Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 70 (1979)

Heft: 17

Artikel: Ultraschallgeräte für die medizinische Diagnostik

Autor: Bagger Sørensen, B.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905426

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Ultraschallgeräte für die medizinische Diagnostik

Von B. Bagger Sørensen

615.837.3

Der grundsätzliche Aufbau und die Funktionsweise von Ultraschallgeräten werden beschrieben, von der einfachsten Ausführung mit KO bis zum Schnittbild-Verfahren.

La construction fondamentale et le fonctionnement d'appareils à ultrasons sont décrits, de l'exécution la plus simple avec oscillographe cathodique jusqu'au procédé de vue en coupe.

1. Einleitung

Ultraschall wird seit Millionen von Jahren von der Fledermaus für die Ortung von Gegenständen benutzt. In der modernen Technik geht die Verwendung dieses Prinzips jedoch nur wenige Jahrzehnte zurück. Am Anfang wurde Ultraschall fast ausschliesslich für militärische Zwecke verwendet, und erst im Laufe der fünfziger Jahre hat das System für medizinische Verwendungszwecke Fuss gefasst.

Ultraschall ist eine Form von Energietransport durch mechanische Schwingungen mit Frequenzen über der menschlichen Hörgrenze. Zur medizinischen Diagnostik werden Frequenzen von 1 bis 10 MHz verwendet. Wenn eine Welle von Ultraschall in den menschlichen Körper gesendet wird (Fig. 1), entstehen winzige Reflexionen oder Echos an den Grenzflächen zwischen Geweben, die sich gegenüber Ultraschallwellen unterschiedlich verhalten. Der Teil der Ultraschallenergie, der nicht reflektiert wird, dringt durch die Grenzfläche und erzeugt Echos an tieferliegenden Gewebegrenzflächen. Die Funktion der Ultraschalldiagnostik basiert auf dieser Fähigkeit der Gewebegrenzflächen, einerseits einen Teil der Ultraschallenergie reflektieren, andererseits aber auch den grössten Teil der Energie durchzulassen, so dass Echos an vielen untereinander liegenden Grenzflächen erzeugt werden.

Leider können nicht alle Gewebegrenzflächen im Körper vom Ultraschall durchdrungen werden. Handelt es sich um eine Grenzfläche zwischen einem weichen Gewebe, wie z. B. Muskel, und Knochengewebe, wird die ganze Ultraschallenergie reflektiert, und keine tieferliegenden Organe können dargestellt werden. Dasselbe gilt für eine Grenzfläche zwischen weichem Gewebe und Luft.

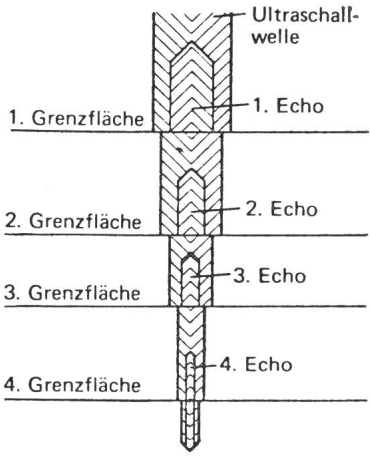


Fig. 1 Die Reflexionen der Ultraschallimpulse im menschlichen Gewebe

2. Grundgerät für die Ultraschalldiagnose

Sog. Schallköpfe (Fig. 2) werden für die Erzeugung und die Übertragung der Ultraschallwellen auf die Gewebe und den Empfang der Reflexionen verwendet. Es handelt sich um elektromechanische Wandler, die mit der Haut des Patienten in engen Kontakt gebracht werden. Ein piezoelektrischer Kristall dient dabei einer doppelten Funktion. Während einer etwa 1 µs langen Sendephase aktiviert ein Stromstoss den Kristall und versetzt ihn in Schwingungen mit seiner Resonanzfrequenz. Dieser Impuls von mechanischen Schwingungen wird in den Körper des Patienten eingestrahlt.

