La Redoute Bonn - Bad Godesberg: zur Raumakustik eines der ersten Konzertsäle Ludwig van Beethovens

Klaus-Hendrik Lorenz-Kierakiewitz[1]

[1] *Peutz Consult GmbH, 40599 Düsseldorf, E-Mail: khl@peutz.de*

Einleitung

Bei der Redoute in Bad Godesberg, heute ein Stadtteil der Stadt Bonn, handelt es sich um ein für höfische Festlichkeiten erbautes historisches Ballhaus des 81. Kölnischen Kurfürsten Maximilian Franz. Bis heute finden darin Konzerte mit klassischer Musik statt. Weitgehend originalgetreu erhalten, ist der Saal ein hochinteressantes raumakustisches Untersuchungsobjekt. Als einer der ersten Konzertsäle Beethovens eignet er sich sehr gut für einen Vergleich der raumakustischen Parameterwerte mit denen anderer Säle seiner Epoche und heutigen Optimalwerten für vergleichbare Nutzungen. Mit Unterstützung des Betreibers Redoute Bonn GmbH wurden im großen Saal der Redoute raumakustische Messungen nach DIN EN ISO 3382-1 durchgeführt, sowohl im unbesetzten Zustand als auch mit Simulationen möglicher Besetzungen höfischer Konzerte. Zusätzlich wurden mit Hilfe dabei gemessener binauraler Raumimpulsantworten und eines dafür reflexionsarm aufgenommenen Frühwerks L. v. Beethovens Auralisationen erstellt, welche den Klang der Redoute hörbar machen.

Biografische Notizen: L. v. Beethoven in Bonn

Es ist belegt, dass der junge Ludwig van Beethoven (* 1770) in der Redoute musiziert hat und somit diesen Raum und seine raumakustischen Eigenschaften kannte. Dies geschah zu einer Zeit, wo er bereits erste größere Kompositionen verfasste. Als Angestellter der kurfürstlichen Hofkapelle (seit 1784 war er kurfürstlich-kölnischer Hoforganist) konzertierte Beethoven regelmäßig wöchentlich im kurfürstlichen Hoforchester als Bratschist. In der Zeit von ca. 1788 bis 1792 komponierte Beethoven in Bonn einige Konzerte, Kantaten, Lieder und Kammermusik sowie Klavierwerke. Im Juli 1792 richtete die Hofkapelle dem aus London nach Wien heimkehrenden J. Haydn in diesem Saal ein Frühstück aus; Beethoven spielte und legte ihm bei diesem Anlass eine seiner „Kaiserkantaten“ vor, woraufhin dieser ihn als Meisterschüler in Wien akzeptierte.

Zur Architektur des Untersuchungsobjekts

Von 1790 bis 1792 als Fest-/Ballsaal der Frühklassik im klassizistischen Baustil nach Plänen des Architekten Martin Leydel erbaut, ist der große Saal der Redoute Godesberg in einem nahezu unveränderten Zustand erhalten, siehe Abbildungen 1 und 2. Letztere zeigt Innenansichten des Saals in der aktuellen Situation während der Messungen am 13.8.2019. Der Raum ist von seiner Geometrie her quaderförmig mit 17,3 m Länge, 11,6 m Breite, 7,2 m Höhe und einem kompakten Raumvolumen von ca. 1.450 m^3. Der Boden besteht aus poliertem Stein, die Wände aus verputztem Mauerwerk, die Decke aus Gipsputz. In den Raumecken, an der Decke und vor allem an den Wänden befinden sich Stuckverzierungen (Pfeiler, Nischen, Statuen). Der Saal verfügt über 4 kleinere und 3 größere Türen sowie über 3 große Gartenfenster-/türen mit leichten Vorhängen.

