

# Mechanische Verbindungselemente



**Struers**

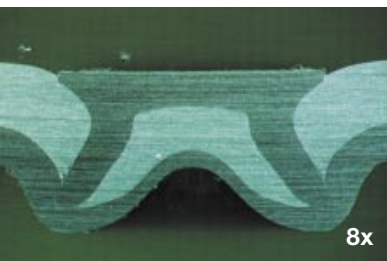
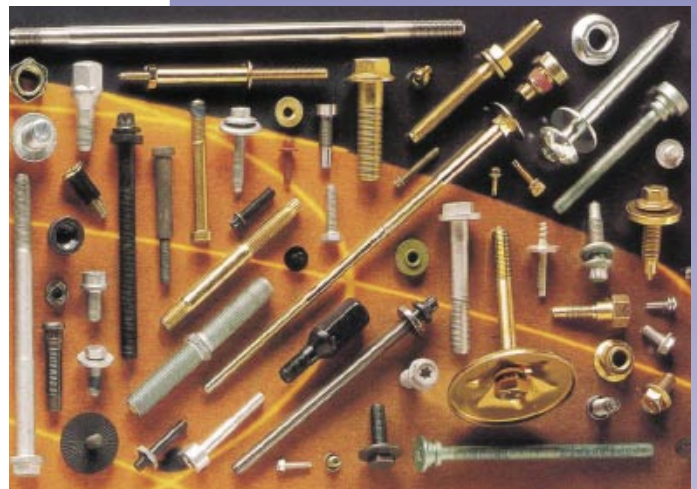
## Application Notes

**Stifte und Stangen** als Verbindungselemente von Teilen sind einige der ältesten Konstruktionselemente. Nieten und Schrauben waren zunächst aus Edelmetallen und wurden später aus Nichteisenmetallen und Stahl geschmiedet oder durch zerspanende, mechanische Bearbeitung hergestellt. Erst als Metalle entwickelt wurden die zäh genug waren um den Druck formgebender Werkzeuge auszuhalten, wurde das Kaltumformen als Herstellungsverfahren für die Massenproduktion von Schrauben eingesetzt.

haben spezifische Einsatzgebiete, wie z.B. in der Flugzeug- und Autoindustrie, die von Spezifikationen, Sicherheitsvorgaben und wirtschaftlichen Bedingungen bestimmt werden.

Im Maschinen- und Anlagenbau

spielen mechanische Verbindungselemente eine tragende Rolle für die Sicherheit von Bauteilen und müssen daher nach bestimmten vorgegebenen Normen hergestellt werden. Deswegen ist die Qualitätskontrolle generell, und die metallografische Auswertung im Besonderen, ein wichtiger Bestandteil des Herstellungsprozesses. Untersuchungen reichen von der Überprüfung von Abmessungen und den mechanischen und physikalischen Eigenschaften, bis zu Gefügeuntersuchungen und quantitativen Auswertungen. Die metallografische Untersuchung ist Teil der Qualitätskontrolle bei der Herstellung von mechanischen Verbindungselementen, und beinhaltet Stichproben von Rohmaterial, Kontrolle und Überwachung von Formgebung und Wärmebehandlung, und/oder Klärung von Schadensfällen.



Stahlniete in Aluminium

Mechanische Verbindungselemente lassen sich grob einteilen in solche mit Gewinde wie Bolzen, Muttern und Schrauben, und solche ohne Gewinde wie Stifte und Nieten. Abhängig von den Anforderungen betreffs Kraft, Torsion, atmosphärische Bedingungen usw., kommen mechanische Verbindungselemente in verschiedenen Anwendungsbereichen zum Einsatz. Sowohl Nieten als auch Schrauben

### Schwierigkeiten während der metallografischen Präparation

**Trennen:** Durch Grösse und Form der Schrauben ist ein sicheres Einspannen für einen guten Längsschnitt nicht immer möglich.

**Einbetten:** Spaltbildung am Gewinde und Schraubenkopf verhindern oft eine gute Randschärfe, und erschweren die Probenreinigung und damit auch die mikroskopische Auswertung.