Der Sendephase folgt eine etwa 999 µs lange Empfangsphase. Während dieser Phase registriert der piezoelektrische Kristall die reflektierten Ultraschallsignale und wandelt sie in elektrische Impulse um, welche in elektronischen Schaltungen verstärkt und auf einem Kathodenstrahl-Oszillographen dargestellt werden können.

Grundsätzlich zeigt der Oszillograph den zeitlichen Ablauf des Vorganges (Fig. 3). Die x-Achse ist jedoch in der Praxis in Millimeter kalibriert. Dies ist deswegen möglich, weil die Schallgeschwindigkeit in den verschiedenen Arten von menschlichem Gewebe annähernd konstant ist (Tabelle I).

Ein Gerät für Ultraschalldiagnostik enthält in der einfachsten Ausführung (Fig. 3) einen Schallkopf, eine elektronische Schaltung zur Anregung des Schallkopfkristalls, einen Verstärker zur Verarbeitung der vom Schallkopf empfangenen Signale und einen gewöhnlichen Kathodenstrahl-Oszillographen als Monitor. Auf dem Kathodenstrahl-Oszillographen erscheinen die Echos als vertikale Ablenkungen (Fig. 4), bei denen die Ausschlagshöhe zur Reflexionsstärke proportional ist. Diese einfache Darstellungsart wird als «A-Bild» bezeichnet. Der Abstand der vertikalen Ablenkungen vom Anfang der Basislinie ist proportional zum Abstand der reflexionserzeugenden Gewebegrenzflächen vom Schallkopf. Um diese Abstände zu messen, haben die meisten Geräte die Möglichkeit, einen elektronischen Maßstab in das Bild einblenden zu können (Fig. 3).

Tabelle I

Medium	Schallgeschwindigkeit m/s
Luft	331
Blut	$1{,}57 \times 10^3$
Fett	$1{,}45 \times 10^3$
Hirnsubstanz	$1{,}54 \times 10^3$
Niere	$1{,}56 \times 10^3$
Leber	$1{,}57 \times 10^3$
Muskel	$1{,}59 \times 10^3$
Destilliertes Wasser	$1{,}53 \times 10^3$
Knochen	$2{,}5 \ldots 4{,}7 \times 10^3$

