Verlängerung der Lebensdauer von Schweißkonstruktionen aus höherfesten Baustählen durch Anwendung der UIT-Technologie

Nach dem heutigen Stand der Technik ist die Schwing- bzw. Ermüdungsfestigkeit von Stählen bei geschweißten Konstruktionen unabhängig von der Streckgrenze. Dies ist als einer der Hauptgründe für den noch immer verzögerten Einsatz von höherfesten Stählen in Konstruktionen unter wechselnder Beanspruchung anzusehen. Durch den Einsatz von Schweißnahtnachbehandlungsverfahren besteht die Möglichkeit die Ermüdungsfestigkeit insbesondere von höherfesten Stählen zu erhöhen. Im Stahlbau gibt es jedoch bis heute keine normativen Regelungen, um die positiven Effekte einer Schweißnahtnachbehandlung zu berücksichtigen.

In dieser Arbeit wird das bisher noch wenig bekannte Nachbehandlungsverfahren „Ultrasonic Impact Treatment" (UIT) vorgestellt. Außerdem werden die bisherigen Ergebnisse eines laufenden Forschungsprojekts erläutert, in dem die Effektivität des UIT-Verfahrens zur Verbesserung der Ermüdungsfestigkeit von Schweißkonstruktionen aus höherfesten Baustählen anderen bekannten Nachbehandlungsverfahren, wie dem WIG-Aufschmelzen, gegenübergestellt wird.

Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann, Dipl.-Ing. André Dürr, Dr.-Ing. Hans-Peter Günther, Stuttgart; Prof. Dr.-Ing. Joachim Bergmann, Dipl.-Ing. Rayk Thumser, Dr.-Ing. Uwe Gerth, Weimar und Dipl.-Ing. Peter Gerster, Ehingen.

Einleitung

Eine Verbesserung der Schwingfestigkeit von Schweißverbindungen gewinnt in vielen Bereichen des Stahlbaus an zunehmender Bedeutung, insbesondere bei Anwendung von höher- und hochfesten Stählen.

Ein in Europa bisher noch wenig bekanntes Verfahren zur Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit von Schweißverbindungen ist die Esonix UIT-Behandlung, eine Ultraschall-Schlagbehandlung, bei der die Nahtübergänge unter sehr hoher Frequenz gehämmert werden. Hierbei werden neben einer Verfestigung der Oberfläche Druckeigenspannungen im oberflächennahen Bereich induziert sowie die Kerbwirkung der Nahtübergänge verbessert. Das Esonix UIT-Verfahren zeichnet sich dabei insbesondere durch eine einfache Bedienbarkeit und eine hohe Reproduzierbarkeit aus.

Im Rahmen eines laufenden AiF-Forschungsprojekts mit dem Titel „Effizienter Stahlbau aus höherfesten Stählen unter Ermüdungsbeanspruchung" wird am Institut für Konstruktion und Entwurf der Universität Stuttgart und an der Materialforschungs- und Prüfanstalt (MFPA) der Bauhaus-Universität Weimar die Anwendung und die Effektivität des Nachbehandlungsverfahrens Esonix UIT (Ultrasonic Impact Treatment) mit dem bereits bekannten Verfahren des WIG-Aufschmelzens an einem typischen Konstruktionsdetail des Stahlbaus, der Quersteife eines Biegeträgers, gegenübergestellt. Es werden hierbei Ermüdungsversuche an Klein- und Großprüfkörpern sowie Trägern aus der Stahlsorte S355, S460 und S690 durchgeführt. Zur Vergleichbarkeit werden zusätzlich Prüfkörper, die im Schweißzustand belassen sind bzw. nach dem Schweißen mit einer nachträglichen Reinigungsstrahlung behandelt wurden, untersucht.

Die Esonix Ultrasonic Impact Treatment Technology (UIT)

Die Geschichte von UIT:

Das UIT-Verfahren wurde in den 70er Jahren für die sowjetische Marine von dem Wissenschaftler und Ingenieur Dr. Efim Statnikov [1] entwickelt. Die Ergebnisse der Anwendung von UIT ermöglichten den Konstrukteuren, neue Schiffskörper aus Titan für Unterseeboote zu entwickeln, die den extremen Bedingungen unter Wasser besser standhielten. Anschließend wurde diese Technologie vor allem in den USA in unterschiedlichen Bereichen angewendet, in denen Komponenten und Konstruktionen einer zyklischen Belastung ausgesetzt sind, wie z.B. Brücken, Baumaschinen oder Ausrüstungen. Heute ist das UIT-Verfahren im gesamten amerikanischen Raum weit verbreitet und wird dort für die Verbesserung der Ermüdungsfestigkeit von Schweißkonstruktionen bereits erfolgreich eingesetzt.

