

## **Diskriminationsentscheidende Bedeutung von Kurzzeitschallereignissen.**

*Spreng, Manfred*

Institut Physiologie und experimentelle Pathophysiologie, AG Biokybernetik  
Uni Erlangen, D-91054 Erlangen, Universitätsstraße 17

Gesprochene Worte sind singuläre Ereignisse, die als Intensitäts- und Frequenzmodulationen von Schallenergie innerhalb kurzer Zeitabschnitten ablaufen und von unserem Gehör diskriminiert werden müssen. Das Auge kann im allgemeinen ein Bild mehrfach abtasten. Dem Gehör ist es nicht erlaubt, zweimal hinzuhören, denn das schnelle Schallereignis einer gesprochenen Silbe oder eines gesprochenen Wortes ist in Bruchteilen einer Sekunde verklungen.

Deshalb ist unser Gehör in erster Linie darauf spezialisiert, relativ schnelle zeitliche Veränderungen von Intensitäten und Frequenzen zu detektieren. Veränderungen, welche typischerweise durch die Spracherzeugungsorgane vor allem bei der Produktion von Konsonanten auftreten.

Dies ist in Bild 1 anhand des Zeitverlaufs (oberer Teil) und der zeitlichen Aufeinanderfolge von Kurzzeitspektren (unterer Teil) des Wortes "Teig" verdeutlicht. Die Zeitunterteilung in 200 Millisekunden-Abschnitte lässt erkennen, dass das rechts gezeigte Original-Signal eine Dauer von ca. 500 ms besitzt, wobei jedoch die intensitätsschwächeren Konsonanten ("T" und "G") nur während der minimalen Dauer von 20 bis 40 ms präsent sind und durch das Gehör auch detektiert werden müssen.

Unter Einbezug des unten gezeigten Verlaufs der Spektren lässt sich zusammenfassend hinsichtlich der Diskriminationsaufgabe des Gehörs feststellen, dass folgende atomare Sprachelemente innerhalb sehr kurzer Zeitabschnitte (minimal 10 ms) erkannt werden müssen: Der Geräuschblock des kurzen Konsonanten; häufig eine geräuschfreie Pause, insbesondere nach Plosivlauten; frequenzmodulierte Übergänge zu denjenigen Hauptfrequenzen (Formanten) des Vokals, die den Vokal charakterisieren; die Formantfrequenzen an sich; und schließlich grundsätzlich der Amplitudenverlauf, also die Umhüllende, des Sprachsignals.

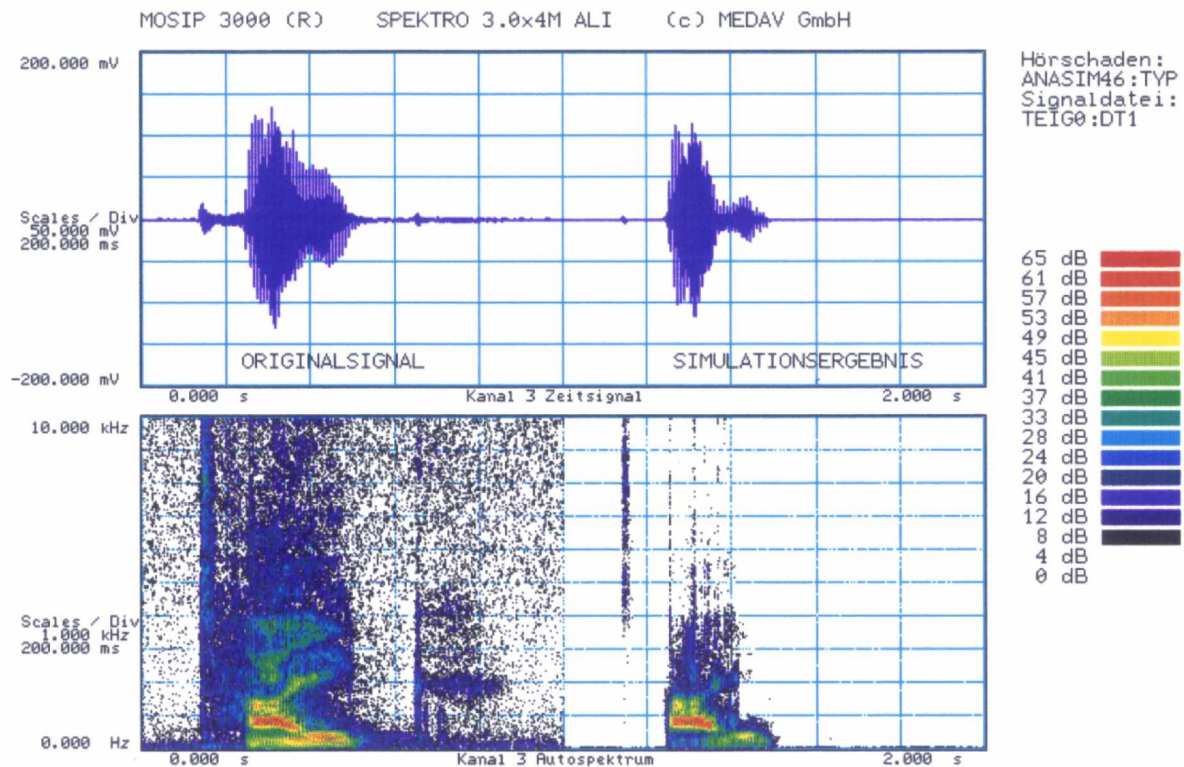


Bild 1

Zeitverlauf des Signals (oberer Teil) und zeitlicher Ablauf der Kurzzeitspektren (unterer Teil) des Wortes "TEIG"

Im Rahmen dieser Ausführungen sollen einige Hinweise geben werden auf zugrundeliegende Funktionen unseres Gehörs, welche für die Detektion und Diskrimination der genannten Sprachelemente mitverantwortlich sind und gleichzeitig über einige neuere Befunde berichtet werden, welche speziell die Plastizität wichtiger Funktionselemente der zentralen Hörbahn in den Vordergrund stellen.

