

Über die Wirkung der Begrenzung in Hörgeräten

Zusammenfassung Der Lautheitsausgleich stellt bestimmte Probleme bei der Konstruktion von Hörgeräten. Nach einer kurzen Beschreibung des Phänomens folgt eine Auseinandersetzung der verschiedenen möglichen Arten der Begrenzung des Ausgangsschallpegels in Hörgeräten. An Patienten mit Lautheitsausgleich wurde untersucht, wie die günstigste Art der Begrenzung sein sollte, mit Rücksicht auf die Möglichkeit, sie in Hörgeräten einzubauen. Es hat sich erwiesen, daß eine Regelautomatik (AVC) mit einer Steigung der Regelkennlinie von etwa 6 dB/20 dB mit einer möglichst kurzen Einregelzeit und einer Ausregelzeit von etwa 1 Sekunde die günstigsten Erfolge gibt. Zum Schluß wird beschrieben, wie man eine optimale Einstellung solcher Geräte an Patienten erreichen kann.

Summary Loudness recruitment gives special problems in constructing hearing aids. After a short description of the recruitment phenomenon a review of the different possibilities of output limitation in hearing aids is given. Experiments with recruitment patients have shown that the best results can be expected from an AVC with a slope of the amplification characteristic of about 6 dB/20 dB, an onsettime as short as possible and an offsettime of about 1 second. A method is given to get optimal results in fitting a hearing aid equipped with AVC.

Résumé Les affections de l'ouïe accompagnées d'une sensibilité augmentée à l'intensité du son soulèvent des problèmes particuliers pour la construction d'aides auditives. Après avoir donné une courte description du phénomène de la sensibilité augmentée à l'intensité du son, l'auteur discute les différentes possibilités de limiter le niveau de sortie des appareils auditifs. Des essais faits avec des patients ont démontré que les meilleurs résultats peuvent être obtenus avec un AVC ayant une courbe caractéristique d'amplification ascendant d'environ 6 dB/20 dB, un temps de réponse aussi court que possible et un temps d'arrêt d'environ 1 s. Finalement, l'auteur indique comment on peut atteindre le réglage optimum de tels appareils sur les patients.

Lautheitsausgleich, ein Hörschaden

Bekanntlich sind bestimmte Formen der Schwerhörigkeit mit einer Erscheinung verbunden, die Lautheitsausgleich (Recruitment) genannt wird. Dabei tritt bei niedrigen Schallpegeln Schwerhörigkeit auf, während bei hohen das Gehör normal zu sein scheint, mitunter sogar überempfindlich ist. Abbildung 1 zeigt diesen Zusammenhang: Tragen wir horizontal den Schallpegel über der Hörschwelle auf und vertikal die Lautheit, dann stellt die Kurve a bei geeigneter Wahl der Einheiten den Zusammenhang zwischen diesen Größen bei einem normalen Gehör dar. Die Kurven b und c zeigen dann die Abweichungen bei Lautheitsausgleich. Im Fall b ist erkennbar, daß bei niedrigen Schallpegeln keine Hörempfindung vorliegt, bei hohen Schallpegeln verschwindet die Schwerhörigkeit, im Falle c ist das Gehör bei höheren Schallpegeln noch empfindlicher als das normale. Hier ist dann auch bei einer bestimmten Zunahme des Schallpegels immer ein abnormer Anstieg der Lautheitsempfindung vorhanden. In beiden Fällen des Lautheitsausgleiches ist der Schallpegelunterschied zwischen gerade wahrnehmbaren und schmerzhaften Schallereignissen geringer als beim normalen Gehör.

Man spricht von einer verringerten Hördynamik:

Bei einem normalen Gehörsinnesorgan beträgt sie im Mittelfrequenzbereich 110—120 dB und kann mitunter bei einem Hörgeschädigten bis auf 10—20 dB zurückgehen. Die Erscheinung ist durchweg bei hohen Frequenzen ausgeprägter als bei niedrigen.