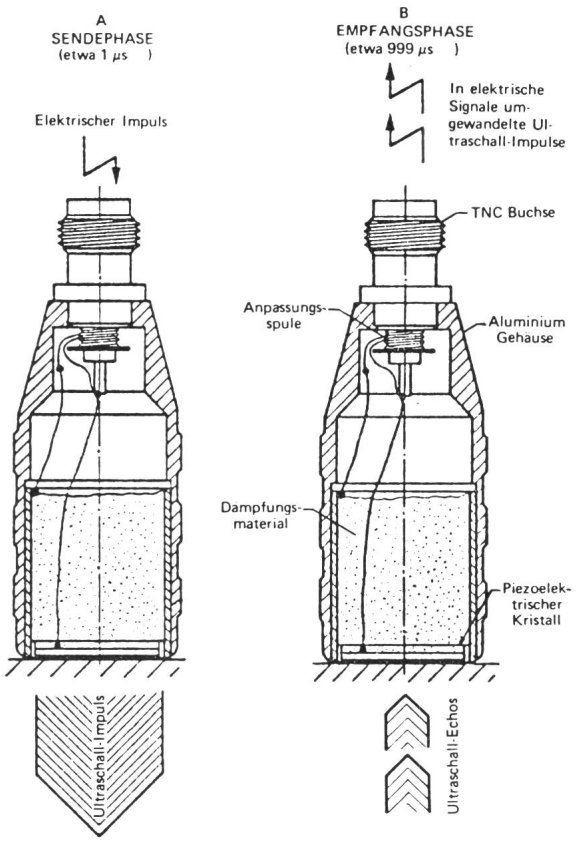


Fig. 2 Schallkopf (Ultraschallwandler) und dessen Funktionsprinzip

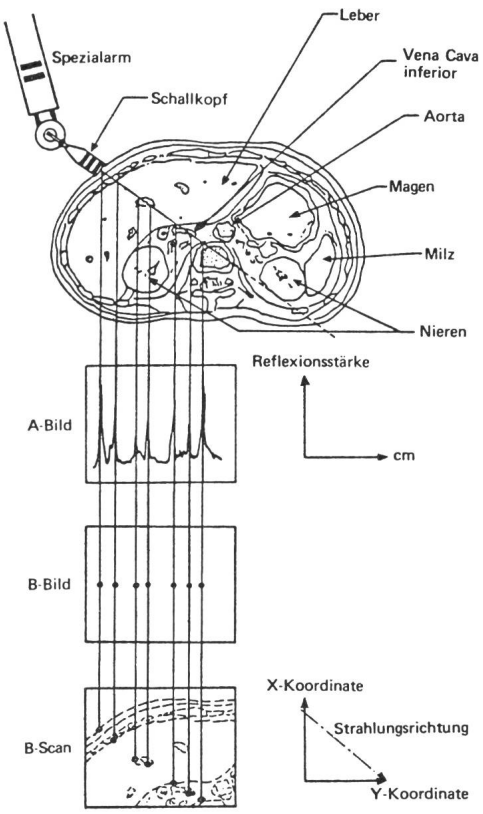


Fig. 4 Darstellungsarten der Ultraschalldiagnose

3. Zweidimensionale Abbildungen

An Stelle einer vertikalen Ablenkung besteht die Möglichkeit, am Monitor eine gerade Linie zu erzeugen und die Reflexionen als Lichtpunkte darzustellen. Diese Art der Darstellung wird B-Bild genannt. Normalerweise verwendet man Systeme, bei denen die Intensität der Lichtpunkte mit der Reflexionsstärke proportional ist – sog. Grauwert-Systeme.

Erweitert man das System mit einem Spezialarm (Fig. 5) und den notwendigen elektronischen Zusatzgeräten, die die Position und Neigung des Schallkopfes mit der Position und Neigung der Basislinie auf dem Monitor koordinieren, und bewegt man den Schallkopf mit gleichmässiger Geschwindigkeit über der Haut des Patienten, erhält man eine Darstellung

