

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: 80 (1989)

Heft: 7

Artikel: Hören durch die Haut

Autor: Uvaek, B.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-903665>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

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

Hören durch die Haut

B. Uvaček

Die Analyse und Erkennung akustischer Ereignisse spielt nicht nur in der Automatik und Robotik eine entscheidende Rolle, sondern kann auch dazu dienen, gehörlosen Mitmenschen wichtige Informationen, wie z.B. Gefahrensignale, mitzuteilen. Der vorliegende Beitrag beschreibt ein Projekt, bei dem solche Signale apparativ detektiert und dem Gehörlosen über die Tastorgane zur Kenntnis gebracht werden.

L'analyse et l'identification d'événements acoustiques ne joue pas que dans l'automatique et la robotique un rôle décisif, elle sert aussi à communiquer au prochain sourd des informations importantes, par exemple des signaux de danger. L'article décrit un projet permettant la détection de signaux et la transmission de ceux-ci au sourd par l'intermédiaire des organes du toucher.

Allein in der Schweiz leben etwa 6000 gehörlose Mitmenschen. Für sie wäre es eine wichtige Hilfe, wenn sie akustische Alarmsignale in verschiedener Umgebung erkennen könnten, zum Beispiel:

- zu Hause: die Türglocke, die Eieruhr, das Telefon,
- im Verkehr: die Autohupen, die Tramglocken,
- bei Katastrophen: der Feuersalarm, der Smogalarm, die Polizeisirene,
- zwischen Menschen: ein Babygeschrei, die Namen.

Seit einiger Zeit arbeitet eine Forschungsgruppe des Instituts für Signal- und Informationsverarbeitung an einer Lösung dieses Problems, wobei man schon sehr früh die Idee des Durch-die-Haut-Hörens verfolgte. Dabei sollte also die akustische Information über die Haut übertragen werden. Bereits in den ersten Versuchen stellte sich heraus, dass die Haut nicht in der Lage ist, die gesamte akustische Information der Umwelt aufzunehmen; sie reagiert zu langsam. Zudem müsste der Gehörlose die ganze Zeit über die Signale auf der Haut bewusst und konzentriert verfolgen, um ja nicht irgendeinen Alarm zu verpassen. Die Benutzer sollten also von dieser Aufgabe entlastet und die Alarmerkennung maschinell vorgenommen werden. Nur wenn ein Alarm vorhanden ist, soll dieser auf der Haut angezeigt werden. Auf englisch nennt man diese Methode Tips (Tactile Identification of Preclassified Signals).

Das menschliche Gehör

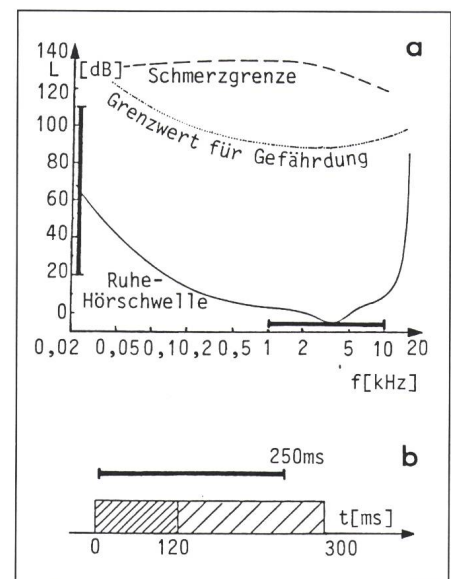
Beim Tips hat ein technisches, akustisches Erkennungssystem die Anforderungen des menschlichen Gehörs zu erfüllen. Dieses soll deshalb im folgenden näher untersucht werden. Mit dem

Gehör nehmen wir drei Hörgrößen wahr:

- die Tonhöhe,
- die Lautstärke,
- und die Zeitdauer von Signalen.

Den nutzbaren Bereich zeigen die zwei Diagramme der Figur 1. Die Hörfläche wird begrenzt durch den tiefsten und höchsten hörbaren Ton sowie die kleinste und grösste Lautstärke.

Die Figur 1 b zeigt, dass die Zeitdauer, die wir zusammenhängend auswerten können, höchstens 120...300 ms beträgt. Neben dem Hörbereich kann man die Auflösung, d. h. die kleinste wahrnehmbare Änderung