Wirkungsweise von UIT

UIT basiert auf einer Umwandlung von harmonischen Schwingungen durch einen Ultraschallwandler in mechanische Impulse und hochfrequente Ultraschallenergie und deren Übertragung durch gehärtete Bolzen auf eine zu behandelnde Oberfläche. Hierbei werden neben einer Verfestigung der Oberfläche Druckeigenspannungen im oberflächennahen Bereich infolge der plastischen Verformungen induziert. Außerdem erfolgt bei Schweißnähten eine wesentliche Verbesserung der Kerbwirkung durch ein Einebnen des Nahtübergangs.

Gerade das Einbringen von Druckeigenspannungen wird als entscheidend für die deutliche Steigerung der Ermüdungsfestigkeit angesehen, da das effektive Spannungsverhältnis in den Druckbereich geschoben werden kann und Spannungsamplituden, die ganz oder teilweise im Druckbereich liegen, kaum Schädigungen verursachen. Vorhandene Risse werden durch die Druckeigenspannungen überdrückt und das Risswachstum wird behindert. Besonders bei höherfesten Stählen können die Vorteile der Druckeigenspannungserzeugung sehr gut ausgenutzt werden, da diese Stähle hohe Druckeigenspannungen zulassen und im Vergleich zu niedrigfesten Stählen eine größere Eigenspannungsempfindlichkeit besitzen.

Bild 1a: Standard-UIT Ausrüstung

Ausrüstung:

Die Standardausrüstung besteht aus dem Ultraschall-Generator mit einer Leistung von 1 – 3 kW und einer Ausgangsfrequenz von 27 – 55 kHz sowie einem Handgerät (ca. 2 – 3,5 kg) mit Adapter für verschiedene industrielle Anwendungen, siehe **Bilder 1a und 1b**. Ein kleines Kühlaggregat wird für die Kühlung des Handgerätes benötigt. Die kompakte transportable Anlage ermöglicht auch eine problemlose UIT-Behandlung auf Baustellen. Ebenso kann bei großen Stückzahlen die Anlage durch den Einsatz eines Roboters auch sehr leicht im Produktionsprozess integriert werden. Dieses Verfahren ist patentiert und geschützt. Applied Ultrasonics ist der Eigentümer dieser Technologie.

Bild 1b: Generator mit PLC

Forschungsprojekt P620

Überblick:

Im Rahmen des AiF-Forschungsprojekts „Effizienter Stahlbau aus höherfesten Stählen unter Ermüdungsbeanspruchung", gefördert durch die Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. (FOSTA), werden am Institut für Konstruktion und Entwurf der Universität Stuttgart und an der Materialforschungs- und Prüfanstalt (MFPA) der Bauhaus-Universität Weimar die Anwendung und die Effektivität von unterschiedlichen Nachbehandlungsverfahren (WIG-Aufschmelzen und UIT) zur Verbesserung der Ermüdungsfestigkeit von Schweißverbindungen aus höherfesten Stählen untersucht. Hierzu wird der Einfluss der Streckgrenze, der Blechdicke und des Spannungsverhältnisses auf die Ermüdungsfestigkeit am Konstruktionsdetail der Quersteife an Klein- und Großprüfkörpern unter Normalbeanspruchung aus den Stahlsorten S355, S460 und S690 bestimmt. Zur Vergleichbarkeit werden zusätzlich Versuche an Prüfkörpern, die im Schweißzustand belassen und die nachträglich reinigungsgestrahlt sind, durchgeführt. Ergänzend wird der Bauteileinfluss durch Versuche an Trägern der Stahlsorte S690 mit eingeschweißter Quersteife erfasst. Als Begleituntersuchungen erfolgt die Messung von Eigenspannungen über die Blechtiefe mit Hilfe der Bohrlochmethode. Insgesamt besteht das Versuchsprogramm aus ca. 200 Kleinprüfkörper-, 50 Großprüfkörper- und 12 Trägerversuchen. Das Versuchsprogramm ist in **Tabelle 1** zusammengefasst.

