



Wieslaw Bicz

## Dem Fingerabdruck auf der Spur

### Struktur-Untersuchung der Papillarlinien per Ultraschall

*Neben dem Ansatz, den Fingerabdruck über Halbleiter- oder optische Verfahren zu identifizieren, gibt es weitere Methoden. Ein Verfahren setzt dabei auf Ultraschall – die Täler und Erhebungen erzeugen charakteristische Veränderungen der Schallwelle, die mittels Elektronik ausgewertet werden können.*

In den letzten Jahren läßt sich die Entstehung einer neuen Branche beobachten, der Biometrie. Menschen sollen aufgrund ihrer biologischen Merkmale identifiziert werden: Stimme, Dynamik der Bewegungen, Gestaltung des Gesichts, Muster der Netzhaut oder Iris. Vielleicht die größten Hoffnungen setzen Entwickler aber in die Strukturerkennung der Haut der Fingerkuppen, die für den Fingerabdruck verantwortlich ist.

Es bestehen keinerlei Zweifel, daß der Verlauf der dort auftretenden papillaren Linien für jeden Menschen charakteristisch ist und sich im Laufe seines Lebens nicht verändert. Da das Berühren eines Sensors mit dem Finger nicht kompliziert ist, hoffen etliche Erfinder biometrischer Geräte, eine Taste zu entwickeln, die „weiß“, wer sie drückt und mit welchem Finger [1, 2, 3].

Seit einigen Jahren gibt es schon optische Geräte, die die Struktur der papillaren Linien direkt vom Finger lesen kön-

nen. Die klassischen Werkzeuge der Kriminalpolizei – das Papier und die Tusche – haben jedoch immer noch nicht ausgedient, obwohl seit der Zeit der Erfinder der Daktyloskopie schon mehr als hundert Jahre vergangen sind [4, 5].

Optische Methoden haben nämlich ihre Nachteile: Das unmittelbare Bild des Fingers hat einen sehr geringen Kontrast. Es ist leichter, darauf Schmutz zu sehen als papillare Linien. Das dreidimensionale Bild ist schwer zu bewerkstelligen und versagt bei abgewetzten Fingerkuppen. Die Ausnutzung der Lichtreflexion von der Oberfläche des Festkörpers, auf dem der Finger liegt, ist dagegen sehr empfindlich gegen Fett, Wasser und Schmutz – es schadet sowohl zu viel als auch zu wenig davon. Keine optische Methode kann außerdem leicht feststellen, womit sie es zu tun hat: ob das, was sie sieht ein lebender, echter Finger, eine Attrappe oder vielleicht eine auf der Sensoroberfläche zurückgelassene Spur ist [6].

Da optische Geräte nicht alle Erwartungen erfüllen, verwundert es nicht, daß auch andere Methoden vorgeschlagen wurden: Von Constantine Tsikos stammt die Idee, lokale Kapazitäten zwischen der Haut und einem flachen Sensor zu messen [7]. Diese Methode wird u.a. von STMicroelectronics [8], Veridicom und Siemens entwickelt [3, 9]. Die praktischen Erfahrungen mit diesen Geräten zeigen, daß sie keine besseren Bilder als die klassischen optischen Geräte produzieren; sie sind lediglich billiger.

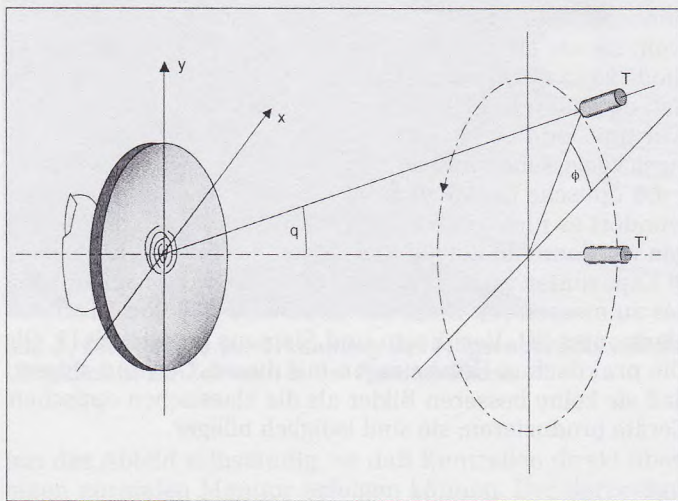
### Fingerabdruckererkennung mittels Ultraschall