Abbildung 1: aktuelle Außenansicht der Schaufront der Redoute

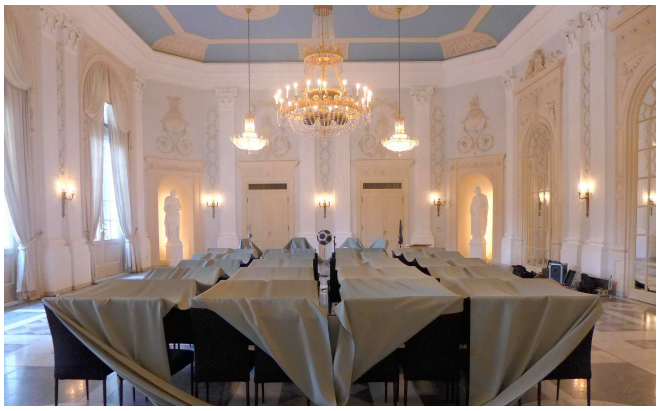

Abbildung 2: Innenansichten des Saals am Messtag; oben: leer, mitte / unten: mit Besetzungssimulation (ca. 24 / 52 Personen)

Durchführung der raumakustischen Messungen

Abbildung 3 zeigt einen Grundriss des Saales mit den bei den raumakustischen Messungen verwendeten Quell- und Empfangspositionen sowie der Besetzungssimulation [3].

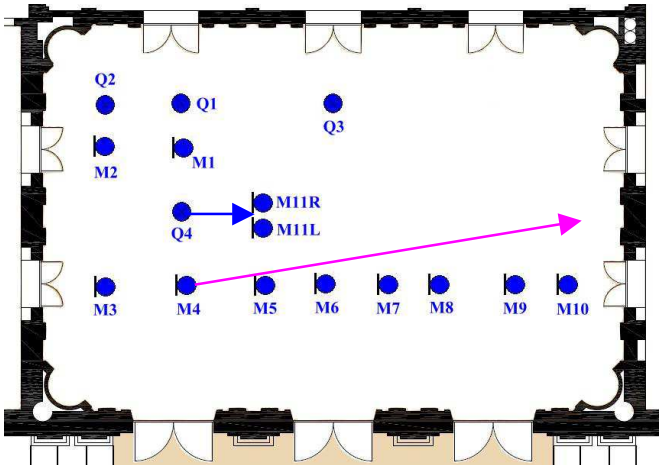

Abbildung 3: Grundriss des Saales mit Messpositionen und Pfaden

Um die Raumakustik des Saals im heutigen Zustand zu dokumentieren, wurden am 13.08.2019 raumakustische Messungen unter Umgebungsbedingungen von ca. 53% r.H. und 23° C Temperatur durchgeführt und ausgewertet konform den Angaben in DIN EN ISO 3382-1. Dabei handelte es sich um Messungen der Nachhallzeiten nach dem Verfahren mit abgeschaltetem Rauschen und von Raumimpulsantworten mit dem Maximalfolgenmesssystem MLSSA10 WI Rev9. Ergänzend wurden Messungen der Schallpegelabnahme mit zunehmendem Abstand (→) von der Schallquelle gemäß DIN EN ISO 14257 sowie des Hintergrundschallpegels durchgeführt (während Rotphasen der nahen Straße, mit aktivem Springbrunnen im Garten).

Die Messungen fanden im unbesetzten, unbestuhlten Zustand statt, mit einer Simulation nach [1] einer kleineren Teilbesetzung von ca. 24 Personen inklusive einiger Musiker (in diesem Zustand wurden die Impulsantworten gemessen) sowie in mit Simulation einer Besetzung, wie sie bei einem höfischen Konzert der Zeit Beethovens möglich gewesen wäre (ca. 52 Personen zuzüglich einiger Musiker). Bei heutigen Veranstaltungen finden im Saal in Reihenbestuhlung bis zu ca. 250 Personen Platz. Auf dem Pfad **Q4-M11** wurden binaurale Impulsantworten gemessen.