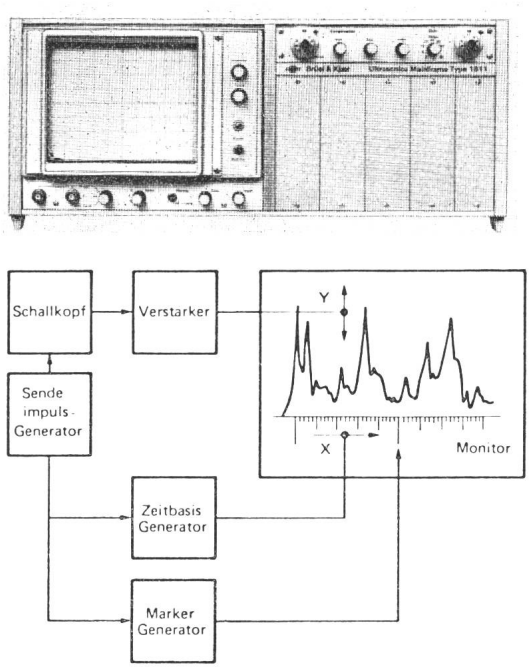


Fig. 3 Grundgerät für die Ultraschalldiagnose

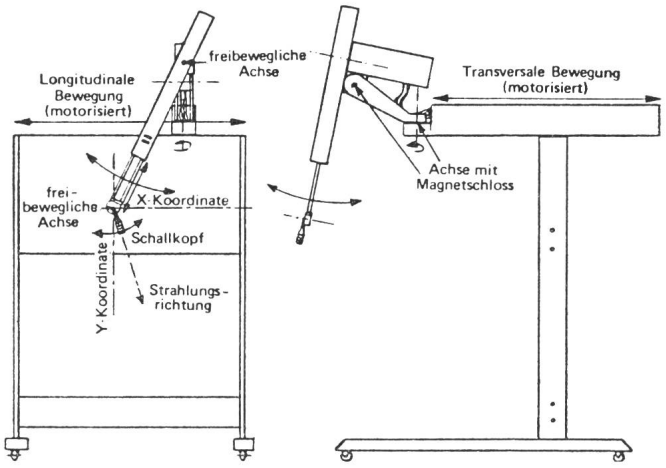


Fig. 5 Spezialarm, mit welchem die genaue Position und Strahlungswinkel des Schallkopfes erfasst wird
Der Schallkopf ist in einem beliebig wählbaren, zweidimensionalen Plan frei beweglich

von allen reflektierenden Grenzflächen innerhalb des erfassten Körperquerschnittes. Das in dieser Art erzeugte Bild nennt man ein B-Scan.

Das Bild besteht bei diesem Verfahren aus vielen Lichtpunkten mit verschiedener Intensität. Diese Punkte werden in einem Scanconverter gespeichert und auf einem Videomonitor dargestellt. Grundsätzlich stehen heute zwei verschiedene Arten von Scanconvertern zur Verfügung, nämlich analoge und digitale.

Der analoge Scanconverter arbeitet ähnlich wie ein normaler Kathodenstrahl-Oszillograph, wobei jedoch die fluorisierende Beschichtung der Braunschen Röhre durch ein Mosaik von winzigen Silikonelementen ersetzt wurde, von denen jedes einzelne eine elektrische Ladung speichert, die der Lichtintensität am betreffenden Punkt entspricht. Die elektrischen Ladungen in den vielen Silikonzellen werden laufend abgetastet und auf einem normalen Videomonitor dargestellt. Der Analog-Scanconverter hat eine hervorragende Dynamik und ein gutes Auflösungsvermögen; er erfordert aber eine sorgfältige Eichung.

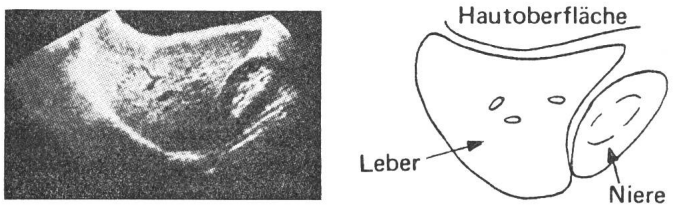


Fig. 6 Beispiel eines B-Scan

Im digitalen Scanconverter wird die Bildinformation, d.h. die Signale von Schallkopf und Spezialarm in einer gewöhnlichen zweidimensionalen Matrix verarbeitet und in einem Digital-Speicher gespeichert. Die Darstellung des Bildes erfolgt auch in diesem Falle auf einem gewöhnlichen Videomonitor. Für das Patientenjournal werden meistens Polaroidaufnahmen vom Videomonitor erstellt. Fig. 6 zeigt eine derartige Aufnahme: Leber und Niere sind im Bild deutlich sichtbar.

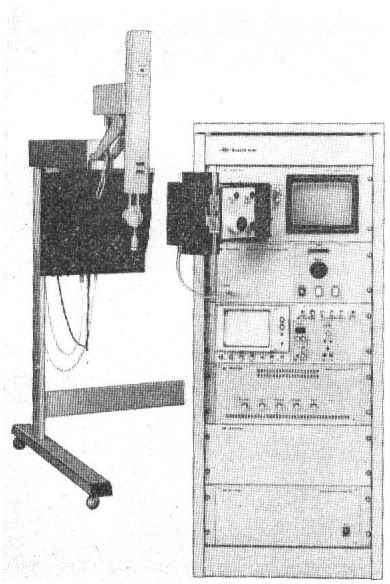
Gegenüber dem einfachen Grundgerät erfordert das B-Scan-Verfahren einen Spezialarm mit elektronischen Steuereinheiten sowie einen Scanconverter (Fig. 7). Das B-Scan ist dabei eine Ergänzung zum A-Bild, welches auf jeden Fall in allen Geräten vorhanden ist.