Figur 1 Hörgrößen

— Technische Nachbildung

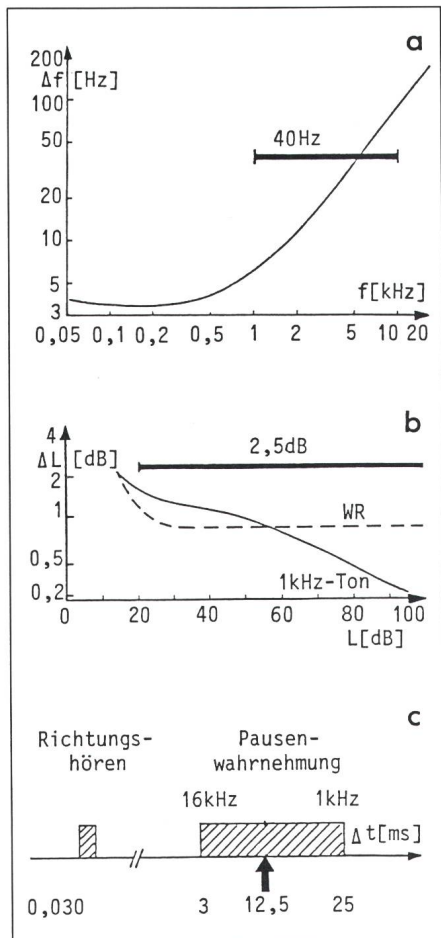
- a Die Hörfläche wird begrenzt durch den tiefsten (20 Hz) und den höchsten (20 kHz) hörbaren Ton sowie die kleinste (0 dB) und grösste (130 dB) Lautstärke [1].
- b Das menschliche Ohr kann nur eine bestimmte maximale Zeitdauer (120...300 ms) zusammenhängend auswerten.

Adresse des Autors

Bohumir Uvaček, Dr. sc. techn., Phonak AG, Laubisrütistrasse 28, 8712 Stäfa.

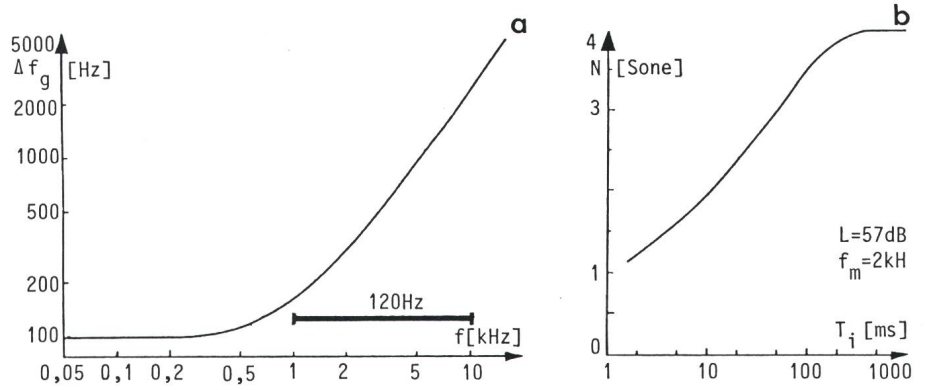
einer Hörgrösse (Tonhöhe, Lautstärke, Zeitdauer), messen. Die Figuren 2 a, b, c zeigen diese kleinsten Änderungen.

Zwei weitere Eigenschaften runden die Übersicht über die wichtigsten Leistungen unseres Gehörs ab. Es sind Eigenschaften, die wir nur bei komplexen Signalen, die aus mehreren Teiltönen bestehen, bemerken. Die *Integration* der Lautstärke, das heisst, die summierte Wahrnehmung benachbarter Lautstärkeile als eine Gesamtlautstärke, geschieht bei verschieden hohen Teiltönen innerhalb einer Frequenzgruppe (Fig. 3 a) und innerhalb der Dauer von 125 ms (Fig. 3 b). Die *Verdeckung* schliesslich beschreibt das Phänomen, dass schwache Töne in der Frequenz-Nachbarschaft eines starken Tones nicht gehört werden. Für verschieden hohe Töne sieht die Verdeckungsgrenze glockenförmig aus, wie Figur 4 a zeigt. Ein starker Ton in der



Figur 2 Auflösung - kleinste wahrnehmbare Änderung einer Hörgrösse

- Technische Nachbildung
- a Auflösung in der Tonhöhe [1]
- b Auflösung in der Tonstärke [1]
- c Auflösung der Zeitdifferenzen und Pausen



Figur 3 Summierung der Lautstärke

- a innerhalb der Frequenzgruppen [1]
- b innerhalb der Zeit [1]
- Technische Nachbildung
- Δf_g Bandbreite der Frequenzgruppe
- sonne physiologische Einheit der Lautstärke
- T_i Signaldauer
- L Signallautstärke
- f_m Signalfrequenz