Auswertung der raumakustischen Messungen

Die Ergebnisse der oben beschriebenen Messungen wurden mit verschiedenen Auswertungsprogrammen ausgewertet:

Mit Hilfe des Programms der Peutz-Gruppe Spectralyzer 3.7.1 wurde die Nachhallzeit als T_{30} pro Abklingvorgang, Oktavband und Pfad ermittelt. Anschließend wurden durch arithmetische Mittelung T_{30}-Raummittelwerte aus drei Abklingvorgängen an je 7 Pfaden pro Besetzungszustand gebildet. Die Hintergrundpegel und die Schallpegelabnahme mit zunehmendem Abstand zur Schallquelle wurden mit Spectralyzer 3.7.1 und mit einer Tabellenkalkulation der Peutz bv ausgewertet, um das Stärkemaß G für das Oktavband mit Mittenfrequenz 1 kHz zu ermitteln.

Die Raumimpulsantworten wurden mit einem Matlab-Skript der Peutz Consult GmbH ausgewertet (siehe u.a. [2]).

Messergebnisse

A) Nachhallzeiten

Tabelle 1 und Abbildung 4 zeigen die mit Rauschbursts gemessenen Raummittelwerte der Nachhallzeiten und die nach DIN 18041 berechneten Werte für heutige Maximalbesetzungen (Einzahlwert T_{Mid} = arithmetisches Mittel der Oktavbänder mit Mittenfrequenzen 500-2.000Hz).

Tabelle 1: gemessene Nachhallzeiten T_{30} [s], Raummittelwerte

Besetzung	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	T_{Mid}
Leer, unbestuhlt	3,5	3,5	3,2	2,9	**3,2**
Simulation ca. 24 Personen	2,7	2,3	2,3	2,1	**2,2**
Simulation ca. 52 Personen	2,3	1,9	1,9	1,8	**1,9**
berechnet, für ca. 250 Pers.	*1,4*	*1,3*	*1,2*	*1,1*	***1,2***

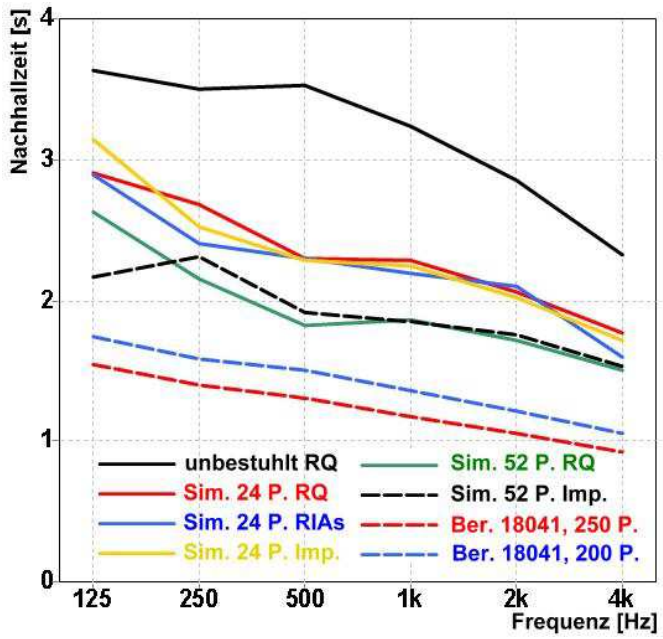

Abbildung 4: Frequenzabhängige Raummittelwerte der Nachhallzeiten T_{30} gemessener und berechneter Zustände

B) Schallpegel, Pegelabnahme und Stärkemaße

Abbildung 5 zeigt die im Raum mit den verschiedenen Besetzungszuständen gemessenen Abnahmen des Schalldruckpegels mit in Längsrichtung zunehmendem Abstand von einer omnidirektionalen Schallquelle (Pfad →).

