x		x	x
Einfluss der Aufhärtung von Röntgenstrahlung auf das Röntgenbild	x		x	

BRAGG-REFLEXION

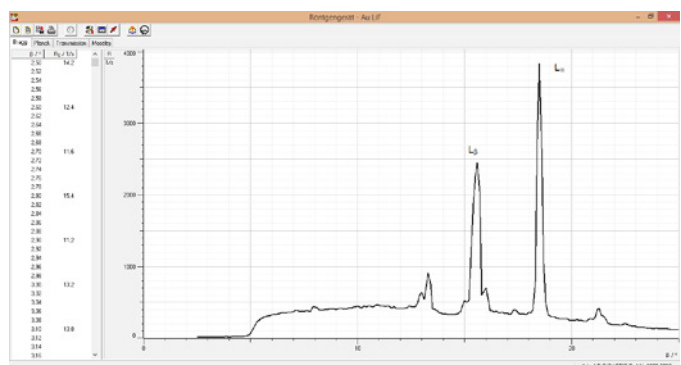
Für die Aufnahme eines Bragg-Spektrums wird ein Einkristall in einem kollimierten Röntgenstrahl gedreht. Das Röntgen-gerät nimmt die Zählrate beim jeweils doppelten Einfallswinkel hinter dem Einkristall automatisch auf.



FUNDAMENTAL EXPERIMENTS

Typische Ausstattung

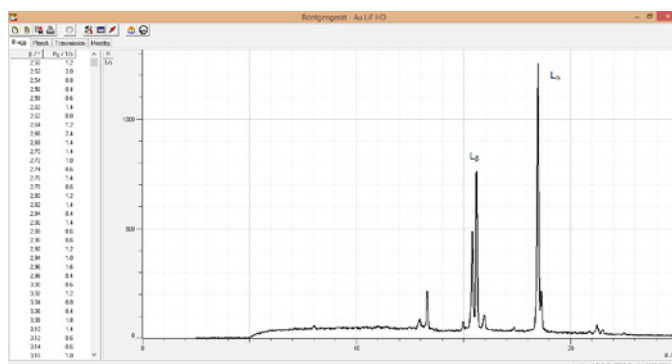
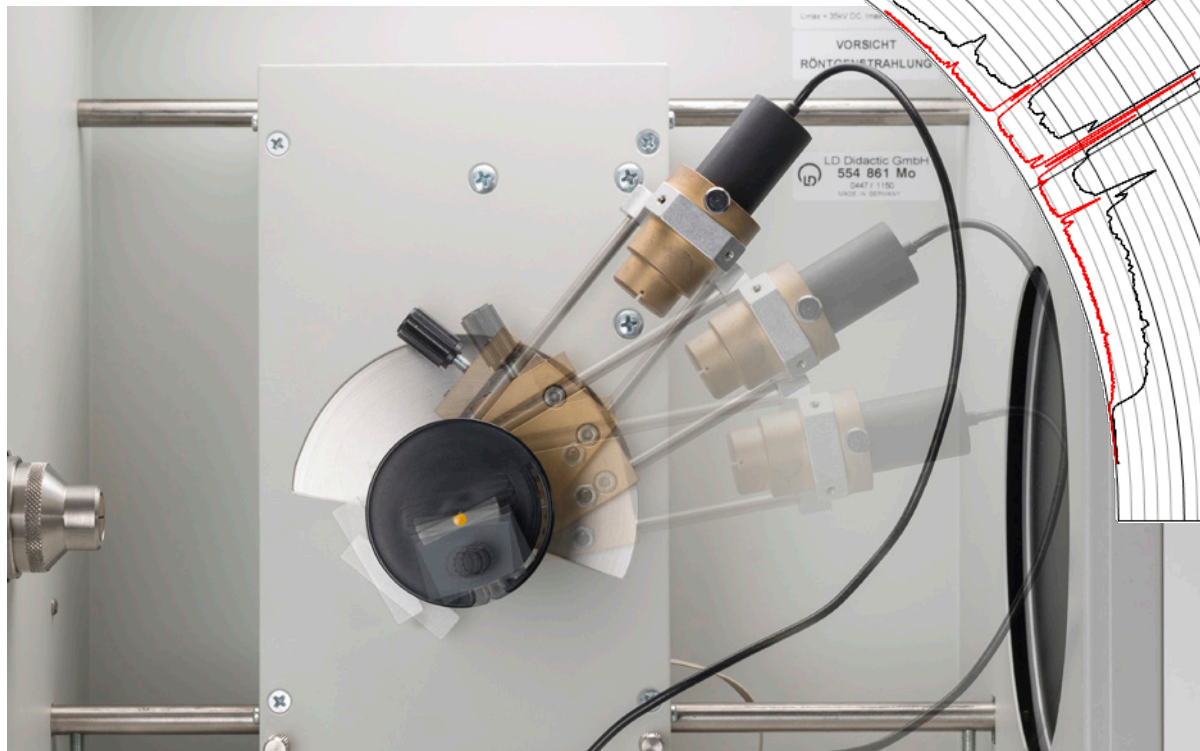
554 801	Röntengerät Mo, komplett	
559 01	Fensterzählrohr	
554 77	LiF-Kristall für Bragg-Reflexion	