Die Forscher der heutigen Firma Optel im polnischen Wroclaw hatten 1986 als erste die Verwendung von Ultraschall zur Erkennung der Papillarlinien vorgeschlagen. Das

Projekt wäre aber wahrscheinlich ohne die Mitarbeit von Professor Wolfgang Grills (heute Uni Leipzig) nicht vorangekommen. Vorteile dieser Methode: einfache Unterscheidung lebender Finger von künstlichen Objekten, unempfindlich gegen Wasser, Fett und Schmutz sowie abgenutzte Fingerkuppen (*Kasten*, S.62). Die Methode bietet zudem Perspektiven, die neue Anwendungen denkbar machen. So kann z.B. über eine beliebig große und gebogene Oberfläche auf die Berührung sowohl eines als auch mehrerer Finger reagiert werden. Zudem sind Position und Bewegung zu bestimmen. Ein solches Gerät könnte heutige Tastaturen, Mäuse und Grafiktablets wie auch Fingererkenntnisgeräte und Kartenleser ersetzen. Da die berührungsempfindliche Fläche durchsichtig sein kann, sind „erkennende“ Bildschirme möglich. Die Technologie erlaubt auch die Entwicklung kleiner Systeme, die die Form eines Chips haben können. Damit sind aber keinesfalls alle Möglichkeiten der Technologie aufgezählt.

### Grundlage der Ultraschalltechnik

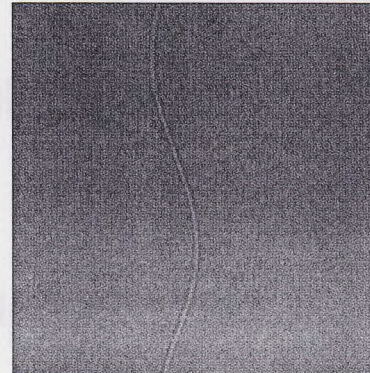
Die Ultraschallerkennung beruht auf folgender Erscheinung: Wenn eine Schallwelle die Oberfläche eines Festkörpers erreicht, die mit einem anderen Objekt in Berührung steht, und an der Kontaktfläche Unregelmäßigkeiten wie Ecken oder Kontaktstellen entstehen, kommt es an solchen Stellen nicht nur zum Übergang der Welle von einem Körper zum anderen. Es läßt sich auch eine zusätzliche Streuung und Entstehung von anderen Wellenarten beobachten. Ursache ist die Veränderung der Fortpflanzung des Schalls in der Nähe der Oberfläche des Festkörpers, die durch den Kontakt mit dem angelegten Objekt entsteht – nachfolgend als Kontaktstreuung bezeichnet. Diese Streuung wird nicht nur durch die Kontaktstellen, sondern auch durch die nahen Bereiche des angelegten Objektes verursacht – also die oberflächennahe Struktur. Diese Erscheinung hängt sehr stark vom Material des angelegten Objektes ab.



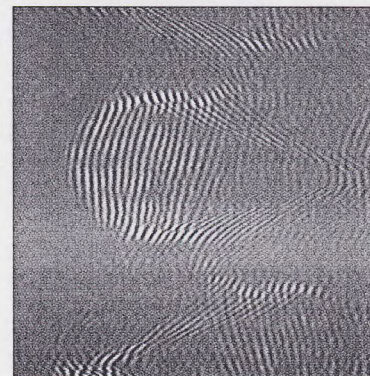
**Bild 1.** Die Wellen, die durch das angelegte Objekt kontaktgestreut werden, empfängt ein Schallwandler (T), der eine Ringbewegung ausführt, deren Achse senkrecht zu der Kontaktfläche (x-y) ist. Eine weitere Position auf der Kreisbahn des Wandlers ist mit T' gekennzeichnet.

Versuche zeigen, daß der Übergang der Welle vom Festkörper zum angelegten Objekt u.U. gar nicht stattfinden muß. Besonders deutlich sichtbar ist es bei den Scherwellen. An den Kontaktstellen entstehende Störungen der Wellenfortpflanzung betreffen hauptsächlich die Phase: Die räumliche Form der Wellenfront verändert sich. Eben solche Modifikationen der Wellenbewegung sind die unmittelbare Ursache der Kontaktstreuung.