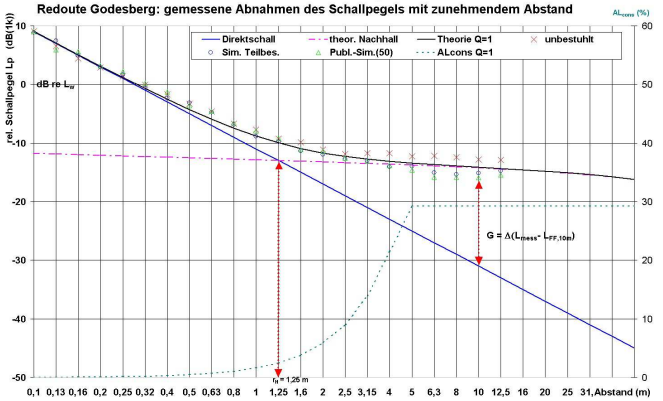

Abbildung 5: gemessene Abnahmen des Schalldruckpegels mit zunehmendem Abstand von der Schallquelle (1kHz)

Tabelle 2 zeigt die pro Besetzungszustand gemessenen und theoretisch nach der Diffusfeldtheorie nach Kuttruff und Barron berechneten Werte des Stärkemaßes $G_{mess,10m}$ und G_{theo} sowie r_H für das Oktavband mit Mittenfrequenz 1 kHz.

Tabelle 2: Werte des gemessenen und theoretischen Stärkemaßes G [dB], Hallradius r_H für 1 kHz-Oktavband

Besetzung	$G_{mess,10m}$ [dB]	r_H [m]	G_{theo} [dB]
Leer, unbesetzt	+18,2	1,2	+18,3
Simulation 24 Pers.	+15,8	1,4	+16,7
Simulation 52 Pers.	+15,1	1,6	+15,9
berechnet, 250 Pers.	-	*2,0*	*+14,2*

Es wird deutlich, dass die Differenz zwischen $G_{mess,10m}$ und G_{theo} in allen betrachteten Zuständen < 1 dB liegt. Dies legt nahe, dass es die Schallfelder im Raum nahezu diffus sind. Der Hintergrundpegel L_{AF95} betrug mit Springbrunnen während Rotphasen der nahen heutigen Straße ca. 27 dB(A).

C) Impulsantworten und Parameter daraus

Abb.6 zeigt typische Besipiele gemessener Impulsantworten:

