

Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum

Verfahren nach E. Zwicker

DIN
45 631

Procedure for calculating loudness level and loudness
Méthode de calcul du niveau d'isophonie et de la sonie

Ersatz für Ausgabe 10.67x

Zusammenhang mit der Internationalen Norm ISO 532 : 1975, siehe Erläuterungen.

1 Anwendungsbereich und Zweck

In dieser Norm wird ein Verfahren beschrieben, mit dem aus objektiven Meßwerten ein Maß für den Lautstärkepegel und die Lautheit gewonnen werden kann. Die Ergebnisse entsprechen nahezu dem in DIN 1318 definierten Lautstärkepegel. Das Verfahren gestattet es, verschiedene stationäre Geräusche in die Rangfolge ihrer subjektiv wahrgenommenen Lautstärke einzuordnen. Das Berechnungsverfahren wird vorzugsweise bei der Klärung grundsätzlicher Fragen angewendet. Insbesondere technische Geräuscherzeuger und Immissionen werden im allgemeinen nach anderen Maßstäben beurteilt, die in besonderen Normen festgelegt sind (siehe zum Beispiel Normen der Reihe DIN 45 635, DIN 45 645 Teil 1 und DIN 45 645 Teil 2).

Das in dieser Norm angegebene Verfahren nach E. Zwicker dient zur Berechnung des Lautstärkepegels aus dem Terzpegel-Diagramm ($\frac{1}{3}$ -Oktavpegel-Diagramm) und ist auch auf Schallvorgänge anwendbar, in deren Spektrum einzelne Töne oder bestimmte Frequenzgebiete aus ihrer spektralen Umgebung deutlich hervorragen.

2 Beschreibung des Verfahrens

2.1 Die Terzpegel werden mit einem Schallpegelmessers nach DIN IEC 651 oder einem integrierenden mittelwertbildenden Schallpegelmessers nach DIN IEC 804 in Verbindung mit Terzfiltern nach DIN 45 652 bestimmt; Geräte zur Darstellung des Terzspektrums oder des Lautheits-Tonheits-Musters in Echtzeit müssen in ihren relevanten Eigenschaften den genannten Normen entsprechen.

Die Terzpegel werden nach Abschnitt 4 in eines der Diagramme nach Bild 2 bis 11 eingetragen und zu einem zusammenhängenden Kurvenzug, der Lautheitsverteilung, verbunden. Die Fläche, die von der Lautheitsverteilung, der Abszissenachse und den Endordinaten des Diagramms begrenzt ist, entspricht der Lautheit (siehe DIN 45 630 Teil 1). Aus der Höhe der flächengleichen, rechteckigen Diagrammfläche kann man an der Skala rechts im Diagramm die Lautheit ablesen; ferner sind zwei Skalen für den Lautstärkepegel angebracht.

2.2 Die Diagramme F1 bis F5 (siehe Bild 2 bis 6) sind für die Bestimmung des Lautstärkepegels bei frontalem Schalleinfall, die Diagramme D1 bis D5 (siehe Bild 7 bis 11) für die Bestimmung im diffusen Feld vorgesehen. Je nach den vorliegenden Verhältnissen ist das Schallfeld der einen oder anderen Feldart zuzurechnen (siehe Erläuterungen).

Jedes Diagramm gilt für einen bestimmten Lautstärkepegelbereich.

2.3 Das hier und in den folgenden Abschnitten beschriebene Verfahren kann vorteilhaft mit einem Rechenprogramm (siehe Anhang A) ausgeführt werden.

3 Größen und Benennungen

3.1 Terzpegel L_T , Frequenzgruppenpegel L_G

Der Schalldruckpegel in einem Frequenzband von der Breite einer Dritteloktave wird Terzpegel L_T genannt, derjenige in einer Frequenzgruppe Frequenzgruppenpegel L_G .

3.2 Frequenzgruppe

Oberhalb der Frequenz 280 Hz werden die Frequenzgruppen durch Terzbänder, unterhalb von 280 Hz durch Zusammenfassungen von mehreren Terzbändern angenähert (siehe Abschnitt 4).

Anmerkung: Das Verfahren nach E. Zwicker basiert auf Frequenzgruppen (siehe Schrifttum). Aus praktischen Gründen werden jedoch als Näherung Terzbänder bzw. die Zusammenfassung von solchen benutzt.

3.3 Berechneter Lautstärkepegel L_{NG}

Der Lautstärkepegel im Sinne dieser Norm ist der berechnete Lautstärkepegel. Der berechnete Lautstärkepegel L_{NG} wird als L_{NGF} in phon (GF) oder als L_{NGD} in phon (GD) angegeben. Die Buchstaben GF und GD weisen darauf hin, daß die Berechnung auf den Frequenzgruppen (G) beruht und für frontalen Einfall (F) oder für diffuses Feld (D) gilt.