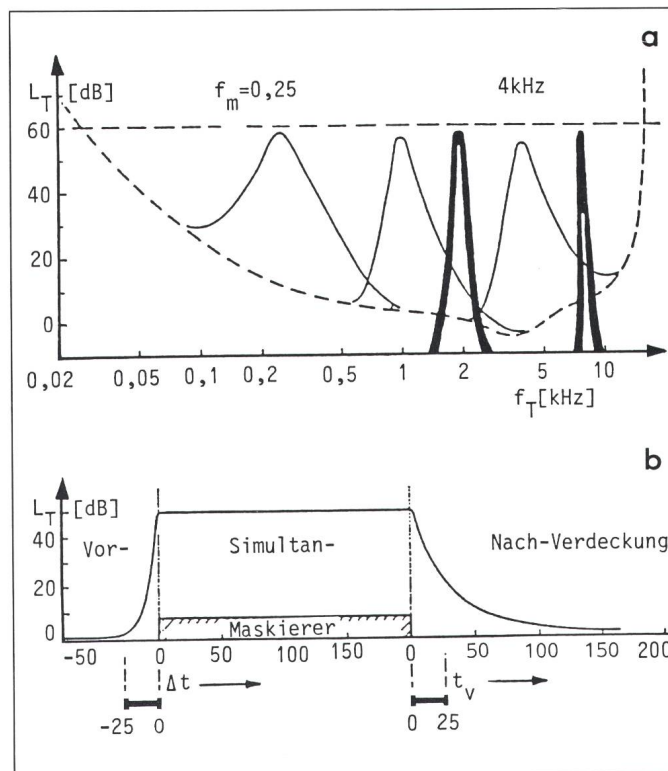
Mitte der Verdeckungskurve macht leisere Töne in seiner Nachbarschaft unhörbar. Ähnlich werden auch leisere Töne verdeckt, die kurz vor oder nach einem starken Ton auftreten (Fig. 4 b). Diesen Effekt nennt man Zeitverdeckung.

Die erwähnten Höreigenschaften erlauben uns, immer die wichtigste Information aus einem Tongemisch wahrzunehmen. Die gleiche Eigenschaft muss deshalb auch von der technischen Erkennung verlangt werden.

Wie gut diese Nachbildung gelungen ist, zeigen die dicken Balken und Pfeile in den Figuren 1...4. Die folgenden Abschnitte geben einen Einblick in die Grundkonzepte der technischen Realisierung.

Die Signaltransformation

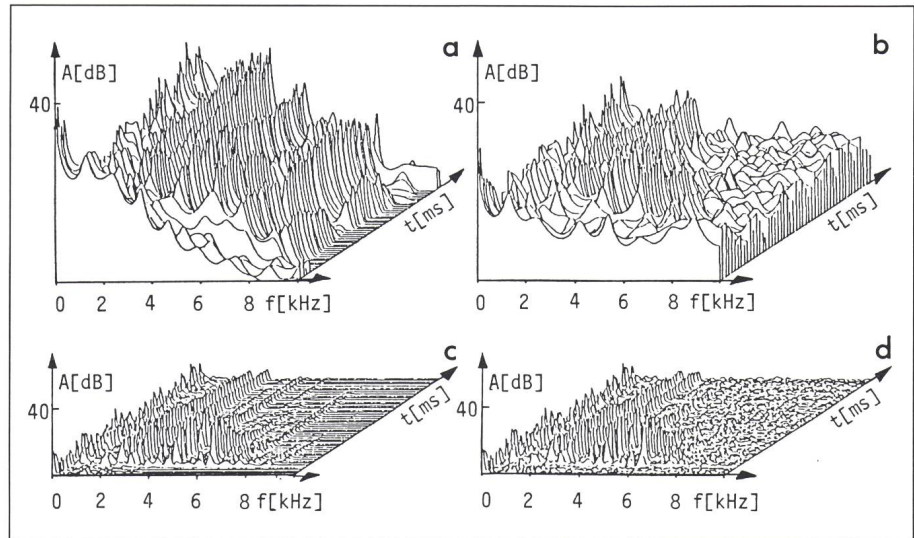
Das menschliche Gehör zerlegt den ankommenden Schall in die verschiedenen hohen Teiltöne. Technisch gesprochen findet eine Zerlegung in verschie-



Figur 4 Verdeckung

- Technische Nachbildung
- a von hohen und tiefen Tönen in der Frequenz-nachbarschaft eines starken Tones (Frequenzverdeckung) [1]
- f_T Tonfrequenz
- L_T Lautstärke des Prüftons
- b von schwachen Tönen in der zeitlichen Nachbarschaft eines starken Tons (Zeitverdeckung) [1]
- L_T Lautstärke in dB
- Δt Vorverdeckung in ms
- t_v Nachverdeckung in ms

dene Frequenzen statt. In der Sprachanalyse wird für diese Frequenzerlegung die LPC-Transformation eingesetzt (Linear Predictive Coding). Leider kann die LPC-Zerlegung durch Nebengeräusche leicht gestört werden. Unempfindlicher ist die Fouriertransformation (FFT). Sie zerlegt jedes Signal so in Sinusfunktionen verschiedener Frequenz, dass deren Summe wieder das ursprüngliche Signal ergibt. Der Rechenaufwand ist grösser als bei der LPC, doch können zwei- bis dreimal mehr Störgeräusche verkraftet werden. Die Figuren 5 a...5 d zeigen die LPC- und FFT-Zerlegung des Signals einer Tramglocke mit und ohne Rauschen.