Ein Beispiel belegt die Stärke der Erscheinung: Ein Wandler sendet eine Schallwelle und empfängt bei direkter



**Bild 2.** Das Abbild der Impulsantworten einer Kugel. Es entsteht durch die Informationen aus 256 Richtungen. In jede dieser Richtungen wird ein kurzer Puls gesendet und die Impulsantwort empfangen. Die Zeit ist auf der horizontalen, der Winkel auf der vertikalen Achse gezeigt. Der momentanen Signalamplitude entspricht die lokale Schwärzung des Bildes – mittleres Grau bedeutet Nullwert.



**Bild 3.** Die Impulsantwort eines Fingers ist bei weitem komplexer als die der einfachen geometrischen Figur der Kugel. Die Interpretation des Bildes entspricht der von Bild 2.

Schallreflexion von der freien Oberfläche eines Festkörpers ein Signal von 1 V. Wird an die beschallte Oberfläche eine Messingkugel von 2 mm Durchmesser angelegt, läßt sich in einem Winkel von 20° ein Signalpegel von etwa 1 mV messen. (Die Strukturen der Fingerkuppen produzieren in diesem Fall Signale in der Größenordnung von 10 mV). Die Zahlen gelten für longitudinale Wellen; bei Scherwellen ist die Erscheinung viel stärker.

### Kontaktreflexionen führen zum Fingerabdruck

Die oben beschriebene Erscheinung ist die Grundlage für das Erkennungssystem. Es werden die durch die Kontaktstreuung verursachten Signale gemessen. Daraus läßt sich das Bild der Struktur berechnen, die die Sensorfläche berührt.

Die Kontaktfläche des Geräts, an die die zu untersuchende Struktur angelegt ist, wird von der rechten Seite von einer Ultraschallwelle erreicht (*Bild 1*). Die Wellen, die durch

das angelegte Objekt kontaktgestreut werden, empfängt der gleiche Schallwandler, der eine Ringbewegung ausführt, deren Achse senkrecht zu der Kontaktoberfläche ist. Möglich ist auch die Nutzung mehrerer unbeweglicher statt eines beweglichen Wandlers.

Um die Struktur mit einer Genauigkeit von etwa 0,1 mm aufzulösen, ist es nötig, die Information aus 256 Richtungen (Punkten des Rings, den der Wandler beschreibt) zu sammeln. In jede dieser Richtungen wird ein kurzer Puls gesendet und die Impulsantwort empfangen. Im Falle eines Fingers bewegt sich das Frequenzspektrum aufgrund der gewählten Gerätegeometrie zwischen 4 und 16 MHz. *Bild 2* zeigt den Satz der Impulsantworten für eine Kugel, *Bild 3* für einen Finger. Um aus solchen Daten eine Abbildung der zu untersuchenden Struktur zu extrahieren, ist es nötig, eine Rekonstruktion durchzuführen, die ziemlich genau den Prozeduren entspricht, die in der Ultraschallreflexionstomographie verwendet werden [17, 19]. Dabei sorgen neu entwickelte Programme für eine gute Qualität der Bilder und schnelle Ausführungszeiten. Die Algorithmen rekonstruieren das Bild aus dem Satz von 256 Impulsantworten mit je 256 Abtastwerten in etwa 20 ms (Pentium 200 MHz).

Die Rekonstruktion, die aus den Impulsantworten einer Kugel errechnet wurde, zeigt *Bild 4*, die aus den Daten eines Fingers *Bild 5*.

### Höhere Auflösung notwendig

Die Nutzung der oben beschriebenen Erscheinung sowie der aus der Tomographie bekannten Prozeduren würde keinesfalls reichen, um eine Ultraschallkamera zu bauen.