Au-Spektrum mit LiF-Einkristall in normaler Auflösung.

VERSUCHE	PHYSIK	BIO	CHEM/MIN	MED
Beugung an verschiedenen Einkristallen (Bremsstrahlungsspektrum)	x		x	
Vergleich der Spektren verschiedener Anodenmaterialien	x		x	
Auswirkung eines Filters auf das Energiespektrum einer Röntgenröhre (Härte der Röntgenstrahlung)	x			x
Moseleysches Gesetz + Rydbergkonstante (über K-Kanten)	x			
Duane-Huntsches Gesetz	x			

Au-Spektrum mit LiF-Einkristall winkeltreu dargestellt. Das rote Spektrum wurde mit dem HD-Zusatz aufgenommen.



PROFESSIONAL EXPERIMENTS

Typische Ausstattung

554 801	Röntgengerät Mo, komplett	
559 01	Fensterzählrohr	
554 77	LiF-Kristall für Bragg-Reflexion	
554 835	HD-Zusatz X-ray	

Au-Spektrum mit LiF-Einkristall in hoher Auflösung. Die Feinstrukturaufspaltung der L_{α} - und L_{β} -Linie ist bereits in erster Ordnung sichtbar.

VERSUCHE

	PHYSIK	BIO	CHEMIN	MED
Beugung an verschiedenen Einkristallen (Bremsstrahlungsspektrum)	x		x	
Vergleich der Spektren verschiedener Anodenmaterialien	x		x	
Auswirkung eines Filters auf das Energiespektrum einer Röntgenröhre (Härte der Röntgenstrahlung)	x			x
Feinstrukturanalyse von Anodenmaterialien	x			

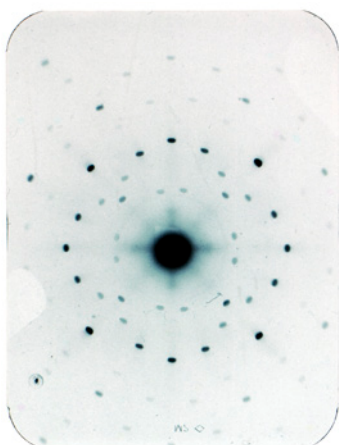
LAUE-AUFNAHMEN

Mit Laue-Aufnahmen wurde 1912 erstmals die Raumgitterstruktur kristalliner Stoffe nachgewiesen. Man bringt dazu einen Kristall in einen kollimierten Röntgenstrahl und beobachtet diskrete Reflexe.

Die Intensität dieser diskreten Reflexe ist sehr klein. Nimmt man zur Aufnahme der Reflexe einen Röntgenfilm, benötigt dieser eine Belichtungszeit von etwa einer Stunde und die Reflexe müssen nach der

Filmentwicklung manuell vermessen werden (FUNDAMENTAL Experiments).