Figur 5 Signaltransformation

<i>A</i>	Amplitude
<i>f</i>	Frequenz
<i>t</i>	Zeit (Ausschnitt von 350 ms)
oben	LPC-transformierte Tramglocke: rein (a) und durch Rauschen gestört (b)
unten	FFT-transformierte Tramglocke: rein (c) und durch Rauschen gestört (d)

Bei genauer Betrachtung sieht man, dass das FFT-Bild durch die Störung praktisch nicht verändert wird. Eine noch robustere Zerlegung zeigt die hier nicht dargestellte EIH-Transformation (Ensemble Interval Histograms). Sie verkraftet etwa sechsmal mehr Störgeräusche als die LPC; der Rechenaufwand ist allerdings zehnmal grösser als bei der FFT. Die EIH lehnt sich an ein Funktionsmodell des Gehörs an, welches die Zerlegung sehr naturähnlich vornimmt. Wegen des Rechenaufwandes hat man sich am Institut für Signal- und Informationsverarbeitung für die FFT entscheiden müssen, d.h. für die Zerlegung des Signals in Sinusfunktionen.

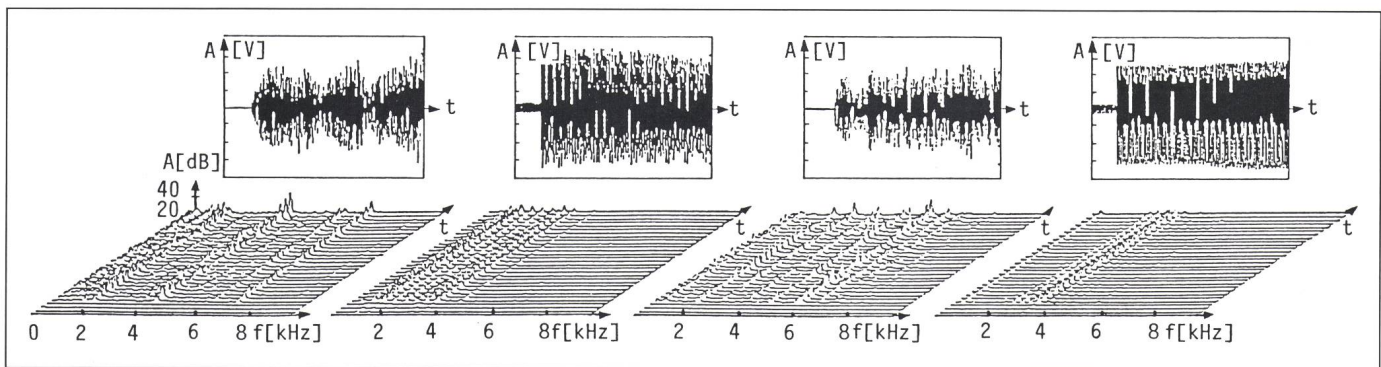
Die Alarmsignale

Eine Auswahl von Alarmsignalen zeigt die Figur 6. Neben dem zeitlichen Verlauf des Schalldrucks ist der Verlauf des Spektrums über die Zeit aufgeführt (Spektrum der Teiltöne). Wir

stellen fest, dass die Frequenzen der Teiltöne bis zu 8 kHz betragen (z.B. Telefon). Man erkennt aus Figur 6 auch ein typisches Merkmal der meisten Alarmsignale: Das Spektrum enthält wenige typische Spitzen, die während der Dauer des Alarms immer am gleichen Ort bleiben (Berggrücken). Die gezeigten Ausschnitte sind 350 ms lang und lassen erkennen, dass nach 250 ms (zweimal die Summationsdauer der Lautstärke) die typischen Merkmale des Signals bereits erkennbar sind. Die Erkennung stützt sich deshalb auf die erste Viertelsekunde des Signals ab.