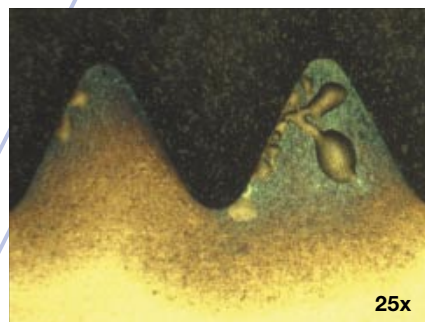
### Lösung

**Trennen:** Spezialhalter für Schrauben, Präzisionstrennen bei kleinen Schrauben, oder Einbetten ganzer Schrauben die anschliessend bis zur Mitte abgeschliffen werden.

**Einbetten:** Entfetten, für Warm- und Kalteinbetten Verwendung von Einbettharzen mit der geringsten Schrumpfung



Teil des Schraubenkopfs wird vor dem Einbetten abgetrennt



Trockenflecken am Schraubengewinde durch Schrumpfspalt

# Herstellung und Verwendung von mechanischen Verbindungselementen

In der historischen Entwicklung von Schrauben war die zerspanende Formgebung wichtig, besonders das Schneiden von Gewinden. Heute ist die spanlose Verformung durch Walzen eine universelle, wirtschaftliche Herstellungsmethode. Die zerspanende Methode wird nur noch, nach der ursprünglichen Formgebung, für ganz spezielle, hochbelastbare Schrauben im Anlagenbau verwendet, welche spezifische Formen, Toleranzen und Oberflächen erfordern.

Formgebung erfolgt durch Kalt- oder Warmwalzen, wobei die Technologien der Kaltumformung und der Metallurgie inzwischen soweit fortgeschritten sind, dass die kalte Formgebung die Warmumformung fast gänzlich ersetzt hat.

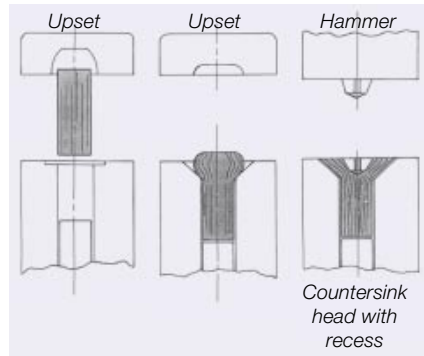
Für sehr große Bolzen mit komplexen Formen, ist die Warmformgebung nach wie vor eine Alternative, da bei großen Abmessungen hohe Kräfte bei der Kaltumformung wirksam werden, wodurch sich die nachteiligen Effekte dieser Verformungsart in erhöhtem Maße einstellen.

Bei der Kaltumformung läuft ein Endlosdraht in eine Strangpresse, in welcher durch Druck und Durchmesserreduzierung in einem Gesenk der Schraubenrohling geformt wird (Abb. 1). Das Gewinde wird anschließend durch Kaltwalzen erzeugt (Abb. 2). Da das Gewinde der wichtigste Teil der Schraube ist, sind der Walzvorgang und die anschließende Wärmebehandlung äußerst wichtig. Durch die Kaltumformung erhöht sich die Härte, und für Qualitätsschrauben werden verschiedene Wärmebehandlungen durchgeführt um ganz bestimmte Eigenschaften für spezifische Anwendungen zu erzielen. Stähle mit niedrigem Kohlenstoffgehalt werden aufgekühlt damit die Oberfläche härtbar wird und die Schraubenmitte zäh und weich bleibt. Kohlenstoffstähle werden gehärtet und angelassen, und abhängig vom Anwendungsgebiet, werden mit verschiedenen Austenitisierungs- und Anlasstemperaturen unterschiedliche mechanische Eigenschaften des gleichen Rohmaterials erzielt. Zusätzliche Oberflächenhärtung, z. B. am Schraubenkopf, kann durch Induktionshärtung erfolgen. Zwischen den verschiedenen Stufen von Formgebung und Wärmebehandlung werden auch noch andere Arbeitsgänge wie Beizen, Reinigen und Ölen durchgeführt.

