

Klang durch Glas

Glasmembran-Technologie und der 202N-GL – der weltweit einzige Kompressionstreiber mit Glaskalotte

Juni 2026



Zusammenfassung

Die Hochtonwiedergabe in professionellen Lautsprechern wurde schon immer durch eine Komponente begrenzt: die Membran des Kompressionstreibers. Die ideale Membran wäre vollkommen steif, extrem leicht und in der Lage, ihre eigenen Resonanzen zu absorbieren. Kein herkömmliches Material bietet alle drei Eigenschaften gleichzeitig. Titan und Aluminium sind steif, klingen aber nach; Polymere sind gut gedämpft, aber weich; Beryllium kommt dem Ideal nahe, ist jedoch gefährlich in der Verarbeitung und teuer.

Dieser Artikel stellt einen vierten Weg vor: amorphes, chemisch gehärtetes Glas, das präzise zu einer Kuppel geformt wird. Glas leitet Schall schneller als Titan, ist fast halb so dicht und leitet interne Schwingungen etwa 7,5-mal schneller ab als Titan oder Aluminium [1]. Es verhält sich wie ein Metall, wo es auf Steifigkeit ankommt, und wie eine weiche Kuppel, wo es auf Dämpfung ankommt.

REDCATT hat dieses Material beim 202N-GL eingesetzt, dem unseres Wissens einzigen Kompressionstreiber der Welt, der auf einer Glasmembran basiert. Die Membran ist eine vollständige Eigenentwicklung von REDCATT – die Glaszusammensetzung, der Formungsprozess und die Montagetechnik wurden alle im Laufe jahrelanger Entwicklung intern entwickelt und sind derzeit zum Patent angemeldet. Klippel-Messungen bestätigen die Theorie in der Praxis: ein gleichmäßiger Frequenzgang von etwa 1 kHz

bis 20 kHz bei einer Empfindlichkeit von 109,5 dB, frei von den für Metallkalotten typischen Verzerrungen.

1. Warum die Membran den Klang bestimmt

Ein Kompressionstreiber ist vom Konzept her einfach: Eine von einer Schwingspule angetriebene Kalottenmembran verdichtet Luft durch einen Phasenstecker in ein Horn. Unterhalb einer bestimmten Frequenz bewegt sich die Kalotte wie ein starrer Kolben, und ihr Ausgang folgt dem elektrischen Signal originalgetreu. Oberhalb dieser Frequenz beginnt die Kalotte zu schwingen – sie zerfällt in Bereiche, die phasenverschoben zueinander schwingen. Diese Schwingungszerlegung führt zu Resonanzspitzen, Frequenzgangschwankungen und harmonischen Verzerrungen genau dort, wo das Ohr am empfindlichsten ist.

Zwei Materialeigenschaften bestimmen dieses Verhalten. Die Schallgeschwindigkeit im Material, ungefähr $\sqrt{E/\rho}$, wobei E die Steifigkeit und ρ die Dichte ist, bestimmt, bis zu welcher Frequenz die kolbenartige Bewegung anhält – je höher, desto besser. Der interne Dämpfungsfaktor (η) bestimmt, was passiert, wenn es schließlich zum Breakup kommt: Ein schlecht gedämpftes Material schwingt bei seiner Breakup-Frequenz wie eine Glocke, während ein gut gedämpftes Material die Resonanz als Wärme abführt. Auch die Dichte spielt eine Rolle, da eine leichtere Kalotte weniger bewegte Masse und eine höhere Empfindlichkeit bedeutet. Die Auswahl der Membran ist die Kunst, alle drei Faktoren in Einklang zu bringen [2].

2. Die Materialien, aus denen die Ingenieure wählen mussten

Material	Dichte (g/cm ³)	Elastizitätsmodul (GPa)	Schallgeschwindigkeit (m/s)	Dämpfungsfaktor (η)
Beryllium	1,85	287	12.500	0,005
Glas (chemisch gehärtet)	2,4	70–80	5.800	0,015
Aluminium	2,7	70	5.400	0,002
Titan	4,5	110–116	5.200	0,002
Papier	~1,0	1,9	3.200	0,040

Schallgeschwindigkeit und Dämpfungsfaktor gemäß Veröffentlichung von Nippon Electric Glass [1]; Elastizitätsmodul- und Dichtebereiche gemäß BDNC [2].