3.4 Berechnete Lautheit N_G

Die Lautheit im Sinne dieser Norm ist die berechnete Lautheit. Nach DIN 45 630 Teil 1 besteht zwischen der Lautheit N in sone und dem Lautstärkepegel L_N in phon in einem eingeschränkten Bereich die Beziehung

$$N = 2^{0,1(L_N - 40)} \text{ für } L_N \geq 40 \text{ phon} \quad (1)$$

oder

$$L_N = 40 + 33,22 \lg N \text{ für } N \geq 1 \text{ sone} \quad (2)$$

Die Beziehung zwischen der Lautheit und dem Lautstärkepegel wird im Rechenprogramm in einem erweiterten Bereich zwischen 3 phon und 140 phon, entsprechend

Fortsetzung Seite 2 bis 27

Normenausschuß Akustik, Lärmminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI

AVA Documents
Document Sharing Hub

Tabelle 1. Bewertung der Terzpegel L_T für Mittenfrequenzen f_T unter 250 Hz; Abzüge ΔL in dB

Bereich	f_T/Hz $L_T + \Delta L$	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250
I	$\leq 45 \text{ dB}$	-32	-24	-16	-10	-5	0	-7	-3	0	-2	0
II	$\leq 55 \text{ dB}$	-29	-22	-15	-10	-4	0	-7	-2	0	-2	0
III	$\leq 65 \text{ dB}$	-27	-19	-14	-9	-4	0	-6	-2	0	-2	0
IV	$\leq 71 \text{ dB}$	-25	-17	-12	-9	-3	0	-5	-2	0	-2	0
V	$\leq 80 \text{ dB}$	-23	-16	-11	-7	-3	0	-4	-1	0	-1	0
VI	$\leq 90 \text{ dB}$	-20	-14	-10	-6	-3	0	-4	-1	0	-1	0
VII	$\leq 100 \text{ dB}$	-18	-12	-9	-6	-2	0	-3	-1	0	-1	0
VIII	$\leq 120 \text{ dB}$	-15	-10	-8	-4	-2	0	-3	-1	0	-1	0

0 sone und 1024 sone bei einer Genauigkeit besser ± 1 phon angewendet. Dabei gilt für $N < 1$ sone die Beziehung

$$L_N = 40 (N + 0,0005)^{0,35} \quad (3)$$

Man gibt die erhaltene Lautheit in sone (GF) oder in sone (GD) an. Der Übergang auf die Lautheiten ermöglicht die einfache Addition der Teillautheiten in den einzelnen Frequenzgruppen, die hier auf graphischem Wege oder über Rechenprogramme durchgeführt wird.

4 Durchführung der Berechnung

Das Verfahren zur Berechnung des Lautstärkepegels setzt sich aus drei Schritten zusammen:

Schritt 1: Jedes Diagramm enthält senkrecht nebeneinanderstehende Leitern für die Terzpegel L_T in dB. Man wähle ein Diagramm aus, das dem betreffenden Schallfeld entspricht und das den höchsten Terzpegel gerade noch enthält, der im Spektrum vorkommt. Oberhalb von 280 Hz zeichne man die gemessenen Terzpegel als waagerechte Linien in das ausgewählte Diagramm ein. Die Zahlen auf der Abszisse entsprechen den Grenzfrequenzen der Terzbänder, die oberen Zahlen den Mittenfrequenzen in Hz bzw. kHz. Da die Frequenzgruppen im unteren Frequenzbereich breiter sind als ein Terzband, ist es notwendig, die gemessenen und nach Tabelle 1 bewerteten Terzpegel zu Frequenzgruppenpegeln L_{G1} , L_{G2} , L_{G3} zusammenzufassen.

Vor der Zusammenfassung der Terzpegel ist eine Bewertung in Anlehnung an die Kurven gleicher Lautstärke nötig. Sie wirkt sich insbesondere dann aus, wenn das Geräusch starke Komponenten unter 250 Hz enthält. Die Bewertung wird durchgeführt, indem die in Tabelle 1 angegebenen Abzüge ΔL bei den entsprechenden Terzpegeln angebracht werden. Beträgt beispielsweise bei $f_T = 40 \text{ Hz}$ $L_T = 78 \text{ dB}$, so ergibt sich:

im Bereich I: $L_T + \Delta L = (78 - 16) \text{ dB} = 62 \text{ dB} > 45 \text{ dB}$,

im Bereich II: $L_T + \Delta L = (78 - 15) \text{ dB} = 63 \text{ dB} > 55 \text{ dB}$,

im Bereich III: $L_T + \Delta L = (78 - 14) \text{ dB} = 64 \text{ dB} < 65 \text{ dB}$.

Mithin ist $L_{TBew} = 64 \text{ dB}$. Auf diese Weise entstehen die bewerteten Terzpegel L_{TBew} . Die bewerteten Terzpegel werden zu den folgenden drei Frequenzgruppenpegeln zusammengefaßt:

L_{G1} : Alle bewerteten Terzpegel der Mittenfrequenzen von 25 bis 80 Hz

L_{G2} : Drei bewertete Terzpegel der Mittenfrequenzen von 100 bis 160 Hz

L_{G3} : Zwei bewertete Terzpegel der Mittenfrequenzen von 200 und 250 Hz

Man zeichne die zusammengefaßten Pegel L_{G1} , L_{G2} und L_{G3} als waagerechte Linie in die entsprechenden Frequenzgruppen des Diagramms ein.

Schritt 2: Terzpegel, die im Diagramm mit zunehmender Frequenz ansteigen, werden durch senkrechte Linien verbunden, so daß eine Treppenkurve entsteht. Wenn der Pegel im Diagramm für das nächsthöhere Frequenzband niedriger ist, wird die Verbindung durch eine abfallende Linie hergestellt, die parallel zu den gestrichelt gezeichneten, fallenden Linien des Diagramms verläuft. Die nach rechts abfallende Linie wird bis zum Schnitt mit einem der folgenden Terzpegel bzw. mit der entsprechenden senkrechten Linie heruntergezogen, wie dies in Bild 1 dargestellt ist. Unter der Lautheitsverteilung liegende Terzpegel können dadurch teilweise oder ganz verdeckt sein. Die Fläche, die unter der eingezeichneten Lautheitsverteilung liegt, entspricht der Gesamtlautheit.