Das Aufbringen von Schichten als Korrosionsschutz ist der letzte Schritt und wird normalerweise getrennt von der Schraubenproduktion durchgeführt. Als Korrosionsschutz werden Schrauben mit Mangan, Zink oder

Abb. 1: Formen des Schraubenrohlings: Durch Kaltverformung wird Draht in verschiedene Schraubengrundformen vorgepresst.

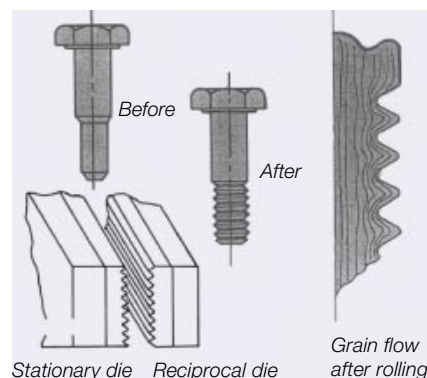
Bei diesem automatischen Vorgang muss das Gefüge fortlaufende erhalten bleiben um die Stabilität der Schraube zu gewährleisten.



Eisenphosphat beschichtet und anschließend geölt. Galvanische Zink- oder Kadmiumschichten, Verchromen, oder aufgedampfte Kadmium- und Aluminiumschichten bieten einen erhöhten Korrosionsschutz. (In einigen Ländern werden Kadmiumschichten aus Umweltschutzgründen nicht mehr verwendet.)

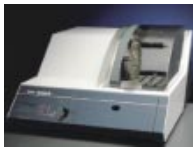
Zusätzlich zu Schrauben aus Stählen mit niedrigem Kohlenstoffgehalt und Kohlenstoffstählen, werden Schrauben aus hochfestem Stahl für Maschinen- und Anlagebau hergestellt, aus rostfreiem Stahl wenn Korrosionsbeständigkeit gefragt ist, Nickel- und Kobaltbasis-Legierungen für Anwendungen im Hochtemperaturbereich, und Titan für mechanische Verbindungen im Flugzeugbau, und der medizinischen und Lebensmittelindustrie. Schrauben aus Nichteisenmetallen wie Messing und Kupfer werden für dekorative Griffe und Leisten eingesetzt. Stahlnieten werden in der Automobilindustrie verwendet, und Nieten aus Titan hauptsächlich für die Außenverkleidung von Flugzeugen.

Eine Hauptvoraussetzung für die Herstellung von guten Schrauben ist eine hohe Qualität des Rohmaterials. In Stangen und Draht können Fehler auftreten wie Überwalzungen, Höhlungen in der Mitte der Stange, oder falsche Wärmebehandlung die eine unerwünschte Korngröße oder ein falsches Gefüge erzeugt. Diese Dinge können alle zu Fehlern in bei der Herstellung von Schrauben führen. Die metallografische Kontrolle des Rohmaterials ist deswegen genauso wichtig wie die laufende Produktionskontrolle.



# Schwierigkeiten bei der Präparation von mechanischen Verbindungselementen

**Die Herausforderung** bei der metallografischen Präparation von Schrauben ist deren unregelmäßige Form. Normalerweise soll ein Längsschnitt durch die Schraubenmitte gelegt werden. Da aber der Kopf vorsteht kann es schwierig sein die Schraube oder Niete so in die Trennmaschine einzuspannen, dass ein guter Längsschnitt gemacht werden kann. Große Bolzen können normalerweise ohne Schwierigkeiten in der Mitte getrennt werden. Je dünner und kleiner die Schrauben aber sind, um so schwieriger wird das Trennen.



Das Problem der Form beeinflusst auch das Einbetten, da an den Kurven von Gewinde und Kopf bevorzugt Schrumpfung des Einbettmittels auftreten kann. Das stellt besonders bei beschichteten Schrauben ein Problem dar, da Schichten ohne Randschärfe nicht richtig beurteilt werden können.