In diesem Zusammenhang verdeutlicht das gezeigte Bild (Bild 1, rechter Teil), welche Veränderungen die erwähnten atomaren Sprachelemente z. B. bei einer Rekrutmentschädigung erfahren. Ein von uns vor einiger Zeit entwickelter mikroprozessorgesteuerter Hörschadenssimulator mit Echtzeit-Sprachverarbeitung (SPRENG et al. , 1985) liefert das hier gezeigte Simulationsergebnis.

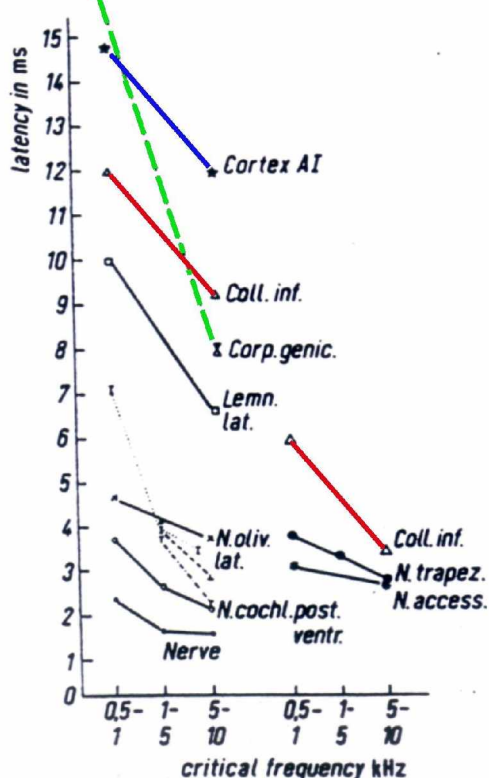
Es ist sofort zu erkennen, dass die sehr schnellen, die Anfangs- und Endkonsonanten kennzeichnenden Elemente des Sprachsignals infolge ihrer gegenüber dem Vokal sehr geringen Intensität massiv unterdrückt werden und praktisch nicht mehr vorhanden sind und damit auch nicht mehr verarbeitet werden können. Besonders deutlich ist dies im darunter gezeichneten Spektrum sichtbar. Die nieder- bis mittelfrequenten Anteile des Konsonanten "T" sind verschwunden und das geräuschfreie Intervall ist beachtlich vergrößert. Die Frequenzübergänge zum und insbesondere vom Vokal sind verändert und vor allem ist der abschließende Konsonant ("G") energetisch nicht mehr vorhanden.

Sie alle kennen das damit sichtbar gemachte Phänomen des Rekrutment-Schwerhörigen. Anstelle des

Wortes "Teig" hört er im Grunde nur noch den Vokal "ei". Dadurch ist ja die besonders bittere Situation des Rekrutment-Schwerhörigen gekennzeichnet, dass er zwar hört, dass gesprochen wird, aber diskriminatorisch nicht mehr in der Lage ist, normale Sprache zu erkennen.

Wie schnell sind nun tatsächlich die Verarbeitungsvorgänge innerhalb unseres Gehörs und auf welche Art und Weise werden die erwähnten, schnell veränderlichen atomaren Sprachelemente detektiert und diskriminiert ?

### Time of activation of neuronal elements in the auditory system



### Extremely simplified blockscheme of the auditory system

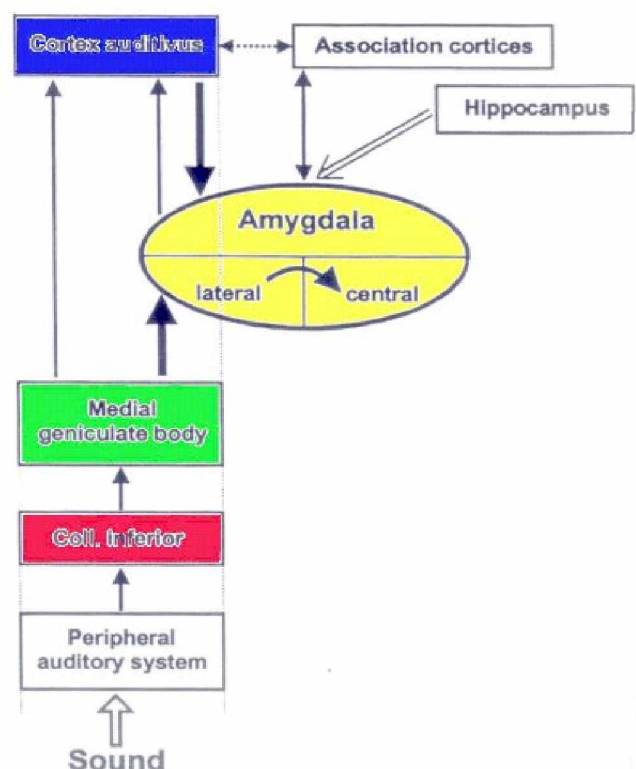


Bild 2

Linker Teil: Zeitbereiche der Aktivierung neuronaler Elemente in verschiedenen Abschnitten der Hörbahn