Häufig wird jedoch auf ein Vorliegen von Lautheitsausgleich geschlossen, ohne daß er vorhanden ist. Schwerhörige, die schon lange Zeit fast nichts gehört haben, werden bei der anfänglichen Benutzung eines Hörgerätes laute Schallereignisse nicht vertragen können und müssen sich langsam wieder daran gewöhnen.

Arten der Begrenzung

Für die oben genannten Fälle benötigt man folglich ein Hörgerät, das kleine Schallpegel verstärkt, hingegen große entweder etwas abschwächt oder nicht bzw. weniger verstärkt. Man kann auch einen Kompromiß machen, indem man kleine Schallpegel auf das richtige Niveau bringt und große so wiedergibt, daß die Lautheit des Ausgangssignales niemals über einen bestimmten Wert ansteigen kann. Technisch sind beide Möglichkeiten zu verwirklichen, und zwar die erste mit einer automatischen Verstärkungsregelung (AVC = automatic volume control) und die zweite durch die in jedem Hörgerät vorhandene Begrenzung des Ausgangsschallpegels (PC = peak clipping), die regelbar auf entsprechende Werte eingestellt werden kann.

Bei der normalen Begrenzung des Ausgangssignales wird das Eingangssignal ungeachtet

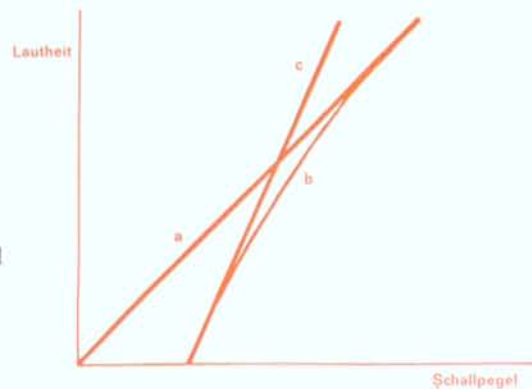


Abb. 1
Der Zusammenhang zwischen Schallpegel und Lautheit
a) bei einem normalen Gehör
b) bei Lautheitsausgleich
c) bei Hyper-Lautheitsausgleich