Speicherung und Erkennung der Alarmsignale

Damit in einem tragbaren Gerät die Signale gespeichert werden können, muss man ihre Beschreibung stark vereinfachen. Wir sahen, dass die wichtigste Information über ein Alarmsignal in den Berggrücken der Spektrumdarstellung, und zwar innerhalb einer Zeit von 250 ms, zu finden ist. Stellvertretend für ein Signal werden deshalb die Berggrücken durch einige Zahlen beschrieben und gespeichert. Diese Zahlen werden Merkmale genannt; zusam-



Figur 6 Zeitverläufe und Spektren einiger Alarmsignale

Länge des Signalausschnitts 350 ms

A Amplitude in dB und in Volt ($\pm 3V$)

t Zeit in Millisekunden

Aussen links Telefon
Mitte links Autohupe 1

Mitte rechts Tramrassel
Aussen rechts Autohupe 2

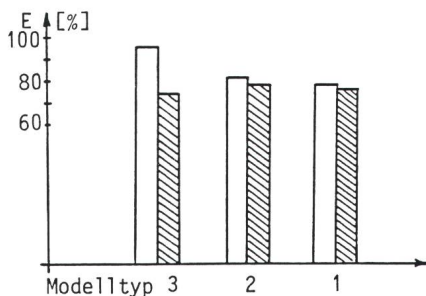
men bilden sie einen oder mehrere Merkmalvektoren. Beispiele für Merkmale sind:

- die Anzahl grosser Bergrücken,
- die gemittelte Lage der Bergrücken im Spektrum,
- die Streuung der Lautstärke der einzelnen Bergrücken,
- das Verhältnis der gemittelten Lautstärke der zwei grössten Berge.

Wir arbeiten mit 16 Merkmalen, wobei wir diese alle 25 ms (40mal in der Sekunde) neu berechnen. Soll ein neues Signal im Erkennungsgerät gespeichert werden, so müssen etwa 10 ähnliche Signale (z.B. Türglocken) oder das gleiche Signal aus 10 verschiedenen Entfernungen mit dem Mikrofon des Geräts aufgenommen werden. Bei jeder Aufnahme wird der Signalanfang gesucht; dann werden 3 Merkmalvektoren berechnet. So erhält man von der neuen Signalklasse 30 Merkmalvektoren.

Nun kommt die nächste Vereinfachung bei der Speicherung einer Alarmklasse ins Spiel. Anstatt alle 30 Vektoren zu speichern, merken wir uns nur den Mittelwertsvektor, den man aus dem Mittelwert jedes Merkmals gewinnt. Der Mittelwertsvektor ist das einfachste Modell, das wir für die Speicherung einer ganzen Alarmklasse brauchen können. Ein besseres Modell speichert neben dem Mittelwertsvektor auch die Streuung jedes Merkmals (Streuungsvektor) und ein noch besseres nebst dem Mittelwertsvektor den Mittelwert aller möglichen Produkte zweier Merkmale, d. h. die Kovarianzmatrix. Diese drei Modelltypen wurden in Simulationen getestet. Im realisierten Erkennungsgerät wird der zweite Modelltyp (mit der Streuung) eingesetzt.

Bei der Erkennung wird laufend alle 25 ms ein Merkmalsvektor gebildet und mit dem Mittelwertsvektor jeder Alarmklasse verglichen. Dabei wird die Summe aller positiven Differenzen zwischen dem Merkmals- und dem Mittelwertsvektor berechnet. Die Alarmklasse mit der kleinsten Summe der Abweichungen wird als erkannt angezeigt. Beim zweiten Modelltyp wird jede Abweichung durch die entsprechende Streuung dividiert, bevor summiert wird. Falls beim Modell die Streuung gross war, wird dadurch bei der Erkennung die entsprechende Abweichung stark abgeschwächt; sie spielt dann in der Summe eine kleinere Rolle. Der dritte Modelltyp bildet, vereinfacht gesagt, die Abweichungssum-



Figur 7 Sicherheit bei der Selbst- und Fremderkennung mit den drei vorgestellten Modelltypen

Modelltypen:
 1 Mittelwertsvektor
 2 Streuungsvektor
 3 Kovarianzmatrix

Es wurde zwischen zwei Erkennungsleistungen unterschieden:

- Selbsterkennung: Erkennung eines Signals, das für die Modellbildung verwendet wurde.
- Fremderkennung: Erkennung eines Signals, das nicht im Modell gespeichert wurde, aber zur gleichen Alarmklasse gehört.

me aller Produkte von zwei Merkmalen. Wenn der Merkmalsvektor nicht mit dem Mittelwertsvektor übereinstimmt, erhält man sehr grosse Abweichungssummen. Signale, die zu keiner Klasse gehören, erkennt man daran, dass die Abweichungssumme bei allen Alarmmodellen über einer vorgegebenen Grenze bleibt.

Die Zuverlässigkeit der Alarmerkennung

Mit jedem der drei obengenannten Modelltypen wurde ein Erkennungsexperiment durchgeführt. Dabei sollten je 50 Signale aus 4 Alarmklassen (Telefone, Tramrasseln, Tramglocken, Autohupen) richtig erkannt werden. Die aus vielen Versuchen gemittelten Resultate für die drei Modelltypen sind in der Figur 7 dargestellt, wobei zwei Erkennungsleistungen unter-

schieden wurden: Bei der Selbsterkennung ist ein Signal zu erkennen, das für die Modellbildung verwendet wurde, bei der Fremderkennung ein Signal, das nicht im Modell gespeichert wurde, aber zur gleichen Alarmklasse gehört.