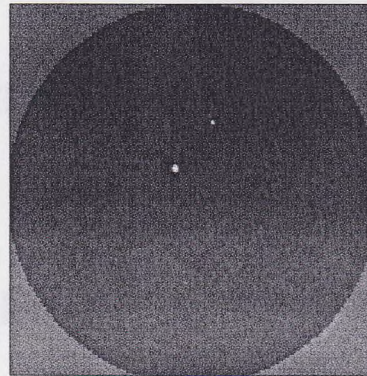
### Vorteile der Ultraschallkamera

- Objekte mit ähnlicher Struktur, aber aus verschiedenen Materialien, produzieren verschiedene Signale (unterschiedlich sind sowohl die Amplitude als auch andere Signaleigenschaften). Die Struktur ist in jedem Fall lesbar. Es ist dadurch möglich, echte Finger von Nachahmungen zu unterscheiden. Die entsprechende Signalauswertung erlaubt auch die Feststellung, ob der Finger lebt (Blutzirkulation in der oberflächennahen Hautschicht wird gemessen).
- Falls das zu untersuchende Objekt mit Fett, Wasser oder Gel beschmiert wird, sind keine nennenswerten Veränderungen des Signals zu erkennen.
- Die Fettspur, die von der Berührung mit einem normal fetten Finger bleibt, ist kaum sichtbar, da das Niveau des Signals, das sie produziert, ca. 30 dB schwächer ist als bei aufgelegtem Finger. Die Fixierung dieser Spur mit Hilfe von Ruß oder Metallpulver ändert daran nichts. Zum Vergleich: Bei den optischen Geräten ist die Spur vergleichbar mit dem Bild des aufgelegten Fingers.
- Finger mit abgewetzter Hautoberfläche produzieren trotzdem ein ziemlich gut lesbares Bild, da die interne Struktur noch vorhanden ist.

Weitere Probleme sind zu lösen: Um die notwendige Auflösung zu erreichen, ist es erforderlich, eine Vorrichtung zu bauen, die eine relativ kleine Öffnung besitzt, einen

Gauß'schen Ultraschallstrahl mit großer Amplitude sendet und auch als empfindlicher Empfänger funktionieren kann. Diese Vorrichtung wurde von Optel entwickelt und patentiert [16].

Neuartige Ultraschallwandler erzeugen und empfangen kurze Impulse, die in der Bandbreite dem Spektrum der Impulsantwort des Fingers (4 bis 16 MHz) entsprechen. Die Phasenübertragungsfunktion dieser Wandler ist zudem im genannten Bereich sehr flach. Die Ultraschallimpulse sind minimal 20 ns lang (*Bild 6*). Die Empfangsbandbreite be-



**Bild 4.** Aus den gewonnenen Daten der Impulsantworten läßt sich über einen Algorithmus das Ausgangsobjekt berechnen. Die Abbildung zeigt die rekonstruierte Kugel, deren Impulsantwort in Bild 2 zu sehen ist.



**Bild 5.** Die Daten des Bildes 3 ergeben das Abbild des Fingerabdrucks. Die Algorithmen konstruieren das Bild aus einem Satz von 256 Impulsantworten mit je 256 Abtastwerten in etwa 30 ms (Pentium 200 MHz).

trägt 4 bis 25 MHz. Die Amplitude der Sendesignale ist rund zweimal größer als bei klassischen Wandlern, die Empfindlichkeit dagegen etwas geringer. In der Betriebsart Senden-Empfangen entsprechen sie daher (was die Effektivität betrifft) in etwa den klassischen Wandlern.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die notwendige Elektronik. Der Sender generiert Impulse mit einer maximalen Amplitude von 600 V. Der Empfänger analysiert die Signalpegel von etwa 5  $\mu$ V (Bereich 4 bis 25 MHz) bei einer Dynamik von 60 dB. Die für das Gerät entwickelte Oszilloskopkarte erreicht 200 Millionen Abtastungen pro Sekunde und ist besonders für die Analyse von zusammenhängenden Sätzen der Ultraschallsignale geeignet (es geht hier vor allem um zeitliche Toleranzen, die sich in einem solchen Fall in sehr engen Grenzen halten müssen).

Letztendlich fehlen für ein System noch die Algorithmen. Neben der Fingerabdruckerkennung ermöglichen die entwickelten Algorithmen auch eine Komprimierung der Daten, die die Strukturen der papillaren Linien beschreiben. Derzeit beträgt die Datenmenge etwa 100 Byte. Eine Redu-



**Bild 6.** Die Impulsdauer des entwickelten Wandlers beträgt etwa 20 ns. Die Empfangsbandbreite liegt zwischen 4 und 25 MHz.

zierung auf etwa 30 Byte ist wahrscheinlich. Aus diesen Daten ist die komplette Rekonstruktion des Fingerabdrucks möglich.