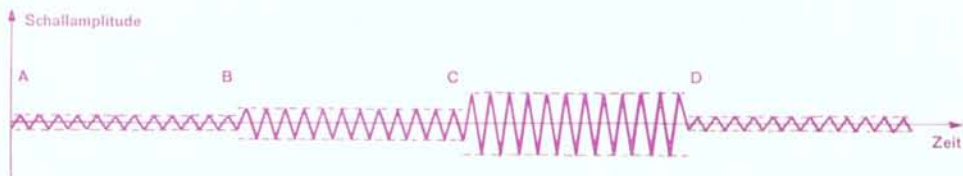


Abb. 2 Schallsignalverlauf

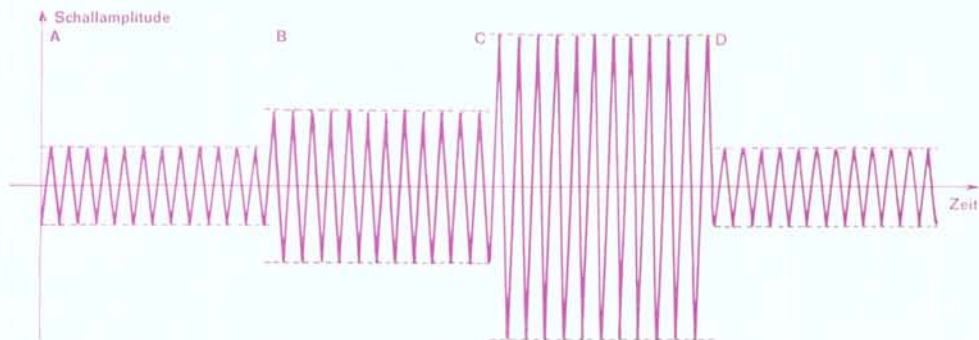


Abb. 3 Das gleiche Signal wie in Abb. 2, nach einer Verstärkung um den Faktor 5

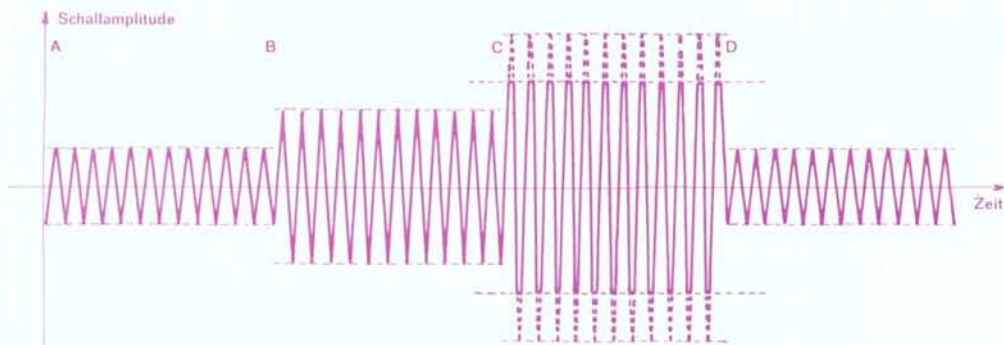


Abb. 4 Das Signal der Abb. 3 unter Anwendung eines symmetrischen Begrenzers

seiner Schallpegelhöhe verstärkt, während jedes Schallereignis, das so groß ist, daß es nach der Verstärkung über den größten erreichbaren Ausgangsschallpegel hinausgehen würde, rigoros auf diesen abgeschnitten wird.

Bei der automatischen Verstärkungsregelung geschieht eigentlich dasselbe, was ein Träger mit der manuellen Regelung tun würde: Bei leisen Schallereignissen würde er den Wiedergabeschallpegel erhöhen, während er ihn bei lauten wieder vermindern würde. Dies geschieht jedoch nicht mehr mit dem manuell einstellbaren Verstärkungsregler, sondern mit Hilfe einer Regelschaltung automatisch.

An Hand einiger Abbildungen wollen wir dies etwas näher erläutern:

In Abbildung 2 ist ein Schallsignal als Funktion der Zeit skizziert, dessen Amplitude bei B doppelt so groß ist wie bei A, bei C sich weiterhin gegenüber B verdoppelt und bei D wieder auf den ursprünglichen Wert A zurückgeht. Nehmen wir an, daß dieses dargebotene, abgestufte Schallsignal für die Lautstärkeempfindung zu schwach ist. Wir verstärken es deshalb um den Faktor 5 und heben es damit auf das Niveau der Abbildung 3 an. Es ist jetzt laut genug, jedoch im Zeitabschnitt zwischen C—D zu laut. Dann

wird ein Begrenzer benutzt, der den Zeitabschnitt zwischen C und D (siehe Abbildung 4) auf ein solches Niveau abschneidet, daß das Schallsignal nicht zu laut empfunden wird. Ein Vorteil dieser an sich üblichen Begrenzung ist die verzögerungsfreie Arbeitsweise, nachteilig ist die Verzerrung des Signals nach der Begrenzung.

Bei einer automatischen Regelung der Verstärkung ergibt sich dagegen folgende Situation: Ebenso wie der Zuhörer, der den Schallpegel erst vermindert, nachdem er festgestellt hat, daß er zu hoch ist, regelt auch die Automatik immer zu spät. Das Gerät muß nämlich erst wissen, daß das Schallereignis über ein bestimmtes Niveau hinaus geht. Dann erst setzt es die Verstärkung herab. Die Abbildung 5 zeigt, daß eine entsprechend eingestellte Verstärkung beim Auftreten eines hohen Signals bei C erst nach einer Einregelzeit auf einen niedrigeren Wert (in diesem Fall die Hälfte angenommen) zurückge-regelt wird. Entsprechend ist auch einleuchtend, daß nach dem Aufhören des hohen Signalpegels bei D eine Ausregelzeit benötigt wird, um die Verstärkung auf die alte Höhe zurück zu bringen. Ein- und Ausregelzeit müssen nicht gleich sein.