Mit dem Röntgenbildsensor erübrigt sich der Weg über den Röntgenfilm und die Reflexe können bereits nach einer Belichtungszeit von etwa einer Minute direkt im Computer erfasst und präzise mit der Maus ausgemessen werden (PROFESSIONAL Experiments).



Laue-Aufnahmen von NaCl auf Röntgenfilm (100 min Belichtungszeit).



Erstellung einer Laue-Aufnahme auf Röntgenfilm.

FUNDAMENTAL EXPERIMENTS

Typische Ausstattung

554 800	Röntgengrundgerät	
554 861	Röntgenröhre Mo	
554 838	Filmhalter X-ray	
554 895	Röntgenfilm	
554 87	LiF-Kristall für Laue-Aufnahme	
554 88	NaCl-Kristall für Laue-Aufnahme	

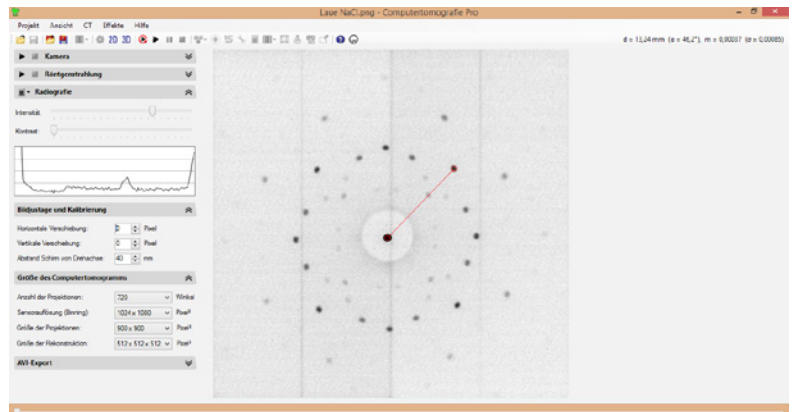
VERSUCHE	PHYSIK	CHE/MIN
Untersuchung der Gitterstruktur von Stoffen mit einem Röntgenfilm	x	x
Debye-Scherrer-Aufnahmen	x	x



Der Röntgenbildsensor ist empfindlich genug, die diskreten Reflexe hinter einem Kristall aufzunehmen. Die nullte Ordnung wird durch ein Metallplättchen abgeschirmt.



Schnelle Erstellung einer Laue-Aufnahme mit dem Röntgenbildsensor.



Digitale Laue-Aufnahme von NaCl (1 min Belichtungszeit) mit Winkel und Abstandsmessung zwischen wählbaren Reflexen. Die nullte Ordnung wurde durch ein Metallplättchen abgeschirmt.