Rechter Teil: Zugehörige Abschnitte der vereinfacht dargestellten Hörbahn

In diesem Zusammenhang zeigt Bild 2 generell die Erregungszeitbereiche im auditorischen System wie sie mit Mikroelektroden anhand der Aktivitätssteigerung einzelner Neurone in den jeweiligen Verarbeitungskernen der zentralen Hörbahn gemessen wurden (SPRENG et al., 1984). Dabei sind die Messergebnisse grob in drei Bereiche kritischer Frequenzen der jeweiligen Neurone unterteilt (Kritische Frequenz ist diejenige Frequenz, bei welcher das jeweilige Neuron mit minimaler Energie bahnend oder hemmend aktiviert werden kann).

Erwartungsgemäß reagieren die neuronalen Elemente umso früher bzw. umso schneller, je höher ihre

kritische Frequenz ist. Betrachtet man den Bereich der kritischen Frequenz von 5 bis 10 kHz, dann sind Reaktionsänderungen im Cochleariskern bereits 2 ms nach einem Klickreiz zu erkennen. Im Vierhügelgebiet (colliculus inferior) sind bereits nach 4 ms und in höheren Hörbahnabschnitten (z. B. corpus geniculatum: Kniehöcker) nach 8 ms Erregungsänderungen meßbar. Schließlich reagieren cortikale Neurone dieser kritischen Frequenz bereits 12 ms nach dem Einsatz von Schallen.

Aus dem gezeigten Bild ist weiterhin ersichtlich, dass beispielsweise im Vierhügelgebiet (colliculus inferior) zwei verschiedene Elementgruppen existieren: Schnellere, welche im Zeitbereich 4 bis 6 ms reagieren und langsamere, welche im Zeitbereich 9 bis 12 ms eine Antwort zeigen. Dies läßt den Schluß zu, dass in der zentralen Verarbeitung unseres Gehörs mindestens zwei Bahnsysteme - ein schnelles und ein langsames Bahnsystem - zur Verarbeitung beitragen.

Zusammen mit den extrem schnellen Einschwingvorgängen im Bereich des Mittelohres (Anstiegszeit der Schwingung des ovalen Fensters ca. 30 Mikrosekunden) und des Innenohres (Einschwingverhalten der Basilarmembran im Bereich 16 bis 1 kHz: 0,3 bis 3 ms) und der im zentralen Bereich durch schnelle Bahnen innerhalb von 12 ms erfolgenden Erregungsverarbeitung ist also unser Gehörsystem in der Tat für die Diskrimination der eingangs erwähnten schnell veränderlichen atomaren Sprachelemente optimal angepaßt.

Grundsätzlich ist damit auch die Dynamik (Anstiegsflanke) eines beginnenden oder sich ändernden Schallereignisses für die Lokalisation und das Wahrnehmungsbild der Schallquelle, deren Ermittlung und Bildung in den ersten Millisekunden erfolgt, von entscheidender Bedeutung.

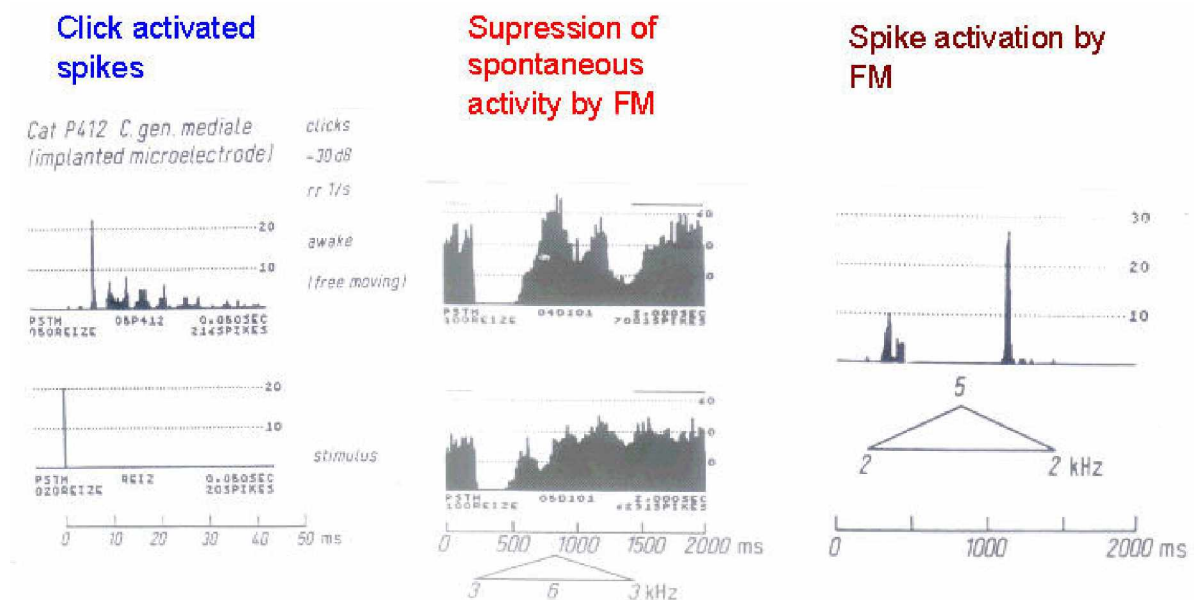


Bild 3

Typische Beispiele der sehr schnellen (7 bis 60 ms) Aktivierung neuronaler Elemente in verschiedenen Abschnitten der Hörbahn durch schnelle Intensitäts- und Frequenzänderungen.