Abbildung 6 zeigt die durch eine solche Regelung hervorgerufene Änderung des Signalverlaufes. Zwar wird das Signal kurzzeitig ungeschwächt, das heißt zu laut, wiedergegeben, bis die Automatik die Verstärkung herabgeregelt hat, aber es treten nicht die mit der normalen Begrenzung verbundenen Verzerrungen auf. Unmittelbar nach dem Aufhören des lauten Schallereignisses, also während der Ausregelzeit, wird allerdings die Wiedergabe von lautschwachen Signalen so vermindert sein, daß nichts hörbar ist. Der Nachteil, daß innerhalb der Einregelzeit kurzzeitige hohe Schallpegel auftreten, kann vermindert werden, wenn man eine Regelautomatik und eine entsprechend eingestellte Begrenzung gleichzeitig zur Wirkung kommen läßt, wie in Abb. 7 angedeutet.

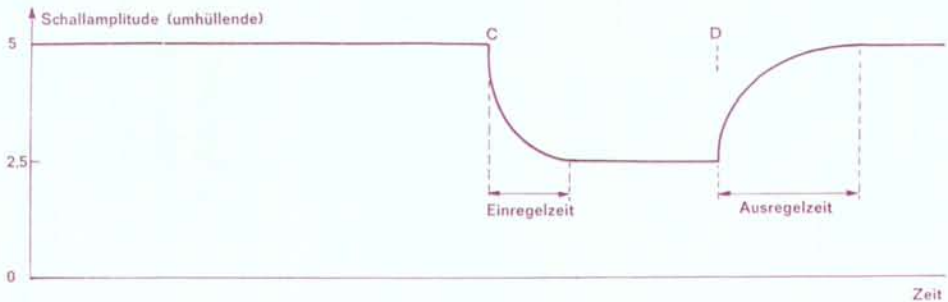


Abb. 5 Die Verstärkung ist unter Einwirkung der AVC für das Signal der Abb. 2 bis C 5-fach, anschließend fällt sie ab auf $2\frac{1}{2}$ -fach, um hinter D wieder auf 5-fach anzusteigen

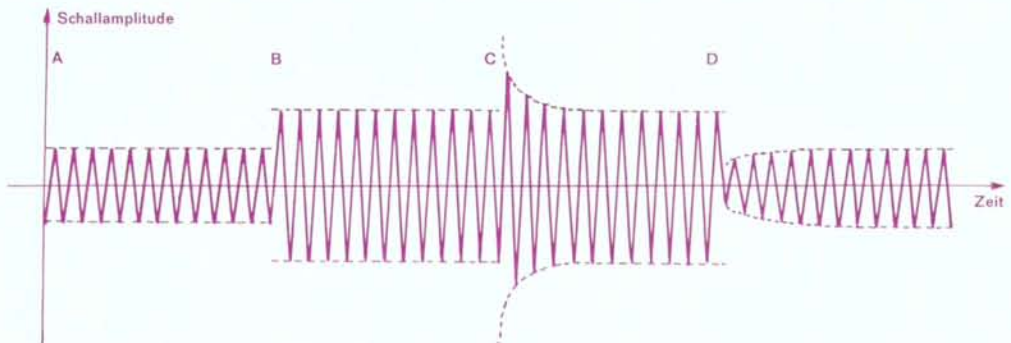


Abb. 6 Das Signal der Abb. 2 unter Einwirkung der automatischen Verstärkungsregelung

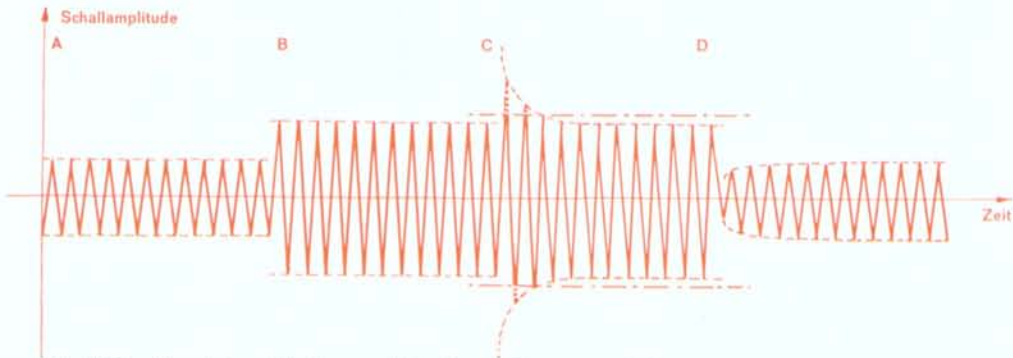


Abb. 7 Das Signal der Abb. 2 unter Einwirkung der automatischen Verstärkungsregelung und einer Begrenzung