Schritt 3: Die Fläche wird in ein flächengleiches Rechteck umgewandelt, das die Breite des Diagramms zur Grundlinie hat. Dies kann nach Augenmaß oder mit Hilfe eines Planimeters bzw. eines Rechenprogramms (siehe Anhang A) geschehen. Die Höhe des Rechtecks gibt an den Skalen zu beiden Seiten des Diagramms den Lautstärkepegel in phon (GF) oder in phon (GD) und die Lautheit in sone (GF) oder in sone (GD) an.

Anmerkung: Das hier erläuterte graphische Verfahren ist in ein Rechenprogramm implementiert worden, welches im Anhang A angegeben ist. Einzugebende Größen sind die Terzpegel. Das Rechenprogramm führt sowohl die Bewertung der Terzpegel für Mittenfrequenzen unter 250 Hz als auch die weiteren Prozeduren bis zur Ermittlung der Lautheit und des Lautstärkepegels durch.

Beispiel: Es sollen der Lautstärkepegel und die Lautheit eines Geräusches bei frontalem Einfall berechnet werden. Die für die Berechnung gemessenen Terzpegel L_T sind in der Tabelle 2 angegeben. Während die Terzpegel von 315 Hz (Mittenfrequenz) aufwärts unmittelbar in ein Diagramm, wofür im vorliegenden Fall das Diagramm F4 gewählt wird, eingetragen werden können, sind die Terzpegel unter 315 Hz zu Frequenzgruppenpegeln L_G zusammengefaßt.

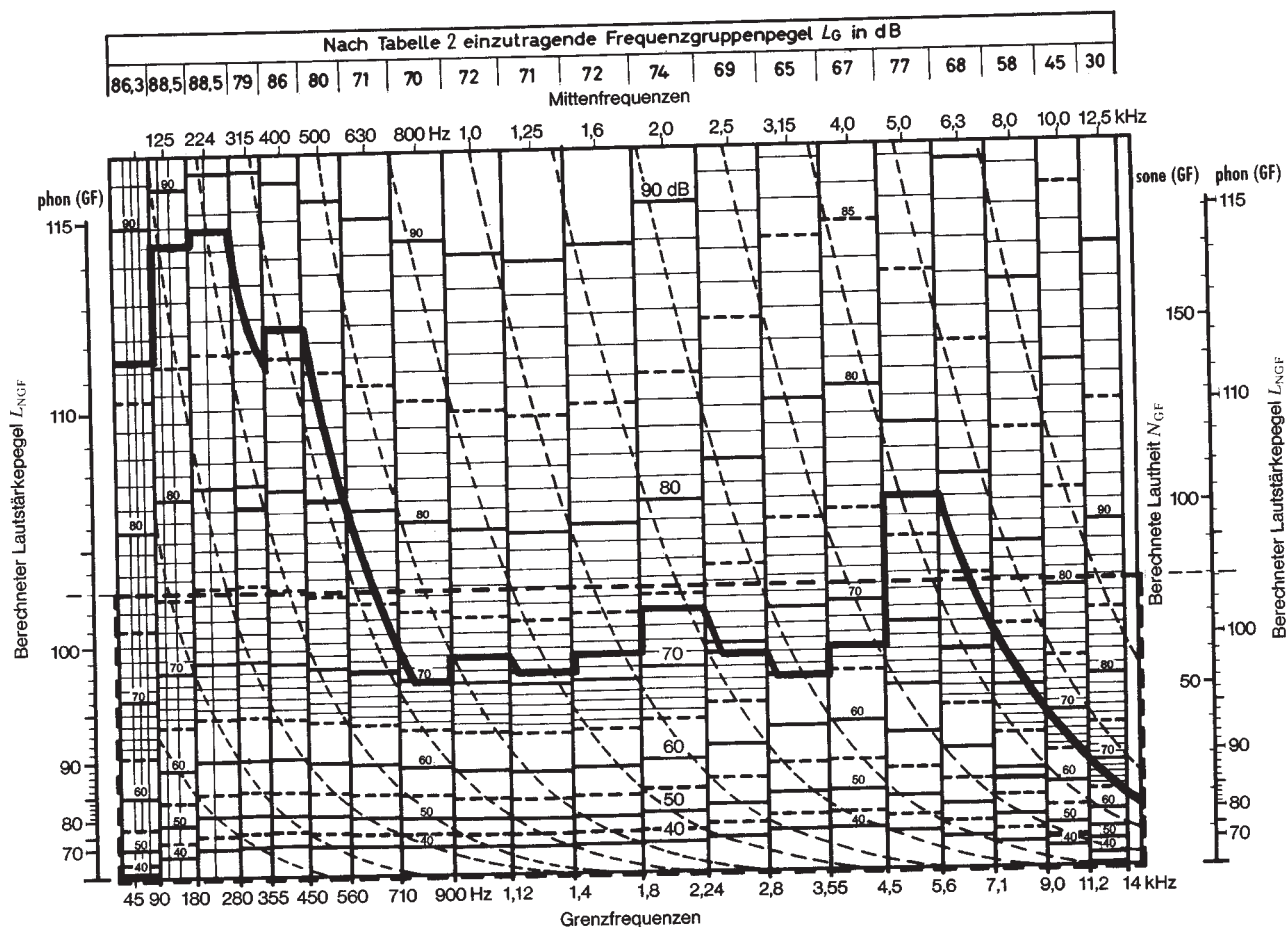


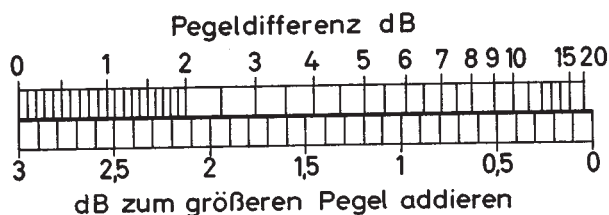
Bild 1. Lautheitsverteilung des als Beispiel gewählten Geräusches