Darüberhinaus sind die einzelnen neuronalen Elemente vielschichtig spezialisiert (On-Elemente, Off-Elemente, Pausendetektoren, Detektoren für Frequenzmodulation usw.), worauf im einzelnen nicht näher eingegangen werden kann (SPRENG, 1984 und 1998).

Bild 3 zeigt einige Beispiele für die schnelle Reaktion neuronaler Elemente aus dem bereits sehr zentral gelegenen Kniehöcker (corpus geniculatum mediale):

a: erkennbare Antworten 8 ms nach Einsatz eines Klickreizes;

b: massive und schnelle Hemmung der Spontanaktivität ca. 40 bis 60 ms nach einem Einsatz eines frequenzmodulierten kurzen Sinus- Burst;

c: Aktivitätssteigerung ca. 50 ms nach Beginn eines frequenzmodulierten Sinustons aufwärts von 2 kHz auf 5 kHz.

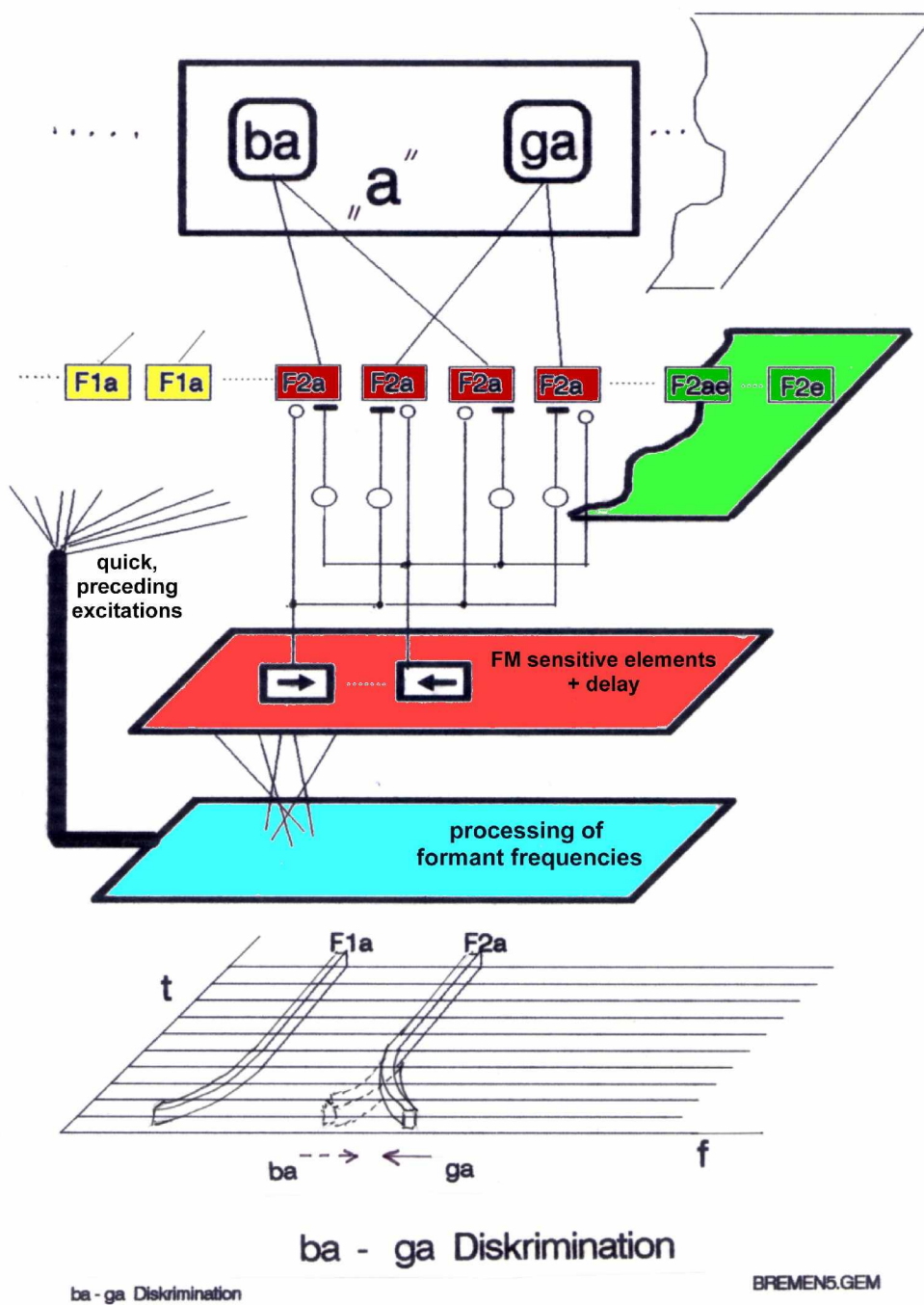


Bild 4  
 Schema der neuronalen Diskrimination zwischen den Silben "ba" und "ga"  
 (Nähere Erklärung siehe Text)

Diskriminatorische Verschaltungen finden sich demgemäß bereits extrem peripher, beginnend in den Verarbeitungselementen des Cochleariskerns.