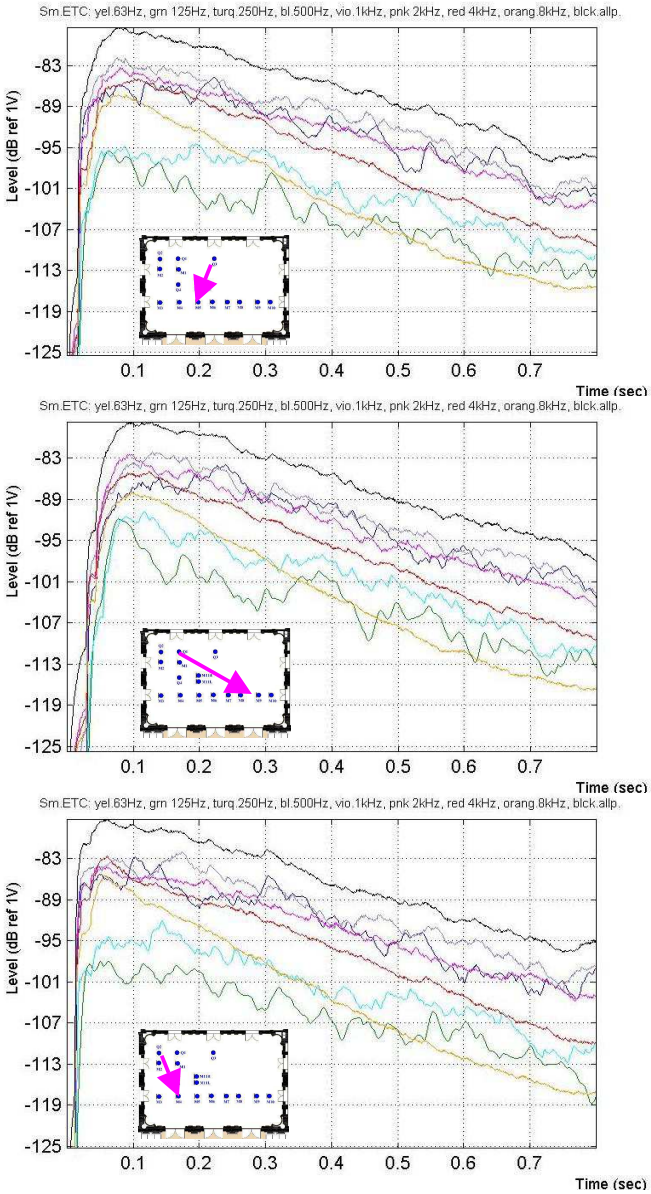

Abbildung 6: Beispiele typischer gemessener Breitband-ETCs in Teilbesetzung mit geringen ETC-Pegelsprüngen (oben, Pfad Q3-M5), Plateaubildung (Mitte, Q1-M9), und mit Flatterecho zwischen Boden / Decke (unten, Q2-M4)

Die Auswertung der Impulsantworten des Zustands mit Simulation von 24 Personen und der daraus ermittelten Parameter für die Oktavbänder mit Mittenfrequenzen 500 bis 2.000 Hz lieferte folgende Ergebnisse, siehe Tabelle 3:

Tabelle 3: Raummittelwerte C_{80}, EDT und T_c, (500-2.000 Hz), AL_{cons} aus Impulsantworten mit Simulation Besetzung 24 P.

Raumbereich	C_{80} [dB]	EDT [s]	T_c [ms]	AL_{cons} [%]
Vorne ohne 1m	+0,3	2,2	127	9
Restlicher Saal	-2,0	2,2	162	13

Der Wert des Parameters ST1/Early (nach A.C. Gade) beträgt für die 1 m-Positionen –6,9 dB bzw. –8,3 dB. Darüber hinaus wurden die gemessenen binauralen Impulsantworten bezüglich der binauralen Parameter IACC und BQI ausgewertet, und zwar mit Aurora 4.2. von Prof. Angelo Farina: auf dem Messpfad Q4 - M11 beträgt der Wert des $IACC_3$ für die simulierte Teil-Besetzung von 24 Personen 0,22; für die simulierte Besetzung von 52 Personen 0,28; der Wert des BQI_{E3} beträgt dort jeweils 0,55 bzw. 0,50.

Bewertung der Messergebnisse

Die Nachhallzeiten im Raum sind stark von Anzahl und Kleidung von Musikern und Publikum als Hauptabsorption abhängig. Bei nicht zu großen Besetzungen des Saals liegen Nachhallzeiten vor, wie auch heute noch für Musik der Bauzeit bevorzugt. Aufgrund des sehr begrenzten Volumens des Saals liegen vergleichsweise hohe Werte des Stärkemaßes vor, der Nachhallpegel im Raum ist deutlich ausgebildet und verleiht gerade kleineren Besetzungen große klangliche Wirkung. Die Werte des BQI liegen für den betrachteten Messpfad auf hohem Niveau, der Klang des Nachhalls ist sehr räumlich. Die Bewertung der Impulsantwort-Reflexionsstrukturen zeigt, dass im Saal kaum störende echoartigen Effekte zu erkennen sind. In typischen Breitband-ETCs, wie mit Teil-Besetzungssimulation in Abbildung 6 abgebildet, sind Pegelsprünge der geglätteten ETC erkennbar, die vorwiegend weniger als 5 dB gegenüber der Enveloppe betragen; dies ist für nicht-percussive Schallereignisse als noch akzeptabel und nicht sehr störend zu bewerten. Zwischen der eher wenig diffusierend ausgestalteten Raumdecke und dem hart reflektierenden Boden können jedoch Flatterechos angeregt werden, und zwar in Raumbereichen, wo wenig Absorption in Form von Bestuhlung oder Publikum vorliegt. Ein Beispiel für eine solche flatterechobehaftete Reflexionsstruktur zwischen Boden und Decke ist für den Messpfad Q2-M4 in Abbildung 6 unten dargestellt. In Pfad Q4–M11 ist dies deutlich hörbar, bei Simulation mit kleinerer Besetzung in geringerem Maße. Angesichts der Raumgeometrie entsprechen diese Reflexionsstrukturen den Erwartungen, da es sich hier um einen quaderförmigen Saal mit gewissen streuenden Details handelt, die sich mehr an Wänden als an der Decke befinden.