Titan ist seit Jahrzehnten das Arbeitstier der Industrie: langlebig, formbar und hochtemperaturbeständig. Es ist jedoch das Material mit der höchsten Dichte in der Tabelle und eines der am schlechtesten gedämpften ($\eta = 0,002$). Seine Ausbrechfrequenz liegt typischerweise innerhalb oder knapp oberhalb des hörbaren Frequenzbereichs, und da die Resonanz ungedämpft ist, strahlt sie ab – die bekannte trockene, metallische oberste Oktave herkömmlicher Kompressionstreiber, die bei hohen Ansteuerungspegeln zunehmend hörbar wird [3].

Aluminium ist leichter und ähnlich steif, weist jedoch die gleiche vernachlässigbare innere Dämpfung auf, und seine geringere Festigkeit schränkt die Belastbarkeit bei Kompressionstreiberanwendungen ein.

Beryllium ist auf dem Papier der Maßstab: Seine Schallgeschwindigkeit von 12.500 m/s verschiebt die Klirrgrenze über 40 kHz hinaus. In der Praxis bringt es jedoch erhebliche Nachteile mit sich – Berylliumstaub ist hochgiftig (das Einatmen kann zu Berylliose, einer chronischen Lungenerkrankung, führen), die Verarbeitung ist auf spezialisierte Einrichtungen beschränkt, und fertige Membranen kosten um ein Vielfaches mehr als Titan [2][3].

Polymere und beschichtete Gewebe dämpfen gut, sind jedoch zu weich, um die Kolbenbewegung über den gesamten Frequenzbereich eines Kompressionstreibers aufrechtzuerhalten, und sie zersetzen sich unter dem Einfluss von Hitze, Feuchtigkeit und Alterung.

3. Argumente für Glas

Glas – amorphes SiO₂ – nimmt eine Position ein, die kein anderes praktisches Material einnimmt. Seine Schallgeschwindigkeit von etwa 5.800 m/s übertrifft die von Titan, sodass eine Glaskalotte die Kolbenbewegung mindestens bis in denselben Frequenzbereich aufrechterhält wie das branchenübliche Metall. Mit 2,4 g/cm³ beträgt seine Dichte kaum die Hälfte der von Titan, was die bewegte Masse reduziert und eine hohe Empfindlichkeit ermöglicht. Und entscheidend ist, dass sein Dämpfungsfaktor von 0,015 das 7,5-Fache desjenigen von Titan oder Aluminium beträgt [1]: Wenn sich die Kuppel dem Zusammenbruch nähert, wird die Resonanz im Material absorbiert, anstatt als Nachhall abgestrahlt zu werden.

Die amorphe Struktur ist der Schlüssel. Metalle sind kristallin; Schwingungsenergie breitet sich mit sehr geringem Verlust entlang des Gitters aus, weshalb eine angeschlagene Metallkalotte nachklingt. Glas hat kein Gitter – sein ungeordnetes Molekülnetzwerk streut und leitet Schwingungsenergie intern ab. Das hörbare Ergebnis ist ein Hochtonbereich mit metallähnlicher Ausdehnung und Detailtreue, jedoch ohne die metallische Signatur.

Zwei weitere Eigenschaften sind im professionellen Einsatz von Bedeutung. Modernes dünnes Glas wird durch Ionenaustausch chemisch gehärtet – Natriumionen an der Oberfläche werden durch größere Kaliumionen ersetzt, wodurch die Oberfläche unter permanenter Kompression steht und die Festigkeit gegenüber gewöhnlichem Glas um den Faktor fünf oder mehr erhöht wird [1]. Und im Gegensatz zu Papier- oder Polymermembranen ist Glas unempfindlich gegenüber Feuchtigkeit, Temperaturwechseln und Alterung: Seine Eigenschaften sind am ersten Tag dieselben wie am zehntausendsten.

- Höhere Schallgeschwindigkeit als Titan → Kolbenbewegung bleibt über den gesamten Arbeitsbereich erhalten
- 7,5-fache interne Dämpfung gegenüber Titan oder Aluminium → kein hörbares Breakup-Rauschen
- Halbe Dichte von Titan → geringere bewegte Masse, hohe Empfindlichkeit
- Chemisch gehärtet, ungiftig und formstabil über die gesamte Lebensdauer des Produkts

4. Glas in der Praxis: Der 202N-GL

Theorie ist nur so gut wie ihre Umsetzung. Der REDCATT 202N-GL ist unseres Wissens der einzige Kompressionstreiber weltweit, der mit einer Glasmembran hergestellt wird. Glaskalotten sind zwar bereits in Kopfhörern und Hi-Fi-Hochtönern zu finden, doch die Formung, Verstärkung und Anbringung einer Glaskalotte, die den akustischen Belastungen im Inneren eines 1,4-Zoll-Kompressionstreibers standhält, ist ein wesentlich schwierigeres Problem – eines, das REDCATT vollständig im eigenen Haus gelöst hat.