## Empfehlungen für die Präparation von mechanischen Verbindungselementen

Um die Schwierigkeiten beim **Trennen und Einbetten** zu umgehen, können folgende Empfehlungen gegeben werden: Zum Trennen von mittelgroßen oder dünnen Schrauben kann man sich einen speziellen Halter mit Gewinde herstellen, welcher die Schrauben während des Trennvorgangs hält (Abb. 3). Bei kleineren Schrauben und Nieten kann man den Überstand des Kopfes abtrennen, damit die Schraube flach in die Einbettpresse gelegt werden kann. Nach dem Einbetten, kann dann der Rest bis zur Mitte abgeschliffen werden. Eine Alternative ist ein spezieller Unterstempel für die Einbettpresse, der an beiden Seiten eine Aussparung hat in welche die Schraubenköpfe passen (Abb. 4). Bei sehr kleinen Schrauben ist das Trennen uneffizient. Am Besten werden sie ganz eingebettet indem



Abb. 3: Spezialhalter zum Trennen von Schrauben

Abb. 2: Walzen des Gewindes: Der Schraubenrohling wird zwischen zwei Backen mit genau parallelen Rillen der entsprechenden Gewindeform gewalzt.

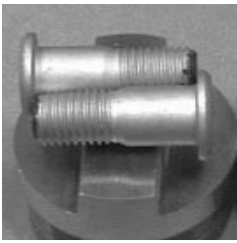


Abb. 4

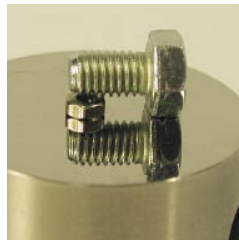


Abb. 5

Abb. 4:  
Spezial-Unterstempel  
zum Warmeinbetten

Abb.5: Ausrichten durch  
Unterlegscheibe vor dem  
Einbetten

man den Kopf mit einer Unterlegscheibe aus Metall oder Kunststoff unterlegt, und das Ganze nach dem Einbetten bis zur Mitte abschleift. Am schnellsten schleift man die eingebetteten Schrauben mit einem Stein auf einer automatischen Planschleifmaschine ab, besonders wenn große Mengen bearbeitet werden.

Zum Warmeinbetten ist Dialyphthalat mit Glasfasern (IsoFast), oder Phenolharz mit Kohlefasern (PolyFast) zu empfehlen, zum Kalteinbetten Epoxidharz (EpoFix) da es die geringste Schrumpfung hat. Vor dem Einbetten sollen die Teile sehr sorgfältig mit Azeton oder Alkohol entfettet und gereinigt werden. Dabei ist besonders auf das Gewinde und die Biegung am Ansatz des Schraubenkopfs zu achten, damit das Einbettmittel gut am Probenmaterial haften kann.

### Schleifen und Polieren

Nach dem Trennen und Einbetten wird entsprechend dem Schraubenmaterial geschliffen und poliert. Die große Bandbreite der verschiedenen Schraubenmaterialien können in dieser Application Note nicht abgedeckt werden, deshalb haben wir nur zwei Schraubenmaterialien ausgesucht, deren Präparationsmethoden in den Tabellen 1 und 2 angegeben sind. (Weitere Information über Präparationen kann dem Struers e-Metalog und anderen Struers Application Notes entnommen werden.) Die hier angegebenen Präparationsbeispiele sind für Messingschrauben (Tabelle 1) und Schrauben aus niedrig legiertem Stahl (Tabelle 2). Die Angaben beziehen sich auf 6 eingebettete Proben, 30 mm Durchmesser, eingespannt in einen Halter. Zum Abschleifen bis zur Mitte der Schrauben wurde die automatische Grobschleifmaschine Abraplan verwendet. Das anschließende

Feinschleifen und Polieren wurde auf dem automatischen Poliergerät TegraPol durchgeführt.

### Ätzen und Gefügeinterpretation

Zum Ätzen von metallografischen Proben von Schrauben werden die herkömmlichen in der Literatur angegebenen Ätzmittel für das jeweilige Material empfohlen, z.B. für Kohlenstoffstahl, Titan, Messing, rostfreier Stahl usw.