4. Echtzeit-Systeme

Mit dem beschriebenen B-Scan-System braucht es 5...30 s für den Aufbau eines zweidimensionalen Schnittbildes. Dieses System ist deshalb für die Darstellung von sich bewegenden Objekten, wie z.B. des Herzens und der Herzklappen nicht geeignet. Für eine derartige Aufgabe ist ein Echtzeit-System notwendig. Zwei grundsätzlich verschiedene Echtzeit-Darstellungsarten werden benutzt: das Time-Motion und das Schnittbild-Verfahren.

Im einfachen A-Bild werden die Gewebegrenzflächen in der Form von vertikalen Ablenkungen und im B-Bild in der Form von Lichtpunkten dargestellt. Zeitlich setzt sich jeder Durchlauf aus einer 1 µs langen Sendephase und einer 999 µs langen Empfangsphase zusammen. Innerhalb einer Sekunde ist es deshalb möglich, den Durchlauf überlappend bis zu 1000mal zu wiederholen. Wenn sich dabei eine Gewebegrenzfläche bewegt, manifestiert sich diese Bewegung in einer Hin- und Herbewegung des entsprechenden Echos. Diese Bewegung wird in Funktion der Zeit dargestellt, wenn der ganze Komplex von Lichtpunkten über dem Schirm eines Speicheroszilloskops mit einer konstanten Geschwindigkeit bewegt wird. In Fig. 8 wird die vertikale Bewegung als Zeitbasis verwendet. Dies entspricht jedoch nicht der Norm; das Bild wird in der Praxis um 90° gedreht, damit die Zeitbasis horizontal verläuft. Die vertikale Ablenkung ist dabei dem Abstand von der Hautoberfläche zu den verschiedenen Gewebegrenzflächen proportional. Das Verfahren wird benutzt, um die Bewegungen der Herzklappen zu registrieren. Abweichungen zum Normalmuster sind diagnostisch signifikant.

Das Time-Motion-Verfahren erfordert ausser dem Grundgerät einige Zusatzeinheiten für die zeitliche Bewegung des