Das in Bild 4 gezeigte Schema soll sehr vereinfachend den hochdynamischen Diskriminationsvorgang zwischen den Silben "ba" und "ga" erläutern. Wie ersichtlich, unterscheiden sich die beiden Silben

durch den Frequenzübergang zum zweiten Formant des Vokals "a"; aufsteigend bei der Silbe "ba" und absteigend bei der Silbe "ga".

Es ist nun denkbar, dass aufgrund von Periodizitäts-Analysen sehr schnell und voreilend die Formantfrequenzen des Vokals erkannt werden und über schnelle Bahnen, wie links skizziert, zu Detektorsystemen geführt werden, welche auf die charakteristischen Frequenzen des Vokals "a" abgestimmt sind, also die entsprechende kritische Frequenz aufweisen. Dies mögen einerseits neuronale Detektorsysteme sein, die allein für die Formantfrequenzdetektion verantwortlich sind (z.B. für die Detektion der ersten Formantfrequenz (F1a). Andererseits können Elemente existieren, welche für die Detektion der zweiten Formantfrequenz (F2a) verantwortlich sind, mit der zusätzlichen Fähigkeit über eine weitere Verarbeitungskette unterschiedlich gebahnt bzw. gehemmt werden zu können (F2a-Detektoren).

Wenn nun in einer weiteren Verarbeitungsschicht die ebenfalls in einem Teil des Cochleariskerns lokalisiert werden kann, sich Elemente befinden, die auf Frequenzmodulationen, also Frequenzübergänge, ansprechen und insbesondere deren Richtung erkennen, dann kann ein Teil dieser F2a-Detektoren über entsprechende Bahnungs- und Hemmungs-Verschaltungen jeweils zur Diskrimination der Silbe "ba" bzw. "ga" sehr schnell beitragen.

Selbstverständlich existieren noch eine Vielzahl von Detektoren, die für alle anderen die Vokale und entsprechende Übergänge in den Sprachstrukturen charakteristische Erregungswerte generieren können (z.B. F2ae- und F2e-Detektoren usw. ).

Es liegen eine Reihe von Anhaltspunkten vor, dass in der Tat bereits sehr peripher und damit sehr schnell eine derartige Teilleistung für die Phonemdiskrimination durchgeführt werden kann. Wie genau die eigentliche und vollständige Diskrimination abläuft, muß im einzelnen noch erforscht werden.

Wichtig ist jedoch, insbesondere beim Training der auditiven Wahrnehmung und dem damit angestrebten verbesserten Sprachdiskriminationsvermögen, dass derartig schnelle Vorgänge in Betracht gezogen und evtl. sogar intensiver geübt werden sollten.

Bezüglich Training und Lernen sind jüngste Untersuchungen von Interesse, welche zeigen, dass die genannten schnellen Vorgänge infolge erstaunlicher Plastizität zentralnervöser Strukturen zum Teil noch schneller, pointierter und zielgerichteter verändert werden können.

In diesem Zusammenhang darf auf Messungen an Elementen des Kerngebiets Amygdala (Mandelkern) zurückgegriffen werden, wobei vorausgeschickt werden muß, dass neuere Untersuchungen (LEDOUX, 1995. MASTERTON, 1996) den lateralen Bereich des Mandelkerns (Amygdala) als einen wichtigen Teil des auditorischen Systems herausgestellt haben, welcher als sekundäres, separates Bahnsystem mit telencephalischen Projektionen verbunden ist. Andererseits haben Studien ergeben, dass speziell die Amygdala als kritische Struktur emotionalen Lernens aufzufassen ist.