Wie schon erwähnt können während der Herstellung mechanische Defekte wie Grate, Risse (Abb.7a) und Überwalzungen auftreten, die zum Teil durch visuelle Inspektion oder



Abb. 6:  
Dauerbruch

zerstörungsfreie Prüfungen wie Farbeindringverfahren oder Magnetpulver gefunden werden. Die Tiefe der Fehler kann mit der metallografischen Untersuchung festgestellt werden (Abb.7b). Gefügefehler sind meistens auf die Wärmebehandlung zurückzuführen, z. B. Kornwachstum durch Überhitzen (Abb. 8), oder Korngrenzenoxidation und Randentkohlung (Abb. 9). Die am meisten gefürchteten Fehler bei Schrauben sind Brüche, und durch die metallografische Untersuchung kann die Bruchursache festgestellt werden. Brüche werden durch eine Kombination verschiedener Einflüsse über längere Zeit verursacht, z.B. mechanische Beanspruchung wie Biegen und Dehnen, Wärme- und Umwelteinflüsse wie Schmiermittel, Dampf, chemische Reagenzien usw. Das kann zu Brüchen durch Ermüdung, Torsion, Versprödung und Korrosion führen (Abb.6).

### Zusammenfassung

Der Begriff „mechanische Verbindungen“ beinhaltet den großen Bereich von Bolzen, Schrauben, und Muttern mit Gewinden, und Nieten und Stiften ohne Gewinde, welche alle spezifische Rohmaterialien und Herstellungsprozesse erfordern. Gute metallografische Qualitätskontrolle ist unerlässlich um eine hohe Qualität von Schrauben sicherzustellen. Die metallografischen Untersuchungen konzentrieren sich hauptsächlich auf mechanische und thermische Schäden während der Produktion und der anschließenden Wärmebehandlung. Die Gefügeinterpretation und

## Präparationsmethode

### Messingschraube

#### Schleifen

Stufe	PG	FG
Unterlage	SiC-Papier, #320	MD-Largo
Suspension		DiaPro Allegro/Largo
Lubrikant	Wasser	
UpM	300	150
Kraft [N]	180*	180*
Zeit	Bis plan	3 Min.

#### Polieren

Stufen	DP	OP
Unterlage	MD-Mol	MD-Chem
Suspension	DiaPro Mol	OP-S**
UpM	150	150
Kraft [N]	180*	90*
Zeit	3 Min.	3 Min.

Tabelle 1

\* Gilt für 6 eingebettete Proben, 30 mm Durchm., in einem Probenhalter eingespannt.  
\*\*96 ml OP-S  
2 ml Ammoniak (25%)  
2 ml Wasserstoffperoxid (33%)



Das anschließende Feinschleifen und Polieren wurde auf dem automatischen Poliergerät TegraPol durchgeführt.

### Ätzen und Gefügeinterpretation

Zum Ätzen von metallografischen Proben von Schrauben werden die herkömmlichen in der Literatur angegebenen Ätzmittel für das jeweilige Material empfohlen, z.B. für Kohlenstoffstahl, Titan, Messing, rostfreier Stahl usw.

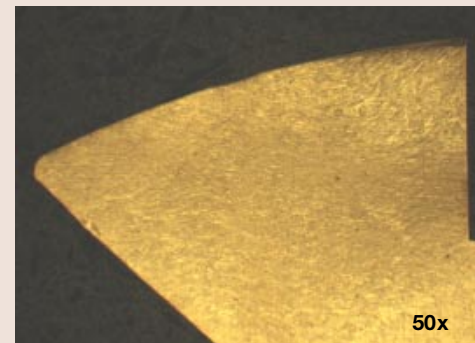
Wie schon erwähnt können während der Herstellung mechanische Defekte wie Grate, Risse (Abb.7a) und Überwalzungen auftreten, die zum Teil durch visuelle Inspektion oder