PROFESSIONAL EXPERIMENTS

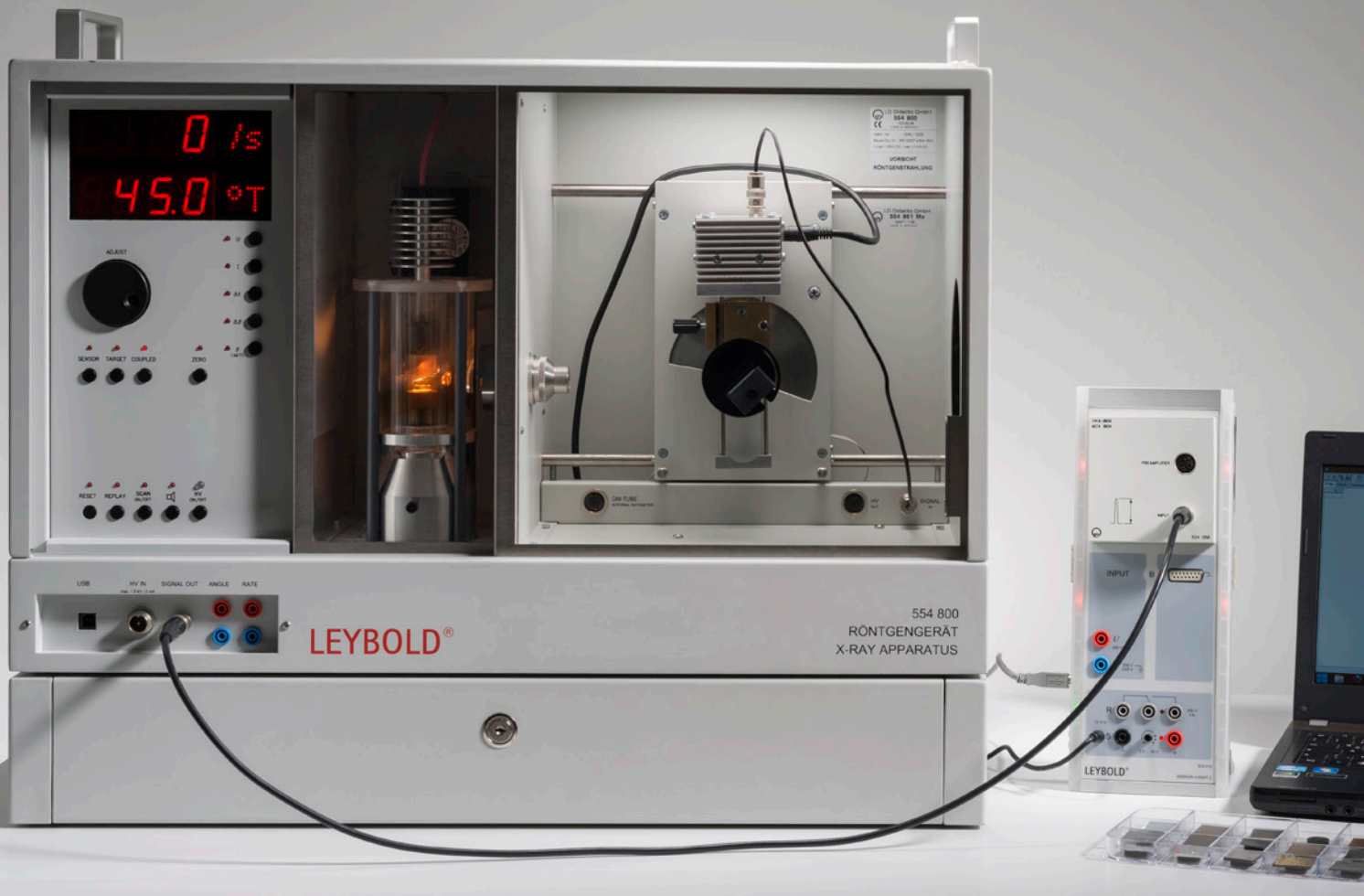
Typische Ausstattung

554 800	Röntgenrundgerät	
554 866	Röntgenröhre Au	
554 828	Röntgenbildsensor	
554 829	Präzisionsschlitten Röntgenbildsensor	
554 8381	Lochkollimator mit Laue-Kristallen	

VERSUCHE

	PHYSIK	CHE/MIN
Schnelle Untersuchung von Kristallgittern durch digitale Laue-Aufnahmen	x	x
Auswertung von digitalen Laue-Aufnahmen	x	x

RÖNTGENENERGIESPEKTREN UND -FLUORESZENZ

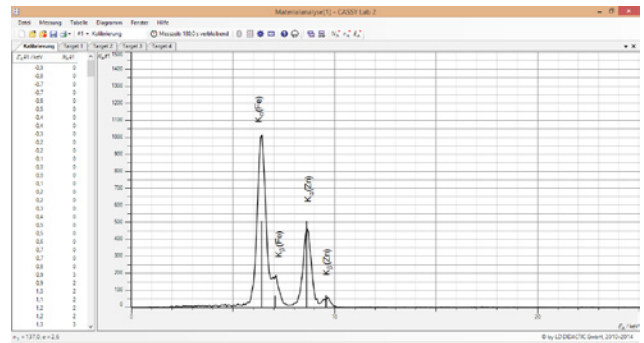


Der Röntgenenergiedetektor nimmt Röntgenspektren auf. Dadurch lässt sich schnell ermitteln, welche Röntgenenergien von einer Röntgenröhre ausgestrahlt werden.