Eigenentwickelte Technologie, zum Patent angemeldet

Die Membran des 202N-GL ist kein zugekauftes Bauteil: Sie ist eine Eigenentwicklung von REDCATT, vom Rohmaterial bis zum fertigen Treiber. Dies umfasst drei wesentliche Innovationen – eine speziell für akustische Anwendungen entwickelte Glaszusammensetzung, die Produktionstechnologie zur Formung dieses Glases zu einer fertigen Membran sowie die Fertigungstechnologie zur Montage von Glaskalotte, Sicke und Schwingspule zu einem Treiber, der professionellen Belastungen standhält. Jede Schicht steht für jahrelange Eigenentwicklung, und die Technologie ist derzeit zum Patent angemeldet. Kein anderer Hersteller hat Zugang dazu.

Parameter	202N-GL
Membran	Präzisionsgeformte Glaskuppel
Ausgang / Hals	35 mm (1,4 Zoll)
Schwingspule	75 mm (3 Zoll), kupferbeschichtetes Aluminiumband (CCAR) auf Kapton-Träger
Magnet	Neodym
Nennimpedanz / Re	8 Ω / 5,9 Ω
Belastbarkeit	70 W AES, 140 W Dauerleistung, 280 W Spitzenleistung
Empfindlichkeit	109,5 dB (1 W / 1 m)
Freiluftresonanz (Fs)	710 Hz
Umrandung	PEI
Abmessungen / Gewicht	112 mm Durchmesser \times 58 mm Tiefe, 1,9 kg netto

Die Glaskalotte ist mit einer 3-Zoll-Bändchen-Schwingspule aus kupferbeschichtetem Aluminium auf einem Kapton-Träger kombiniert, die von einem Neodym-Motor angetrieben und an einer PEI-Sicke aufgehängt ist, die den Rand der Kalotte mechanisch entkoppelt und dämpft. Der komplette Treiber wiegt 1,9 kg und ist nur 58 mm tief – geeignet für gewichtssensible Arrays und kompakte Zweiwegesysteme.