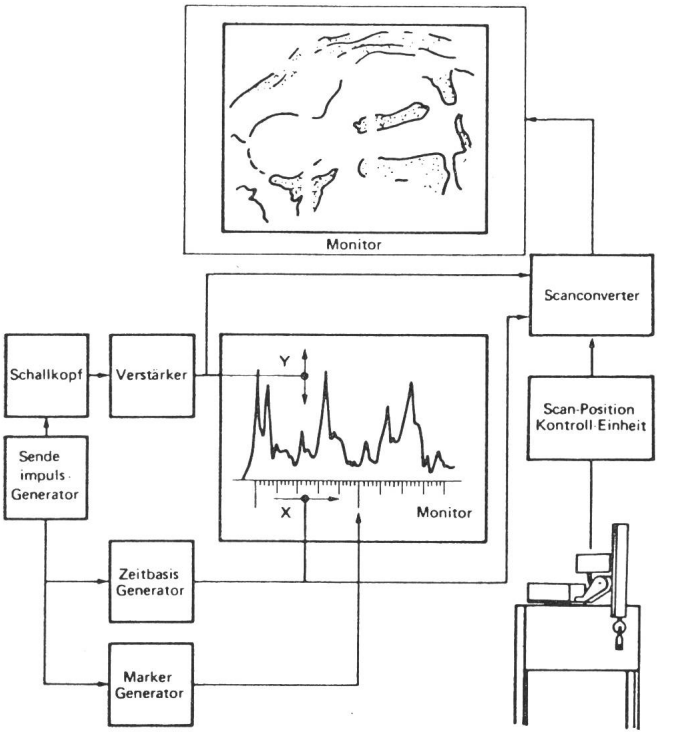


Fig. 7 Das Grauwert-Compound-System

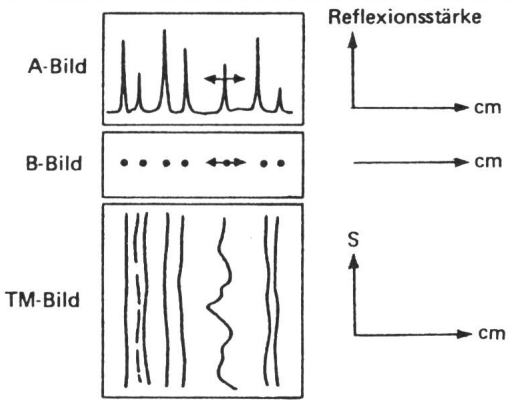


Fig. 8 Das Prinzip der Time-Motion-Darstellung

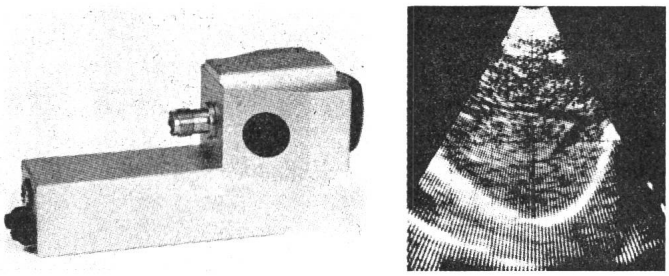


Fig. 9 Rotier-Schallkopf
Bei diesem Wandler wird der Ultraschallstrahl mechanisch bewegt und erzeugt ein Sektor-Bild

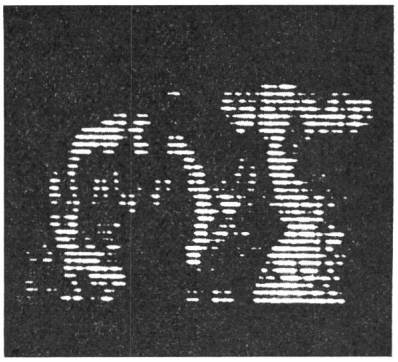


Fig. 10
Bild, aufgenommen mit einem Multielement-Schallkopf

B-Bild-Komplexes und für die Speicherung (Speicheroszilloskop). Mit diesem Verfahren werden Bewegungen innerhalb der Achse des Ultraschallstrahls registriert.

In vielen Fällen ist es von Vorteil, Bewegungen innerhalb einer zweidimensionalen Schnittfläche beobachten zu können. Zu diesem Zweck sind eine Reihe von verschiedenen Schallköpfen (Fig. 9, 10) entwickelt worden. Das Bild wird dabei, wie beim statischen B-Scan-Verfahren, aus einer Anzahl Linien oder B-Bild-Komplexen zusammengestellt. Das Abtasten (Scan) erfolgt jedoch im Gegensatz zum B-Scan-Verfahren durch einen elektronisch oder mechanisch bewegten Ultraschallstrahl, damit der Scan-Ablauf mehrmals pro Sekunde wiederholt werden kann. Dadurch entsteht (wie bei einem gewöhnlichen Kinofilm) der Eindruck eines bewegten Bildes.

Der Multi-Element-Schallkopf (Fig. 10) enthält beispielsweise 30 Kristalle, die zeitlich nacheinander aktiviert werden. Das so entstandene Bild besteht aus 30 Linien. Derartige Schallköpfe werden mit bis zu mehreren hundert Elementen hergestellt.

Zusätzliche Module in Ergänzung zum Grundgerät sind für die Echtzeit-Schallköpfe erforderlich, damit die relative Position der einzelnen Linien festgehalten wird.

Der Kern von allen beschriebenen Geräten ist immer derselbe, und der Ausbau für verschiedene Anwendungszwecke kann sehr unterschiedlich gehalten werden. Es ist deshalb von Vorteil, derartige Geräte in Modultechnik aufzubauen. Ein einfaches Grundgerät kann in diesem Fall zu einem späteren Zeitpunkt für anspruchsvollere Applikationen ausgebaut werden.

Adresse des Autors
Bent Bagger Sørensen, Ing. Techn. HTL, Brüel & Kjaer (Schweiz) AG, Steinackerstrasse 7, 8180 Bülach