Zu jeder Alarmklasse gab es 50 Fremdsignale. Das Resultat in der Figur 7 zeigt deutlich, dass bei komplizierterem Alarmmodell eine grössere Selbsterkennung erreicht wird. Es zeigt aber auch, dass dabei der Unterschied zwischen Selbst- und Fremderkennung leider zunimmt. Signale, die dem Modell nicht bekannt sind, werden öfters abgewiesen. Es gilt deshalb, einen Kompromiss zu schliessen (z.B. Wahl des zweiten Modelltyps). Es wäre auch denkbar, den optimalen Modelltyp entsprechend der Alarmklasse zu wählen: für die eigene Türglocke, die praktisch nur Selbsterkennung verlangt, den dritten Modelltyp und falls wir mit dem Modell des eigenen Telefons auch die Telefone bei allen Bekannten erkennen wollen, also vor allem die Fremderkennung einsetzen, den ersten Modelltyp.

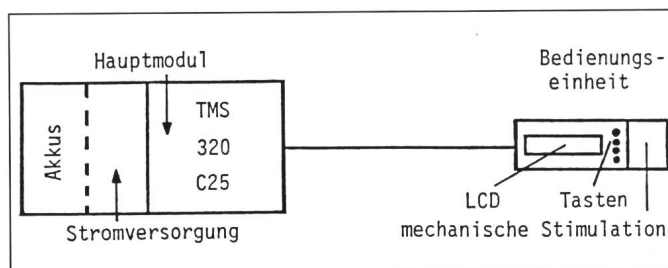
Nachdem wir nun die technischen Zusammenhänge soweit überblicken, wollen wir uns dem realisierten Erkennungsgerät zuwenden. Seine Bedienung muss klar und einfach sein, damit der Vorteil der automatischen Alarmerkennung nicht durch komplizierten Gebrauch zunichte gemacht wird.

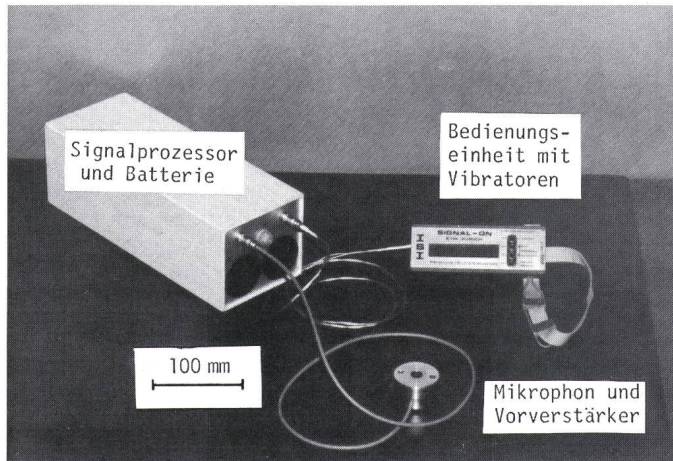
Das Konzept des Signalon

Das Erkennungsgerät zeigt das Vorhandensein eines gespeicherten Alarms (Signalon). Es besteht (Figur 8 und 9) aus einem Mikrofon, einem Prozessor mit Batterie und einer Bedienungseinheit. Es besitzt einige Hilfsfunktionen zur Vereinfachung des Gebrauchs, die im folgenden kurz beschrieben werden.

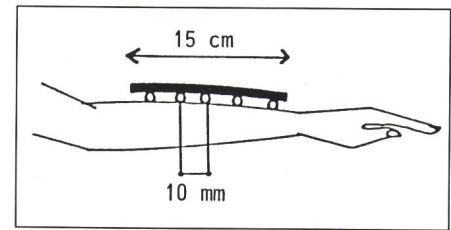
Die freie Einspeicherung der Alarmsignale bedeutet zwar eine enorme Fle-

Figur 8 Funktionsblöcke des Signalon





Figur 9
Photo des Signalon



Figur 10 Elektrodenarray auf dem Unterarm

xibilität, erschwert aber die Bedienung durch den gehörlosen Benutzer. Mehrere Signale aus derselben Alarmklasse müssen eingespeichert werden, um ein gutes Modell zu erhalten. Zwei Informationen sind für die richtige Bedienung notwendig:

1. der Ähnlichkeitsgrad eines Signals zum schon bestehenden Modell,
2. die Information, ob das Signal bei der Aufnahme gestört wurde.

Diese Informationen werden dem Benutzer optisch auf einer Flüssigkristallanzeige (LCD) mitgeteilt. Mit dieser Hilfe kann auch ein gehörloser Benutzer die richtige Modellaufnahme vornehmen.