Tabelle 2.

f_T Hz	L_T dB	L_{TBEW} dB	L_G dB	f_T Hz	$L_T=L_G$ dB	f_T Hz	$L_T=L_G$ dB
40	78	64	86,3	315	79	2500	69
50	79	70		400	86	3150	65
63	89	86		500	80	4000	67
80	72	72		630	71	5000	77
100	80	76	88,5	800	70	6300	68
125	89	88		1000	72	8000	58
160	75	75		1250	71	10000	45
200	87	86	88,5	1600	72	12500	30
250	85	85		2000	74	—	—

Für die Zusammenfassung dieser Terzpegel kann folgendes Verfahren verwendet werden:

Man bildet die Differenz zweier zusammenfassender Pegelwerte und sucht im unten abgebildeten Nomogramm den zugeordneten Hilfwert, den man zum größeren der beiden Pegelwerte addiert. Das Ergebnis wird wie ein einziger Pegelwert behandelt, wenn weitere Pegelwerte zusammengefaßt werden sollen (siehe Tabelle 3).



Anmerkung: Dieses Nomogramm beruht auf folgendem mathematischen Zusammenhang:

$$L_{ges} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i} \text{ dB} \quad (4)$$

Die Lautheitsverteilung wird nach Abschnitt 4 gezeichnet (siehe Bild 1). Wie man sieht, werden die Terzpegel mit den Mittenfrequenzen 315 Hz; 500 Hz; 630 Hz; 6,3 kHz; 8 kHz; 10 kHz und 12,5 kHz lautheitsmäßig verdeckt.

Tabelle 3. Bewerteter Terzpegel

Bewerteter Terzpegel	Meßwert dB	Pegeldifferenz dB	Zuschlag dB	Ergebnis dB
L_{TBEW40} L_{TBEW50}	64 70	70 - 64 = 6	1	70 + 1 = 71
L_{TBEW63} L_{TBEW80}	86 72	86 - 72 = 14	0,2	86 + 0,2 = 86,2
		86,2 - 71 = 15,2	0,1	86,2 + 0,1 = 86,3

Nach dem Planimetrieren der Lautheitsfläche wird die Höhe des flächengleichen Rechtecks eingetragen und der berechnete Lautstärkepegel L_{NGF} zu 103 phon (GF), die berechnete Lautheit N_{GF} zu 79 sone (GF) bestimmt. Das Rechenprogramm in Anhang A liefert die Werte 103,8 phon und 83,3 sone.

Das Lautheitsdiagramm weist zwei Gebiete besonders großer Teillautheit auf, ein tieferes um 200 Hz, ein höheres um 5000 Hz.

Für dieses Geräusch wurden mit dem Schallpegelmessgerät Werte für den Schallpegel L_A mit 87 dB, für L_B mit 92 dB und L_C mit 94 dB gemessen.