Herstellung der Versuchskörper:

Bei der Herstellung der Klein- und Großprüfkörper wurden vorab die Quersteifen an beiden Seiten der Stahlplatten mit einer Länge von ungefähr 1.000 mm vollmechanisch aufgeschweißt. Anschließend wurden die einzelnen Prüfkörper durch Sägeschnitt aus den Platten herausgetrennt. Teilweise wurden die Kleinprüfkörper (QS1) aus der Stahlsorte S690QL1 nach dem Schweißen unter betriebsüblichen Bedingungen reinigungsgestrahlt (SA 2). Zusätzlich wurden Großprüfkörper mit einzeln aufgeschweißten Quersteifen aus der Stahlsorte S690QL1 hergestellt.

Bei der Herstellung der Träger mit einer Länge von 4,0 m wurden zuerst die Längsnähte zwischen Flansche und Steg vollmechanisch geschweißt. Anschließend wurden die Quersteifen eingepasst und rundum mit Hand verschweißt.

Nachbehandlung:

WIG-Aufschmelzen:

Das WIG-Aufschmelzen des Nahtübergangs wurde vor dem Trennen zu einzelnen Prüfkörpern mit Hand in Wannenlage durchgeführt. Dabei war nur sehr geringe Vorschubgeschwindigkeit von ca. 7 cm/min möglich.

Bild 2: UIT-Behandlung des Nahtübergangs

UIT-Verfahren:

Die Anwendung des UIT-Verfahrens erfolgte bei den Klein- und Großprüfkörpern abschließend am bereits zugeschnittenen Prüfkörper am Schweißnahtübergang. Die Ausführung erfolgte mit einer Frequenz von ca. 27 kHz durch einen oder mehrere gehärtete Bolzen mit einem Durchmesser von 3 mm, siehe **Bild 2**. Die Nachbehandlung konnte optisch kontrolliert werden, da plastische Verformungen durch Eindrückungen am Schweißnahtübergang mit einer glänzenden Oberfläche deutlich erkennbar waren. Im Regelfall war zur Nachbehandlung ein Arbeitsgang ausreichend. Die Träger wurden nur im Bereich der Quersteife nachbehandelt.

Ermüdungsversuche:

Klein- und Großprüfkörper

Die ersten Ergebnisse der Ermüdungsversuche an den Klein- und Großprüfkörper mit Einstufenkollektiv zeigen,

Bild 3: Wöhlerdiagramm (Kleinprüfkörper, Quersteife, S355, R=0,1)

dass bei allen Stahlsorten durch die Anwendung von Schweißnahtnachbehandlungsverfahren die Ermüdungsfestigkeit im Zeit- und Dauerfestigkeitsbereich deutlich gesteigert werden kann. Die Versuchsergebnisse sind hierzu in Wöhlerdiagramme aufgetragen, siehe **Bilder 3 bis 5.** Auf die Angabe von charakteristischen Ermüdungsfestigkeiten wurde aufgrund der bisher noch nicht vollständigen Anzahl an Versuchen verzichtet. Die besten Ergebnisse konnten bisher mit dem Nachbehandlungsverfahren UIT erreicht werden. Die Steigerungen bei

Bild 4: Wöhlerdiagramm (Kleinprüfkörper, Quersteife, S460, R=0,1)

der Ermüdungsfestigkeit bezogen auf 2 Millionen Lastwechsel lagen bei Anwendung des UIT-Verfahrens für die Stahlsorte S355 bei ca. 90 %, und für die Stahlsorte S460 bei ca. 80 % gegenüber den Ermüdungsfestigkeiten der Prüfkörper, die im Schweißzustand belassen wurden. Die Wöhlerlinien der mit UIT nachbehandelten Prüfkörpern verlaufen deutlich flacher. Deshalb ist die Verbesserung durch die UIT-Behand-

Bild 5: Wöhlerdiagramm (Kleinprüfkörper, Quersteife, S690, R=0,1)