Abb.7a: Riss im Kopf eines Bolzens aus Kohlenstoffstahl entstanden durch Walznaht



Abb.7b: Querschliff durch Riss aus Abb. 7a. Ätzung: 3% Nital



Kopf einer Messingschraube mit Fließlinien durch Kaltverformung. Ätzung: Eisen (III)-chlorid

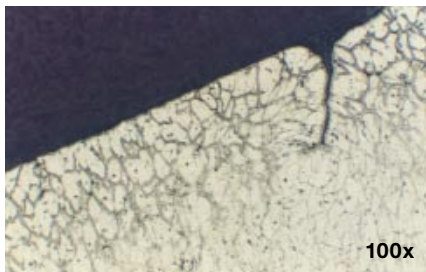


Abb. 8:  
Aufgeschmolzene Korngrenzen durch  
Überhitzen während der Warmumformung.  
Nickel-Basis-Legierung.  
Modifizierte Ätzung nach Kalling



**Struers A/S**  
Pederstrupvej 84  
DK-2750 Ballerup, Denmark  
Phone +45 44 600 800  
Fax +45 44 600 801  
struers@struers.dk  
www.struers.com

## Präparationsmethode

Bolzen, niedrig legierter Stahl

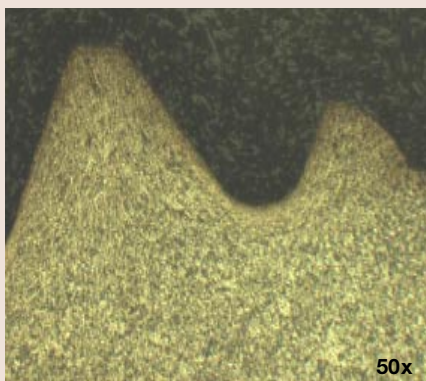
### Schleifen

Stufe	PG	FG
Unterlage	Stein 150#	MD-Allegro
Suspension		DiaPro Allegro/Largo
Lubrikant	Wasser	
UpM	1500	150
Kraft [N]	200*	200*
Zeit	Bis plan	4 Min.

### Polieren

Stufe	DP 1	DP 2
Unterlage	MD-Dac	MD-Nap
Suspension	DiaPro Dac	DiaPro Nap B
UpM	150	150
Kraft [N]	200*	150*
Zeit	4 Min.	1-5 Min.

Table 2 \* Gilt für 6 eingebettete Proben, 30 mm Durchm., in einen Probenhalter eingespannt



Gewinde eines Bolzens, niedrig legierter Stahl, angelassen.  
Ätzung: 3% Nital

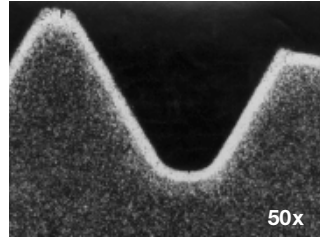


Abb. 9:  
Teil eines Gewindes  
mit Randentkohlung  
Ätzung: 5 % Nital

Deutung von Fehlerursachen erfordert einige Erfahrung, da die Bandbreite der Materialien und Formen von mechanischen Verbindungselementen sehr groß ist.

Spezifische Schwierigkeiten während der metallografischen Präparation ergeben sich beim Trennen und Einbetten, die mit einigen praktischen Hilfsmitteln überwunden werden können. Die Schleif- und Poliermethoden richten sich nach dem zu präparierenden Material und können mit automatischen Geräten in drei bis vier Schritten durchgeführt werden.

### Application Notes

Metallografische Präparation von mechanischen Verbindungselementen

Elisabeth Weidmann, Struers A/S, Kopenhagen, Dänemark  
John McElwain, Struers Inc., Westlake, OH, USA

### Danksagung

Wir bedanken uns bei Frauke Hogue, Hogue Metallography, Pacific Palisades, Ca, USA, für die Unterstützung mit Information über Gefüge von Schrauben, und die Erlaubnis zur Wiedergabe der Fotos Abb. 7a-b und 8.