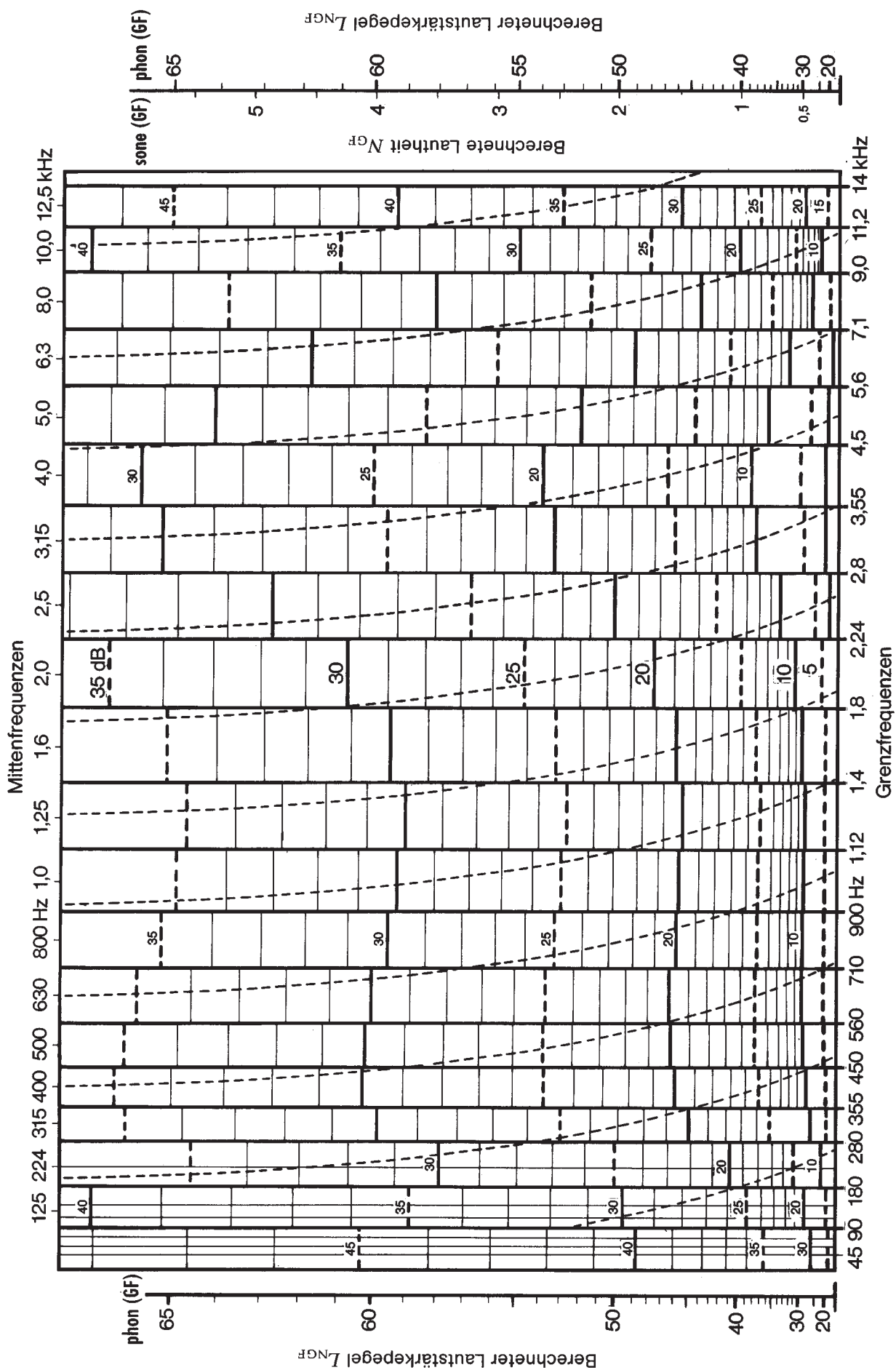