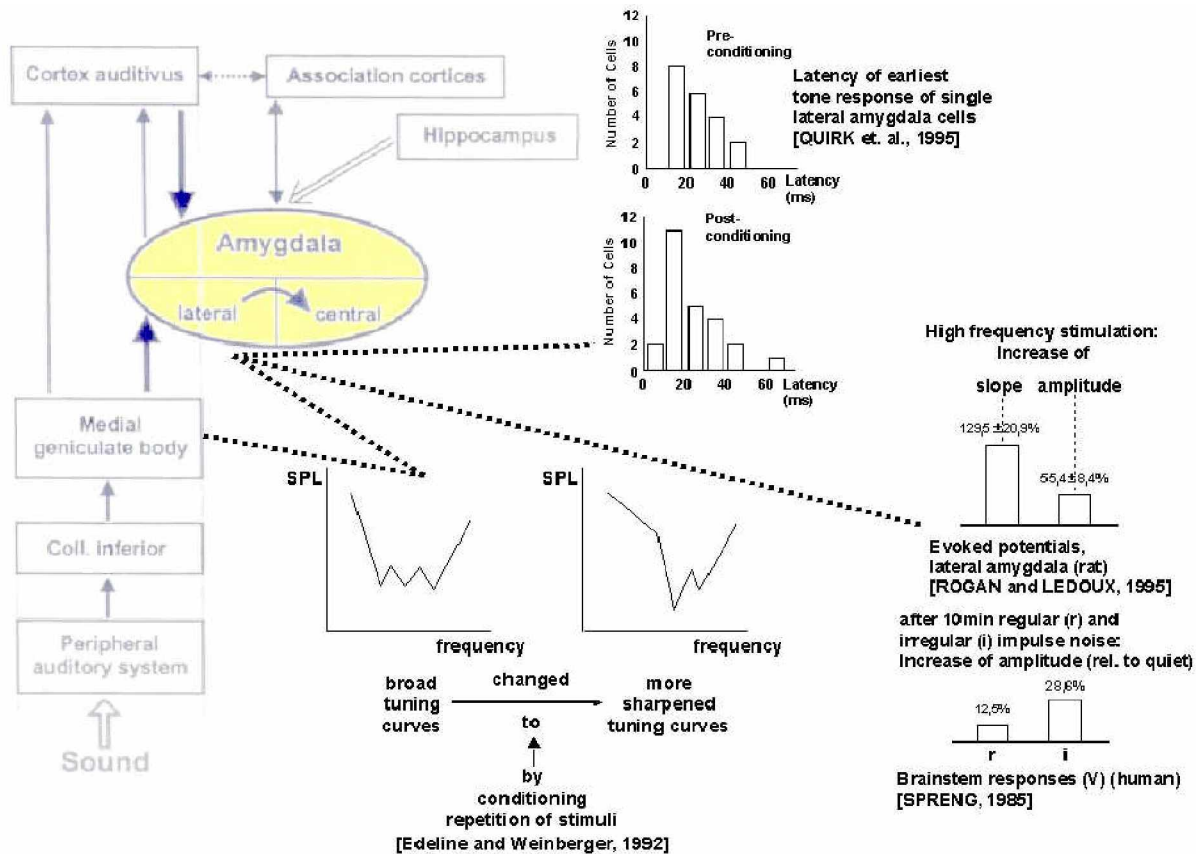


Bild 5  
Nachweise der Plastizität zentralnervöser Hörbahnabschnitte  
(Nähere Erklärung siehe Text)

Betrachtet man nun bei Konditionierungs- und Lernvorgängen neueste Untersuchungsergebnisse über das Plastizitätsverhalten von Einzelementen in diesem interessanten Kerngebiet als Teil des auditorischen Systems, so lassen sich drei wichtige Fakten herauschälen (Bild 5):

### 1. Zunehmende Anzahl kurz-latenter Spikeantworten von Neuronen der Amygdala

Neurone im lateralen Teil der Amygdala zeigen generell die kürzeste Latenz auf akustische Reize in der Größenordnung zwischen 10 und 20 ms, wie dies aus Bild 5 ersichtlich ist. Speziell im dorsalen Teil der lateralen Amygdala haben QUIRK et al. (1995) gefunden, dass die Anzahl der Zellen, die sehr früh auf Tonreize antworten von 56% auf 69% nach entsprechendem Training anstieg. Dies beruht auf zwei Faktoren, nämlich auf der Rekrutierung neuer schneller Neurone, die auf Töne reagieren und auf einer Latenzabnahme von Neuronen, die vor dem Training mit längeren Latenzen geantwortet haben.

Ebenso ist die Zahl der innerhalb der lateralen Amygdala mit kurzer Latenz (1 - 4 ms) direkt gekoppelter Zellen während des Trainings angewachsen.

Diese Effekte, die im Latenzbereich 12 - 17 ms besonders deutlich beobachtbar sind, verdeutlichen, dass direkte Einwirkungen seitens des auditorischen Thalamus für derartige plastische Veränderungen hauptverantwortlich sein dürften.

## *2. Verstärkung der Eigenschaften evozierter Potentiale aus dem Amygdala-Kerngebiet.*

Messungen, die von ROGAN und LeDOUX (1995) durchgeführt wurden, zeigten, dass bei akustisch evozierten Potentialen, die aus der lateralen Amygdala abgeleitet wurden und Latenzen um 18,5 ms aufwiesen, nach vorangehender elektrischer Hochfrequenzstimulation der entsprechenden Bahnen aus dem mittleren Kniehöcker (corpus geniculatum mediale) sowohl die Anstiegsflanken (um 129%) als auch deren Amplituden (um 55%) versteilt bzw. angestiegen waren.

Auch dieses ein Anzeichen für stärker synchron und schneller arbeitende Neurone nach wiederholter Aktivierung.

Damit scheinen diese Resultate zu bestätigen, dass die thalamo- amygdaläre Bahn die Möglichkeit besitzt, ihre Antworten auf akustische Reize längerfristig zu verändern bzw. besser anzupassen.

## *3. Verändertes Tuning der thalamischen Inputbereiche zur Amygdala*

Diese von der Arbeitsgruppe um WEINBERGER (EDELING u. WEINBERGER, 1992) gefundenen, hochinteressanten Sensitivierungseffekte betreffen nicht nur gesteigerte Erregbarkeit, sondern echte Modifikationen des informationsverarbeitenden Systems.

Die Arbeitsgruppe konnte nachweisen, dass Lerneffekte faszinierende Einflüsse auf das Abstimmverhalten (Tuning) von neuronalen Einzelementen in mittleren Kniehöcker (corpus geniculatum mediale) auslösen.