Prüfkörper	Einflussfaktor	Stahlsorte	Nachbehandlung	Dicke	Spannungsverhältnis
ΔP ΔP Klein- und Großprüfkörper	Nachbehandlung Stahlsorte Größe	S355 S460 S690	im Schweißzustand reinigungsgestrahlt WIG-Aufschmelzen UIT	12mm	R = 0,1
	Mittelspannung	S690	im Schweißzustand UIT	12mm	R = -1 R = 0,5
	Dicke	S690	im Schweißzustand UIT	25mm	R = 0,1
Träger	Bauteil	S690	im Schweißzustand UIT	12mm	R = -1 R = 0,5

Tabelle 1: Versuchsprogramm

anlagen.forum

Sichere Pipelines versorgen sichere Anlagen

Tagung
22. – 23. Juni 2006, Wien

TÜV Bayern SZA Technische Prüf-GmbH
TÜV SÜD Industrie Service GmbH
TÜV SÜD Akademie GmbH

Programm

22. Juni 2006
- **Aktuelle Entwicklungen in der Pipelinetechnik**
- **Spezielle Prüfverfahren**

23. Juni 2006
- **Instandhaltung technischer Anlagen**
- **Anlagen für alternative Energien / Fernwärme**

Das ausführliche Programm finden Sie unter
www.akd.tuev-sued.de
(Tagungen und Kongresse/Anlagentechnik)

Tagungspreis:
EUR 690,– zuzügl. bzw. EUR 800,40 inkl. MwSt.

Tagungsort:
Hotel am Sachsengang
Schlosshoferstraße 60
2301 Groß Enzersdorf / Wien, Österreich

Anmeldung und Auskünfte:
TÜV SÜD Akademie GmbH
Tagungen und Kongresse
Fr. Andrea Forster
Westendstraße 199
80686 München, Deutschland
Telefon +49 89 5791 – 2350, Fax – 2833
andrea.forster@tuev-sued.de

lung im Kurzzeitfestigkeitsbereich geringer als im Dauerfestigkeitsbereich. Als Ursache wird hierfür der Abbau der positiven Druckeigenspannungen durch die hohen lokalen Kerbbeanspruchungen angesehen.

Die Versuchskörper versagten üblicherweise am Schweißnahtübergang, nur bei den Versuchen der Stahlsorte S690 war die Verbesserung am Schweißnahtübergang durch die Anwendung des UIT-Verfahrens so hoch, dass sich die Anrisse bei den Spannungsverhältnissen R= -1 und R= 0,1 vom Nahtübergang ins Grundmaterial oder in den Einspannbereich verlagerten, siehe **Bild 6**.

Bei den im Schweißzustand belassenen Prüfkörpern zeigte sich weiterhin die Tendenz, dass die Prüfkörper der Stahlsorte S690 um ca. 35 – 50 % höhere Ermüdungsfestigkeiten besitzen als die Versuche mit den Stahlsorten S355 und S460. Der Einfluss des Reinigungsstrahlens auf die Ermüdungsfestigkeit war gering, die Ermüdungsfestigkeit lag um ca. 15% über der von unbehandelten Proben. Im Weiteren zeigte sich ein deutlicher geometrischer Größeneinfluss für die Prüfkörper im Schweißzustand. Im Vergleich zu den Kleinprüfkörpern mit einer Breite von 40 mm ergaben sich bei den Großprüfkörpern mit einer Breite von 160 mm um ca. 10 % geringere Ermüdungsfestigkeiten. Dieser Größeneinfluss konnte jedoch bei den Prüfkörpern mit UIT-Nachbehandlung nicht mehr festgestellt werden. Es kann daraus geschlossen werden, dass die typischen großen Streubreiten bei Ermüdungsversuchen an Schweißverbindungen durch eine UIT-Nachbehandlung reduziert werden.

Bild 6: Ermüdungsversagen im Grundmaterial

Zusätzliche Untersuchungen zum Dickeneinfluss ergaben bei den im Schweißzustand belassenen Prüfkörpern mit Blechdicken von 25 mm um ca. 20 % geringere Ermüdungsfestigkeiten wie mit Blechdicken von 12 mm. Bei einer UIT-Behandlung konnte dieser Effekt nicht mehr festgestellt werden. Beim Mittelspannungseinfluss ergaben sich bei den Kleinprüfkörpern im Schweißzustand Ergebnisse, vergleichbar zu den Angaben in DIN 4132 [2]. Bei UIT-behandelten Proben nahm die Effektivität der Nachbehandlung mit steigendem Spannungsverhältnis ab. Die Verbesserung lag jedoch bei der Stahlsorte S690 bei einem Spannungsverhältnis von R = 0,5 immer noch bei ca. 40 %.