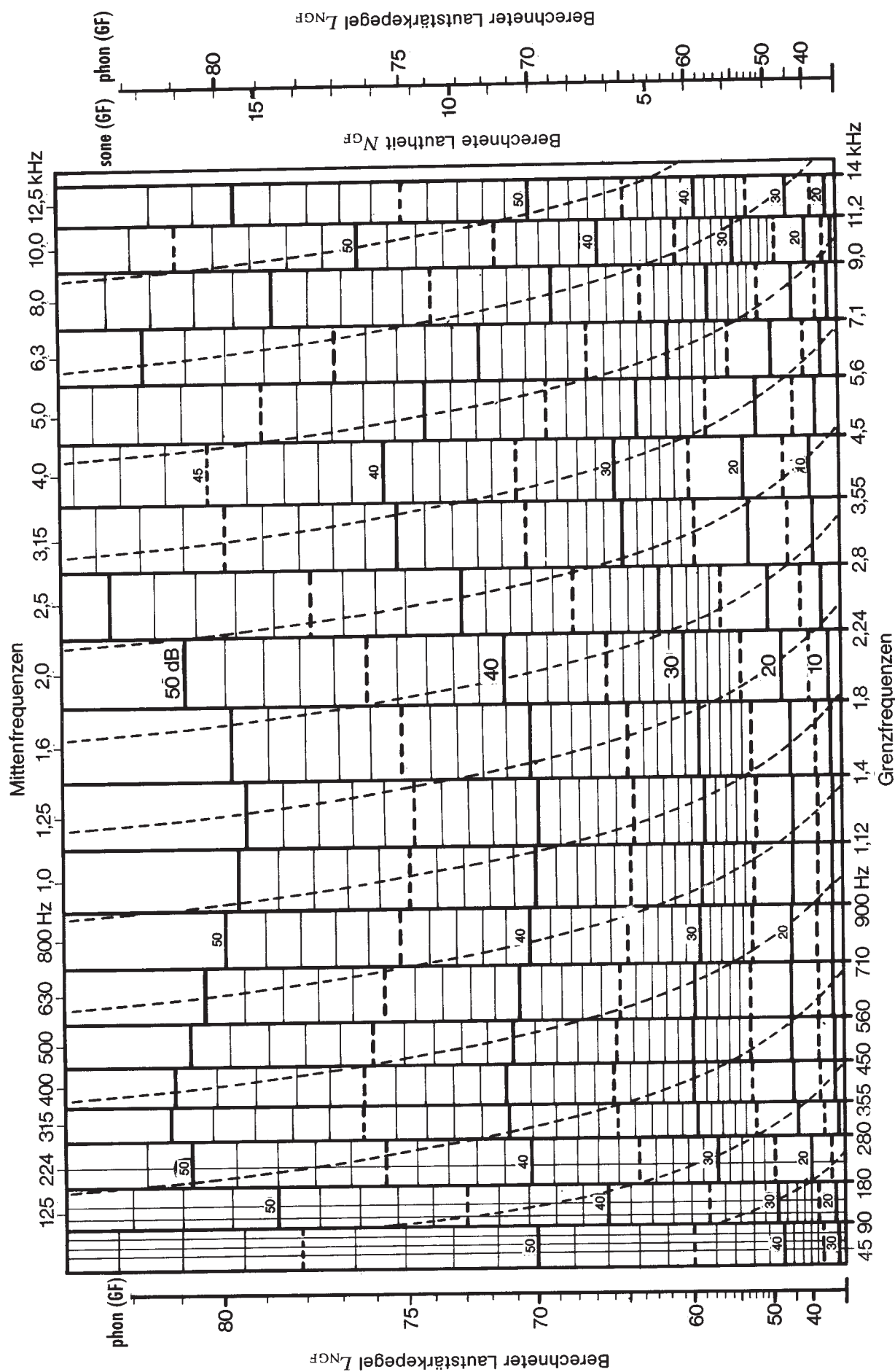
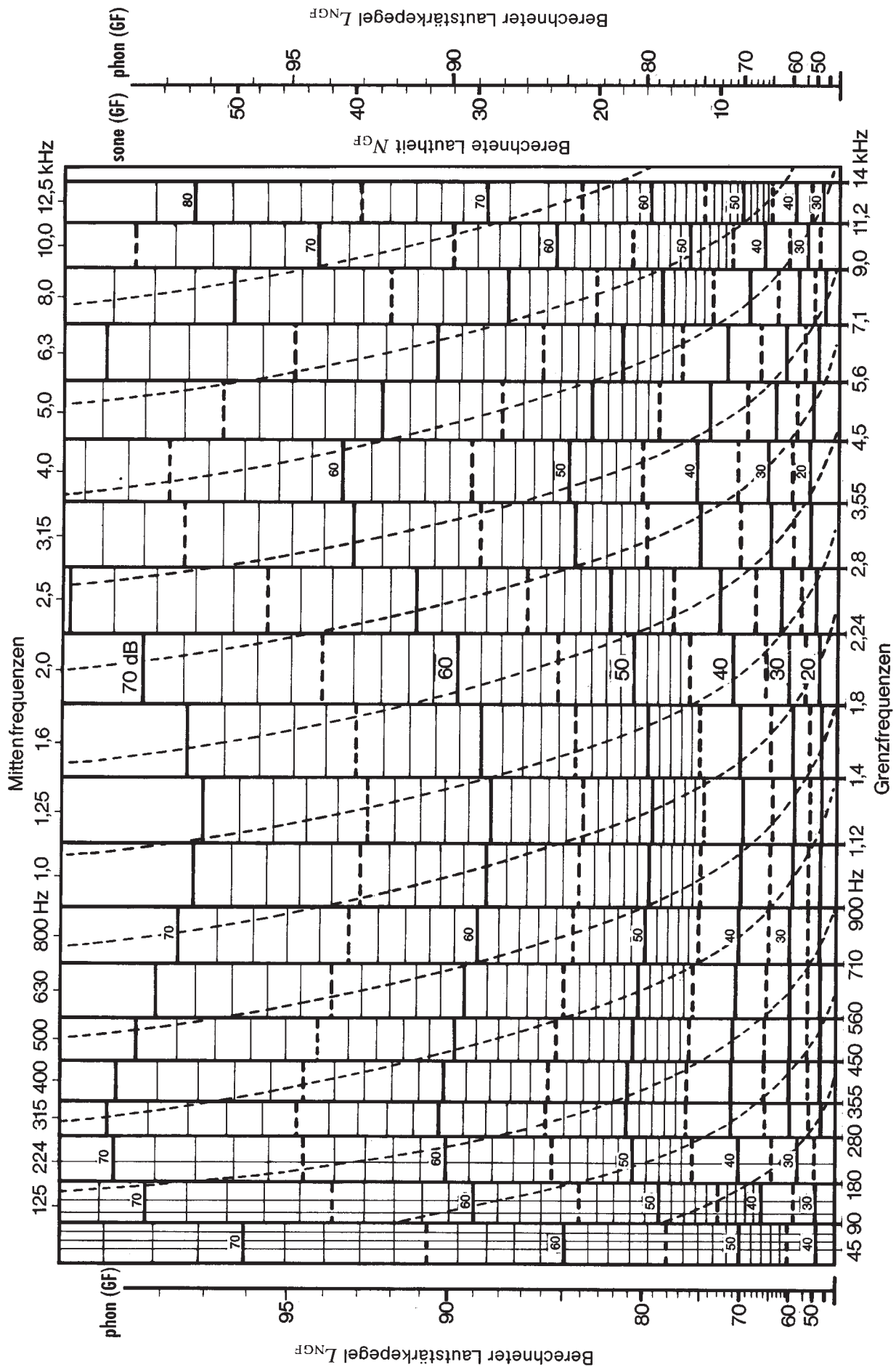