Es konnte gezeigt werden, dass die im allgemeinen breit abgestimmten Elemente (breite Tuningkurven) im mittleren Kniehöcker während konditionierenden Lernversuchen sehr schnell ihr Verhalten zu ändern in der Lage waren. Es tritt bei derartigen Untersuchungen eine verblüffende Verschärfung der Abstimmkurven und damit verbunden eine vergrößerte Selektivität für spezielle Frequenzen auf. Dabei sind insbesondere die Frequenzen der während der Lernphase applizierten Töne bevorzugt sensitiviert, während die Antworten auf andere Frequenzen (sogar auf die Bestfrequenz) sich reduzieren.

Wenn also die diskriminationsentscheidende Bedeutung von Kurzzeitschall-Ereignissen einerseits und die beachtliche Plastizität zentralnervöser Systeme andererseits in Betracht gezogen werden, so ergeben sich einige wichtige Gesichtspunkte im Zusammenhang mit dem Training auditiver Wahrnehmung.

Nicht nur die Darbietung eingeschwungener bzw. langsam veränderlicher Signale (Musik) ist angeraten, sondern Klänge mit prägnanter Anstiegssteilheit (z. B. Glocken), sowie eventuell ein Mix aus silben- bzw. sprachähnlichen Geräuschen.

Es sollte selbstverständlich dafür gesorgt werden, dass eventuell benutzte Hörhilfen oder Freifeldübertragungssysteme eben diese charakteristischen Kurzzeit-Ereignisse möglichst wenig verfälscht übertragen. Dies bedeutet, dass Einschwing- und Nachschwingvorgänge von elektroakustischen Systemen tunlichst gering gehalten bzw. ganz vermieden werden.

Es liegt auf der Hand, dass Störgeräusche - je nach Frequenzzusammensetzung und Zeitlichkeit - vor allem die Aufnahme und Verarbeitung der intensitätsärmeren Kurzzeit-Schallereignisse beeinflussen, welche die Konsonanten repräsentieren.

So kann anhand eines Reimtests gezeigt werden (Bild 6) , dass die Beeinflussung im Vokalmerkmalsbereich je nach Störgeräusch (Sprachgebabbel, weißes Rauschen, Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm gleicher Lautheit) Reduktion der Verständlichkeit zwischen 13 und 4 % meßbar ist, während bei den gleichen Störgeräuschen die Beeinflussung der Konsonantmerkmale in der Größenordnung 21 bis 7 % erscheint (SPRENG, 1994). Aus diesen Messungen ist zwar ersichtlich, dass die beiden Verkehrsgeräusche (Straße, Schiene) die generelle Verständlichkeit z.B. der Konsonanten etwa gleich beeinflussen (Bild 6, oberer Teil).

Reduced speech perception  
comparing different noise  
of equal loudness using a rhyme test

	Consonant features	Vowel features
White noise	17 %	7 %
Speech noise	21 %	13 %
Road traffic noise	7 %	5 %
Rail traffic noise	7 %	6 %

Influence of different noise configuration on typical  
consonant features Voicing (V) and Sonorance (S)

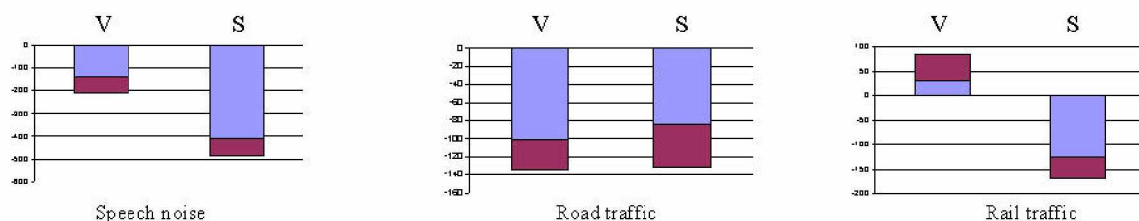


Bild 6

Oberer Teil: Reduktion der Sprach(Phonem)perzeption durch einwirkende Störgeräusche wie weißes Rauschen, Sprachgebabbel, Straßen- und Schienenverkehrslärm

Untere Teil: Unterschiedliche Wirkung von Straßen- und Schienenverkehrslärm auf die typischen Phonemmerkmale Stimmhaftigkeit und Sonoranz (der dunkle Bereich entspricht der Standardabweichung)

Die genaue Analyse des Reimtests hinsichtlich einzelner spezifischer Konsonantmerkmale zeigt jedoch am Beispiel von Stimmhaftigkeit und Sonoranz, dass Straßen- und Schienenverkehrslärm sich in etwa gegensätzlich auswirken. Dies ist auch infolge der unterschiedlichen Frequenzzusammensetzung (Straßenverkehrslärm relativ niederfrequent, Schienenverkehrslärm relativ hochfrequent) verständlich.

So kann aus Bild 6 (unterer Teil) entnommen werden, dass bei Straßenverkehrslärm stimmhafte Konsonanten mit weniger stimmhaften verwechselt werden (statt B,D,G werden P,T,K perzipiert). Bei

Schieneverkehrslärm liegt ein Trend vor, weniger stimmhafte mit stimmhafteren zu verwechseln. Hier scheinen auch stärkere Beeinflussungen der sonoranten Merkmale als bei Straßenverkehrslärm aufzutreten, im Sinne, dass vermehrt sonorante mit weniger sonoranten Konsonanten verwechselt werden (z.B. statt R wird F perzipiert)

Lärm wirkt also sehr spezifisch auf die Perzeption einzelner Phonemmerkmale.