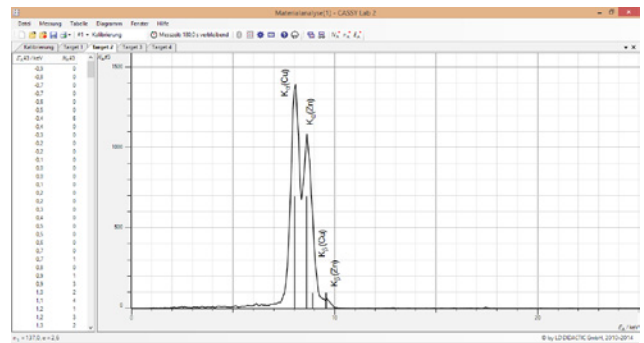
Eine wichtige Anwendung von Röntgenenergiespektren ist die Röntgenfluoreszenzanalyse zur Materialuntersuchung. Beim Bestrahlen einer zu untersuchenden Probe mit Röntgenphotonen emittiert diese charakteristische Röntgenlinien, deren Energie von der Ordnungszahl des Elements des Probenmaterials abhängt.

Wenn die Probe eine chemische Verbindung oder ein Gemisch darstellt, ist auch ihr Röntgenfluoreszenzspektrum komplexer. In guter Näherung sind Röntgenfluoreszenzspektren einer chemischen Verbindung eine Überlagerung von Spektren ihrer Komponenten.

Die primäre Röntgenstrahlung der Röntgenröhre trifft auf das zu untersuchende Target. Hier wird unter einem Winkel von 90° die charakteristische Röntgenstrahlung der fluoreszierenden Probe gemessen und über CASSY als Röntgenfluoreszenzspektrum erfasst.



Das Röntgenfluoreszenzspektrum von verzinktem Stahlblech.



Das Röntgenfluoreszenzspektrum zeigt die Bestandteile von Messing CuZn36. Durch Vergleich mit den Intensitäten von reinem Kupfer und Zink lassen sich auch die Massenanteile bestimmen (hier 64% Cu und 36% Zn).



FUNDAMENTAL EXPERIMENTS

VERSUCHE	PHYSIK	BIO	CHE/MIN	MAT
Röntgenfluoreszenzanalyse in der Umweltanalytik		x	x	
Nachweis chemischer Elemente in Lebensmitteln		x	x	
Vergleich der Energiespektren verschiedener Anodenmaterialien	x		x	
K- und L-Linienfluoreszenz von Metallen	x		x	x
Zerstörungsfreie Untersuchung der chemischen Zusammensetzung von Objekten (Röntgenfluoreszenzanalyse)	x		x	x
Moseleysches Gesetz + Rydbergkonstante (Röntgenfluoreszenzanalyse)	x			
Compton-Effekt	x			
Gesteinsanalyse			x	
Lagerstättenuntersuchung			x	
Untersuchung von farbigen Kunststoffen				x