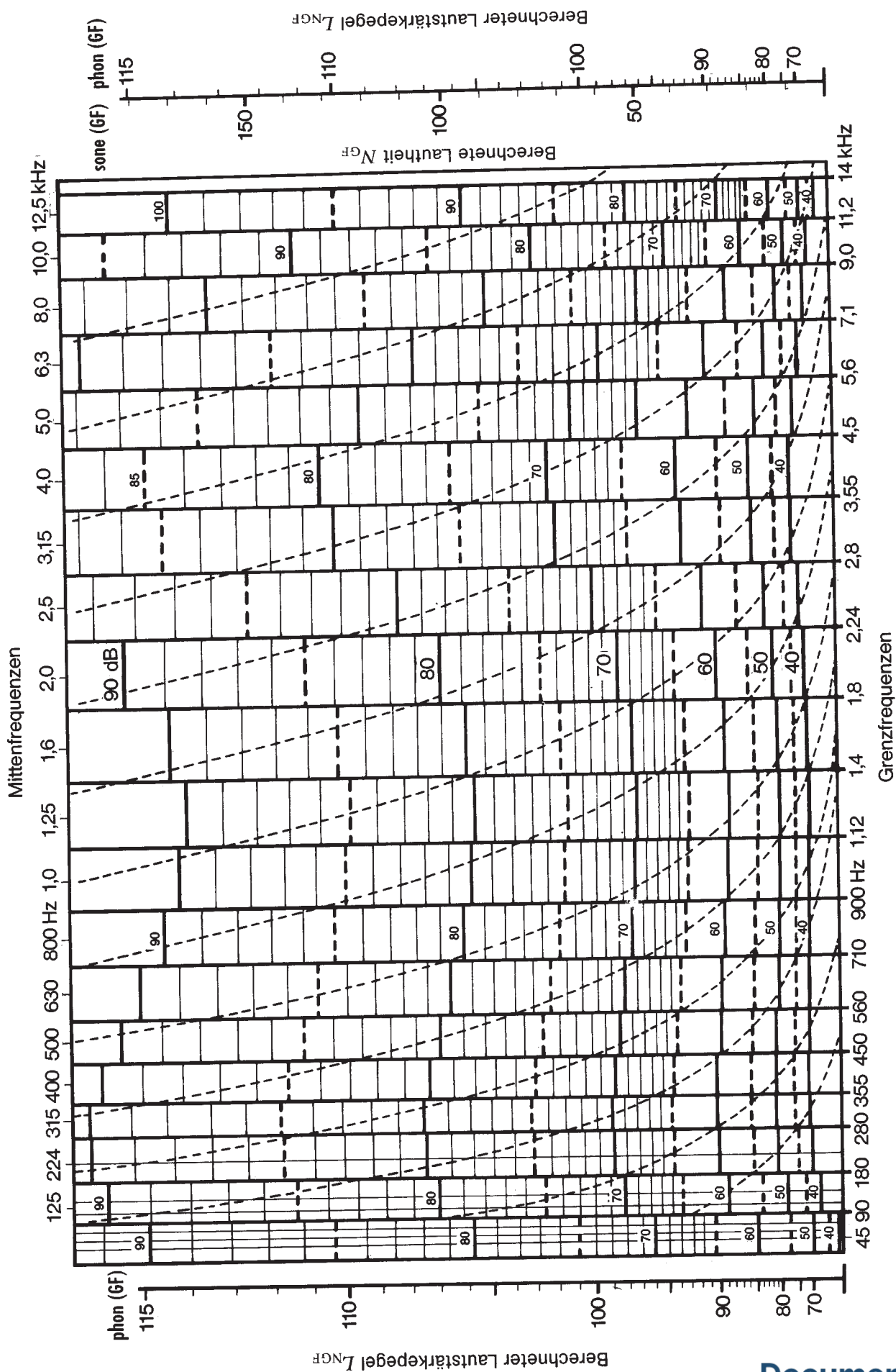