Die Struktur der im Zustand mit Simulation einer Teilbesetzung gemessenen Raumimpulsantworten zeigt des weiteren, dass neben einer hier angenommenen Bespielung in Längsrichtung mit Interpreten vor einer Stirnwand (Quellpositionen Q1 und Q2) auch eine Querausrichtung der (höfischen) Zuhörer mit Quelle vor einer Längswand in Bezug auf die Reflexionsstruktur ebenso gut möglich wäre.

Vergleich mit typischen Sälen der Zeit, Fazit

Zur Einordnung der Messergebnisse bietet es sich an, die hier ermittelten raumakustischen Parameterwerte für die Redoute mit den Werten von Konzert-, Kammermusik- und Fürstensälen des 18. bis frühen 20. Jahrhunderts zu vergleichen, siehe [1] bis [2] und [4] bis [6].

Aus den bereits vorliegenden Daten und den hier ermittelten der Redoute wurden zum visuellen Vergleich zwei mehrdimensionale Grafiken [6] erstellt, siehe Abbildung 7/8:

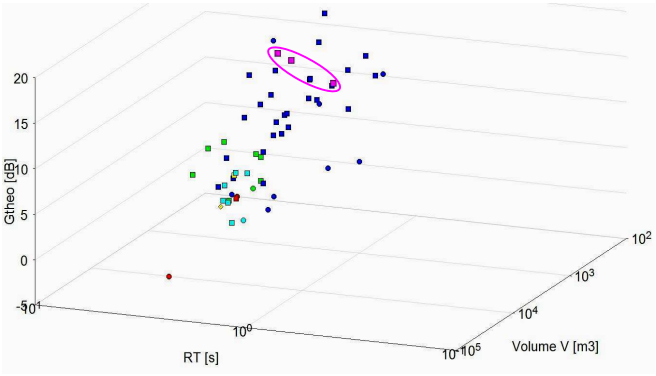

Abbildung 7: TVG-Grafik von Konzert-, Kammermusik- und Fürstensälen des 18. bis frühen 20. Jahrhunderts [6]. Pink markiert: Die zwei gemessenen Zustände der Redoute und Extrapolation der Besetzung mit 200 Personen.

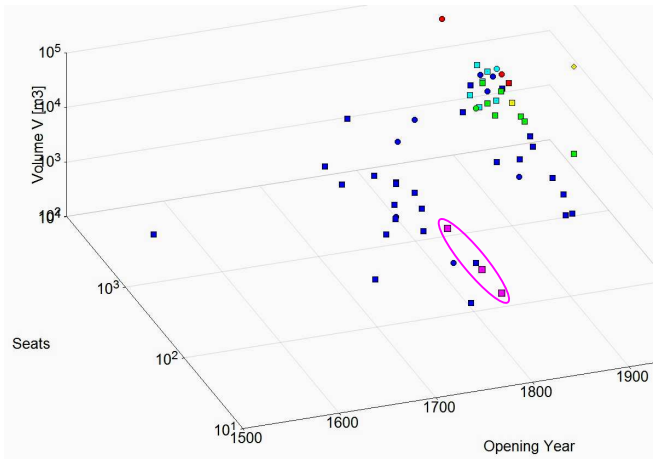

Abbildung 8: YSV-Grafik von Konzert-, Kammermusik- und Fürstensälen des 18. bis frühen 20. Jahrhunderts [6]. Pink markiert: Die zwei gemessenen Zustände der Redoute und Extrapolation der Besetzung mit 200 Personen.