Typische Ausstattung

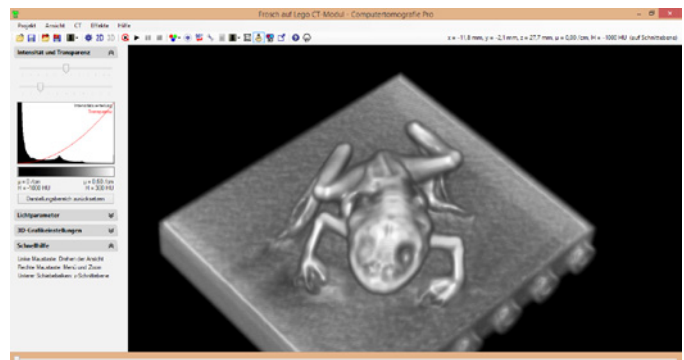
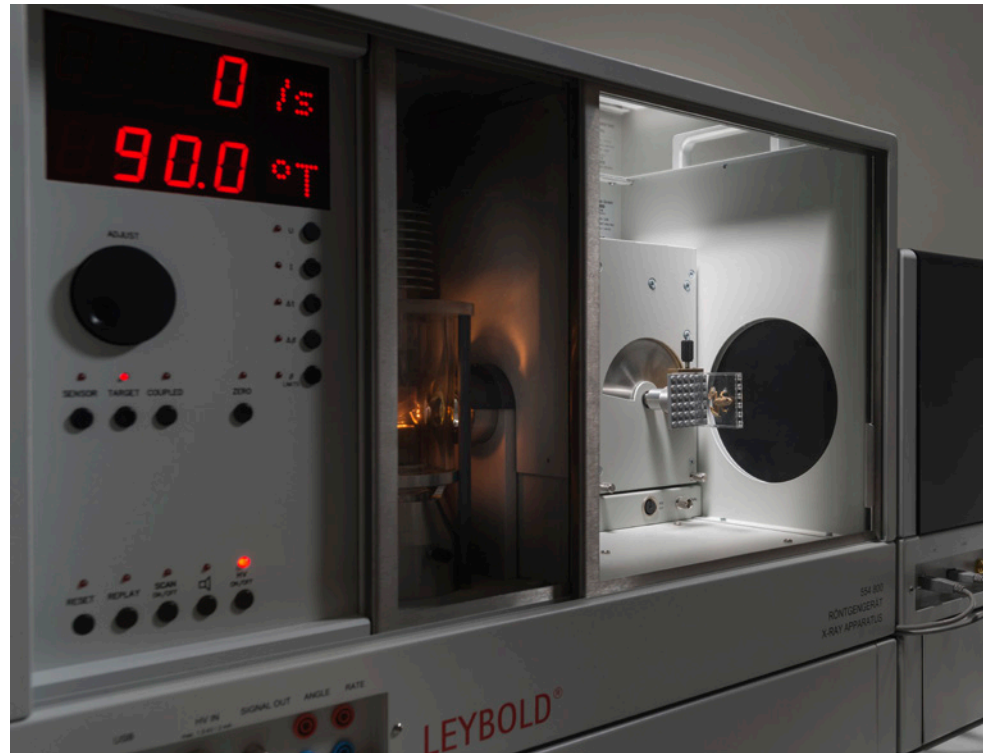
554 801	Röntgengerät Mo, komplett	
559 938	Röntgenenergiedetektor	
554 844	Targetsatz K-Linien-Fluoreszenz	
554 846	Targetsatz L-Linien-Fluoreszenz	
554 848	Targetsatz Legierungen	
501 02	HF-Kabel, 1 m	
524 058	VKA-Box	
	CASSY	

COMPUTERTOMOGRAFIE

Während sich der Frosch vor dem Fluoreszenzschirm dreht, sind seine Röntgenbilder auf dem Fluoreszenzschirm sichtbar. Diese sichtbaren Bilder nimmt die Kamera im Computertomografiemodul auf.

Bei der Auswahl des Bildsensors haben Sie die Wahl zwischen der FUNDAMENTAL- und der PROFESSIONAL-Variante.

Die FUNDAMENTAL-Variante besteht durch ihren didaktischen Aufbau: Das Röntgenbild ist auf dem Fluoreszenzschirm sichtbar und wird von einer Kamera aufgenommen und zum PC übertragen. Bei der PROFESSIONAL-Lösung entsteht dieses Zwischenbild bereits im Sensor und wird mit deutlich höherer Auflösung digitalisiert.



Der kleine Frosch hat eine Gesamtlänge von etwa 3,5 cm und wurde hier vom Computertomografiemodul mit einer Auflösung von etwa 0,3 mm rekonstruiert.