Bild 2. Diagramm F1: bis ≈ 65 phon (GF)

Bild 3. Diagramm F2: bis $\approx 80 phon$ (G)

Bild 4. Diagramm F3: bis ≈ 98 phon (GF)

Bild 5. Diagramm F4: bis ≈ 115 phon (GF)

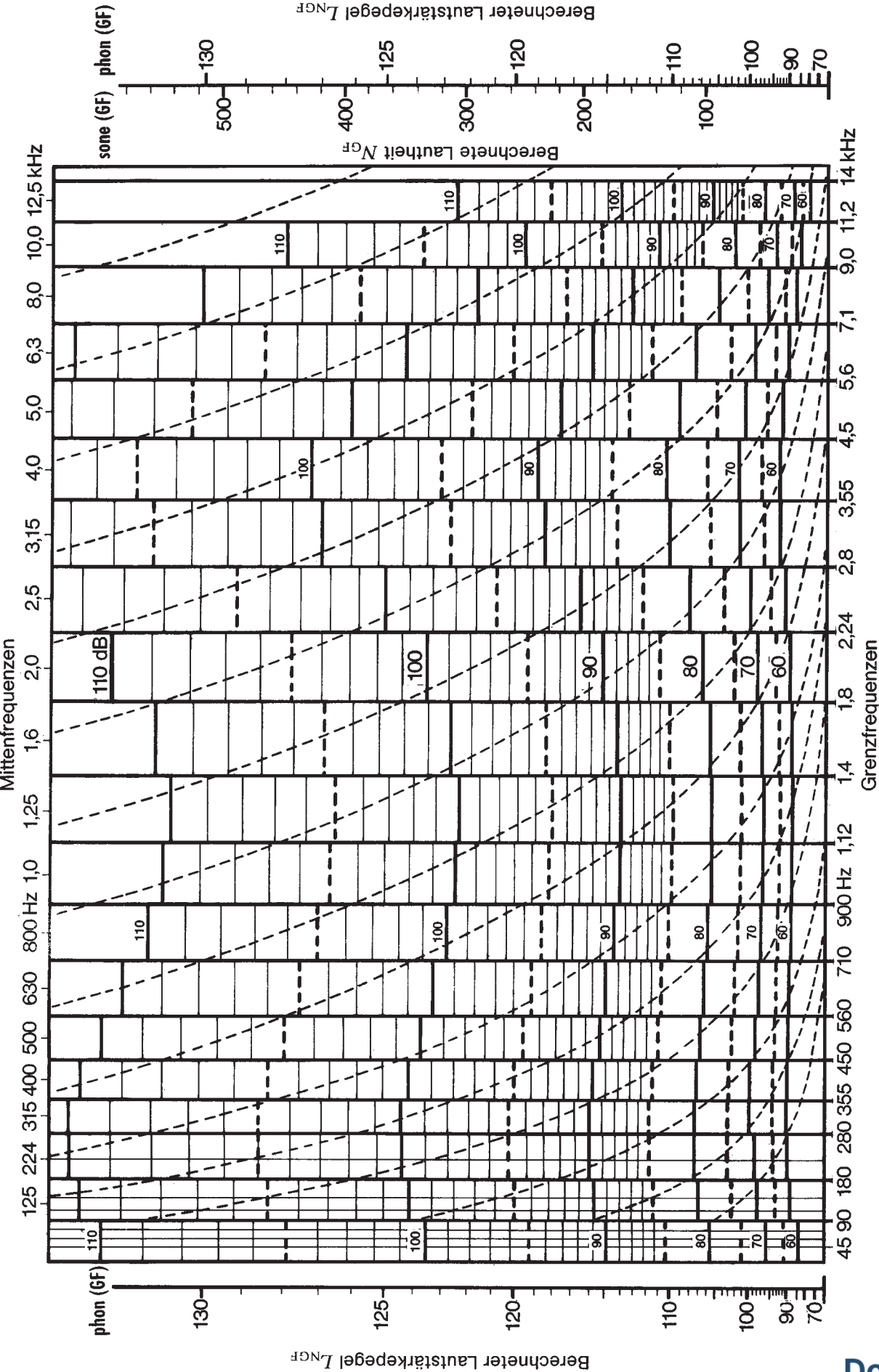
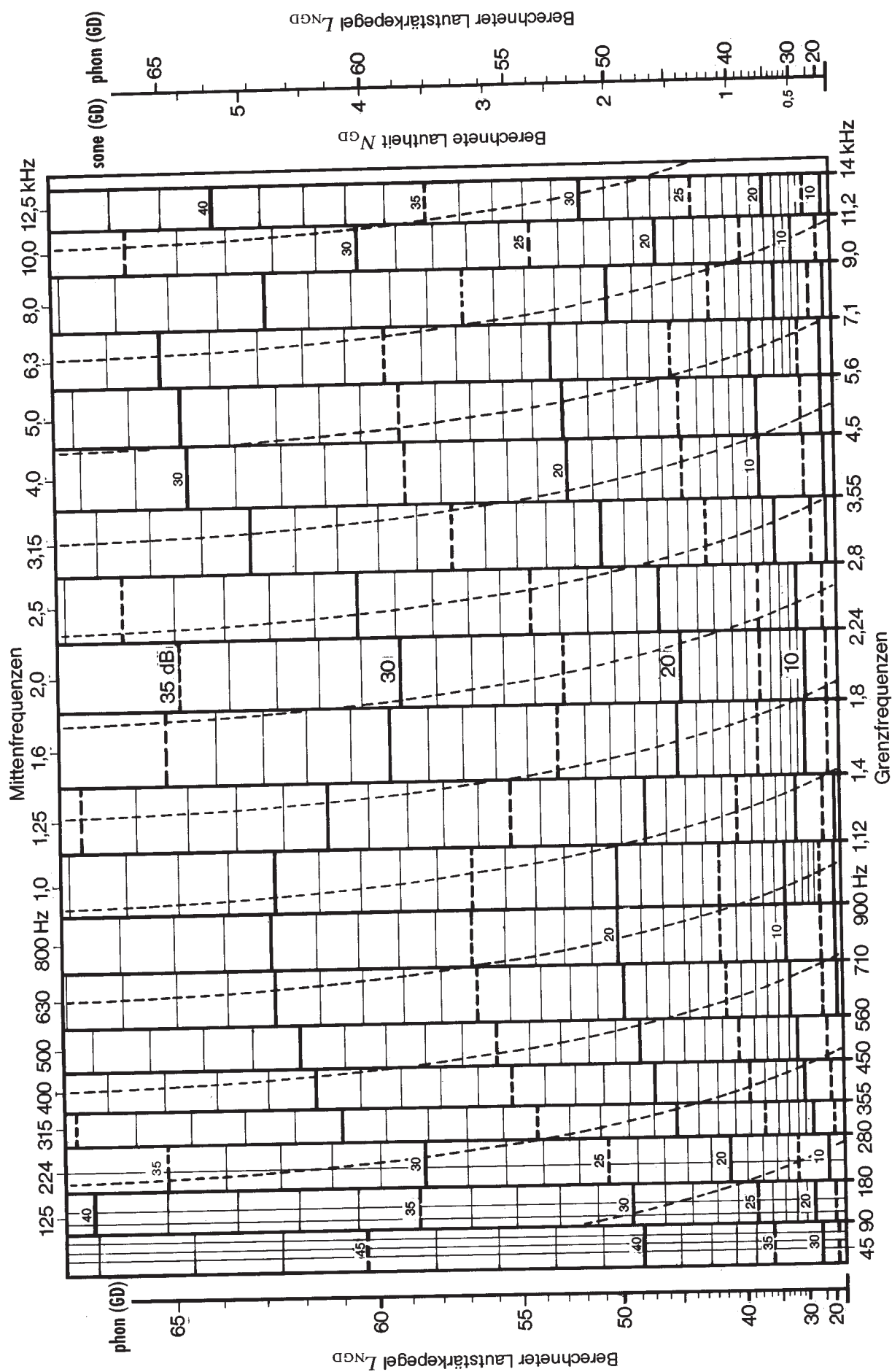


Bild 6. Diagramm F5: bis ≈ 130 phon (GF)

Bild 7. Diagramm D1, bis ≈ 65 phon (G.D.)