Eine sehr kurze Einregelzeit ist ebenso wie eine sehr kurze Ausregelzeit nicht so leicht zu verwirklichen. Die kurze Ausregelzeit bringt noch andere Nachteile mit sich: Das Eigenrauschen des Hörgerätes entsteht nämlich durchweg in der ersten Verstärkerstufe. Es passiert dann den gesamten Verstärker und wird mit dem Signal zusammen verstärkt. Wenn die automatische Regelung des Verstärkers die abgegebenen Schallpegel höher und niedriger einstellt, wird auch das hörbare Rauschen zu- und abnehmen. In den Sprechpausen zwischen zwei Worten wird also kurzzeitig das Rauschen hörbar durchkommen, was keineswegs angenehm ist. Deshalb muß die Ausregelzeit so gewählt werden, daß die Sprechpausen gerade überbrückt werden.

Untersuchungen an Personen mit Lautheitsausgleich

Eine Gruppe von Schwerhörigen mit Lautheitsausgleich wurde um ihr Urteil über die verschiedenen Begrenzungsarten gefragt, wobei ihr sowohl Sprache als auch Musik mit Schallpegelchwankungen von 15—20 dB angeboten wurde. Die Dynamik konnte mit Hilfe eines symmetrischen Begrenzers und einer verzerrungsfrei arbeitenden Regelautomatik eingengt werden. Ebenso wurde die Gruppe befragt, welche Ein- und Ausregelzeiten für das automatisch geregelte Gerät als die günstigsten erscheinen. Die Einregelzeit konnte von 3 ms bis 900 ms und die Ausregelzeit von 10 ms bis 3 s verändert werden. Die Regelkennlinie bei der Automatik entsprach der in Abbildung 8 skizzierten. Die Signale fielen in den Regelbereich, das heißt also zwischen die Punkte a und b dieser Abbildung. Die Steigung der Regelkennlinie betrug 6 dB / 20 dB, das heißt bei einer zeitlichen Änderung des Eingangsschallpegels von 20 dB änderte sich der Ausgangsschallpegel um 6 dB. Sie konnte nicht verändert werden. Ein zweiter Verstärker, der hinter

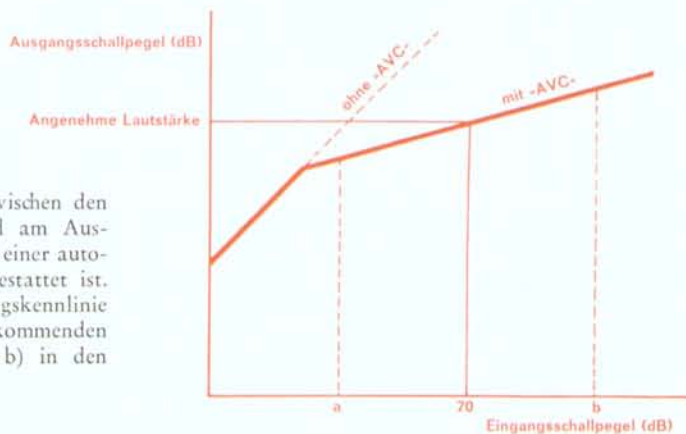


Abb. 8 Der Zusammenhang zwischen den Schallpegeln am Eingang und am Ausgang eines Hörgerätes, das mit einer automatischen Regelschaltung ausgestattet ist. Der Knick in der Verstärkungskennlinie muß so liegen, daß die vorkommenden Schallpegel (zwischen a und b) in den Regelbereich fallen.

den automatisch geregelten Verstärker geschaltet war, wurde so eingestellt, daß der abgegebene mittlere Schallpegel (etwa 70 dB) von der Versuchsperson als angenehm laut wahrgenommen wurde. Die Übertragungseigenschaften des Gerätes entsprachen denen des von der Versuchsperson benützten Hörgerätes. Insgesamt wurden 37 Versuchspersonen befragt. Wir erhielten dabei die folgenden Ergebnisse:

1. 18 Personen zogen die günstigste Regelautomatik vor.