Deshalb werden für Kinder deutlich bessere Signal-Störverhältnisse (S/N-Verhältnisse) gefordert als für normalhörende Erwachsene. In Tabelle 1 sind diesbezügliche Angaben zusammengestellt (SPRENG, 1994), wobei insbesondere für die bis zu 4 m Entfernung definierte "familiäre Kommunikationssituation" (z. B. Mutter im Wohnbereich mit ortsfestem Kleinkind) Werte von S/N-Verhältnissen von 19 bis 31 dB bzw. Innengeräuschpegel um 26 db(A) zu fordern sind.

Dabei sollte Kommunikation aber auch Training natürlich nicht in völlig steriler Umgebung, sondern unter dem Einfluß der naturgemäß gegebenen singulären Störsignale (Klingel, Vogelstimmen usw.) erfolgen.

Sehr erfreulich bezüglich Training der auditiven Wahrnehmung zu werten ist die dargestellte Plastizität der zentralnervösen Verarbeitungsbahnen auf die vermehrt gesetzt werden sollte. Hier ist an ein Training speziell hinsichtlich einer gesteigerten Perzeptionsgüte der genannten Kurzzeitergebnisse zu denken

Dabei öffnet sich ein weites Betätigungsfeld für alle auf diesem Gebiet Tätige, die sich ja mit Verständnis und menschlicher Zuwendung dem Wahrnehmungsgestörten gegenüber als Helfer auf dem Weg in eine neue Hörwelt sehen sollten

**Signal/Störverhältnis-Bereiche und tolerabler mittlerer Innengeräuschpegel in dB (dBA)  
für gutes bis sehr gutes Sprachverstehen**

	"enge" Kommunikation	"familiäre" Kommunikation	"schulische" Kommunikation
	1 m Abstand ruhige/normale Stimme (57)	4 m Abstand normale/angehobene Stimme (63)	10 m Abstand angehobene/laute Stimme (69)
Normalhörende	6 - 18 (45)	6 - 18 (39)	10 (41)
Säuglinge	12 - 24 (39)	12 - 24 (33)	---
Kleinkinder	19 - 31 (32)	19 - 31 (26)	---
Schulkinder	12 - 24 (39)	12 - 24 (33)	10 - 20 (36)
Schulkinder (HG)	---	---	30 (21)
Schwerhörige	12 - 24 (39)	12 - 24 (33)	16 (35)
Altersschwerhörige	18 - 30 (33)	18 - 30 (27)	22 (29)
Hörgeräteträger	15 - 27 (36)	15 - 27 (30)	---

Tabelle 1

Zusammengefaßte Vorschläge für Signal/Störverhältniswerte und Innenpegel (in Klammern) zur Vermeidung von Kommunikationsstörungen verschiedener Personengruppen.

## Literatur

- Edeline, J-M.; Weinberger, N. M.** (1992) Associative retuning in the thalamic source of input to the amygdala and auditory cortex: Receptive field plasticity in the medial division of the medial geniculate body. *Behav. Neurosci.* 106: 81-105
- LeDoux, J. E.** (1990) Information flow from sensation to emotion: Plasticity in the neural computation of stimulus value. In *Learning and Computational Neuroscience: Functions of Adaptive Networks*. Gabriel, M & Moore, J. eds. MIT-Press, Cambridge etc., pp 2-51
- Masterton, R. B.** (1996) Role of the mammalian forebrain in hearing. In *Acoustical Signal Processing in the Central Auditory System*. Syka, J., ed. Plenum Press, New York-London, pp 1-17
- Quirk, G. J., Repp, J. C., LeDoux, J. E.** (1995) Fear conditioning enhances short-latency auditory responses of lateral amygdala neurons: Parallel recordings in the freely behaving rat. *Neuron* 15: 1029-1039
- Peterson, M. E.; Feeney, M. P.; Yantis, P. A.** (1990) The effect of automatic gain control in hearing-impaired listeners with different dynamic ranges. *Ear Hear.* 11: 185-194
- Rogan, M. T., LeDoux, J. E.** (1995) LTP is accompanied by commensurate enhancement of auditory-evoked responses in a fear conditioning circuit. *Neuron* 15: 127-136
- Spreng, M.** (1984) Physiologische Hintergründe der zentralen Sprachdekodierungsprozesse. *Sprache-Stimme-Gehör* 8: 1-7
- Spreng, M.** (1985) Noise effects on auditory and vegetative control systems in man. In *Proc. Inter-Noise '85*, Federal Inst. Occup. Safety, ed., Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, pp 969-972

- Spreng, M.** (1998) Lärm und seine Auswirkung auf Wahrnehmung und Sprache. In *Auditive Wahrnehmung und Hörtraining*. Rosenkötter, H.; Minning, u.; Minning, S. Hrsg. AUDITIVA, Lörrach-Hauingen 36-54
- Spreng, M.; Kallert, S.; Neudeck, T.** (1984) Remarks concerning early and late auditory evoked potentials in differential and top-diagnosis, Proc. 2<sup>nd</sup> Amplaid Int. Symp., Edizione Tecniche, Milane
- Spreng, M.** (1994) Beeinträchtigung der Kommunikation durch Lärm, Berichte Umweltbundesamt, Berlin