Trägerversuche:

Die Durchführung der bisherigen Trägerversuche aus der Stahlsorte S690QL1 erfolgte mit einem Spannungsverhältnis von R = -1 und R = 0,5 am Labor für Stahl- und Leichtmetallbau der FH München.

Beim Spannungsverhältnis R = -1 wurden die Versuche mit Hilfe des Resonanzprüfverfahren bei einer Frequenz von ca. 42 Hz durchgeführt. Für die beiden durchgeführten Trägerversuche im unbehandelten Schweißzustand ergaben sich Anrisse am Kerbdetail der Quersteife, siehe **Bild 7.** Die Ermüdungsfestigkeiten waren dabei um ca. 20 % geringer als bei den Kleinprüfkörperversuchen.

Bei den beiden Trägerversuchen, bei denen die Quersteife mit dem UIT-Verfahren behandelt wurde, verlagerte sich der Anriss vom Nahtübergang der Quersteife in die Längsnaht bzw. in den Bereich der Lasteinleitung. Die Lebensdauer der UIT-behandelten Träger lag dabei um ca. 40 % über der Last-

spielzahl der Trägerversuche mit unbehandelter Quersteife.

Bild 7: Ermüdungsversagen im Bereich der Quersteife

Die Durchführung der Versuche bei einem Spannungsverhältnis von R = 0,5 erfolgte an einem Hochfrequenzpulser bei einer Frequenz von ca. 22 Hz. Sowohl bei den unbehandelten als auch bei den UIT-behandelten Trägern ergaben sich die Anrisse aus dem Eckbereich der eingeschweißten Quersteife und setzten sich in den Flansch bis zum Durchriss fort. Die Verbesserung der Ermüdungsfestigkeit bezogen auf 2 Millionen Lastwechsel lag durch eine UIT-Behandlung bei den bisher durchgeführten Versuchen bei ca. 30 %, im Vergleich zu ca. 40 % bei den Kleinprüfkörperversuchen.

Im Rahmen der bisher durchgeführten Trägerversuche konnten damit die Effektivität der UIT-Behandlung auch in Bauteilen bestätigt werden. Weitere Trägerversuche werden derzeit noch durchgeführt.

Eigenspannungsmessungen:

Der Eigenspannungsverlauf wurde mit Hilfe der Bohrlochmethode über eine Tiefe bis zu ca. 1,1 mm an unbehandelten und nachbehandelten Prüfkörpern im Bereich des Schweißnahtübergangs bestimmt. Als maßgebend für die durchgeführten Ermüdungsversuche sind die Eigenspannungen senkrecht zur Schweißnaht anzusehen, da sich diese näherungsweise mit den Spannungen aus der Belastung überlagern. Bedeutend für die Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit ist vor allem das Einbringen von Eigenspannungen an bzw. dicht unter der Oberfläche bis zu einer Tiefe, die etwa dem technischen Anriss entspricht (ca. 0,5 mm) [3].

Die Ergebnisse der Eigenspannungsmessungen sind in **Bild 8** für die Prüfkörper aus der Stahlsorte S690 gegeben. Es zeigt sich, dass die Zugeigenspannungen infolge des Schweißvorgangs durch die Anwendung des UIT-Verfahrens über die gesamte Messtiefe von 1,1 mm durch Druckeigenspannungen aufgehoben werden. Die maximalen Druckeigenspannungen treten in einer Tiefe von 0,3 – 0,4 mm auf. Wie aus Bild 8 ersichtlich, werden auch durch ein nachträgliches Reinigungsstrahlen Druckeigenspannungen an der Oberfläche erzeugt. Im Gegensatz zum UIT-Verfahren ist die für die Ermüdungsfestigkeit sehr wichtige Tiefenwirkung der durch Reinigungsstrahlung erzeugten Druckeigenspannung aber deutlich geringer. Die Druckeigenspannungen klingen bereits bei etwa 0,3 mm unterhalb der Oberfläche ab. Bei Anwendung des WIG-Aufschmelzens lagen die Eigenspannungen wie bei den im Schweißzustand belassenen Prüfkörpern noch im Zugbereich.