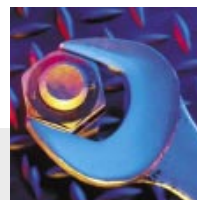
Abb.1 und 2: Copyright 1975 Alcoa Global Fasteners, Inc. and its affiliated companies. Alle Rechte vorbehalten. Die Zeichnungen werden mit Zustimmung des Copyright Inhaber abgedruckt. Die vollständige oder teilweise Wiedergabe von Zeichnungen ohne schriftliche Erlaubnis des Copyright Inhabers ist ausdrücklich untersagt.

### Bibliographie

Handbuch der hochfesten Schrauben  
K.-H. Kübler, W.J. Mage, Hrsg.: Kamax-Werke, Verlag W.Giradet, Essen, 1986

Schrauben Vademecum, K.H Ilgner, D. Blume, Bauer und Schauerte, Neuss, 1978

Charakterisierung der Fehler von Präzisionsverbindungselementen mit metallographischen Methoden.  
Frauke Hogue, Structure 30, 1996



### DEUTSCHLAND

**Struers GmbH**  
Karl-Arnold-Strasse 13 B  
D-47877 Willich  
Telefon +49/(0) 21 54/4 86-0  
e-mail: verkauf.struers@struers.de

### ÖSTERREICH

**Struers GmbH**  
Zweigniederlassung Österreich  
Ginzkeyplatz 10  
A-5020 Salzburg  
Telefon (0662) 625711  
e-mail: stefan.lintschinger@struers.de

### SCHWEIZ

**Struers GmbH**  
Zweigniederlassung Schweiz  
Weissenbrunnstrasse 41  
CH-8903 Birmensdorf  
Telefon (01) 77763-07  
e-mail: rudolf.weber@struers.de

### THE NETHERLANDS

**Struers GmbH Nederland**  
Electraweg 5  
NL-3144 CB Maassluis  
Tel.: +31 (0) 10 599 72 09  
e-mail: glen.van.vugt@struers.de

### CZECH REPUBLIC

**Struers GmbH**  
Ocelářská 799  
CZ-190 00 Praha 9  
Tel. 02 / 84 818 227  
e-mail: david.cernicky@struers.de

### POLAND

**Struers Sp. z o.o.**  
Oddział w Polsce  
ul. Lirowa 27  
PL-02-387 Warszawa  
Tel.: 022/824 52 80  
e-mail: grzegorz.uszynski@struers.de

### HUNGARY

**Struers GmbH**  
Magyarországi fióktelep  
Puskás Tivadar u. 4  
H-2040 Budaörs  
Phone (23) 428-742  
Fax (23) 428-741  
e-mail: mariann.lovonyak@struers.de

### FRANCE

**Struers S.A.S.**  
370, rue du Marché Rollay  
F- 94507 Champigny  
sur Marne Cedex  
Téléphone +33 1 55 09 14 30/31  
e-mail: struers@struers.fr

### BELGIQUE

**Struers S.A.S.**  
370, rue du Marché Rollay  
F- 94507 Champigny  
sur Marne Cedex  
Téléphone +32 43 70 93 18  
e-mail: struers@struers.fr

### JAPAN

**Marumoto Struers K.K.**  
Takara 3rd Building  
18-6, Higashi Ueno 1-chome  
Taïto-ku, Tokyo 110-0015,  
Phone: +81 3 5688-2914  
e-mail: struers@struers.co.jp

### SINGAPORE

**Struers A/S**  
10 Eunos Road 8, #12-06 North Lobby  
Singapore Post Centre  
Singapore 408600  
Phone +65 6299 2268  
e-mail: struers.sg@struers.dk

### UNITED KINGDOM

**Struers Ltd.**  
Erskine Ferry Road, Old Kilpatrick  
Glasgow, G60 5EU  
Phone 01 389 877 222  
e-mail: info@struers.co.uk

### USA

**Struers Inc.**  
24766 Detroit Road  
Westlake, OH 44145-1598  
Phone (888) 787-8377  
e-mail: info@struers.com