3 Personen bevorzugten die normale Begrenzung.

12 Personen verhielten sich neutral.

4 Personen unklar.

Die Bevorzugung der Regelautomatik nimmt jedoch beträchtlich ab, wenn bei weniger günstigen Ein- und Ausregelzeiten gearbeitet wird.

2. Die Einregelzeit muß möglichst kurz sein, auf jeden Fall aber nicht mehr als 150 ms. Bei längeren Einregelzeiten ist zwar der »erste Schlag« gut hörbar, aber den Schwerhörigen stört das nicht. Deutlich stellte man fest, daß das mittlere Niveau entscheidend ist; laute Schallereignisse dürfen nicht zu lange dauern, leise Schallereignisse müssen angehoben werden.

3. Die Ausregelzeit muß zwischen 1 und 3 s liegen und darf auf keinen Fall kürzer als 300 ms sein. Bei kleineren Werten wird die Verzerrung lästig, zwischen 300 ms und 1 s ist das Rauschen ziemlich störend; über 3 s dauert die herabgeregelte Periode zu lange.

4. Der Schallpegel muß innerhalb des Regelbereiches liegen, damit laute Schallereignisse abgeschwächt und schwache angehoben werden können.

5. Die Steigung von 6 dB / 20 dB der Regelkennlinie erwies sich als geeignet.

6. Die Begrenzung der Schallwellen muß symmetrisch sein. Der Schallpegel muß so begrenzt werden, daß er 10 dB oder mehr über dem mittleren Schallpegel liegt.

7. Weder die automatische Regelung der Verstärkung noch die Begrenzung haben einen merkbaren Einfluß auf die Sprachverständlichkeit.

8. Hochgradig Schwerhörige und Taube haben eine ausgesprochene Vorliebe für einen normalen Begrenzer.

Hörgerät mit automatischer Verstärkungsregelung und Begrenzung

Ein Hörgerät mit einer automatischen Verstärkungsregelung und einem Begrenzer wird noch in der Praxis erprobt. Die Einregelzeit der automatischen Verstärkungsregelung beträgt 60—100 ms, die Ausregelzeit liegt zwischen 1,3—2,2 s. Die Regelautomatik arbeitet ziemlich verzerrungsfrei, die Regelkennlinie hat eine Steigung von 5 dB / 20 dB. Während der Einregelzeit arbeitet nur der normale Begrenzer (siehe Abbildung 7), so daß der »erste Schlag« abgeschnitten wird. Die Verzerrung während dieser Einregelzeit ist nicht merkbar.

Von den 28 mit diesem Gerät untersuchten Personen bevorzugten

12 die automatische Begrenzung, 1 die normale Begrenzung, 9 verhielten sich neutral, 6 benötigten keine Festlegung der Schallpegel.

Wir hatten bereits festgestellt, daß es am günstigsten ist, wenn alle Schallpegel in den Regelbereich der Automatik fallen. Darauf müßte unsere Regelverstärkerschaltung angepaßt sein. Dann müßte noch ein Verstärkerteil mit einstellbarem Verstärkungsregler vorhanden sein, um den mittleren Schallpegel auf das richtige Niveau zu bringen. Dies ist aber in einem Hörgerät unmöglich durchführbar. Für das Ingangsetzen der Regelverstärkerautomatik ist ein ziemlich großes elektrisches Signal erforderlich, das wir nur am Ausgang des Gerätes antreffen. Das heißt also, daß die Art und Weise der Schall-