FUNDAMENTAL EXPERIMENTS

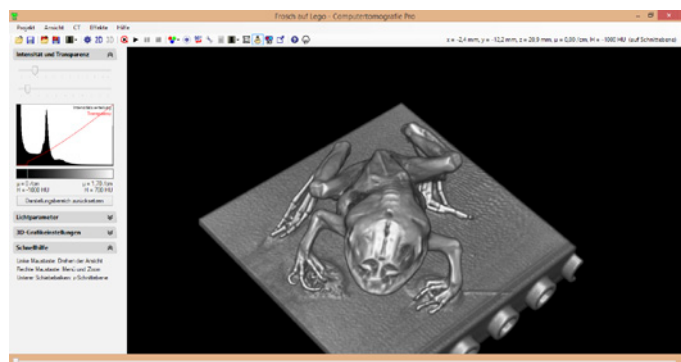
Typische Ausstattung

554 800	Röntgengrundgerät	
554 831	Goniometer	
554 866	Röntgenröhre Au	
554 821	Computertomografiemodul	
554 825	LEGO-Adapter	

VERSUCHE	PHYSIK	BIO	MED	MAT
Aufnahme und Darstellung eines CT-Scans	x	x	x	x
Entstehung der 3D-Rekonstruktion und der 2D-Schnittbilder beim CT	x	x	x	x
Veranschaulichung des CT-Algorithmus'	x	x	x	x
Auflösungsvermögen eines CT-Scans	x	x	x	x
Strahlungsaufhärtung und andere Artefakte	x		x	
Messung von Absorptionskoeffizienten	x			
Bestimmung von Hounsfieldeinheiten			x	

hinter dem Fluoreszenzmodul auf.

Während sich der Frosch vor dem Röntgenbildsensor dreht, berechnet die Software daraus in Echtzeit das Computertomogramm.



PROFESSIONAL EXPERIMENTS

Typische Ausstattung

554 800	Röntgenrundgerät	
554 831	Goniometer	
554 866	Röntgenröhre Au	
554 820P	Paket Computertomografie Pro	

Der gleiche Frosch vor dem Röntgenbildsensor zeigt schon in der 3D-Ansicht durch die hohe Auflösung von bis zu 0,05 mm und viel mehr Details. Natürlich trifft das auch für 2D-Schnittbilder zu.

VERSUCHE	PHYSIK	BIO	MED	MAT
Aufnahme und Darstellung eines CT-Scans	x	x	x	x
Entstehung der 3D-Rekonstruktion und der 2D-Schnittbilder beim CT	x	x	x	x
Veranschaulichung des CT-Algorithmus'	x	x	x	x
Auflösungsvermögen eines CT-Scans	x	x	x	x
Strahlungsaufhärtung und andere Artefakte	x		x	
Messung von Absorptionskoeffizienten	x			
Bestimmung von Hounsfield-Einheiten			x	
Einfluss der Aufhärtung von Röntgenstrahlung auf das CT	x		x	

PHYSIK

CHEMIE
BIOLOGIE

TECHNIK



KONTAKT

121101_04.2014.LD
Technische Änderungen vorbehalten

DEUTSCHLAND:

LD DIDACTIC GmbH
Leyboldstr. 1
D-50354 Hürth
Tel.: +49 2233 604 0
Fax: +49 2233 604 222
E-Mail: info@ld-didactic.de
www.ld-didactic.com

SCHWEIZ:

LD DIDACTIC (Schweiz) GmbH
Baarerstr. 78 | Postfach 117
CH-6301 Zug
Tel.: +41 41 720 2610
Fax: +41 41 720 2611
E-Mail: info@ld-didactic.ch
www.ld-didactic.ch

ÖSTERREICH:

CHAUVIN ARNOUX GES.M.B.H.
Slamastrasse 29/2/4
A-1230 Wien
Tel.: +43 1 61 61 9 61 0
Fax: +43 1 61 61 9 61 61
E-Mail: vie-office@chauvin-arnoux.at
www.chauvin-arnoux.at



WWW.LD-DIDACTIC.COM

BRANDS OF THE LD DIDACTIC GROUP

LEYBOLD® Feedback ELWE® TECHNİK