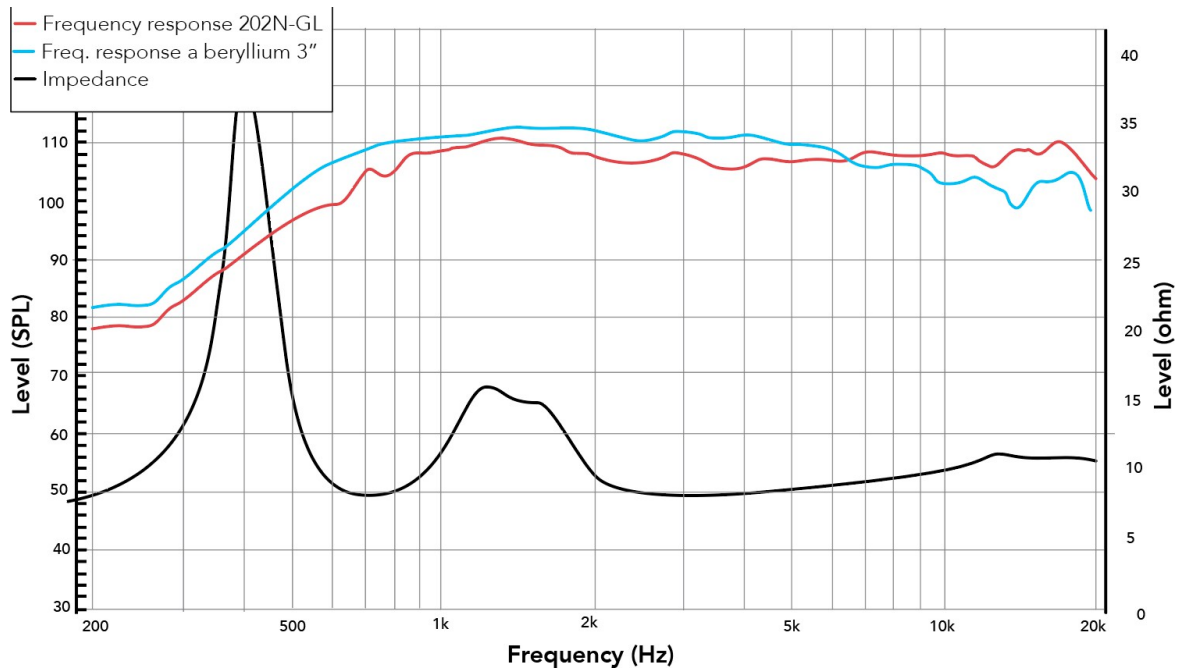
Gemessene Leistung

Gemessene Leistung Klippel-Messungen des Grundfrequenzgangs des 202N-GL zeigen einen Anstieg der Ausgangsleistung im Bereich um 500 Hz (unterhalb des vorgesehenen Durchlassbereichs, um die Freiluftresonanz bei 710 Hz) auf ein Plateau von etwa 108–110 dB, das sich von etwa 1 kHz bis 20 kHz erstreckt. Das Plateau ist auffallend frei von dem isolierten Breakup-Peak mit hohem Q-Faktor, der typischerweise in der obersten Oktave von Titan-Kalotten-Treibern auftritt; der Ausgangspegel bleibt bei 20 kHz vollständig erhalten. Dies ist das gemessene Kennzeichen einer steifen, gut gedämpften Membran – und genau das, was die Materialdaten vorhersagen.

Die letzte Oktave: Glas vs. ein Premium-Beryllium-Treiber

Am deutlichsten wird die Leistung der Glasmembran beim Vergleich des gemessenen Frequenzgangs des 202NGL mit dem veröffentlichten Frequenzgang eines konkurrierenden 3-Zoll-Kompressionstreibers mit Berylliummembran und einer **wesentlich größeren Magnetanordnung**. Im Mitteltonbereich verschafft der größere Motor dem Konkurrenten einen Empfindlichkeitsvorteil von etwa 2 dB. Oberhalb von etwa 7 kHz kehrt sich das Bild um: Die Leistung der Beryllium-Einheit fällt ab, sinkt bei 10–12 kHz ab und erreicht bei 20 kHz etwa 99 dB, während der 202NGL bis zum oberen Ende des hörbaren Frequenzbereichs 107–110 dB hält – ein Vorteil von 5 dB oder mehr in der letzten Oktave, erzielt mit einem kleineren, leichteren Motor.

Die letzte Oktave ist der Bereich, in dem Hochtonlautsprecher tatsächlich beurteilt werden: Sie transportiert die Luftigkeit, den Glanz und die Transienten-Details eines Systems. Ein Lautsprecher, der bei 20 kHz eine korrigierende Anhebung benötigt, verbraucht Verstärker-Headroom und Auslenkung, um das wiederherzustellen, was der 202N-GL von Haus aus liefert.



[Abbildung: Frequenzgangvergleich – REDCATT 202N-GL (Glas) vs. konkurrierender 1,4-Zoll-Kompressionstreiber mit Berylliummembran, 200 Hz–20 kHz.]