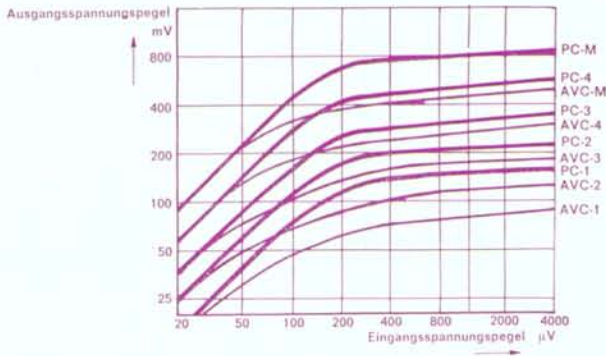


Abb. 9 Der Zusammenhang zwischen der Eingangsspannung und der Ausgangsspannung bei »AVC« und »PC« bei den Einstellungen »M-4-3-2-1« des beschriebenen Hörgerätes 1,3 V, Klangblende »N«, Verstärkungsregler voll aufgedreht

pegelreglung des Gerätes auch von der Einstellung des Verstärkungsreglers abhängt. Wie müssen wir nun ein solches Gerät regeln? Das genannte Hörgerät hat 5 Einstellungen für die Schallpegelreglung, die außerdem noch von der Einstellung des Verstärkungsreglers abhängen. Die Abbildung 9 vermittelt eine Vorstellung von der Verstärkungsweise mit dem vollaufgedrehten Verstärkungsregler.

Wir gehen nun wie folgt vor: Bei einem Patienten bestimmen wir die Einstellung des Verstärkungsreglers bei herabgeregelter Begrenzung (»PC« in Einstellung »M«) und bei ziemlich monotonem Sprechen mit normaler Lautstärke. Bei stark wechselnden Lautstärken merken wir dann, daß eine Begrenzung erwünscht ist. Wir nehmen dann »AVC« in Stellung »M« oder in Stellung »4«, falls »AVC« am günstigsten ist, und werden im allgemeinen feststellen, daß das mittlere Niveau zu viel abgenommen hat. Wir erhöhen dann die Lautstärke, bis das mittlere Niveau wieder erreicht ist, aber das bedeutet dann gleichzeitig, daß das Eingangsniveau, bei dem die Begrenzung einsetzt, niedriger zu liegen kommt. Mit anderen Worten, die Werte auf der horizontalen Achse der Abbildung 8 sind nach rechts verschoben worden. Wir können nun feststellen, ob das Signal in den Regelbereich fällt, indem wir uns vom Gerät entfernen und wieder auf das Gerät zugehen, wobei normales Sprechen gut verständlich bleiben muß, sofern dies bei den betreffenden Patienten möglich ist. Wird das entferntere Sprechen zu leise, dann nehmen wir Stellung »3« und erhöhen die Lautstärke, bis das gewünschte mittlere Niveau wieder erreicht ist. Noch leisere Geräusche gelangen nun in den Regelbereich. Wir wiederholen dann den Versuch mit sich näherndem Sprechen. So können wir fortfahren, bis eine befriedigende Einstellung erreicht ist. Im allgemeinen werden leichte Fälle von Lautheitsausgleich folglich »AVC« Einstellung »1« mit einer niedrigeren Einstellung des Verstärkungsreglers bevorzugen, schwere Fälle »AVC« Einstellung »M« kombiniert mit einer hohen Einstellung des Verstärkungsreglers. Bei der Einstellung von »PC« gehen wir in gleicher Weise vor. Wir beginnen mit »PC« Einstellung »4« und erhöhen die Lautstärke bis auf das gewünschte mittlere Niveau. Werden die Spitzen noch nicht genügend abgeschnitten, dann gehen wir auf »PC« Einstellung »3« und erhöhen die Lautstärke wieder. Jetzt wird also mehr von den Spitzen abgeschnitten, usw. Die Experimente haben ergeben, daß die automatische Regelung gegenüber dem normalen Begrenzer Vorteile hat, daß dies jedoch nicht allgemein gilt. Jede Regelschaltung muß in dieser Hinsicht gesondert geprüft werden. Dies alles ändert nichts an der Tatsache, daß sich jeder Begrenzer immer als eine gut brauchbare Schallpegel-einstellung erwiesen hat, die sich in der Praxis gut bewährt und zu wenig Beschwerden geführt hat, so daß Hörgeräte, die keine automatische Regelung besitzen, deshalb nicht ohne weiteres abgelehnt werden müssen.