Zusammenfassung und Ausblick:

Zusammenfassend können folgende Folgerungen bei der Anwendung von höherfesten Stählen in ermüdungsbeanspruchten Konstruktionen gezogen werden:

- Eine Verbesserung der Ermüdungsfestigkeit und eine damit verbundene effektive Anwendung von höherfesten Stählen kann durch den lokal begrenzten Einsatz von Nachbehandlungsverfahren an den kritischen Konstruktionsdetails erreicht werden.

Bild 8: Schweißeigenspannungen senkrecht zur Schweißnaht, Stahlsorte S690QL1

- Mit dem UIT-Verfahren steht ein bisher wenig bekanntes Verfahren zur Verfügung, mit dem die Ermüdungsfestigkeit von Schweißverbindungen wesentlich verbessert werden kann.
- Die Verbesserung der Ermüdungsfestigkeit durch das im Stahlbau übliche Reinigungsstrahlen ist gering.
- Die ersten Ergebnisse von Ermüdungsversuchen an Kleinprüfkörpern am Konstruktionsdetail der Quersteife ergaben bei Anwendung der Nachbehandlungsverfahren WIG-Aufschmelzen und UIT wesentliche Steigerungen bei der Ermüdungsfestigkeit. Insbesondere das UIT-Verfahren erscheint aufgrund der einfachen Anwendbarkeit und hohen Reproduzierbarkeit mit geringen Streuungen in die Praxis übertragbar.
- Das UIT-Nachbehandlungsverfahren wirkt um so effektiver, je höher die statische Festigkeit der Werkstoffe ist.
- Die bisherigen Untersuchungen an Trägern konnten die Effektivität der UIT-Behandlung auch in Bauteilen bestätigen.
- Erste Ergebnisse zur Ertüchtigung von vorgeschädigten Konstruktionen ergaben deutliche Verlängerungen der Restlebensdauer [4], [5]. Auch hier erscheint der Einsatz des UIT-Verfahrens sehr viel versprechend.

Danksagung

Das Forschungsvorhaben „Effizienter Stahlbau aus höherfesten Stählen unter Ermüdungsbeanspruchung" wird mit finanzieller Förderung durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke" e.V. (AiF), Köln, aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA), Berlin, durchgeführt. Dank gilt der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. (FOSTA) für die Unterstützung und die fachliche Begleitung. Die Autoren bedanken sich ebenfalls bei den Firmen Dillinger Hüttenwerke und voestalpine Grobblech für die Stahllieferung, bei den Firmen Donges Stahlbau, Max Bögl Stahl- und Anlagenbau, Plauen Stahl Technologie und Schachtbau Nordhausen für die Fertigung der Probekörper.

Literatur:

[1] Statnikov E. et al.: Ultrasound tool for strain strengthening and relaxation treatment. Patent of the RF No. 472782, 1975.

[2] DIN 4132: Kranbahnen, Stahltragwerke, Grundsätze für Berechnung, bauliche Durchbildung und Ausführung. Februar 1981.

[3] Radaj D.: Ermüdungsfestigkeit, Grundlagen für Leichtbau, Maschinen- und Stahlbau, Springer-Verlag, 1995.

[4] Muck A.: Ertüchtigung von ermüdungsbeanspruchten Schweißverbindungen durch Anwendung von Ultrasonic Impact Treatment (UIT). Diplomarbeit, Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Entwurf, 2005.

[5] Kuhlmann U., Bergmann J., Dürr A., Thumser R., Günther H.-P., Gerth U.: Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit von geschweißten höherfesten Baustählen durch Anwendung von Nachbehandlungsverfahren. Stahlbau 74 (2005), Heft 5, S. 358-365.

Weitere Informationen:
Applied Ultrasonics – Esonix UIT
Niederlassung Deutschland, ***Peter Gerster***
D -89584 Ehingen, Kapellenstraße 173
Tel.: 0049/7391/757621, Fax: /757617
E-Mail:pgerster@appliedultrasonics.com
www.appliedultrasonics.com