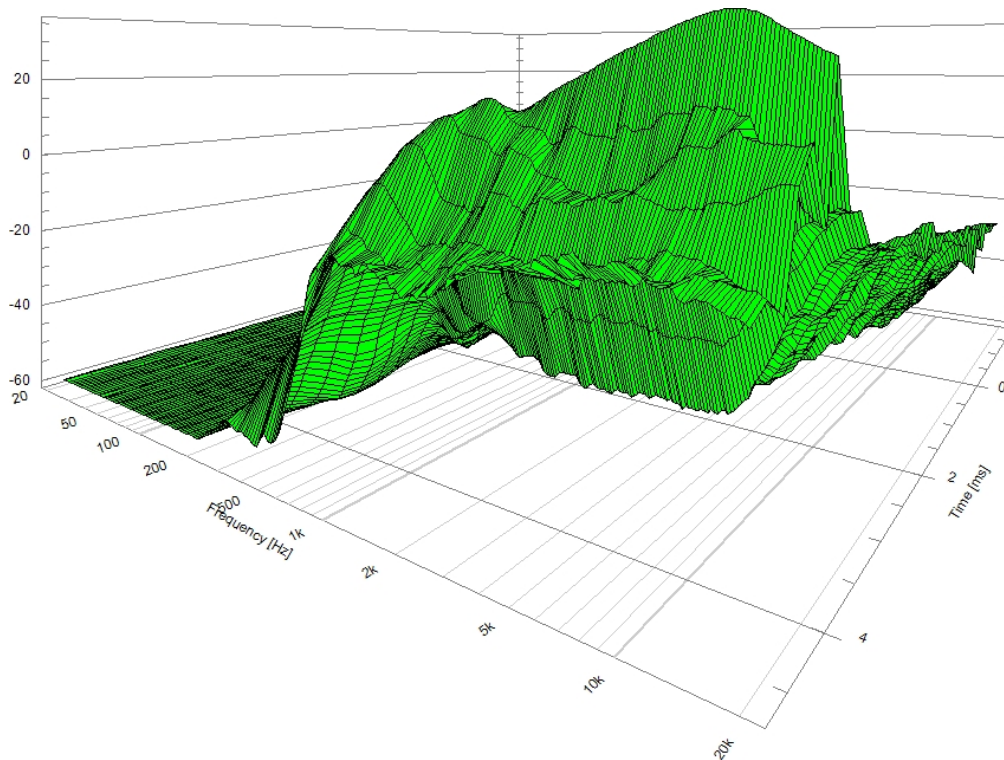
Hinweis: Die Kurve des Mitbewerbers wurde anhand des vom Hersteller veröffentlichten Datenblatts neu gezeichnet; die Messbedingungen können von denen von REDCATT abweichen, daher sind Vergleiche der absoluten Pegel nur als Anhaltspunkt zu verstehen. Die Frequenzgangverläufe – Hochtonausdehnung und Abfall – entsprechen den Angaben der jeweiligen Hersteller.

Zeitbereichsnachweis: kumulativer spektraler Abklingvorgang

Der Frequenzgang zeigt, was ein Treiber tut; der kumulative spektrale Abklingvorgang (CSD) zeigt, was er weiterhin tut, nachdem das Signal aufgehört hat. Ein CSD-Wasserfalldiagramm stellt den Abklingvorgang der gespeicherten Energie über Frequenz und Zeit dar – Resonanzen erscheinen als Kämmen, die entlang der Zeitachse bestehen bleiben, und genau diese nachklingende Energie hört das Ohr als „Signatur“ eines Materials.

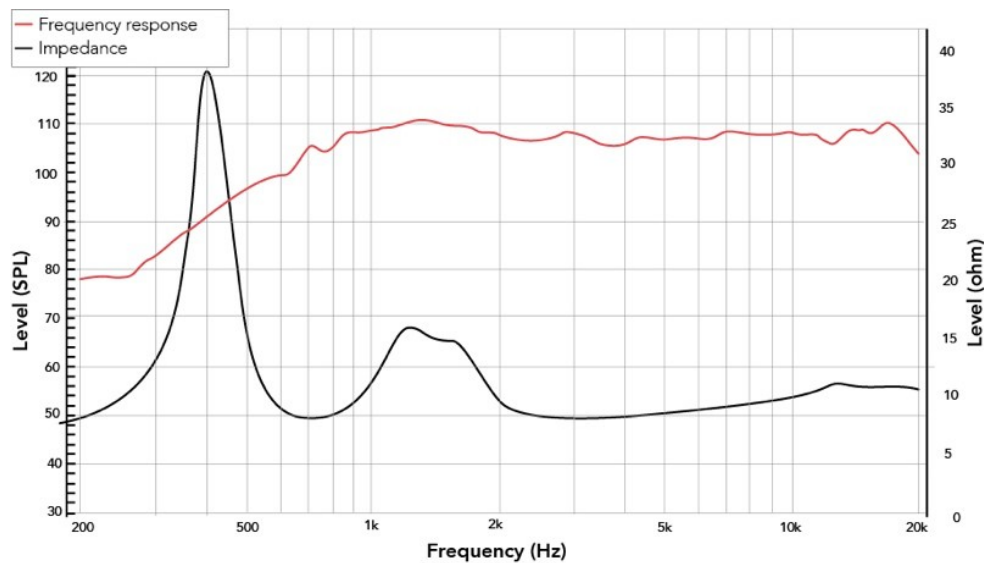
Die CSD-Messung des 202N-GL, dargestellt über einen vollen Dynamikbereich von 80 dB von 20 Hz bis 20 kHz, zeigt, dass die gespeicherte Energie über den gesamten Arbeitsbereich schnell und gleichmäßig abklingt. In den oberen Oktaven gibt es keine isolierten, anhaltenden Kämmen – das Muster, das auf ungedämpfte Membranmoden hindeutet, die nach Ende des Stimulus nachklingen. Das Abklingverhalten ist über den gesamten Durchlassbereich hinweg konsistent, was das Zeitbereichs-Gegenstück zur gleichmäßigen Grundfrequenzantwort darstellt.