Ein Vergleich der in diesen Quellen für Konzert-, Kammermusik- und Fürstensälen des 18. bis frühen 19. Jahrhunderts aufgeführten Parameterwerte mit den hier für die Redoute gemessenen Werten führt zu der Bewertung, dass der gegenwärtig so genannte Beethovensaal der Redoute in hohem Maße typisch ist für Fürstensäle der Zeit im deutschen Sprachraum, und auch nach heutigen Maßstäben gut geeignet für Aufführungen mit Kammermusik der Klassik mit nicht zu großen Besetzungen; eine Vollbesetzung wie heute mit bis zu 250 Zuhörern ist für die damalige Zeit hingegen weniger wahrscheinlich.

Die Redoute verfügt gerade bei solchen geringeren Zuhörerzahlen über Werte von Nachhallzeit, Stärkemaß und BQI im oberen Bereich der Werte der genannten Literatur, was zu einer eindrucksvollen klanglichen Wirkung des Raumes bei Bällen und Festlichkeiten auch mit kleine(re)n Besetzungen führte bzw. bei Aufführungen mit Kammermusik auch heute noch erreicht werden kann.

Die Auswertung der Strukturen der gemessenen Impulsantworten ergab nur wenige störende echoartige Effekte mit Ausnahme eines Flatterechos, das sich bei transienten Anregungen zwischen glattem Boden und wenig streuender Decke ausbilden kann.

Da belegt ist, dass L. v. Beethoven in seiner Dienstzeit in der Hofkapelle regelmäßig in der neuen Redoute musizierte, ist davon auszugehen, dass er den Klang des Saales bei seinen frühen Kompositionen der Zeit im Ohr / im Kopf bzw. im Gedächtnis hatte und zu berücksichtigen vermochte.

Auralisation

Mit Hilfe der binauralen Impulsantworten des Pfads Q4-M11 wurden ergänzend Auralisationen durchgeführt: Quellmaterial ist eine frühe Komposition Ludwig van Beethovens aus der Zeit von 1788/90, der erste Satz der zweisätzigen Sonatine WoO 50, die eigens dafür unter reflexionsarmen Bedingungen auf einem historischen Instrument von 1908 aufgenommen wurde. Die Aufnahme dieses Musikstücks wurde als nachhallarmer Stimulus mit den binauralen Impulsantworten des Messpfades Q4 – M11 in beiden Raumzuständen mit Besetzungs- bzw. Teilbesetzungssimulation im Programm SEK'D Red Roaster 24 V5.57 gefaltet. Die so auralisierten Hörbeispiele zeigen den auditiven Unterschied beider Zustände auf und machen die Raumakustik des Saals erfahrbar, nahe an den Aufführungsbedingungen, unter denen L. v. Beethoven im Juli 1792 in der Redoute Joseph Haydn vorspielte.

Danksagung

An dieser Stelle ist für Erlaubnis und Unterstützung der Messungen in der Redoute dem Betreiber Redoute Bonn GmbH herzlich zu danken, ebenso wie Christine Kierakiewitz M.A. für die Einspielung des Sonatinensatzes von Ludwig van Beethoven für die Auralisationen.

Literaturangaben

[1] Meyer, J.: Raumakustik und Orchesterklang, in: Morawska-Büngeler, M. (Hg.), Musik und Raum, Mainz, 1989

[2] Weinzierl, St.: Beethovens Konzerträume, FFaM, 2002

[3] Lorenz, K. - H.; Breuer, F.: Simulation des Publikums durch spezielle Polyester-Textilien bei der raumakustischen Messung von Konzertsälen in der Praxis, DAGA-Fortschritte der Akustik, Aachen, 2003

[4] Gimpel, L.; Weinzierl, St.: Zur Akustik früher Konzertstätten in Hamburg, Beitrag zur 25. Tonmeistertagung VDT, Leipzig, 2008

[5] Graef, T., et al.: Zur Raumakustik repräsentativer Säle von Schloss Benrath, DAGA – Fortschritte der Akustik, München, 2018

[6] Lorenz-Kierakiewitz, K.-H. et al.: Multidimensional Visual Cluster Analysis of Room Acoustical Parameter Values as Means to gain Scientific Insights and Design / Consulting Tool, Proc. 23rd International Congress on Acoustics, Aachen, 2019