### Echtzeit mit 25 Bildern/s

Den derzeitigen Prototyp des Systems mit einem beweglichen Wandler zeigt *Bild 7*. Im zweiten Halbjahr 1998 wird eine neue Gerätegeneration mit unbeweglichen Wandlern in der Lage sein, das Bild der angelegten Objekte mit 25 Bildern/s zu zeigen. Zusätzliche Elektronik rekonstru-



**Bild 7.** Die Kamera zur Erkennung des Fingerabdrucks mittels Ultraschall ist zur Zeit noch in der Prototyp-Phase.

iert das Abbild selbständig, so daß Kontrollen direkt über einen normalen Monitor erfolgen können. Der derzeitige Prototyp benutzt einen sich bewegenden Wandler, der 5 Bilder/s produziert. Die Signalverarbeitung und Darstellung übernimmt ein PC. Eine kompakte Version der Ultraschallkamera mit einer Glasplatte mit ca. 10 cm Durchmesser wird wahrscheinlich Ende 1998 fertiggestellt. Mit fort-

schreitender Miniaturisierung ist die Form eines Chips möglich. we

### Literatur

- [1] *Newham, E.*: The Biometrics Report. SJB Services, ISBN 1-900-18009.
- [2] *Mohrmann, D.*: Biometrie als Quantensprung? W&S 1997, H. 7, S. 28. Hüthig Verlag, Heidelberg.
- [3] *Müller, H.*: Der Körper als Passwort. PC Magazin 1998, H. 1, S. 256, WEKA Computerzeitschriften-Verlag, Poing.
- [4] *Galton, F.*: Finger Prints. Macmillan and Co., London/New York 1892; Neuauflage: Da Capo Press, New York 1965.
- [5] *Lee, H.; Gaensslen, R.*: Advances in Fingerprint Technology. Elsevier, 1991. ISBN 0-444-01579.
- [6] *Andersen, L.; Jürgensen, P.*: Fingerprint Verification – for use in Identity Verification Systems. Master Degree Work, Aalborg University, 1993.
- [7] EP 0 041 693 A1, Siemens AG, 1981.
- [8] Fingerprint-Chips. Markt&Technik 1997, H. 50, S. 46, Magna Media Verlag, Haar.
- [9] Der Fingertip-Sensor. Blick durch die Wirtschaft 1997, 18.12.97, Seite 6, FAZ Verlag, Frankfurt am Main.
- [10] *Gumienny, Z.; Pluta, M.; Bicz, W.; Kosz D.*: Rekonstrukcja struktur dwuwymiarowych z zastosowaniem algorytmu FFT. Akustyka Molekularna i Kwantowa, Heft 15, 1994.
- [11] *Gumienny, Z.; Pluta, M.; Bicz, W.; Kosz D.*: Synthetic aperture acoustic microscope for evaluation of fingertip peripheral skin structure. SPIE Ausgabe 2390.
- [12] *Gumienny, Z.; Pluta, M.; Bicz, W.*: Ultrasonic Sensor for Fingerprint Recognition. SPIE Ausgabe 2634.
- [13] *Gumienny, Z.; Pluta, M.; Bicz, W.; Kosz D.*: Ultrasonic Setup for Fingerprint Patterns Detection and Evaluation; Acoustical Imaging. Ausgabe 22, Plenum Press, 1996.
- [14] World Patent WO-A-8 705 790. Sonident.
- [15] US Patent 5258922. Sonident.
- [16] US Patent 5515298. Sonident.
- [17] *Fay, B.*: Strukturuntersuchungen mit Hilfe der Ultraschallrückstreuung. In *Brendel, K.*: Stand und Entwicklungstendenzen der Ultraschallmeßtechnik. Vorträge des 64. PTB-Seminars 1986. ISBN 3-88314-684-6.
- [18] *Herman, G.; Louis, A.; Naterrer, F.*: Mathematical Methods in Tomography, Proceedings. Springer Verlag, 1990. ISBN 3-540-54970-6.
- [19] *Kak, A.; Slaney, M.*: Principles of Computerized Tomographic Imaging. IEEE Press, 1988. ISBN 0-7803-0447-0.



**Dipl.-Ing. Wieslaw Bicz** wurde in Kedzierzyn-Kozle, Polen, geboren; sein bisheriges Leben hat er aber in Breslau und in der Gegend um Frankfurt am Main verbracht. An der TU Breslau hat er Fachrichtung Optik (Holographie) studiert. Seit Jahren beschäftigt er sich (zuletzt als Geschäftsführer der Firma Optel in Wrocław, Polen) mit Ultraschalltechniken – speziell mit ihrer Anwendung für die Fingerabdruckerkennung. Dem Optel-Team, das diese Entwicklung vorangetrieben hat, gehören außerdem folgende Personen an: Dariusz Banasiak, Pawel Bruciak, Zbigniew Gumienny, Stanislaw Gumulinski, Dariusz Kosz, Agnieszka Krysiak, Wladyslaw Kuczynski, Mieczyslaw Pluta und Grzegorz Rabiej.