Genau dies sagen die Materialdaten in Abschnitt 2 voraus. Selbst Beryllium – das am höchsten geschätzte Metallmaterial für Membranen – behält die Dämpfung eines Metalls bei: Sein Verlustfaktor von $\eta = 0,005$ beträgt ein Drittel des Wertes von Glas ($\eta = 0,015$) [1]. Jede Energie, die in die Resonanzmoden einer Metallkalotte eintritt, muss nachschwingen, bevor sie sich auflöst; in Glas wird sie fast sofort im Material absorbiert. Glas bietet diesen Dämpfungsvorteil ohne die Toxizität, Beschaffungsprobleme, Handhabungsbeschränkungen oder Kosten von Beryllium.



[Abbildung: CSD-Wasserfall, REDCATT 202N-GL-Glasmembran – schneller, gleichmäßiger Abklingvorgang, 20 Hz–20 kHz, 80 dB Anzeigebereich.]

In Bezug auf das Systemdesign verhält sich der 202N-GL konventionell: eine empfohlene Frequenzweiche von 1,2–1,5 kHz oder höher (mindestens 12 dB/Oktave, vorzugsweise 24 dB/Oktave), Standard-1,4-Zoll-Hörner und DSP-Schutz wie bei jedem professionellen Hochtönlautsprecher. Der Unterschied liegt in dem, was beim Hörer ankommt: ein müheloser, verzerrungsarmer Hochtönenbereich, der keine Korrektur durch Equalizer zur Beseitigung von Verzerrungsartefakten benötigt.



5. Fazit

Bei Membranmaterialien musste man bisher stets zwischen Steifigkeit und Dämpfung wählen. Glas macht diese Wahl überflüssig: Es überträgt Schall schneller als Titan, wiegt etwa halb so viel und dämpft seine eigenen Resonanzen 7,5-mal besser – ohne die Toxizität oder die Kosten von Beryllium. Der 202N-GL beweist, dass dieses Material zu einem professionellen 3-Zoll-Kompressionstreiber verarbeitet werden kann und dass das gemessene Ergebnis der Theorie entspricht: eine gleichmäßige, ausgedehnte und verzerrungsarme Wiedergabe bis 20 kHz bei einer Empfindlichkeit von 109,5 dB.

REDCATT ist überzeugt, dass seine zum Patent angemeldete Glasmembran-Technologie – eine über Jahre hinweg intern entwickelte, firmeneigene Zusammensetzung, Formgebung und Montage – den bedeutendsten Fortschritt bei den Materialien für Kompressionstreiber seit einer Generation darstellt. Heute ist der 202N-GL der einzige Ort weltweit, an dem man dies hören kann.

5. Mehr erfahren, Muster anfordern

Weitere Details finden Sie auf unserer Website: <https://www.redcatt.net/products/648a> Wenden Sie sich an Ihren lokalen Vertreter, um Muster zu bestellen.

Referenzen

- [1] Nippon Electric Glass, [„Ultradünne Glasmembranen, der Schlüssel zu Lautsprechern der nächsten Generation mit hochwertigem Klang“ \(2025/2026\)](#)
- [2] W. K. Chu, BDNC (Holding) Ltd., [„Der Einsatz von neuartigem technischem Glas als Lautsprechermembranen: Vorteile, Möglichkeiten und Designhinweise“ \(2018\)](#)
- [3] audioXpress, [„Vergleichende Untersuchungen zum Verhalten von Beryllium-, Titan- und CN-Faser-Hybridkalotten in der letzten Oktave“](#)
- [4] GAIT Technology, [„Glasmembran“](#)
- [5] REDCATT, <https://www.redcatt.net/products/648a>