Der zweite Problemkreis betrifft die Anzeige der erkannten Alarmklasse über die Haut. Im kommenden Abschnitt werden wir erfahren, dass vier verschiedene Reizmuster für die vier Alarmklassen erlernt werden müssen. Für dieses Training kann man die vier Reizmuster nacheinander abspielen, wobei die zugehörige Nummer (1...4) auf dem LCD erscheint. Man hat so genügend Zeit, den Zusammenhang zwischen der angezeigten Nummer und dem Reizmuster zu erlernen.

Die dritte Unterstützungsfunktion gilt der Sicherheit bei der Erkennung der Reizmuster auf der Haut. Unser Gehör hat ein Kurzzeitgedächtnis und erlaubt uns, etwas eben Gehörtes nochmals im Geiste zu hören. Beim Tastsinn haben wir diese Möglichkeit nicht. Deshalb wird auf dem LCD die letzte Erkennung 12 Sekunden lang angezeigt. War man sich bei einem Reizmuster nicht sicher, kann man das zugehörige Modell auf der Anzeige nachschauen. Das Signal on kennt drei Betriebsarten:

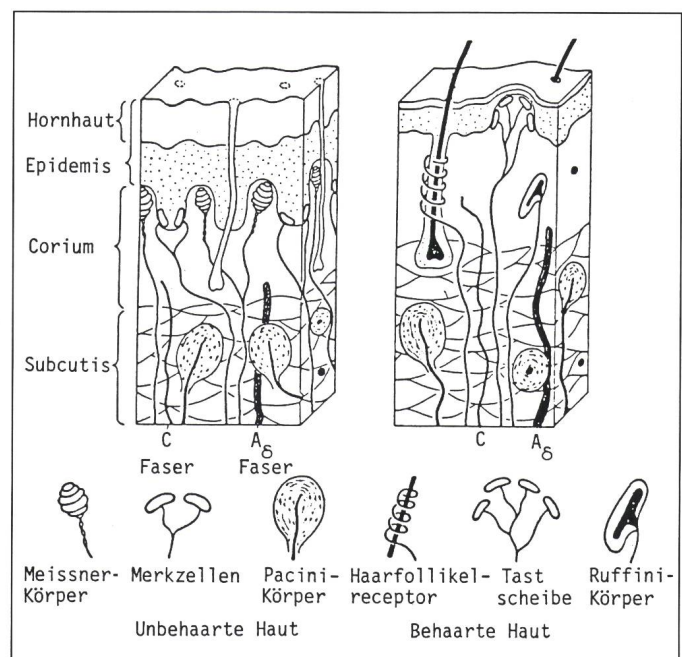
1. das Erlernen der Reizmuster,
2. die Speicherung der Alarmklassen,
3. die Erkennung und Anzeige der Alarmklassen.

Informationsübertragung durch die Haut

Die erkannten Alarmsignale müssen über die Haut angezeigt werden. Zwei praktikable Verfahren sind die elektrische und die mechanische Reizung der Haut. Die elektrische Reizung besitzt technische Vorteile, welche die Konstruktion eines kleinen und wenig Strom verbrauchenden Gerätes ermöglichen. Die Hautelektroden sind sehr klein, einfach und robust, die elektri-

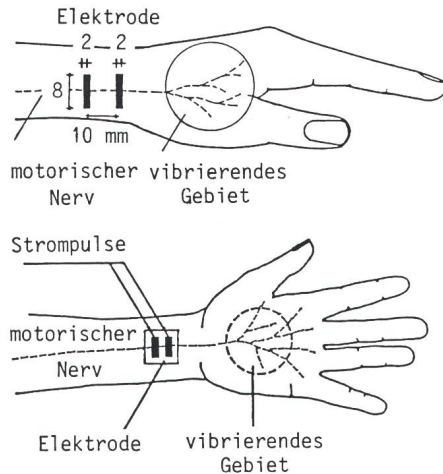
sche Hautreizung ist zudem lautlos. Frühere Versuche – noch ohne apparative Signalerkennung – wurden deswegen auf der Basis der elektrischen Reizung der Haut vorgenommen. Dabei benutzten wir 16 knopfförmige Elektroden (Fig. 10), die aus zwei 4,5-V-Batterien gespeist wurden. Die Anzeige auf der Haut erfolgte durch signalproportionale Reize, wobei das Signal durch entsprechende Bandpässe auf 16 Frequenzbereiche aufgeteilt und den 16 Elektroden zugeführt wurde. Für den Benutzer war die Verfolgung der Reizänderungen zwischen diesen 16 Positionen sehr anstrengend, um nicht zu sagen, unmöglich. Die Versuche zeigten aber immerhin, dass die übertragbare Information 5 bit/s nicht übersteigen darf und in der Regel sogar nur 4 bit/s beträgt. Das heisst, dass wir jede Sekunde eines aus 16 bekannten Mustern wahrnehmen können. Schon diese Leistung bedingt einige Übung. Weiter mussten wir feststellen, dass elektrische Impulse die Haut

Figur 11
Der Hautaufbau mit den Druck- und Schmerzrezeptoren [2]



zwicken. Dieses Phänomen, dass gleichzeitig mit der Reizung der Druckrezeptoren der Haut (Pacini-, Ruffini-, Merkel- und Meissnerkörper) auch die Schmerzrezeptoren (A- und C-Fasern) angesprochen werden (Fig. 11), war dadurch zu erklären, dass der elektrische Strom alle Rezeptoren wahllos anregt.

Eine erste Verbesserung brachte die Idee, anstatt der Haut die Muskelnerven elektrisch zu reizen. Ein fast natürliches Gefühl der Muskelvibration sollte erzeugt werden. Am Handgelenk verlaufen die Nerven der Handfläche und des Handrückens so dicht unter der Haut, dass die elektrische Reizung durch die Haut hindurch mit Elektroden gelang (Fig. 12). Da diese Nerven empfindlicher als die Haut reagieren, erfuhr die Haut keine Reizung. Eine deutliche Vibration auf dem Handrücken – ohne Schmerzen am Elektrodenort – war nun zu verspüren. Das realisierte Konzept des «Erkennens durch die Haut» kommt mit nur zwei Reizorten aus; es werden nur noch vier verschiedene Alarme angezeigt. Diese Vereinfachung ermöglichte es, die ganze Reizung auf das Handgelenk zu verlagern. Anschliessende Versuche mit 13 Testpersonen zeigten ein zwiespältiges Resultat: 8 Personen hatten keine Probleme, 5 aber zeigten Komplikationen. Als grösstes Hindernis für die Praxis erwies sich, dass die Erklärungen zum richtigen Anlegen der Elektroden über dem Nerv viel Zeit in Anspruch nehmen und dass manche Leute einen grossen Respekt vor der Elektrizität zeigen. Trotz klarer technischer Vorteile musste deshalb die elektrische Reizung zugunsten der mechanischen aufgegeben werden. Zwei geeignete kleine Vibratoren spendete der amerikanische Hersteller des Tactaid



Figur 12 Die Elektrodenanordnung am Handgelenk

II, eines Gerätes zur Umsetzung der Sprache in Vibrationen. Diese Vibratoren sind problemlos anzulegen und geniessen grosse Akzeptanz. Sie verbrauchen 10mal mehr Strom, und falls sie nicht mit reinem Sinusstrom angesteuert werden, neigen sie zu leisem Surren. Das Problem, mit zwei Vibratoren 4 verschiedene Alarme anzuzeigen, wurde dadurch gelöst, dass eine Art Morsecode benützt wird. Jeder Vibrator kann das Muster Kurz-Kurz-Kurz oder Lang-Lang erzeugen.

Erfahrungen

Eine Vorführung bei den Vertretern der Gehörlosenvereine hat bestätigt, dass die Erkennung von Alarmsignalen ein Bedürfnis darstellt. Bestehende Hilfsgeräte können bereits ortsfeste Alarmquellen über ein in der Nähe aufgestelltes Mikrophon drahtlos auf einem Personensuchgerät mit speziel-

lem Vibrator anzeigen. Diese Geräte reagieren nur auf die Lautstärke.

Bewegliche Alarmquellen wie Autohupen oder Alarmer, die sich nicht durch die Lautstärke abheben, wie z. B. das Zeitsignal am Radio, können nur mit dem vorgestellten Signal erkannt werden. Allerdings müssten die Abmessungen des Signal on auf einen Fünftel reduziert werden, damit es als tragbares Gerät akzeptiert würde.

Diesen groben Überblick über den Werdegang und die Eigenschaften des heute verfügbaren Signal on wollen wir mit einem Blick in die Zukunft abschliessen.

Wie geht es weiter?

Zweifellos werden neue schnellere Signalprozessoren erlauben, die kompliziertesten Modelltypen mit zusätzlichen Korrekturen bei Echos und Störgeräuschen zu realisieren. Neben dieser analytischen, technischen Vorgehensweise gibt es aber heute Methoden, die die ganze Erkennung – nicht nur die Signaltransformation – ähnlich dem menschlichen Gehirn vornehmen. Es sind die sogenannten *Neuralen Netzwerke*, über die in Kürze, ebenfalls im Bulletin SEV/VSE, berichtet werden soll.

Literatur

- [1] E. Zwicker: Psychoakustik. Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag, 1982.
- [2] R. F. Schmidt und G. Thews: Physiologie des Menschen. 23. Auflage. Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag, 1987.